En la Figura 18 se presenta la variación horaria de esporas/m^3 de aire, en cada uno de los pisos muestreados. En el ala sur, el pico de esporas se registró en el piso 1 a las 10:00 h con 1490 esporas/m^3. El promedio horario de todos los pisos fue de 571 esporas/m^3. Como se puede observar en la gráfica no existe una tendencia clara en cuanto a liberación de esporas en horarios definidos, sin embargo se observan concentraciones más altas a las 10:00 que podrían deberse a la actividad del muestreo y a las 4:00 - 6:00 h que indicarían un patrón de liberación por decremento de la humedad relativa. Con respecto a la ala norte, se puede observar el mismo patrón sólo que en este caso las concentraciones son un poco menores al ala sur, el promedio fue de 477 esporas/m^3. Las concentraciones registradas en ambas zonas del edificio están por debajo a las reportadas en otros estudios de ambientes intramuros y por debajo de las mínimas recomendadas (Sabariego *et al.*, 2000; Wu *et al.*, 2005).

Cabe mencionar que en todos los muestreos el hongos representativo en casi el 45% es *Cladosporium* (Figura 20) dato que coincide con lo reportado en otros trabajos (Wu *et al.*, 2005), ya que este género es el más reportado en ambientes extramuros, se sugiere una infiltración o aportación importante del exterior. También podrían originarse de una fuente puntual presente en un piso en particular donde se puede observar claramente un patrón de liberación de esporas nocturno, aunado a que la liberación se realiza en agregados donde podemos cuantificar a 25 o más esporas en el mismo punto de una laminilla. También es importante mencionar que no siempre existe una correlación entre las concentraciones de partículas y las concentraciones de esporas, ya que por su tamaño y el color no es posible observar un aumento en la densitometría de la placa.

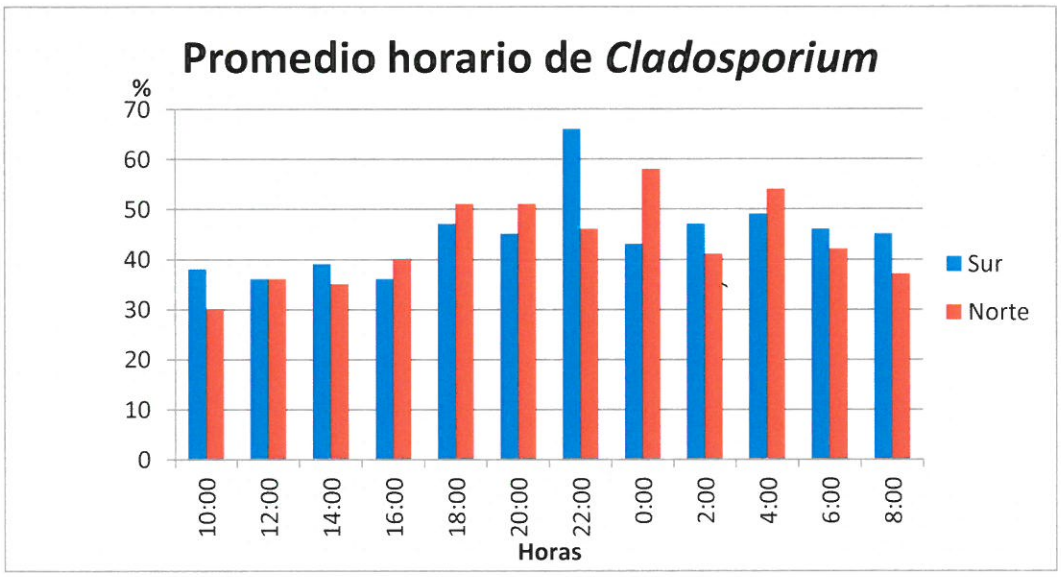


Figura 20. Distribución horaria de *Cladosporium* del aire.

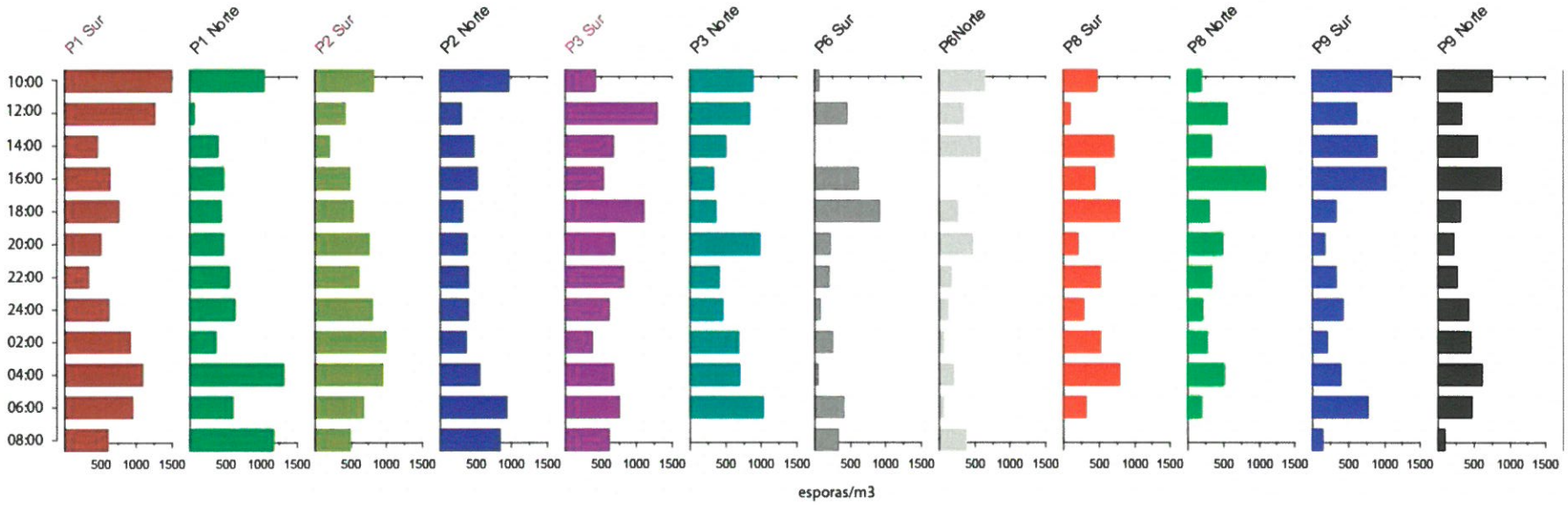


Figura 18. Concentraciones horarias de esporas/m^3 en los pisos muestreados.

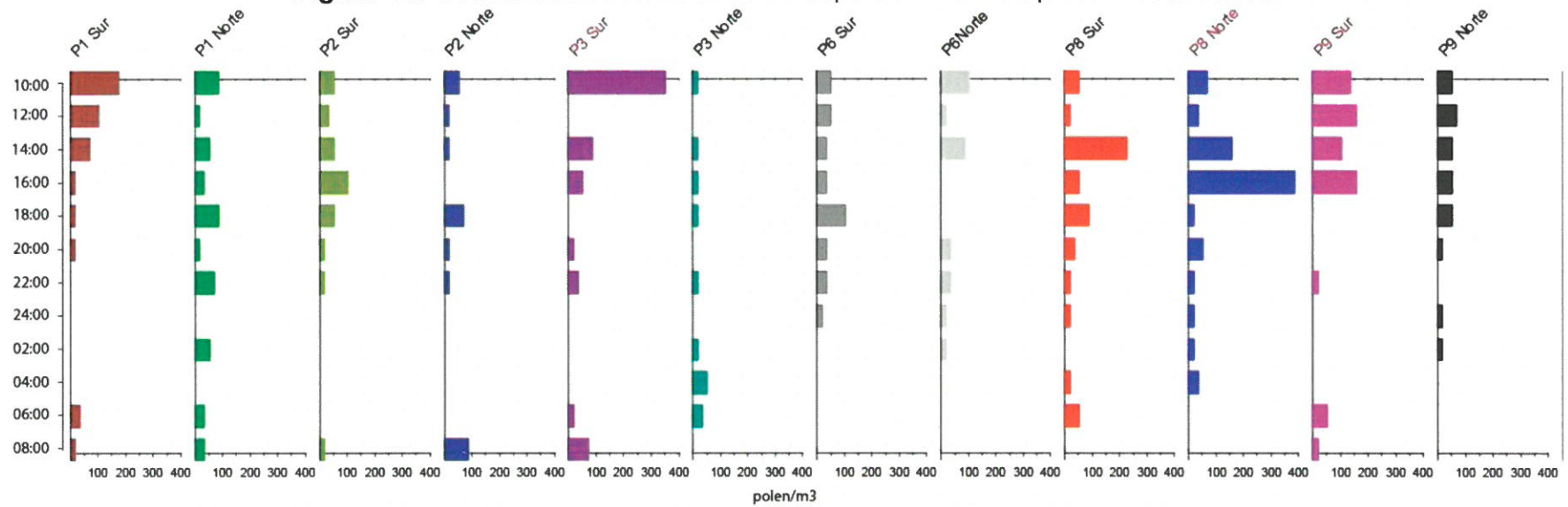
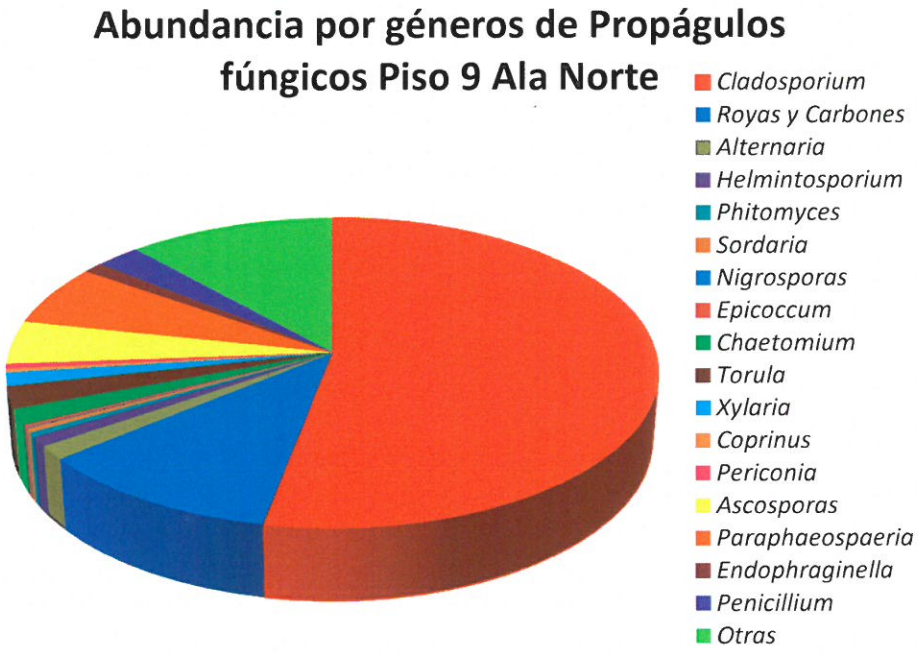


Figura 19. Concentraciones horarias de polen/m^3 en los pisos muestreados.

A continuación se enlistan los géneros de hongos registrados en la trampa de esporas Allergenco correspondiente al piso 9, en donde se observó una mayor diversidad de géneros en la zona que corresponde al norte (Figura 21 y 22).



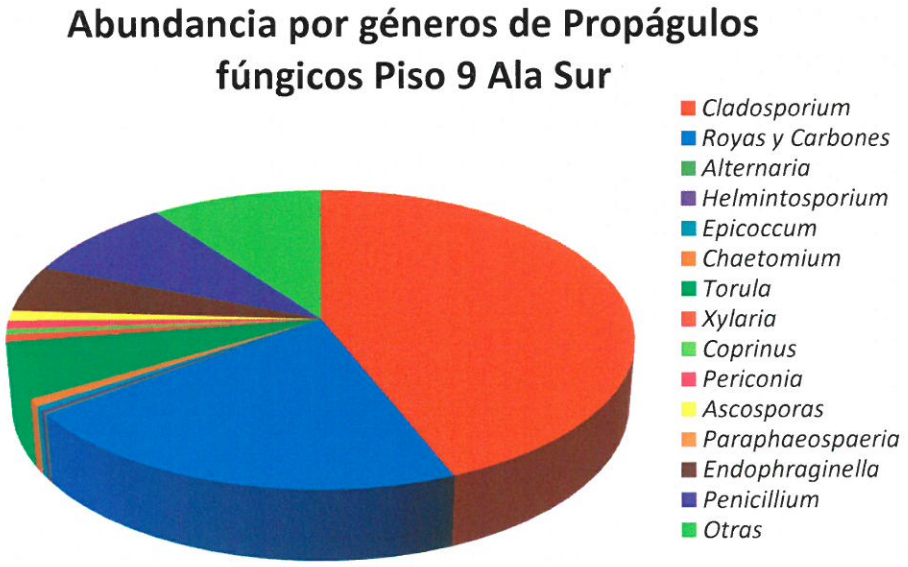


Figura 21. Géneros de esporas de hongos más abundantes registrados en el aire del piso 9.

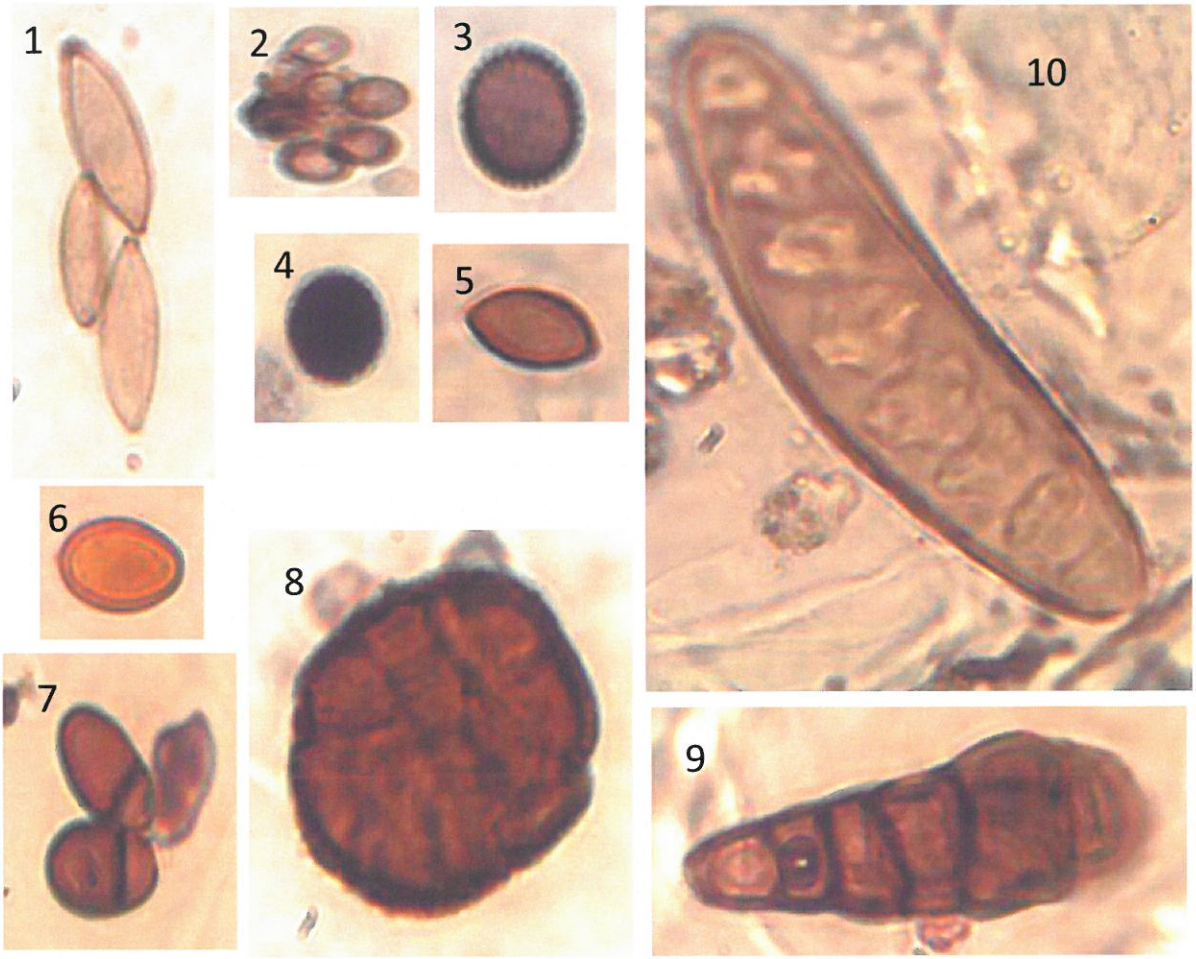


Figura 22. Esporas de hongos impactadas en las placas del alergenco 100X: 1 *Cladosporium*; 2 *Penicillium/Aspergillus*; 3 *Periconia*; 4 carbones/royas; 5 *Chaetomium*; 6 *Coprinus*; 7 *Endophraginella*; 8 *Epicoccum*; 9 *Alternaria*; 10 *Helminthosporium*.

Con respecto a los granos de polen registrados en el Allergenco, se puede observar que su concentración fue menor con respecto a las esporas de hongos, en promedio se tienen < de 50 granos de polen/m^3 de aire muestreado en todos los pisos, a excepción de algunos picos que se presentaron en el piso 3 sur, 8 y 9 sur (Figura 19), dato que sugiere la presencia de una fuente cercana. En general los pólenes registrados fueron de las familias *Oleaceae* (*Fraxinus*), *Betulaceae* (*Alnus*), *Chenopodaceae/Amaranthaceae*, *Cupressaceae*, *Myrtaceae* (*Eucalyptus*) y *Moraceae* (cecropia), predominando siempre los granos de polen de *Moraceae* debido a su tamaño reducido (10 μm), lo que permite que se mantengan por más tiempo en resuspención y alcancen la altura, sobre todo de los pisos 6, 8 y 9 (Figura 23).

Existen diversos estudios que indican que el polen presente en ambientes ocupacionales intramuros proviene del arrastre de diferentes plantas anemófilas (árboles, hiervas y pastos) presentes en los ambiente exteriores. Su tamaño fluctúa desde 10 – 60 μm en promedio aunque pueden existir de mayor tamaño, esta característica le impide penetrar en el tracto respiratorio inferior, sin embargo, el tipo de respuesta alergénica que desencadenan es a través de inmunoglobulinas tipo E (IgE), debido a que los alérgenos de los pólenes son extremadamente soluble y se liberan segundos después de estar en contacto con la mucosa (Behrendt y Becker, 2001), contribuyendo así en el desarrollo de la rinitis, conjuntivitis y asma

También existe evidencia de que fragmentos de polen son capaces de inducir estrés oxidante, a través de la presencia de oxidasas y partículas lipídicas que tienen la capacidad de producir radicales libres y quimioatrayentes, desencadenando una respuesta inflamatoria no específica (Traidl-Hoffmann *et al.,* 2009)

Figuras 23. Familias de polen resgistradas en las placas del Allergenco: 1 *Oleaceae* (*Fraxinus*), 2 *Betulaceae* (*Alnus*), 3 *Chenopodaceae/Amaranthaceae*, 4 *Myrtaceae* (*Eucalyptus*) y 5 *Moraceae* (cecropia).

Los evaluación de aerosoles en ambientes intramuros recientemente han cobrado importancia, debido a que actualmente pasamos gran parte de nuestro tiempo en estos espacios. Muchas de estas evaluaciones están dirigidas a la cuantificación de esporas de hongos, restando importancia a los granos de polen, debido a que actualmente no son considerados como un contaminante, sin embargo, si contribuye en el desarrollo de diferentes padecimientos. La mayoría de estas evaluaciones se han hecho en ambientes domésticos, escuelas, oficinas y hospitales. Existen diferentes rutas de ingreso de los granos de polen hacia ambientes intramuros, el más significativo es por medio de la ventilación, sin embargo también se debe considerar el transporte en la ropa y en los zapatos de las personas (Cecchi, 2013).

Las concentraciones promedio de granos de polen reportadas en la literatura para ambientes intramuros varían desde: 10 granos/m^3 (Huggs, *et al.*, 2007), 16 granos/m^3 , 25.1 granos/m^3 (Tormo-Molina *et al.*, 2009) y hasta 71 granos/m^3 (Lee *et al.*, 2006), como se puede observar las registradas en este estudio están dentro del promedio reportado, sin embargo existen algunas concentraciones picos en los pisos 3, 8 y 9, donde el rango de granos de polen registrados fue de 200 y 380 granos/m^3, en estos casos resulta importante localizar fuentes internas como son plantas ornamentales, sin embargo debemos recordar que no existe una concentración límite para inducir efectos, ya que estos dependerán de la sensibilidad de las personas y del tipo polínico al que este expuesto.

3. Análisis del polvo de alfombras

3.1 Bacterias

Las concentraciones de bacterias mesofílicas cultivables y Gram negativas obtenidas del polvo de alfombras se reportan en número de unidades formadoras de colonias por cada 500 mg de polvo (UFC/500 mg).

En la zona norte del edificio la concentración más alta de bacterias mesofílicas cultivables se obtuvo en el piso 6, con 1740 x 10^3 UFC/500 mg (Tabla 6), y la más baja en el piso 8, con 210 x 10^3 UFC/500 mg; la concentración promedio en esta área fue de 988.3 x 10^3 UFC/500 mg.

En la zona sur, la concentración máxima fue de 920 x 10^3 UFC/500 mg, obtenida en el piso 2, y la mínima de 220 x 10^3 UFC/500 mg, registrada en el piso 3. El promedio en esta área fue de 455 x 10^3 UFC/500 mg de polvo.

Tabla 6. Concentración de bacterias mesofílicas cultivables y Gram negativas aisladas del polvo de alfombras

Piso	Bacterias mesofílicas (UFC/500 mg)		Bacterias Gram negativas (UFC/500 mg)	
	Norte	Sur	Norte	Sur
1	850,000	330,000	14,000	1,700
2	950,000	920,000	9,000	16,700
3	820,000	220,000	1,500	1,700
6	1,740,000	660,000	600	11,500
8	210,000	340,000	ND	5,500
9	1,360,000	260,000	9,600	600

UFC/500 mg: Unidades formadoras de colonias por cada 500 mg de polvo

Los niveles de bacterias Gram negativas fueron considerablemente más bajos que las Gram positivas, constituyendo <2.0 % del total de bacterias mesofílicas cultivables. En la zona norte las concentraciones de bacterias Gram negativas se encontraron desde no detectables en el piso 8, hasta 14 x 10^3 UFC/500 mg, en el piso 1. En el sur, la concentración mínima fue de 600 UFC/500 mg, obtenida también en el piso 9, y la máxima de 16.7 x 10^3 UFC/500 mg, en el piso 2.

No se encontró diferencia significativa ($p>0.05$) entre las concentraciones de bacterias, tanto mesofílicas cultivables como Gram negativas, aisladas del polvo en las zonas norte y sur del edificio.

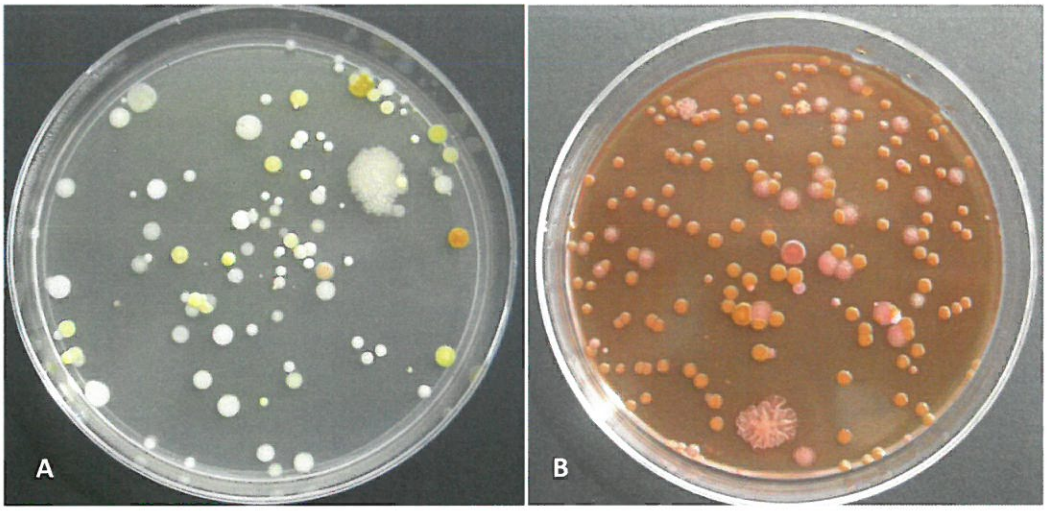


Figura 24. Bacterias aisladas del polvo, desarrolladas en TSA (A) y MacConkey (B).

Los géneros de bacterias Gram positivas más abundantes fueron *Staphylococcus, Micrococcus* y *Bacillus* (Figura 25). Se identificaron siete especies de *Staphylococcus*, siendo las más abundantes *S. hominis*, *S. warneri* y *S.*

auricularis. *S. aureus* sólo se detectó en los pisos 1 y 6, en la zona sur del edificio. (Tabla 7). *Staphylococcus* fue la bacteria aislada con mayor frecuencia en las muestras de polvo de alfombras. Estas bacterias generalmente son dispersadas en el aire a partir de la piel de los humanos, superficies orales y nasales, así como el cabello. *S. epidermidis* y *S. hominis* son las especies más abundantes en la piel de los humanos. Algunas especies de estafilococos, como *S. aureus*, actúan como patógenos oportunistas asociados a infecciones nosocomiales o en personas inmunocomprometidas (Pedrari, 2007).

La segunda especie más abundante fue *Micrococcus luteus*, que son cocos Gram positivos, aerobios, saprofíticos, se encuentran en el suelo, polvo, agua y aire. Forman parte de La microbiota de La piel de mamíferos; coloniza la boca de humanos, orto-faringe y tracto respiratorio superior. Esta bacteria puede tolerar la sequedad y altas concentraciones de sal, sin formar esporas. Sobrevive en ambientes oligotrofos por largos períodos de tiempo (Madigan y Martinko, 2005).

Bacillus, como ya se mencionó, es una bacteria que puede producir endoesporas, por lo que es común encontrarla en el polvo y el suelo, donde pueden permanecer en estado latente bajo condiciones de baja humedad o altas temperaturas. *Kocuria* spp. es una bacteria Gram positiva, aerobia, no esporulada. Son comensales no patógenos, colonizan la piel, la mucosa y la orto-faringe de humanos. Se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza como suelo, rizosfera, agua dulce, agua marina y en comidas fermentadas. *Aerococcus* es un coco Gram positive, anaerobio facultativo; ha sido aislado del aire, vegetación, polvo, hospitales y ambiente marino; se considera parte de la microbiota de animales y humanos, aislado de la piel, oídos y ojos. *A. viridans* se ha asociado con diferentes infecciones en humanos como endocarditis, infecciones del tracto urinario y artritis (Martín, *et al.,* 2007).

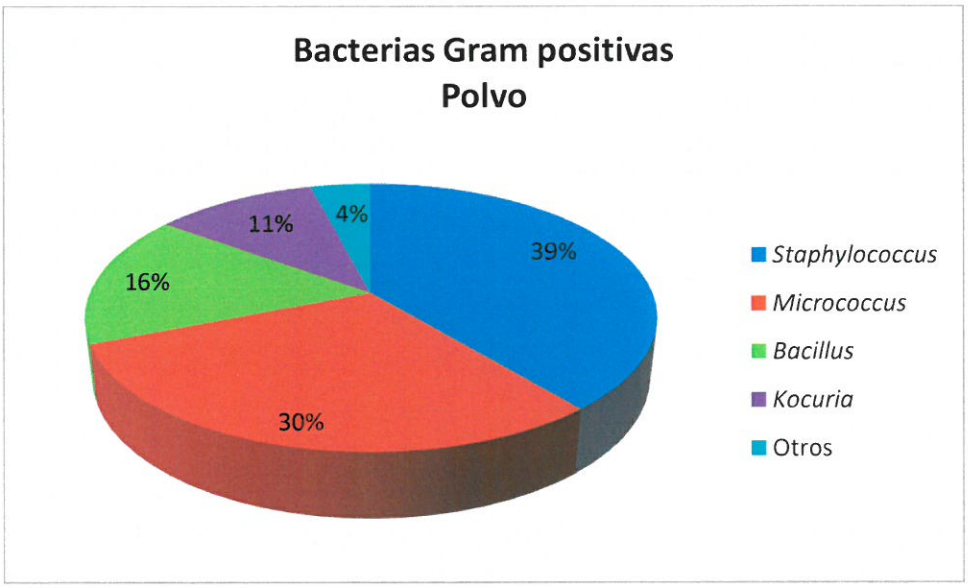


Figura 25. Bacterias Gram positivas aisladas del polvo.

Tabla 7. Bacterias identificadas del polvo

Gram positivas	Gram negativas
Aerococcus viridans	*Acinetobacter haemolyticus*
Bacillus spp.	*Citrobacter youngae*
Dermacoccus nishinomigaensis	*Enterobacter cloacae*
Kocuria varians	*Escherichia coli*
Kocuria kristinae	*Escherichia vulneris*
Micrococcus luteus	*Klebsiella pneumoniae*
Staphylococcus aureus	*Leclercia adecarboxylata*
Staphylococcus auricularis	*Ochrobactrum anthropi*
Staphylococcus cohnii	*Pantoea spp.*
Staphylococcus epidermidis	*Pantoea agglomerans*
Staphylococcus haemolyticus	*Pseudomonas aeruginosa*
Staphylococcus hominis	*Pseudomonas fluorescens*
Staphylococcus warneri	*Pseudomonas putida*
	Rahnella aquatilis
Actinobacterias	*Serratia odorifera*
	Bacilos Gram negativos no fermentadores

En relación a las bacterias Gram negativas (Tabla 7), en total se identificaron 14 especies. Los géneros más abundantes fueron *Pantoea* y *Pseudomonas.* Se encontraron también bacilos Gram negativos no fermentadores que no pudieron ser identificados con el equipo Vitek II. Aunque en menor concentración, destaca la presencia de *Escherichia coli, Klebsiella pneumoniae* y *Citrobacter*, consideradas dentro del grupo de bacterias coliformes.

Pantoea spp. es una bacteria ubicua en el ambiente, se ha encontrado en el suelo y agua, aunque predomina en la filósfera de diferentes plantas. Las especies del género *Pseudomonas* son organismos ubicuos, se han aislado tanto de suelos limpios como contaminados; predominan en la rizosfera y la filosfera de las plantas; se han aislado de ambientes acuáticos, tanto de agua dulce como de aguas marinas. En general son inocuas para el hombre, aunque también existen patógenos oportunistas y patógenos de animales y plantas.

Aunque *Pantoea* y *Pseudomonas* han sido aisladas frecuentemente de muestras similares (Bouillard *et al.*, 2005), el resultado es interesante ya que en condiciones normales la comunidad bacteriana debe ser una mezcla de diversas especies; en el momento en que predomina una especie bacteriana, indica que existen factores que favorecen su desarrollo (como pueden ser humedad, temperatura o disponibilidad de nutrientes) y por lo tanto el predominio de una especie constituye un riesgo hacia los residentes (OSHA, 2008).

Con base en estos resultados, se puede concluir que la principal fuente de bacterias en el aire proviene del polvo depositado en las alfombras, ya que se

encontraron especies similares en ambos ambientes. El polvo orgánico constituye un ambiente ideal para la sobrevivencia de las bacterias y puede ser considerado un reservorio de microorganismos para la contaminación del aire y las superficies (Jacobs, 1994). Se ha reportado que las alfombras actúan como filtros de partículas y gases suspendidos en la atmósfera (EPA, 2010). Las partículas acarreadas en los zapatos, los hidrocarburos generados en las calles y que se infiltran al interior, los pesticidas, etc., son atrapados por las fibras de las alfombras, permaneciendo allí por largos períodos de tiempo y eventualmente son liberados en el aire. Las alfombras también son el ambiente ideal para el desarrollo de los ácaros del polvo, los cuales consumen las descamaciones de la piel de humanos y producen altos niveles de excrementos alergenos. El aspirado reduce los contaminantes pero no los elimina totalmente; asimismo, los productos de limpieza agresivos pueden dejar residuos tóxicos en las alfombras, especialmente si son usados inapropiadamente.

3.2 Determinación de bacterias coliformes en polvo

En la Tabla 8 se presenta el número más probable (NMP) de bacterias coliformes totales y fecales obtenido de las muestras de polvo. El límite de detección fue de 3.0 NMP/g de polvo. El número más alto de coliformes totales se obtuvo en el piso 9, con >11,000 NMP/g. De manera general se aprecia que las concentraciones fueron más altas en la zona sur, en comparación con las del norte. Esto se puede deber a que en esta área del edificio existe un mayor flujo de personas que transportan las bacterias en la suela de los zapatos, quedando atrapadas en las alfombras.

En relación a las bacterias coliformes fecales, se detectó su presencia en siete de las doce muestras de polvo tomadas, con una concentración máxima de 140 NMP/g de polvo en la zona norte del piso 9. En el piso 8 no se detectaron coliformes fecales en las dos zonas muestreadas. Llama la atención que el mayor número de bacterias coliformes totales y fecales se obtuviera en el piso 9, donde se observó un número reducido de personas; sin embargo, este resultado nos indica que probablemente el servicio de aspirado de alfombra no se realiza frecuentemente, lo que favorece la acumulación de bacterias en la misma.

Aunque el número de coliformes fecales no es alto, no es apropiado encontrar este tipo de bacterias en el suelo de intramuros, ya que nos indica contaminación por material fecal. Las bacterias identificadas como coliformes fecales fueron *Escherichia coli* y *Klebsiella pnemoniae. E. coli* es indicadora de contaminación fecal reciente, ya que su hábitat primario es el intestino de humanos y otros mamíferos, y no sobrevive por largos períodos en hábitats secundarios como el suelo o el agua. *Klebsiella pneumoniae* es un bacilo Gram negativo que también forma parte de la microbiota del intestino del hombre, aunque también se ha aislado del suelo. Esta bacteria está implicada principalmente en infecciones intrahospitalarias tales como septicemia, infecciones del aparato respiratorio y vías

urinarias (Lautenbach *et al.*, 2001). Causa alrededor del 1% de las neumonías bacterianas y puede causar condensación hemorrágica extensa del pulmón.

Tabla 8. Número más probable de bacterias coliformes totales y fecales encontradas en el polvo de alfombras

Piso	Coliformes totales (NMP/g)		Coliformes fecales (NMP/g)	
	Norte	Sur	Norte	Sur
1	930	11000	ND	91
2	750	930	30	36
3	930	930	36	ND
6	140	4600	91	ND
8	2400	4600	ND	ND
9	>11000	>11000	140	91

NMP/g: Número más probable de bacterias por 500 mg de polvo
ND: No detectable (NMP < 3.0)

3.3 Propágulos fúngicos en polvo

Con respecto a la concentración de propágulos fúngicos (Tabla 9) colectados en el polvo depositado, podemos observar que los valores más bajos del ala norte se registraron en el piso 6, con valores de 7000 UFC/500 mg de polvo, mientras que los valores más elevados se observaron en el piso 1, con valores de 31,000 UFC/500 mg de polvo, mientras que en el ala sur, los valores más bajos corresponden también al piso 6 con un valor de 2000 UFC/500 mg de polvo, y el más elevado corresponde al piso 2 con 26000 UFC/500 mg de polvo. Nuevamente como se muestra en la Figura 26, los géneros más abundantes son *Penicillium, Cladosporium, Aspergillus*, *Rhizopus* en este caso *Penicillium* presentó las concentraciones más elevadas

Tabla 9. Concentraciones de propágulos fúngicos y levaduras presentes en el polvo muestreado

Piso	Propágulos fúngicos en polvo (UFC/500 mg de polvo)		Levaduras (UFC/500 mg de polvo)	
	Norte	Sur	Norte	Sur
1	31×10^3	22×10^3	20×10^3	ND
2	10×10^3	26×10^3	18×10^3	30×10^3
3	14×10^3	9×10^3	11×10^3	10×10^3
6	7×10^3	2×10^3	9×10^3	11×10^3
8	13×10^3	13×10^3	12×10^3	15×10^3
9	8×10^3	21×10^3	NC	58×10^3

NC: No cuantificable > 500×10^3

Las concentraciones de propágulos fúngicos presentes en polvo muestran una gran variabilidad, ya que esta va a depender de la composición del mismo. Existen reportes con concentraciones máximas que van de 103 a 105 X 10^3 UFC/g de polvo (Pitkäranta *et al.*, 2008), y aunque en este estudio las concentraciones están por debajo a las reportadas, como ya se mencionó con anterioridad el polvo puede ser un lugar de depósito y si está suficientemente húmedo un lugar propicio para el desarrollo de hongos.

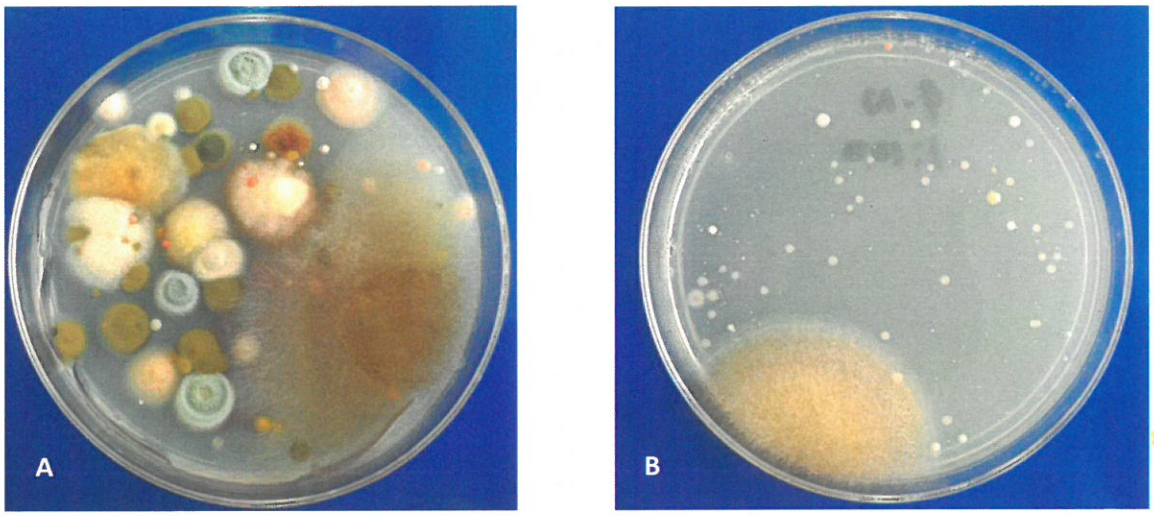


Figura 26. Propágulos fúngicos aislados del polvo colectado en el ala norte del piso 1 (A) y levaduras del ala norte del piso 9 (B).

En el caso de las levaduras, éstas fueron más abundantes que los propágalos fúngicos y la concentración más elevada se registró en el ala norte del piso 9 presentando valores por arriba de los 500 X 10^3 UFC/500 mg (Tabla 9). Es común encontrar altas concentraciones de levaduras en ambientes intramuros (Flannigan, 1993). Se sugiere que las levaduras son un taxón que se relaciona con la actividad humana porque su concentración se ha asociado con el número de personas en las oficinas y con la naturaleza de los materiales, como puede ser la presencia de alfombras. (Wu *et al.*, 2005), condición que se presenta en las oficinas de la CONAMED.

4. Piso de loseta y plafón

4.1 Bacterias

Loseta. Las muestras tomadas del piso de loseta se reportan en unidades formadoras de colonias (UFC) por 30 cm^2. Las concentraciones de bacterias mesofílicas cultivables fueron superiores en la zona norte del edificio, en ambos pisos (Tabla 10), con un valor máximo de 27,400 UFC/30 cm^2, en el piso 1. No se detectó la presencia de bacterias Gram negativas.

Tabla 10. Concentración de bacterias (UFC/30 cm^2) aisladas del piso de loseta

Bacterias	Piso 1		Piso 2	
	Norte	Sur	Norte	Sur
Mesofílicas	27,400	2,700	11,800	1,800
Gram negativas	ND	ND	ND	ND

El género más abundante fue *Staphylococcus*, constituyendo el 80% de las bacterias aisladas. (Figura 27). Predominó la especie *S. haemolyticus*, seguida de *Micrococcus luteus* y *Kocuria varians*.

S. haemolyticus es un miembro del género *Staphylococcus*, coagulasa-negativo, forma parte de la microbiota normal de la piel en humanos y otros mamíferos; es abundante en las axilas y el área inguinal de los humanos. Generalmente los *Staphylococcus* coagulasa-negativos son considerados menos virulentros que los coagulasa-positivos; sin embargo, estudios recientes indican que *S. haemolyticus* ha emergido como uno de los principales causantes de infecciones oportunistas, debido sobre todo a su alta resistencia a los antibióticos entre los que se incluyen meticilina, gentamicina y eritromicina. Los genes de resistencia de estos antibióticos se pueden localizar en el cromosoma y/o plásmidos (Froggat *et al.*, 1989), por lo que pueden ser transmitidos a otras bacterias con mayor virulencia como *S. aureus*.

La predominancia de estas bacterias en el piso de loseta es de llamar la atención, ya que indica un inadecuado servicio de limpieza en estas áreas. Probablemente el agua con la que se limpia el piso no se cambia con frecuencia o existe desarrollo de estas bacterias sobre el trapeador. Es recomendable limpiar con un poco de cloro en el agua.

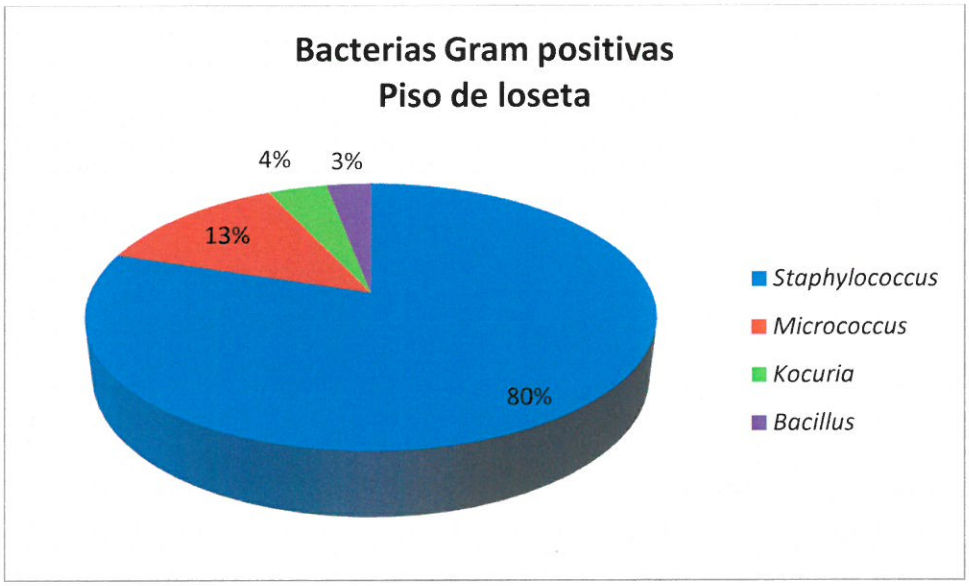


Figura 27. Bacterias identificadas del piso de loseta.

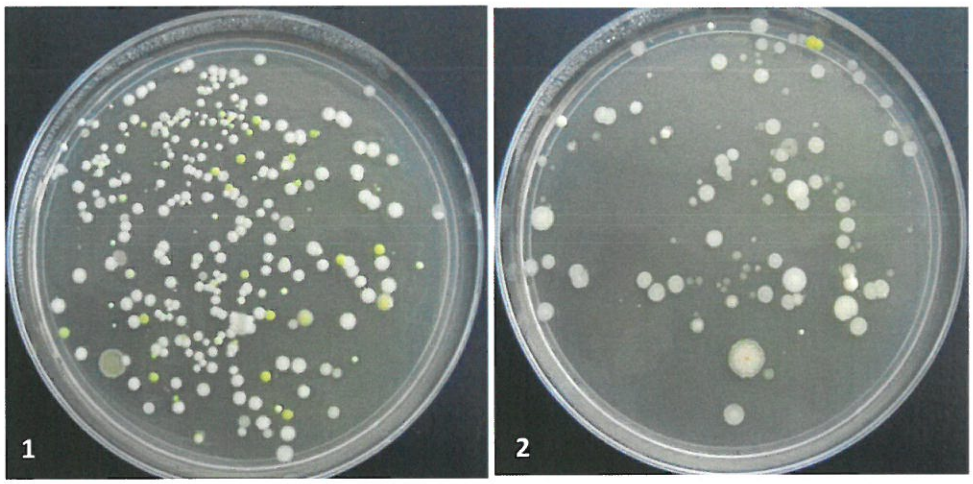


Figura 28. Bacterias aisladas de polvo de loseta, pisos 1 y 2.

Plafón. Con respecto a las muestras tomadas de la placa de plafón, la concentración fue baja. En la muestra tomada de la parte anterior no hubo desarrollo de bacterias; en la posterior, se obtuvieron 3000 UFC/10 cm^2 bacterias mesofílicas cultivables. No se detectó la presencia de bacterias Gram negativas. Sólo se identificaron, en orden de abundancia, *Bacillus* y *Micrococcus luteus*. La presencia de estas bacterias se asocia con la acumulación del polvo sobre el plafón, ya que son microorganismos que pueden formar endoesporas (como *Bacillus*) o soportar condiciones de baja humedad (como *Micrococcus*), permaneciendo viables en el ambiente por largos períodos de tiempo.

4.2 Propágulos fúngicos del polvo de loseta y plafón.

Loseta. Con respecto a las muestras tomadas del piso de loseta, las concentraciones de propágulos fúngicos fueron superiores en el ala sur de ambos pisos, registrándose una concentración máxima de 600 UFC/30 cm^2 para el piso 1, y de 400 UFC/30 cm^2 para el piso 2, cabe mencionar que en esta última sólo se observó desarrollo de levaduras y no de hongos filamentosos, mientras que en la ala norte la concentraciones fueron de 200 y 300 UFC/30 cm2, respectivamente.

A diferencia de las bacterias, se puede observar una clara disminución en el desarrollo de propágulos fúngicos en las áreas cubiertas por losetas con respecto a las áreas con alfombras, por lo que la recomendación consiste en realizar el cambio de dicho material.

Plafón. Los plafones de concreto con fibras probablemente de marca DUROCK que se analizaron, presentan marca de humedad en el pasado, pero actualmente contenían poca humedad. Los resultados en cuanto al desarrollo de propágulos fúngicos en estos plafones, sólo fue evidente en la parte posterior del mismo, que corresponde al sitio en donde se acumula el polvo (Figura 29). Las concentraciones que se registraron fueron de 9700 UFC/10 cm^2 y los géneros más abundantes fueron *Penicillium, Cladosporium* y *Aspergillus*, en este último cabe mencionar que se identificó la presencia *de Aspergillus fumigatus*, el cuál ha sido clasificado como altamente peligroso; también hubo crecimiento de *Monilia* y levaduras, sin embargo, a pesar de que esta cara del plafón no está en contacto con las personas que laboran dentro de las oficinas, las esporas pueden salir del plafón y afectar a las personas de las oficinas.

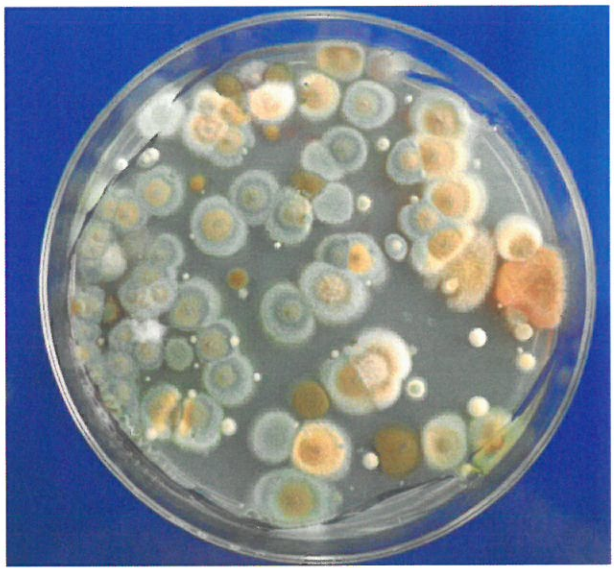


Figura 29. Crecimiento de propágulos fúngicos presentes en la cara posterior del plafón.

5. Resultados de partículas suspendidas PM_{10}.

Las concentraciones de partículas suspendidas menores de 10µm (PM_{10}) colectadas con el equipo Mini-Vol y los datos de parámetros meteorológicos se presentan en la Tabla 11. En la zona norte los valores de PM_{10} fluctuaron entre 31.7 a 50.6 µg/m^3, con un valor medio de 42.7 µg/m^3. En la zona sur se obtuvieron valores entre 38.4 a 62.8 µg/m^3, con una media de 49.5 µg/m^3. En ambas zonas, las concentraciones más altas de PM_{10} se obtuvieron en el piso 9 del edificio. Estadísticamente no se encontró diferencia significativa entre las concentraciones de PM_{10} registradas en todos los puntos muestreados ($p>0.05$).

En general se puede apreciar que los valores de PM_{10} son bajos; Molhave *et al.*, 2000, reportan concentraciones de polvo suspendido en el aire de oficinas que fluctúan entre 220 a 380 µg/m^3 de aire, que son valores superiores a los registrados en este estudio. En la Figura 30 se muestran los filtros de teflón impactados con PM_{10}, obtenidos durante los muestreos.

Tabla 11. Concentración de partículas suspendidas (PM_{10}) y datos de parámetros ambientales

Pisos	PM_{10} (µg/m^3)		Temperatura (ºC)		Humedad relativa (%)		Índice de confort (ºC)	
	Norte	Sur	Norte	Sur	Norte	Sur	Norte	Sur
1	47.3	40.8	20.7	20.1	34.0	35.0	17.9	17.5
2	42.6	61.8	21.4	20.9	31.0	30.0	18.3	17.8
3	38.7	44.1	21.9	21.3	30.3	30.5	18.6	18.2
6	45.2	49.0	23.2	22.4	30.0	29.5	19.5	18.9
8	31.7	38.4	23.9	22.5	25.0	27.0	19.7	18.9
9	50.6	62.8	23.9	23.1	23.5	23.3	19.6	19.1

ºC: Grados centígrados
%: Porcentaje de humedad

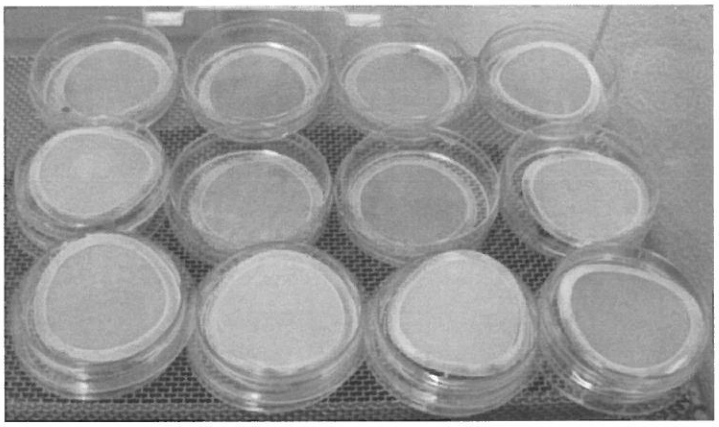


Figura 30. Filtros de teflón usados para el muestreo de PM_{10} durante 24h.

Durante los muestreos se registraron los datos de temperatura ambiente y humedad relativa. La temperatura varió entre 20.1 – 23.9 °C, con una media de 22.1 °C; la humedad relativa fluctuó entre 23.3 - 35 %, con un valor medio de 29.1%. Con los datos de temperatura ambiental y humedad relativa se calculó el índice de confort, con base en la siguiente fórmula:

$$Te = Ta - 0.4\,(Ta - 10)(1 - HR/100)$$

Donde:
Te= índice de confort
Ta= temperatura ambiente
HR= humedad relativa

Este índice se clasifica de acuerdo a la siguiente escala:

2-12.9 °C	muy frío
13-14.9	frío
15-18.9	fresco confortable
19-23.9	neutro cómodo
24-26.9	tibio umbral de comodidad
27-29.9	caluroso seco-húmedo
30-32.0	bochornoso calor extremo

El índice de confort determinado para las áreas de estudio se encontró entre dos niveles: fresco confortable, con valores entre 17.5 – 18.9 °C, y neutro cómodo, con niveles entre 19.1 -19.7 °C. Estos registros indican que, durante el período de muestreo, la temperatura y humedad ambiental fueron apropiadas para un buen ambiente de trabajo; sin embargo, el edificio carece de un sistema de calefacción y/o aire acondicionado general (sólo se cuenta con aire acondicionado localizado en ciertas áreas del edificio). La ventilación natural se da por pequeñas ventilas, siendo insuficiente ya que conforme avanza el día se incrementa la temperatura en el interior de las oficinas (información proporcionada por los empleados de las mismas oficinas). Es muy probable entonces, que durante la temporada de secas-calientes (marzo-mayo) el índice de confort no sea el apropiado para un espacio público de intramuros.

6. Endotoxinas

Los resultados del contenido de endotoxinas (Tabla 12) se reportan en Unidades de Endotoxinas (UE) por mg de polvo procedente de alfombras, o como UE/m^3 para las partículas PM_{10} obtenidas con el equipo Mini-Vol. Todas las muestras analizadas presentaron endotoxinas. Los niveles obtenidos en el polvo de las alfombras de la zona norte oscilaron entre 102.9 – 461.7 UE/mg, con una media aritmética de 195.6 UE/mg. En el sur los valores se encontraron entre 109.1 a 376.8 UE/mg, con una media de 204.2 UE/mg.

Las concentraciones registradas en el aire fluctuaron entre 2.0 – 4.3 UE/m^3 en el norte, con una media de 2.96 UE/m^3, y 2.4 – 6.3 UE/m^3 en el sur, con un promedio de 3.85 UE/m^3. Estadísticamente no se encontró diferencia significativa ($p>0.05$) entre las concentraciones de endotoxinas obtenidas en las zonas norte y sur, tanto de las muestras de polvo, como las de aire.

Tabla 12. Concentración de endotoxinas en las muestras de partículas depositadas y suspendidas (PM_{10}).

Piso	Polvo (UE/mg)		Partículas suspendidas (UE/m^3)	
	Norte	Sur	Norte	Sur
1	102.9	376.8	3.2	3.5
2	148.3	150.9	3.1	4.9
3	175.1	49.3	2.0	2.4
6	130.3	305.3	3.2	3.2
8	155.0	109.1	2.0	2.8
9	461.7	233.8	4.3	6.3

UE: Unidades de endotoxinas

Las endotoxinas son el mayor componente de la membrana externa de las bacterias Gram negativas, se producen durante el crecimiento de las bacterias, su división o lisis. Estas moléculas son termoestables, por lo que pueden permanecer en el polvo durante largos períodos de tiempo. Se ha propuesto que la exposición a bajas concentraciones de endotoxinas estimula el sistema inmune, sobre todo cuando se da en los primeros años de vida (Reed y Milton, 2001). Sin embargo, la exposición a altas concentraciones de endotoxinas puede causar inflamación de las vías respiratorias. Estas moléculas se han implicado en bisinosis, síndrome del polvo orgánico tóxico, incremento en los síntomas de asma, reducción en la función pulmonar y alergias atópicas (Dowes *et al.* 2002; Michel *et al.* 1991; Park *et al.* 2001; Bouillard *et al.*, 2005).

Dado que las bacterias Gram negativas son ubicuas, se ha sugerido que la concentración basal de endotoxinas en el ambiente sea de 10 UE/m^3 (Liebers *et al.* 2008). Para un ambiente residencial se ha propuesto un valor límite de 50 UE/m^3 (Górny y Dutkiewicz, 2002). Las concentraciones encontradas en este estudio son menores de 10 UE/m^3, por lo que se puede concluir que la exposición de las personas en estas oficinas se encuentra dentro de los límites normales, sin ocasionar daño a la salud de los mismos. Los resultados obtenidos en este estudio son similares a los reportados en un estudio realizado en 25 escuelas primarias en Australia, donde se encontró que la concentración de endotoxinas en el aire de intramuros fue menor al límite de detección en 30% de las muestras tomadas, y la concentración promedio fue de 1.2 UE/m^3 (Salonen, *et al.,* 2013).

En relación al polvo depositado, Bouillard y colaboradores (2005) reportan concentraciones de endotoxinas en el polvo de oficinas que fluctuaron entre 4.6-116.2 UE/mg, con una mediana de 20.3 UE/mg. Estos valores son menores a los obtenidos en este estudio, por lo que es necesario mantener un buen programa de limpieza de las alfombras, o incluso cambiarlas si tienen más de 8 años de uso, que el tiempo de vida media propuesto para una alfombra en un ambiente residencial o comercial. En las alfombras viejas es imposible eliminar los contaminantes químicos o biológicos en su totalidad.

A pesar de que las concentraciones de endotoxinas son altas en el polvo de las alfombras, es probable que se asocien principalmente a partículas grandes o aglomerados de partículas, por lo que no se resuspenden fácilmente en el aire, o su permanencia en la atmósfera es de un tiempo corto debido al peso de la partícula y no son fácilmente detectables en las muestras de aire.

Es importante mencionar que la evaluación de los niveles de endotoxinas en las partículas es limitada, ya que el método de extracción claramente favorece la parte soluble de las partículas y las endotoxinas se adsorben fuertemente a su superficie y al filtro de colecta, dificultando su extracción. Se ha reportado un porcentaje de recuperación de endotoxinas del 60% en partículas colectadas en zonas urbanas (Heinrich *et al.,* 2003). A pesar de sus limitaciones, el método de evaluación de *Limulus* Amebocyte Lysate (LAL) es el más usado y nos permite encontrar diferencias entre las zonas muestreadas.

Se recomienda considerar la permanencia de las alfombras en los pisos de esta institución, ya que con base en los resultados obtenidos en este estudio, se observa que éstas son un reservorio de partículas biológicas y compuestos biogénicos; incluso un lavado de alfombras podría favorecer temporalmente el desarrollo de bacterias Gram negativas (principalmente de *Pseudomonas*) y en consecuencia, el aumento de endotoxinas.

CONCLUSIONES

1. Las concentraciones de aeropartículas viables (bacterias y propágalos fúngicos) son bajas, encontrándose dentro de los niveles normales reportados para ambientes intramuros (<1000 UFC/m^3 para aerobacterias y <500 UFC/m^3 para propágulos fúngicos).
2. Un alto porcentaje de las aeropartículas viables se obtuvieron en la fracción respirable del muestreador Andersen (<5µm), lo que indica que dentro de las oficinas se generan partículas finas, muy probablemente liberadas de las alfombras, existiendo el riesgo potencial de que las partículas inhaladas penetren a la región bronco-alveolar y causen diversas reacciones adversas al organismo, como inflamación, alergias e infecciones.
3. Entre los géneros de hongos y bacterias identificados se encontraron algunos de importancia médica como *Aspergillus*, *Penicillium* y *Staphylococcus*, constituyendo un riesgo potencial hacia la salud de las personas que permanecen por varias horas dentro de las oficinas.
4. En relación a las muestras de polvo orgánico depositado, se obtuvieron altas concentraciones tanto de bacterias como de propágalos fúngicos. Se desconoce el dato sobre la periodicidad con que se aspiran las alfombras, pero con base en lo citado por la EPA, se recomienda aspirar al menos tres veces por semana, usando filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air) en la aspiradora, ya que al aspirar se produce disturbio en las partículas depositadas, generando un incremento en las partículas del aire en intramuros (Institute of Medicine, 2000).
5. Se aislaron coliformes fecales en siete de las áreas muestreadas, indicando contaminación fecal en las alfombras.
6. La mayor proporción de propágulos fúngicos del polvo de alfombras estuvo conformado por levaduras, y en las bacterias predominó *Staphylococcus*, *Pseudomonas* y *Pantoea*; el hecho de que la mayoría de los microorganismos presentes en el polvo de la alfombra sean no-formadores de esporas, es indicativo de que existen condiciones de humedad y nutrientes que favorecen su permanencia en este ambiente.
7. Existe una exposición crónica a las endotoxinas, es decir, se está en contacto con este compuesto por un largo período de tiempo a un nivel relativamente bajo, lo que puede favorecer la aparición de síntomas de irritación en las vías respiratorias, y una exacerbación en los casos de alergias y asma.
8. Las concentraciones de partículas suspendidas PM_{10} fueron bajas y el índice de confort se ubicó en el nivel de fresco-confortable y neutro-cómodo.
9. Finalmente se puede concluir que la calidad microbiológica y partículas del aire y del polvo en las oficinas muestreadas, está asociada a su cercanía a una avenida, a la presencia de alfombras y al habito tabáquico, probablemente depositando el alquitrán en la alfombra.

Se hacen las siguientes recomendaciones para mejorar la calidad del ambiente:

1. Evitar la acumulación de objetos o adornos innecesarios sobre los escritorios, así como plantas artificiales, lo que propicia la acumulación del polvo orgánico, conteniendo microorganismos y compuestos biogénicos.
2. Mantener las puertas de acceso a cada piso cerradas, para evitar la infiltración del aire del exterior.
3. Evitar la acumulación de cajas y documentos que no estén en uso, bajo y sobre los escritorios.
4. Sustituir la alfombra por piso de cerámica o de vinilo, ya que con base en los resultados obtenidos, la alfombra parece ser la principal fuente de contaminación en las oficinas.
5. Es recomendable implementar un sistema de aire acondicionado en todo el edificio, ya que la ventilación natural es inadecuada y permite la infiltración de partículas alergenas y cancerígenas, como son los pólenes, metales pesados e hidrocarburos policíclicos aromáticos.
6. Tener continua vigilancia de la humedad en plafones y paredes para evitar el desarrollo de propágulos fúngicos.

REFERENCIAS

Allerman, L., H.W. Meyer, O.M. Poulsen, J.B. Nielsen y F. Gyntelberg. 2003. Inflammatory potential of dust from schools and building related symptoms. Occup. Environ. Med. 60:1-5.

American Public Health Association. 1985. Standard methods for the examination of water ans wastewater. 16ª Ed. American Public Health Association, Washington, D.C.

Andersen Sampler. Inc. 1984. Operating Manual for Andersen Sampler. Atlanta, GA.

Behrendt, H., y W.M. Becker. 2001. Localization, release and bioavailability of pollen allergens: The influence of environmental factors. Current Opinion in Immunology, 13: 709–715.

Bouillard, L., O. Michel, M. Dramaix, M. Devleeschouwer. 2005. Bacterial contamination of indoor air, surfaces, and settled dust, and related dust endotoxins concentrations in healthy office buildings. Ann. Agric. Environ. Med. 12:187-192.

Burge, H. 1990. Bioaerosols: prevalence and health effects in the indoor environments. Journal of Allergy and Clinical Immunology. 86:687-701.

Cecchi, L. 2013. Allergenic Pollen: A Review of the Production, Release, Distribution and Health Impacts. Mikhail So fi ev, Karl-Christian Bergmann Editors. Springer Dordrecht Heidelberg New York London. 217 pp.

Crook, B., y N.C. Burton. 2010. Indoor moulds, Sick Buildong Syndrome and building related illness. Fungal Biology Reviews. 24: 106-113.

Cruz, A.T., A.C. Cazacu y C.H. Allen. 2007. *Pantoea agglomerans*, a plant pathogen causing human disease. J. Clin. Microbio. 45(6):1989-1992.

Douwes J., N. Pearce y D. Heederik. 2002. Does environmental endotoxin exposure prevent asthma?. Thorax. 57, 86–90.

Environmental Protection Agency (EPA), US. 2010. Indoor Air Quality Tools for Schools: Controlling Pollutants and Sources. Accessed February 24, 2010.

Flannigan, B. 1993. Contaminación biológica. En: Calidad del aire interior. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. 44.23.

Froggatt, J. W., J.L. Johnston, D.W. Galetto y G.L. Archer.1989. Antimicrobial resistance in nosocomial isolates of *Staphylococcus haemolyticus*. Antimicrob. Agents Chemother. 33(4): 460-466.

Górny, R.L., y J. Dutkiewicz. 2002. Bacterial and fungal aerosols in indoor environment in Central Eastern European countries. Ann. Agric. Environ. Med. 9(1):17-23.

Heinrich, J., M. Pitz, W. Bischof, N. Krug, y P. Borm. 2003. Endotoxin in fine ($PM_{2.5}$) and coarse ($Pm_{2.5-10}$) particle mass of ambient aerosol. A temporo-spatial analysis. Atmospheric Environment. 37:3659-3667.

Hugg, T. y A. Rantio-Lehtimäki. 2007. Indoor and outdoor pollen concentrations in private and public spaces during the *Betula* pollen season. *Aerobiologia*, *23*:119-129.

Institute of Medicine, Division of Health Promotion, Indoor Air and Disease Prevention. 2000. *Clearing the Air: Asthma and Indoor Air Exposures*. National Academies Press. Washington, DC.

Jacobs, R.R. 1994. Risk Environments. En: Organic Dusts, Exposure, Effects and Prevention. Lewis Publishers. 3-15.

Lautenbach, E., J.B. Patel, W.B. Bilker, P.H. Edelstein, y N.O. Fishman. 2001. Extended-Spectrum β-Lactamase-Producing *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae*: Risk Factors for Infection and Impact of Resistance on Outcomes. Clin. Infect. Dis. 32(8): 1162-1171.

Lee. T.; S.A. Grinshpun, D. Martuzevicius, A. Adhikari, C.M. Crawford, J. Luo, y T. Reponen. 2006. Relationship between indoor and outdoor bioaerosols collected with a button inhalable aerosol sampler in urban homes. *Indoor Air. 16*: 37-47.

Liebers V., Raulf-Heimsoth M. y Brüning T. 2008. Health effects due to endotoxin inhalation. *Arch Toxicol.* 82, 203-210.

Madigan, M., y J. Martinko. 2005. Brock Biology of Microorganisms. 11th ed. Prentice Hall.

Martín, V., A.I. Vela, M. Gilbert, J. Cebolla, J. Goyache, L. Domínguez y F. Fernández-Garayzábal. 2007. Characterization of *Aerococcus viridans* isolates from swine clinical specimens. Journal of Clinical Microbiology. 45(9):3053-3057.

Martín, V., A.I. Vela, M. Gilbert, J. Cebolla, J. Goyache, L. Domínguez y J.F. Fernández-Garayzábal. 2007. Characterization of *Aerococcus viridans* Isolates from Swine Clinical Specimens. J. Clin. Microbiol. 45(9): 3053–3057.

Martínez. M.A. y A. Ovalle. 2013. *Sphingomonas paucimobilis*. Rev. Chilena Infectol. 30(1):49-50.

Michel O., R. Ginanni, J. Duchateau, F. Vertongen, B. Le Bon y R. Sergysels. 1991. Domestic endotoxin esposure and clinical severity of asrhma. Clin Exp Allergy. 21, 441-448.

Molhave, L., T. Schneider, S.K. Kjaergaard, L. Larsen, S. Norn, y O. Jorgensen. 2000. House dust in seven Danish offices. Atmospheric Environment. 34:4767-4779.

Niemela, S. I., P. Vaatanen, J. Mentu, A. Jokinen, P. Jappinen, y P. Sillanpaa. 1985. Microbial incidence in upper respiratory tracts of workers in the paper industry. Applied and Environmental Microbiology. 50(1):163-168.

OSHA (Occupational Safety and Health Act). Field Technical Manual. 2008. Section III, Chapter 2: Indoor Quality Investigation.

Park J-H., D.R. Gold, D.L. Spiegelman, H.A. Burge y D.K. Milton. 2001. House dust endotoxin and wheeze in the first year of life. Am J Respir Crit Care Med. 163, 322-328.

Pedrari, S.C. 2007. Estafilococos coagulasa negatives: el enemigo silente. Rev. Argent. Microbio. 39(1):1-3.

Pitkäranta M., T. Meklin, A. Hyvärinen, L. Paulin, P. Auvinen, A. Nevalainen y H. Rintala. 2008. Analysis of fungal flora in indoor dust by ribosomal DNA sequence analysis, quantitative PCR, and culture. Applied and Environmental Microbiology. 74(1):233-244

Reed C. E. y D.K. Milton. 2001. Endotoxin-stimulated innate immunity: a contributing factor for asthma. J Allergy Clin Inmunol. 108, 157-166.

Sabariego, S., C. Díaz de la Guardia and F. Alba. 2000. The effect of meteorological factors on the daily variation of airborne fungal spores in Granada (southern Spain). Int. J. Biometeorol. 44:1-5.

Salonen, H., C. Duchaine, V. Létourneau, M. Mazaheri, S. Clifford, y L. Morawska. 2013. Endotoxins in Indoor Air and Settled Dust in Primary Schools in a Subtropical Climate. Environ. Sci. Technol. 47: 9882−9890.

Tormo-Molina R., A. Gonzalo-Garijo, I. Silva-Palacios and S. Fernández-Rodríguez. 2009. Seasonal and Spatial Variations of Indoor Pollen in a Hospital. Int. J. Environ. Res. Public Health. 6:3169-3178.

Traidl-Hoffmann, C., T. Jakob, y H. Behrendt. 2009. Determinants of allergenicity. The Journal of Allergy and Clinical Immunology, 123 (3): 558–566.

Tsai, F.C., J.M. Macher, y Y.Y. Hung. 2002. Concentrations of airborne bacteria in 100 U.S. Office Buildings. Proceedings: Indoor Air. 353-358.

Wong, L.T., K.W. Mui, P.S. Hui, W.Y. Chan, y A.K.Y. Law. 2008. Thermal environmental interference with airborne bacteria and fungi levels in air-conditioned offices. Indoor and Built Environment. 17(2): 122-127.

Wu, P.C., Y.Y. Li, C.M. Chiang, C.Y. Huang, C.C. Lee, F.C. Li, y H.J. Su. 2005. Changing microbial concentrations are associated with ventilation performance in Taiwan's air-conditioned office buildings. Indoor Air. 15:19-26.