

## CARACTERIZACIÓN AEROBIOLÓGICA DE AMBIENTES INTRAMURO EN PRESENCIA DE CUBIERTAS VEGETALES

Martín DÍAZ ROJAS<sup>1</sup>, Jorge GUTIÉRREZ ESPINOSA<sup>1</sup>, Alejandra GUTIÉRREZ ESPINOSA<sup>1</sup>,  
Ma. del Carmen GONZÁLEZ CHÁVEZ<sup>2</sup>, Guadalupe VIDAL GAONA<sup>3</sup>,  
Rosa Ma. ZARAGOZA PALENCIA<sup>4</sup> y Carmen CALDERÓN EZQUERRO<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Recursos Genéticos y Productividad, Fruticultura, <sup>2</sup>Edafología, Microbiología Ambiental. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, km 36.5, carretera México-Texcoco, C.P. 56230. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Correo electrónico: mdrdiaz@colpos.mx

<sup>4</sup> Centro de Salud T-III. San Francisco Culhuacán, Escuela Naval Militar, S/N. Delegación Coyoacán, C.P. 04260. México D.F.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias, <sup>5</sup>Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, C.P. 04510. México D.F. Correo electrónico: mclce@atmosfera.unam.mx

(Recibido octubre 2008, aceptado enero 2010)

Palabras clave: calidad del aire, hongos mitospóricos (deuteromicetos), esporas, aerobiología, ornamentales.

### RESUMEN

Se evaluó la presencia cualitativa y cuantitativa de esporas aerovagantes, así como el registro de temperatura e intensidad de luz en ausencia y presencia de plantas ornamentales en tres áreas intramuro durante las semanas del 12 al 16 de marzo, del 16 al 20 de abril y del 14 al 18 de mayo de 2007 en tres áreas de intramuros del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Se utilizó un muestreador Andersen<sup>®</sup> de una etapa para las esporas fúngicas y un serie Pendant<sup>®</sup> (Onset<sup>®</sup> Co.) para registrar la temperatura y la luz. La identificación de colonias de hongos se realizó a nivel de género en ausencia y presencia de plantas. Los géneros que predominaron fueron *Alternaria*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium* y *Penicillium*. Sin embargo, también estuvieron presentes las especies *Aspergillus niger* y *Aspergillus candidus*. La cantidad de esporas aéreas disminuyó en más de 60% y la temperatura ambiente aumentó entre 2 y 3 °C en las tres habitaciones con presencia de plantas. La intensidad luminosa no presentó cambios por la presencia de plantas. Se observó una clara relación entre la intensidad de luz y la posición de las áreas intramuros. Los resultados mostraron que en presencia de plantas e incremento de la temperatura en interiores, la concentración de hongos en el aire disminuyó.

Key words: air quality, mitosporic fungi, (deuteromycetes) spores, aerobiology, ornamental.

### ABSTRACT

We evaluated the qualitative and quantitative presence of airborne spores and recording temperature and light intensity in the absence and presence of ornamental plants without the latter were assessed during periods of three weeks from March 12 to 16<sup>th</sup>, April 16<sup>th</sup> to 20<sup>th</sup> and from May 14<sup>th</sup> to 18<sup>th</sup>, 2007 under three indoor environments in the Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, estado de Mexico.

An Andersen sampler one stage for fungal spore and a data logger Pendant® series (Onset© Co.) for registering temperature and light were used. Fungal identification was performed to the genus level with and without plants. *Alternaria*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium* and *Penicillium* were the predominant genera obtained; but *Aspergillus niger* and *A. candidus* were also found. Aerial spore levels decreased by 60% in plants presence and temperature increased between 2 and 3 °C in the three rooms sampled. No significant differences for light intensity were observed by plants presence. There was a clear behaviour between the intensity of light and the position of the indoor environments. The results showed that in the presence of plants and increasing the indoor temperature, the concentration of fungi in the air decreased.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la contaminación del aire en espacios intramuros se considera como una de las mayores amenazas para la salud (EPA 1995, Calderón *et al.* 1997, Darlington *et al.* 2001, Gutiérrez *et al.* 2005). Además, es de gran importancia debido a que mucha gente realiza hasta 90% de sus actividades en espacios de oficina, salones de clase y cuartos habitación, entre muchos otros (Darlington *et al.* 2001).

Diversas investigaciones realizadas por EPA (1995), Wolverton (1997), Darlington *et al.* (2000) y Gutiérrez (2005) mostraron que el ambiente en áreas intramuros puede estar hasta diez veces más contaminado que el extramuro. Más aún si se considera que los habitantes de un edificio son en sí una fuente de contaminación por producir cantidades considerables de dióxido de carbono, humo generado por el tabaco, elaboración de comidas y aquellos productos del funcionamiento y combustión de equipos eléctricos (Darlington *et al.* 2001, Bayer *et al.* 2002, Lai 2002, Gutiérrez 2005). La exposición prolongada a gases químicos y microorganismos dispersos en el aire que respiramos a largo plazo ha aumentado el número de casos de alergia, asma e hipersensibilidad (Wolverton 1997, Darlington *et al.* 2000, Bayer *et al.* 2002, Lai 2002).

Estos contaminantes tienen dos orígenes esenciales: el aire exterior que se introduce por los sistemas de ventilación natural o forzada en los edificios y el ambiente interior originado por actividades rutinarias de limpieza o trabajo, mobiliario, materiales de construcción, recubrimientos de superficies y los tratamientos del aire (Lai 2002, Gutiérrez *et al.* 2005).

Las esporas fúngicas se encuentran diseminadas en el aire y pueden ser inhaladas en varias concentraciones por el hombre y los animales (Calderón *et al.* 1997). Lo anterior aumenta de manera significativa

el riesgo de síntomas respiratorios y alergias en los ocupantes de intramuros (Garret *et al.* 1997). Estos padecimientos incluyen, entre otros, irritación de las membranas mucosas, bronquitis crónica, rinitis alérgica y asma (Garret *et al.* 1997, Calderón *et al.* 2002), aparte de alteraciones físicas y mentales como estrés, ansiedad e incomodidad, los cuales repercuten en el rendimiento laboral (EPA 1995). Cuando se describen estos síntomas, provocados por microorganismos y contaminantes en ocupantes de intramuros, se habla del “síndrome del edificio enfermo” (EPA 1995, Simonson *et al.* 2002). Las razones de este síndrome no son muy claras y se ha indicado que la exposición a contaminantes, como las esporas de hongos, pueden ser un factor que contribuya a desencadenar estos padecimientos en áreas intramuros (Garret *et al.* 1997).

Ante esta problemática, han surgido tecnologías de la arquitectura y ecología urbanas implementadas como alternativas de remediación o mitigación en áreas intramuros (Gutiérrez 2005). Las especies vegetales se han utilizado como herramientas que proveen elevado confort y valor estético en la conformación de espacios intramuros (Wolverton 1997, Gutiérrez 2005). El uso de estas cubiertas vegetales encaminadas a promover el mantenimiento y remediación de áreas intramuros constituye una alternativa de reciente implementación con un prometedor futuro (Gutiérrez 2005, Gutiérrez *et al.* 2005).

Las paredes vivas o paredes de biofiltración se constituyen como paneles que sostienen y promueven el desarrollo de especies vegetales y se han utilizado por tener propiedades de mantenimiento y remediación del ambiente al atrapar, fijar o remover diversos volátiles tóxicos y partículas nocivas, sin la intervención de agente químico alguno (Kondo *et al.* 1995, Ugrekhelidze *et al.* 1997, Wolverton 1997, Darlington *et al.* 2000, 2001).

Por lo tanto, la evaluación de la calidad del aire en ambientes intramuros requiere de constante y prolongada vigilancia que permita caracterizar la presencia

de diversas esporas fúngicas en el ambiente durante las diferentes épocas estacionales a lo largo del año.

Con base en estos antecedentes y tomando en cuenta que el tratamiento de aire utilizando plantas vivas se plantea como una alternativa biotecnológica para incrementar la calidad del aire, es necesario esclarecer parte de la relación que tiene la incorporación de especies vegetales en la modificación ambiental en áreas intramuros.

En consecuencia, el objetivo general de la presente investigación fue determinar si las esporas fúngicas del aire de ambientes intramuros presentan cambios cualitativos y cuantitativos, así como averiguar si hay modificaciones de temperatura e intensidad luminosa por la presencia de plantas ornamentales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El experimento se realizó en tres oficinas del área de fruticultura, ubicadas en el tercer nivel del edificio de documentación y biblioteca del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, el cual se encuentra a una altitud de 2250 m y 19°19'N y 98° 53' O.

Las tres áreas intramuros en las que se tomaron las muestras de aire tienen dimensiones similares de 3 m de ancho por 3 m de largo y 2.50 m de altura, con una puerta de acceso. La ventilación y la limpieza no se llevó a cabo durante toda la etapa de muestreo para que estos no fueran factores que influyeran en la toma de muestras. En cuanto al mobiliario que se encontró en las habitaciones no difiere demasiado entre ellas (libros, hojas, escritorios, sillas, equipo de cómputo, entre otros). Cada una de las habitaciones evaluadas es ocupada por un investigador y la cantidad de personas que ingresan a éstas aunque no se contabilizó es muy variable, disminuyendo su número al final de la semana.

### Métodos de muestreo

La concentración de esporas se midió en dos etapas, entre las 12:00 y las 15:00 h del día. El primer periodo de muestreo fue del 12 al 16 de marzo, en ausencia de plantas; el segundo, del 16 al 20 de abril y del 14 al 18 de mayo de 2007, en presencia de plantas. La colecta consistió en tomar muestras de aire en cada habitación, por duplicado en cajas de Petri con 30 mL de agar papa dextrosa (APD). La colecta de aire se realizó con un Andersen® (Thermo Electron Corporation®) de una etapa colocado sobre un tripié portátil de aluminio a una altura de 1.60 m sobre el nivel del suelo. La velocidad de

flujo fue de 28.3L min<sup>-1</sup> y el tiempo de operación fue de 15 minutos.

Al término del muestreo, las cajas de Petri se incubaron a temperatura constante de 27 °C, entre 5 y 7 días. Posteriormente, las colonias de hongos se observaron y cuantificaron para calcular las unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire (UFC m<sup>-3</sup>) de acuerdo con el manual Thermo Electron Corporation (2003). Las colonias fúngicas se clasificaron por apariencia y características morfológicas (color, tamaño y forma) y se resemaron en cajas de Petri de 30 mm de diámetro conteniendo medio de cultivo APD; cada especie de hongo colectado se purificó por medio de la técnica de Riddell de acuerdo con Mier *et al.* (2002). Posterior a la aplicación de la técnica, las colonias se fijaron con lactofenol para fotografiar y examinar sus estructuras macro y microscópicamente. Para llevar a cabo la identificación de los hongos hasta nivel de género se utilizaron claves micológicas de acuerdo con Ulloa (1991), Kiffer y Morelet (1997) y Dugan (2006), en el laboratorio de Bioindicadores Moleculares de Contaminación del Centro de Ciencias de la Atmósfera y el Laboratorio de Micología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Se construyeron y establecieron tres cubiertas vegetales en contenedores individuales en forma de escalera permitiendo el riego por inundación y absorción por capilaridad a periodos previamente determinados de aproximadamente 3 L. El sistema se ubicó al nivel del suelo en cada uno de los espacios intramuros seleccionados con una semana de antelación (del 5 al 11 de marzo), para permitir la adaptación de las plantas antes de realizar el muestreo de hongos del aire. Para establecer las cubiertas vegetales en las tres áreas intramuros, se emplearon 11 especies vegetales de origen tropical por duplicado, en total 22 plantas por habitación comunes para la industria ornamental se establecieron en cada habitación. Dichas especies fueron: *Spathiphyllum wallisi*, *Pilea cadierei*, *Peperomia caperata*, *Aglaonema commutatum*, *Cordilyne terminalis*, *Blechnum gibbum*, *Aucuba japonica*, *Philodendron scandens*, *Maranta leuconeura*, *Adiantum sp.*, *Dieffenbachia sp.*

### Medidas ambientales

Los registros de temperatura y luz se obtuvieron mediante equipos de la serie Pendant® (Onset® Co.), a intervalos de 10 minutos las 24 h del día durante los tres periodos del muestreo. Los equipos se colocaron a una altura de 1.60 m sobre el nivel del suelo en las tres áreas intramuros.

**CUADRO I.** GÉNEROS FÚNGICOS DETERMINADOS POR MUESTREO DE TRES ÁREAS INTRAMURO EN AUSENCIA Y PRESENCIA DE PLANTAS

Géneros	Muestreo 1 /Sin Plantas Habitación 1, 2 y 3	Muestreo 2 /Con Plantas Habitación 1, 2 y 3	Muestreo 3 /Con Plantas Habitación 1, 2 y 3	Total
* <i>Alternaria</i>	2	2	1	5
<i>Aspergillus</i>	-	1	-	1
<i>Aspergillus niger</i>	-	2	1	3
<i>Aspergillus candidus</i>	-	-	1	1
* <i>Cladosporium</i>	6	5	3	14
* <i>Epicoccum</i>	5	-	1	6
<i>Fusarium</i>	1	1	2	4
* <i>Penicillium</i>	3	5	7	15
<i>Rhizoctonia</i>	1	-	-	1
Micelio estéril	5	7	2	14
Colonias /muestreo	23	23	18	64

\* Género predominante

### Métodos estadísticos

El paquete estadístico SigmaPlot y la hoja de cálculo Excel se utilizaron para el manejo de datos y gráficos. Mientras que los análisis estadísticos se hicieron con ayuda del paquete estadístico SAS versión 9.0 (Statistical Analysis System). La información obtenida se analizó para comprobar si presentaban o no una distribución normal, aplicando la prueba de normalidad de Anderson – Darling por medio del paquete estadístico MINITAB v13. Este análisis mostro que los datos presentaban una distribución normal. Por lo tanto, se llevó a cabo un análisis de varianza y, en el caso de existir diferencia estadística significativa, se efectuó una comparación de medias de Tukey ( $P < 0.05$ ). Se empleó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la relación entre las concentraciones de esporas fúngicas y las variables ambientales.

## RESULTADOS

### Determinación de hongos en intramuros

En el **cuadro I** se muestran las determinaciones de los géneros y algunas especies encontradas en tres áreas intramuros en ausencia y presencia de plantas. Así como los géneros presentes, ausentes y los que predominaron. Además del número de colonias para cada uno de los días de muestreo.

### Concentración total de hongos en el aire

En el **cuadro II** se muestra el comportamiento de las concentraciones fúngicas cuando estuvieron presentes las plantas, expresadas en unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire (UFC m<sup>-3</sup>). Los valores promedio con letras diferentes son estadísticamente distintos entre los tratamientos, a un nivel de

( $P < 0.05$ ), se muestra también la diferencia mínima significativa (DMS). Los resultados observados en la (**Fig. 1**) muestran el comportamiento de las esporas fúngicas a través del tiempo de muestreo sin plantas y con plantas.

**CUADRO II.** CONCENTRACIONES MEDIAS DE HONGOS COLECTADOS DEL AIRE DE TRES HABITACIONES SIN PLANTAS Y CON PLANTAS

Tratamiento	UFC m <sup>-3</sup> de aire		
	Habitación 1	Habitación 2	Habitación 3
Sin plantas	607.8 a	446.5 a	600.6 a
Con plantas	207.7 b	164.5 b	162.5 b
DMS	151.43	113.77	124.9
Diferencia de correlación	66 %	63 %	72 %

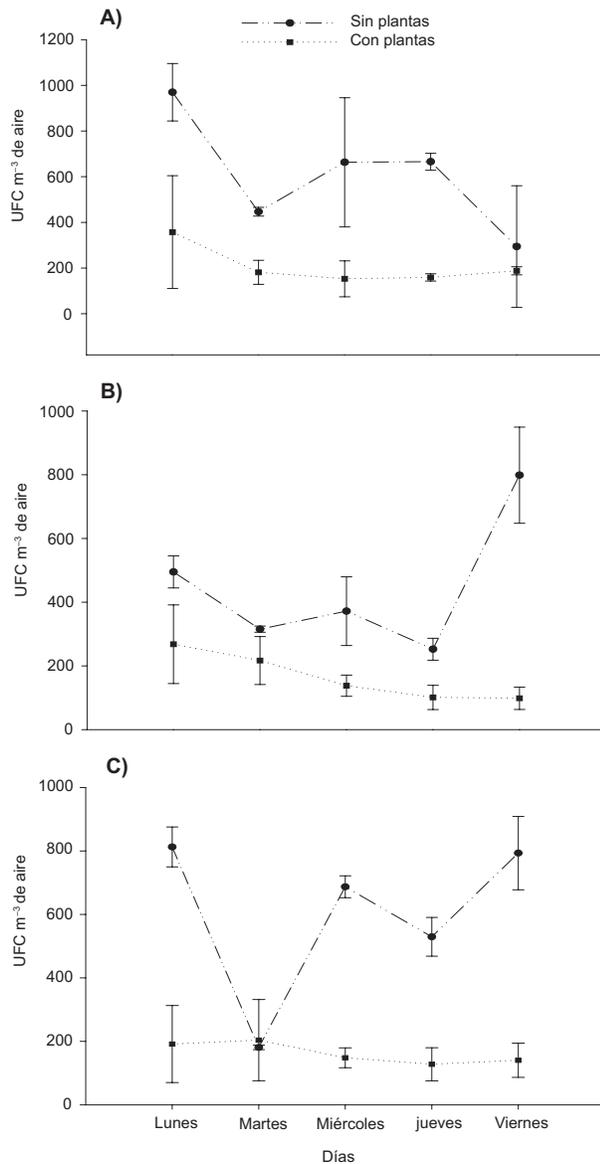
Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. DMS: diferencia mínima significativa

### Temperatura ambiente

De acuerdo con los resultados mostrados en el **cuadro III**, se registraron incrementos en la temperatura ambiente en presencia de plantas en las tres habitaciones estudiadas y, de acuerdo con el análisis de varianza, hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos, a un nivel de  $P < 0.05$ . En el mismo sentido en la **figura 2** se muestra el comportamiento de la temperatura diaria a través del periodo de muestreo.

### Intensidad de luz

El comportamiento de la intensidad de luz se muestra en el **cuadro IV**, en este se pueden observar incrementos en los valores registrados en las tres áreas intramuros en presencia de plantas, aunque no se presentaron diferencias estadísticas a un nivel de  $P < 0.05$ . Los valores obtenidos en las tres habitaciones

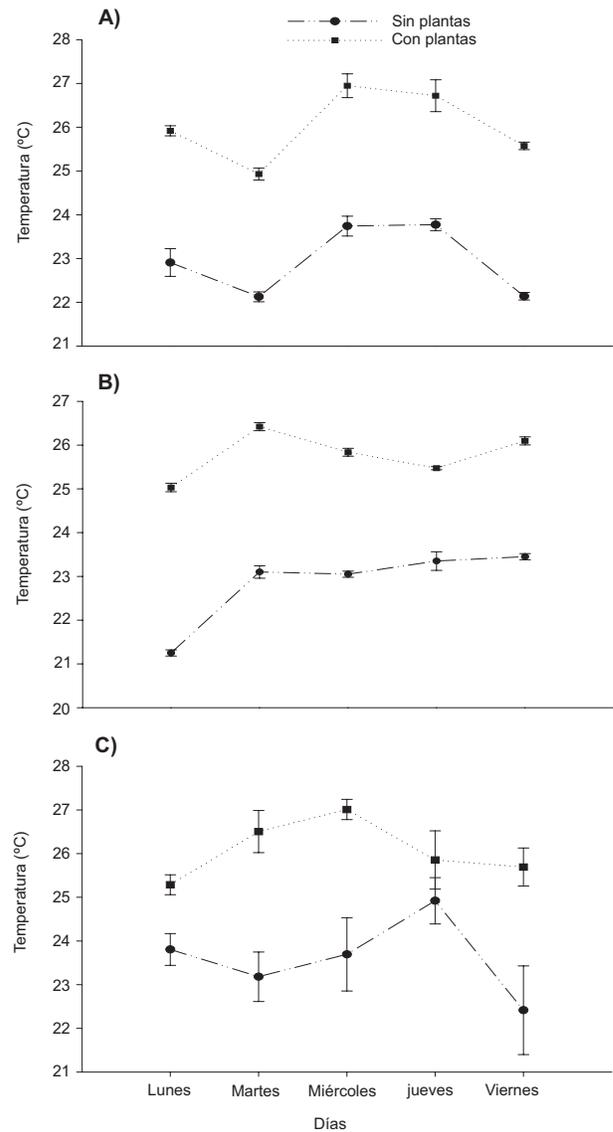


**Fig. 1.** Concentración promedio de esporas fúngicas aéreas en tres habitaciones sin plantas y con plantas. A) Habitación 1; B) Habitación 2; C) Habitación 3

**CUADRO III.** TEMPERATURA MEDIA DE CADA HABITACIÓN SIN PLANTAS Y CON PLANTAS

Tratamiento	Temperatura (°C)		
	Habitación 1	Habitación 2	Habitación 3
Sin plantas	22.9 b	22.8 b	23.6 b
Con plantas	26.0 a	25.7 a	26.0 a
DMS	0.759	0.684	0.825
Incremento de temperatura	3.1 °C	2.9 °C	2.4 °C

monitoreadas sin plantas y con plantas muestran la variabilidad que se presentó a través del periodo de muestreo para la intensidad lumínica (Fig. 3).



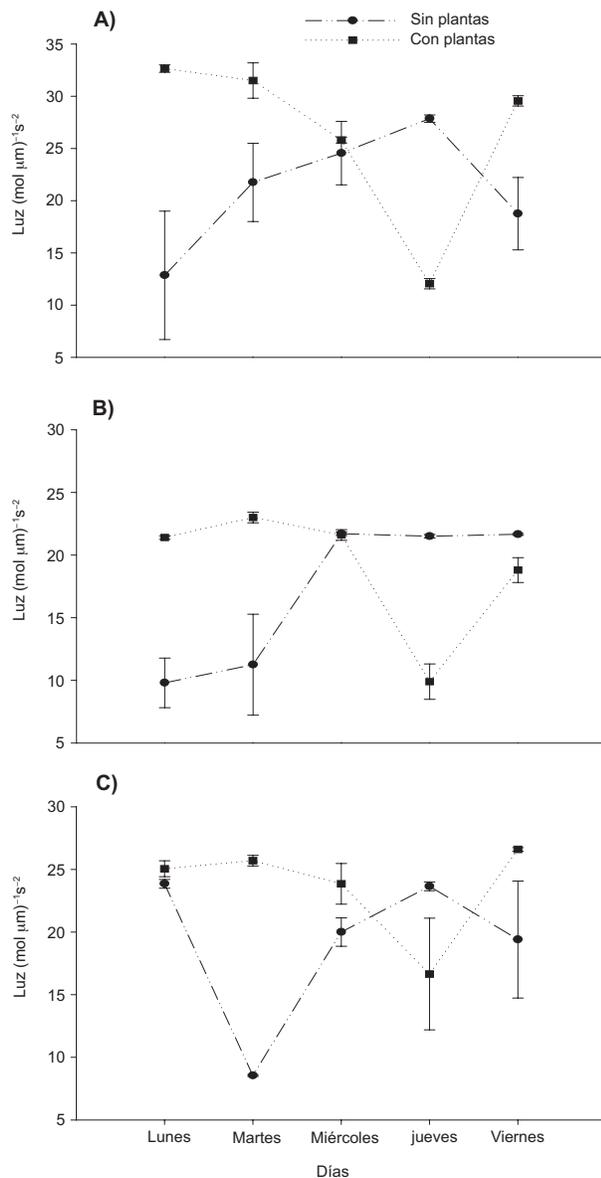
**Fig. 2.** Temperatura diaria en cada habitación sin plantas y con plantas. A) Habitación 1; B) Habitación 2; C) Habitación 3

**CUADRO IV.** CUADRO IV. INTENSIDAD DE LUZ EN TRES HABITACIONES SIN PLANTAS Y CON PLANTAS

Tratamiento	Luz ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		
	Habitación 1	Habitación 2	Habitación 3
Sin plantas	21.15 a	17.18 a	19.09 a
Con plantas	26.31 a	18.94 a	23.09 a
DMS	6.6519	5.1637	4.8714
Porcentaje de incremento	19.61 %	9.29 %	17.32 %

**Análisis de correlación**

La concentración de esporas fúngicas y la temperatura en las tres áreas intramuros mostró corre-

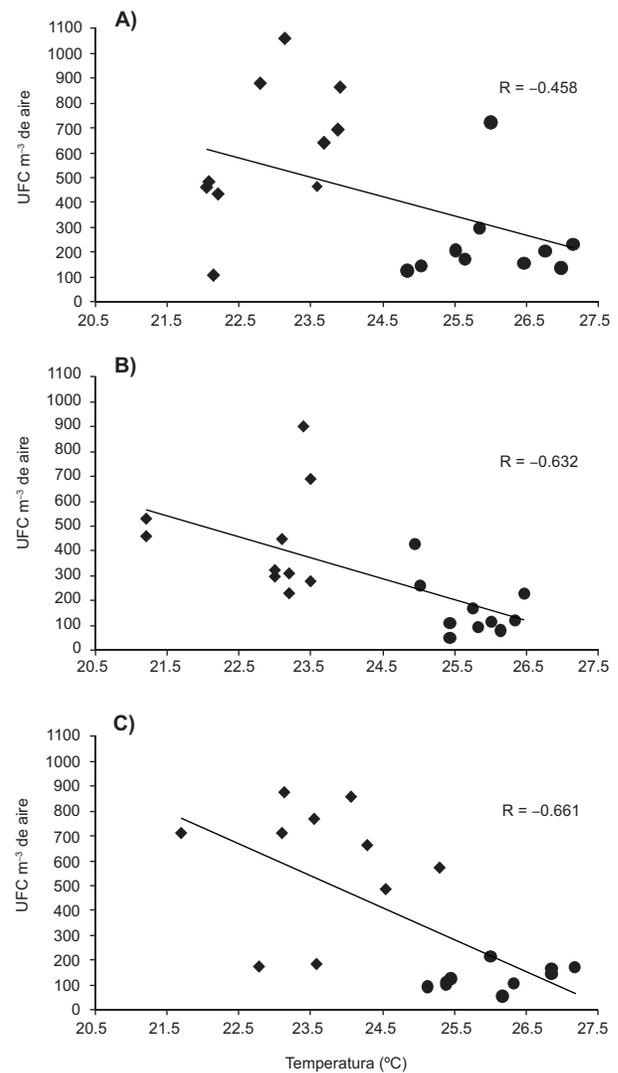


**Fig. 3.** Intensidad de luz diaria en cada habitación sin plantas y con plantas. A) Habitación 1; B) Habitación 2; C) Habitación 3

laciones negativas a un nivel de  $P < 0.05$  entre los tratamientos. Las relaciones máximas negativas se observaron para las habitaciones tres y dos, con valores de correlación de  $-0.661$  y  $-0.632$ , seguidas por la habitación uno con  $-0.458$  (Fig. 4).

## DISCUSIÓN

Es limitada la información que demuestre, que la presencia de plantas en ambientes intramuros ayudan a disminuir las concentraciones de hongos



**Fig. 4.** Correlación ( $P < 0.05$ ) entre la temperatura y la concentración de esporas fúngicas. A) Habitación 1; B) Habitación 2; C) Habitación 3; ♦ Sin plantas; ● Con plantas

en el aire y la mayor parte de los estudios realizados principalmente por Kondo *et al.* (1995), Wolverton (1997), Molhave *et al.* (1997), Ugrehelidze *et al.* (1997), Darlington *et al.* (2001) y Mung *et al.* (2006) se han orientado a probar la eficiencia remediadora de las plantas en ambientes intramuros con gases tóxicos como dióxido de carbono, benceno, tolueno y formaldehído, entre otros.

La mayor parte de las plantas utilizadas en este trabajo mostraron adaptación en intramuros a excepción de *Blechnum gibbum* y ante la información generada se debe desarrollar investigación exhaustiva con relación al rol que tienen las plantas en dichos ambientes.

En el presente estudio se aislaron 64 colonias en total, se determinaron 9 géneros y se cultivaron 14 colonias en las tres áreas intramuros estudiadas. Los géneros que predominaron en las habitaciones muestreadas fueron *Alternaria*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium* y *Penicillium*, lo que coincidió con los hongos de interior más comunes encontrados por otros autores (Herrero *et al.* 1996, Icenhour y Levetin 1997, Levetin y Shaughnessy 1997, Garret *et al.* 1997, Rosas *et al.* 1997, 1998, Infante *et al.* 1999, Calderón *et al.* 1995, 1997, Griffin 2004, Awad 2005).

Antes y después de la incorporación de plantas en intramuros se aislaron varios géneros de hongos como *Alternaria*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium* y *Penicillium*, que son considerados contaminantes de interior y potencialmente alergénicos (Burge 1990, Rosas *et al.* 1997, Panaccione *et al.* 2005, Brasel *et al.* 2005), siendo *Cladosporium* y *Penicillium* los géneros con mayor presencia en este trabajo. Registros similares son reportados por Icenhour y Levetin (1997) en donde *Cladosporium* fue el género más abundante. Calderón *et al.* (1997) reportaron datos semejantes donde *Cladosporium*, *Alternaria* y *Penicillium* fueron los géneros que predominaron. En el mismo sentido Garret *et al.* (1997) reportaron que es común encontrar *Penicillium* y *Aspergillus* en ambientes intramuros.

Además, se aislaron tres especies de *Aspergillus*, único hongo que no estuvo presente en el monitoreo del aire en presencia de plantas. Esporas de *Alternaria*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium* y *Penicillium* fueron sumados al ambiente intramuros tras la introducción de plantas, lo que indica la posibilidad de que estuvieran adheridas a las plantas. Existe información donde se reporta que es común encontrar diversos géneros fúngicos no solo en el aire, sino manteniendo también un estilo de vida saprofito, en el cual conservan un papel muy importante en la descomposición de materiales orgánicos y de plantas (Del Olmo 2006).

De acuerdo con Icenhour y Levetin (1997) es común encontrar a estos hongos mitospóricos presentes en ambientes secos. Además, no se descarta que al aumentar la temperatura las esporas sufrieran desecación por lo cual pueden ser dispersadas con mayor facilidad en el aire. Esta apreciación es congruente con lo que mencionan Calderón *et al.* (1995), González *et al.* (1997), Ren *et al.* (2001) y Griffin (2004) quienes observaron que la mayor parte de esporas de hongos necesitan humedad elevada, así como sustratos adecuados, para su establecimiento y desarrollo, en particular las especies pertenecientes a los grupos de ascomicetos y basidiomicetos. Mientras que las esporas de hongos mitospóricos, como *Cladospo-*

*rium*, *Alternaria*, *Penicillium* y *Aspergillus*, entre otros, son favorecidos por la desecación y elevadas temperaturas (Calderón *et al.* 1997). Los niveles de esporas fúngicas registrados en el presente estudio presentaron disminuciones significativas cuando estuvieron presentes las plantas en las tres áreas intramuros evaluadas. Sin embargo, no hay que olvidar lo que mencionan Calderón *et al.* (1997) respecto a que la caracterización aeromicológica se hace compleja debido al gran número de variables que afectan la presencia de hongos en el aire.

En porcentaje, la concentración de la aeromicobiota fue menor en presencia de plantas en 66%, 63% y 72% en cada una de las tres habitaciones muestreadas. Las concentraciones medias de hongos antes de introducir las plantas en intramuros se obtuvieron al final del invierno y principios de la primavera, entre el 12 y el 16 de marzo; éstas oscilaron entre las 400 y 600 UFC m<sup>-3</sup> de aire. Concentraciones aproximadas a las encontradas en este trabajo se reportaron por Garret *et al.* (1997) con 502 UFC m<sup>-3</sup> en invierno, quienes señalaron a *Penicillium* y *Aspergillus* como las especies comunes en intramuros en Latrobe, Victoria, Australia. En la misma región, Godish *et al.* (1996) reportaron 495 UFC m<sup>-3</sup> para intramuros; donde *Aspergillus* y *Acremonium* fueron comunes en invierno. En la Ciudad de México, Rosas *et al.* (1997) encontraron 460 UFC m<sup>-3</sup> en la temporada fría para intramuros, donde las especies más abundantes fueron *Cladosporium herbarum*, *Penicillium aurantigriseum* y *P. chrysogenum*. Dichos valores difieren de los reportados en Estados Unidos por Shelton *et al.* (2002) quienes encontraron concentraciones medias de 80 UFC m<sup>-3</sup> en áreas de intramuros en invierno, donde las especies que predominaron fueron *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Stachybotrys chartarum*. En dos áreas de la Ciudad de México, Calderón *et al.* (1997) reportaron que los conidios mitospóricos forma el mayor componente de la carga aérea fungal en la época seca y fría (febrero), donde 56 y 65 % del total de esporas pertenecen comúnmente a *Cladosporium*, *Alternaria*, *Epicoccum*, *Penicillium* y *Aspergillus*. Estos resultados, junto con los presentados en este trabajo, permiten corroborar que la variación cualitativa y cuantitativa de hongos dispersos en el aire debe su presencia o ausencia a factores como temperatura, humedad relativa, época del año, ubicación geográfica entre otros (Calderón *et al.* 1995, 1997, Gage *et al.* 1999, Hoff *et al.* 2003) y que las esporas más abundantes en la época fría son los conidios mitospóricos (Calderón *et al.* 1997). Por lo tanto, la modificación de la temperatura podría afectar su número en ambientes de intramuros.

El presente estudio mostró que la presencia de plantas en intramuros puede tener efecto significativo en la concentración y dispersión de esporas: se observaron concentraciones máximas diarias por arriba de 900 UFC m<sup>-3</sup> y 300 UFC m<sup>-3</sup> en ausencia y presencia de plantas, respectivamente. Además, se observan reducciones fúngicas en presencia de plantas que van de 31 hasta 82% a través del tiempo de muestreo en las tres áreas intramuros.

A pesar de que las habitaciones se encuentran separadas en el mismo nivel de piso, no se observaron variaciones considerables de temperatura entre ellas en ausencia de plantas. Sin embargo, en las tres habitaciones se registraron diferencias significativas ante la presencia de plantas. De acuerdo con los resultados que se obtuvieron, el aumento de temperatura está muy relacionado con la incorporación de plantas. En presencia de éstas, la temperatura media de las tres áreas intramuros se obtuvo por arriba de 23 °C y se registraron incrementos de temperatura entre 2 y 3 °C entre las 12 y 15 horas. Por lo tanto, no se descarta que cambios fisiológicos en las plantas pudieran inducir modificaciones en el ambiente intramuros. Esto concuerda con lo mencionado por Kolb (2004) y Gutiérrez (2005), en el sentido de que la mayor parte de plantas que se utilizan en interior tienen niveles de fotosíntesis y transpiración excepcionales y, por lo general, la temperatura óptima de especies como *Aglaonema crispum*, *Brassaia actinophylla*, *Chamaedora seifrizii*, *Dieffenbachia* sp. y *Epipremnum aureum*, entre otros, oscila entre 16 y 24 °C. En ambientes controlados, cuando las plantas intensifican la transpiración y la liberación de energía y agua, la temperatura tiende a modificarse y, por lo tanto, las plantas pueden cambiar sus actividades fisiológicas, incluso si es de noche, lo cual induce corrientes de convección y circulación aun cuando no haya ningún otro movimiento en el interior (Wolverton 1997, Darlington *et al.* 2000).

Sin duda es necesario realizar investigación exhaustiva sobre la relación entre la temperatura y la presencia de plantas intramuros. De acuerdo con Wolverton (1997) y Peters *et al.* (1998) las plantas son organismos que influyen de manera eficaz en la modificación de ambientes intramuros, además de adicionar agua, oxígeno y energía al ambiente por medio de la transpiración, diversos compuestos libres son agregados al aire. Sustancias fitoquímicas, como terpenos y compuestos fenólicos alelopáticos, se sintetizan y activan por medio de las partículas de origen orgánico suspendidas en el aire que, al establecer contacto con las hojas y raíz, activan mecanismos de reconocimiento, tanto físico como químico (Kondo *et al.* 1995).

Lewis (1995) señala que las plantas, además de ayudar en aspectos psicológicos, reducen el estrés, dan sensación de mejoría en la salud y promueven tranquilidad para el adecuado desarrollo de actividades en ambientes intramuros.

Los resultados del presente trabajo ilustran la relación entre la concentración fúngica y la temperatura en las tres áreas intramuros, estos dos factores se relacionaron significativamente de acuerdo con los resultados. Por lo tanto, conforme se incrementa la temperatura, la concentración de esporas disminuye. Los resultados estadísticos muestran una relación negativa; la máxima concentración de esporas en ausencia de plantas se presentó cuando la temperatura osciló entre 22 y 24 °C y fue menor, en forma drástica, cuando la temperatura se registró entre 24.5 y 27 °C en presencia de plantas.

Los datos obtenidos muestran semejanzas con lo reportado por Herrero *et al.* (1996) quienes en Palencia, España, obtuvieron una correlación negativa con valores de -0.0905 a un nivel de significancia de  $p < 0.05$  entre la concentración de hongos y la temperatura mínima. Es decir, a menor temperatura mayor número de esporas en el aire. Estos autores mencionan que la mayor parte de los hongos en el aire que encontraron en invierno son termotolerantes y tienen un rango de crecimiento entre 12 y 55 °C. Especies como *Cladosporium*, *Alternaria* y *Fusarium* tienden a tener un óptimo desarrollo a temperaturas bajas, por pertenecer al grupo psicrófilico, es decir, pueden desarrollarse por debajo de 0 °C con un límite superior a 21 °C (Herrero *et al.* 1996).

Calderón *et al.* (1997) observaron una relación negativa entre la temperatura y la concentración de esporas y demostraron que la producción de esporas disminuye con temperaturas mayores y cercanas a 26 °C en la Ciudad de México. Estos autores mencionan que el incremento de la temperatura y disminución de humedad relativa dificulta la liberación de esporas, principalmente en *Cladosporium* y *Alternaria*, por lo tanto, la liberación de las esporas por acción del viento y ruptura del agua activada por la desecación es obligada. En la Ciudad de México, Rosas *et al.* (1997) reportaron correlaciones significativas en extramuros entre la concentración de esporas y la temperatura, con un valor de relación negativo de -0.39, en donde las mayores concentraciones de *Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus* se determinaron entre 12.7 y 25.5 °C.

La intensidad de luz fue diferente entre los tratamientos y se incrementó en presencia de plantas en 19.61, 9.29 y 17.32 % en las tres áreas intramuros. Sin embargo, no se observaron diferencias significa-

tivas y estos resultados no señalan que la ausencia o presencia de plantas sean el factor principal en esta variación. Estas diferencias pueden deberse a la ubicación que presentan las áreas intramuros con relación al exterior. Como lo mencionan Bayer *et al.* (2002), Lai (2002) y Ebbenhøj *et al.* (2002), quienes señalan que los ambientes intramuros que se ubican a diferentes alturas en edificios pueden presentar variaciones en luminosidad, por efecto del ambiente exterior. No obstante, vale la pena argumentar que la luz que incide en un lugar puede presentar refracción por la forma y composición de los materiales en las habitaciones e incluso, como suposición, es probable que el tamaño, forma, estructura y compuestos que segregan o emiten las hojas de las plantas puedan, en determinado caso, servir como “espejos de refracción lumínica”.

Los resultados indican una clara relación entre la intensidad de luz con respecto a la posición de las habitaciones y la cubierta de árboles que se encuentra en extramuros. Además, al correlacionar la concentración de hongos con la luz se encontró que no hay una relación significativa.

No obstante, al correlacionar la intensidad de luz con la temperatura ambiente, para comprobar si la intensidad lumínica habría modificado este factor, los resultados mostraron una relación positiva de 0.245, 0.397 y 0.529 ( $P < 0.05$ ) en las tres áreas intramuros. Sin embargo, estos valores no indican que la luz ejerciera cambios en el ambiente y no hay una relación significativa entre estos dos factores. A pesar de que no hay una relación significativa entre la luz y la temperatura, el factor luz sí es importante para el funcionamiento de las plantas en una u otra medida y es viable que este factor haya influido indirectamente de alguna forma. No obstante, se sabe, hasta la fecha, que las plantas pueden modificar los procesos fisiológicos como transpiración y respiración entre otros, ante cambios de intensidad lumínica. Esto concuerda con lo reportado por Asaumi *et al.* (1995) quienes mencionan que existe relación entre la intensidad solar y el grado de transpiración en plantas ornamentales, como resultado de experimentos con *Dracaena fragrans*, *Schefflera arboricola* y *Epipremnum aureum* entre otras. Estos autores observaron que entre las 7:00 y 17:00 horas del día, la radiación solar y la transpiración mostraban incrementos exponenciales, llegando al punto máximo al medio día, con valores de radiación solar de  $0.15 \text{ kw/m}^2$  y niveles de transpiración de  $5 \text{ mg/cm}^2/\text{h}^{-1}$ . Al respecto, Koornneef *et al.* (2002) señalan que las plantas son organismos muy sensibles que pueden alterar fácilmente su respuesta fisiológica, desarrollo

y crecimiento ante el ambiente, lo cual implica la amalgamación correcta de múltiples señales externas, incluyendo la luz. Pearson *et al.* (1995) y Larson (2004) argumentan que la clorofila y otros tejidos verdes de las hojas absorben la radiación fotosintéticamente activa (RFA) de la fuente de luz, la cual se utiliza para dividir las moléculas de agua en oxígeno e hidrógeno y liberar azúcares producidos por la fotosíntesis. Esto proporciona alimento a la planta y libera la energía en forma de calor al ambiente (Wolverton 1997).

Esta información puede ayudar a comprender y entender como incide la luz en intramuros y si afecta directa o indirectamente a las especies ornamentales. Sin embargo, para comprender con claridad el funcionamiento de las plantas en intramuros, se deben relacionar y tomar en cuenta aspectos fisiológicos y morfológicos en el momento del estudio. Esta idea es congruente con lo que Conover y Poole (1973), Wolverton (1997) y Pearson *et al.* (1995) mencionan, en el sentido de que la mayor parte de plantas que conocemos proceden de regiones tropicales y subtropicales ubicadas en varias condiciones de iluminación. Por lo tanto, la comprensión básica de las necesidades de luz en las plantas contribuirá a recomendar especies ornamentales que presenten mayor adaptabilidad e índices altos de transpiración entre otros, de acuerdo con Asaumi *et al.* (1995), Wood *et al.* (2002) y Kanervo *et al.* (2005).

## CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se demostró que las tres áreas intramuros de estudio presentaron contaminación por esporas en el aire, principalmente por *Alternaria*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium* y *Penicillium*, en los meses de marzo, abril y mayo. Cuando estuvieron presentes las plantas la concentración de esporas fúngicas disminuyó hasta 60 % en las tres áreas intramuros. Sin embargo, la introducción de plantas pudo adicionar especies de *Aspergillus* en las áreas intramuros. La temperatura media en presencia de plantas aumentó de 2 a 3 °C en las tres áreas intramuros, entre las 12 y 15 horas del día. La temperatura fue el factor que presentó mayor influencia en la concentración de esporas registrada en el aire. Se sugiere considerar la existencia de un efecto sinérgico entre las plantas y la temperatura con respecto a la concentración fúngica. La intensidad de luz mostró un claro comportamiento con respecto a la posición de las tres áreas intramuros. En estudios posteriores, es necesario considerar

aspectos fisiológicos y morfológicos de las plantas utilizadas en interiores, para determinar la posible influencia de éstas sobre la mayor o menor concentración de esporas en el aire.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico otorgado para la realización de este trabajo, al Colegio de Postgraduados y al Biól. Luis Enrique Páez Gerardo.

### REFERENCIAS

- Asaumi H., Nishina H. y Hashimoto Y. (1995). Studies on amenity of indoor plants. *Acta Hort.* 391, 111-118.
- Awad A. H. (2005). Vegetation: A source of air fungal bio-contaminant. *Aerobiologia* 21, 53-61.
- Bayer C. W., Hendry R. J., Crow S. A. y Fischer J. C. (2002). The relationship between humidity and indoor air quality in schools. *Proc. Indoor Air* 10, 818-823.
- Brasel T. L., Martin J. M., Carriker C. G., Wilson S. C. y Straus D. C. (2005). Detection of airborne *Stachybotrys chartarum* macrocyclic trichothecene mycotoxins in the indoor environment. *Appl. Environ. Microbiol.* 11, 7376-7388
- Burge H. (1990). Bioaerosols: prevalence and health effect in the indoor environment. *J. Allergy Clin. Immunol.* 86, 687-701.
- Calderón C., Lacey J., McCartney A. y Rosas I. (1995). Seasonal and diurnal variation of airborne basidiomycete spore concentration in México City. *Grana* 34, 260-268.
- Calderón C., Lacey J., McCartney A. y Rosas I. (1997). Influence of urban climate upon distribution of airborne Deuteromycete spore concentration in México City. *Int. J. Biometeorol* 40, 71-80.
- Calderón C., Ward E., Freeman J. y McCartney A. (2002). Detection of airborne fungal spores sampled by rotating-arm and hirst-type spore traps using polymerase chain reaction assay. *Aerosol Sci.* 33, 283-296.
- Conover C. A. y Poole R. T. (1973). *Ficus benjamina* leaf drop. *Flor. Rev.* 29, 67-68.
- Darlington A., Chan M., Malloch D., Pilger C. y Dixon A. (2000). The biofiltration of indoor air: implications for air quality. *Indoor Air* 10, 39-46.
- Darlington A., Dat J. F. y Dixon A. (2001). The biofiltration of indoor air: air flux and temperature influences the removal of toluene, ethylbenzene and xylene. *Environ. Sci. and Technol.* 35, 240-246.
- Del Olmo, M. R. (2006). Diversidad de hongos endófitos en *Brosimum alicastrum* Swartz (Moraceae) y *Hampea trilobata* Stanley (Malvaceae) en la reserva de la biosfera de Kalakmul, Campeche. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Tesis de Maestría 67 pp.
- Dugan M. F. (2006). *The identification of fungi, an illustrated introduction with keys, glossary, and guide to literature.* The American Phytopathological Society. EUA. 175 p.
- Ebbehøj N. E., Hansen M. Ø., Sigsgaard T. y Larsen L. (2002). Building-related symptoms and molds: a two-step intervention study. *Indoor Air.* 12, 273-277.
- EPA (1995). The inside story: a guide to indoor air quality. United States Environmental Protection Agency. Document number 402-K-93-007.
- Gage S., Isard S. y Colunga M. (1999). Ecological scaling of aerobiological dispersal process. *Agric. Forest Meteorol.* 97, 249-261.
- Garrett H. M., Hooper M. B., Cole M. F. y Hooper A. M. (1997). Airborne fungal spores in 80 homes in the Latrobe Valley, Australia; level seasonality and indoor-outdoor relationship. *Aerobiologia* 13, 121-126.
- Godish D., Godish T., Hooper B. M. y Cole M. (1996). Airborne mould levels and related environmental factors in Australian houses. *Ind. Built Environ.* 5, 148-154.
- González M. A., Paredes M. M., Muñoz A. F., Tormo R. y Silva I. (1997). Dinámica de dispersión de basidiosporas en la atmósfera de Badajoz. *Rev. Esp. Alergol. Inmunol. Clín.* 12, 294-300.
- Griffin W. D. (2004). Terrestrial microorganisms at an altitude of 20000 m in Earth's atmosphere. *Aerobiologia* 20, 135-140.
- Gutiérrez E. J. A. (2005). Paredes vivas: verdaderos motores para el mantenimiento del ambiente y calidad del aire interior. *Tecnoagro* 6, 47-48.
- Gutiérrez E. J. A., Sánchez L. A. S. y Peralta S. M. G. (2005). Evaluación del desarrollo vertical de especies ornamentales y nativas en paredes de retención. *Resúmenes CIDMA II (Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Medio Ambiente)* 228 p.
- Herrero B., Blanco M. F., González D. F., y Barrera R. M. (1996). Aerobiological study of fungal spores from Palencia (Spain). *Aerobiologia* 12, 27-35.
- Hoff M., Ballmer-Weber B. K., Niggemann B., Cistero-Bahima A., Moncin M. y Conti A. (2003). Molecular cloning and immunological characterisation of potential allergens from the mould *Fusarium culmorum*. *Mol. Immunol* 39, 965-975.
- Icenhour C. R. y Levetin E. (1997). *Pinicillium* and *Aspergillus* species in the habitats of allergy patients in the tula, Oklahoma area. *Aerobiologia* 13, 161-166.

- Infante F., Castro A., Domínguez E., Guardiã A., Méndez J., Sabariego S. y Vega A. (1999). A comparative study of the incidence of *Cladosporium* conidia in the atmosphere of five Spanish cities. *Polen* 10, 17-25.
- Kanervo E., Suorsa M. y Aro E. M. (2005). Functional flexibility and acclimation of the thylakoid membrane. *Photochem. Photobiol. Sci.* 4, 1072-1080.
- Kiffer E. y Morelet M. (1997). The Deuteromycetes mitosporic fungi classification and generic key. Science Publishers. Enfield, NH, EUA, 257 p.
- Kolb W. (2004). Good rehaznos for roof planning – green roofs and rainwater. *Acta Hort.* 643, 295-300.
- Kondo T., Hasegawa K. y Uchida R. (1995). Absorption of formaldehyde by oleander (*Nerium indicum*). *Environ. Sci. Technol.* 29, 2901-2903.
- Koornneef M., Bentsink L. y Hillhorst H. (2002). Seed dormancy and germination. *Curr. Opin. Plant Biol.* 5, 33-36.
- Lai A. C. K. (2002). Particle deposition indoors: a review. *Indoor Air* 12, 211-214.
- Larson, R.A. (2004). *Introducción a la floricultura*. AGT Editor. México, D.F. 551 p.
- Levetin E. y Shaughnessy R. (1997). *Myrothecium*: a new indoor contaminant? *Aerobiologia* 13, 227-234.
- Lewis C. A. (1995). Human health and well-being: the psychological, physiological, and sociological effects of plants on people. *Acta Hort.* 391, 31-39.
- Mier T., Toriello C. y Ulloa M. (2002). *Hongos microscópicos saprobios y parásitos: métodos de laboratorio*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. México, D.F. 90 p.
- Molhave L., Clausen G., Berglund B., De Ceaurriz J., Kettrup A., Lindvall T., Maron M., Pickering A., Risses U., Rothweiler H., Seifert B. y Younes M. (1997). Total volatile organic compounds (TVOC) in indoor air quality investigations. *Indoor Air* 7, 225-240.
- Mung H.Y., Youn J. K., Ki-Cheol S. y Kays S.J. (2006). Efficacy of indoor plants for the removal of single and mixed volatile organic pollutants and physiological effects of the volatiles on the plants. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 131, 452-458.
- Panaccione D. G. y Coyle C. M. (2005). Abundant respirable ergot alkaloids from the common airborne fungus *Aspergillus fumigatus*. *Appl. Environ. Microbiol.* 71, 3106-3111.
- Pearson S., Parker A., Adams S. R., Hadley P. y May D. R. (1995). The effects of temperature on the lower size of pansy (*Viola x wittrockiana* Gams). *J. Hortic. Sci.* 70, 183-190.
- Peters S., Draeger S., Aust H. J. y Schulz B. (1998). Interactions in dual culture of endophytic fungi with host and nonhost plant calli. *Mycologia* 90, 360-367.
- Ren P., Jankun T. M., Belanger K., Bracken M. B. y Leaderer B. P. (2001). The relation between fungal propagules in indoor air and home characteristics. *Allergy* 56:419-424.
- Rosas I. H., McCartney A., Payne R. W., Calderón C., Lacey J. y Chapela R. (1998). Analysis of the relationships between environmental factors (aeroallergens, air pollution, and weather) and asthma emergency admissions to hospital in México City. *Allergy* 53, 394-401.
- Rosas I., Calderón C., Martínez L., Ulloa M. y Lacey J. (1997). Indoor and outdoor airborne fungal propagule concentrations in México City. *Aerobiologia* 15, 66-73.
- Shelton B. G., Kimberly H., Kirkland W., Flanders D. y Morris G. K. (2002). Profiles of airborne fungi in buildings and outdoor environments in the United States. *Appl. Environ. Microbiol.* 68, 1743-1753.
- Simonson C. J., Salonvaara M. y Ojanen T. (2002). The effect of structures on indoor humidity – possibility to improve comfort and perceived air quality. *Indoor Air* 12, 243-251.
- Thermo Electron Corporation. (2003). Series 10-800. Single Stage Viable Sampler: Instruction Manual P/N 100074-00. Thermo Electron Corporation. EUA 14 p.
- Ugrekheldze D., Korte F., y Kvesitadze G. (1997). Uptake and transformation of benzene and toluene by plants leaves. *Ecotoxicol. Environ. Safety* 37, 24-29.
- Ulloa M. (1991). *Diccionario ilustrado de micología*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 309 p.
- Wolverton, B.C. (1997). *How to grow fresh air*. Penguin Books. Nueva York, NY, EUA. 143 p.
- Wood R.A., Orwell R.L., Tarran J., Torpy F., y Burchett M. (2002). Potted-plant/growth media interactions and capacities for removal of volatiles from indoor air. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 77: 120-129.