

© 2022 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 25: 1-9, 2022.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.447>

Microbiota fúngica del aire interior de un Centro de Desarrollo Infantil en zona árida

Vanessa Guadalupe Jiménez-Hernández¹, Héctor Manuel Guzmán-Grijalva¹,
Gilberto García-Navarrete², José Rogelio Ramos-Enríquez³,
Javier Esquer-Peralta¹ y Juana Alvarado-Ibarra^{1,4*}

Universidad de Sonora, ¹Departamento de Ingeniería Industrial, ² Departamento de Ingeniería Química, ³Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, ⁴Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales, Av. Luis Encinas s/n, centro, Hermosillo 83000, Sonora, México. E-mail: *juana.alvarado@unison.mx; Orcid 0000-0003-2943-493X

RESUMEN

Los Centros de Desarrollo Infantil se caracterizan por la atención multidisciplinaria a la población infantil, sector particularmente susceptible a enfermar de las vías respiratorias por la presencia de microorganismos fúngicos que se dispersan por las corrientes de aire entre los espacios donde se encuentran los usuarios. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la concentración fúngica del aire interior del Centro de Desarrollo Infantil de la Universidad de Sonora, la identificación taxonómica de los microhongos recolectados y la descripción de su posible patogenicidad para la salud humana. Se obtuvieron entre los días del 2 al 27 de mayo 89 muestras de 17 sitios donde concurren los menores de edad y un punto testigo. Se realizaron muestreos estáticos a un metro de altura, utilizando un equipo SAS SUPER 100 y la sedimentación en placa de Petri con medio de cultivo Agar Sabouraud. Por la técnica de impronta se identificaron 14 géneros fúngicos, entre los predominantes están *Cladosporium* spp., *Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp., con presencia de 31%, 26% y 16%, respectivamente. La concentración fúngica más alta que se detectó fue de 53 UFC/m³, valor inferior al considerado peligroso por diversas instituciones gubernamentales alrededor del mundo. No obstante, se identificaron especies de interés clínico del género *Aspergillus*, predominando en todos los sitios *A. niger*, seguido por *A. ochraceus*, *A. flavus*, *A. versicolor* y *A. fumigatus*.

Palabras clave: calidad del aire interior, hongos, sedimentación en placa, alérgenos, jardín de niños.

Fungal microbiota from indoor air of a Child Development Center in an arid zone

ABSTRACT

Child Development Centers aim to provide multidisciplinary care for the population of children, a sector particularly susceptible to respiratory diseases due to the presence of fungal microorganisms that are dispersed by air currents in the spaces where users are. Therefore, the objectives of this work were to evaluate the fungal concentration of the indoor air of the Child Development Center of the University of Sonora, identify the taxonomy of the isolates and describe the possible pathogenicity for human health. From May 2 to May 27, 89 samples were taken from 17 places where minors are present and from a control point. Static samplings were carried out at a height of one meter, using SAS SUPER 100 equipment and sedimentation on Petri dishes with Agar Sabouraud culture medium. By the imprint technique, 14 fungal genera were identified. Among the predominant ones are *Cladosporium* spp., *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp., with 31%, 26% and 16%, respectively. The highest fungal concentration detected was 53 CFU/m³, a value lower than considered dangerous due to indoor air pollution by various government institutions around the world. However, species of clinical interest of the genus *Aspergillus* were identified, with *A. niger* predominant in all the sites, followed by *A. ochraceus*, *A. flavus*, *A. versicolor* and *A. fumigatus*.

Keywords: indoor air quality, fungi, plaque sedimentation, allergens, kindergarten.

INTRODUCCIÓN

La calidad del aire interior hace referencia a las condiciones del aire al que están expuestas las personas dentro y en los alrededores de los edificios no industriales, destinados a cualquier uso, como escuelas, oficinas, hospitales y viviendas particulares, entre otros (Guardino, 2011). Los edificios son ecosistemas complejos que albergan millones de microorganismos que interactúan entre sí, con los seres humanos y su entorno (Ortiz, 2018), por lo que la calidad del aire interior es un factor determinante en la salud de los usuarios que permanecen dentro un 90% del tiempo y por ende expuestos a diversas concentraciones de posibles contaminantes que ahí se alojan (EPA, 2020).

Los efectos en la salud que esos espacios contaminados ejercen, preocupan, por la presencia de partículas biológicas como bacterias, virus, protozoarios y hongos, que emplean el aire como medio de transporte y dispersión (Daza, Martínez & Caro, 2015). En el caso específico de los hongos, están asociados a una amplia gama de enfermedades infecciosas y alergias (Méheust, Le Cann, Reboux, Millon & Gangneux, 2014), con la exposición a esporas fúngicas puede aumentar la prevalencia de síntomas respiratorios en infantes (Choo, Jalaludin, Rahmawati & Adam, 2015), especialmente en niños de 0 a 4 años, ya que sus pulmones aún se encuentran en etapa de desarrollo y carecen de las defensas necesarias (Kruisselbrink, Tang, Bruggema & Zeiler, 2016).

En el caso de los Centros de Desarrollo Infantil (CDI) el tema cobra mayor relevancia, principalmente por la creciente cantidad de niños que asisten a estos sitios, que se estima fungen como el principal espacio de actividad social en el que se desenvuelve el infante (Roda *et al.*, 2011), aunado a que diversos estudios documentan que la incidencia de infecciones respiratorias agudas es mayor en los niños que acuden a estancias infantiles, en relación con los estudios en comunidad (Nandí-Lozano, Espinosa, Viñas-Flores & Ávila-Figueroa, 2002).

Las condiciones que determinan un posible daño en la salud de los infantes, durante su permanencia en los CDI, son las características particulares de cada microambiente, como la ventilación, el número de personas presentes, la microbiota predominante en el aire exterior, la limpieza y condiciones generales del sitio (Tolozza-Moreno & Lizarazo-Forero, 2011), el tiempo de permanencia en el inmueble (Pegas *et al.*, 2010) y el nivel de humedad dentro de los edificios; ya que favorece la germinación de esporas (Herrera *et al.*, 2015), que al diseminarse en el aire son susceptibles de inhalarse en concentraciones variables (Díaz *et al.*, 2010).

Aún no se ha alcanzado un consenso internacional que apruebe parámetros o criterios de calidad del aire interior que ayuden a reducir o eliminar impactos potencialmente perjudiciales a la salud y, para México, no se cuenta con una regulación

para diagnosticarla a través de la microbiota. No obstante, existen guías sobre la calidad del aire interior publicadas por la Agencia de Protección Ambiental (US EPA, por sus siglas en inglés), la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, por sus siglas en inglés) y por la Organización Mundial de la Salud, que muestran las características adecuadas que debe poseer la ventilación en espacios cerrados (OMS, 2006; EPA, 2009; ASHRAE, 2010). Sin embargo, es en realidad pobre el nivel de información disponible concerniente a la contaminación por microorganismos, de manera que algunos autores sugieren que un ambiente con más de 1,000 esporas/m³ puede considerarse un ambiente contaminado (Sánchez & Almáguer, 2014).

Las escasas investigaciones sobre el estudio de la calidad del aire en los CDI revelan concentraciones de hongos más altas que en ambientes exteriores (Pegas *et al.*, 2010; Fan, Xie, Liu & Yoshino, 2017). Aunque actualmente no se cuente con valores que indiquen datos de dosis-respuesta para hongos en interiores, se ha sugerido que entre 50 y 10,000 UFC/m³ pudieran servir de referencia para evaluar los riesgos a la salud (Méheust *et al.*, 2014). En los estudios revisados se encontró en común que, los infantes que asisten a un CDI presentan riesgo de enfermedades respiratorias causadas por hongos (Choo *et al.*, 2015, Kruisselbrink *et al.*, 2016; Fan *et al.*, 2017). El reino fúngico, al conformarse por unas 80,000 a 120,000 especies, lo convierte en uno de los menos explorado y estudiado (Webster & Weber, 2007).

Aunado a lo anterior, la clasificación de los hongos potencialmente patógenos para el ser humano se actualiza conforme al uso de nuevas técnicas moleculares que permiten su identificación mediante el análisis secuencial del ADN (Guarro, 2012). Entre los que se encuentran *Zygomycota*, *Ascomycota* y *Basidiomycota*, y que a su vez incluyen a la mayoría de los hongos alérgenos del aire (Levetin, Horner, Scott & ARMCCM, 2016). Específicamente, los géneros *Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus* del filo *Ascomycota* corresponden a los que se encuentran comúnmente en el aire interior. Si bien los ambientes húmedos resultan ser óptimos para el desarrollo de hongos filamentosos, las esporas de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* incluyen a especies xerófilas que pueden sobrevivir en ambientes secos (Fukutomi & Taniguchi, 2015).

Con base en lo anterior, el presente estudio tiene por objetivo evaluar la carga fúngica en el aire interior de las instalaciones del CDI de la Universidad de Sonora, ubicado en una región semiárida, y con ello prevenir los riesgos por afecciones a la salud.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El CDI de la Universidad de Sonora se localiza en Hermosillo, ciudad capital del estado de Sonora. El municipio se ubica a

216 m sobre el nivel del mar y geográficamente a 29° 06' de latitud Norte y 110° 58' de longitud Oeste, se caracteriza por ser una región desértica (Ojeda, Narváez & Quintana, 2014). El CDI es un edificio de un solo nivel, con acceso directo del exterior. Ofrece servicio multidisciplinario a infantes de 2 meses a 5 años 7 meses, de lunes a viernes en horario de 7:30 a 15:00 h.

El inmueble es de muros de ladrillos; las paredes están enjarradas con mortero y recubiertas con pintura; el techo es de losa armada de concreto y plafón interior; el piso es de vitropiso. La institución realiza de forma programada el mantenimiento de los equipos de aire acondicionado, impermeabilización del techo, paredes y fumigación. Las diferentes aulas se mantienen iluminadas artificialmente, con nula ventilación natural, ya que las ventanas se mantienen cerradas, y con temperatura promedio de 22 °C ± 2 °C, misma que se controla con equipo de aire acondicionado para el confort de los usuarios.

Medio de cultivo

El medio de cultivo se preparó con 65 g de polvo de Agar Sabouraud y un litro de agua desionizada. En tubos de ensayo se colocaron 16 mL de la solución y se esterilizaron en autoclave (All American, modelo 25X), a 120 °C por 20 minutos. Al término de la esterilización se adicionó a cada tubo 0.2 mL de ácido tartárico al 10% y se agitaron. Posteriormente, el medio estéril se vació en cajas de Petri de 55 mm, solidificado a temperatura ambiente y almacenado a 4 °C (García, Sánchez, López, Ochoa & Rubio, 2016).

Muestreo

Se realizaron cinco muestreos estáticos entre el 2 y el 27 de mayo en 18 sitios del interior del CDI, identificados como: testigo, cocina, maternal 1 y 2, lactantes 1, 2 y 3, área de cambiado, preescolar 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, biblioteca, comedor y sala de usos múltiples (SUM). Durante el periodo de muestreo no llovió y los datos climáticos se reportan en la Tabla I. Las condiciones meteorológicas se tomaron de los reportes que realiza la estación del Aeropuerto Internacional "Ignacio Pesqueira García" de la ciudad de Hermosillo, Sonora, ubicado aproximadamente a 10 km del CDI.

Las muestras se tomaron a un metro de altura con un equipo SAS SUPER 100 (Thomas Scientific), con capacidad de aspiración de 100 L/min, como se muestra en la Imagen I. Para la captura de muestras de aire, se colocó una caja de Petri con medio de cultivo durante 3 minutos (García & Sánchez, 2012). Al término del periodo, la caja se retiró del muestreador y se colocó de inmediato en una hielera con refrigerante. Las cajas inoculadas se trasladaron al laboratorio de microbiología de la Universidad de Sonora, en donde se incubaron por siete días a 27°C (Tolozza-Moreno & Lizarazo-Forero, 2011). Antes de cada toma de una muestra, el cabezal del equipo se limpió con alcohol etílico al 70%.

Para el conteo de las unidades formadoras de colonias (UFC) por m³ de aire se usó la fórmula $x = Pr (1000/V)$. Donde "V" representa el volumen de aire que circula a través del muestreador durante el lapso en que se toma la muestra y para este caso equivale a 300 L; "r" denota el número de unidades de colonias formadas en una caja de Petri de 55 mm; y "P" alude al conteo probable utilizando la tabla de corrección para ajustar a un impactor de 219 agujeros con cajas de contacto estándar; "x" es el valor de la concentración de esporas fúngicas en el aire (International PBI, 2006; García & Sánchez, 2012)

El desarrollo de las colonias se observó a través del anverso y reverso de la caja, anotando sus características macroscópicas, como pigmentación, presencia de hifas aéreas, zonación o plegamientos, tamaño y textura. Posteriormente, se realizó la identificación de los hongos por la técnica de impronta con cinta adhesiva transparente y con la muestra sobre un portaobjetos, en el que previamente se depositó una gota de colorante lactofenol azul de algodón, para observarla al microscopio óptico marca Leica Modelo CME, con los objetivos de 10 y 40x (Tolozza-Moreno & Lizarazo-Forero, 2011). A partir de la observación de hifas, métulas, fiálides, conidióforos y conidias se determinó el género y la especie del morfotipo aislado.

Análisis estadístico

Los datos experimentales se obtuvieron de un diseño experimental aleatorio simple, con un grupo control denominado

Tabla I. Condiciones climáticas reportadas por la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto Internacional de la ciudad de Hermosillo.

Fecha mayo 2019	Condiciones				
	Temperatura (°C)		Humedad (%)		Velocidad del viento máxima (km/h)
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	
2	34	15	54.8	8.5	20.4
8	33	14	67.1	15.9	29.6
17	34	17	77.6	16.4	31.5
21	32	12	55.4	8.7	25.9
27	32	16	67.5	18.3	24.1

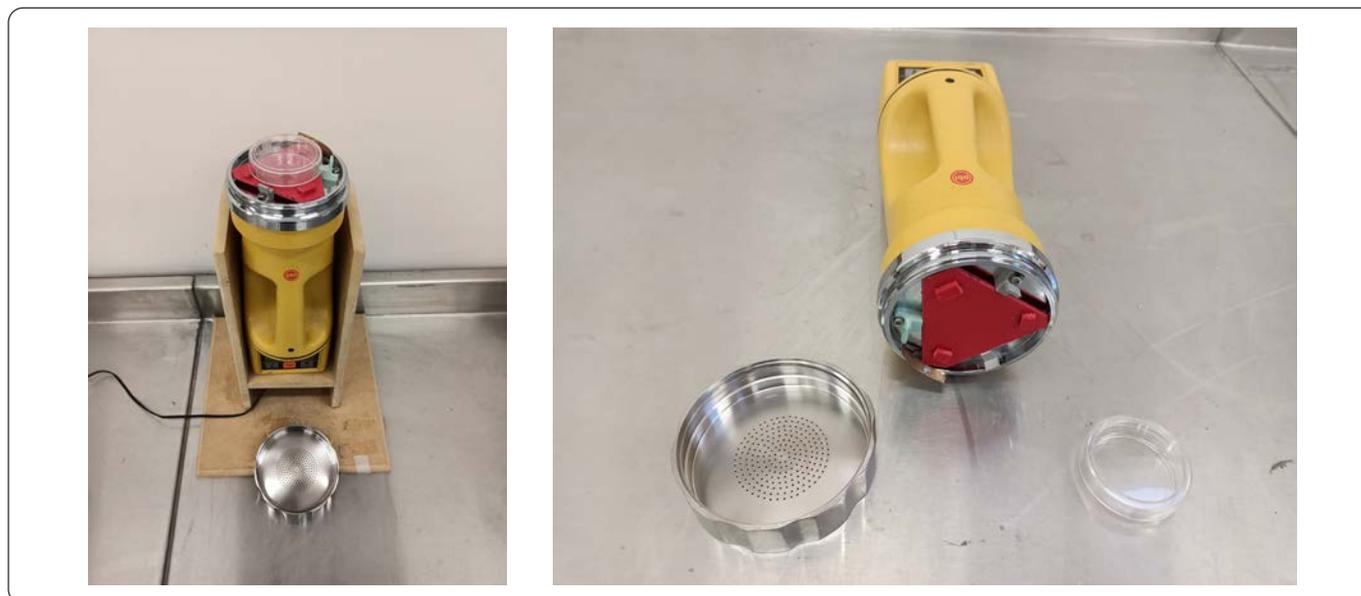


Imagen I. (Izquierda) Equipo SAS SUPER 100 para la toma de muestra de aire en el interior del CDI. (Derecha) Vista del cabezal del equipo.

“testigo”. El factor analizado fue el sitio de muestreo y la variable respuesta la cantidad de UFC/m³. El estadístico fue a través de un análisis de las varianzas (ANOVA) de una vía, llevado a cabo con el programa NCSS Statistical Software 2021 (NCSS LLC. Kaysville, UT). Se evaluó la diferencia significativa entre los sitios muestreados con la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla II se nombran las áreas en donde se tomaron las muestras de las UFC y las fechas. En total, 84 mediciones corresponden a 17 áreas del interior del CDI y las otras cinco al exterior, como testigo. De los resultados, se observa que el 93% de las mediciones del interior son menores o iguales a 20 UFC/m³. Por lo contrario, los niveles más altos correspondieron al 21 de mayo, con 53 UFC/m³ en el área de lactantes 3 (sitio 7) y 33 UFC/m³ para las áreas de Preescolar 2 y SUM, sin embargo, son valores de rango inferior y sin riesgos para la salud. Por otra parte, no fue posible identificar qué factores influyeron para alcanzar los máximos de 53 UFC/m³ y 33 UFC/m³ en el cuarto muestreo, porque en la estación meteorológica no hubo variaciones en la temperatura y la humedad. Los datos, no permiten establecer una correlación entre los niveles de carga fúngica correspondientes al Testigo (sitio 1) y los promedios de las concentraciones en las áreas de muestreo al interior del CDI. Es de destacarse que el valor mínimo de concentración fúngica fue de 0 UFC/m³ en 9 de las 17 áreas muestreadas, en contraposición con el de 53 UFC/m³.

En la Tabla II, se presenta el promedio de UFC en cada uno de los muestreos, que osciló entre las 4 y 17 UFC/m³, siendo,

como ya se mencionó el del 21 de mayo con el mayor número de colonias formadas, ya que no fue posible tomar muestras en las áreas testigo y biblioteca. No obstante, los valores encontrados son muy inferiores a los que se estiman de riesgo para la salud por la Asociación Americana de Higiene Industrial (García *et al.*, 2016). También se presenta el promedio de UFC por m³ en cada área, de las que nueve tienen un valor igual o inferior al del área testigo y ocho superior a la del testigo. Es posible suponer que la carga fúngica externa repercutió en los valores reportados en las áreas del interior, toda vez que las esporas pudieron haberse adherido al calzado y vestimenta de los usuarios de la institución en mayor grado que en otras ocasiones. La compleja interacción entre los espacios ocupados y el comportamiento de sus usuarios afecta los niveles de concentración de hongos en interiores e influye en la diversidad de especies presentes. Lo anterior, potencialmente explicaría el hecho de que las concentraciones máximas detectadas en sitios del interior del CDI sean superiores a las cuantificadas en el área denominada “testigo”, y que se implementó en el exterior del centro en estudio, aún a pesar de las medidas protocolarias de aseo y mantenimiento que tiene la institución. No se halló correlación entre las condiciones ambientales y el número de colonias desarrolladas, resultado similar a lo reportado por Méndez-Puentes, Camacho-Suárez & Echeverry-Hernández (2015).

El haber encontrado bajas concentraciones fúngicas en el aire interior del CDI, incluso por debajo de los límites establecidos por cualquier norma o legislación, no necesariamente indica que estos ambientes sean saludables. Si bien, la concentración fúngica es un factor importante, también lo son el grado de patogenicidad y capacidad metabólica de cada aislamiento, así como el grado de inmunidad de los individuos y el tiempo

Tabla II. Concentración de propágulos fúngicos (UFC/m³) en las diferentes áreas de muestreo.

Sitios de muestreo		Fechas de muestreo/ concentración (UFC/m ³)					Promedio por sitios de muestreo (UFC/m ³)	Desviación estándar por sitios de muestreo (UFC/m ³)
		Mayo 2019						
		2	8	17	21	27		
1	Testigo	ND	3	23	NA	6	8	±9
2	Cocina	3	3	7	10	7	6	±3
3	Maternal 1	ND	3	3	6	3	3	±2
4	Maternal 2	ND	ND	ND	10	3	3	±4
5	Lactantes 1	19	ND	23	7	3	10	±10
6	Lactantes 2	ND	3	3	10	ND	3	±4
7	Lactantes 3	15	13	10	53	3	19	±19
8	Área de cambiado	ND	9	27	7	7	10	±10
9	Preescolar 1	ND	ND	10	12	10	6	±6
10	Preescolar 2	ND	6	ND	33	ND	8	±14
11	Preescolar 3	17	3	13	12	6	10	±6
12	Preescolar 4	16	9	ND	12	3	8	±7
13	Preescolar 5	3	6	13	20	3	9	±7
14	Preescolar 6	3	3	3	19	3	6	±7
15	Preescolar 7	19	10	7	3	6	9	±6
16	Biblioteca	13	3	3	NA	9	7	±5
17	Comedor	3	7	10	23	3	9	±8
18	SUM	3	20	13	33	ND	14	±13
	Promedio por día de muestreo (UFC/m ³)	7	6	9	17	4		
	Desviación estándar (UFC/m ³)	±8	±5	±8	±14	±3		

ND. - No detectado. NA. - No Aplica, debido a que no se tomó muestra.

de exposición, por lo que se hace necesario la identificación morfológica y molecular de los microorganismos aislados.

En la Tabla III se presentan los 14 géneros de hongos identificados en el aire interior del CDI de 728 colonias aisladas. Del total de los muestreos, se encontró que el 31% corresponde al género *Cladosporium* spp., 26% a *Aspergillus* spp., 16% a *Penicillium* spp. y el 27% restante corresponde a otros géneros, entre los que se encuentran *Fusarium*, *Bipolaris*, *Curvularia*, *Rhizopus*, *Mucor*, *Paecilomyces*, *Alternaria*, *Acremonium*, *Scedosporium*, *Aureobasidium pullulans* y *Trichoderma*. Los resultados son congruentes con lo reportado por García et al. (2016), para un estudio en la misma institución en aulas académicas.

Los géneros fúngicos identificados en un 73% corresponden a *Cladosporium* spp., *Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp. Numerosos estudios coinciden en que estos tres géneros son los más comunes y su concentración en el aire varía,

dependiendo de factores biológicos y climáticos (Rojas, Llanes, Benitez, Aira & Malagón, 2007; Araujo, Cabral & Rodrigues, 2008; Allende et al., 2013; Sánchez & Almaguer, 2014). *Cladosporium*, esporula en circunstancias atmosféricas de tiempo seco y sus esporas se esparcen en la atmósfera en días ventosos, de baja humedad relativa y de altas temperaturas, siendo una especie relacionada con el asma (Fraj, 2015). Del género *Aspergillus*, 20 especies se reconocen como patógenas humanas, por el pequeño tamaño de sus conidios que pueden permanecer en suspensión en el ambiente durante períodos largos. Esto aumenta la probabilidad de su inhalación y su consecuente penetración al tracto respiratorio (Rojas et al., 2007; Fairs et al., 2013).

El género *Penicillium* es común en ambientes internos y cerrados y se relaciona con la producción de toxinas perjudiciales para el ser humano y los alimentos (Allende et al., 2013). Se asocia a infecciones invasoras en pacientes inmunocomprometidos.

Tabla III. Densidad relativa de los géneros fúngicos aislados del ambiente del CDI.

Género	Densidad relativa (%)	Imagen micro o macroscópica/aumento
<i>Cladosporium</i>	30.91	 40X
<i>Aspergillus</i>	26.1	 40X
<i>Penicillium</i>	15.8	 10X
<i>Fusarium</i>	4.67	 macroscópico
<i>Bipolaris</i>	3.85	 40X
<i>Curvularia</i>	2.47	 40X
<i>Rhizopus</i>	2.2	 40X
<i>Mucor</i>	1.65	 macroscópico
<i>Paecilomyces</i>	1.37	 40X
<i>Alternaria</i>	1.24	 10X
<i>Acremonium</i>	0.96	 40X
<i>Scedosporium</i>	0.82	 macroscópico
<i>Aureobasidium pullulans</i>	0.82	 macroscópico
<i>Trichoderma</i>	0.41	 40X

Recientemente se relacionó con síntomas de asma en niños (Araujo *et al.*, 2008).

Los géneros *Mucor* y *Rhizopus* han sido aislados de muestras de superficies y junto con *Alternaria* y *Trichoderma* se consideran responsables del biodeterioro de libros, objetos de arte, material audiovisual, maderas, murales y pieles (García & Sánchez, 2012; Valentín, 2007), materiales que se encuentran en el CDI.

En casi todas las áreas se detectaron las cepas de los géneros *Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus*, este último con el mayor número de especies identificadas y de interés clínico, ya que pueden causar infección en el pulmón, en los senos paranasales y en muchos casos se asocian con broncopulmonías alérgicas, aspergilosis, queratitis y sinusitis alérgica (Borrego & Perdomo, 2012), además de comportarse como patógenos oportunistas en pacientes inmunocomprometidos (García & Sánchez, 2012). En la Tabla IV se presentan las especies que se aislaron, *Aspergillus niger* fue el predominante, aunque se detectaron también *A. flavus* y *A. versicolor*, datos coincidentes con lo reportado por Borrego & Perdomo (2012).

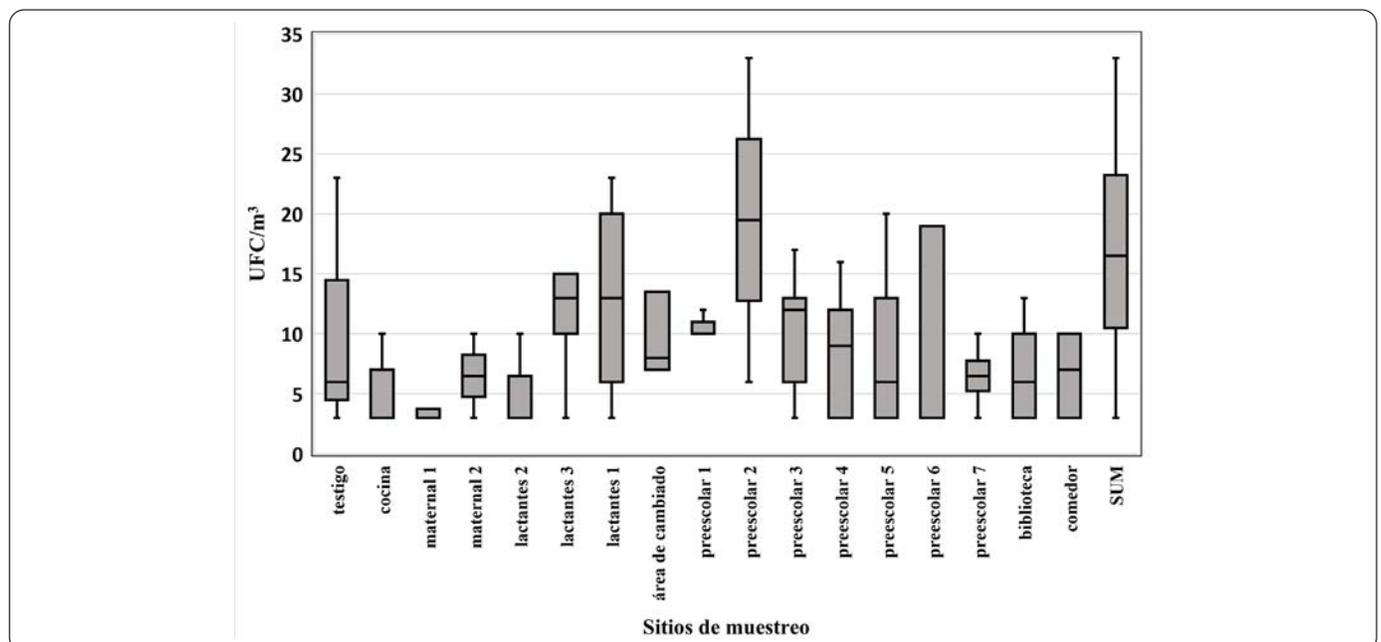
En la Gráfica I se presenta el análisis de las varianzas (ANOVA) de una sola vía, junto con la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). La cantidad de UFC/m³ encontrada en los sitios muestreados, no mostró diferencia significativa entre las denominaciones de uso de cada uno de ellos. Lo anterior, hace suponer que el CDI no tiene un reservorio de hongos nativos y eso, aunado a los programas de mantenimiento y limpieza que llevan a cabo en el sitio, evitan una propagación que represente un riesgo para la salud de los infantes y usuarios en general, ya que el número de UFC/m³ encontrado, y como se mencionó, es inferior al considerado como un riesgo clínico (Sánchez & Almaguer, 2014). No obstante, es importante tener presente que el estudio se realizó en un clima árido-seco, en donde el uso del aire acondicionado se da, obligadamente, en el periodo escolar de abril a octubre y su operación conduce a la condensación de agua con un aumento de la humedad relativa y la temperatura, favoreciendo el crecimiento de los hongos, lo que conduce a tener una limpieza frecuente de los filtros del aire acondicionado (Haleem & Mohan, 2012).

CONCLUSIONES

El CDI de la Universidad de Sonora, no presentó un numeroso reservorio de hongos nativos. Los hongos encontrados durante el estudio no representaron un riesgo de daño a la salud de los usuarios del Centro por su bajo porcentaje de aparición. Los géneros predominantes fueron *Cladosporium*, *Aspergillus* y *Penicillium* que pertenecen a la biota normal del aire interior de recintos cerrados, son identificados en otros estudios como hongos oportunistas causantes de enfermedades respiratorias, porque el riesgo de las personas a enfermarse depende de su inmunocompetencia. También se encontraron *Curvularia* y *Fusarium*. Las áreas de mayor carga fúngica

Tabla IV. Densidad relativa de las especies de *Aspergillus* en las diferentes áreas del CDI.

Área	Especies Densidad relativa (%)				
	<i>A niger</i>	<i>A ochraceus</i>	<i>A flavus</i>	<i>A versicolor</i>	<i>A fumigatus</i>
Testigo	4.5	–	–	–	
Cocina	9.0	–	–	–	
Maternidad 1	9.0	–	23.0	–	100
Maternidad 2	4.5	–	–	–	–
Lactantes 1	4.5	–	–	–	–
Lactantes 2	9.0	–	–	70.0	–
Lactantes 3	4.5	7.7	–	–	–
Área de cambiado	9.0	–	–	–	–
Preescolar 1	4.5	7.7	–	–	–
Preescolar 2	–	18.0	–	–	–
Preescolar 3	–	–	–	30.0	–
Preescolar 4	9.0	–	23.0	–	–
Preescolar 5	4.5	7.7	–	–	–
Preescolar 6	9.0	–	–	–	–
Preescolar 7	4.5	7.7	54.0	–	–
Biblioteca	–	–	–	–	–
Comedor	9.0	18.0	–	–	–
SUM	4.5	33.0	–	–	–
Imagen 40X					



Gráfica I. Análisis estadístico de las UFC/m³ encontradas en los diversos sitios de muestreo

fueron en lactantes 3, preescolar 2 y SUM. Aun cuando las condiciones al interior del edificio son buenas en cuanto a higiene, ventilación, temperatura y aforo, es posible encontrar microorganismos de interés clínico como *A. niger* y *A. flavus* en aire intramuros. Futuras investigaciones requieren la identificación molecular de los hongos aislados y analizar el riesgo en la salud de los infantes, así como evaluar a los que producen toxinas, como *Fusarium*.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT, por otorgar la beca para estudios de Posgrado en sustentabilidad a la estudiante Vanessa Guadalupe Jiménez Hernández.

REFERENCIAS

- Allende, R., Picos, P., Márquez, I., Carrillo, J., García, R.S. & León, J. (2013). Identificación morfológica y molecular de *Penicillium oxalicum* causante de pudrición de tallos y frutos de tomate. *Revista Mexicana de Fitopatología*, **31(1)**, 13-19.
- Araujo, R., Cabral, J. P. & Rodrigues, A. G. (2008). Air filtration systems and restrictive access conditions improve indoor air quality in clinical units: *Penicillium* as a general indicator of hospital indoor fungal levels. *American Journal Infection of Control*, **36(2)**, 129-134. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajic.2007.02.001>
- ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2010). *Ventilation for acceptable indoor air quality*. [En línea] Disponible en: https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Standards%20and%20Guidelines/Standards%20Addenda/62_1_2007_Addendum-q_final.pdf. [Último acceso: 25 marzo 2022].
- Borrego, S. & Perdomo, I. (2012). Aerobiological investigations inside repositories of the National Archive of the Republic of Cuba. *Aerobiología*, **28**, 303-316. <https://doi.org/10.1007/s10453-011-9235-x>
- Choo, C., Jalaludin, J., Rahmawati, T. & Adam, N. (2015). Preschools' indoor air quality and respiratory health symptoms among preschoolers in Selangor. *Procedia Environmental Sciences*, **30**, 303-308. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.10.054>
- Daza, M. A., Martínez, D. X. & Caro, P. A. (2015). Contaminación microbiológica del aire interior y el síndrome del edificio enfermo. *Biociencias*, **10(2)**, 37-50. <https://doi.org/10.18041/2390-0512/bioc..2.2641>
- Díaz, M., Gutiérrez, J., Gutiérrez, A., González, M del C., Vidal, G., Zaragoza, R.M. & Calderón, C. (2010). Caracterización aerobiológica de ambientes intramuro en presencia de cubiertas vegetales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, **26(4)**, 279-289.
- EPA, Environmental Protection Agency. (2009). *USEPA Indoor Air Quality Tools for Schools Coordinator's Guide*. [En línea] Disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-11/documents/coordinators_guide.pdf. [Último acceso: 25 marzo 2022].
- EPA, Environmental Protection Agency. (2020). *Calidad del aire de los interiores*. [En línea] Disponible en: <https://espanol.epa.gov/cai/por-que-la-calidad-del-aire-de-los-interiores-es-importante-para-las-escuelas> [Último acceso: 25 marzo 2022].
- Fairs, A., Agbetile, J., Bourne, M., Hargadon, B., Monteiro, W. R. & Morley, J. P. (2013). Isolation of *Aspergillus fumigatus* from sputum is associated with elevated airborne levels in homes of patients with asthma. *Indoor Air*, **23(4)**, 275-284. <https://doi.org/10.1111/ina.12020>
- Fan, G., Xie, J., Liu, J. & Yoshino, H. (2017). Investigation of indoor environmental quality in urban dwellings with schoolchildren in Beijing, China. *Indoor and Built Environment*, **26(5)**, 694-716. <https://doi.org/10.1177/1420326X16636184>
- Fraj, J. (2015). Alergia a hongos y asma grave. *Medicina Respiratoria*, **8(1)**, 7-15.
- Fukutomi, Y. & Taniguchi, M. (2015). Sensitization to fungal allergens: Resolved and unresolved issues. *Allergology International*, **64(4)**, 321-331. <https://doi.org/10.1016/j.alit.2015.05.007>
- García, G., Sánchez, G., López, S., Ochoa, M. E. & Rubio, V. (2016). Presencia de hongos en el aire de aulas del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad de Sonora, Unidad Centro. *EPISTEMUS*, **20(10)**, 14-20.
- García, M. & Sánchez, R. (2012). Estudio de la concentración fúngica aérea de los depósitos del Archivo Municipal de Cárdenas, Cuba. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, **32(1)**, 37-43.
- Guardino, X. (2011). Calidad del aire interior. En: *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. s.l.:s.n., pp. 44.2-44.15.
- Guarro, J. (2012). Taxonomía y biología de los hongos causantes de infección en humanos. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, **30(1)**, 33-39. DOI:10.1016/j.eimc.2011.09.006
- Haleem, A. A., & Mohan, S. (2012). Fungal pollution of indoor environments and its management. *Saudi Journal of Biological Sciences*, **19**, 405-426. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.06.002>
- Herrera, K., Cobar, O., Barrios, R., Pierola, K., Chamalé, W., Rosales, C., Quan, J., Moreno, M., Paxtor, J. & Maas, J. (2015). Evaluación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en dos colecciones biológicas y dos museos de la ciudad de Guatemala. *Revista Científica*, **25(2)**, 43-58. <https://doi.org/10.54495/Rev.Cientifica.v25i2.90>

- International PBI. (2006). *Instructions Manual, SAS Super 100/180, Duo SAS Super 360, SAS Isolator*. [En línea] Disponible en: https://archive-resources.coleparmer.com/Manual_pdfs/33687-02.pdf. [Último acceso: 25 marzo 2022].
- Kruisselbrink, T., Tang, J., Bruggema, H. & Zeiler, W. (2016). The indoor environmental quality in a Dutch day care centres: the effects of ventilation on the conditions within the baby cots. En: P. K. Heiselberg, ed. *CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress: volume 5*. Dinamarca: Aalborg University, pp. 1-8.
- Levetin, E., Horner, W. E., Scott, J. A. & ARMCCM. (2016). Taxonomy of Allergenic Fungi. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, **4**(3), 375-385. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2015.10.012>
- Méheust, D., Le Cann, P., Reboux, G., Millon, L. & Gangneux, J. (2014). Indoor fungal contamination: Health risks and measurement methods in hospitals, homes and workplaces. *Critical Reviews in Microbiology*, **40**(3), 248-260. <https://doi.org/10.3109/1040841X.2013.777687>
- Méndez-Puentes, C. A., Camacho-Suárez, J. G. & Echeverry-Hernández, S. (2015). Identificación de bacterias y hongos en el aire de Neiva, Colombia. *Revista de Salud Pública*, **17**(5), 728-737. <http://dx.doi.org/10.15446/rsap.v17n5.38468>
- Nandí-Lozano, E., Espinosa, L. E., Viñas-Flores, L. & Avila-Figueroa, C. (2002). Infección respiratoria aguda en niños que acuden a un centro de desarrollo infantil. *Salud Pública de México*, **44**(3), 201-206.
- Ojeda, A., Narváez, A. & Quintana, J. (2014). Gestión del agua doméstica urbana en Hermosillo (Sonora, México). *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía*, **23**(1), 147-164.
- OMS, Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Ginebra: OMS.
- Ortiz, G. (2018). Evaluación de bioaerosoles fúngicos y la calidad del aire interior de un ambiente intrahospitalario en la Ciudad de Puebla. *Repositorio Institucional Benemérita Universidad de Puebla*. [En línea] Disponible en: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/7414>. [Último acceso: 25 marzo 2022]
- Pegas, P. N., Alves, C. A., Evtuyugina, M. G., Nunes, T., Cerqueira, M., Franchi, M., Pio, C. A., Almeida, S. M. & Freitas, M. C. (2010). Indoor air quality in elementary schools of Lisbon in spring. *Environmental Geochemistry and Health*, **33**, 455-468. <https://doi.org/10.1007/s10653-010-9345-3>
- Roda, C., Barral, S., Ravelomanantsoa, H., Dusséaux, M., Tribut, M., Le, Y. & Momas, I. (2011). Assessment of indoor environment in Paris child day care centers. *Environmental Research*, **111**(8), 1010-1017. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.06.009>
- Rojas, T. I., Llanes, N., Benitez, M., Aira, M. J. & Malagón, H. (2007). El género *Aspergillus* en la atmósfera de La Habana (Cuba). *Boletín Micológico*, **22**, 41-46.
- Sánchez, K. & Almaguer, M. (2014). Aeromicrología y salud humana. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, **66**(3), 322-337.
- Tolosa-Moreno, D. L. & Lizarazo-Forero, L. M. (2011). Aeromicrobiología del archivo central de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Boyacá). *Acta Biológica Colombiana*, **16**(1), 185-194.
- Valentín, N. (2007). *Microbial Contamination in Archives and museums: health hazards and preventive strategies using air ventilation systems*. [En línea] Disponible en: http://www.getty.edu/conservation/our_projects/science/climate/paper_valentin.pdf [Último acceso: 25 marzo 2022].
- Webster, J. & Weber, R. (2007). *Introduction to Fungi*. 3 ed. New York: Cambridge University Press.