

MONITOREO DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AIRE EN EL EDIFICIO DE ENTOMOLOGÍA (PCMENT) DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

MONITORING OF MICROBIOLOGICAL AIR QUALITY IN THE ENTOMOLOGY BUILDING (PCMENT) OF THE UNIVERSITY OF PANAMA

Cecilio Puga Ramos

Universidad de Panamá, Departamento de Microbiología y Parasitología, Escuela de Biología, Panamá.

pugace@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5244-5253>

Enrique Medianero

Universidad de Panamá, Departamento de Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Miembro del SNI-SENACYT. Panamá.

Enrique.medianero@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-8430-9034>

Stephanie C. Álvarez G

Universidad de Panamá, Departamnto de Microbiología de la Escuela de Biología. Panamá.

feaalgo1998@gmail.com

Dalys M. Fernández L.

Universidad de Panamá, Departamnto de Microbiología de la Escuela de Biología. Panamá.

guada.moreno@outlook.es

Guadalupe Y. Gómez M

Universidad de Panamá, Departamnto de Microbiología de la Escuela de Biología. Panamá.

marialaras1097@gmail.com

DOI <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v33n2.a4058>

Recepción
07/03/2023

Aprobación
19/05//2023

Resumen

La calidad del aire en el interior de un edificio es función de una serie de parámetros que incluyen la calidad del aire exterior, la compartimentación, el diseño del sistema de aire acondicionado, las condiciones de funcionamiento, la presencia y magnitud de fuentes contaminantes. El objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar la calidad del aire en el edificio de Entomología de la Universidad de Panamá, mediante la medición de la Biocarga microbiana (UFC/M³ hongos y bacterias), material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀), compuestos volátiles totales, temperatura y humedad. Se empleó el equipo SAS DUO HEAD para el muestreo microbiano del aire y un aparato de calidad de aire Temptop para los parámetros fisicoquímicos de calidad del aire en los tres pisos que componen el Edificio. Durante el estudio se determinó que la Biocarga microbiana del edificio era mayor que la del exterior lo cual implicaba contaminación y posibles riesgos ocupacionales; se determinó variaciones estadísticamente significativas entre los pisos y el periodo de muestreo. Se encontraron niveles de TVOC y HCOH fuera del rango saludable. La contaminación de la calidad interior del aire pudo estar relacionada a la actividad de reparación/remodelación realizada en el área durante el periodo de estudio.

Palabras clave: Biocarga microbiana, compuestos volátiles totales, materia particulada (PM_{2.5}, PM₁₀), SAS DUO HEAD

Abstrac

The quality of the air inside a building is a function of a series of parameters that include the quality of the outside air, the compartmentation, the design of the air conditioning system, the operating conditions, the presence and magnitude of polluting sources. The objective of this research work was to evaluate the air quality in the Entomology building of the University of Panama, by measuring the microbial bioburden (UFC/M³ fungi and bacteria), particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), total volatile compounds, temperature and humidity. The SAS DUO HEAD equipment was used for microbial air sampling and a Temptop air quality device for the physicochemical parameters of air quality on the three floors that make up the Building. During the study it was determined that the microbial bioburden of the building was greater than that of the exterior, which implied contamination and possible occupational risks; statistically significant variations were determined between the floors and the

sampling period. TVOC and HCOH levels were found outside the healthy range. The contamination of the indoor air quality could be related to the repair/remodeling activity carried out in the area during the study period.

Keywords: Microbial bioburden, total volatile compounds, particulate matter (PM_{2.5}, PM₁₀), SAS DUO HEAD

INTRODUCCIÓN

El tema de la calidad del aire en interiores (CAI) suele aplicarse a ambientes de interior no industriales: edificios de oficinas, edificios públicos (colegios, hospitales, teatros, restaurantes, etc.) y viviendas particulares. La calidad del aire en el interior de un edificio es función de una serie de parámetros que incluyen la calidad del aire exterior, la compartimentación, el diseño del sistema de aire acondicionado, las condiciones en que este sistema trabaja, la presencia de fuentes contaminantes y su magnitud (Nathanson, 1993).

La mala calidad de aire de interiores surge principalmente por condiciones inadecuadas de humedad, temperatura, circulación del aire y la presencia de contaminantes tanto químicos como biológicos (bacterias y hongos). Estos contaminantes provienen de las actividades que se desarrollan interna y externamente al edificio, de los materiales de construcción y tipo de mobiliario (Shelton et al., 2002; Hospodsky, 2012). El componente de contaminación por hongos y bacterias es uno de los más importantes determinantes de la CAI (OMS, 2009) y que contribuye al llamado Síndrome del Edificio Enfermo (SEE) que incapacita a muchas personas en el mundo con síntomas tales como irritaciones de las mucosas (ojo, nariz, garganta), dolores de cabeza, alergias, somnolencia y fatiga mental (Burge, 1990; Kreiss, 1990).

Puesto que los microorganismos se transmiten como bioaerosoles en el aire, el monitoreo de bioaerosoles mediante muestreadores activos de aire constituye el estándar para determinar su nivel (Fradkin, 1987). La cantidad de bacterias y hongos se mide en términos de unidades formadoras de colonia por metro cúbico

(UFC/M³) y esto es lo que se conoce como la biocarga. La misma debe ser más baja en el interior comparada al exterior (Nathanson, 1993).

En la Universidad de Panamá se han presentado varios eventos que han comprometido la CAI, relacionados a la biocarga microbiana y que han puesto en riesgo la salud de profesores, administrativos y estudiantes. El 31 de julio de 2002 los edificios de Curundú (Domo, Campus Harmodio Arias Madrid) sufrieron una interrupción eléctrica que duró varias semanas, lo que aumentó la humedad y temperatura en ese ambiente cerrado. A la primera semana del corte eléctrico hubo hospitalización de funcionarios que se expusieron a ese ambiente. Puga et al. (2002) evaluaron la presencia de hongos en el aire interior identificando *Aspergillus* spp. y *Penicillium* como los contaminantes dominantes. En el 2005, se realizó el primer monitoreo de CAI en el edificio de Ciencias Biológicas (Puga y Cornejo, 2005) donde se evaluó el efecto de la aplicación de un desinfectante ambiental en el sistema de distribución de aire acondicionado. Esto a raíz de reportes de manchas de hongos en las paredes y eventos de alergias en los ocupantes. Antes de la aplicación del desinfectante ambiental se detectó un nivel de biocarga microbiana interior muy alto, así como también valores de humedad relativa mayores al 60% lo cual es una condición favorable para el crecimiento de hongos. Una semana después de la aplicación del desinfectante, se determinó que la biocarga microbiana del interior del edificio se había reducido significativamente respecto al exterior; es decir, lo ideal. En el 2007 (Puga y Cornejo, 2007) se realizó el segundo estudio de CAI en el edificio de Ciencias Biológicas. Nuevamente se encontraron signos visibles de crecimiento de mohos en paredes y en las ventanas del sistema de distribución de aire acondicionado. Este nuevo estudio reveló que la biocarga de hongos eran casi el doble de lo observado en el 2005. También se identificó la presencia del hongo *Cladosporium herbarum*, el cual es reportado como uno de los hongos alergénicos más importantes (Breitenbach y Nobbe, 2002).

En otros estudios de CAI realizados en la Universidad de Panamá también se midió exclusivamente la biocarga de hongos y bacterias. Pérez y Martínez (2002) utilizando un muestreador de aire Andersen con placas de Petrifilm, encontraron

niveles bajos de Biocarga microbiana en el aire interior del Edificio de Laboratorios Científicos de la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado. Ávila (2009) utilizando un muestreador cout-tac de superficies determinó niveles altos de hongos en las paredes internas del edificio de la Escuela de Biología de la Universidad de Panamá. Documentó prevalencia de hongos dematiaceos, *Aspergillus* spp y *Fusarium* spp. González (2011) utilizando un muestreador de aire SAS100 evaluó la carga microbiana en 7 salones (incluyendo oficina de la dirección) de la Escuela de Biología y reportó niveles en el rango de no saludable. Documentó la prevalencia de los hongos contaminantes *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp. y *Fusarium* spp. El edificio de Biología se puede considerar como un edificio enfermo y que requiere intervención sanitaria.

Estos ejemplos demuestran la importancia del monitoreo rutinario de la calidad microbiológica del aire de interiores dando un punto inicial de referencia, de utilidad para la prevención y corrección de problemas de contaminación en ambientes cerrados. Sobre todo, señalan la necesidad de que éstos se ejecuten de manera rutinaria con la herramienta científica apropiada. Por esta razón, se propuso continuar el monitoreo microbiológico en el edificio de Entomología de la VIP ocupado por administrativos, profesores, investigadores y estudiantes. En esta ocasión se incorporó, además, una herramienta para evaluar componentes de contaminación química y de materia particulada.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El edificio de Entomología alberga al Programa Centroamericano de Maestría en Entomología (PCMENT), inició actividades académicas en 1998, desde entonces ha formado profesionales de las ciencias entomológicas provenientes de países de Centro y Sur América. Es un edificio de tres pisos: 27 cubículos de trabajo, tres aulas de clases (teóricas, prácticas), un salón de cómputo, un espacio para la colección entomológica de referencia y dos laboratorios especializados de toxicología y fisiología, respectivamente. En el periodo del estudio, el edificio estaba bajo un proceso de remodelación gracias a un fondo de Infraestructura otorgado por la Secretaría Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (SENACYT).

Evaluación física del área de estudio

Se realizó una inspección física del área evaluando la presencia de manchas y humedad en las paredes, estado del cielo raso, ventilación, limpieza del piso y de muebles sin uso.

Trabajo de campo

La evaluación de la biocarga de bacterias y hongos se realizó mediante el muestreador de aire SAS-DUO HEAD 360, adquirido por la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, asignado al Laboratorio de Biotecnología Microbiana. En este muestreador el aire absorbido es impactado sobre la superficie de medios de cultivos microbiológicos para la detección de hongos y bacterias viables en el aire. Se utilizó PDA (agar papa dextrosa), para cultivo y conteo de hongos; PCA (agar de recuento en placa) para cultivo y conteo de bacterias. Se tomaron dos muestras replicadas de aire de 100L en cada una de 2 posiciones equidistantes de cada piso para un total de 800L/piso. A su vez, se tomaron 4 muestras en la entrada del edificio como control externo. Simultáneamente se empleó el Temtop LKC para evaluar los parámetros fisicoquímicos: formaldehído (HCHO), compuestos orgánicos volátiles totales (TVOC), conteo de partículas PM 2.5 y 10, temperatura y humedad.

Trabajo de laboratorio

Una vez realizado el muestreo de aire sobre la superficie de los platos de cultivo, los platos para hongos fueron incubados por 3 días a 28°C y los de bacterias a 37°C por 2 días.

Se procedió a los conteos de colonias primero a las 48 horas y luego a las 72 horas, los conteos fueron corregidos de acuerdo con el cuadro estadístico para este propósito y se calculó el número de microorganismos por m³ de aire según instrucciones del fabricante (Manual Operativo del SAS-DUO).

Los hongos fueron identificados a nivel de género mediante microscopía y empleo de claves de referencia (Larone, 1995); las bacterias solo fueron contadas.

Análisis estadístico

Se empleó estadística descriptiva para resumir las variables y poder visualizar los datos cuantitativamente. Para comparar la presencia de microorganismos (bacterias y hongos) en el edificio, se utilizó un ANOVA con arreglo factorial. Para evaluar la asociación entre las variables físicas (humedad y temperatura) con respecto a la presencia de los microorganismos, se realizó un análisis de correlación de Pearson. Los análisis estadísticos fueron realizados mediante Excel y STATISTICA 7. Las variables independientes en este experimento fueron: pasillos y pisos; las variables dependientes fueron bacterias, hongos, % humedad, temperatura, compuestos volátiles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación física del área

El área de estudio se encontró en una situación de remodelación solo en la planta baja durante las semanas de muestreo. Este piso fue el más transitado y cuenta con reservados donde se almacenan muestras de insectos en cajas entomológicas.

Los pisos, paredes y techos de los niveles 1 y 2 presentaban signos de humedad, pintura desprendida polvo, ductos de ventilación sucios, cielo raso manchado con

signos de crecimiento de hongos.

Identificación de principales géneros de hongos

De 260 muestras seleccionadas, se identificó con mayor frecuencia *Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp., y en menor frecuencia *Rhizopus* spp. y *Fusarium* spp. Interesantemente, *Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp. se presentaron en los 3 pisos mientras que *Rhizopus* spp. y *Fusarium* spp solo en los pisos 1 y 2. *Aspergillus* y *Penicillium* no solo son los contaminantes fúngicos más abundantes en interiores sino también a los que se asocia con alergias y otros trastornos respiratorios (Guarro, 2012; Simmon-Nobbe *et al.* 2008)

Determinación de la biocarga de hongos y bacterias en los pisos del edificio

Uno de los principales resultados fue la determinación de mayor biocarga de hongos y bacterias en el interior respecto al exterior (Cuadro 1). Posiblemente esto se debe a que en el exterior se mantiene un flujo de aire constante, mientras que en el interior se tenía un sistema deficiente de ventilación, poco mantenimiento y acumulación de superficies en mal estado (mesas con humedad, cielo raso en mal estado, paredes con pinturas de mala calidad).

Tabla 1.
Promedios de UFC en el interior y en el exterior.

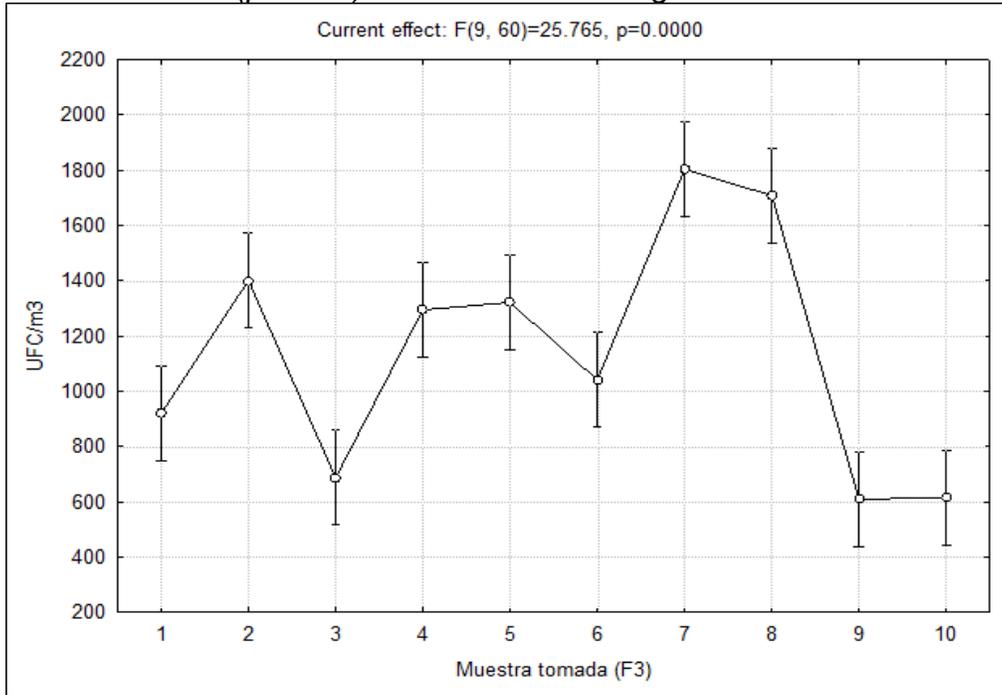
Promedio UFC Interior Semana 1			Promedio UFC Exterior Semana 1	
Pisos	Hongos	Bacterias	Hongos	Bacterias
1	1972.5	171.2	505	315
2	916.2	95		
3	592.5	151.2		
Promedio UFC Interior Semana 2			Promedio UFC Exterior Semana 2	
Pisos	Hongos	Bacterias	Hongos	Bacterias
1	1276.2	120	1235	137.5
2	895	38.7		
3	802.5	57.5		
Promedio UFC Interior Semana 3			Promedio UFC Exterior Semana 3	
Pisos	Hongos	Bacterias	Hongos	Bacterias
1	1397.5	301	302	155
2	1632.5	95		
3	515.4	98.7		
Promedio UFC Interior Semana 4			Promedio UFC Exterior Semana 4	
Pisos	Hongos	Bacterias	Hongos	Bacterias
1	2601	162.5	1800	62.5
2	945	113.7		
3	1806.2	75		
Promedio UFC Interior Semana 5			Promedio UFC Exterior Semana 5	
Pisos	Hongos	Bacterias	Hongos	Bacterias
1	728.7	351.2	530	180
2	510	271.2		
3	600	212.5		

Para hongos comunes (no patógenos) no se ha establecido un valor universal de riesgo (Hayleeyesus y Manaye, 2014); se establecen valores que indican contaminación y por ende posibles riesgos a la salud. La asociación de Calidad de Aire de Interiores establece un nivel de 300 UFC/m³ mientras que la OSHA establece 1000 UFC/m³ (OSHA, 1994; IAQA 1996). Sin embargo, estudios en edificios escolares mostraron una relación positiva entre la exposición a propágulos de hongos a concentraciones de 260 a 1297 CFU/M³ y afecciones respiratorias en los estudiantes (Sadrizadeh *et al.*, 2022). También se ha reportado correlación entre humedad, presencia de hongos y un aumento en 30-50% en afectaciones respiratorias (Fisk *et al.*, 2007). Bajo cualquiera de estos criterios el nivel de hongos

encontrado en el presente estudio estuvo fuera de rango y pudo presentar un riesgo para la salud de los ocupantes del edificio. La contaminación por hongos en espacios interiores es tan generalizada que algunos autores como Cabral (2010) plantean que éstos pueden ser considerados como bioindicadores de contaminación de interiores.

Evaluamos dos componentes de contaminación microbiológica: hongos y bacterias. Los **resultados para hongos** muestran que existen diferencias estadísticamente significativas ($F= 73.751$, $p= 0.0000$, $gl= 2$) respecto a la biocarga por piso, lo cual se puede apreciar en la Fig. 2, Cuadro 2 y Cuadro 3. La biocarga de hongos fue significativamente mayor en la planta baja (PB) que en los pisos superiores. La planta baja es el punto de entrada al edificio que está en constante intercambio con el exterior por el ingreso de personas en el transcurso del día. También se detectaron variaciones estadísticamente significativas ($F=25.765$, $p=0.0000$, $gl: 9$) en la Biocarga por periodos de muestreos (Figura 1, Cuadro 2). En la Fig. 1 se observa que en las semanas 7 y 8 se presentan los valores más altos en la biocarga y lo cual pudo estar relacionado con la intensidad de los trabajos de mantenimiento/ reparación en el área. Por otro lado, al finalizar estos trabajos y con la disminución de bioaerosoles en el aire durante las semanas 9 y 10 se presentó la Biocarga más baja.

Figura 1.
Sitio de muestreo F1 (pasillos) Vs. UFC/m³ de hongos.



Puntos de muestreo (PB, P1, P2) F2: subsitios (A y B) F3: número de muestreos

Figura 2.
Muestras tomadas Vs. UFC/m³ de hongos.

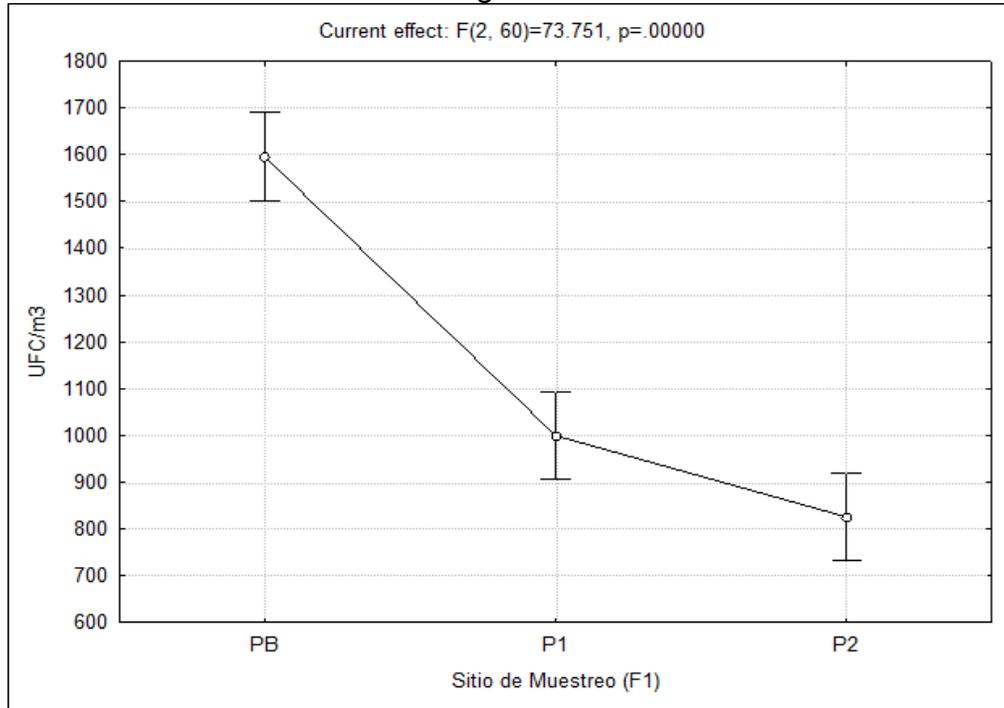


Tabla 2.
Prueba univariada de significancia para UFC/m³ de hongos.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	156050055	1	156050055	1768.037	0.000000
"F1"	13018846	2	6509423	73.751	0.000000
"F2"	51377	1	51377	0.582	0.448479
"F3"	20466442	9	2274049	25.765	0.000000
"F1"*"F2"	74248	2	37124	0.421	0.658566
"F1"*"F3"	29962404	18	1664578	18.860	0.000000
"F2"*"F3"	5075593	9	563955	6.390	0.000003
"F1"*"F2"*"F3"	5975339	18	331963	3.761	0.000056
Error	5295704	60	88262		

Tabla 3.
Post comparación de medias para UFC/m³ de hongos.

	F1	{1}	{2}	{3}
		1595.2	999.75	826.07
1	PB		0.000117	0.000117
2	P1	0.000117		0.030034
3	P2	0.000117	0.030034	

Respecto al nivel de UFC/m³ por periodos de muestreo, se puede apreciar que en las semanas 2, 4, 5, 6, 7 y 8 la Biocarga de hongos sobrepasa las 1000 UFC/m³.

Los resultados para bacterias son similares y siguen el mismo patrón que los obtenidos para hongos; se presentan variaciones estadísticamente significativas en la Biocarga por piso (F= 28.8265, p= 0.0000, gl=2) y por periodo de muestreo (F= 15.4229, p= 0.0000, gl= 9); ver Figuras 3 y 4; Cuadros 5 y 6. Sobresalen las siguientes diferencias:

1. En el nivel de biocarga de hongos, la escala de medición es de 200 a 2000 UFC/m³; mientras que, en bacterias, la escala es de 60 a 350 UFC/m³. Es decir, que hubo más hongos que bacterias en el periodo de estudio. Esto es muy contrastante con lo reportado por Hayleeyesus y Manaye (2014) quienes reportaron concentraciones similares de hongos y bacterias en el aire interno de 8 biblioteca universitarias.
2. En los muestreos 9 y 10, la carga de UFC/m³ para los hongos fue la más baja, mientras que, para las bacterias, los resultados fueron los más altos. En este periodo de finalización de las reparaciones, también el nivel exterior de bacteria tuvo su valor mayor (Cuadro 1); como la fuente más importante de bacteria en los edificios es el flujo personas (Hayleeyesus y Manaye, 2014), su aumento se puede explicar en función del ingreso de personas y también por el flujo de aire hacia el interior con la apertura del edificio.

Figura 3.
Sitio de muestreo F1 (pasillos) Vs. UFC/m3 de bacterias.

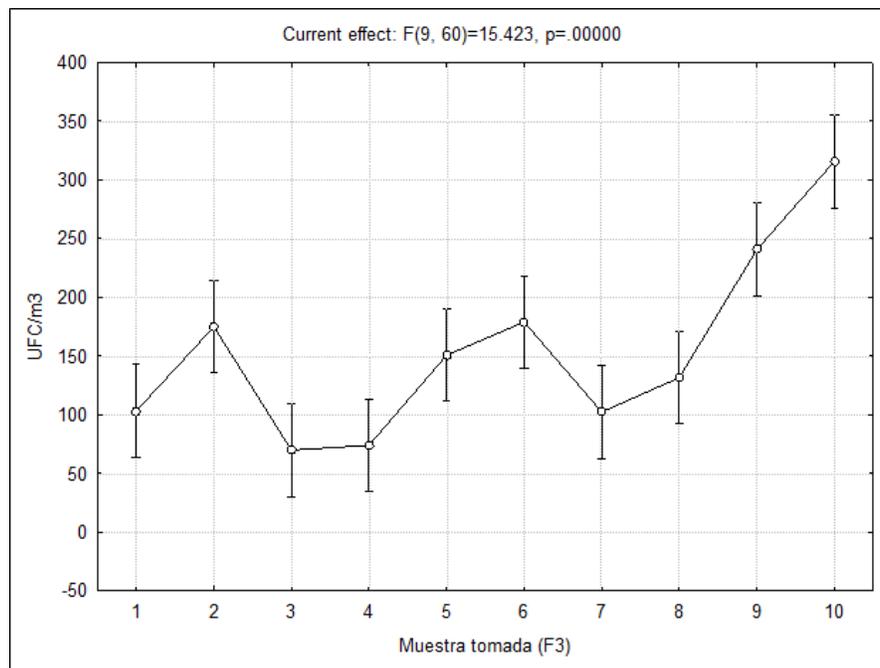


Figura 4.
Muestras tomadas Vs. UFC/m3 de bacterias.

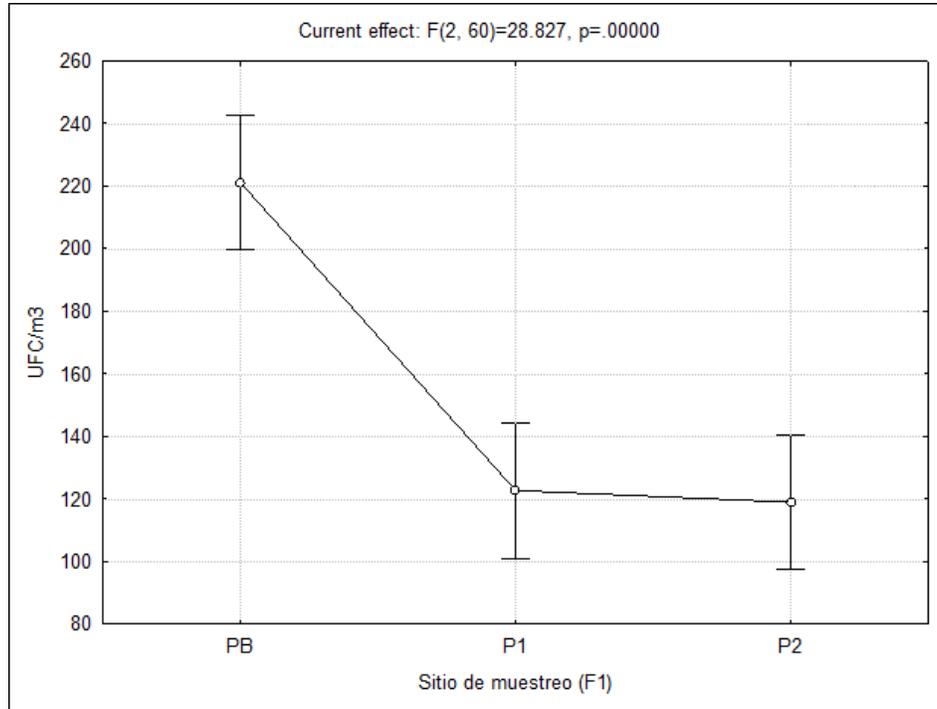


Tabla 5.
Prueba univariada de significancia para UFC/m3 de bacterias.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2858253	1	2858253	612.7017	0.000000
"F1"	268952	2	134476	28.8265	0.000000
"F2"	18750	1	18750	4.0193	0.049501
"F3"	647530	9	71948	15.4229	0.000000
"F1"*"F2"	6795	2	3398	0.7283	0.486949
"F1"*"F3"	282765	18	15709	3.3675	0.000210
"F2"*"F3"	126400	9	14044	3.0106	0.004972
"F1"*"F2"*"F3"	195455	18	10859	2.3277	0.007653
Error	279900	60	4665		

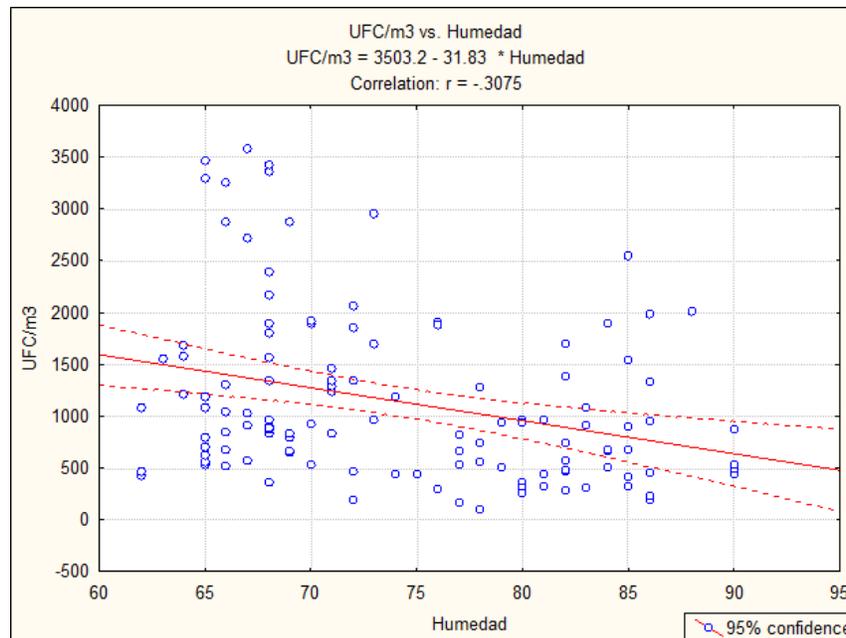
Tabla 6.
Post comparación de medias para UFC/m3 de bacterias.

	F1	{1}	{2}	{3}
		221.25	122.75	119.00
1	PB		0.000117	0.000117
2	P1	0.000117		0.967411
3	P2	0.000117	0.967411	

Relación entre temperatura y humedad con la Biocarga.

El trabajo experimental con microorganismos ha de tener en cuenta los factores ambientales, es decir, una serie de agentes físicos y químicos que modifican la velocidad de crecimiento. Tanto la temperatura como la humedad afectan el crecimiento, su capacidad de reproducción y presencia de estos microorganismos (Frankel *et al.* 2012). Enfocamos en determinar si existía algún tipo de correlación demostrable entre los parámetros ambientales antes señalados y la biocarga UFC/m³ de hongos o bacterias en el edificio.

Figura 5.
Regresión múltiple de variables ambientales Vs. UFC/m3 de hongos.



Al comparar las UFC/m³ de **hongos** con los distintos parámetros ambientales (Figura 5; Cuadros 7 y 8), el análisis de regresión múltiple indica una relación lineal entre las variables biocarga de hongos y humedad ($F= 2.488684$, $gl= 7$, $r= -0.3075$). La correlación es altamente significativa ($p= 0.020566$). Este resultado concuerda con un estudio realizado en Brasil (Johansson *et al.*, 2014) donde se demuestra que el crecimiento fúngico está relacionado tanto a los componentes de los materiales estructurales como a las condiciones ambientales.

Tabla 7.

Regresión múltiple de variables ambientales Vs. UFC/m3 de hongos.

	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-level
Regress.	10757688	7	1536813	2.488684	0.020566
Residual	69162265	112	617520		
Total	79919954				

Tabla 8.
Regresión múltiple de variables ambientales Vs. UFC/m³ de hongos.

	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t (112)	p-level
Intercept			2662.010	1424.382	1.86889	0.064251
PM 2.5	-0.056357	0.088361	-0.004	0.006	-0.63780	0.524906
PM 10	-0.101618	0.089599	-0.006	0.005	-1.13414	0.259158
Total part.	-0.061835	0.092796	-0.068	0.102	-0.66636	0.506550
HCHO	-0.089179	0.090513	-0.004	0.004	-0.98527	0.326616
TVOC	-0.060354	0.088826	-0.003	0.004	-0.67946	0.498245
Temp.	0.097200	0.090316	51.385	47.746	1.07623	0.284139
Humedad	-0.280466	0.091502	-29.035	9.473	-3.06515	0.002727

Por otra parte, cuando se trata de las UFC/m³ de **bacterias** (Gráfica 6; Cuadros 9 y 10), el análisis de regresión indica una relación lineal entre las variables ($F=2.559127$, $gl= 7$, $r= -.2305$). Siendo en esta oportunidad la temperatura la variable que resulta significativa en el modelo. La correlación entre la biocarga de bacterias y la **temperatura** es altamente significativa ($p=0.017515$).

Figura 6.
Regresión múltiple de variables ambientales Vs. UFC/m3 de bacterias.

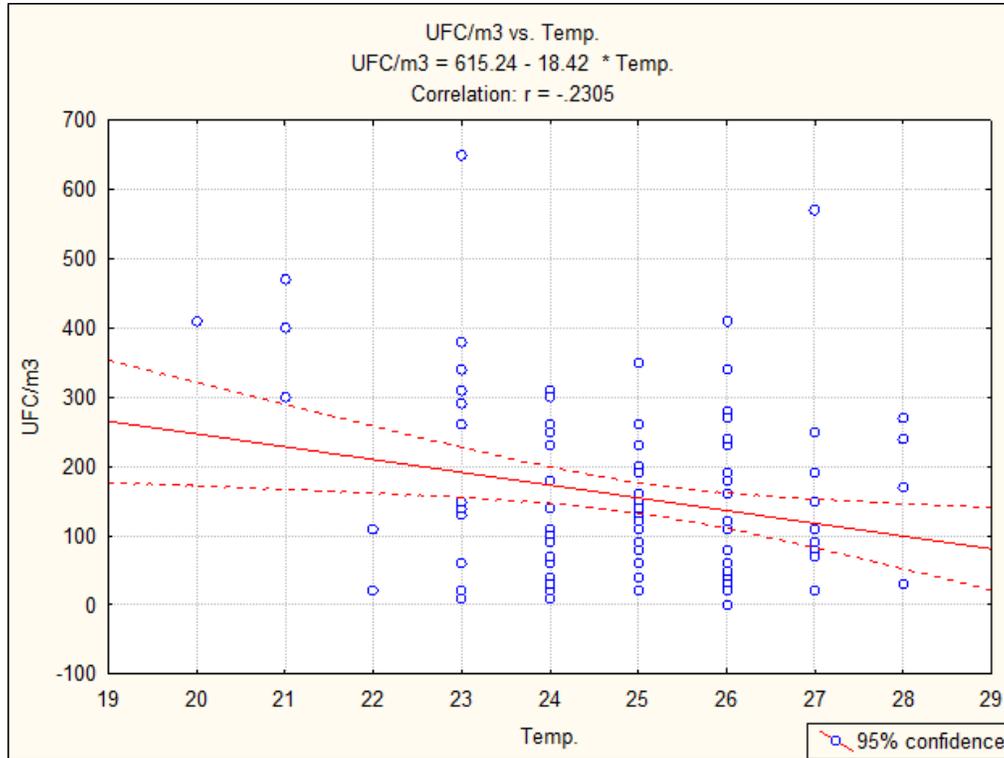


Tabla 9.
Regresión múltiple de variables ambientales Vs. UFC/m3 de bacterias.

	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-level
Regress.	251863	7	35980.49	2.559127	0.017515
Residual	1574683	112	14059.67		
Total	1826547				

Tabla 10.
Regresión múltiple de variables ambientales Vs. UFC/m3 de bacterias.

	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t (112)	p-level
Intercept			789.4713	214.9257	3.67323	0.000369
PM 2.5	0.060201	0.088193	0.0006	0.0009	0.68260	0.496269
PM 10	-0.048014	0.089429	-0.0004	0.0008	-0.53690	0.592402
Total part.	0.162934	0.092619	0.0270	0.0154	1.75918	0.081278
HCHO	0.016064	0.090341	0.0001	0.0007	0.17782	0.859188
TVOC	-0.160124	0.088657	-0.0012	0.0007	-1.80610	0.073588
Temp.	-0.219478	0.090144	-17.5408	7.2043	-2.43475	0.016481
Humedad	-0.175327	0.091328	-2.7440	1.4293	-1.91975	0.057433

Medición de contaminantes químicos HCHO, TVOC y materia particulada.

Los compuestos volátiles orgánicos totales (TVOC) son agentes químicos de contaminación considerados peligrosos para la salud humana. El formaldehído (HCHO) es uno de estos compuestos volátiles que es irritantes al sistema respiratorio y considerado carcinogénico en seres humanos (Pollution, 1989).

Los compuestos TCOV y el HCOH proceden de fuentes muy diversas. Los procesos biológicos pueden ser una fuente en el aire exterior, por ejemplo, procesos en el metabolismo de plantas o procesos de descomposición y degradación. Otras

fuentes en el aire exterior incluyen procesos técnicos en los que se generan sustancias debido a combustiones incompletas (especialmente emisiones de vehículos) o como subproductos volátiles de procesos industriales o comerciales.

En los espacios interiores las fuentes de estos contaminantes comprenden los materiales y productos para la construcción de edificios, techos, pinturas, barnices, pegamentos y materiales de decoración, etc. (Junfeng y Smith, 2003).

Se obtuvieron mediciones de TVOC y HCHO en tiempo real dentro y fuera del edificio (Cuadro 11). Las mediciones están en unidades de mg/m^3 . Para HCHO valores >0.1 y de TVOC, valores $>$ de $0.5 \text{ mg}/\text{m}^3$ se consideran NO saludables. Se detectaron niveles puntuales de HCHO y TVOC fuera del rango saludable a lo largo del estudio, pero sobre todo en el piso 1, la primera y cuarta semana donde se registraron los valores máximos. Todo esto es atribuible al uso de los materiales (pinturas, solventes, etc.) empleados en el mantenimiento.

Tabla 11.

Piso/ semana	HCHO					TVCO				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	1.32	4.42	0.94	2.79	0.49	4.77	3.65	3.27	5	1.42
	5	0.05	3.46	0.02	1.67	5	0.20	5	0.09	1.67
2	0.02	0.03	0.02	0.02	0.91	0.08	0.14	0.08	0.04	3.66
	0.02	0.56	0.08	3.14	0.03	0.08	1.74	0.40	5	0.45
3	5	0.01	0.30	0.05	0.01	5	0.08	0.50	0.25	0.04
	0.02	0.88	0.07	5	0.02	0.08	3.02	0.32	5	0.08
Exterior	0.02	0.04	0.01	0.03	0.01	0.08	0.08	0.06	0.14	0.06

Niveles máximos de HCHO y TVOC (mg/m^3)

En relación con la materia particulada a lo interno del edificio, no se registraron valores de PM_{2.5} o PM₁₀ por encima exterior durante el estudio; estos valores estuvieron en el nivel considerado saludable (PM_{2.5} < 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; PM₁₀ < 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Este estudio es innovador al incluir la medición de los parámetros fisicoquímicos pues documenta el componente químico de contaminación y de parámetros que influyen en la propagación de microorganismos; altos porcentajes de humedad propician el crecimiento de los hongos mientras que las altas temperaturas favorecen el crecimiento de bacterias. Es por ello que, la medición de los parámetros

fisicoquímicos resultó en una evaluación más completa de la calidad del aire en el interior del Edificio de Entomología.

CONCLUSIONES

- Se determinó la biocarga de hongos y bacterias en los pisos que componen el Edificio de Entomología y en el exterior durante un periodo de remodelación. A partir de esto, se concluye:
 - Hubo diferencias significativas entre la biocarga de hongos y bacterias de los tres pisos.
 - La biocarga de hongos y bacterias en los tres pisos del edificio fue muy alta.
 - La biocarga de hongos y bacterias en el interior fue mayor respecto al exterior.
- Debido al monitoreo simultáneo durante cinco semanas de los parámetros de temperatura, humedad, partículas respirables y compuestos volátiles en los tres pisos que componen el edificio de Entomología, se concluye:
 - Se determinó una correlación altamente significativa entre la biocarga de **hongos** y el parámetro de **humedad**.
 - Se determinó una correlación altamente significativa entre la biocarga de **bacterias** y el parámetro de **temperatura**.
- Se detectaron niveles de TVOC y HCOH fuera del rango saludable.
- Los valores de PM 2.5 y 10, se mantuvieron dentro del rango moderado e inferiores respecto a los niveles del exterior.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Loaiza por brindarnos acceso al Edificio **PCMENT** para la realización de este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávila, E. (2009). *Cuantificación de Hongos en las paredes internas del Edificio de la Escuela de Biología de la Universidad de Panamá*. Tesis de licenciatura en Biología, Universidad de Panamá, Panamá. 58 pp.
- Breitenbach, M. y Nobbe, S. (2002). *The Allergens of Cladosporium herbarum and Alternaria alternate*. In Breitenbach. M., Cramer, R., Lehrer, S. (eds): Fungal Allergy and Pathogenicity. Chem Immunol. Basel, Karger. Vol. 81, pp. 48-72.
- Burge, H. (1990). *Risks Associated with Indoor Infectious Aerosols, Toxicology and Industrial Health*. Vol. 6, pp. 263-73.
- Cabral, J. (2010). *Can we use indoor fungi as bioindicators of indoor air quality? Historical perspectives and open questions*. Science of the total environment. Vol. 408(20), pp. 4285-4295.
- Fradkin, A. (1987). *Sampling of Microbiological Contaminants in Indoor Air*. In STP957-EB Sampling, pp. 66-67.
- Fisk, W.J., Lei-Gomez, Q. y Mendell, M.J.(2007). Meta-analyses of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes. Indoor Air. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2007.00475.x>
- González, A.I. (2011). *Evaluación de la calidad microbiológica del aire en el edificio de la escuela de biología de la Universidad de Panamá*. Tesis de licenciatura en Biología, Universidad de Panamá, Panamá. 46 pp.
- Guarro, J. (2012). Taxonomía y biología de los hongos causantes de infección en humanos, Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica. Volume 30, Issue 1, Pages 33-39
- Johansson, P., Ekstrand, A. y Bok, G. (2014). *An innovative test method for evaluating the critical moisture level for mould growth on building materials*. Building and Environment. Vol. 81: pp. 404-409.
- Hauptmann, M., Lubin, J., Stewart, P., y Hayes, R. (2003). *Mortality from lymphohematopoietic malignancies among workers in formaldehyde industries*. Journal of the National Cancer Institute. Vol. 95(21): pp. 1615-1623.
- Hayleeyesus, S.F. y Manaye, A.M. Microbiological quality of indoor air in university libraries. Asian Pac J Trop Biomed. 2014 May;4(Suppl 1):S312-7. [https://doi:](https://doi.org/)

- 10.12980/APJTB.4.2014C807. PMID: 25183103; PMCID: PMC4025286.
Hospodsky, D., Qian, J., Nazaroff, W. W., Yamamoto, N., Bibby, K., Rismani-Yazdi, H. y Peccia, J. (2012). Human occupancy as a source of indoor airborne bacteria. *PloS one*, 7(4), e34867.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034867>
- Junfeng, J., Zhang, K. y Smith, R. (2003). Indoor air pollution: a global health concern, *British Medical Bulletin*, Volume 68, Issue 1, December 2003, Pages 209–225, <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg029>
- Kreiss, K. (1990). *The Sick Building Syndrome: Where is the Epidemiological Basis*. American Journal of Public Health. Vol. 80: pp. 1172-73.
- Larone, D. H., y Larone, D. H. (1987). *Medically important fungi: a guide to identification* (Vol. 196, p. 203). New York: Elsevier.
- Nathanson, T. (1993). *Indoor Air Quality in Office Buildings: A Technical Guide*. Ottawa: Health Canada. 57 pags.
<https://publications.gc.ca/collections/Collection/H46-2-93-166Erev.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2009). *Directrices de la OMS para la calidad del aire interior: humedad y moho*. Oficina Regional para Europa. Organización Mundial de la Salud, 228. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/164348/9789289041683-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- OSHA (1994) “Indoor air quality-proposed rule” notice of proposed rulemaking** Fed. Regist., 59 (65) (1994), pp. 15968-16039
- IAQA, (1995). Indoor Air Quality Association Inc. Indoor Air Quality Standard #95-1 Recommended for Florida**. Indoor Air Quality Association, Inc., Longwood, Florida, USA.
- Pérez, J. y Martínez, I. (2002). *Uso de tecnología microbiológica Petrifilm 3M acoplado al muestreador de aire Andersen para la rápida detección de contaminantes biológicos del aire*. Tesis de licenciatura en Biología, Universidad de Panamá, Panamá. 77 pp.
- Pollution, I. A. (1989). *Report to Congress on Indoor Air Quality, 2*. EPA/400/1. Volume II. Assessment and Control of Indoor Air Pollution.
- Puga, C., Cornejo, M., Cornejo, H. y Mejía, F. (2002). *Resultados de Muestreo Microbiológico de Aire en Edificio Principal y Facultad de Bellas Artes del Campus Harmodio Arias Madrid*. Datos no publicados; informe entregado a las autoridades universitarias.

- Puga, C., y Cornejo, M. (2005). *Monitoreo de Bioaerosoles en el Edificio de Investigaciones Biológicas*. Datos no publicados; *Reporte de Investigación entregado a Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad de Panamá*.
- Puga, C. y Cornejo, H. (2007).. *Monitoreo de Bioaerosoles en el Edificio de Investigaciones Biológicas*. Datos no publicados; *Reporte de Investigación entregado a Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad de Panamá*.
- Sadrizadeh, S., Yao, R., Yuan, F., Awbi, H., Bahnfleth, W., Bi, Y., Cao, G., Croitoru, C., de Dear, R., Haghghat, F., Kumar, P., Malayeri, M., Nasiri, F., Ruud, M., Sadeghian, P., Wargocki, P., Xiong, J., Yu, W. y Li, B. (2022). Indoor air quality and health in schools: A critical review for developing the roadmap for the future school environment. *Journal of Building Engineering*, 57, [104908]. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104908>
- Shelton, B., Kirkland, K., Flanders, D. y Morris, G. (2002). *Profiles of Airborne Fungi in Buildings and Outdoor Environments in the United States*. *Appl. Envir. Microbiol.* Vol. 68: pp. 1743-1753.
- Simon-Nobbe, B., Denk, U., Pöll, V., Rid, R. y Breitenbach, M. (2008). The Spectrum of Fungal Allergy. *Int Arch Allergy Immunol* 2008;145:58-86. <https://doi:10.1159/000107578>
- U.S. EPA. (2021). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente*. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Obtenido de: <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>