

Consideraciones sobre la influencia del campo magnético oscilante de frecuencia extremadamente baja en la aeromicrobiota de ambientes interiores

Considerations about the influence of extremely low frequency oscillating magnetic field on indoor airborne

Matilde Anaya Villalpanda^a, Sofia Flavia Borrego Alonso^{b*}, Miguel Castro Fernández^c

^a Grupo Empresarial de la Industria Alimentaria (GEIA), Avenida del Puerto s/n entre Hacendado y Atarés, La Habana, Cuba. matilde.anaya@geia.cu, matildeanaya@mail.com

^b Laboratorio de Conservación Preventiva. Archivo Nacional de la República de Cuba. Compostela 906 esquina a San Isidro, La Habana Vieja, La Habana. sofia@arnac.cu, sofy.borrego@gmail.com.

^c Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas, Facultad de ingeniería Eléctrica, CUJAE, Calle 114, # 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba. mcastro@electrica.cujae.edu.cu

Recibido: 18 de junio de 2020;

Aceptado: 19 de septiembre de 2020;

RESUMEN

El monitoreo y control de la calidad microbiológica del aire es muy importante para la actividad humana, por lo que la aeromicrobiología ha cobrado auge en los últimos años. Los especialistas plantean que para estudiar la aeromicrobiota de ambientes interiores y exteriores deben tenerse en cuenta numerosos factores como la temperatura, la humedad relativa, la época del año y hasta la hora del estudio, sin embargo, olvidan que los microorganismos son biopartículas con carga eléctrica y pasan por alto la presencia de un campo magnético oscilante de frecuencia extremadamente baja (CMO-FEB) en el momento del muestreo del aire. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue analizar las fuentes bibliográficas que fundamentan las consideraciones sobre la influencia de los CMO-FEB en la aeromicrobiota de ambientes interiores. Para ello se recopiló información publicada en los últimos diez años en revistas especializadas en las temáticas afines. Se vinculó los conocimientos científicos aceptados de microbiología sobre el efecto de las radiaciones en la excreción de pigmentos por los hongos filamentosos y la carga eléctrica de los microorganismos con los resultados experimentales de la atracción electromagnética que sufren los mismos, las partículas de polvo y los iones en el aire a los que estos pueden estar unidos. A partir del vínculo realizado, se fundamenta que el CMO-FEB influye sobre la aeromicrobiota de ambientes interiores, por lo cual debería considerarse como un factor físico para los muestreos microbiológicos del aire en ambientes interiores.

Palabras claves: aeromicrobiota; ambientes interiores; calidad del aire; susceptibilidad magnética del polvo; microorganismos radiótrofos; melanina.

ABSTRACT

Monitoring and control of the microbiological quality of the air is very important for human activity, which is why aeromicrobiology has boomed in recent years. Specialists suggest that to study the airborne of indoor and outdoor environments, numerous factors must be taken into account such as temperature, relative humidity, the time of year and even the time of the study, however, they forget that microorganisms are charged bioparticles and ignore the presence of an extremely low frequency oscillating magnetic field (ELF-OMF) at the time of air sampling. For this reason, the aim of this paper was to analyze the bibliographic sources that support the considerations about the influence of the ELF-OMF on the indoor airborne of indoor environments. The accepted scientific knowledge in microbiology on the effect of ionizing radiation on the excretion of pigments by the fungi and the electrical charge of microorganisms was linked to the experimental results of the electromagnetic attraction suffered by the same and the dust particles and ions in the air to which they may be united. Based on the link made, was supported that the ELF-OMF influences on the indoor indoor airborne, so it should be seen as a physical factor for the microbiological samplings of indoor air.

Keywords: indoor airborne; indoor environments; air quality; dust magnetic susceptibility; radiation-eating microorganisms; melanin.

INTRODUCCION

El estudio de la contaminación atmosférica se divide en ambientes exteriores e interiores (Cheremisinoff, 2002), en los que se encuentran partículas de diferente origen, forma y tamaño suspendidas en el aire, que constituyen el aerosol atmosférico (Hussein *et al.*, 2008). Según el origen de las partículas, los aerosoles pueden clasificarse en químico (orgánico, inorgánico), físico (radiaciones ionizantes y no ionizantes, ruido) y biológico (bacterias, esporas y propágulos fúngicos, algas, virus, protozoos, granos de polen, etc.) (Cheremisinoff, 2002).

Los aerosoles biológicos (bioaerosoles) comenzaron a estudiarse a partir del evento epidemiológico causado por la bacteria *Legionella pneumophila* (legionelosis), asociada a un brote ocurrido en 1976 en el interior de un centro de convenciones en Filadelfia, Estados Unidos de América (Nevalainen y Morawaska, 2009). Estos estudios han cobrado auge, sobre todo por la transmisión de enfermedades contagiosas (Baxi *et al.*, 2016; Chmiel *et al.*, 2019), la conservación de alimentos (Wong, 2008) y de documentos de interés patrimonial (Borrego y Perdomo, 2012, 2016; Borrego *et al.*, 2017).

En tal sentido, el monitoreo y control de la calidad microbiológica del aire es muy importante para la actividad humana (Rojas, 2010). Pero no se dispone de un protocolo uniforme para las investigaciones, que permita comparar los resultados obtenidos en áreas geográficas diferentes (Díaz y col., 2010). Por esto, a nivel internacional los especialistas no llegan a un consenso sobre cuáles técnicas de muestreo del aire son más adecuadas (gravimétricas o volumétricas) ni los valores de concentración microbiana para establecer el grado de contaminación microbiológica del aire (Wong, 2008), aunque algunos países han establecido límites permisibles para sus ambientes interiores (Sobral *et al.*, 2017; Gębarowska *et al.*, 2018; Chmiel *et al.*, 2019).

De entre los microorganismos que conforman la aeromicrobiota, los hongos filamentosos (aeromicobiota) de ambientes exteriores e interiores, se estudian porque poseen alta capacidad degradativa de la materia orgánica y causan enfermedades (Twaroch *et al.*, 2015; Songnuan *et al.*, 2018; Savković *et al.*, 2019). Está demostrado que las esporas fúngicas sobreviven muchos años, se adhieren al polvo del aire y se trasladan largas distancias con el viento (Rojas, 2010; Nowoisky, 2012; Reanprayoon y Yoonaiwong, 2012) y aunque tengan apariencia microscópica similar, se distinguen por su carga eléctrica (Sáenz y Gutiérrez, 2003) por lo que pueden sedimentar por deposición electrostática (Levetin, 2002) o rebotar y resuspenderse (Kuuluvainen *et al.*, 2016).

Hace 10 años se demostró por microscopía electrónica que en el polvo existen minerales magnéticos como óxido ferroso o magnetita y partículas de soldadura, de alta susceptibilidad magnética (Jelenska y col., 2011; Jordanova y col., 2011, 2012). Este resultado sugiere que los microorganismos adheridos al polvo pudieran ser atraídos por un campo magnético de cierto valor de densidad (B), siempre que su fuerza de atracción sea mayor que la del viento presente en un espacio cerrado, por ejemplo.

Pero existe gran fluctuación del valor de B para el campo magnético oscilante de frecuencia extremadamente baja (CMO-FEB) en el entorno de diversos equipos eléctricos, incluso de características similares. Dicho valor no depende del tamaño, complejidad, potencia o ruido que pueda hacer el equipo electrodoméstico sino de la carga eléctrica que reciben (Henríquez, 2009).

Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue analizar las fuentes bibliográficas que fundamenten las consideraciones sobre la influencia de los CMO-FEB en la aeromicobiota de ambientes interiores.

Generalidades sobre el campo magnético

El campo magnético es la magnitud y la dirección de una fuerza ejercida sobre una carga eléctrica en movimiento. La densidad de flujo magnético (B) se define como la cantidad de flujo que atraviesa perpendicularmente una unidad de área y se expresa en tesla (T) o en gauss (G) ($1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$) (Paunesku y Woloschak, 2007).

Según la frecuencia de corriente eléctrica (f) en hertz (Hz), el campo magnético puede clasificarse como oscilante (CMO) o en estático (CME) si no hay presencia de f. El campo magnético terrestre o geomagnético es un CME con B entre 50 o 70 μT pero los sistemas eléctricos creados por el ser humano pueden ser fuentes de CMO diferentes dependiendo de la f que lo indujo. Si f es igual o menor que 300 kHz se clasifica como CMO de frecuencia extremadamente baja (CMO-FEB). Para f mayores que 300 kHz el CMO se convierte en una radiación ionizante (Paunesku y Woloschak, 2007).

El campo magnético puede actuar sobre las sustancias, las cuales se clasifican como diamagnéticas (son repelidas, ej. agua pura, nitrógeno del aire y sal común), paramagnéticas (son atraídas débilmente, ej. oxígeno y productos intermedios de la combustión) y ferromagnéticas (son atraídas fuertemente y se magnetizan, ej. magnetita y partículas con carga eléctrica) (Paunesku y Woloschak, 2007).

El campo magnético emerge del marco mecánico cuántico de una manera matemática estricta, pero no tiene ninguna descripción como onda-partícula (physics.stackexchange.com/questions/93620) por lo que en los estudios realizados no habrá interferencia por la presencia de la luz.

Aeromicrobiota

Hussein *et al.* (2008) refieren que hay muy pocos trabajos que permitan relacionar el comportamiento de las biopartículas con las partículas no biológicas indicando que estas últimas pueden afectar la aerodinámica y transportación de las primeras. Por ejemplo, las partículas de polvo en las que se demostró la presencia de magnetita (Jordanova *et al.*, 2011, 2012; Jelenska *et al.*, 2011)

En la aerodinámica de los bioaerosoles influyen diferentes factores (Díaz *et al.*, 2010; Rojas, 2010). Se acepta que durante los muestreos del aire los propágulos fúngicos están en variedades y concentraciones que dependen de la localización geográfica (marina, continental, rural, industrial, urbana) (Nowoisky *et al.*, 2012) y sus condiciones meteorológicas (velocidad, temperatura y humedad relativa del aire) (Lignell *et al.*, 2007), naturaleza del sustrato (orgánico o inorgánico), temporada del año, hora del día, grado de urbanización, medio de cultivo para el crecimiento en la placa de Petri, metodología de muestreo, entre otras (Rojas *et al.*, 2008; Rojas, 2010; Rojas y Aira, 2012; Reanprayoon y Yoonaiwong, 2012). Se plantea que el aire de hogares y edificios puede estar tan contaminado como el aire exterior, aún en las ciudades más desarrolladas (Codina *et al.*, 2008), y algunos autores informan que el conteo microbiológico del aire en ambientes interiores puede ser 10 veces mayor que el del exterior (Díaz *et al.*, 2010).

Por tanto, la contaminación microbiológica del aire en espacios interiores es de gran importancia debido a que muchas personas realizan hasta más del 90 % de sus actividades en estos espacios. La contaminación del aire de dichos lugares, fundamentalmente por hongos filamentosos (aeromicrobiota), se considera como una de las mayores amenazas para la salud (Codina *et al.*, 2008; Díaz *et al.*, 2010).

Debido a esto, algunos especialistas en la conservación del patrimonio cultural sugieren realizar muestreos aerobiológicos sistemáticos en ambientes de archivos y bibliotecas.

Con ellos se garantiza una referencia medioambiental del riesgo al que se exponen los documentos de valor patrimonial y el personal que labora con ellos (Nevalainen y Morawaska, 2009; Pasquarella *et al.*, 2012).

Por ello, cuando se describen los síntomas en ocupantes de edificios modernos con confort, provocados por microorganismos y otros contaminantes, se habla del Síndrome del Edificio Enfermo (SEE) (Cooley *et al.*, 1998; Díaz *et al.*, 2010). De ahí que los muestreos aeromicrobiológicos sistemáticos debieran generalizarse, por su importancia para el diseño y la construcción de edificaciones que permita la toma de decisiones con vistas a evitar el SEE (Micali *et al.*, 2003; Díaz *et al.*, 2010).

La distribución geográfica de los hongos es ubicua y universal (Bartra, 2003) y se comportan como alérgenos que causan numerosas enfermedades alérgicas y respiratorias (Kiranmai-Reddy y Srinivas, 2017), incluso algunos pueden lisar los eritrocitos de la sangre para obtener el hierro necesario para su crecimiento (Nayak *et al.*, 2013), facilitar el daño tisular y afectar mecanismos del sistema inmune en humano (Da Silva *et al.*, 2005) y además poseen alta capacidad degradadora de la materia orgánica existente en alimentos, textiles y documentos de interés patrimonial, etc. (Wong, 2008; Zielińska *et al.*, 2008; Borrego y Perdomo, 2012; Rojas y Aira, 2012; Savković *et al.*, 2019).

Según Gent (2003) el recuento de microorganismos en el aire (en unidades formadoras de colonia por metro cúbico de aire: ufc/m³) puede clasificarse en cuatro niveles: no detectable (0 ufc/m³); bajo (1 a 499 ufc/m³); medio (500 a 999 ufc/m³); y alto (1000 o más ufc/m³). Atendiendo a otra clasificación, los domicilios particulares se consideran con contaminación media (600 a 799 ufc/m³) y los vestuarios de alta (800 a 1500 ufc/m³) (Díaz *et al.*, 2010). Son aceptables entre 100 a 500 ufc/m³ en ambientes interiores, pero solo se aceptan 50 ufc/m³ si son especies de *Aspergillus* que producen micotoxinas (*A. clavatus*, *A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. parasiticus* y *A. ochraceus*) (Díaz *et al.*, 2010).

Relación entre las características de las esporas, el agua y el campo magnético

La posibilidad de que la presencia de un CMO-FEB influya en la calidad microbiológica del aire dependerá de la aerodinámica en el interior del local, que está estrechamente relacionado con la velocidad de deposición de los propágulos fúngicos. Es decir, analizando este proceso como el flujo de una partícula en el seno de un fluido, lo cual puede describirse por la Ley de Stoke (Vélez y Camargo, 2008):

$$V_s = \frac{(\rho_p - \rho_f) d_p^2 g}{18 \mu_f}$$

Donde

V_s: velocidad de sedimentación;
d_p : diámetro de la partícula;
ρ_p : densidad de la partícula;
ρ_f : densidad del fluido;
g: constante de aceleración de la gravedad;
μ_f : viscosidad del fluido.

Para el caso específico de las esporas en el aire, este fenómeno está en función de la forma (esférica, elipsoidal u otra) y su estructura superficial (lisa o rugosa) que determinan el diámetro aerodinámico (d_a) de las diferentes especies fúngicas. El d_a varía en función de la humedad relativa del aire debido a que muchas esporas son altamente higroscópicas y otras son hidrofóbicas (Reponen *et al.*, 2001). Lo anterior se expresa matemáticamente por las ecuaciones siguientes:

$$d_v = \sqrt[3]{LW^2}d_a = \sqrt{\rho_p/\rho_o X} d_v$$

Donde

d_v : diámetro del volumen equivalente;

L: largo; W: ancho;

ρ_p : densidad de la partícula;

ρ_o : densidad unitaria (1 g/cm³);

X: factor de forma dinámica (definido como la razón de la fuerza de arrastre en una partícula no esférica para que una esférica tenga el mismo volumen y velocidad de sedimentación que la partícula no esférica; ej: para una partícula elipsoidal con una relación de aspecto (L/W) igual a 2 X varía entre 0,95 y 1,14 dependiendo de la orientación de las partículas en el aire.

Con el experimento desarrollado por Reponen *et al.* (2001), se demostró que d_a está en función tanto de que el agua presente en el aire se condense en la superficie de la espora como de que se absorba hacia su interior. Sin embargo, estos autores destacaron que en el interior de algunos tipos de esporas no esféricas es posible que queden espacios vacíos sin humedecer.

Por tanto, la presencia del agua en el interior o en la superficie de la espora fúngica es otro aspecto que permitiría explicar el posible efecto del CMO-FEB sobre éstas. Este planteamiento se sustenta en los cambios observados por Pang y Deng (2008) en las moléculas de agua tratada magnéticamente (con B = 0,3 y 0,4 T a temperatura desde 25 hasta 90°C), que se mantienen en el tiempo por la memoria magnética. Para lo que se desea demostrar respecto a la aeromicrobiota, algunos de estos cambios de interés son microscópicos: distribución de las moléculas y formación de conglomerados (por presencia de enlaces por puente de hidrógeno) y otros son macroscópicos: aumento del grado de absorción del agua y disminución de la hidrofobicidad sobre los materiales sólidos estudiados (cobre, grafito, moscovita y sílica gel) (Pang y Deng, 2008). Respecto a la distribución de las moléculas bajo la acción de un campo magnético, con una bobina superconductora que generó B entre 5 y 14 T se evaluó su efecto sobre la proliferación de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Se colocaron los controles a 4 m de dicha bobina donde B = 0,15 mT. Se sugirió que, para la distribución espacial de las moléculas gaseosas bajo el efecto del campo magnético, en presencia de valores más bajo que esta B, la agrupación de moléculas de dióxido de carbono (diamagnético) es mayor que las de oxígeno (paramagnético) (Iwasaka *et al.*, 2004).

Los microorganismos como partículas cargadas

La hipótesis de que el CMO-FEB pudiera influir en la aeromicrobiota de un local cerrado se fundamenta en algunas evidencias. Por ejemplo, en la fabricación del Colector Electrostático de Aire (Electrostático Duplex) en 1947 se tuvo en cuenta que en el aire existen simultáneamente bacterias con carga negativa y positiva, y se aplicó la técnica del principio electrostático a la recolección de las mismas empleando una corriente eléctrica que las hiciera migrar en la dirección deseada (Salle, 1966). También aplicando el principio electrostático se observó la atracción de las esporas del hongo *Dreschlera turcica*, en trayectoria sinusoidal con corriente alterna de 115 V/60 Hz y la reorientación hacia el electrodo positivo con corriente directa de 400 V (Leach, 1980). Algo similar se demostró también con bacterias (Jamieson *et al.*, 2007) y esporas fúngicas bajo la acción de un campo electrostático de entre 1 y 5 kV (Shimizu *N.*, 2007; Kakutani *et al.*, 2012; Takikawa *et al.*, 2014). Por tanto, es posible que la aeromicrobiota y otros microorganismos adheridos al polvo puedan ser atraídos por un CMO-FEB. Se plantea que el fenómeno anterior también ocurre cuando varía la ionización

del aire, estudiada por los alemanes desde 1931. El empleo de equipos electrodomésticos como monitores de televisores y las computadoras en locales interiores altera el balance de dichos iones, aumentando la presencia de iones positivos, por tanto, habrá mayor presencia de los microorganismos en las áreas circundante. Luego se demostró que el uso de iones negativos reduce la presencia de virus, bacterias y hongos (Terrés, 2005). En ese sentido, con estas investigaciones se infiere que el CMO-FEB pudiera convertirse en un factor físico a valorar en los muestreos para el monitoreo y control de la calidad microbiológica del aire en ambientes interiores. Algunos estudios ya proporcionan indicios de este planteamiento. Por ejemplo, Jamieson *et al.* (2007) midieron pequeñas concentraciones de iones en el aire, el potencial electrostático y las fuerzas de campo eléctrico de corriente alterna dentro de una oficina para investigar el vínculo entre los campos eléctricos, las moléculas cargadas y la concentración de partículas en estos microambientes. El resultado obtenido indicó que las personas pueden exponerse a ambientes en interiores donde permanecen largos periodos de tiempo en condiciones parecidas a una “jaula de Faraday”, expuestos a niveles y tipos inadecuados de campos eléctricos. Estos pueden variar las localizaciones de las concentraciones de iones pequeños del aire. Tales condiciones pueden intensificar el riesgo de infección por esporas y microorganismos contaminantes aumentando la superficie de contaminación (Jamieson *et al.*, 2006). Cabe referir algo conocido por la comunidad científica: el campo eléctrico puede estar presente cuando los equipos están conectados (aunque estén apagados) (Jamieson *et al.*, 2007). Además, este puede apantallarse ante un obstáculo de cualquier material, mientras que el campo magnético solo disminuye con la distancia de la fuente emisora (Paunesku y Woloschak, 2007). Sin embargo, hasta el momento no se informan estudios que aborden la posible relación entre las variables contaminación magnética y contaminación microbiológica del aire, así como un análisis y evaluación de los perjuicios de dicha relación con su efecto sobre la salud humana o el biodeterioro de los sustratos donde colonice un hongo.

Los hongos y las radiaciones

En microbiología se plantea que algunos microorganismos se protegen de los efectos letales de la radiación ionizante con la producción de pigmentos (Casadesus *et al.*, 1985; de la Rosa *et al.*, 2002). Sin embargo, en el año 2004 se informó sobre el crecimiento de *Cryptococcus neoformans*, hongo levaduriforme patógeno, en las paredes de la accidentada Central Nuclear de Chernóbil y en el terreno circundante. Con dicho descubrimiento se replantean los conocimientos en este sentido, indicando que los hongos no emplean los pigmentos para protegerse de las radiaciones, sino que los mismos intervienen en las rutas metabólicas para captar las radiaciones y utilizarlas como fuente de energía, de la misma forma que la clorofila en los organismos fotosintéticos para utilizar la energía de la luz solar (Zhdanova *et al.*, 2004). Aunque algunos científicos lo ponen en duda, este descubrimiento dio lugar a la propuesta de una nueva clasificación de los microorganismos en cuanto a la fuente de obtención de energía: microorganismos radiótrofos (Dadachova *et al.*, 2007; Dadachova y Casadevall, 2008). Esto conllevaría a reconsiderar el balance energético del planeta.

Este planteamiento se basa en resultados obtenidos al exponer la cepa aislada de *C. neoformans* a otros valores de radiación donde se observó un aumento de la producción del pigmento melanina (que absorbe la radiación ionizante) (Dadachova *et al.*, 2007; Dadachova y Casadevall, 2008). Las colonias de *C. neoformans* se expusieron a una intensidad de radiación beta del radioisótopo Ce137 500 veces mayor que el nivel normal de fondo en Chernóbil y crecieron tres veces más rápido. Se obtuvo un resultado similar con las especies

Cladosporium sphaerospermum y *Wangiella dermatitidis*, que contienen melanina de manera natural (Karpenko et al., 2006).

Precisamente, una de las causas del biodeterioro de documentos de interés patrimonial es que los hongos provocan alteraciones cromáticas debido a manchas de diferentes colores y tonalidades por la excreción de pigmentos como la melanina, así como enzimas que degradan el soporte y el crecimiento micelial (Rojas, 2010). En un estudio reciente se reveló el efecto del CMO-FEB de 50 Hz y 0,1 a 1,2 mT por 4 h sobre la producción de ácido cítrico y celulasas en el hongo *A. niger*. Ambas variables aumentaron con el tiempo de exposición y el valor de B cada vez mayor. El efecto fue inmediato al tratamiento siendo la producción de ácido cítrico más sensible al CMO-FEB que la de celulasa (Gao et al., 2011).

Resultados similares de estos estudios tanto con radiaciones ionizantes como no ionizantes podrían ser indicativos de que existe un mecanismo de acción común de las radiaciones sobre la producción de melanina.

La NASA realizó el experimento “Crecimiento y supervivencia de hongos coloreados en el espacio A (CFS-A)” para determinar los cambios que la ingravidez y la radiación cósmica tienen sobre el crecimiento y la supervivencia de diversas especies de hongos pigmentados. Comprender cualquier cambio en la fisiología y la capacidad de supervivencia de diferentes microorganismos en el espacio puede ayudar a determinar el efecto que esto puede tener en las naves espaciales, sistemas asociados y suministros, así como en los astronautas que los habitan. También esto podría proporcionar información importante para desarrollar contramedidas a microorganismos peligrosos, ayudar a sacar conclusiones sobre cómo el ambiente espacial puede afectar a organismos similares, y también podría estimular aplicaciones de la biotecnología en el futuro (Rainey, 2015).

La principal especie de hongo estudiada en el experimento CFS-A fue *Ulocladium chartarum*, que es bien conocido por estar involucrado en el biodeterioro de materiales orgánicos e inorgánicos y se sospecha que es un posible contaminante en las naves espaciales. Otras especies estudiadas fueron *Aspergillus niger* (que causa una enfermedad llamada moho negro en ciertas frutas y vegetales, y representa el 99 % de la producción comercial mundial de ácido cítrico); *Cladosporium herbarum* (con frecuencia es la espora de moho más prominente en el aire y se encuentra en plantas herbáceas y leñosas muertas, textiles, caucho, papel y alimentos de todo tipo) y *Basipetospora halófila* (que sobrevive en ambientes de concentración salina alta) (Rainey, 2015).

El experimento CFS-A indicó de forma clara que *Ulocladium chartarum* puede crecer bajo condiciones de vuelo espacial, ejecutando una nueva estrategia para sobrevivir durante un corto tiempo durante el cual desarrolla un micelio sumergido mientras que durante un largo tiempo desarrolla microcolonias esporuladas en la superficie. Esta y otras especies de hongos podrían encontrar un ambiente favorable para invadir y crecer inadvertidas en la profundidad de las superficies bajo las condiciones adecuadas que representan un factor de riesgo para la biodegradación de componentes estructurales, así como una amenaza directa para la salud de la tripulación. Esto será de especial importancia para futuras misiones de larga duración fuera de la órbita y ese conocimiento puede aplicarse de manera fácil para gestionar mejor estas especies en la Tierra (Rainey, 2015), algo sugerido también a partir de resultados de estudios similares con bacterias y otras especies de hongos, planteando que este comportamiento puede tener un impacto significativo en la comprensión de otros entornos construidos confinados, como las salas limpias utilizadas en las industrias farmacéutica y médica (Sielaff et al., 2019).

Efectos magnetobiológicos por campos magnéticos de baja frecuencia

El “biomagnetismo” trata de las mediciones de la componente magnética asociada de manera exclusiva al estudio de los CMO-FEB generados por el cerebro y el corazón humanos. El término “magnetobiología” está relacionado a la investigación de la sensibilidad de los organismos vivos al campo magnético terrestre (50 a 70 μ T), sobre todo los que lo utilizan para su orientación geográfica como delfines, anguilas, palomas, abejas y una especie de bacteria magnetotáctica que habita en el agua. Todos tienen en común la presencia focalizada de magnetita en alguna parte su cuerpo (González, 2005). Por extensión, los efectos magnetobiológicos se relacionan a los observados sobre los diferentes niveles biológicos por la presencia de un campo magnético diferente al geomagnético (Binhi, 2002), como los descritos anteriormente que ocurren en la levadura *S. cerevisiae* (Iwasaka *et al.*, 2004) y los propágulos fúngicos de *A. niger* (Gao *et al.*, 2011).

Dichos efectos magnetobiológicos observados con $B = 1$ mT, pudieran tener explicación en la posible existencia de mecanismos primarios independientes de las corrientes eléctricas inducidas por el campo magnético aplicado sobre un sistema con valores de B mayores que 0.1 mT. Por ejemplo, según la expresión para baja frecuencia de 60 Hz (Binhi, 2002):

$$B \text{ (mT)} \sim \frac{60}{f \text{ (Hz)}}$$

La gran mayoría de los estudios sobre los efectos de las radiaciones ionizantes sobre los hongos consideran solo los efectos genéticos. Es decir, los efectos mutacionales o letales, excluyendo otros no genéticos. Dichos efectos se expresan de tantas formas diferentes como especies fúngicas existen en la naturaleza y estos pueden ser dañinos, beneficiosos o inocuos dependiendo incluso del estado de nutrición del hongo y si se está dividiendo activamente o no en el momento de exponerse a la radiación ionizante (Casadesus *et al.*, 1985). Por este último aspecto, el CMO-FEB pudiera aplicarse al principio de la fase de germinación.

Hoy se sabe que dichos efectos magnetobiológicos tienen su fundamento en las leyes y postulados que rigen el micromundo a nivel cuántico (Hernando, 2005). Se conoce que las teorías físicas sobre magnetotaxis en las bacterias se basan en la electrodinámica clásica y en la cuántica (Pazur *et al.*, 2007). Pero muchos otros fenómenos de esta índole están sin esclarecer todavía; en gran medida se describen fenomenológicamente porque los biólogos poseen poca información sobre el tema, las teorías físicas disponibles (Pazur *et al.*, 2007) y los mecanismos físico-químicos que constituyen la vida (Hernando, 2005).

Sin embargo, los físicos o especialistas de otras ramas de la ciencia, que desconocen los efectos magnetobiológicos y dichos fenómenos “inexplicables”, pueden contribuir a esclarecerlos. El planteamiento anterior se justifica, según especialistas de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, porque ese desconocimiento se origina por la enorme complejidad de los fenómenos biológicos, que son los que deben investigarse (Hernando, 2005).

Desde el punto de vista de los estudios de ambientes interiores, es de mayor interés el crecimiento superficial macroscópico de una colonia fúngica. Dicho crecimiento fúngico depende del consumo (agotamiento) de la cantidad de nutrientes y está relacionado fundamentalmente con el proceso de secreción de proteínas (síntesis de proteínas de la pared celular y para la degradación de sustratos) (Ruth y Aguilar, 2012). De esta forma los hongos manifiestan una respuesta trópica (tropismo) diferente según las condiciones en las que se encuentren (Brand *et al.*, 2007) que puede monitorearse con procesamiento digital de imágenes (PDI).

Secreción de proteínas y su relación con el tropismo de los hongos

Se denomina secretómica al estudio proteómico especializado en proteínas de secreción que es un proceso polarizado. Dicha polarización restringe el crecimiento al extremo hifal (extremo de la hifa) donde la pared celular es más porosa y hay menos orgánulos, lo que permite una rápida difusión de las proteínas (Ruth y Aguilar, 2012).

En el extremo hifal existe un gradiente alto de iones calcio que junto al Spitzenkörper o Spk (acumulación de vesículas en las puntas de las hifas identificada como un cuerpo denso, Knudsen *et al.*, 2006) dirigen el crecimiento a través de señales ante estímulos endógenos y exógenos (Brand *et al.*, 2007) que determinan la respuesta trópica para indicar el camino a seguir y colonizar el sustrato (Brand y Gow, 2012). En ese sentido, se plantea que los microorganismos patógenos han evolucionado con diferentes formas de tropismo para invadir los tejidos, entre ellas sortear el contorno (tigmotropismo) o por gradientes de compuestos químicos, luz, oxígeno y corriente eléctrica (quimiotropismo, fototropismo, aerotropismo y galvanotropismo, respectivamente) (Bowen *et al.*, 2007; Brand y Gow, 2009). El conocimiento de las diferentes respuestas trópicas de los microorganismos patógenos, sirve para dilucidar los mecanismos mediante los cuales éstos invaden al hospedero y así poder contrarrestarlos. Se plantea que ha sido muy difícil de demostrar el quimiotropismo de las hifas de ascomicetes y basidiomicetes. Con los resultados obtenidos, se especula que el crecimiento hifal orientado hacia el cátodo por galvanotropismo no solo depende del gradiente de iones calcio en el citoesqueleto (Brand *et al.*, 2009) sino también de feromonas sexuales u otras sustancias secretadas por los hongos (Brand y Gow, 2012).

Tanto los estudios de secretómica como de tropismo en hongos se han realizado sin evaluar el efecto del campo magnético. Para el caso de la respuesta trópica con hongos, en la mayoría de los estudios de tigmotropismo o quimiotropismo combinado con galvanotropismo, se ha aplicado corriente eléctrica (5 a 60 V/cm y 33 ± 2 mA) por 6 ó 7 h. Después de este tiempo se tomaron imágenes puntuales que permitieron explicar el comportamiento que manifestó el microorganismo (Bowen *et al.*, 2007; Brand y Gow, 2009; Brand *et al.*, 2007, 2009; Brand y Gow, 2009, 2012).

Es posible que el CMO-FEB provoque una nueva forma de tropismo, el magnetotropismo, que pudiera crear las bases para otras investigaciones sobre enfermedades infecciosas de la piel provocadas por hongos a las personas que permanezcan en ambientes interiores expuestas a esta radiación no ionizante.

Efecto del campo magnético sobre la producción de enzimas fúngicas

Las proteínas extracelulares con actividad exoenzimática que producen los hongos pueden ser potencialmente útiles, ya que hidrolizan moléculas de interés industrial. Los hongos descomponen la materia orgánica por combinación de complejos exoenzimáticos (acción de enzimas específicas), esfuerzo mecánico (crecimiento hifal) e hidrólisis ácida (excreción de ácidos orgánicos) (Cruz *et al.*, 2009). Es decir, el metabolismo fúngico puede ser beneficioso o perjudicial para la actividad humana ya que las exoenzimas y los ácidos por una parte tienen utilidad práctica y por otra no son deseados porque provocan enfermedades y deterioran la materia orgánica que se requiere conservar (alimentos, documentos, fármacos, cosméticos, etc.).

Respecto a la utilidad práctica, para obtener exoenzimas fúngicas se emplea la fermentación en estado o fase sólida (FES) ya que los hongos están en condiciones semejantes a las naturales comparadas con la fermentación en fase líquida (Julián *et al.*, 2008). En ambas formas de fermentación se estudian los efectos del CMO-FEB en la producción de exoenzimas fúngicas con resultados satisfactorios, sobre *A. niger* en fase líquida (Gao *et al.*, 2011) y sobre *T. viride* en fermentación sólida (Mas *et al.*, 1999). Por tanto, puede inferirse

que esta estimulación ocurra en cepas fúngicas de varias especies en diferentes condiciones nutricionales según el sustrato.

CONCLUSIONES

El análisis de la literatura científica consultada permitió vincular los conocimientos aceptados sobre el efecto de las radiaciones en la excreción de pigmentos por los hongos filamentosos y la carga eléctrica de los microorganismos con los resultados experimentales existentes sobre la atracción electromagnética que sufren los mismos, las partículas de polvo y los iones en el aire a los que estos están unidos. Se puede fundamentar la influencia del campo magnético oscilante de frecuencia extremadamente baja (CMO-FEB) en la aeromicrobiota de interiores. Por tanto, debería considerarse al CMO-FEB como un factor físico durante los muestreos microbiológicos del aire en ambientes interiores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bartra, J. (2003). Mapa fúngico y estudio multicéntrico de sensibilización a hongos en Cataluña. *Allergology and Immunology Clinical*, 18(3), 106-112.
- Baxi, S. N., Portnoy, J. M., Larenas-Linnemann, D., & Phipatanakul, W. (2016). Exposure and health effects of fungi on humans. *Journal of Allergy and Clinical Immunology Practices*, 4(3), 396-404.
- Binhi, V. (2002). *Magnetobiology: Underlying physical problems*. 1ra Edición, San Diego: Editorial Academic Press.
- Borrego, S., Molina, A., & Santana, A. (2017). Fungi in archive repositories environments and the deterioration of the graphics documents. *EC Microbiology*, 11(5), 205-226.
- Borrego, S., & Perdomo, I. (2016). Airborne microorganisms cultivable on naturally ventilated document repositories of the National Archive of Cuba. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 3747-3757.
- Borrego, S. F., & Perdomo, I. (2012). Aerobiological investigations inside repositories of the National Archive of the Republic of Cuba. *Aerobiologia*, 28, 303-316.
- Bowen, A. D., Davidson, F. A., Keatch, R., & Gadd, G. M. (2007). Induction of contour sensing in *Aspergillus niger* by stress and its relevance to fungal growth mechanics and hyphal tip structure. *Fungal Genetic Biology*, 44(6), 484-491.
- Brand, A., & Gow, N. (2012). Tropic orientation responses of pathogenic fungi. En: J. Pérez Martín & A. Di Pierro (Eds.), *Morphogenesis and pathogenicity in fungi* (pp.21-41). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Brand, A., Shanks, S., Duncan, V. M. S., Yang, M., Mackenzie, K., & Gow, N. (2007). Hyphal orientation of *Candida albicans* is regulated by a calcium-dependent mechanism. *Current Biology*, 17, 347-352.
- Brand, A., Lee, K., Veses, V., & Gow, N. (2009). Calcium homeostasis is required for contact-dependent helical and sinusoidal tip growth in *Candida albicans* hyphae. *Molecular Microbiology* 71(5), 1155-1164.
- Brand, A., & Gow, N. (2009). Mechanisms of hypha orientation of fungi. *Current Opinion Microbiological*, 12(4), 350-357.
- Casadesus, L., Rojas, T. I., Brizuela, A. L., & Sánchez, A. Y. (1985). Ecología: Radiaciones ionizantes. En: *Micología* (pp. 444-446). La Habana, Cuba: Editorial ENPS-MES.
- Chmiel, M., Kral, I., & Lenart-Boron, A. (2019). Concentration and size distribution of microbial aerosol in the historical objects in Kraków as a potential health risk and biodeterioration factor. *Aerobiologia*, 35, 743-758.
- Cheremisnoff, N. P. (2002). Ventilation and indoor air quality control. En: *Handbook of air pollution prevention and control* (pp. 188-280). Woburn, MA, USA: Elsevier Science.

- Codina, R., Fox, R. W., Lockey, R. F., de Marco, P., & Bagg, A. (2008). Typical levels of airborne fungal spores in houses without obvious moisture problems during a rainy season in Florida, US. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 18, 156-162.
- Cooley, J. D., Wong, W. C., Jumper, C. A., & Straus, D. C. (1998). Correlation between the prevalence of certain fungi and sick building syndrome. *Occupational Environmental Medicine*, 55, 579-584.
- Cruz, N., Castellanos, D., & Argüillo, H. (2009). Degradación de celulosa y xilano por microorganismos aislados de dos tipos de compost de residuos agrícolas en la Sabana de Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 3(2), 237-249.
- Dadachova, E., & Casadevall, A. (2008). Ionizing radiation: how fungi cope, adapt, and exploit with the help of melanin. *Current Opinion in Microbiology*, 11(6), 525-531.
- Dadachova, E., Bryan, R. A., Huang, X., Moadel, T., & Schweitzer, A. D. (2007). Ionizing radiation changes the electronic properties of melanin and enhances the growth of melanized fungi. *PLoS ONE*, 2(5), e457. DOI:10.1371/journal.pone.0000457.
- Da Silva, B. C. M., Auler, M. E., Ruiz, L. D. S., Gandra, R. F., et al. (2005) *Trichophyton rubrum* isolated from AIDS and human immunodeficiency virus- infected patients in São Paulo, Brazil: antifungal susceptibility and extracellular enzyme production. *Chemotherapy*, 51(1), 21-26.
- de la Rosa, M. C., Mosso, M. A., & Ullán, C. (2002). El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Observatorio Medioambiental*, 5, 375-402.
- Díaz, M. J., Gutiérrez, A., González, M. 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.
- Does the magnetic field lie in the Wave-Particle duality? Recuperado de <https://physics.stackexchange.com/questions/93620/does-the-magnetic-field-lie-in-the-wave-particle-duality>
- Durand, K., Muilenberg, M., Burge, H., & Seixas, N. (2002). Effect of sampling time on the culturability of airborne fungi and bacterial sampled by filtration. *Annals of Occupational Hygiene*, 46(1), 113-118.
- Gao, M., Zhang, J., & Feng, H. (2011). Extremely low frequency magnetic field effects on metabolite of *Aspergillus niger*. *Bioelectromagnetics*, 32, 73-78.
- Gębarowska, E., Pusz, W., Kucińska, J., & Kita, W. (2018). Comparative analysis of airborne bacteria and fungi in two salt mines in Poland. *Aerobiologia*, 34, 127-138.
- Gent, J. F. (2003). Correlation of levels of house hold mold with respiratory symptoms in infants. *Alergología e Inmunología Clínica*, 18(3), 112-114.
- González, A. (2005). Biomagnetismo vs. Magnetobiología. *Revista Cubana de Física*, 22(2), 188-191.
- Henriquez, D. (2009). Aparatos eléctricos en el hogar. Recuperado de: <http://electromagnetismo221.blogspot.com>.
- Hernando, A. (2005). Campos electromagnéticos medioambientales. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 99(1), 101-111.
- Hussein, K., Hargreaves, M., Smith, J., Ristovsky, Z., Agranovsky, V., & Morawska, L. (2008). Performance of UVAPS with respect to detection of airborne fungi. *Journal of Aerosol Science*, 39, 175-189.
- Iwasaka, M., Ikehata, M., Miyakoshi, J., & Ueno, S. (2004). Strong static magnetic field effects on yeast proliferation and distribution. *Bioelectrochemistry*, 65, 59-68.

- Jamieson, K. S., ApSimona, H. M., Jamieson, S. S., Bell, J. N. B., Yost, M. G. (2007). The effects of electric fields on charged molecules and particles in individual microenvironments. *Atmospheric Environment*, 41, 5224-5235.
- Jamieson, K. S., & Jamieson, S. S. (2006). Electromagnetic phenomena, microbial infection, charged oxygen and environmental air quality. In: Proceedings of VALDOR (Values in decisions on risk). Stockholm, Sweden, 14 - 18 May 2006, pp.281-283.
- Jelenska, M., Górka, B., & Król, B. (2011). Magnetic properties of dust of indicators of indoor air pollution: preliminary results. *Management of Indoor Air Quality*, 1, 129-136.
- Jordanova, D., Jordanova, N., Lanos, P., Petrov, P., & Tsacheva, T. (2012). Magnetism of indoor and outdoor settled dust and its utilization as a tool for revealing the effect of elevated particulate air pollution on cardiovascular mortality. *Geochemistry, Geophysics and Geosystem*, 13, 2-27.
- Jordanova, N., Jordanova, D., Yankova, R., Petrov, P., Popov, T., & Tsacheva, T. (2011). Magnetic and aerobiological studies of indoor and outdoor dust from Bulgaria. Recuperado de: <http://www.ig.cas.cz/Castle2010/Abstracts/Jordanova.pdf>.
- Julián, M. C., Ramos, L. B., & Suárez, Y. (2008). Fermentación en estado sólido optimización de medios de cultivos. *Tecnología Química*, XXVIII(1), 5-10.
- Kakutani, K., Matsuda, Y., Kimbara, J., Osamura, K., & Kusakari, S. (2012). Practical application of an electric field screen to an exclusion of flying insect pests and airborne fungal conidia from greenhouses with a good air penetration. *Journal of Agricultural Science*, 4(5), 51-60.
- Karpenko, Y. V., Redchitz, T. I., Zheltonozhsky, V. A., Dighton, J., & Zhdanova, NN. (2006). Comparative responses of microscopic fungi to ionizing radiation and light. *Folia Microbiologica*, 51(1), 45-49.
- Kiranmai-Reddy, M., & T. Srinivas, T. (2017). Mold allergens in indoor play school environment. *Energy Procedia*, 109, 27-33.
- Knudsen, G. R., Stack, J. P., Schuhmann, S. O., Orr, K., & Lapaglia, C. (2006). Individual-based approach to modeling hyphal growth of a biocontrol fungus in soil. *Phytopathology*, 96(10), 1108-1115.
- Kuuluvainen, H., Saari, S., Mensah-Attipoe, J., Arffman, A., Pasanen, P., Reponen, T., & Keskinen, J. (2016). Triboelectric charging of fungal spores during resuspension and rebound. *Aerosol Science and Technology*, 50(2), 187-197.
- Leach, C. M. (1980). Evidence for an electrostatic mechanism in spore discharge by *Drechslera turcica*. *Ecology and Epidemiology*, 70(3), 206-213.
- Levetin, E. (2002). Aerobiology of agricultural pathogens. Dispersal mechanism. In: C. J. Hurst, R. L. Crawford, M J. McInerney, G. R. Knudsen, L. D. Stetzenbach (Eds.), *Manual of environmental microbiology* (pp. 884-897). 2nd ed. Washington, D. C: ASM Press.
- Lignell, U., Meklin, T., Putus, T., Rintala, H., Vepsäläinen, A., Kalliokoski, P. & Nevalainen, A. (2007). Effects of moisture damage and renovation on microbial conditions and pupils' health in two schools - a longitudinal analysis of five years. *Journal of Environmental Monitoring*, 9, 225-233.
- Mas, S. M., González, A., Campos, M. S., Cabeza, D. (1999). Influencia del campo electromagnético en la propagación de *Trichoderma viride* mediante fermentación en estado sólido (FES). *Tecnología Química*, XIX(3), 64-69.
- Micali, O., Montacutelli, R., & Tarsitani, G. (2003). Pathogenic microorganisms and situations of risk to man. En: P. Mandrioli, G. Caneva, C. Sabbioni, (Eds.), *Cultural Heritage and Aerobiology* (pp. 31-43). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Nayak, A. P., Green, B. J., & Beezhold, D. H. (2013). Fungal hemolysins. *Medical Mycology*, 51, 1-16.

- Nevalainen, A., & Morawaska, L. (2009). Biological agents in indoor environments. Assessment of health risks. Work conducted by a WHO Expert Group between 2000 - 2003. University of Technology, Brisbane: Australia. Recuperado de http://www.ilqah.qut.edu.au/Misc/BIOLOGICAL_AGENTS_2009.pdf.
- Nowoisky, J. F., Burrows, S. M., Xie, Z., Engling, G., Solomon, P. A., Fraser, M. P., Mayol, O. L., Artaxo, P., Begerow, D., Conrad, R., Andreae, M. O., Després, V. R., & Poschl, U. (2012). Biogeography in the air: fungal diversity over land and oceans. *Biogeosciences*, 9, 1125-1136.
- Pang, X. F., & Deng, B. (2008). The changes of macroscopic features and microscopic structures of water under influence of magnetic field. *Physica B*, 403, 3571-3577.
- Pasquarella, C., Sacconi, E., Sansebastiano, G. E., Ugolotti, M., Pasquariello, G., & Albertini, R. (2012). Proposal for a biological environmental monitoring approach to be used in libraries and archives. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 19, 209-212.
- Paunesku, T., & Woloschak, G. E. (2007). Effects of radiofrequency and extremely low-frequency electromagnetic field radiation on cells of the immune system. En: *Biological and medical aspects of electromagnetic fields. Handbook of biological effects of electromagnetic fields* (pp. 39-56). 3rd edition. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, LLC.
- Pazur, A., Schimek, C., & Galland, P. (2007). Magnetoreception in microorganisms and fungi. *Central European Journal of Biology*, 2(4), 597-659.
- Rainey, K. (2015). Microbiology applications from fungal research in space. Recuperado de https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/benefits/fungal_research/
- Reanprayoon, P., & Yoonaiwong, W. (2012). Airborne concentrations of bacteria and fungi in Thailand border marker. *Aerobiologia*, 28, 49-60.
- Reponen, T., Grinshpun, S. A., Conwell, K. L., Wiest, J., Anderson, M. (2001). Aerodynamic versus physical size of spores: Measurement and implication for respiratory deposition. *Grana*, 40, 119-125.
- Rojas, T. I., & Aira, M. J. (2012). Fungal biodiversity indoor environments in Havana, Cuba. *Aerobiologia*, 28, 367-374.
- Rojas, T. I. (2010). Diversidad fúngica en ambientes interiores y exteriores en áreas urbanas de Ciudad de La Habana. (Tesis inédita de Doctorado en Ciencias Biológicas). Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba.
- Rojas, T. I., Martínez, E., Aira, M. J., & Almaguer, M. (2008). Aeromicota de ambientes internos: comparación de métodos de muestreo. *Boletín Micológico*, 23, 67-73.
- Ruth, L. T., & Aguilar, G. O. (2012). El estado actual del proteoma de *Aspergillus*. *BioTecnología*, 16(2), 129-151.
- Sáenz, C., & Gutiérrez, M. (2003). Esporas atmosféricas en la comunidad de Madrid. Instituto de Salud Pública, Madrid: España.
- Salle, J. A. (1966). Efecto del ambiente sobre las bacterias: Efecto de la luz ultra violeta. En: *Bacteriología* (pp. 259-266). La Habana, Cuba: Edición Revolucionaria.
- Savković, Z., Stupar, M., Unković, N., Ivanović, Ž., Blagojević, J., Vukojević, J., & Grbić, M. L. (2019). In vitro biodegradation potential of airborne *Aspergilli* and *Penicillia*. *The Science of Nature*, 106: 8. DOI: 10.1007/s00114-019-1603-3.
- Shimizu, K., Matsuda, Y., Nonomura, T., Ikeda, H., Tamura, N., Kusakari, S. (2007). Dual protection of hydroponic tomatoes from rhizosphere pathogens *Ralstonia solanacearum* and *Fusarium oxysporum f. sp. radicislycopersici* and airborne conidia of *Oidium neolycopersici* with an ozone-generative electrostatic spore precipitator. *Plant Pathology*, 56, 987-997.
- Sielaff, A. Ch., Urbaniak, C., Malli Mohan, G. B., Stepanov, V. G., Tran, Q., Wood, J. M., Minich, J., McDonald, D., Mayer, T., Knight, R., Karouia, F., Fox, G. E., & Venkateswaran, K. (2019). Characterization of the total and viable bacterial and fungal

- communities associated with the International Space Station surfaces. *Microbiome*, 7(1), 1-21. DOI: 10.1186/s40168-019-0666-x
- Sobral, L. V., Melo, K. N., Souza, C. M., Silva, S. F., Silva, G. L. R., Silva, A. L. F., Wanderley, K. A. A., Oliveira, I. S., & Cruz, R. (2017). Antimicrobial and enzymatic activity of anemophilous fungi of a public university in Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 89(3 Suppl.), 2327-2356.
- Songnuan, W., Bunnag, C., Soontrapa, K., Pacharn, P., Wangthan, U., Siriwanthakul, U., & Malainual, N. (2018). Airborne fungal spore distribution in Bangkok, Thailand: correlation with meteorological variables and sensitization in allergic rhinitis patients. *Aerobiologia*, 34, 513-524.
- Terrés, A. M. (2005). Manejo de la contaminación ambiental intramuros por medio de la generación de iones aéreos electronegativos. *Revista Mexicana Patología Clínica*, 53(1), 29-38.
- Takikawa, Y., Matsuda, Y., Nonomura, T., Kakutani, K., Kimbara, J., Osamura, K., Kusakari, S., & Toyoda, H. (2014). Electrostatic guarding of bookshelves for mould-free preservation of valuable library books. *Aerobiologia*. DOI: 10.1007/s10453-014-9340-8.
- Twaroch, T. E., Curin, M., Valenta, R., & Swoboda, I. (2015). Mold allergens in respiratory allergy: From structure to therapy. *Allergy, Asthma and Immunology Research*, 7(3), 205-220.
- Vélez, A. M., & Camargo, Y. (2008). Comportamiento aerodinámico y viabilidad de las partículas biológicas. *Revista RE'TAKVN*, 1(1), 44-56.
- Wong, E. (2008). Metodología para realizar estudios de evidencia microbiológica en plantas procesadoras de alimentos. *Agronomía Mesoamericana*, 19, 131-137.
- Zhdanova, N., Tugay, T., Dighton, J., Zheltonozhsky, V., Mcdermott, P. (2004). Ionizing radiation attracts soil fungi. *Mycological Research*, 8(9), 1089-1096.
- Zielińska, K., Kozajda, Piotrowska, M., & Szadkowska, I. (2008). Microbiological contamination with moulds in work environment in libraries and archive storage facilities. *Annals Agriculture Environment Medical*, 15, 71-78.