

# Calidad del aire interior. Contaminantes biológicos (I): estrategia de muestreo

*Indoor air quality. Biological contaminants (I): Sampling strategy*  
*Qualité d'air intérieur. Contaminants biologiques (I): Stratégie d'échantillonnage*

## Autor:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)

## Elaborado por:

María de la O Culver González  
CENTRO NACIONAL DE  
NUEVAS TECNOLOGÍAS (INSHT)

*Esta Nota Técnica de Prevención (NTP) se compone de dos partes y se centra en el muestreo de contaminantes biológicos como parte del proceso de investigación de problemas de calidad del aire interior. En la primera parte se abordan una serie de consideraciones a tener en cuenta a la hora de llevar a cabo dicha investigación en relación con la presencia o posible presencia de contaminantes biológicos, proporcionándose recomendaciones para realizar el muestreo de los mismos en caso de que éste resulte pertinente. En la segunda parte se describen las principales técnicas y equipos de muestreo existentes para la identificación y/o determinación de dichos contaminantes. La presente NTP supone una actualización y una ampliación de los contenidos de diversas NTP relacionadas con este tema.*

*Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La calidad del ambiente interior de los edificios depende de numerosos factores físicos, químicos y biológicos.

En relación con los contaminantes biológicos, el aire interior puede contener una mezcla compleja y variable de microorganismos, fragmentos y componentes de los mismos entre los que cabe destacar:  $\beta$ -1,3 glucano y ergosterol fúngicos, ácido murámico bacteriano, toxinas (endotoxinas de las bacterias Gram negativo y micotoxinas fúngicas), compuestos orgánicos volátiles microbianos (COVM), polen, ácaros, partes y deyecciones de insectos, pelo y descamaciones de animales, etc. La composición de los bioaerosoles va a depender fundamentalmente de su fuente, del mecanismo de aerosolización y de las condiciones ambientales existentes.

Los bioaerosoles juegan un papel muy importante en la contaminación del aire interior, llegando a contribuir entre un 5 y un 34% a la contaminación total existente. Además de originar molestias en los ocupantes del edificio debidas, por ejemplo, a olores desagradables a causa de la presencia de moho, los bioaerosoles pueden producir efectos en la salud que varían desde infecciones microbianas hasta efectos tóxicos (causados por micotoxinas y endotoxinas) y alérgicos, pudiendo deberse estos últimos a una gran variedad de contaminantes biológicos como antígenos de hongos y bacterias, polen, o alérgenos de ácaros, insectos o animales de compañía. No obstante, en muchos casos, los síntomas son inespecíficos y no pueden atribuirse a un contaminante concreto, pudiendo tener, además, otros orígenes no biológicos. Es por ello que la identificación de un problema de calidad del aire interior resulta compleja, requiriéndose una investigación previa de la situación a fin de poder enfocarlo adecuadamente.

## 2. CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA DEL AIRE INTERIOR

El aire exterior constituye la principal fuente de contaminación biológica en el interior de los edificios. Las esporas y los fragmentos fúngicos, así como el polen y las bacterias ambientales, pueden introducirse en estos por diversas vías, como el sistema de climatización y ventilación (HVAC, del inglés: *heating, ventilating and air conditioning*), ventanas, grietas existentes en las paredes, sobre la superficie de materiales nuevos, o adheridos a la ropa y al calzado de las personas.

Por otra parte, los ocupantes del edificio también pueden contribuir a la contaminación biológica, ya que son considerados la fuente más importante de bacterias (principalmente Gram positivo como *Staphylococcus* o *Micrococcus*) y virus en aire interior. Además, pueden transportar otros contaminantes biológicos, como alérgenos de animales de compañía, además de los mencionados anteriormente.

Dentro de los edificios se pueden dar las condiciones adecuadas de temperatura, humedad y nutrientes para el crecimiento de microorganismos y el desarrollo de otros contaminantes biológicos como ácaros del polvo doméstico y cucarachas, siendo una de las causas asociadas con mayor frecuencia a los problemas de calidad del aire interior el exceso de humedad. Este puede producirse por diversos motivos, tales como: infiltración del agua de lluvia o de agua subterránea, fugas en tuberías, condensación de vapor de agua en superficies frías como ventanas, paredes, mobiliario o tuberías, así como por inundaciones. Además, la humedad puede acumularse en materiales celulósicos como papel, madera, paneles de yeso, azulejos, baldosas de techo que, además, son porosos, al igual que otros como el hormigón, las

CLASIFICACIÓN	EJEMPLOS
Colonizadores primarios (< 80% HRE)	<i>Aspergillus penicillioides</i> , <i>A. restrictus</i> , <i>A. versicolor</i> (a 25°C), <i>Penicillium chrysogenum</i>
Colonizadores secundarios (80 - 90% HRE)	<i>A. versicolor</i> (a 12°C), <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>C. sphaerospermum</i>
Colonizadores terciarios (> 90% HRE)	<i>Acremonium spp.</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Chaetomium spp.</i> , <i>Fusarium moniliforme</i> , <i>Stachybotrys chartarum</i> , <i>Trichoderma spp.</i> , <i>Ulocladium spp.</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , Actinomicetos

Tabla 1. Clasificación de hongos y bacterias en base a sus requerimientos de % HRE

moquetas o los tapizados, constituyendo estos un reservorio apropiado para el crecimiento de microorganismos, principalmente de los mohos.

La presencia de algunos hongos y bacterias puede considerarse indicadora de un exceso de humedad en el interior de los edificios, clasificándose en base a su requerimiento de actividad de agua ( $a_w$ ) o porcentaje de humedad relativa en equilibrio (% HRE), esto es, del agua disponible en el sustrato para su crecimiento, en tres grupos que determinan el orden de aparición en el sustrato y se indican en la tabla 1.

En cuanto a los ácaros del polvo doméstico (siendo los más frecuentes en ambientes interiores *Dermatophagoides pteronyssinus* y *D. farinae*), crecen de manera óptima cuando la humedad relativa se encuentra entre el 70 y el 80%, estando presentes fundamentalmente en colchones, moquetas y muebles tapizados.

Por su parte, las cucarachas (siendo las más comunes *Periplaneta americana*, *Blattella germanica* y *Blatta orientalis*), requieren ambientes cálidos y húmedos, con una humedad relativa superior al 50%.

Otros contaminantes biológicos pueden estar presentes en el polvo depositado, que puede contener cantidades variables de polen, esporas y fragmentos fúngicos, bacterias, micotoxinas, endotoxinas, ácaros y alérgenos de animales domésticos o de insectos.

Si este reservorio (sustrato colonizado o polvo depositado) es alterado, por ejemplo por diversas actividades humanas como caminar, correr, aspirar, mover muebles, efectuar reformas en paredes o techos, etc., o por corrientes de aire, puede producirse la aerosolización de dichos contaminantes.

Junto con la humedad, el factor que más influye en el deterioro de la calidad del aire interior es el estado y mantenimiento del sistema HVAC. Los puntos del sistema en los que con mayor frecuencia se pueden dar las condiciones que permiten la proliferación de agentes biológicos son los siguientes:

- La toma de aire exterior puede acumular barro, agua estancada, tierra, materia vegetal, excrementos de aves, etc., que pueden propiciar el crecimiento microbiano y su ingreso al edificio a través del sistema.
- El sistema de filtración y otros materiales porosos (aislamientos de los conductos de ventilación) en los que puede acumularse la suciedad.
- Los elementos del sistema en los que puede acumularse agua y suciedad, por ejemplo: las bandejas de drenaje de los serpentines de enfriamiento, los humidificadores, o la torre de refrigeración, constituyendo un medio adecuado para el crecimiento de microorganismos como hongos, protozoos y bacterias y, a la vez, una fuente potencial de bioaerosoles. Entre los agentes biológicos más importantes relacionados con estos elementos se pueden destacar la bacteria *Legionella pneumophila* o las endotoxinas bacterianas.

### 3. INVESTIGACIÓN DE UN PROBLEMA DE CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

Las intervenciones relacionadas con problemas de calidad del aire interior suelen comenzar cuando se reciben quejas por parte de los ocupantes del edificio, los cuales pueden referir síntomas de muy diversa índole.

En términos generales, salvo que exista una patología diagnosticada médicamente que esté asociada a un microorganismo concreto, o sea exigible legalmente, el muestreo de contaminantes biológicos no debe ser considerado prioritario a la hora de evaluar problemas relacionados con la calidad del aire interior. Esto es debido a diversas razones, entre las cuales se encuentran la multitud de factores (biológicos, químicos, físicos y/o, incluso, psicosociales), que pueden estar originando los síntomas o quejas, la dificultad a la hora de interpretar los resultados obtenidos y la escasa fiabilidad de los mismos, así como el elevado coste y el tiempo requeridos para poder caracterizar la contaminación biológica. Además, en muchas ocasiones, el muestreo resulta innecesario. Por ejemplo, en el caso de contaminación por moho, si éste es visible, será suficiente con llevar a cabo acciones de remediación para eliminar la fuente y controlar las condiciones termohigrométricas y de ventilación, comprobando, posteriormente, que el problema ha sido solucionado.

Como primer paso, se recomienda realizar una investigación del problema, que debe ser llevada a cabo por personal cualificado y comienza recabando toda la información posible en relación con el edificio (incluyendo una copia del plano del mismo si se encuentra disponible), su uso original y actual, los materiales de construcción y decoración empleados, la ocupación actual y si ésta se ha incrementado con respecto a la inicial, las actividades realizadas, la organización del trabajo, las remodelaciones, reparaciones o redecoraciones efectuadas (principalmente si son recientes), la introducción de equipos nuevos (por ejemplo, humidificadores), la historia de problemas previos de humedades, infiltraciones, inundaciones y acciones de reparación llevadas a cabo, el funcionamiento y las condiciones de mantenimiento del sistema de ventilación, el número de ocupantes que manifiestan síntomas, la clase de síntomas, el momento de aparición, la duración de los mismos, así como otros aspectos que puedan resultar de interés. La información debería ser obtenida de las personas que pueden tener un mayor conocimiento de estos aspectos, como el gerente, el jefe del servicio de prevención, el responsable de mantenimiento y los usuarios del edificio.

Lo anterior debe complementarse con una inspección visual o recorrido por el edificio con el fin de identificar "in situ" las posibles fuentes de contaminación interna o externa, así como los mecanismos para la propagación

de los bioaerosoles. Es recomendable efectuar entrevistas con los ocupantes del edificio (principalmente los que manifiestan síntomas) y/o aplicar cuestionarios referidos a los síntomas o quejas, características personales y aspectos relacionados con el entorno de trabajo y la actividad que realizan.

Durante la inspección visual se pueden detectar una serie de condiciones que podrían constituir la causa del problema, como acumulaciones de polvo o de residuos (indicadores de una limpieza inadecuada), deficiencias en el sistema HVAC (p.ej. acumulación de agua estancada, suciedad), alteraciones en los patrones de flujo de aire (p.ej. obstrucción de difusores o rejillas de retorno, cercanía entre ambos), crecimiento visible de moho en superficies de paredes, techos, suelos, mobiliario o en el sistema HVAC, y otros indicadores de humedad o de exceso de humedad, como son olores (olor mohoso o terroso), manchas o decoloraciones en materiales, condensaciones en ventanas o tuberías, manchas de agua, áreas húmedas, fugas de agua, infiltraciones, daños estructurales, materiales degradados (p.ej. madera comabada, roturas en panelados de yeso, pintura desconchada, papel pintado arrugado, astillamiento y eflorescencias en el hormigón o la mampostería, abultamiento y rotura del estuco), o signos de intrusión de agua.

Además, una inspección del exterior del edificio permite localizar, entre otros, defectos estructurales que pueden dar lugar a la entrada de contaminantes biológicos y por donde puede infiltrarse el agua desde el exterior (lo cual implica una revisión de la fachada, de los cimientos y de los tejados), así como la ubicación de la toma de aire exterior y fuentes potenciales de aerosolización de contaminantes biológicos en el entorno, incluyendo riego por aspersión, siega del césped, soplado de hojas, barrido de calles o excavaciones.

Si tras la investigación inicial se ha identificado el origen del problema, se deben proponer medidas correctoras y verificar la efectividad de las mismas. No obstante, si, a pesar de las medidas adoptadas, el problema persiste o la investigación realizada no permite determinar la causa, será necesaria una evaluación más detallada que puede requerir el establecimiento de un plan de muestreo basado en las hipótesis resultantes de los datos obtenidos.

#### 4. RECOMENDACIONES RELATIVAS A LA ESTRATEGIA DE MUESTREO DE CONTAMINANTES BIOLÓGICOS

Los aspectos a considerar a la hora de planificar una estrategia de muestreo son: el propósito del mismo, los contaminantes biológicos que se van a muestrear (lo cual se habrá determinado durante la inspección realizada previamente), el lugar y el momento durante el cual se va a llevar a cabo, así como su frecuencia, su duración, el equipo o los equipos de muestreo que se van a emplear, las técnicas de análisis que se van a utilizar (esto implica seleccionar el laboratorio de análisis adecuado, que debe disponer de los medios necesarios para el análisis del contaminante en cuestión) y los criterios que se van a utilizar para valorar los resultados obtenidos.

##### Propósito del muestreo

Tal y como se ha comentado anteriormente, el muestreo de contaminantes biológicos no constituye una práctica habitual a la hora de evaluar la calidad del aire interior.

No obstante, puede estar justificado en algunas circunstancias, como son las siguientes:

- Cuando se ha diagnosticado un problema de salud o enfermedad asociada a un contaminante biológico concreto y es necesaria la verificación de su presencia y, en ocasiones, su cuantificación. Este sería el caso de enfermedades relacionadas con el edificio, como legionelosis, aspergilosis, criptococosis o histoplasmosis.
- Cuando es exigido legalmente, o recomendado por una norma técnica. Por ejemplo, en el caso de *Legionella pneumophila*, el Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis, establece el programa de mediciones a llevar a cabo en instalaciones de riesgo. Otro ejemplo lo constituye la norma UNE 171330 sobre Calidad ambiental en interiores, que consta de tres partes y establece una metodología para realizar la inspección de la calidad ambiental en interiores, la cual incluye la medición de bacterias y hongos en suspensión en el aire. De conformidad con la Instrucción Técnica IT 3 del Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios, la aplicación de esta norma es obligatoria en instalaciones térmicas con una potencia útil nominal mayor a 70 kW<sup>1</sup>.
- Cuando, durante o tras una inspección, se establece una hipótesis que es necesario comprobar. Por ejemplo, si se sospecha la existencia de moho en superficies que no puede ser confirmada visualmente, o de moho oculto en zonas como cavidades en la envolvente del edificio, sería recomendable efectuar un muestreo antes de recurrir a medidas invasivas o destructivas para su localización, las cuales podrían comprometer la integridad de la estructura y originar un riesgo para los ocupantes mucho mayor que aquel al que pueden estar expuestos. No obstante, hay que considerar que el moho oculto únicamente puede resultar peligroso cuando existe una vía de entrada en el interior del edificio, la cual debería ser identificada.
- Cuando se pretende comprobar la efectividad de las medidas correctoras aplicadas. Por ejemplo, si se ha llevado a cabo una estrategia de remediación, puede ser útil el muestreo para verificar que se ha eliminado el origen del problema y, además, que no hay fuentes de contaminación adicionales fuera del área de remediación.

##### Lugar de muestreo

En relación con el lugar de muestreo, se deberían seleccionar el área o las áreas donde se hayan producido los problemas y donde se sospeche, en base a la inspección realizada previamente, que pueda existir contaminación biológica. Además, sería recomendable realizar también el muestreo, si es posible de manera simultánea, en áreas control con el fin de comparar los resultados obtenidos. Estas serán normalmente el aire exterior y, si resulta conveniente, otras zonas del edificio donde no se hayan manifestado síntomas o donde no se hayan producido quejas.

Cuando se vaya a muestrear en aire de una sala, el equipo de muestreo debe colocarse en el centro de la misma, alejado de puertas, ventanas (las cuales deberán permanecer cerradas), escaleras o fuentes de calor que

1. Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.

puedan crear corrientes de aire inducidas, y situado sobre un trípode a 0,75 – 1,5 metros por encima del nivel del suelo con el fin de simular la zona de respiración y eliminar cualquier error potencial. No se recomienda su colocación encima de superficies, ya que esto puede dar lugar a la resuspensión de polvo depositado sobre las mismas. La expulsión de aire de las bombas de muestreo debería estar alejada de la entrada de aire de muestreadores adyacentes y otros elementos, como plantas en maceta.

Para realizar mediciones de control en el aire exterior, los equipos se colocan a la citada altura, alejados de fuentes de generación de bioaerosoles, aunque, en edificios equipados con un sistema HVAC, las muestras deberían tomarse lo más cerca posible de la toma de aire exterior, alejadas de la extracción de aire contaminado. Deben tenerse en cuenta las condiciones climáticas, que podrían afectar a los resultados obtenidos, modificando las concentraciones e, incluso, la distribución de los contaminantes presentes en condiciones normales. Por ello, no es recomendable el muestreo, por ejemplo, en situaciones de lluvia, nieve, o elevada velocidad del viento.

### Momento y frecuencia del muestreo

Siempre que sea posible, el momento de la toma de muestras debe reflejar las condiciones que se pretenden evaluar, siendo habitual y bastante útil la realización del muestreo en diferentes momentos del día y durante varios días, semanas, o incluso meses, en función de la variabilidad temporal que muestre el contaminante biológico de interés. En general, es recomendable la realización de mediciones antes, durante y después de que el área en cuestión haya sido ocupada, incluyendo, cuando sea preciso, los periodos durante los cuales el sistema HVAC se encuentra encendido o apagado, a fin de valorar la contribución del sistema a la distribución de bioaerosoles. En éste último caso, el mejor momento para comenzar el muestreo es cuando el sistema ha permanecido apagado durante la noche o, mejor aún, durante el fin de semana. Las muestras se tomarían entonces en diferentes localizaciones, incluyendo los difusores de aire y las zonas adyacentes.

### Duración del muestreo

En cuanto al tiempo de muestreo, es necesario tener en cuenta que las concentraciones y los componentes de los bioaerosoles presentan una variación temporal considerable, incluso en periodos muy cortos de tiempo. Por ejemplo, se ha visto que las concentraciones de esporas fúngicas pueden variar en un orden de magnitud en menos de 1 minuto. Estas variaciones van a depender fundamentalmente del tipo de actividad realizada, la cual puede dar lugar a la aerosolización de los contaminantes. Debido a esto, las mediciones de corta duración (de 1 a 10 minutos), como las que admiten los equipos que operan por impactación en placa de agar o, en algunos casos, por impactación en portaobjetos o láminas, tienden a reducir la representatividad de las muestras y a aumentar la variabilidad entre ellas, mientras que las mediciones de larga duración (tiempo superior a 30 minutos), como las que se realizan empleando filtros, permiten representar de una manera más fiable las concentraciones realmente existentes. Por tanto, cuando se empleen muestreadores que operan durante cortos periodos de tiempo y, con el fin de cubrir distintos intervalos de concentración, se recomiendan muestreos secuenciales a diferentes tiempos, siendo la duración mínima de 1 minuto, que es la necesaria

para producir un flujo de aire constante. Por otro lado, el muestreo de superficies se ve menos afectado por esta variabilidad temporal, pero, en comparación con el muestreo del aire, ofrece una aproximación bastante pobre de las concentraciones aéreas de los contaminantes.

### Número de muestras

El hecho de que las concentraciones de contaminantes biológicos sean tan variables hace que el número de muestras a tomar deba ser suficientemente grande con el fin de poder obtener resultados fiables que representen, en la medida de lo posible, la exposición real. Se deben tomar, como mínimo, por duplicado y de manera simultánea, y debería incluirse un blanco para cada cierto número de muestras.

### Técnicas y equipos de muestreo a emplear

En cuanto a la selección del equipo de muestreo, entre los factores a considerar se encuentran el tipo de contaminante biológico de interés (incluyendo su viabilidad, su diámetro aerodinámico,  $d_a$ , y, si es posible determinarla, la concentración esperada del mismo), la matriz en la que se va a realizar el muestreo, su duración, y la técnica de análisis que se va a emplear.

El muestreo puede realizarse en aire, agua, materiales o superficies. A la hora de llevar a cabo un muestreo del aire, es necesario considerar, entre otros aspectos, el diámetro aerodinámico de los contaminantes biológicos de interés, el cual determina la profundidad de penetración y subsiguiente deposición de las partículas en el sistema respiratorio humano. Se debe prestar especial atención a las partículas con  $d_a \leq 10 \mu\text{m}$ , considerando además que, cuanto menor es el  $d_a$ , mayor es la probabilidad de alcanzar zonas más profundas del sistema respiratorio, pudiendo ser las consecuencias para la salud más graves. En la tabla 2 se indican los  $d_a$  aproximados de diversos tipos de partículas.

TIPO DE PARTÍCULA	$D_a$ ( $\mu\text{m}$ )
Bacterias individuales	0,5 – 3
Esporas fúngicas	1 - 30
Fragmentos fúngicos	< 1
Granos de polen	10 - 100
Alérgenos de perros	9
Alérgenos de gatos	2,5
Alérgenos de cucarachas	< 5
Alérgenos de ácaros	10 - 20

Tabla 2. Diámetro aerodinámico ( $d_a$ ) de contaminantes biológicos presentes en el aire interior

Por otro lado, la técnica de muestreo va a depender también de si el objetivo es captar microorganismos cultivables, totales, u otro tipo de contaminantes biológicos. Por ejemplo, en el primer caso, y, puesto que el muestreo del aire se lleva a cabo aspirando aire a través del equipo mediante una bomba de aspiración y, además, el hecho de que la concentración de contaminantes biológicos en el aire interior suele ser baja requiere el empleo de grandes volúmenes de aire, hay que considerar que estos

aspectos crean un estrés en los microorganismos dificultando su crecimiento (salvo en el caso de las esporas fúngicas y otros microorganismos resistentes a la desecación), dando lugar, por tanto, a una infraestimación de su concentración. Debido a esto, el medio de cultivo en el que se capten debería ser el adecuado para preservar su viabilidad, y el tiempo de muestreo debería ser el menor posible para reducir al máximo el efecto de la desecación. Además, hay microorganismos, como *Stachybotrys chartarum* que, si bien pueden crecer en un medio de cultivo, lo hacen lentamente, siendo enmascarados por otros microorganismos de crecimiento más rápido. En estas situaciones, la mejor opción sería emplear una técnica de muestreo no basada en el cultivo. En todo caso, hay que tener en cuenta que la caracterización completa de la contaminación microbiana en el aire interior no se logra muestreando únicamente los microorganismos viables o los no viables, sino los microorganismos totales.

En definitiva, el empleo de varias técnicas minimiza

los problemas y limitaciones que presentan cada una por separado, por lo que se suelen emplear, al menos, dos técnicas para el muestreo.

**Técnicas de análisis**

En la tabla 3 se indican los diversos métodos que pueden emplearse para el análisis de contaminantes biológicos. Para una mayor información, puede consultarse la NTP 611 Agentes biológicos: análisis de las muestras.

**Criterios de valoración**

El propósito del muestreo determina los criterios que se van a utilizar para valorar los resultados, p.e. identificar la presencia de un contaminante determinado, cumplir un requisito legal o técnico, detectar una fuente o foco de contaminación, o determinar la eficacia de una medida correctora.

TÉCNICA DE ANÁLISIS	CONTAMINANTE(S) BIOLÓGICO(S) A ANALIZAR
Cultivo <sup>A</sup>	Microorganismos cultivables
Microscopía óptica	Hongos, bacterias, polen, esporas y ácaros
Microscopía de fluorescencia	Microorganismos
Microscopía electrónica de barrido	Bacterias (incluso pequeñas esporas de actinomicetos), hongos, esporas fúngicas, polen y ácaros
Microscopía electrónica de transmisión	
Ensayos químicos (CG/MS, HPLC)	Metabolitos y productos microbianos (micotoxinas, ácido murámico, ergosterol, endotoxinas, β-1,3 glucanos)
Ensayos de toxicidad (LAL)	Endotoxinas, β-1,3 glucanos
Inmunoensayos	Micotoxinas, β-1,3 glucanos, alérgenos de bacterias, hongos, ácaros, insectos y animales
PCR	Bacterias

(<sup>A</sup>) Los medios de cultivo más utilizados son el Agar Extracto de Malta (MEA) para hongos y el Agar Tripticasa Soya (TSA) para bacterias. No obstante, al haber microorganismos con requerimientos específicos, puede ser necesario emplear medios de cultivo selectivos o diferenciales, como el Diclorán Glicerol Agar (DG18) para hongos xerofílicos, el Rosa de Bengala para mohos y levaduras, o el Agar MacConkey para bacterias Gram negativo.

Tabla 3. Técnicas de análisis de contaminantes biológicos

**BIBLIOGRAFÍA**

Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

AEMTEK, INC.  
**Recommendations for sampling fungi in indoor environments**  
 AEMTEK, INC., Fremont (California: U.S.)

HEALTH CANADA  
**Indoor Air Quality in Office Buildings: A Technical Guide**  
 Health Canada, Ottawa: Canada, 1995

INSTITUT DE RECHERCHE ROBERT-SAUVÉ EN SANTÉ ET EN SÉCURITÉ DU TRAVAIL  
**Bioaerosols in the Workplace: Evaluation, Control and Prevention Guide**  
 IRRST, Montreal: Canada, 2001

INSTITUT DE RECHERCHE ROBERT-SAUVÉ EN SANTÉ ET EN SÉCURITÉ DU TRAVAIL  
**Sampling Guide for Air Contaminants in the Workplace 8th edition**  
 IRRST, Montreal: Canada, 2013

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO  
**Notas Técnicas de Prevención (n° 652, 653, 608, 609, 610, 611, 764)**

METHAPHASE HEALTH RESEARCH CONSULTING INC.  
**Mould Assessment In Indoor Environments – Review of Guidelines & Evidence**  
 METAPHASE Health Research Consulting Inc., Vancouver: Canada, May 14, 2010

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH  
**NIOSH Manual of Analytical Methods**  
*Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta (Georgia: U.S.)*

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION  
**Preventing Mold-Related Problems in the Indoor Workplace. A Guide for Building Owners, Managers and Occupants**  
 OSHA, 2006

WORLD ALLERGY ORGANIZATION  
**Aeroallergen Monitoring Standard for The Asia Pacific Region: A WAO manual for the use of the Burkard Volumetric Spore Trap and Burkard Personal Volumetric Air Sampler**  
*World Allergy Organization, Copenhagen, 2005*

WORLD HEALTH ORGANIZATION  
**WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould**  
*WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 2009*

CARVALHO, E., SINDT, C., VERDIER, A., GALAN, C., O'DONOGHUE, L., PARKS, S., THIBAUDON, M.  
**Performance of the Coriolis air sampler, a high-volume aerosol-collection system for quantification of airborne spores and pollen grains**  
*Aerobiologia (2008) 24:191-201*

CHENG, Y.S., LU, J.C, CHEN, T.R.  
**Efficiency of a Portable Indoor Air Cleaner in Removing Pollens and Fungal Spores**  
*Aerosol Science and Technology 1998, 29:2, 92-101*

DYBWAD, M., SKOGAN, G., BLATNY, J.M.  
**Comparative Testing and Evaluation of Nine Different Air Samplers: End-to-End Sampling Efficiencies as Specific Performance Measurements for Bioaerosol Applications**  
*Aerosol Science and Technology 2014, 48:3, 282-295*

GRINSHPUN, SA., ADHIKARI, A., CHO, SH., KIM, KY., LEE, T., REPONEN, T.  
**A small change in the design of a slit bioaerosol impactor significantly improves its collection characteristics**  
*J. Environ. Monit. 2007 Aug; 9(8):855-61*

KESAVA, J., SCHEPERS, D., MCFARLAND, A.R.  
**Sampling and Retention Efficiencies of Batch-Type Liquid-Based Bioaerosols Samplers**  
*Aerosol Science and Technology 2010, 44:10, 817-829*

KULKARNI, P., BARON, P.A., WILLEKE, K.  
**Aerosol Measurement; Principles, Techniques and Applications, 3rd. Edition**  
 2011

LINDSLEY, W.G., SCHMECHEL, D., CHEN, B.T.  
**A two-stage cyclone using microcentrifuge tubes for personal bioaerosol sampling**  
*J. Environ. Monit. 2006 Nov; 8(11):1136-42*

MANDAL, J., BRANDL, H.  
**Bioaerosols in Indoor Environment - A Review with Special Reference to Residential and Occupational Locations**  
*The Open Environmental & Biological Monitoring Journal 2011, 4, 83-96*

MARTINEZ, K., RAO, C., BURTON, N.  
**Exposure assessment and analysis for biological agents**  
*Grana 2004, 43:4, 193-208. 2004*

MEHTA, S. K., MISHRA, S.K., PIERSON, D.L.  
**Evaluation of Three Portable Samplers for Monitoring Airborne Fungi**  
*Applied And Environmental Microbiology, May 1996, p. 1835-1838*

PABA, E., TRANFO, G., CORSETTI, F., MARCELLONI, A.M., IAVICOLI, S.  
**Indoor Exposure to Airborne Endotoxin: A Review of the Literature on Sampling and Analysis Methods**  
*Industrial Health 2013, 51, 237-255*

PREZANT, BRADLEY  
**Recognition, Evaluation and Control of Indoor Mold**  
 AIHA, Fairfax: U.S., 2008

SANCHEZ-MUÑOZ, M.; MUÑOZ-VICENTE, M., COBAS, G., PORTELA, R., AMILS, R., SÁNCHEZ, B.  
**Comparison of three high-flow single-stage impaction-based air samplers for bacteria quantification: DUO SAS SUPER 360, SAMPLAIR and SPIN AIR**  
*Analytical Methods 2012, 4, 399*

THERKORN, J.H., MAINELIS, G.  
**Effect of Agar Plate Volume on Accuracy of Culturable Bioaerosol Impactors**  
*Aerosol Science and Technology 2013, 47:12, 1353-1362*

VERREAULT, D., GENDRON, L., ROUSSEAU, G.M., VEILLETTE, M., MASSE, D., LINDSLEY, W.G., MOINEAU, S., DUCHAINE, C.  
**Detection of Airborne Lactococcal Bacteriophages in Cheese Manufacturing Plants**  
*Applied And Environmental Microbiology, Jan. 2011, p. 491-497*

WANG, C-H., CHEN, B.T., HAN, B-C., LIU, A.C-Y., HUNG, P-C., CHEN, C-Y., CHAO, H.J.  
**Field Evaluation of Personal Sampling Methods for Multiple Bioaerosols**  
*PLoS ONE. 2015 10(3): e0120308*

WHYTE, W., GREEN, G., ALBISU, A.  
**Collection efficiency and design of microbial air samplers**  
*Journal of Aerosol Science 2007, 38 (1). pp. 97-110. ISSN 0021-8502*

YAO, M., MAINELIS, G.  
**Investigation of Cut-Off Sizes and Collection Efficiencies of Portable Microbial Samplers**  
*Aerosol Science and Technology 2006, 40:8, 595-606*

YAO, M., MAINELIS, G.  
**Use of portable microbial samplers for estimating inhalation exposure to viable biological agents**  
*Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology 2007, 17, 31-38*