



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA

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

MARTIN DÍAZ ROJAS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO DE MÉXICO

2008

La presente tesis, titulada: **Caracterización aerobiológica de ambientes intramuro en presencia de cubiertas vegetales**, realizada por el alumno: **Martin Díaz Rojas**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA: _____
DRA. MA. ALEJANDRA GUTIÉRREZ ESPINOSA

ASESOR: _____
DRA. MA. DEL CARMEN CALDERÓN EZQUERRO

ASESOR: _____
DRA. MA. DEL CARMEN GONZÁLEZ CHÁVEZ

ASESOR: _____
M. C. GUADALUPE VIDAL GAONA

ASESOR: _____
DR. JORGE A. GUTIÉRREZ ESPINOSA

Montecillo, Texcoco, México, Octubre de 2008

CARACTERIZACIÓN AEROBIOLÓGICA DE AMBIENTES INTRAMURO EN PRESENCIA DE CUBIERTAS VEGETALES

Martin Díaz Rojas, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2008

RESUMEN

La contaminación del aire en espacios de intramuros es considerada como una amenaza para la salud. Recientes estudios han demostrado que una variedad de plantas de interior pueden remover diversos contaminantes del aire. Ante esta problemática, es importante conocer el tipo y concentración de esporas fúngicas dispersas en el aire, responsables de enfermedades en el hombre y la influencia que pueden tener las plantas en áreas de intramuro. Se muestrearon esporas de hongos aéreas en 3 oficinas ubicadas en el edificio de documentación y biblioteca del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, México. Dos etapas se contemplaron: la primera sin plantas y la segunda con plantas. El trabajo de campo se realizó durante tres semanas del 12 al 16 de marzo; 16 al 20 de abril y del 14 al 18 de mayo del 2007. Los parámetros ambientales de temperatura y luz se registraron con un data logger serie Pendant[®] (Onset[®] Co.) y las muestras de esporas fúngicas con un impactador de partículas de una etapa Andersen (Thermo Electron Corporation[®]) durante 15 min, en agar papa dextrosa (PDA) por duplicado. La identificación de los hongos fue a nivel de género. Los géneros que predominaron fueron *Alternaria*, *Cladosporium*, *Epiccocum*, *Fusarium* y *Penicillium*. Sin embargo, también estuvieron presentes especies de *Aspergillus niger* y *Aspergillus candidus*. Con presencia de plantas los niveles de esporas aéreas disminuyeron por arriba del 60% y la temperatura ambiente aumentó entre 2 y 3 °C en las tres habitaciones. En cuanto a la intensidad luminosa no se observaron diferencias significativas ante la presencia de plantas. Se observó, un claro comportamiento entre la intensidad de luz y la posición de las áreas intramuro. El análisis de correlación de Pearson mostró que existe relación significativa entre el número de colonias de hongos con respecto a la temperatura y la presencia de plantas. Se sugiere considerar la existencia de un efecto sinérgico entre las plantas y la temperatura con respecto a la concentración fúngica. Esto es importante ya que las plantas pueden ayudar a incrementar la calidad del aire en espacios intramuros.

Palabras clave: Contaminación; Aire; Ornamentales; Deuteromicetos; Andersen.

AEROBIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF INDOOR ENVIRONMENTS IN THE PRESENCE OF VEGETAL COVERINGS

Martin Díaz Rojas, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2008

ABSTRACT

Indoor air pollution is considered a health risk by many experts. Recent investigations have shown that a great variety of indoor plants are able to remove many pollutants from the air. It is important to know the type and concentration of the aerial fungal spores responsible for many respiratory diseases in man and the influence that plants can have in an indoor environment. Aerial fungal spores were collected from three offices in the library located at the Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Mexico. In this study two stages were followed: one with plants and another without them. The field work was done during three weeks from March 12th to the 16th, April 16th to the 20th, and from May 14th to the 18th, 2007. Environmental parameters such as temperature and light were registered for each area using a data logger Pendant™ series (Onset® Co.) and fungal spore samples using an one-stage Andersen particle sampler (Thermo Electron Corporation™) in a 15 min period, in potato dextrose agar (PDA) for duplicate. Fungal identification was done to the genus level. *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium* and *Penicillium* were the predominant genera obtained; although *Aspergillus niger* and *A. candidus* were also found. Aerial spore levels decreased 60% in the presence of plants as temperature increased between 2°C and 3°C in the three rooms sampled. No significant differences for light intensity were observed when there were plants present. There was a clear behavioral relation between the intensity of light and the position of the indoor environments. Pearson's correlation analysis showed that there was a significant relationship between the number of fungal colonies and temperature with plants present. It is suggested to consider the existence of a synergistic effect between plants and temperature regarding the fungal concentration. This is important because plants can help improve the air quality in indoor spaces.

Key words: Pollution; Air; Ornamental; Deuteromicetos; Andersen.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

A los miembros del Consejo Particular: Dra. Ma. Alejandra Gutiérrez Espinosa, Dra. Ma. Carmen Calderón Ezquerro, Dra. Ma. Carmen González Chávez, M. C. Guadalupe Vidal Gaona y Dr. Jorge Gutiérrez Espinosa, por su disposición, tiempo, paciencia, orientación, sugerencias y apoyo constante que hicieron posible la culminación de éste trabajo.

Al M. C. Jorge Valdés, por su orientación y apoyo en la digitalización de imágenes.

A la M. C. Araceli Gaytán Acuña, por el apoyo brindado en ésta investigación, pero sobre todo por brindarme su amistad incondicional.

A los integrantes del área de biblioteca, Anita, Lupita, Ermilia, Ray, Vilchis, Juanito Gracias.

A la Dra. Heike Vibrans, por el apoyo y tiempo dedicado en la identificación del material vegetal.

Al Biól. Luis Enrique Páez Gerardo, gran amigo, por facilitarnos el material vegetal utilizado en esta investigación, por su valiosa ayuda y sugerencias.

A mis profesores y a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron en mi formación profesional (Lupita, Ariadna, Guille, Leo, Violeta)

A Dios, por iluminarme y fortalecerme para que lograra alcanzar una de mis grandes metas.

Dedico el presente trabajo especialmente a mi familia:

Mis padres: José Cruz Díaz Velázquez y Ma. Luisa Rojas Torres

Mis hermanos: Graciela, Rafael, Juana, Alfredo, Pablo, José, Alejandro y Margarita. Así como a sus parejas.

Por la inmensidad de su amor, sus incansables cuidados y por el apoyo invaluable que siempre me han brindado.

Sobre todo a quien me ha impulsado en la vida: Mi novia Alejandra Estrada Zaragoza.

Con cariño.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE ANEXOS	x
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
Remediación del aire por plantas intramuro	3
Presencia de hongos en plantas de intramuro	4
Monitoreo y presencia de hongos intramuros y extramuros	6
REVISIÓN DE LITERATURA	8
Calidad del aire en intramuros	8
Efecto de la contaminación en intramuros	9
Cubiertas vegetales en intramuros	10
Remediación del aire por plantas	11
Algunas características de plantas usadas en intramuros	13
Estudio de hongos en el aire intramuros-extramuros	15
Monitoreo de hongos en el aire intramuros-extramuros	16
Contaminación de hongos en intramuros-extramuros	18
Algunas características de hongos intramuros - extramuros	19
OBJETIVOS	21
Objetivo General	21
Objetivos Particulares	22
Hipótesis	22
Justificación	22
MATERIALES Y MÉTODOS	23
Zona de estudio	23
Monitoreo de factores ambientales	23
Preparación del medio de cultivo (PDA)	23
Monitoreo y colecta de esporas fúngicas	24
Incubación y conteo de colonias	24

Aislamiento y fijación de colonias	24
Aislamiento por el método de “Ridell”	25
Método de conversión para UFC m ⁻³	25
Establecimiento del material vegetal	26
DISEÑO EXPERIMENTAL	27
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	27
RESULTADOS	28
Concentración total de hongos en el aire	28
Concentración diaria de hongos en el aire	29
Temperatura ambiente	30
Temperatura ambiente por día	31
Intensidad de luz	32
Intensidad de luz por día	33
Análisis de correlación	34
Determinación de hongos en intramuros	37
Presentación macro y microscópica de hongos	37
DISCUSIÓN	49
CONCLUSIONES	56
LITERATURA CONSULTADA	57
ANEXOS	64

LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Algunas especies vegetales usadas en la remediación y mantenimiento de ambientes intramuros	14
Cuadro 2	Factores, niveles y tratamientos a evaluar	27
Cuadro 3	Concentraciones medias de hongos colectados del aire de tres habitaciones sin plantas y con plantas.	28
Cuadro 4	Concentración diarias de hongos colectados del aire en tres habitaciones sin plantas y con plantas	29
Cuadro 5	Disminución de esporas fúngicas en el aire de tres habitaciones en presencia de plantas.	30
Cuadro 6	Temperatura media de cada habitación sin plantas y con plantas.	30
Cuadro 7	Temperatura diaria de cada habitación sin plantas y con plantas.	31
Cuadro 8	Incremento diario de temperatura en tres habitaciones en presencia de plantas.	32
Cuadro 9	Intensidad de luz en tres habitaciones sin plantas y con plantas	32
Cuadro 10	Intensidad de luz diaria en tres habitaciones sin plantas y con plantas	33
Cuadro 11	Comportamiento de la intensidad de luz en tres habitaciones en presencia de plantas.	34
Cuadro 12	Lista de hongos colectados durante los tres muestreos en ambientes intramuros.	37

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1	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.	35
Figura 2	Correlación ($P < 0.05$) entre la luz y la concentración de esporas fúngicas. A) Habitación 1; B) Habitación 2; C) Habitación 3; ♦ Sin plantas; ● Con plantas.	36
Figura 3	Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro sin plantas. A) <i>Penicillium</i> sp.; B) Micelio estéril; C) <i>Cladosporium</i> sp.; D) <i>Cladosporium</i> sp.; E) <i>Cladosporium</i> sp.; F) <i>Epiccocum</i> sp.	38
Figura 4	Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro sin plantas. A) <i>Alternaria</i> sp.; B) Micelio estéril; C) <i>Penicillium</i> sp.; D) <i>Epiccocum</i> sp.; E) <i>Alternaria</i> sp.; F) <i>Rhizoctonia</i> sp.	39
Figura 5	Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro sin plantas. A) <i>Epiccocum</i> sp.; B) Micelio estéril; C) <i>Epiccocum</i> sp.; D) Micelio estéril; E) <i>Fusarium</i> sp.; F) Micelio estéril.	40
Figura 6	Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro sin plantas. A) <i>Epiccocum</i> sp.; B) <i>Cladosporium</i> sp.; C) <i>Cladosporium</i> sp.; D) <i>Penicillium</i> sp.; E) <i>Cladosporium</i> sp.	41
Figura 7	Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro con plantas. A) <i>Cladosporium</i> sp.; B) <i>Alternaria</i> sp.; C) Micelio estéril; D) Micelio estéril; E) <i>Penicillium</i> sp.; F) <i>Fusarium</i> sp.	42
Figura 8	Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro con plantas. A) Micelio estéril; B) <i>Penicillium</i> sp.; C) <i>Penicillium</i> sp.; D) <i>Cladosporium</i> sp.; E) Micelio estéril; F) <i>Alternaria</i> sp.	43

Figura 9	Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro con plantas A) <i>Cladosporium</i> sp.; B) <i>Aspergillus</i> sp.; C) <i>Cladosporium</i> sp.; D) <i>Aspergillus niger</i> sp.; E) Micelio estéril; F) <i>Alternaria</i> sp.	44
Figura 10	Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro con plantas A) Micelio estéril; B) <i>Aspergillus niger</i> sp.; C) <i>Cladosporium</i> sp.; D) <i>Penicillium</i> sp.; E) Micelio estéril; F) <i>Penicillium</i> sp.	45
Figura 11	Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro con plantas. A) <i>Cladosporium</i> sp.; B) <i>Penicillium</i> sp.; C) <i>Penicillium</i> sp.; D) <i>Penicillium</i> sp.; E) <i>Alternaria</i> sp.; F) Micelio estéril.	46
Figura 12	Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro con plantas. A) <i>Fusarium</i> sp.; B) <i>Aspergillus niger</i> sp.; C) <i>Penicillium</i> sp.; D) <i>Aspergillus candidus</i> sp.; E) <i>Cladosporium</i> sp.; F) <i>Epicoccum</i> sp.	47
Figura 13	Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro con plantas. A) <i>Cladosporium</i> sp.; B) <i>Penicillium</i> sp.; C) Micelio estéril; D) <i>Penicillium</i> sp.; E) <i>Penicillium</i> sp.; F) <i>Fusarium</i> sp.	48

ANEXOS

	Página	
Figura 1A	Plantas utilizadas en el monitoreo fúngico y ambiental en tres áreas intramuro. A) <i>Spathiphyllum wallisi</i> ; B) <i>Pilea cadierei</i> ; C) <i>Peperomia caperata</i> ; D) <i>Aglonema commutatum</i> ; E) <i>Cordilyne terminalis</i> ; F) <i>Blechnum gibbum</i> ; G) <i>Aucuba japonica</i> ; H) <i>Philodendron scandens</i> ; I) <i>Maranta leuconeura</i> ; J) <i>Adiantum</i> sp.; K) <i>Dieffenbachia dumbcane</i> .	65
Figura 2A	Equipo utilizado en el monitoreo aerobiológico. A) Caja impactador y B) Bomba extractora de aire, Thermo Andersen [®] de una etapa.	66
Figura 3A	Análisis de correlación de Pearson ($P < 0.05$) y la influencia de la luz en la temperatura ambiente. A) habitación 1; B) habitación 2; C) habitación 3; ♦ Sin plantas; ● Con plantas.	67
Figura 4A	Prueba de normalidad Anderson – Darling ($P > 0.05$) sin plantas: A) habitación 1, B) habitación 2 y C) habitación 3: Interpretación de la línea y puntos representan; 1) Si los datos vienen de una distribución normal, los puntos muy apenas seguirán la línea de referencia. 2) Si los datos no vienen de una distribución normal, los puntos no seguirán la línea.	68
Figura 5A	Prueba de normalidad Anderson – Darling ($P > 0.05$) con plantas: A) habitación 1, B) habitación 2 y C) habitación 3: Interpretación de la línea y puntos representan; 1) Si los datos vienen de una distribución normal, los puntos muy apenas seguirán la línea de referencia. 2) Si los datos no vienen de una distribución normal, los puntos no seguirán la línea.	69
Cuadro 1A	Análisis de correlación de Pearson entre la intensidad de luz y temperatura en tres áreas intramuros sin y con plantas.	70
Cuadro 2A	Prueba de Normalidad de Anderson-Darling sin y con plantas en tres áreas intramuro	71
Cuadro 3A	Análisis de correlación de Pearson entre la concentración de esporas y temperatura en tres áreas intramuros sin y con plantas	72
Cuadro 4A	Análisis de correlación de Pearson entre la concentración de esporas e intensidad de luz en tres áreas intramuros sin y con plantas	73

Cuadro 5A	Efecto de la presencia de plantas en la concentración de esporas de hongos entre las tres áreas intramuros	74
Figura 6A	Registro de la temperatura y luz por hora, durante la semana de muestreo en ausencia y presencia de plantas; A) Lunes; B) Martes; C) Miércoles; D) Jueves; E) Viernes.	75
Figura 7A	Registro de temperatura y luz por hora, durante la semana de muestreo en ausencia y presencia de plantas; A) Lunes; B) Martes; C) Miércoles; D) Jueves; E) Viernes.	76
Figura 8A	Registro de temperatura y luz por hora, durante la semana de muestreo en ausencia y presencia de plantas; A) Lunes; B) Martes; C) Miércoles; D) Jueves; E) Viernes.	77

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la contaminación del aire en espacios intramuros es considerada por muchos expertos 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 (EPA 1995, Wolverton 1997, Darlington *et al.* 2000, Gutiérrez 2005) indican que el ambiente en áreas intramuros puede estar hasta diez veces más contaminado que el extramuro. Debido a que los gases y partículas procedentes de los materiales sintéticos y orgánicos quedan atrapados en estos sitios, esta exposición prolongada a gases químicos y microorganismos dispersos en el aire que respiramos a largo plazo ha conllevado un aumento importante en 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: 1. El aire exterior que es introducido por los sistemas de ventilación natural o forzada existentes en el edificio y 2. El ambiente interior originado por actividades rutinarias de limpieza o trabajo, el mobiliario, los materiales de construcción, los recubrimientos de superficies y los tratamientos del aire (Lai 2002, Gutiérrez *et al.* 2005). Se considera que los habitantes de un edificio son en sí una fuente de contaminación, por producir cantidades considerables de dióxido de carbono, vapor de agua, 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).

En el caso de esporas de hongos ya sean vivas o muertas, se encuentran diseminadas en el aire y pueden ser inhaladas en concentraciones muy variadas por el hombre y animales (Calderón 1989). Causando y aumentando de manera significativa el riesgo de síntomas respiratorios y alergias en los ocupantes de intramuros (Garrett *et al.* 1997). Estos padecimientos incluyen entre otros, irritación de las membranas mucosas, bronquitis crónica, rinitis alérgica y asma (Garrett *et al.* 1997, Calderón *et al.* 2002). Aparte de alteraciones físicas y mentales tales como estrés, ansiedad e incomodidad los cuales repercuten en el rendimiento laboral (EPA 1995). Cuando se

describen estos síntomas provocados por microorganismos y otros contaminantes en ocupantes de intramuros se habla del "Síndrome del Edificio Enfermo". (EPA 1995, Simonson *et al.* 2002). Sin embargo, las razones de este síndrome no son muy claras y se ha indicado que la exposición a contaminantes como las esporas de hongos, puede ser factor para contribuir y desencadenar estos padecimientos en áreas intramuros (Garrett *et al.* 1997).

Ante esta problemática, las tecnologías surgidas de la arquitectura y ecología urbanas han sido desarrolladas e implementadas como una alternativa de remediación o mitigación en áreas intramuros (Gutiérrez 2005). El establecimiento de especies vegetales se utilizan como herramientas que proveen elevado confort y valor estético en la conformación de espacios intramuros (Wolverton 1997, Gutiérrez 2005). No obstante, el uso de estas cubiertas vegetales como parte de tecnologías encaminadas a promover el mantenimiento y remediación del ambiente interior constituye una alternativa de reciente implementación con un prometedor futuro (Gutiérrez 2005, Gutiérrez *et al.* 2005). En el caso de las paredes vivas o paredes de biofiltración se constituyen como paneles que sostienen y promueven el desarrollo de especies vegetales y sistemas biológicos, se han desarrollado estas cubiertas vegetales por tener propiedades de mantenimiento y remediación del ambiente al atrapar, fijar y/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 de intramuros requiere del constante y prolongado monitoreo que permita caracterizar la presencia de diversas esporas fúngicas en el ambiente durante las diferentes épocas estacionales. Con base en estos antecedentes y tomando en cuenta que el tratamiento de aire en áreas intramuro utilizando paredes vivas o filtros biológicos autorrenovables, es decir plantas y sistemas biológicos en crecimiento ha sido el origen de esta propuesta biotecnológica, se hace necesario esclarecer parte de la relación que tiene la incorporación de especies vegetales en la modificación y remoción de la aeromicobiota presente en el aire y de algunos factores ambientales en áreas intramuro.

Así, el objetivo general de la presente investigación fue: Determinar si las cubiertas vegetales en ambientes intramuros modifican o no la presencia y concentración de la micobiota dispersa en el aire y su relación con algunas variables ambientales como temperatura y luz. La hipótesis que se

planteó es: la incorporación de cubiertas vegetales en áreas intramuro modificará el tipo y concentración fúngica presente en el aire y factores ambientales como temperatura y luz.

ANTECEDENTES

Algunos estudios reportan la forma de mejorar el aire que respiramos por medio de cubiertas vegetales, aunque la mayor parte se ha desarrollado en la eliminación de gases tóxicos por medio de paredes vivas compuestas de plantas o bio-filtros como en la actualidad se les ha llamado. En estos estudios han utilizado plantas evaluando la calidad del aire en intramuros, generando indicios sobre la forma de absorción y transformación de diversos compuestos orgánicos en el aire por parte de las plantas, ayudando a identificar mecanismos y vías de desintoxicación.

Además, diversos estudios reportan la presencia y contaminación fúngica en el aire, responsable de reacciones alérgicas y en algunos casos segregar sustancias potencialmente tóxicas en intramuros - extramuros.

En la presente investigación, el objetivo no fue determinar la eficacia de las plantas en la remoción de gases orgánicos como fluoranteno, xileno, benceno etc., dispersos en el aire. Sin embargo, la información que se ha generado si debe tomarse en cuenta como referencia y guía para determinar qué mecanismos utilizan las plantas, en el sentido de eliminación, absorción y vías de desintoxicación de los contaminantes dispersos en el aire de intramuros. Por lo tanto, esta información se utilizó para comprender parte del efecto que pueden tener las cubiertas vegetales en la presencia y número de hongos dispersos en el aire y algunos parámetros ambientales en áreas intramuros.

Remediación del aire por plantas intramuros

Algunos estudios que se han realizado sobre el comportamiento de las plantas ante contaminantes dispersos en el aire utilizaron especies vegetales para mejorar y evaluar el nivel de remoción de gases tóxicos en aire de intramuros Wolverton (1989), Wolverton y Wolverton (1991), Wolverton y Wolverton (1993), Wolverton (1997), Ugrekhelidze *et al.*, (1997), Baird (1999), Darlington (2000, 2001), Komarnicki (2005), Awad (2005) entre otros.

De acuerdo con Wolverton (1997) desde 1904 diversos experimentos han indicado la habilidad de las plantas de intramuros para remover compuestos químicos volátiles, en estudios realizados por Heller (1904) reportó la asimilación del benceno y tolueno por *Sinapsis sp.* y *Brassica sp.*

Por su parte, Wolverton y Wolverton (1989, 1991) demostraron que diversas variedades de plantas como *Ficus benjamina*, *Spathiphyllum sp.*, *Crysalidocarpus lutencens*, *Dracaena fragans*, *Dieffenbachia dumbcane* y *Rhapis excelsa* tienen la capacidad de disminuir las concentraciones de varios compuestos químicos orgánicos como formaldehído, benceno, fluoranteno, tolueno, amonio y xileno.

Sin embargo, las plantas no sólo se han utilizado para ver el grado de remoción de compuestos químicos. En (1995) Asaumi *et al.* determinaron el efecto de algunos factores ambientales de intramuros en las plantas, evaluando el intervalo de transpiración y resistencia de los estomas en *Dracaena concinna*, *Codiaeum variegatum*, *Epipremnum aureum* y *Dracaena fragans*. En contraste Wood *et al.* (2002) ocuparon como bio-indicadores de contaminación en áreas intramuros a: *Aglonema sp.*, *Syngonium sp.*, *Spathiphyllum sp.* y *Philodendron sp.*, evaluando la cantidad de ácido ascórbico, clorofila total y el pH de extractos de hoja.

Cornejo *et al.* (1999) comprobaron la habilidad de remoción en áreas de intramuro de benceno en *Pelargonium domesticum*, *Ficus elastica* y *Kalanchoe blossfeldiana*. Ugrekhelidze *et al.* (1997) observaron que los compuestos de benceno y tolueno, fueron absorbidos con mayor intensidad por los estomas y asimilados activamente por las hojas más jóvenes en *Acer campestre*, *Malus domestica* y *Vitis vinifera*.

Presencia de hongos en plantas de intramuros

La mayor diversidad de plantas que se han ocupado en investigaciones monitoreando y tratando de remediar aspectos ambientales en áreas de intramuro provienen de regiones y climas tropicales, estas plantas pueden contener en sus hojas o sustratos diversos tipos de hongos incluso, servir de hospederos o simbiontes. Lo anterior provoca la introducción involuntaria de esta aeromicobiota en ambientes intramuros. En 1978, una de las primeras investigaciones de hongos en las hojas de las plantas fue realizada por Carroll y Carroll, quienes colectaron acículas de 19 especies de coníferas en 200 localidades de Estados Unidos, y de las cuales se aislaron

hongos pertenecientes a 8 géneros distintos. Este trabajo marcó la línea en la investigación de hongos endófitos que actualmente sigue desarrollándose en diferentes partes del mundo.

En los inicios de 1990, destacan los trabajos realizados por Rodrigues y Samuels (1990) con la palma *Licuala ramsayi* de un bosque de Queensland, en Australia de donde se aislaron 11 especies conocidas y una especie nueva a la que llamaron *Idriella licuale*.

En 1997 Southcott y Johnson aislaron hongos endófitos asociados de dos especies de palmas en Bermuda, de las cuales una es endémica *Sabal Bermudana Bailey* y la otra es introducida *Livistona chinensis Jacquin* (proveniente de China). Los hongos se encontraron en 20% de segmentos sembrados y correspondieron con 9 taxones, de los cuales los más frecuentes fueron aislamientos de *Aspergillus* y *Iedriella*.

Rajagopal y Suryanarayanan (2000) aislaron los hongos de hojas de *Azadirachta indica* A. Juss. (Meliaceae) en una localidad de la India. Encontrando cepas de *Fusarium avenaceum* y cuatro colonias estériles y las frecuencias de colonización fueron significativamente mayores en hojas maduras que en jóvenes y en la estación de lluvias.

Nailini *et al.* (2005) aislaron hongos fitopatógenos de la planta medicinal *Crataeva magna*, de los 800 segmentos de hojas sembrados, se obtuvieron 96 aislamientos, de los cuales los más frecuentes correspondieron a *Verticillium* sp., *Nigrospora oryzae* y *Fusarium verticilloides*.

Del Olmo (2006) encontró diversas especies de hongos en *Brosimum alicastrum* y *Hampea trilobata*, 29.33% fueron exclusivos en *Brosimum alicastrum* y 52.66% en *Hampea trilobata* y el 18% estuvieron presentes en ambas especies. Las especies encontradas en *Brosimum alicastrum* fueron *Aspergillus flavipes*, *A. fumigatus*, *Chaetomium globosum*, *Cladosporium multigeniculatum*, *Fusarium camtoceras*, *F. lateritium*, *F. Oxysporum*, *F. sambucinum* y *F. solani*. Las especies encontradas en *Hampea trilobata* fueron *Aspergillus oryzae*, *Fusarium clamydosporum*, *F. semitectum*, *Lasidiplodia theobrome*, *Penicillim corylophyllum*, *Phomopsis* sp. y *Tritirachium* sp.

Monitoreo y presencia de hongos intramuros y extramuros

Con respecto a estudios de Aerobiología relacionados con la contaminación y presencia de hongos en el aire para ambientes intramuros y extramuros hay una gran cantidad de trabajos como los realizados por Lacey (1981, 1994), Sprenger *et al.* (1988), Lehrer y Homer (1990), Lehrer *et al.* (1994), Calderón (1989), Horner *et al.* (1995), Icenhour y Levetin, (1997), D'Amato *et al.* (1997), Gonzálo *et al.* (1997), Calderón *et al.* (1995, 1997), Gröger *et al.* (1998), Rosas *et al.* (1998), Macías y Ramírez (1998), Infante *et al.* (1999a, 1999b), Gage *et al.* (1999), Tudzynski *et al.* (2001), Bush y Portnoy (2001), Mandrioli y Ariatti (2001), Górný *et al.* (2002), Sabariego *et al.* (2004), Panaccione y Coyle (2005).

Estos autores han encontrado que el tipo, la cantidad y la frecuencia de esporas de hongos presentes en el aire de intramuros y extramuros están sujetos a factores relacionados con su propia biología, además de los factores externos como localización geográfica, estación del año, periodicidad (hora del día o de la noche), además de las condiciones meteorológicas y de otros factores como las actividades humanas.

De acuerdo con Calderón (1989), la presencia de la aeromicobiota no es exclusiva del suelo o aire que nos rodea, incluso puede localizarse a alturas elevadas de la atmósfera. En el 2004 Griffffin determinó que los contenidos de (Guanina/Citocina) en el ADN de hongos colectados de la troposfera, demostraron tener mayor resistencia a la exposición de luz ultravioleta y pequeñas cantidades de G/C fueron muy sensibles a esta radiación.

Sin embargo, la calidad del aire en ambientes intramuro se ha convertido en un asunto importante de salud, debido a que las esporas fúngicas han sido reconocidas como aeroalergenos importantes. Entre los hongos más comunes se incluyen *Alternaria*, *Aspergillus*, *Candida*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Drechslera*, *Epicocum*, *Fusarium*, *Penicillium* y *Trichoderma* entre otros (Calderón 1995; Icenhour y Levetin 1997).

Burge (1990) determinó que las concentraciones en el aire de *Penicillium* y *Aspergillus* de intramuros fueron mayores en comparación a extramuros, debido a que existe una amplia variedad de sustratos como madera, artículos de piel etc., que pueden ser colonizados.

En 1995 Calderón *et al.* llevaron a cabo una investigación sobre los cambios estacionales y diurnos en las concentraciones aéreas de esporas de Basidiomicetos en dos áreas de la Ciudad de México, determinando que los Basidiomicetos forman un gran componente de la carga aérea total de esporas de hongos en la atmósfera de esas localidades. Las basidiosporas mostraron una periodicidad diurna con concentraciones mayores en la madrugada. El tipo de basidiospora más común fue *Coprinus*, el cual formó el 67% de las basidiosporas atrapadas en el área sur y el 63% en el área central.

Estudios realizados por Levetin y Shaughnessy en 1997 mencionan que las concentraciones de esporas fúngicas se han reportado tan altas como de 20,000 unidades formadoras de colonias por metro cúbico (UFC m⁻³) considerando el hecho de que una reacción alérgica puede ocurrir con una exposición a mínimas concentraciones de esporas fúngicas.

En 1997 Garrett *et al.* muestrearon esporas fúngicas en Australia presentes en áreas de intramuros, registrando una media del nivel de esporas de 502 UFC m⁻³, presentándose *Penicillium* y *Cladosporium* como los hongos más comunes. Un estudio previo realizado por Godish en (1996) en Latrobe, Victoria Australia, reportó una media geométrica de 495 UFC m⁻³ en intramuros, el autor menciona que redujo la ventilación natural antes de la colecta y esto pudo incrementar los niveles presentes en intramuro.

En 1997 Calderón *et al.* determinaron el efecto del clima urbano sobre la distribución espacial y temporal de esporas de Deuteromicetos, mediante trampas volumétricas (Burkad; Manufacturing, UK) en 2 sitios con diferentes grados de urbanización en la Ciudad de México. Los conidios de estos hongos mitospóricos formaron el mayor componente de la carga aérea, 52% de las esporas fueron capturadas en el área urbano-residencial y 65% en un área urbano-comercial. Las máximas concentraciones de esporas fueron obtenidas al final de la temporada húmeda y a principios de la temporada fría, donde las especies de *Cladosporium* y *Alternaria* fueron más comunes.

Rosas *et al.* (1997) examinaron 30 hogares de personas adultas asmáticas en la Ciudad de México para determinar los hongos cultivables predominantes y los cambios en concentraciones aéreas. El polvo aéreo de intramuros produjo de 99-4950 UFC m⁻³, para la temporada fría la

media de hongos en intramuro fue de 460 UFC m⁻³, mientras que en la temporada húmeda fue de 141 UFCm³. Similarmente, la concentración de esporas fúngicas en extramuros disminuyó 60% entre la temporada seca y húmeda. Las especies predominantes fueron *Cladosporium herbarum*, *Penicillium aurantiogriseum* y *P. chrysogenum*.

Shelton *et al.* (2002) reportaron concentraciones de 80 UFC m⁻³ en diversas áreas de intramuro en Estados Unidos, apareciendo con mayor frecuencia hongos como *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Stachybotrys chartarum*.

REVISIÓN DE LITERATURA

Calidad del aire en intramuros

Poco nos detenemos a pensar en la calidad del aire que respiramos una vez que nos encontramos bajo el resguardo de nuestro hogar, oficina o cualquiera que sea la habitación en la que desarrollamos nuestras actividades, como si las paredes que nos aíslan del medio exterior fueran protección suficiente para contrarrestar los efectos dañinos en nuestra salud ocasionados por la deficiente calidad del aire intramuros (Gutiérrez 2005).

La ubicación de los ambientes intramuros que se localizan en diferentes niveles de los edificios, pueden ser factores en las variaciones en luminosidad, temperatura y humedad relativa (Lai 2002). Estos aspectos son de innegable importancia para la salud física y mental de los ocupantes de espacios intramuro, como en el caso de la comodidad térmica, que se basa en un equilibrio entre la actividad física, la ropa que se utiliza y su relación con la humedad relativa, la temperatura, circulación de aire y la temperatura radiante media (Fang *et al.* 1998; Kosar 1998; Ebbehøj *et al.* 2002). Recientemente, se ha brindado mayor atención a la calidad del aire en espacios intramuros, ya que se reporta que alrededor del 85 al 90% de nuestro tiempo, realizamos diversas actividades en ese tipo de ambientes, por ejemplo: oficinas, escuelas y hospitales entre otras (EPA 1995, Wolverton 1997, Kostianen 1995). El peligro consiste en que el ambiente intramuros puede estar hasta 10 veces más contaminado que el externo, principalmente en ciudades industrializadas (Komarnicki 2005, Wolverton 1997). Algunas causas de la presencia de contaminantes en altas concentraciones, son el diseño, construcción, mantenimiento y antigüedad del edificio, sistemas de ventilación, control de clima, pero

principalmente el incremento en el uso de productos químicos y las actividades de los ocupantes (Komarnicki 2005, Oliver *et al.* 1998).

Durante los primeros años de los ochenta empezaron a aparecer una serie de enfermedades en Europa, Canadá y los Estados Unidos, ahí donde los edificios se habían cerrado herméticamente para un uso más eficiente de la energía (Prill *et al.* 2002). El término enfermedad relacionada con el edificio se utiliza para describir las dolencias identificadas por causas específicas. Algunos ejemplos de estas enfermedades relacionadas con el edificio incluyen; cáncer de pulmón provocada por la exposición al amianto y la enfermedad del legionario, originada por bacterias del agua estancada en sistemas de aire acondicionado y de calefacción (Fuzzi *et al.* 1997, Wolverton 1997, Darlington *et al.* 2000, Prill *et al.* 2002).

Para el año de 1984, un informe de la Organización Mundial de la Salud sugirió que 30% de los edificios nuevos o reformados de todo el mundo pueden tener problemas de contaminación del aire en su interior (Prill *et al.* 2002, Komarnicki 2005). Esta situación es aún más preocupante, debido a que el aire que se respira en ambientes intramuros se constituye esencialmente por el aire que recibimos del ambiente extramuros (Darlington *et al.* 2000). Ambiente que es bien sabido, sufre de constante y progresivo deterioro que obliga a autoridades dentro y fuera de nuestras fronteras a implementar múltiples medidas correctivas de ajuste o control (Carmona 2001).

Efecto de la contaminación en intramuros

Existe evidencia de que la contaminación del aire que se respira en intramuros representa un peligro para la salud humana y en especial para los considerados grupos de alto riesgo representados esencialmente por niños, adultos y personas de sistema inmunológico susceptibles. Sin embargo, se considera que todos los ocupantes de áreas intramuros están expuestos a la contaminación del aire y puede poner en riesgo la salud (EPA 1995). Los grupos de mayor riesgo ante la contaminación del aire en intramuros y de mayor importancia se ha relacionado con el llamado síndrome de la muerte súbita en los bebés, la muerte en la cuna se presenta inesperadamente y las causas aun son desconocidas, han observado que se presenta entre las dos semanas y el año de edad (Wolverton 1997). La mayor parte de los recién nacidos llega a casa

desde el hospital llegan a casa a una habitación recién pintada, bien provista de artículos nuevos: alfombras, cuna, colchones, mantas, ropa y juguetes, en otras palabras es probable que esa habitación tenga emisiones altas de sustancias químicas (Wolverton 1997).

Por lo tanto, se ha determinado que la sensibilidad a los alérgenos y contaminantes varía de manera significativa entre cada individuo, las reacciones pueden ser desde efectos no observables a estornudos, asma, irritaciones pulmonares y otras del aparato respiratorio e incluso cáncer (Mandrioli y Ariatti 2001). De acuerdo con Wolverton (1997), Mandrioli y Ariatti (2001) aquellos que están expuestos a un número considerable de compuestos químicos no experimentan de forma inmediata reacciones agudas, pero durante un período prolongado quedan sensibilizados.

En consecuencia, estas personas se convierten en hipersensibles manifestando reacciones alérgicas de mayor importancia a una amplia variedad de sustancias, tales como el polvo, ácaros del polvo, esporas de hongos, polen y determinados elementos (Calderón *et al.* 1995, 1997, Norris 1997, Darlington *et al.* 2000). Aproximadamente, el origen del asma del 90% de los niños es alérgico y los contaminantes en el ambiente de intramuros incluyendo el humo del tabaco, pueden dañar en un primer momento las membranas sensibles que rodean las vías respiratorias de los pulmones (Prill *et al.* 2002).

Cubiertas vegetales en intramuros

Como resultado de la contaminación del aire que respiramos en áreas de intramuros se han desarrollado un considerable número de tecnologías, que han surgido con la finalidad de promover la modificación o remediación del ambiente intramuros (Briz 2004, Gutiérrez 2005). Además, se ha demostrado que el cultivo de las plantas dentro y fuera de casa puede ser la mejor medicina de que se pueda disponer para la mejora del bienestar físico y mental a cualquier edad (Wolverton 1997, Darlington *et al.* 2000, 2001, Briz 2004). Por otra parte, los estudios de las interacciones entre las plantas y las personas han suministrado pruebas concluyentes de que las plantas tienen un efecto benéfico sobre las personas y los espacios que habitan (Darlington *et al.* 2000). En el establecimiento de especies vegetales de intramuros se han utilizado como

herramientas que proveen elevada comodidad y valor estético en la conformación de espacios intramuro (Gutiérrez 2005, Gutiérrez *et al.* 2005).

Las paredes vivas, paredes de biofiltración y paredes de retención, son algunas de las tecnologías implementadas con este propósito (Gutiérrez 2005). Y en la actualidad el tratamiento de aire en ambientes intramuro ha tomado fuerza e interés por utilizar especies vegetales como filtros biológicos auto-renovables, basados en los principios de fitorremediación usando la habilidad natural de las plantas para absorber contaminantes (Darlington *et al.* 2000).

La acción remediadora del ambiente que ejercen estos sistemas representa una singular herramienta de modificación o remediación respecto al control y mantenimiento tradicional de corrientes de aire, las hojas de las plantas no sólo producen oxígeno, sino que también desempeñan un papel muy importante en el mantenimiento de la salud de la propia planta y reemplazan el uso de agentes químicos, por la retención, reducción o remoción *in situ* de dichas partículas por actuar como filtros biológicos (Darlington *et al.* 2001, Wani *et al.* 1997).

Remediación del aire por plantas

Los beneficios que proveen entre otros las cubiertas vegetales en ambientes intramuros son, retención de agua, evapotranspiración, mejora el grado de humedad atmosférica, forman corrientes de aire, aislamiento térmico, aislamiento acústico, puede servir como filtro de rayos ultravioleta, reduce saltos térmicos, ejerce impacto estético y beneficios en la salud mental de la población (Wolverton 1997, Monterroso 1999, Darlington *et al.* 2000, Briz 2004, Kolb 2004). Además, las plantas ayudan a mejorar las condiciones prevalecientes y desarrollan condiciones ambientales que favorecen las áreas intramuros (Darlington *et al.* 2000). En el caso de la humedad se ha observado que los niveles considerados de salud y bienestar para las personas, plantas y animales debe oscilar entre el 35% y 65% de humedad relativa, debido a que los niveles de humedad están íntimamente relacionados con la temperatura del aire: cuanto más caliente esté, más rápidamente se perderá la humedad. (Wolverton 1997). En estudios realizados por Wolverton (1997), Simonich y Hites (1995), Ugrekheldze *et al.* (1997), Darlington *et al.* (2000) mencionan que las hojas de las plantas atrapan y mantienen la humedad que transpiran las

plantas de al lado, cuanto más seco este el aire mayor humedad desprenderá la planta, ayudando a mantener la humedad a través del proceso de transpiración.

De igual forma, la temperatura puede modificar las características físicas y biológicas de la cubierta vegetal (Darlington *et al.* 2001). Al incrementarse la temperatura el proceso de transpiración se acelera permitiendo producir el movimiento del aire ayudando a mantenerse estable no sólo su temperatura interna sino también la externa, liberar las toxinas y compuestos orgánicos volátiles que hay en el ambiente (Darlington *et al.* 2001). Por lo tanto, la temperatura es muy importante para las plantas, debido a que la mayor parte de las plantas de follaje son tropicales y requieren altas temperaturas nocturnas entre 18°C como mínimo. La temperatura de la parte aérea puede disminuir hasta 16°C en la noche sin respuesta importante de la planta. El intervalo óptimo de temperatura para varios géneros de plantas de follaje en intramuros es de 18°C de temperatura mínima nocturna y 24°C de diurna mínima (Larson 2004).

Aunque no hay pruebas de que las plantas modifiquen la intensidad luminosa presente en las áreas intramuros, todas las plantas necesitan luz, pero la cantidad de luz requerida varía según el género y la especie (Pearson *et al.* 1995). La intensidad luminosa es uno de los factores más importantes a considerar en una cubierta vegetal, al realizar el proceso de fotosíntesis puede ayudar a controlar emisiones de dióxido de carbono (Wolverton 1997). En este proceso libera energía en forma de calor y agua, además la luz favorece y controla directamente factores de crecimiento, desarrollo, color del follaje, niveles de carbohidratos, velocidad de crecimiento y aclimatización de las plantas (Pearson *et al.* 1993, Wolverton 1997).

Una vez que las plantas absorben, capturan o degradan diversos contaminantes del aire ya sea dentro de su metabolismo o en la superficie de las hojas (Darlington *et al.* 2000, Mung *et al.* 2006), gran variedad de procesos físicos y químicos son activados al actuar como filtros y superficies de reacción (Rico *et al.* 2004, Wani *et al.* 1997, Darlington *et al.* 2001, Wood *et al.* 2002).

Las investigaciones desarrolladas principalmente por Wolverton (1997), Ugrekhelidze *et al.* (1997), Darlington *et al.* (2000, 2001) han demostrado el potencial que poseen las plantas para absorber sustancias químicas volátiles de naturaleza orgánica desde el aire en espacios de

intramuros y translocarlos a la zona de la raíz, donde son descompuestos por los microbios o por la misma planta.

Una vez que las partículas contaminantes llegan a las plantas pueden depositarse en la superficie o entrar a la planta por medio de los estomas y raíz (Simonich y Hites 1995). Al parecer los cloroplastos juegan un papel importante en el proceso de detoxificación ya que la intensidad de la absorción depende del número de estomas y la estructura de la cutícula entre otros (Ugrekheldze *et al.* 1997). Sin embargo, la remoción de los contaminantes del aire es variable y la capacidad de las plantas para transformar o remover los contaminantes depende de la velocidad de transformación del compuesto y está determinada por la tasa de absorción, tipo de reacción, actividad y especificidad de las enzimas participantes, así como la naturaleza química del compuesto (Kondo *et al.* 1995, Schmitz *et al.* 2000). Además del tipo o especie vegetal, ya que algunas plantas modifican su capacidad de remoción ante las condiciones de luz y temperatura o si se encuentra una o más plantas (Simonich y Hites 1995, Ugrekheldze *et al.* 1997, Cornejo *et al.* 1999, Mung *et al.* 2006).

Algunas características de plantas usadas en intramuros

La mayor parte de especies ornamentales han demostrado gran adaptación a las condiciones ambientales comunes al ambiente intramuro. Sin embargo, las investigaciones indican que los factores ambientales en áreas intramuros ejercen una fuerte influencia en el nivel de aclimatización de las plantas de follaje, algunas especies ornamentales que se han evaluado con buen éxito se pueden incluir entre otras a: aralia (*Brassaia actinophylla*), cuna de moisés (*Spathiphyllum* sp.), palma areca (*Chrysalidocarpus lutescens*), palma camedor (*Chamaedorea elegans*), ficus (*Ficus benjamina*), helecho Boston (*Nephrolepis exaltata* 'Bostoniensis'), dracena (*Dracaena deremensis* 'Janet Craig' o 'Warneckeii') las cuales han indicado gran capacidad de remoción de bio-efluentes (Wolverton 1997, Darlington *et al.* 2000, Carmona 2001, Dunnett y Kingsbury 2004). Sin embargo, las plantas elegidas deben contar con características anatómicas, morfológicas y fisiológicas que permitan mantener su crecimiento y desarrollo (Carmona 2001).

El principal criterio utilizado para seleccionar las plantas que se colocaron en ambientes de intramuros es que: sean plantas herbáceas de porte bajo, raíz no pivotante, hábito rastrero,

colgante, trepadoras, epífitas, con hojas pubescentes o suculentas (Carmona 2001, Dunnett y Kingsbury 2004). Con requerimientos mínimos de suelo, adaptados a condiciones extremas como sequía prolongada, humedad temporal excesiva y con capacidad natural de extenderse verticalmente (Carmona 2001, Gómez-Campo 2004; Dunnett y Kingsbury 2004). Debe tratarse en lo posible de plantas perennes, para que cubran la superficie durante todo el año, es recomendable el uso de mezclas de especies (Gómez-Campo 2004). En el Cuadro 1 se listan otras especies que exitosamente se utilizan en ambientes intramuro y que en múltiples casos han demostrado poseer la capacidad de atrapar o remover partículas y bio-efluentes en diversos escenarios (Wolverton 1997).

Cuadro 1. Algunas especies vegetales usadas en la remediación y mantenimiento de ambientes de intramuros.

Nombre común	Nombre científico
Aglaonema	<i>Aglaonema crispum</i>
Begonia	<i>Begonia semperflorens</i>
Crisantemo	<i>Chrysanthemum morifolium</i>
Croto	<i>Codianum variegatum</i>
Cuna de Moisés	<i>Spathiphyllum sp.</i>
Dieffenbachia	<i>Dieffenbachia exótica</i> <i>D. camilla</i>
Drácena	<i>Dracaena demensis</i> <i>D. fragans</i> <i>D. marginata</i>
Ficus	<i>Ficus benjamina</i>
Filodendro	<i>Philodendron oxycordium</i>
Gerbera	<i>Gerbera jamesonii</i>
Kalanchoe	<i>Kalanchoe blossfeldiana</i>
Singonio	<i>Syngonium podophyllum</i>

Tomado y modificado por el autor de Wolverton (1997).

Estudio de hongos en el aire intramuros-extramuros

Los métodos de remediación utilizando plantas en intramuros pueden ayudar a mantener saludable el aire que respiramos. Sin embargo, se continúa investigando la relación que tienen los hongos en el aire y los factores ambientales intramuros - extramuros entre otros. En 1936 se introdujo la aerobiología como disciplina, tras los trabajos hechos por Meier, después de realizar múltiples estudios para el departamento de Agricultura de E. U. A. Los trabajos se publicaron en el primer simposio de Aerobiología extramuros e intramuros realizado por la Asociación Americana para el avance de la ciencia (Moulton 1942, citado en Calderón 1989).

La aerobiología no solo considera a la aeromicobiota dispersa en el aire sino a una gran diversidad de organismos y partículas de origen orgánico incluyendo entre otros: esporas de hongos, bacterias, virus, polen, insectos y ácaros (Calderón 1989, Comtois e Isard 1999, Mandrioli y Ariatti 2001). Además, incluye el estudio de los procesos físicos y químicos que se relacionan con la liberación, transporte, depósito y viabilidad de las partículas en el aire (Lacey 1994). El comportamiento de los hongos en el aire depende de la biología misma del organismo, así como de las condiciones físicas del ambiente (ej., humedad, temperatura, radiación solar, luminosidad, presión de vapor, ventilación o movimiento de aire, etc.) y las características generales de los espacios intramuros y extramuros, estas condiciones tienen un efecto importante en el crecimiento y distribución de dichos organismos (Lacey 1994).

La presencia de las esporas de hongos en el aire sin ser esencialmente un hábitat para ellos, implica dispersión a corta o larga distancia y colonización de sustratos diferentes al de su fuente de origen y pueden actuar, como fitopatógenos, alérgenos, colonizadores primarios. Sin embargo, la interacción con los parámetros ambientales en intramuros o extramuros es de gran importancia ya que estos seleccionarán aquellas esporas que presenten ciertas habilidades para soportar la pérdida de agua y los efectos de la radiación ultravioleta, entre otros (Rosas *et al.* 1998, 2001). Durante el transporte por el aire bajan su tasa metabólica y se recuperan hasta que se impactan sobre un organismo o un medio con las condiciones óptimas para crecer o infectar. Sin embargo, la presencia de las esporas en la atmósfera tiene gran relevancia desde el punto de vista ecológico, por el grado de dispersión que pueden adquirir y que difícilmente lograrían si su hábitat primario fuera terrestre o acuático (Mandrioli y Ariatti 2001).

La presencia de los hongos no es exclusiva de una área determinada, se ha demostrado que muchas esporas de hongos pueden sobrevivir a transportes transoceánicos a través del aire, esta es una habilidad para ser transportados verticalmente por arriba de la atmósfera terrestre, muchos de estos mecanismos de transporte son producidos por tormentas, olas oceánicas, actividades volcánicas y actividades humanas como lanzamientos de cohetes espaciales o aviones (Griffin 2004). Algunos estudios han demostrado que los hongos colectados de la atmósfera presentan altas cantidades de guanina (G) y citosina (C), (elevados contenidos de G/C en el ADN de algunos hongos han demostrado tener mayor resistencia ante la exposición de la luz ultravioleta y bajas cantidades de G/C son sumamente sensibles ante esta radiación (Griffin 2004).

Monitoreo de hongos en el aire intramuros-extramuros

El monitoreo en áreas de intramuros no sólo busca comprobar la contaminación por hongos que existe en estos ambientes. Además, trata de comprender el comportamiento de la aeromicobiota dispersa en el aire a lo largo del día y épocas del año, así como evaluar el efecto que tiene el ambiente en el estado fenológico “crecimiento y desarrollo” de los hongos en áreas de intramuro (Gage *et al.* 1999). En ambientes intramuros y extramuros se ha observado que estos cambios y eventos biológicos son regulados principalmente por la temperatura, humedad y las variaciones en el número de esporas (Garrett *et al.* 1997, Gage *et al.* 1999).

La combinación de condiciones ambientales en intramuros incide sobre los ciclos de crecimiento de los hongos, métodos de liberación de esporas y como resultado las diversas variaciones en la concentración de esporas a través del día (Calderón *et al.* 1995, Gage *et al.* 1999, Ulloa y Herrera 2004). Las máximas concentraciones de hongos presentes en el aire usualmente se relaciona con las condiciones óptimas y necesarias para la liberación de esporas, sin olvidar que está en función de la especie y tipo de hongo por ejemplo: tiempo de maduración de las esporas, turbulencia, velocidad del viento, aumento de temperatura y la humedad son determinantes para que se lleve a cabo la liberación y dispersión fúngica (Ulloa y Herrera 2004).

La presencia de una gran cantidad de esporas a través del día ha sido determinada por concentraciones estimadas en intervalos de 2 horas usando para ello muestreadores continuos como trampas de esporas (Burkard, Manufacturing UK) con base en estos estudios se ha

determinado que las esporas fúngicas presentan cinco patrones de periodicidad, en tiempo y espacio (Lacey 1981, Calderón 1989).

El primer patrón fue llamado; patrón después del amanecer y demostró que la liberación de esporas depende de cambios rápidos de humedad relativa en el ambiente, alcanzando un máximo entre las 7 y las 10 horas, en el segundo patrón del medio día las especies pueden tener esporas liberadas por colapsamiento o alteraciones mecánicas del micelio resultado del incremento de temperatura, velocidad del viento y turbulencias que se presentan al medio día. En este caso el viento es el principal factor por debilitamiento adhesivo entre las esporas y el conidióforo (Lacey 1981, Calderón 1989).

En el tercer patrón existen dos máximos en el día, que aun no quedan muy claros y es llamado patrón de doble pico, la primer presencia de esporas como es el caso de algunas especies de *Cladosporium* por mencionar una, requiere de ocho horas de oscuridad para producir esporas listas y maduras para ser liberadas, antes de 9 horas pocas esporas estarán listas (Lacey 1981). Generalmente, son sacudidas por la turbulencia térmica y dispersadas por movimientos activos o pasivos del aire, alcanzan un máximo al medio día disminuyendo su número conforme se agota la fuente de esporas (Lacey 1981, Calderón 1989). Durante la tarde o cerca de la noche se presenta un segundo número de hongos el cual conforme disminuye la turbulencia y el viento, las esporas tienden a depositarse y gradualmente se asientan en algún sustrato y su número disminuye paulatinamente (Lacey 1981, Calderón 1989). Sin embargo, hay que considerar que las condiciones no siempre son iguales o estáticas y la producción de esporas puede ser modificada por la ubicación geográfica, época del año y especies presentes (Garrett *et al.* 1997, Rosas *et al.* 1998).

El cuarto patrón de esporas es llamado patrón después del crepúsculo en este período son pocas las especies que dan el máximo entre las 20 y las 22 horas aunque en éste, el incremento de la humedad por la noche es un factor determinante. Finalmente el quinto patrón nocturno demuestra que, la presencia máxima de esporas se da entre las 2 y 4 de la mañana en el que las ascosporas y basidiosporas están presentes principalmente y la alta humedad puede influir tanto en la formación y liberación de esporas (Lacey 1981, Calderón 1989).

Contaminación de hongos en intramuros-extramuros

La elevada presencia de esporas de hongos en el aire ha motivado comprobar su relevancia como alérgenos e indicar la contaminación en ambientes intramuros y extramuros (Calderón *et al.* 1995). Se considera que constituyen un grupo muy numeroso de organismos y se han descrito aproximadamente 500,000 pero se estima que pueden existir entre 1 y 1,5 millones de especies (González *et al.* 1997).

Sin embargo, ante su gran número e incidencia no se han propuesto métodos alternos que ayuden a remediar o mitigar el problema de contaminación de la micobiota en el aire. Situación que ha provocado que la alergia a hongos sea estudiada con mayor interés, ya que se ha demostrado que existe sensibilización alérgica a más de 80 especies de hongos, aunque sólo algunas esporas han sido estudiadas en detalle (Bush y Portnoy 2001). Los estudios sobre aeromicología han presentado problemas ya que, los resultados no son comparables entre sí debido a las diferencias entre regiones, metodologías implementadas, fallas en la identificación, técnicas de cultivo (González *et al.* 1997), la variación estacional y temporal donde se estudia la incidencia, entre otros (Horner *et al.* 1995, Bush y Portnoy 2001).

Para ejemplificar este problema D' Amato *et al.* (1997), llevaron a cabo un estudio de prevalencia alérgica respiratoria y sensibilización a esporas de *Alternaria* y *Cladosporium* en Europa y demostraron que existía una respuesta del 3% en personas provenientes de Portugal y del 20% en las de España. Incluso se han reportado epidemias de asma de considerable magnitud relacionadas con altos contenidos de esporas de hongos presentes en el aire en ciudades de Nueva Orleans, Inglaterra y Australia (Sprenger *et al.*, 1988; Lehrer *et al.*, 1994; Horner *et al.*, 1995).

Los efectos que puede provocar la exposición a hongos son varios, entre éstos se encuentran los hongos que invaden piel, uñas, cuero cabelludo etc., entre otras enfermedades ocasionan tiñas en la cabeza y pie de atleta, candidiasis, lesiones en boca, infecciones en bronquios y pulmones (Ulloa y Herrera, 2004). Se considera entre otros, que los conidios de *A. fumigatus* son comunes en intramuros y producen 50% de mortalidad en personas con sistema inmune débil (Panaccione y Coyle 2005). Además de causar enfermedades como “aspergillosis invasora o aspergilloma”

en personas sanas niños y adultos. Esta enfermedad se caracteriza porque el hongo penetra las cavidades de los pulmones y senos paranasales, sin llegar a los tejidos finos (Icenhour y Levetin 1997).

La mayor parte de hongos emiten diversos alcaloides tóxicos para los habitantes de áreas intramuro, por ejemplo; *Claviceps purpurea* conocido como cornezuelo del centeno (Gröger *et al.*, 1998). No sólo puede contaminar alimentos con sus toxinas además, puede actuar como antagonista parcial de varios quimiorreceptores como serotonina y dopamina afectando el sistema nervioso, circulatorio, reproductivo e inmune (Gröger *et al.*, 1998). A la par, puede provocar presión alta, contracciones musculares, baja fertilidad, insomnio, gangrena en heridas expuestas y en dosis altas alucinaciones (Gröger *et al.*, 1998; Tudzynski *et al.*, 2001).

Algunas características de hongos intramuros-extramuros

La mayor parte de esporas de hongos que inciden en áreas intramuros son consideradas potencialmente alérgicas y la proliferación por medio de conidios es de gran importancia por parasitar plantas, animales y personas, además de causar enfermedades como asma, bronquitis, alergias entre otras, en áreas de intramuros y extramuros (Calderón 1989, Calderón *et al.* 1995, Herrero *et al.* 1996, Icenhour y Levetin 1997, Rosas *et al.* 1998, Infante *et al.* 1999a).

La subdivisión Mitospóricos anteriormente llamada Deuteromycotina comprende gran cantidad de especies de hongos, aproximadamente 15, 000 especies, en los que la reproducción se realiza sólo por mecanismos asexuales. Los hongos de este grupo son sólo algunas de las especies que se encuentran principalmente en el aire, aparentemente carecen de una fase de reproducción sexual, también llamada “perfecta,” por lo común son denominados “hongos imperfectos”. La división Deuteromycetes se encuentra dividida en tres clases; Blastomycetes, Hypomycetes y Coelomycetes. Los Deuteromycetes representan los estados conidiales que nunca desarrollan los estados sexuales o ascógenos en condiciones naturales, o que raramente lo hacen y que es difícil encontrarlos (Ulloa y Herrera 2004, Calderón 1989).

Los conidios se consideran como esporas asexuales, no móviles y usualmente son formados en el ápice o en la parte lateral de una célula fértil especializada llamada célula conidiógena a diferencia de las esporas o esporangiosporas de los hongos inferiores formadas de una partición

progresiva del citoplasma. Los conidios no se encuentran rodeados por una pared esporangial y en algunas especies de hongos imperfectos los conidios pueden quedar embebidos en una matriz mucilaginosa formando bolas de esporas sobre las células conidiógenas (Ulloa y Herrera 2004). Sin embargo, aun en estos casos los conidios, no se encuentran contenidos en una estructura con pared celular rígida o peridio como sucede en las esporas de los esporangios (Ulloa y Herrera 2004).

Los conidios varían en tamaño de acuerdo a la morfología y fisiología de los organismos, así como a las condiciones en las que se encuentren, por ejemplo *Cladosporium* sp., posee un tamaño aproximado de 3-7 μm y de 2-4 μm (Infante *et al.* 1999a, Górný *et al.* 2002). *Alternaria longissima* puede superar los 0.5 milímetros, pero hay casos, en los que sobrepasan las 100 μm como en algunas especies de *Helminthosporium* (Infante *et al.* 1999b).

Hay especies que producen conidióforos como *Aspergillus* sp., el tamaño es variable y se han observado de 350 μm de longitud y entre 2-6 μm de anchura con ramificaciones laterales y terminales (Icenhour y Levetin 1997). Algunos conidióforos de *Cladosporium herbarum* son variables, pero se han observado de 250 μm de longitud y de 3-6 μm de ancho y los conidios varían entre 5.5 x 3.8 μm (Infante *et al.* 1999a).

Una vez que la spora es formada y liberada, la dispersión de los hongos es muy importante porque determina la supervivencia, desarrollo y multiplicación (Infante *et al.* 1999a). Además, las esporas de los hongos presentan varias características y formas en su superficie que pueden ayudar o influir en su identificación (Flannigan 1999, Infante *et al.* 1999b).

La pared de las esporas se constituye principalmente por quitina, celulosa y otros compuestos llegan a ser muy resistente y gruesa (Ulloa y Herrera 2004). La superficie de algunas esporas puede ser hidrofóbica o hidrofílica y pegajosa, estas características ayudan a soportar mayor tiempo la exposición a los factores ambientales (Ulloa y Herrera 2004). La spora puede ser lisa, rugosa o espinosa, aterciopelada, flocosa o pelosa, de forma subesférica, esférica, alargada, radiada y ovalada, algunas presentan formas de agregación y se consideran unidades dispersoras (Infante *et al.* 1999a).

Pueden adoptar formas estructurales esféricas, ovoides, elongadas, cilíndricas, filiformes y espirales, además pueden ser unicelulares o multicelulares (Ulloa y Herrera 2004). Septadas o multiseptadas transversal y longitudinalmente como en especies de *Cladosporium herbarum* (Infante *et al.* 1999a). Elipsoidales de paredes lisas o débilmente verrugosas y variables en tamaño como en *Aspergillus* sp. (Icenhour y Levetin 1997). Pueden tener base y extremos redondeados, cicatrices protuberantes, elongaciones intercaladas o terminales, ápice más o menos alargado característico en *Alternaria longissima* (Infante *et al.* 1999a).

El color de algunas esporas pueden ser intenso o transparente (hialino a pigmentado), predominando tonos amarillos, rojos, pardos y púrpuras (Infante *et al.* 1999b, Ulloa y Herrera 2004). El pigmento se puede encontrar en la pared interna o externa y en el citoplasma lo cual facilita la identificación de los hongos (Gregory 1973, Calderón *et al.* 1995, Infante *et al.* 1999b, Ulloa y Herrera 2004). En cuanto a la pared celular, ésta presenta varias capas que rodean al citoplasma, el material nucleico y las reservas se encuentran en forma de glicógeno y lípidos (Ulloa y Herrera 2004). Se desarrollan en forma de micelio pluricelular o levaduras unicelulares, cuyo crecimiento es variable en el tiempo y bajo condiciones climáticas que se encuentren (Gregory 1973, Aden *et al.* 1999).

Algunas esporas que se han observado de *Cladosporium* en (Burkard, Manufacturing UK) aparecen en forma de cadena y aisladas (Infante *et al.* 1999a). Y se especula que al encontrarse aisladas son más eficientes para lanzarlas al aire (Infante *et al.* 1999a).

OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar si las cubiertas vegetales en ambientes intramuros modifican o no la presencia y concentración de la micobiota dispersa en el aire y su relación con algunas variables ambientales como temperatura y luz.

Objetivos particulares

- Monitorear, cuantificar, aislar e identificar hasta nivel de género los hongos presentes en el aire de tres áreas intramuros en ausencia y presencia de cubiertas vegetales.
- Comparar el tipo y la concentración de hongos en el aire de tres áreas intramuros en ausencia y presencia de cubiertas vegetales.
- Monitorear y comparar la temperatura y la luz en las tres áreas de muestreo intramuros con ausencia y presencia de cubiertas vegetales

Hipótesis

- La incorporación de cubiertas vegetales en áreas intramuros modificará el tipo y la concentración fúngica presente en el aire y factores ambientales como temperatura y luz.

JUSTIFICACIÓN

Debido a que el ambiente que nos rodea y en particular el aire que respiramos han mostrado constante y progresivo deterioro además de incidir directamente en la salud humana, el monitoreo constante de áreas intramuros es primordial por el tiempo y desarrollo de nuestras actividades en estos ambientes. En promedio, una persona pasa del 85 al 90% de su tiempo en áreas de intramuros respirando alrededor de 20,000 litros de aire al día, por lo que la inhalación y en consecuencia la exposición a contaminantes es continua a diferencia de la ingestión de contaminantes a través de alimentos o agua. Las sustancias y partículas emitidas como es el caso de los hongos presentes en el aire, pueden provocar daños en la salud. La gravedad del daño depende del tipo, concentración y tiempo de exposición a estos contaminantes. Buscando nuevas alternativas para disminuir o mitigar esta contaminación se han desarrollado tecnologías biológicas como las cubiertas vegetales, que aunque son de reciente implementación tienen un futuro prometedor por poseer propiedades de mantenimiento y remediación al atrapar, fijar y remover diversos volátiles y partículas tóxicas presentes en el aire de ambientes intramuros. De acuerdo a lo anterior y a la poca información que existe, no se ha determinado con claridad la relación que tienen las plantas sobre la remediación y presencia de hongos dispersos en el aire de intramuros. Por lo tanto, esto lleva a la necesidad de investigar y evaluar el efecto de las

cubiertas vegetales en el tipo y la concentración de la aeromicobiota dispersa en el aire y de algunas variables ambientales como temperatura y luz en ambientes intramuros.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se dividió en dos etapas y se llevaron a cabo en la misma zona de estudio. Se monitorearon y registraron los mismos factores ambientales. En la etapa dos se construyeron y establecieron cubiertas vegetales en las tres áreas intramuros.

Zona 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. Ubicado a 2250 msnm; 19°19'N y 98° 53' O.

Monitoreo de factores ambientales

El registro y monitoreo del ambiente requirió del uso e instalación de tres sensores (uno por oficina) data loggers, serie Pendant[®] (Onset[®] Co.). Las variables físicas del ambiente fueron registradas a intervalos de 10 minutos, las 24 hrs del día durante 12 semanas. Dichas variables incluyeron: temperatura (°C) y luminosidad ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Los equipos fueron colocados a una altura de 1.60 m sobre el nivel del piso.

Preparación del medio de cultivo (PDA)

Antes de llevar a cabo la colecta de microorganismos se preparó el medio de cultivo de papa agar dextrosa (PDA) específico para hongos en condiciones estériles. Se utilizaron botellas de 1 litro de capacidad, las cuales se llenaron con 700 mL de agua desionizada y 27.3 g de PDA el cual fue agitado hasta su disolución, posteriormente se esterilizó a 18 libras de presión (PDL), durante 15 minutos. Se vaciaron 30 mL del medio de cultivo en cada una de las cajas de Petri.

Monitoreo y colecta de esporas fúngicas

El monitoreo se realizó durante tres semanas (12 al 16 de marzo, 16 al 20 de abril y del 14 al 18 de mayo de 2007). Los muestreos se llevaron a cabo en el mismo horario establecido entre las 12:00 y las 15:00 horas, por ser considerado como el horario que presenta mayor tránsito de personas para dichos espacios. La colecta consistió en tomar muestras de aire por duplicado, para cada habitación.

Un total de 90 muestreos fueron realizados utilizando un impactador de partículas viables de una etapa (Thermo Andersen, Thermo Electron Corporation®) colocado sobre un tripie portátil de aluminio a una altura de 1.60 m sobre el nivel del piso. El mecanismo de operación del muestreador se fundamenta en la fuerza de succión de aire generada por una bomba de vacío, la cual es ajustada a una velocidad de flujo constante de $28.3 \text{ L aire min}^{-1}$, a través del cual el aire fluye de manera continua por una placa metálica con 400 orificios que es depositado en una caja de Petri con 30 mL de medio de cultivo de (PDA). El tiempo de operación del muestreador fue de 15 minutos por cada muestreo.

Incubación y conteo de colonias

Después de la colecta, las cajas de Petri se metieron en una incubadora marca Poly Science® de 5 a 7 días, programada a temperatura constante de $27 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, se realizó la observación periódica de cada unidad formadora de colonias (UFC) y su cuantificación con ayuda de un contador de colonias y un microscopio óptico CH-2 (Marca Olympus). Durante el proceso de incubación de las muestras, éstas se observaron y fotografiaron a las 48 h.

Aislamiento y fijación de colonias

Finalizado el periodo de incubación, se prepararon cajas de Petri de 30 mm de diámetro con medios de (PDA) y se procedió a tomar muestras de cada colonia que presentaba características distintas entre sí, con un asa bacteriológica en condiciones estériles. Se realizaron inoculaciones en tres puntos al interior de las cajas de Petri, se sellaron con papel Parafilm® y se guardaron en bolsas de polietileno para su posterior incubación. Dentro de las 48 y 72 horas, las cajas de Petri

que presentaron desarrollo de colonias se retiraron de la incubadora y se guardaron en el refrigerador para su posterior observación de estructuras microscópicas.

Aislamiento por el método de “Ridell”

Se realizaron fijaciones de los hongos por la técnica de Ridell de acuerdo con Mier *et al.*, (2002). Sin embargo, el método fue modificado por el autor de este trabajo. La técnica consistió en tomar tres muestras pequeñas de la colonia, con una navaja de bisturí. La muestra se inoculó dentro de la caja de Petri en un trozo de agar cuadrado, el cual previamente se había recortado en condiciones estériles y puesto sobre el medio de cultivo. Después de que se colocó la muestra en el cuadro de agar, se depositó encima un porta objeto estéril y se dejó incubar entre 48 y 72 h. Después de comprobar el desarrollo del hongo, se retiró el porta objeto y se fijó con lactofenol para la examinación de las estructuras macro y microscópicas de cada hongo. 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 Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera y el Laboratorio de Micología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Método de conversión para (UFC m⁻³)

El método de conversión para colonias positivas fue aplicado a los resultados, para ser expresados en unidades formadoras de colonias (C = UFC). Aplicando la siguiente fórmula:

$$C = N * \ln [N/(N-P)]$$

Donde:

C = Cuenta corregida de colonias por etapa

N = número de hoyos en la placa perforada (400)

P = número de hoyos positivos (colonias de hongos desarrolladas)

Una vez aplicada la fórmula para cuantificar las colonias desarrolladas y reportarlas en Unidades Formadoras de Colonias, se determina la constante “K” para ser expresados por metro cubico de aire ($C = UFC\ m^{-3}$ de aire), por medio del siguiente razonamiento:

El mecanismo de operación del muestreador Andersen® Thermo Electron Corporation consiste de una bomba de vacío, que se ajusta para obtener una velocidad de flujo de aire de $28.3\ L\ min^{-1}$. Es importante mencionar que los 15 minutos son el equivalente al tiempo en que funcionó el muestreador:

$$\begin{array}{l} 28.3\ L \text{ ————— } 1\ min \\ X\ (430.5\ L) \text{ ————— } 15\ min \end{array}$$

Por lo tanto si:

$$\begin{array}{l} 1000\ L \text{ ————— } 1\ m^3 \\ 430.5\ L \text{ ————— } X\ (0.4305\ m^3) \end{array}$$

La constante “K” es igual a $0.4305\ m^3$

Una vez obtenida la constante “K” se aplicó la fórmula mencionada dividiendo el resultado entre la constante “K”:

$$C = N * \ln[N/(N-P)] / K$$

Establecimiento del material vegetal

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 los espacios intramuros seleccionados con una semana de antelación para permitir la adaptación de las plantas antes de realizar el muestreo de hongos del aire.

Se emplearon 11 especies vegetales de origen tropical comunes para la industria ornamental intramuro para conformar la cubierta vegetal de estudio, dichas especies fueron: *Spathiphyllum wallisi*; *Pilea cadierei*; *Peperomia caperata*; *Aglonema commutatum*; *Cordilyne terminalis*; *Blechnum gibbum*; *Aucuba japonica*; *Philodendron scandens*; *Maranta leuconeura*; *Adiantum* sp.; *Dieffenbachia dumbcane* (Figura 1A en anexos).

DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se evaluó bajo un diseño factorial completamente al azar 2 x 3 para las tres habitaciones. Dos factores (vegetación y ambiente). Los niveles de los factores fueron ausencia y presencia de plantas y habitaciones 1, 2 y 3. Se evaluaron 6 tratamientos con 2 repeticiones por tratamiento durante 15 días.

Cuadro 2. Factores, niveles y tratamientos a evaluar.

Factor	Niveles	Tratamientos
Vegetación	ausencia y presencia de plantas	Sin Plantas – Habitación 1 Sin Plantas – Habitación 2 Sin Plantas – Habitación 3
Ambiente	Habitación 1, habitación 2 y habitación 3	Con Plantas – Habitación 1 Con Plantas – Habitación 2 Con Plantas – Habitación 3

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Prueba de normalidad

Los datos generados fueron evaluados según su distribución para comprobar si los datos que se obtuvieron presentaban o no una distribución normal, para lo cual se aplicó la prueba de normalidad de Anderson – Darling. Este análisis mostró que los datos fueron mayores al nivel de significancia y como resultado la distribución normal no se desvió sustancialmente (Figura 4A - 5A y Cuadro 2A). Por lo tanto, se determinó llevar a cabo un análisis de varianza y prueba paramétrica de comparación de medias de Tukey ($P > 0.05$) (Calderón *et al.*, 1995; Herrero *et al.*, 1996; Garrett *et al.*, 1997; Rosas *et al.*, 1997; Icenhour y Levetin 1997; Gage *et al.*, 1999).

Se aplicó un análisis de varianza a cada variable y en el caso de existir diferencia estadística significativa se efectuó una comparación de medias Tukey ($P > 0.05$). Los análisis se hicieron con ayuda del paquete estadístico SAS v. 9.0 (Statistical Analysis System).

Para el análisis de correlación “R” entre UFC m^{-3} y las variables ambientales estudiadas (temperatura y luz), se realizó comparación de medias aplicando la prueba de Pearson ($P < 0.05$), utilizando el paquete estadístico MINITAB v. 13.

Para la elaboración de cuadros y figuras se utilizó el programa Excel v. 2007 de Microsoft office, MINITAB v. 13 y SigmaPlot v. 2001.

RESULTADOS

Concentración total de hongos en el aire

Los resultados mostraron que la presencia de plantas disminuyó significativamente la concentración de hongos en el aire en las tres habitaciones (Cuadro 3). Los valores obtenidos en las áreas intramuros entre los tratamientos con ausencia y presencia de plantas demostraron reducciones 72%, 66% y 63% de unidades formadoras de colonias por metro cubico de aire (UFC m^{-3}). Los porcentajes mostrados en el Cuadro 3 fueron obtenidos por la diferencia que existe entre los valores máximos y mínimos.

Cuadro 3. Concentraciones medias de hongos colectados del aire de tres habitaciones sin plantas y con plantas.

Tratamiento	UFC m^{-3} 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
DHAP	66%	63%	72%

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P < 0.05$); Prueba de comparación de medias Tukey; DMS: diferencia mínima significativa; UFC m^{-3} : unidades formadoras de colonias por metro cubico de aire; DHAP: disminución de hongos del aire en porcentaje.

Concentración diaria de hongos en el aire

El promedio diario de esporas fúngicas colectadas en cada habitación en periodos con y sin plantas se muestran en el Cuadro 4. En ausencia de plantas se observan diferencias para algunos días. Sin plantas la mayor concentración de esporas se presentó el día lunes en las habitaciones uno, tres y el viernes para la habitación dos. Las fluctuaciones y concentración de esporas fúngicas diarias en presencia de plantas no fueron tan marcadas y sólo se observaron diferencias en la habitación dos. Con plantas la mayor concentración fúngica se obtuvo el día lunes y martes. Se observa que hay diferencias significativas entre ambos tratamientos sin y con plantas.

Cuadro 4. Concentraciones diarias de hongos colectados del aire en tres habitaciones sin plantas y con plantas.

Tratamiento	UFC m ⁻³ por día					
	Sin plantas			Con plantas		
Día	Habitación 1	Habitación 2	Habitación 3	Habitación 1	Habitación 2	Habitación 3
Lunes	970.0 a	494.5 ab	812.5 a	357.5 a	268.0 a	191.8 a
Martes	446.3 bc	315.0 b	181.0 c	181.5 a	217.0 ab	204.0 a
Miércoles	663.0 ab	372.0 b	687.0 ab	152.8 a	138.0 ab	148.3 a
Jueves	665.7 ab	252.5 b	529.5 b	158.8 a	101.3 b	128.0 a
Viernes	294.0 c	798.5 a	793.0 ab	188.0 a	98.3 b	140.5 a
DMS	348.61	349.97	268.47	259.59	153.56	189.47

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P < 0.05$); Prueba de comparación de medias Tukey; DMS; diferencia mínima significativa; UFC m⁻³: unidades formadoras de colonias por metro cubico de aire; Día: monitoreo de hongos del aire por día;

Los resultados en el Cuadro 5, muestran una reducción expresada en porcentaje de la concentración de espora en el aire ante la presencia de plantas en las tres habitaciones y días evaluados, excepto para el día martes en la habitación tres. Estos porcentajes representan la diferencia que existe entre los valores máximos y mínimos.

Cuadro 5. Disminución de esporas fúngicas en el aire de tres habitaciones en presencia de plantas.

Día	Disminución de UFC m ⁻³ (%)		
	Habitación 1	Habitación 2	Habitación 3
Lunes	63	46	76
Martes	59	31	13
Miércoles	77	63	78
Jueves	76	60	76
Viernes	36	88	82

Día: muestreo de esporas del aire por día; UFC m⁻³: unidades formadoras de colonias de hongos por metro cubico de aire en porcentaje.

Temperatura ambiente

La temperatura media mostró diferencias en presencia de plantas y se registraron incrementos de temperatura entre los tratamientos y habitaciones evaluadas (Cuadro 6). De acuerdo al análisis de varianza se presentaron diferencias significativas en las tres áreas intramuro.

Cuadro 6. 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
ITAT	3.1°C	2.9°C	2.4°C

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P < 0.05$); Prueba de comparación de medias Tukey; DMS: diferencia mínima significativa; ITAT: incremento de temperatura ambiente entre los tratamientos.

Temperatura ambiente por día

La temperatura promedio en las tres habitaciones monitoreadas por día sin presencia de plantas presentó diferencias en el área uno y dos, excepto para la habitación tres (Cuadro 7). La temperatura máxima se registró el día jueves en la habitación uno y tres, continuando el viernes para la habitación dos. Se puede observar que en presencia de plantas la temperatura presentó diferencias en las tres habitaciones. La temperatura máxima se registró el día Miércoles en las habitaciones uno y tres, para la habitación dos se obtuvo el Martes. Se observan diferencias entre los tratamientos sin plantas y con plantas.

Cuadro 7. Temperatura diaria de cada habitación sin plantas y con plantas.

Temperatura (°C)												
Tratamiento												
	Sin plantas						Con plantas					
Día	Habitación 1		Habitación 2		Habitación 3		Habitación 1		Habitación 2	Habitación 3		
Lunes	22.9	b	21.2	b	23.8	a	25.9	b	25.0	e	25.2	b
Martes	22.1	c	23.1	a	23.2	a	24.9	c	26.4	a	26.5	ab
Miércoles	23.7	a	23.0	a	23.7	a	26.9	a	25.8	c	27.0	a
Jueves	23.8	a	23.3	a	24.9	a	26.7	a	25.4	d	25.8	ab
Viernes	22.1	c	23.4	a	22.4	a	25.5	bc	26.1	b	25.7	ab
DMS	0.728		0.491		2.847		0.831		0.283	1.692		

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P < 0.05$); Prueba de comparación de medias Tukey; DMS: diferencia mínima significativa; Día: monitoreo de temperatura ambiente por día.

El comportamiento de los valores registrados en el Cuadro 8 muestra la tendencia de la temperatura ambiente a aumentar ante la presencia de plantas en las tres habitaciones y en todos los días registrados. Estos valores representan la diferencia entre los valores máximo y mínimo.

Cuadro 8. Incremento diario de temperatura en tres habitaciones en presencia de plantas.

Día	Temperatura (°C)		
	Habitación 1	Habitación 2	Habitación 3
Lunes	3.0	3.8	1.5
Martes	2.8	3.3	3.3
Miércoles	3.2	2.8	3.3
Jueves	2.9	2.1	0.9
Viernes	3.5	2.6	3.3

Día: monitoreo de temperatura ambiente por día; Temperatura (°C): temperatura ambiente por día entre los tratamientos.

Intensidad de luz

El comportamiento de la intensidad de luz se muestra en el Cuadro 9, se observan incrementos en los valores en presencia de plantas entre 19.61%, 9.29% y 17.32% respectivamente para las tres habitaciones. No se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos. Los porcentajes mostrados en el Cuadro 9 fueron obtenidos por la diferencia que existe entre los valores máximos y mínimos.

Cuadro 9. 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
ILET	19.61%	9.29%	17.32%

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P < 0.05$); Prueba de comparación de medias Tukey; DMS: diferencia mínima significativa; Luz ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$): intensidad de luz en micromoles por metro cuadrado por segundo; ILET: intensidad de luz en porcentaje entre los tratamientos.

Intensidad de luz por día

De acuerdo con el análisis y a los datos mostrados en el Cuadro 10, la intensidad de luz en las tres habitaciones sin presencia de plantas presentó diferencias en las habitaciones dos y tres excepto en área uno. Sin plantas, la mayor intensidad de luz se registró para el día jueves, miércoles y viernes para las habitaciones uno, dos y tres. Con plantas la luz presentó diferencias en todas las habitaciones, ante este tratamiento los registros máximos de luz se obtuvieron el lunes en la habitación uno, el viernes para la habitación tres y para la habitación dos, el día martes.

Cuadro 10. Intensidad de luz diaria en tres habitaciones sin plantas y con plantas.

Tratamiento	Luz ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)					
	Sin plantas			Con plantas		
	Habitación 1	Habitación 2	Habitación 3	Habitación 1	Habitación 2	Habitación 3
Días						
Lunes	12.85 a	9.80 b	23.85 a	32.65 a	21.40 ab	25.05 ab
Martes	21.75 a	11.25 b	8.55 b	31.50 a	23.00 a	25.70 a
Miércoles	24.55 a	21.70 a	20.00 a	25.80 b	21.60 ab	23.85 ab
Jueves	27.85 a	21.50 a	23.65 a	12.05 c	9.90 c	16.65 b
Viernes	18.75 a	21.65 a	19.40 a	29.55 a	18.80 b	26.50 a
DMS	5.356	8.065	8.662	3.392	3.288	8.617

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P < 0.05$); Prueba de comparación de medias Tukey; DMS; diferencia mínima significativa; Día: monitoreo de luz por día; Luz ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$): intensidad de luz en micromoles por metro cuadrado por segundo.

De acuerdo a los registros mostrados en el Cuadro 11, la intensidad luminosa presentó incrementos en sus valores en las tres habitaciones y en la mayor parte de los días monitoreados en presencia de plantas. Estos porcentajes representan la diferencia que existe entre los valores máximos y mínimos.

Cuadro 11. Comportamiento de la intensidad de luz en tres habitaciones en presencia de plantas.

Tratamiento; sin y con plantas	Luz en % ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)		
	Habitación 1	Habitación 2	Habitación 3
Día			
Lunes	60.64	54.21	4.79
Martes	30.95	51.09	66.73
Miércoles	4.84	-0.46	16.14
Jueves	-56.73	-53.95	-29.60
Viernes	36.55	-13.16	26.79

Día: monitoreo de luz por día; Luz ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$): intensidad de luz en porcentaje por día entre los tratamientos en micromoles por metro cuadrado por segundo.

Análisis de correlación

La temperatura y la concentración de hongos totales para las tres áreas intramuro en presencia de plantas mostró correlaciones negativas significativas ($P < 0.05$; Cuadro 3A anexos). Las relaciones máximas negativas se observaron para la habitación tres y dos con valores de correlación de -0.661 y -0.632. Seguido por la habitación uno con valor de -0.458 (Figura 1). En cuanto a la correlación entre la concentración de esporas y la intensidad de luz mostrados en el Cuadro 4A anexos y la Figura 2. Se observó que no existe una relación significativa a un ($P < 0.05$) en las tres áreas intarmuros, en ausencia y presencia de plantas.

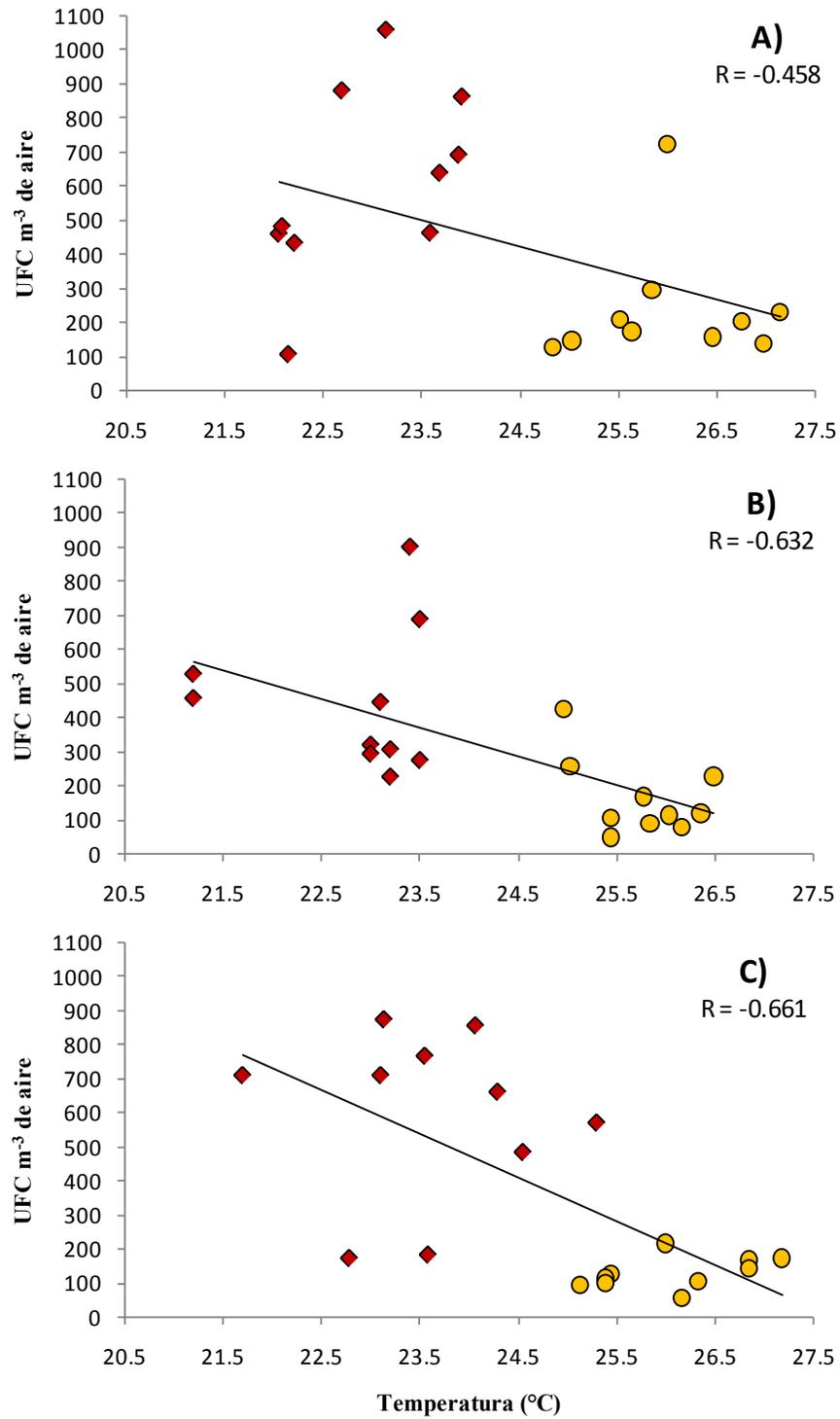


Figura 1. Correlación ($P < 0.05$) entre la temperatura y la concentración de esporas fúngicas. A) Habitación 1; B) Habitación 2; C) Habitación 3; \blacklozenge Sin plantas; \bullet Con plantas.

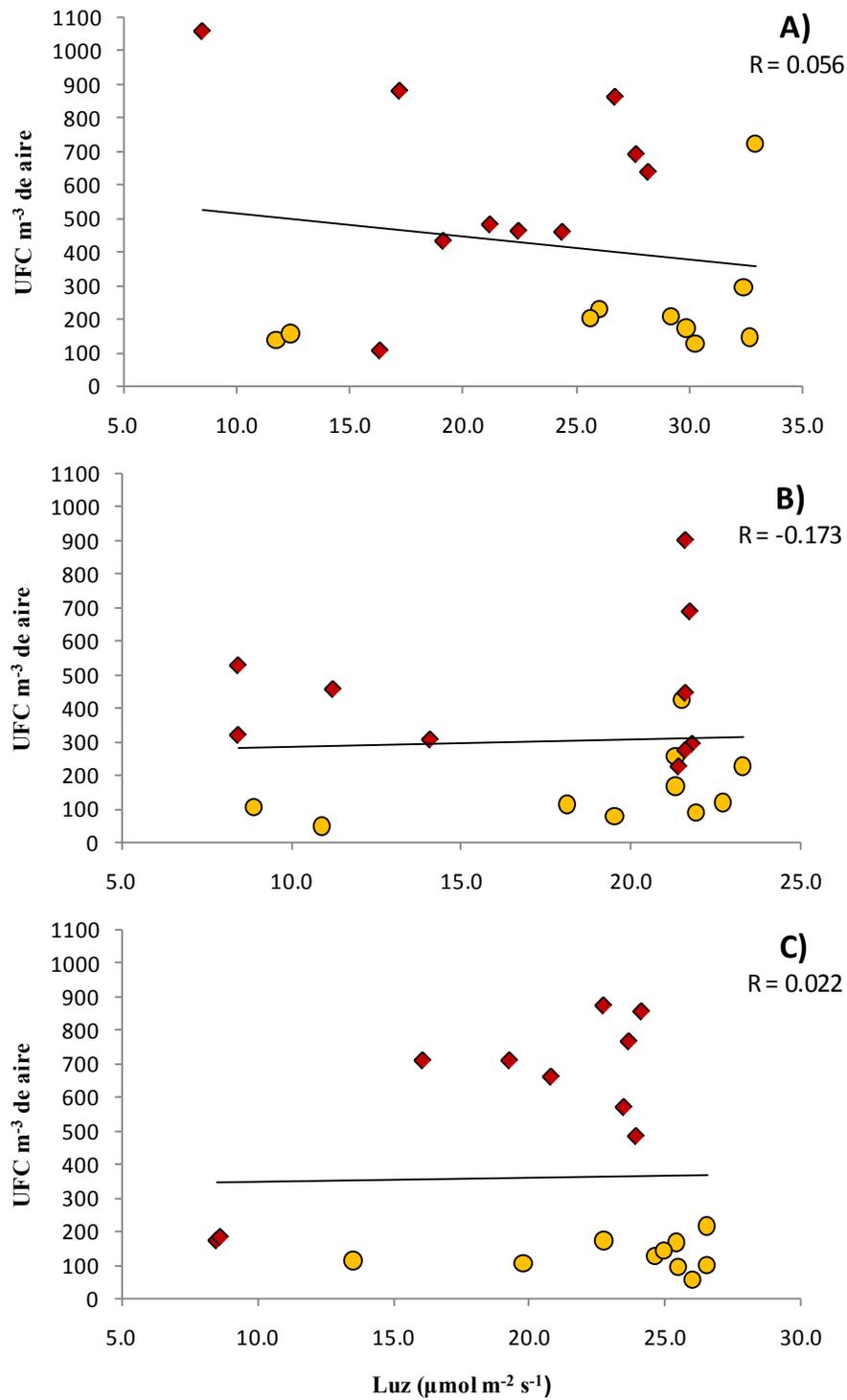


Figura 2. Correlación ($P < 0.05$) entre la luz y la concentración de esporas fúngicas. A) Habitación 1; B) Habitación 2; C) Habitación 3; ♦ Sin plantas; ● Con plantas.

Determinación de hongos en ambientes intramuros

Respecto a la determinación de hongos identificados hasta nivel de género para las tres habitaciones en ausencia de plantas mostradas en el Cuadro 12, se obtuvieron 23 colonias diferentes en total, 6 correspondieron a diferentes géneros y 5 no fueron determinadas. En el segundo muestreo en presencia de plantas se aislaron 23 colonias, de las cuales 7 géneros fueron aislados e identificados y 7 no se determinaron. El hongo correspondiente al género *Rhizoctonia*, se presentó sólo en el muestreo 1 sin plantas, en el muestreo 2 y 3 no se desarrolló ni se volvió a registrar. Tres especies de *Aspergillus* fueron aisladas e identificadas, dos hasta nivel de especie y la otra hasta nivel de género. En el tercer muestreo en presencia de plantas se aislaron 18 colonias en total, 6 se determinaron hasta género y dos no se determinaron.

Cuadro 12. Lista de hongos colectados durante los tres muestreos en ambientes intramuros.

Géneros	Muestreo 1 /Sin	Muestreo 2 /Con	Muestreo 3 /Con
	Plantas	Plantas	Plantas
	Habitación 1, 2 y 3	Habitación 1, 2 y 3	Habitación 1, 2 y 3
<i>Alternaria</i>	2	2	1 ⁺
<i>Aspergillus</i>	*	1	*
<i>Aspergillus niger</i>	*	2	1
<i>Aspergillus candidus</i>	*	*	1
<i>Cladosporium</i>	6	5	3 ⁺
<i>Epicocum</i>	5	*	1 ⁺
<i>Fusarium</i>	1	1	2 ⁺
<i>Penicillium</i>	3	5	7 ⁺
<i>Rhizoctonia</i>	1	*	*
Micelio estéril	5	7	2

Se indica el número de especies presentes en cada muestreo: * ausentes: + predominantes

Presentación macro y microscópica de hongos

La presentación de las colonias, cuerpos fructíferos y conidios de la aeromicobiota aislados en las áreas intramuros uno, dos y tres respectivamente, en ausencia de plantas se pueden observar en las Figuras 3 – 6; mientras que en presencia de plantas se muestran en las Figuras 7 – 13 respectivamente.

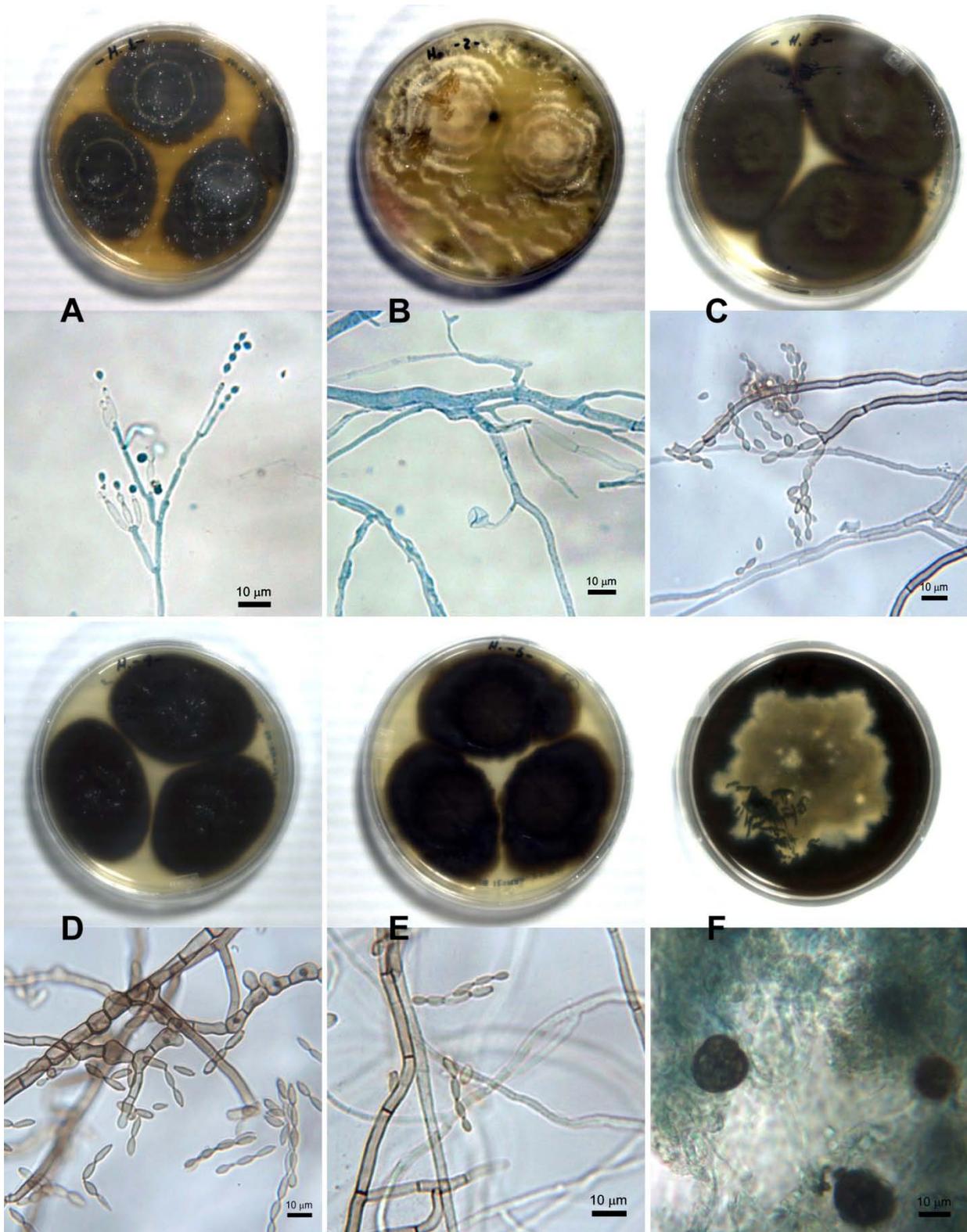


Figura 3. Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro sin plantas. A) *Penicillium* sp.; B) Micelio estéril; C) *Cladosporium* sp.; D) *Cladosporium* sp.; E) *Cladosporium* sp.; F) *Epicoccum* sp.

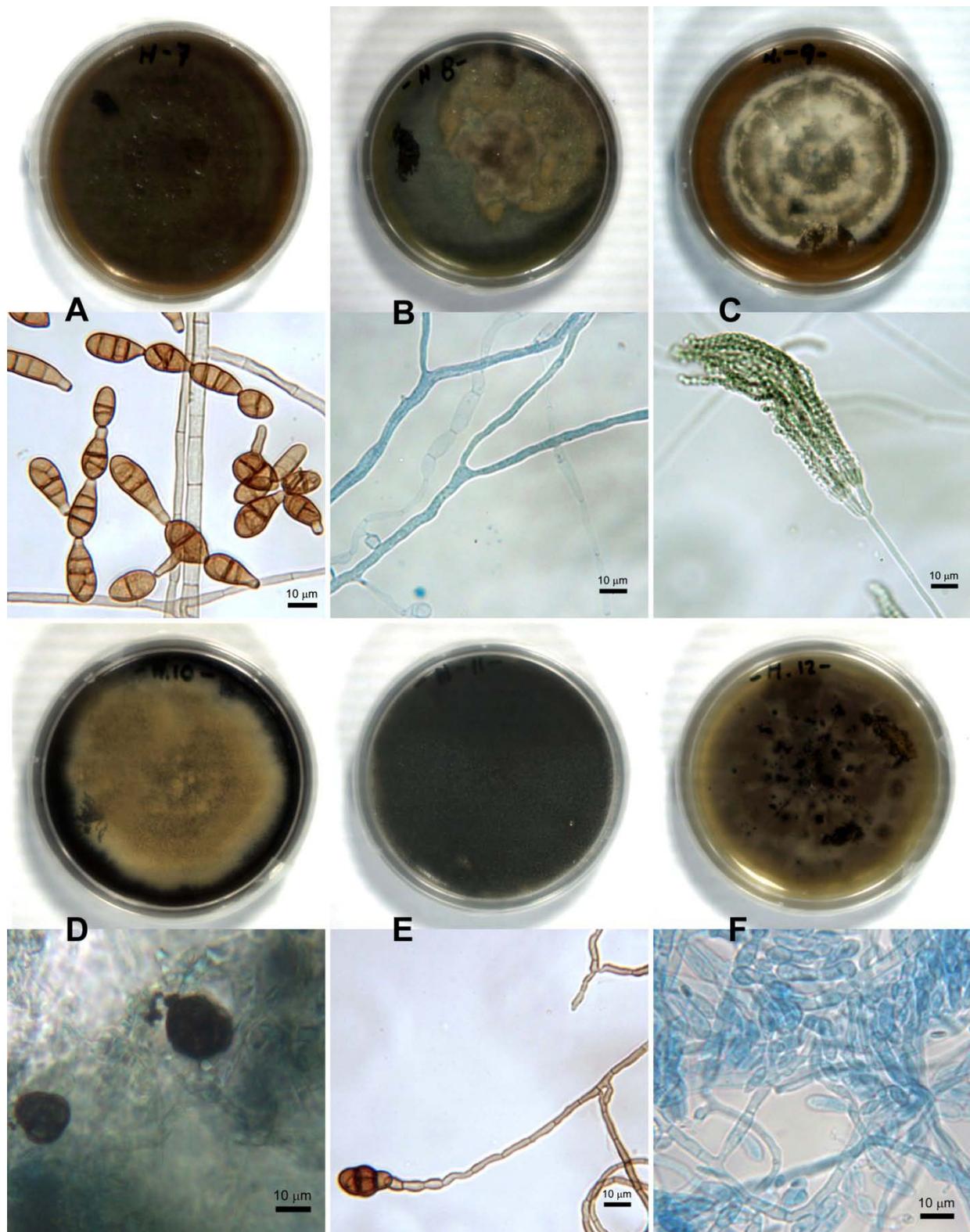


Figura 4. Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro sin plantas. A) *Alternaria* sp.; B) Micelio estéril; C) *Penicillium* sp.; D) *Epicoccum* sp.; E) *Alternaria* sp.; F) *Rhizoctonia* sp.

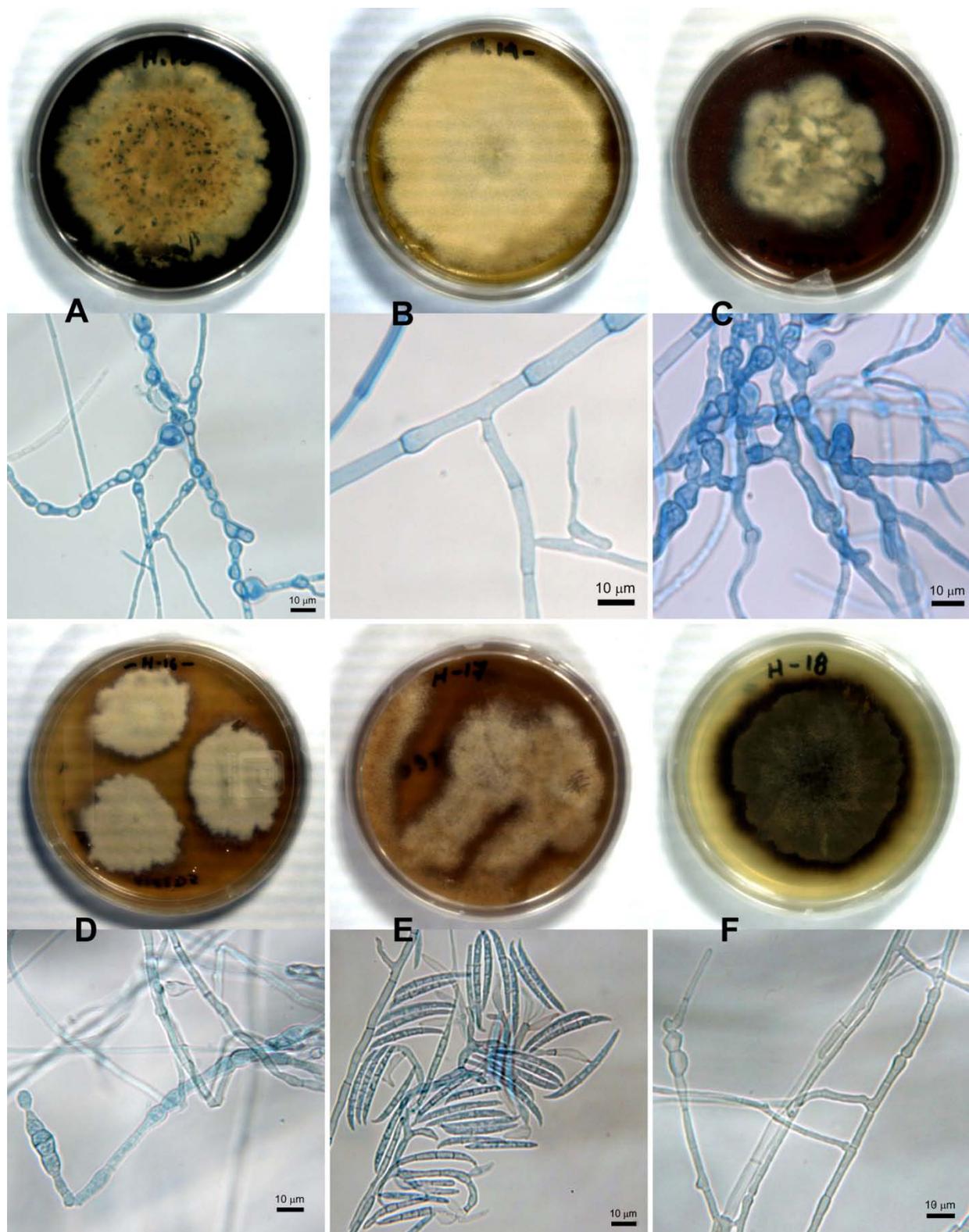


Figura 5. Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro sin plantas. A) *Epicoccum* sp.; B) Micelio estéril; C) *Epicoccum* sp.; D) Micelio estéril; E) *Fusarium* sp.; F) Micelio estéril.

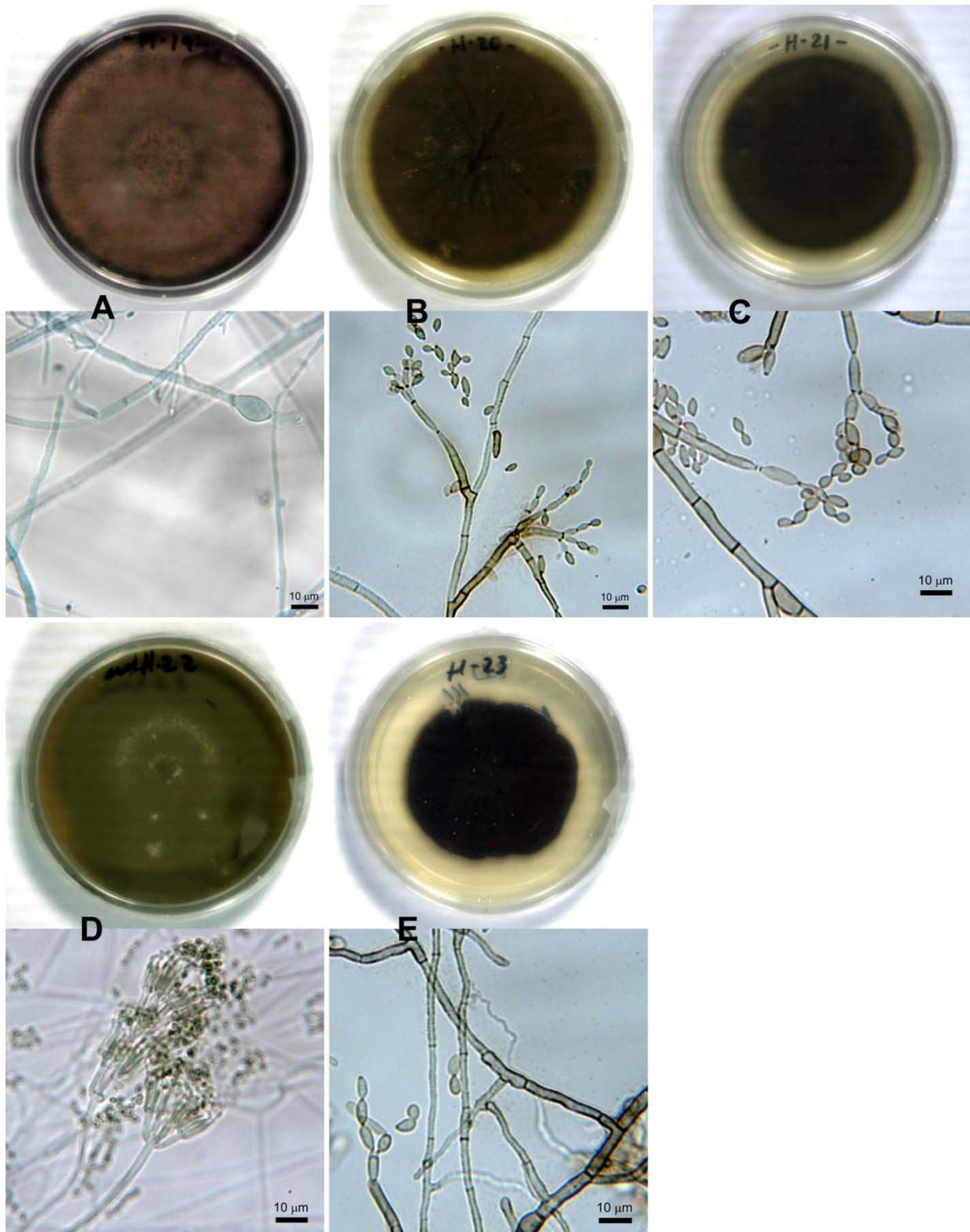


Figura 6. Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro sin plantas. A) *Epicoccum* sp.; B) *Cladosporium* sp.; C) *Cladosporium* sp.; D) *Penicillium* sp.; E) *Cladosporium* sp.

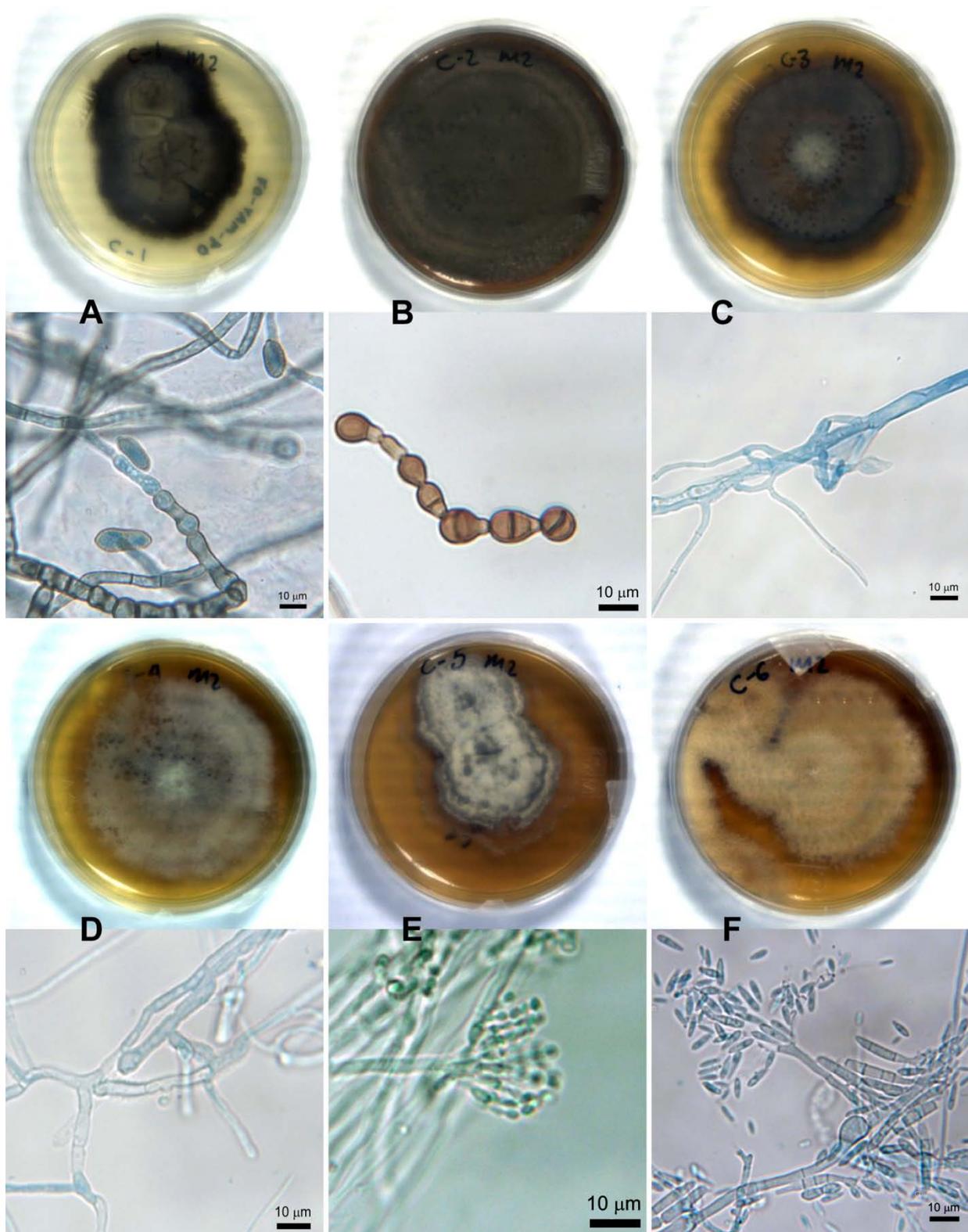


Figura 7. Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro con plantas. A) *Cladosporium* sp.; B) *Alternaria* sp.; C) Micelio estéril; D) Micelio estéril; E) *Penicillium* sp.; F) *Fusarium* sp.

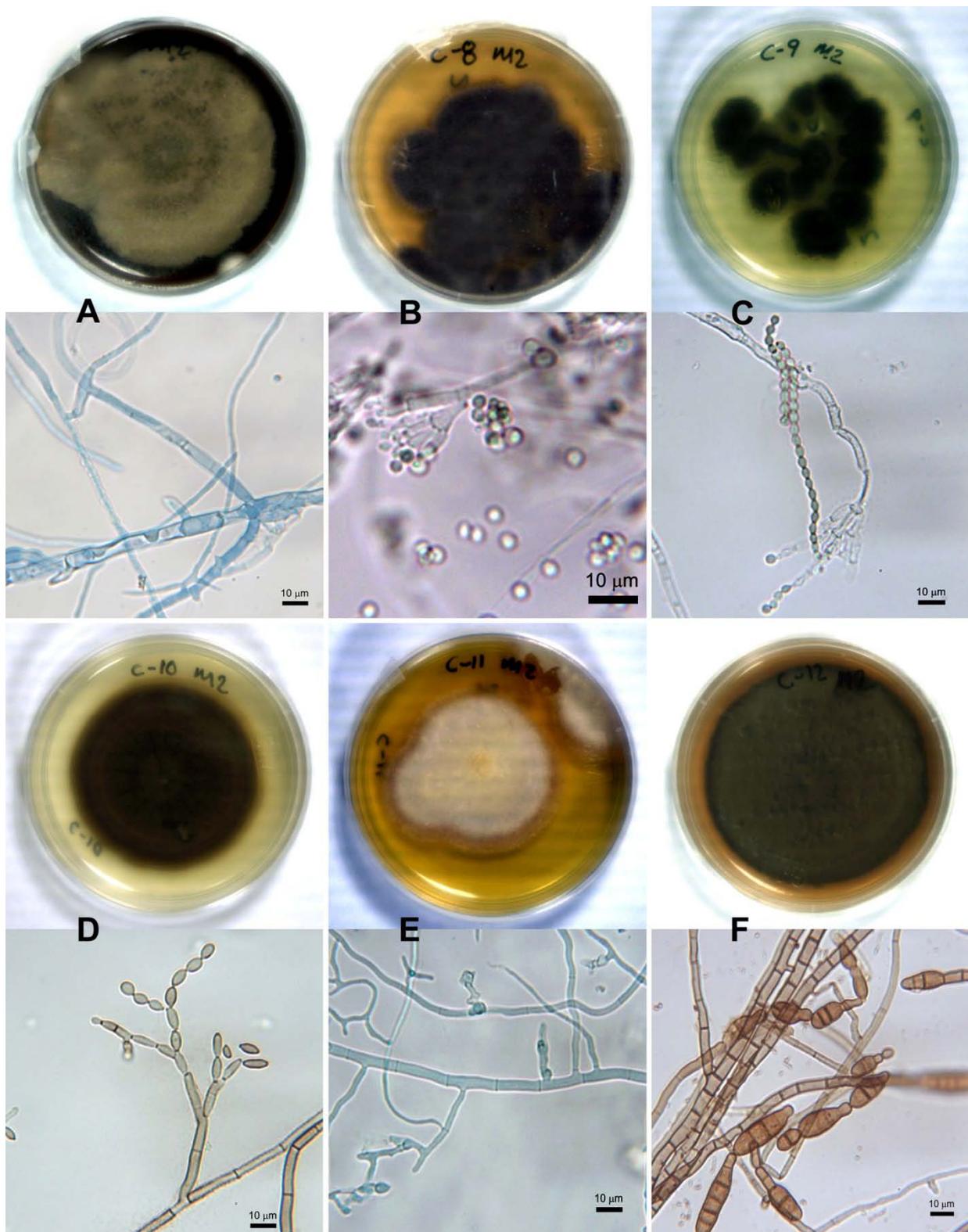


Figura 8. Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro con plantas. A) Micelio estéril; B) *Penicillium* sp.; C) *Penicillium* sp.; D) *Cladosporium* sp.; E) Micelio estéril; F) *Alternaria* sp.

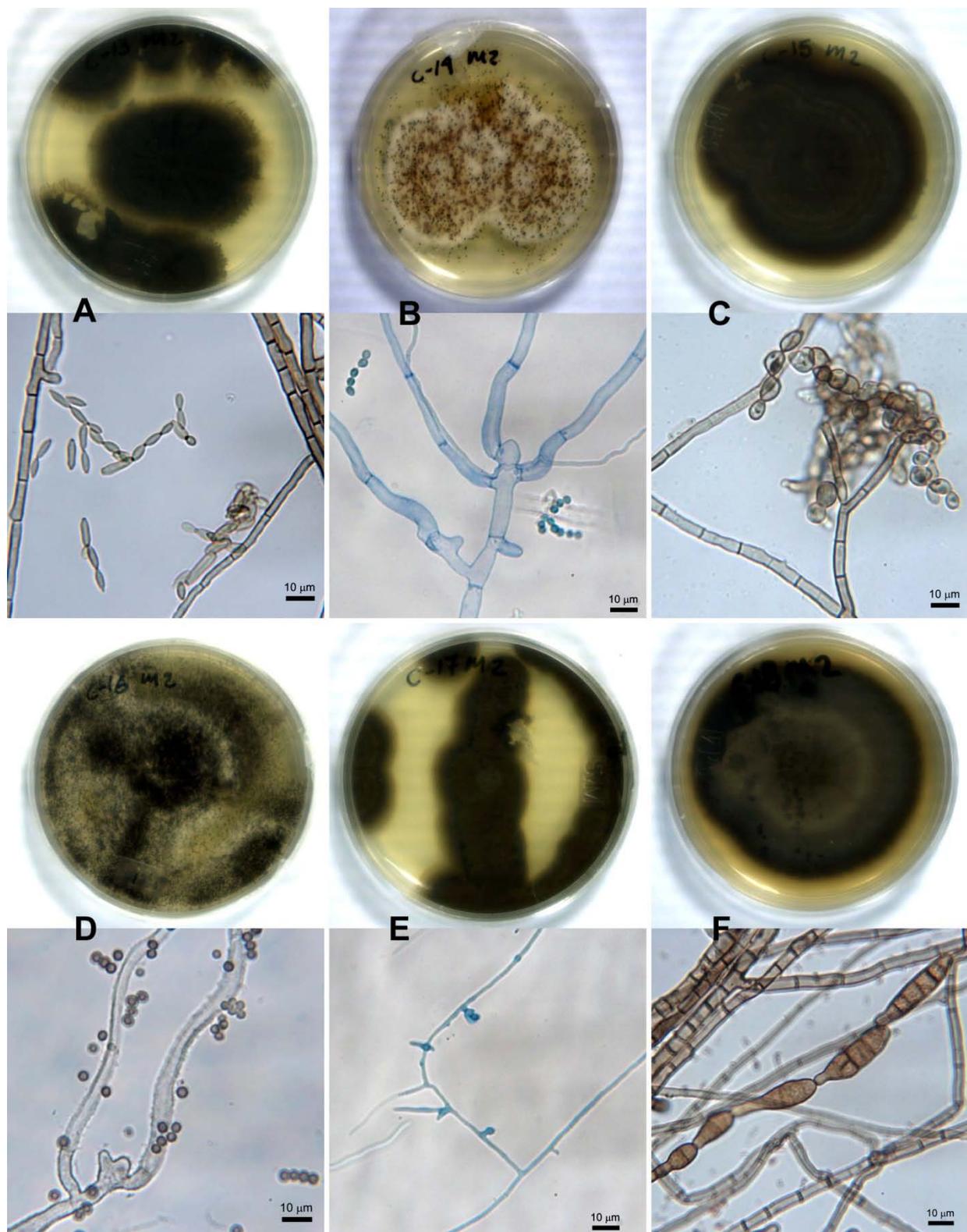


Figura 9. Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro con plantas A) *Cladosporium* sp.; B) *Aspergillus* sp.; C) *Cladosporium* sp.; D) *Aspergillus niger* sp.; E) Micelio estéril; F) *Alternaria* sp.

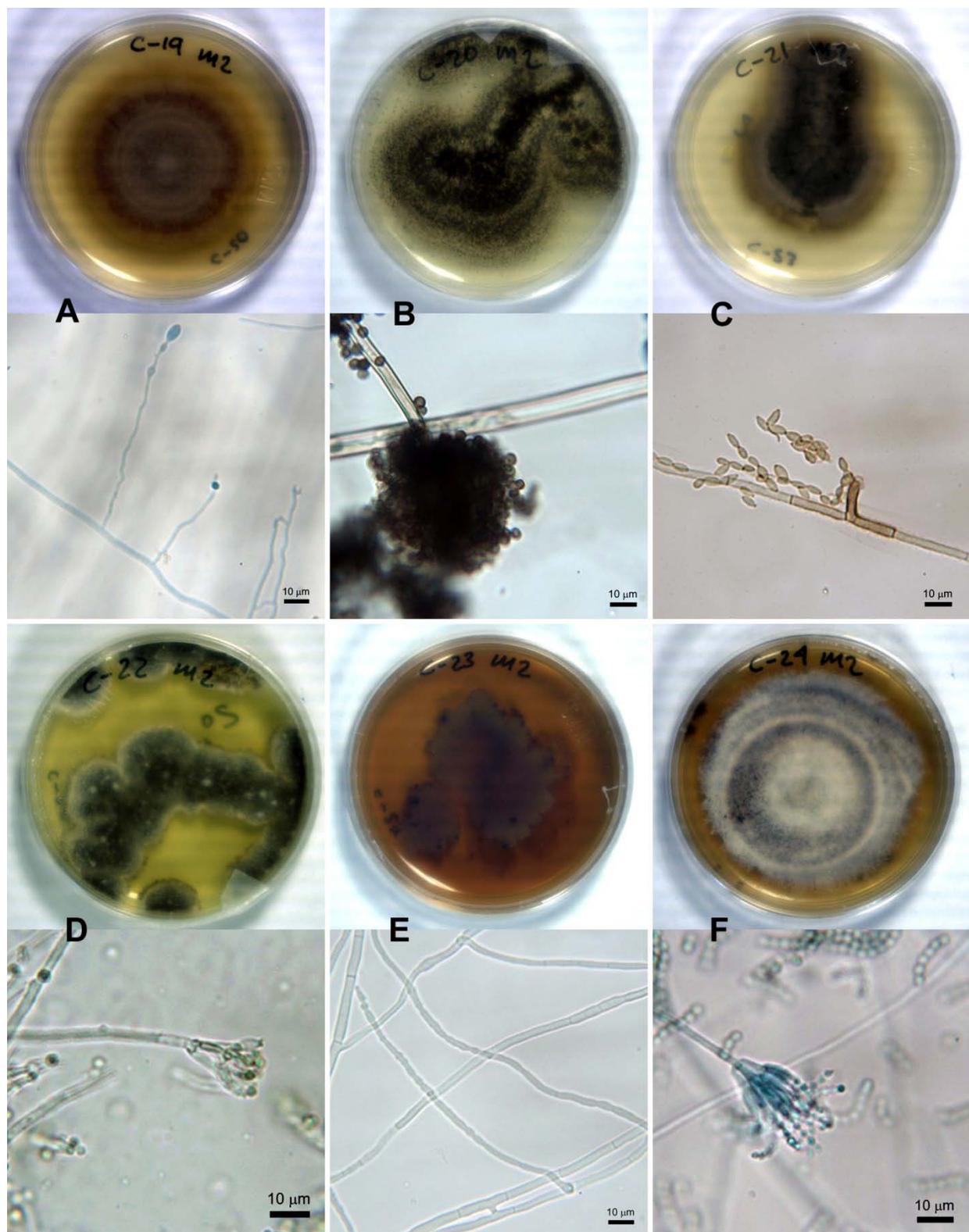


Figura 10. Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro con plantas A) Micelio estéril; B) *Aspergillus niger* sp.; C) *Cladosporium* sp.; D) *Penicillium* sp.; E) Micelio estéril; F) *Penicillium* sp.

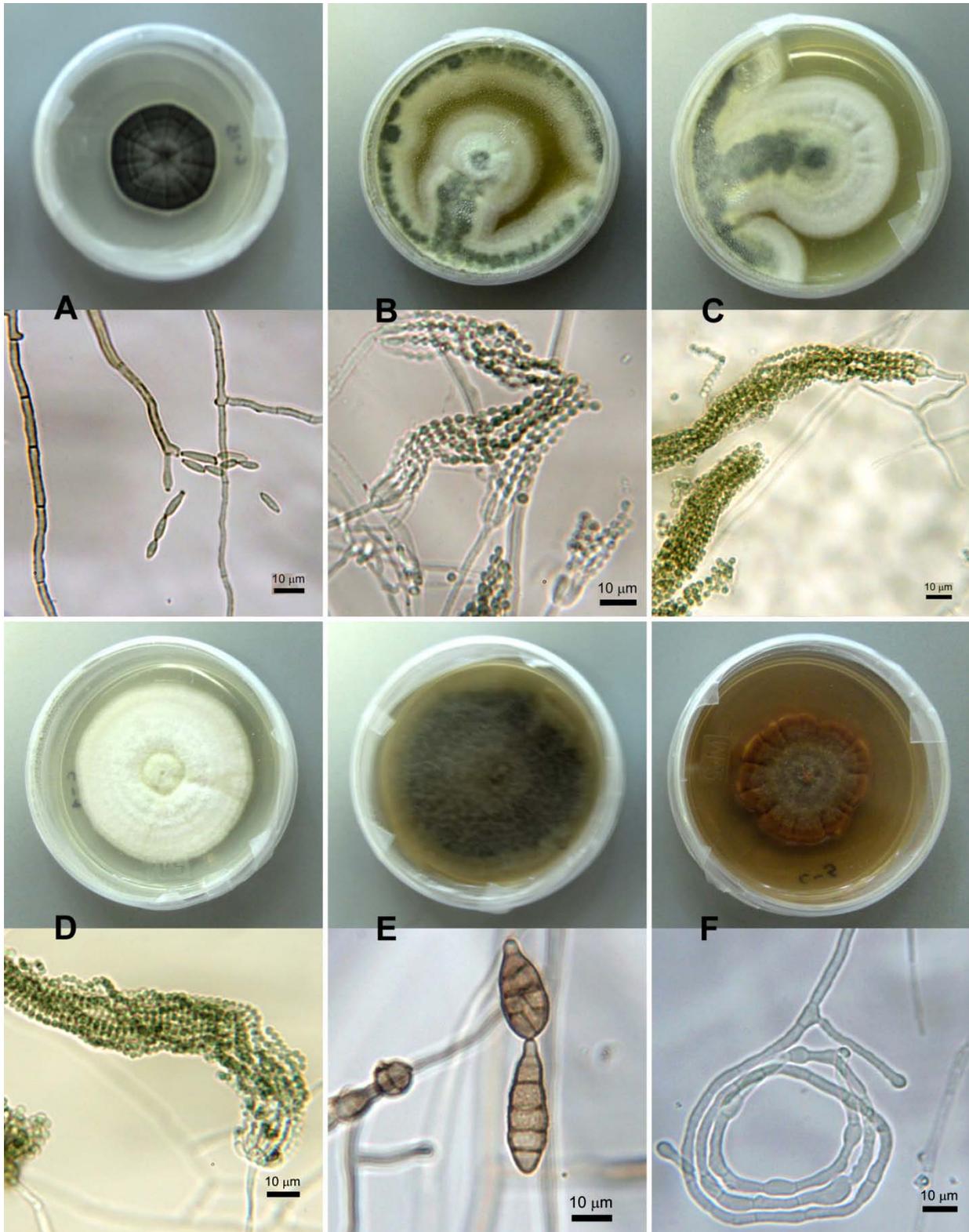


Figura 11. Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro con plantas. A) *Cladosporium* sp.; B) *Penicillium* sp.; C) *Penicillium* sp.; D) *Penicillium* sp.; E) *Alternaria* sp.; F) Micelio estéril.

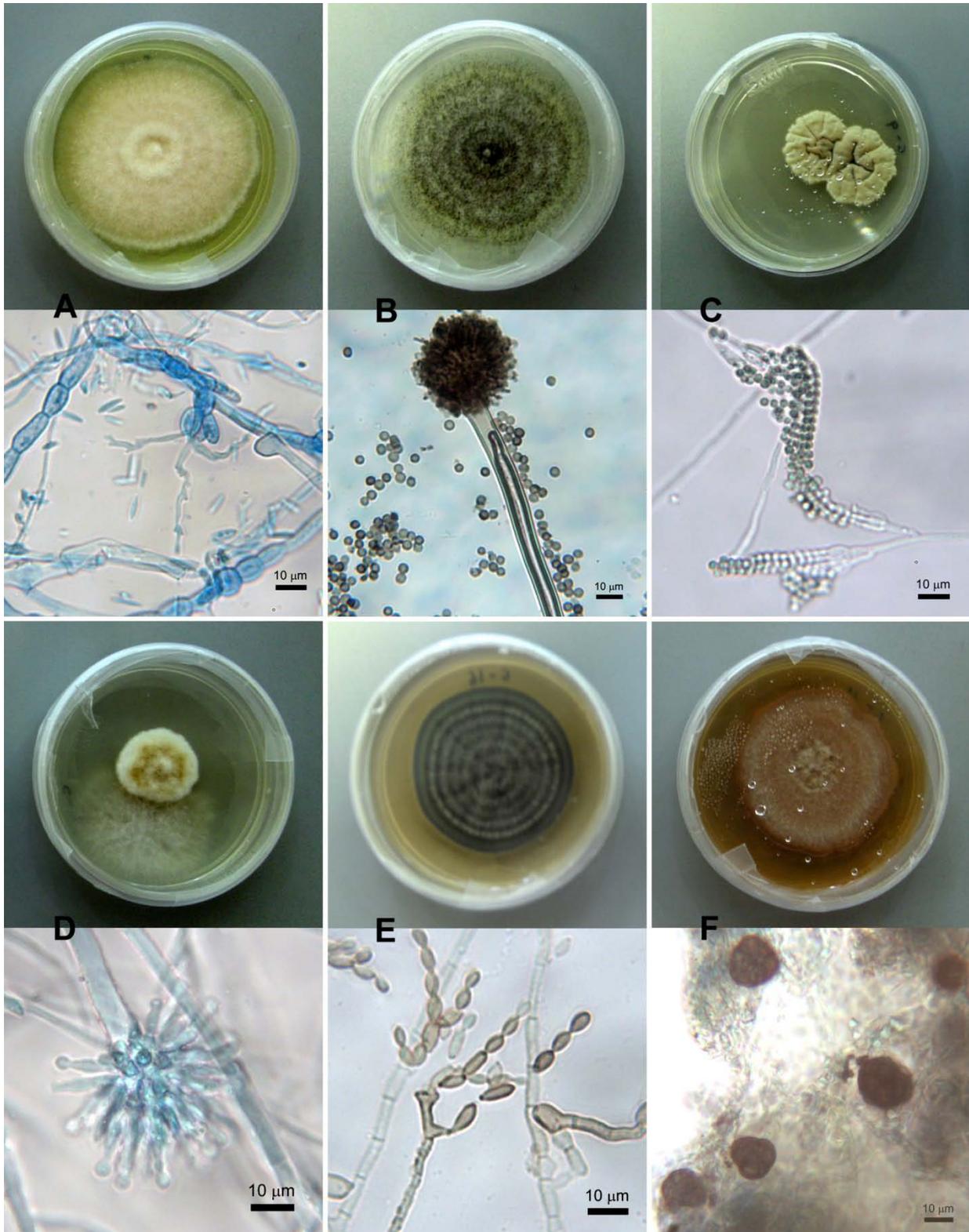


Figura 12. Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro con plantas. A) *Fusarium* sp.; B) *Aspergillus niger* sp.; C) *Penicillium* sp.; D) *Aspergillus candidus* sp.; E) *Cladosporium* sp.; F) *Epicoccum* sp.

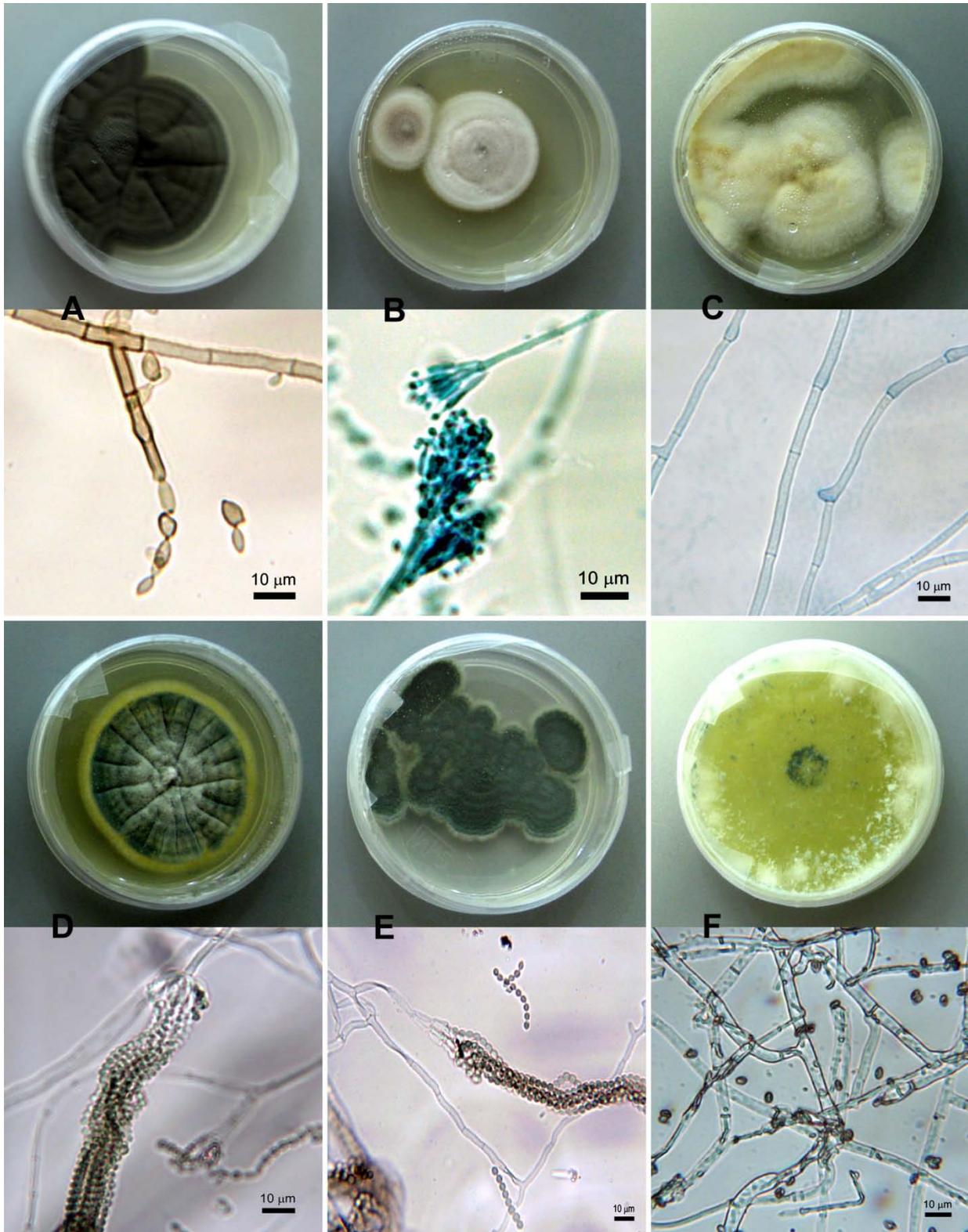


Figura 13. Colonias, cuerpos fructíferos y conidios de hongos aéreos colectados en tres áreas intramuro con plantas. A) *Cladosporium* sp.; B) *Penicillium* sp.; C) Micelio estéril; D) *Penicillium* sp.; E) *Penicillium* sp.; F) *Fusarium* sp.

DISCUSIÓN

No existe información que demuestre que la presencia de plantas en ambientes intramuros ayudan a disminuir las concentraciones de hongos en el aire y la mayor parte de los estudios realizados principalmente por Kondo *et al.* (1995), Wolverton (1997), Molhave *et al.* (1997), Ugrekhelidze *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 a la función 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 estériles, en las tres áreas intramuros estudiadas. Los géneros que predominaron en las habitaciones muestreadas fueron *Alternaria*, *Cladosporium*, *Epiccocum*, *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, Garrett *et al.* 1997, Rosas *et al.* 1997, 1998, Infante *et al.* 1999a, 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, 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 abundancia en este estudio. 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 *Penicillium* y *Aspergillus* fueron comunes en ambientes intramuros.

Al introducir las plantas en los ambientes de estudio se registraron 3 especies de *Aspergillus* que no habían aparecido anteriormente. Asimismo, se registraron especies diferentes de *Alternaria*, *Cladosporium*, *Epiccocum*, *Fusarium* y *Penicillium* que no se encontraron en el ambiente cuando no había plantas. Aunque estas especies no fueron identificadas se tiene registro fotográfico y de las características micro-morfológicas de los cultivos que muestran las especies son diferentes a las registradas anteriormente.

De acuerdo con Icenhour y Levetin (1997) es común encontrar a estos hongos mitospóricos en ambientes secos. Además, no se descarta la posibilidad que al aumentar la temperatura de los ambientes intramuros se produce desecación en las esporas, por lo que se pueden dispersar con mayor facilidad en el aire. Esta apreciación es congruente, con lo que mencionan Calderón *et al.* (1995), Gonzálo *et al.* (1997), Ren *et al.* (2001) y Griffin (2004), quienes han observado que la mayor parte de esporas de hongos de Ascomicetos y Basidiomicetos necesitan de humedad elevada, así como sustratos adecuados para su establecimiento y desarrollo. Mientras que las esporas de hongos mitospóricos, como *Cladosporium*, *Alternaria*, *Penicillium* y *Aspergillus*, entre otros, son favorecidos por la desecación y temperaturas altas (Calderón *et al.* 1997).

Concentración de hongos en el aire

Los niveles de esporas fúngicas registrados en el presente estudio presentaron disminuciones significativas ante la presencia de plantas en las tres áreas intramuros. Sin embargo, no hay que olvidar lo que mencionaron 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.

No obstante que el tiempo de muestreo fue limitado, la concentración y presencia de la aeromicobiota bajo la influencia de plantas mostró interesantes resultados en intramuros y sin duda hay que considerar que el muestreo limitado repercute en que especies adicionales no se puedan evaluar durante los días y meses no muestreados, como lo señalan Icenhour y Levetin (1997).

En porcentaje, la aeromicobiota disminuyó 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 a finales del invierno y principios de la primavera, entre el 12 y el 16 de marzo; éstas oscilaron entre las 400 y 600 UFC m⁻³ de aire. Concentraciones aproximadas a las encontradas en este trabajo fueron reportadas por Garrett *et al.* (1997) con 502 UFC m⁻³ 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⁻³ para intramuros; donde *Aspergillus* y *Acremonium* fueron comunes en invierno, donde las temperaturas disminuyen por debajo de los -0 °C. En la Ciudad de México, Rosas *et al.* (1997) encontraron 460 UFC m⁻³ 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⁻³ 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 de Deuteromicetos formaron el mayor componente de la carga aérea fúngica en la época seca y fría (febrero), las temperaturas en esta época del año no disminuyen más de los 5 °C, donde el 56% y 65% del total de esporas pertenecen comúnmente a *Cladosporium*, *Alternaria*, *Epicocum*, *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 de Deuteromicetos (Calderón *et al.* 1997). Por lo tanto, la modificación de la temperatura podría afectar su número en ambientes de intramuros.

Concentración diaria de hongos

Las variaciones diarias pueden indicar que día y a qué hora de la semana son más abundantes las esporas fúngicas en el aire. Sin embargo, las fluctuaciones que se observan, reafirma que la variación en el número de esporas a través del tiempo y espacio se presenta aun en muestras de la misma habitación como lo señalan Lodge y Cantrell (1995), Calderón *et al.* (1995), Garrett *et al.* (1997), Rosas *et al.* (1997), Sabariego *et al.* (2004).

En el presente estudio se demostró que la presencia de plantas en intramuros tiene efecto significativo en la concentración y dispersión de esporas: se observaron concentraciones máximas diarias por arriba de 900 UFC m⁻³ y 300 UFC m⁻³ 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.

Temperatura ambiente

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 plantas, 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 altos y, por lo general, la temperatura óptima de especies como *Aglonema 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 del aire, aun cuando no hay algún otro movimiento en el interior (Wolverton 1997, Darlington et al. 2000).

Temperatura ambiente por día

En cuanto al registro de la temperatura diaria, se observaron medias por arriba de 24 °C con plantas e incrementos de temperatura mayores a 3 °C diarios fueron registrados. La temperatura aumentó en todos los días y áreas monitoreadas ante la presencia de plantas.

Sin duda, se necesita realizar investigación exhaustiva en relación con este comportamiento entre la temperatura y la presencia de plantas en 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. Estas 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 físicos como químicos (Kondo *et al.* 1995).

Al respecto Pepeljnjak *et al.* (1998) y Kustrak *et al.* (1998) reportan que algunos miembros de plantas como *Stipo-salvietum officinalis* y *Lavandula* sp., producen diversos aceites esenciales que tienen actividades fúngicas. Wani *et al.* (1997) y Darlington *et al.* (2000, 2001) afirmaron que, las plantas, además de contribuir a la absorción, remoción y transformación de contaminantes o partículas nocivas tienen la finalidad de contribuir a la modificación del ambiente.

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

Análisis de correlación (temperatura y UFC m⁻³)

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 incrementó la temperatura, la concentración de esporas disminuyó.

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 disminuyó la concentración fúngica 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 mencionaron que la mayor parte de los hongos en el aire que encontraron en invierno son termotolerantes y tienen un intervalo 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 mencionaron 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 correlación negativo de -0.39, en donde las mayores concentraciones de *Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus* se determinaron entre 12.7 y 25.5 °C.

Contrario a lo observado, en Australia Garrett *et al.* (1997) determinaron que las concentraciones de *Cladosporium* fueron significativas y abundantes en la estación cálida en intramuros, con un valor de correlación de 0.14 a un nivel de $P < 0.01$. Sin embargo, los géneros de *Gliocadium*, *Penicillium* y *Aspergillus* fueron más comunes en invierno en intramuros, con 0.07 a un nivel de significancia de $P < 0.05$.

El mismo comportamiento fue observado por Sabariego *et al.* (2004) para la región de Almería, España, donde el invierno se caracteriza por ser muy cálido por arriba de los 13 °C y la estación lluviosa corresponde en el otoño e invierno. Los autores reportaron máximas en mayo y junio en el caso de *Alternaria* y *Cladosporium* y las correlaciones fueron positivas con valores de 0.3980 a un nivel de $p < 0.05$ entre la concentración de esporas y la temperatura media principalmente para esos meses del año. Estos resultados corroboran que diversos factores regionales asociados con los climáticos, adaptativos, la vegetación y posiblemente hasta contaminación del ambiente, influyen en la distribución y concentración fúngica de cada región.

Intensidad de luz

Aun cuando la intensidad de luz fue diferente entre los ambientes intramuros en ausencia y presencia de plantas, la intensidad luminosa 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 significativas y estos resultados no señalan que la ausencia o presencia de plantas sean el factor principal en esta variación. Estas diferencias se deben a la ubicación que presentan las áreas intramuros. Como lo mencionan Bayer *et al.* (2002), Lai (2002) y Ebbenhøj *et al.* (2002) quienes

señalaron que los ambientes intramuros que se ubican a diferentes alturas en edificios pueden presentar variaciones en luminosidad, por efecto del ambiente exterior.

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 ejerció 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 si 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 mencionaron 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 mostró incrementos exponenciales, llegando al punto máximo al medio día, con valores de radiación solar de 0.15 kw m^{-2} y niveles de transpiración de $5 \text{ mg cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$

Intensidad de luz por día

La intensidad de luz por día presentó diferencias en sólo dos de las habitaciones y en algunos días a lo largo de la semana en ausencia de plantas. Contrario a lo registrado en presencia de

plantas donde las diferencias se observan en las tres habitaciones aunque, sólo para algunos días en particular. No obstante, que la intensidad lumínica aumentó en porcentaje en algunos días de la semana en las tres áreas intramuros.

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) mencionaron, 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*, *Epicocum*, *Fusarium* y *Penicillium*, en los meses de marzo, abril y mayo. La presencia de plantas disminuyó la concentración de esporas fúngicas por arriba de 60% en las tres áreas intramuros. Sin embargo, la introducción de plantas adicionó 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. 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 claro comportamiento con respecto a la posición de las tres áreas intramuros. Sin embargo, se necesitan considerar aspectos fisiológicos y morfológicos en el tiempo de estudio para comprender el funcionamiento de las plantas en intramuros.

LITERATURA CONSULTADA

- Aden E., Weber B., Bossert J., Teppke M., Franck E., Wahl R., Fiebig H. y Cromwell O. (1999). Standardization of *Alternaria alternata*: Extraction and quantification of Alt a 1 using and mAB-based 2-site binding assay. *J. Allergy Clin. Immunol.* 104, 128-135.
- Andersen A. A. (1958). New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. *Journal of Bacteriology* 76, 471-484.
- Asami H., Nishina H. y Hashimoto Y. (1995). Studies on amenity of indoor plants. *Acta Horticulturae* 391, 111-118.
- Awad A. H. (2005). Vegetation: A source of air fúngica bio-contaminant. *Aerobiologia* 21, 53-61.
- Baird, V. (1999). Green Cities. *New Internationalist* 313, 7-10.
- Bayer C. W., Hendry R. J., Crow S. A. y Fischer J. C. (2002). The relationship between humidity and indoor air quality in schools. *Proceeding 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. *Applied and Environmental Microbiology* 11, 7376-7388
- Briz E. J. (2004). Naturación urbana: Cubiertas Ecológicas y Mejora Medioambiental. Mundi-Prensa. Madrid, España. 396 pp.
- Burge H. (1990). Bioaerosols: prevalence and health effect in the indoor environment. *J. Allergy Clin. Immunol.* 86, 687-701.
- Bush R. K. y Portnoy J. M. (2001). The role and abatement of fúngica allergens in allergic diseases. *J. Allergy Clin. Immunol* 107, 430-40.
- Calderón C. (1989). Caracterización aeromicológica de una zona suburbana en la ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México. *Tesis de maestría* 87 pp.
- 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 fúngica spores sampled by rotating-arm and hirst-type spore traps using polymerase chain reaction assay. *Aerosol Science* 33, 283-296.
- Carmona C. E. (2001). Selección de especies utilizables en la naturación extensiva de azoteas en el Valle de México. Colegio de Postgraduados Montecillo México. Tesis de Maestría en Ciencias 122 pp.

- Carroll G. C. y Carroll F. E. (1978). Estudios on the incidence of coniferous needle endophytes in the Pacific Norwest. *Canadian Journal of Botany* 56, 3034-3043.
- Comtois P. y ISard S. (1999). Aerobiology: Coming of age in a new millennium. *Aerobiología* 15, 259-266.
- Conover C. A. y Poole R. T. (1973). *Ficus benjamina* leaf drop. *Flor Rev.* 29, 67-68.
- Cornejo J.J., Muñoz F.G., Ma C.Y. y Stewart A.J. (1999). Studies on the decontamination of air by plants. *Ecotoxicology* 8, 311-320.
- D'Amato G., Chatzigeorgion G., Corsico R., Gioulekas D., Jager L. y Konton-Fili K. (1997). Evaluation of the prevalence of skin prick test positivity to *Alternaria* and *Cladosporium* in patients with suspected respiratory allergy. *Allergy* 52, 711-716.
- 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. *Environmental Science and Technology* 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. U.S.A. APS-PRESS. ISBN 0-89054-336-4 175 pp.
- Dunnett N. y Kingsbury N. (2004). Planning green roofs and living walls. Timber Press. Portland, USA. 254 pp.
- 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 (United States Environmental Protection Agency). (1995). The inside story: a guide to indoor air quality. *EPA document number* 402-K-93-007.
- Fang L., Clausen G. y Fanger P. O. (1998). Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality. *Indoor Air* 8, 80-90.
- Flannigan B. (1999). Air sampling for fungi in indoor environments. *Journal of Aerosol Science* 28, 381-392
- Fuzzi S., Mandreoli P. y Perfetto A. (1997). Fog droplets an atmospheric source of secondary biological aerosol particles. *Atmospheric Environment* 31, 267-290.
- Gage S., Isard S. y Colunga M. (1999). Ecological scaling of aerobiological dispersal process. *Agricultural and Forest Meteorology* 97, 249-261.

- Garrett H. M., Hooper M. B., Cole M. F. y Hooper A. M. (1997). Airborne fúngica 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). Airbone mould levels and related environmental factors in Australian houses. *Indoor and Built Envirom* 5, 148-154.
- Gómez-Campo, C. (2004). El componente vegetal en la naturación. In: Naturación Urbana: Cubiertas Ecológicas y Mejora Medioambiental. Briz, J. E. (ed). Mundi-Prensa. Madrid, España. pp 197-212.
- Gonzálo 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.
- Górny R. L., Reponen T., Willeke K., Schmechel D., Robine E., Boissier M. y Grinshpun S. A. (2002). Fúngica fragments as indoor air biocontaminants. *Appl. Envirom Microbiol* 68, 3522–3531.
- Gregory P. H. (1973). Microbiology of the atmosphere. Leonar Hill, Londres 377 pp.
- Griffin W. D. (2004). Terrestrial microorganisms at an altitude of 20,000 m in Earth's atmosphere. *Aerobiologia* 20, 135-140.
- Gröger D. y Floss H. G. (1998). Biochemistry of ergot alkaloids—chievements and challenges. *Alkaloids* 50, 171-218.
- 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 pp.
- Heredia G. y Mercado A. (1998). Tropical hyphomicetes of México. III. Some species from the Kalakmul, Biosphere Reserve, Campeche. *Mycotaxon* 68, 137-143.
- Herrero B., Blanco M. F., González D. F., y Barrera R. M. (1996). Aerobiological study of fangal 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.
- Horner W. E., Helbling A., Salvaggio J. E. y Lehrer S. B. (1995). Fúngica allergens. *Clin. Microbiol Rev.* 8, 161-79.
- Icenhour C. R. y Levetin E. (1997). Penecillium and Aspergillus species in the habitats of allergy patients in the tulsa, Oklahoma area. *Aerobiologia* 13, 161-166.

- Infante F., Castro A., Domínguez E., Guardiã A., Méndez J., Sabariego S. y Vega A. (1999a). A comparative study of the incidence of Cladosporium conidia in the atmosphere of five Spanish cities. *Polen* 10, 17-25.
- Infante F., Castro A., Domínguez E., Guardiã A., Méndez J., Sabariego S. y Vega A. (1999b). A comparative study of the incidence of Alternaria conidia in the atmosphere of five Spanish cities. *Polen* 10, 7-15.
- 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, Inc., Enfield, NH, USA. ISBN 1-57808-068-1 257 pp.
- Kolb W. (2004). Good rehaznos for roof planning – green roofs and rainwater. *Acta Horticulturae* 643, 295-300.
- Komarnicki G. J. (2005). Lead and cadmium in indoor air and the urban environment. *Environmental Pollution* 136, 47-61.
- Kondo T., Hasegawa K. y Uchida R. (1995). Absorption of formaldehyde by oleander (Nerium indicum). *Environmental Science and Technology* 29, 2901-2903.
- Kosar D. R. (1998). Dehumidificati3n issues of standard 62-1989. *ASHRAE Journal* 40, 71-75.
- Kostianen R. (1995). Volatile organic compounds in the indoor air of normal and sick houses. *Atmospheric environment* 29, 693-702.
- Kustrak D., Pepeljnjak S. y Blazévic N. (1998). Comparative study of antimicrobial activity and chemical composition of Sage Essential Oils. 1. Croatian Symposium of Aromatherapy Opatija. *Croatia* 22, 79-82 pp.
- Lacey J. (1981). The aerobiology of conidial fungi. En: G. T. Cole y Kendrick, B. (eds.). *Biology of Conidial Fungi. Academic Press Nueva York* 13, 373-415 pp.
- Lacey J. (1994). Whither aerobiology. *International Aerobiology Newsletter*, Issue 40, December.
- Lai A. C. K. (2002). Particle deposition indoors: a review. *Indoor Air.* 12, 211-214.
- Larson, R.A. (2004). *Introducci3n a la floricultura. Tercera reimpresi3n. AGT Editor, S.A. D.F., M3xico. 551 p.*
- Lehrer S. B. y Homer W. E. (1990). Allergic reactions to basidiospores: identification of allergens. *Aerobiologia* 6, 181-186.
- Lehrer S. B., Hughes J. M., Altman L. C., Bousquet J., Davies R. J. y Gell L. (1994). Prevalence of basidiomycete allergy on the USA and Europe and its relationship to allergic respiratory symptoms. *Allergy* 49, 460-5.

- 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 Horticulturae* 391, 31-39.
- Lodge D. J. y Cantrell S. (1995). Fúngica communities in wet tropical forest: variation in time and space. *Canadian Journal of Botany* 73, 1391-1398.
- Macías C. P. y Ramírez J. C. (1998). Importancia de langosta y chapulín en México. I Simposio de langosta y chapulín. En: XXI Congreso Nacional de Control Biológico. Noviembre 5-6, Río Bravo, TS. 1-2 pp.
- Mandrioli P. and Ariatti A. (2001). Aerobiology: Future course of action. *Aerobiologia* 17, 1-10.
- Meier F. C. (1936). Collecting microorganisms from winds above the Caribbean Sea. *Phytopathology* 26, 102.
- Mier T., Toriello C. y Ulloa M. (2002). Hongos microscópicos saprobios y parásitos: métodos de laboratorio. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. ISBN 970-654-609-X. 90 pp.
- Molhave L., Clausen G., Berglund B., De Ceauriz 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.
- Monterroso R. A. I. (1999). Comportamiento termopluvial de la isla calor en el Valle de México. Planeación y Manejo de Recursos Naturales. Universidad Autónoma Chapingo. *Tesis de Licenciatura* Ing. 125 pp.
- 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. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 131, 452-458.
- Nailini M. S., Mahesh B., Tejesvi M. V., Prakash H. S., Subbaiah V., Kini K. R. y Shetty H. S. (2005). Fúngica endophytes from the three-leaved caper, *Crataeva magna* (Lour.) D. C. (Capparidaceae). *Mycopathologia*. 159, 245-249.
- Norris H. J. (1997). The influence of ambient temperature on the abundance of poaceae pollen. *Aerobiologia* 13, 91-97.
- Oliver M. D., Bruce M. S. y Shackleton W. (1998). The indoor air we breathe: a public health problem of the 90's. *Indoor Air Quality* 113, 398-409.
- 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., Hadley P. y Wheldon A. E. (1993). A reanalysis of the effects of temperature and irradiance on the time to overing in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora*). *Journal of Horticultural Science* 68, 89-97.
- Pearson S., Parker A., Adams S. R., Hadley P. y May D. R. (1995). The effects of temperature on the over size of pansy (*Viola x wittrockiana* Gams). *Journal of Horticultural Science* 70, 183-190.
- Pepeljnjak S., Kustrak D., Kalodera Z. y Volenec M. (1998). Research on Antimicrobial Activity of Essential Oils. 1. Croatian Symposium of Aromatherapy, Opatija, *Croatia* 13, 61-65. pp.
- 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.
- Prill R., Blake D. y Hales D. (2002). School indoor air quality assessment and program implementation. Presented at the 9th Annual Indoor Air International Symposium. 824-829
- Rajagopal K. y Suryanarayanan T. S. (2000). Isolation of endophytic fungi from leaves of reem (*Azadirachta indica* A. Juss). *Current Science*. 78, 1375-1378.
- Ren P., Jankun T. M., Belanger K., Bracken M. B. y Leaderer B. P. (2001). The relation between fúngica propagules in indoor air and home characteristics. *Allergy* 56, 419-424.
- Rico M.I., Cartagena M. C. y Arcé A. (2004). Las cubiertas ecológicas y la contaminación medioambiental. In: Naturación Urbana: Cubiertas Ecológicas y Mejora Medioambiental. Briz, J. E. (ed). Mundi-Prensa. Madrid, España. 179-196 pp.
- Rodrigues K. F. y Samuels G. J. (1990). Fúngica endophytes of *Spondias mombin* leaves in Brazil. *Journal of Basic Microbiology*. 39, 131-135.
- 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 fúngica propagule concentrations in México City. *Aerobiologia* 15, 66-73.
- Rosas I., Calderón C., Salinas E., Martínez L., Alfaro-Moreno E., Milton D. K. y Osornio-Vargas A. R. (2001). Animal and worker exposure to dust and biological particles in animal care houses. *Aerobiologia* 17, 49-59.
- Sabariego S. R., Díaz C. G. y Sánchez F. A. (2004) Estudio aerobiológico de los conidios de *Alternaria* y *Cladosporium* en la atmósfera de la ciudad de Almería (SE de España). *Rev. Iberoam Micol* 21, 121-127.
- Schmitz H., Hilgers U. y Weidner M. (2000). Assimilation and metabolism of formaldehyde by leaves appear unlikely to be of value for indoor air purification. *New Phytologist* 147, 307-315.

- 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. *Applied and Environmental Microbiology* 68, 1743-1753.
- Simonich S. L. y Hites R. A. (1995). Organic pollutant accumulation in vegetation. *Environ Sci. Technol* 29, 2905-2914.
- 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.
- Southcott K. A. y Johnson J. A. (1997). Isolation of endophytes from two species of palm, from observation on uninfected epidermal cell. *Canadian Journal of Botany*. 66, 45-54.
- Sprenger J. D., Altman L., O’Neil C. E., Ayers G. H., Butcher B. T. y Lehrer S. B. (1988). Prevalence of basidiospore allergy in the Pacific Northwest. *J. Allergy Clin. Immunol* 82, 1076-1080.
- Tudzynski P., Correia T. y Keller U. (2001). Biotechnology and genetics of ergot alkaloids. *Appl. Microbiol Biotechnol* 57, 593–605.
- Ugrekheldidze D., Korte F., y Kvesitadze G. (1997). Uptake and transformation of benzene and toluene by plants leaves. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 37, 24-29.
- Ulloa M. (1991). Diccionario ilustrado de micología. Departamento de Botánica, Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. *ISBN 968-36-1818-9*. 309 pp.
- Ulloa M. y Herrera T. (2004). El reino de los hongos: micología aplicada. Universidad Nacional Autónoma de México. *ISBN 968-16-5737-7* 552 pp.
- Wani A. H., Branion M. R. y Lau A. K. (1997). Biofiltration: A promising and cost-effective control technology for odors, VOC’s, and air toxins. *Journal of Environmental Science and Health* 32, 2027-2055.
- Wolverton B. C. (1997). How to grow fresh air. Penguin Books. New York, U.S.A. *ISBN 950-12-5801-7* 143 pp.
- Wolverton B. C. y Wolverton J. (1993). Plants and soil microorganisms removal of formaldehyde, xilene and ammonia from the indoor environment. *J. Miss. Acad. Sci.* 38, 11-15
- Wolverton, B. C. (1989). Interior landscape plants for indoor air pollution abatement. NASA/ALCA Final Report. Plantas for Clean Air Council, Mitchellville. MD.
- Wolverton, B. C. y Wolverton J. (1991). Removal of formaldehyde from sealed chambers by azalea, poinsettia and diffenbachia. Research Report No. WES/100/01-91/005. Plants for Clean Air Council, Mitchellville. MD.
- 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. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 77, 120-129.

ANEXOS



Figura 1A. Plantas utilizadas en el monitoreo fúngico y ambiental en tres áreas intramuro. A) *Spathiphyllum wallisi*; B) *Pilea cadierei*; C) *Peperomia caperata*; D) *Aglonema commutatum*; E) *Cordilyne terminalis*; F) *Blechnum gibbum*; G) *Aucuba japonica*; H) *Philodendron scandens*; I) *Maranta leuconeura*; J) *Adiantum* sp.; K) *Dieffenbachia dumbcane*.



Figura 2A. Equipo utilizado en el monitoreo aerobiológico. A) Caja impactador y B) Bomba extractora de aire, Thermo Andersen® de una etapa.

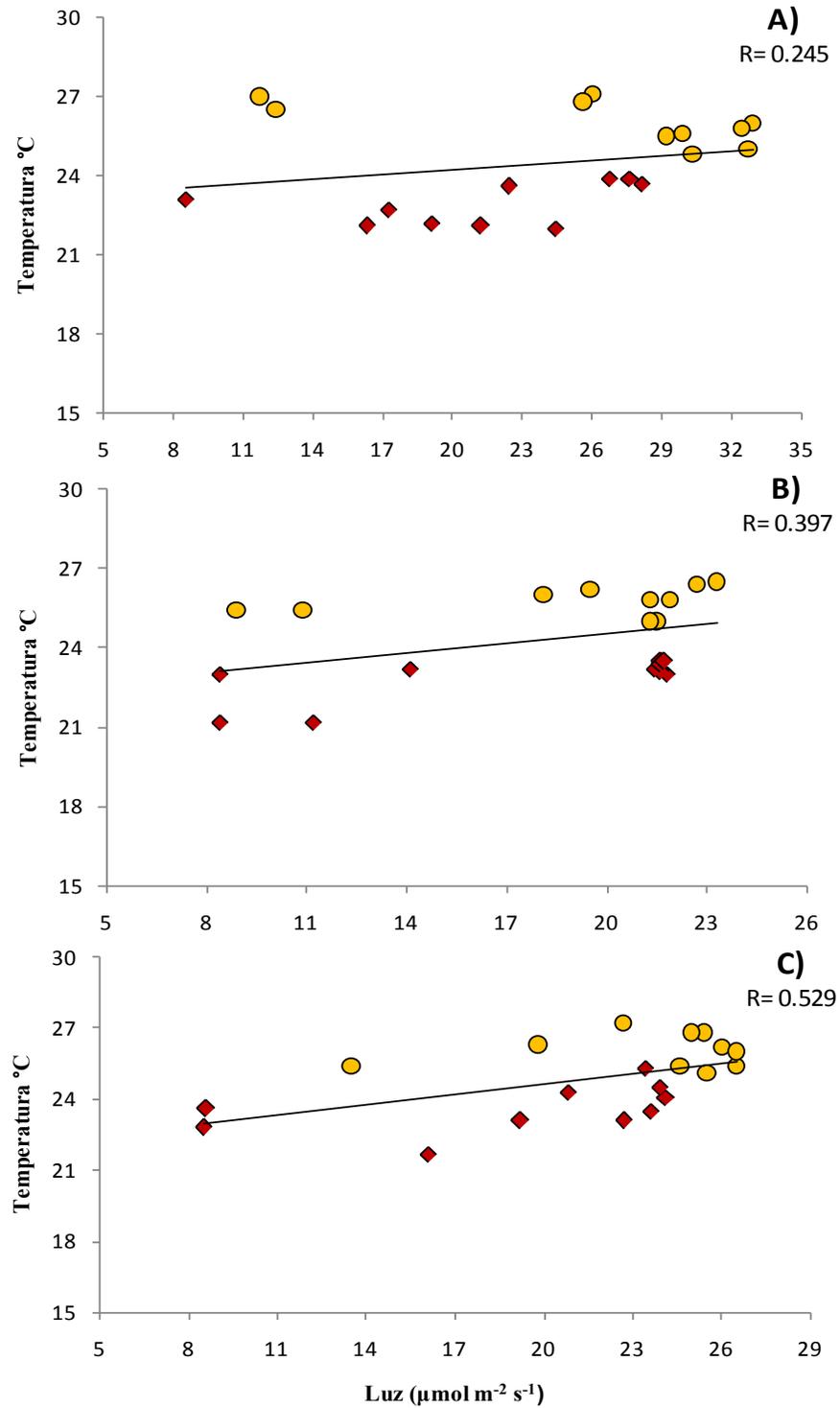


Figura 3A. Análisis de correlación de Pearson ($P < 0.05$) y la influencia de la luz en la temperatura ambiente. A) habitación 1; B) habitación 2; C) habitación 3; ♦ Sin plantas; ● Con plantas.

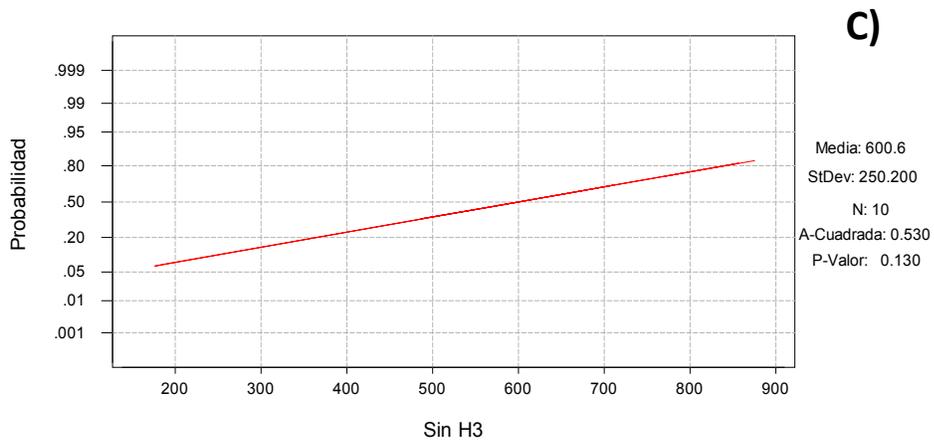
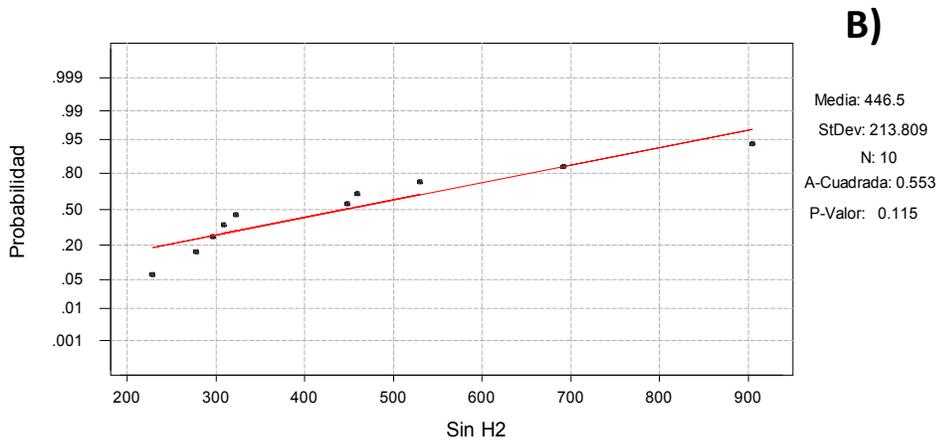
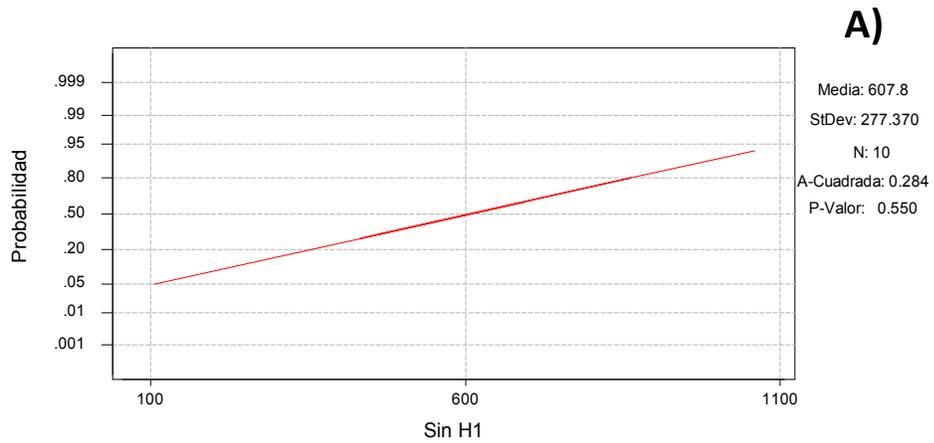


Figura 4A. Prueba de normalidad Anderson – Darling ($P > 0.05$) sin plantas: A) habitación 1, B) habitación 2 y C) habitación 3: Interpretación de la línea y puntos representan; 1) Sí los datos vienen de una distribución normal, los puntos muy apenas seguirán la línea de referencia. 2) Si los datos no vienen de una distribución normal, los puntos no seguirán la línea.

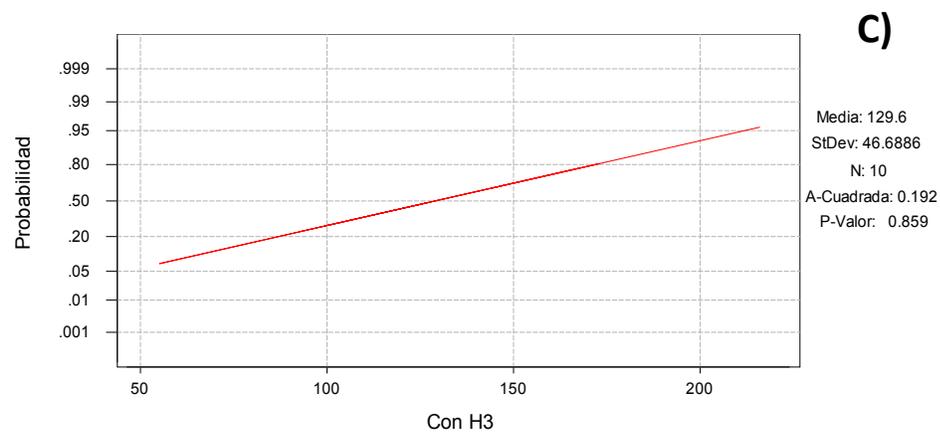
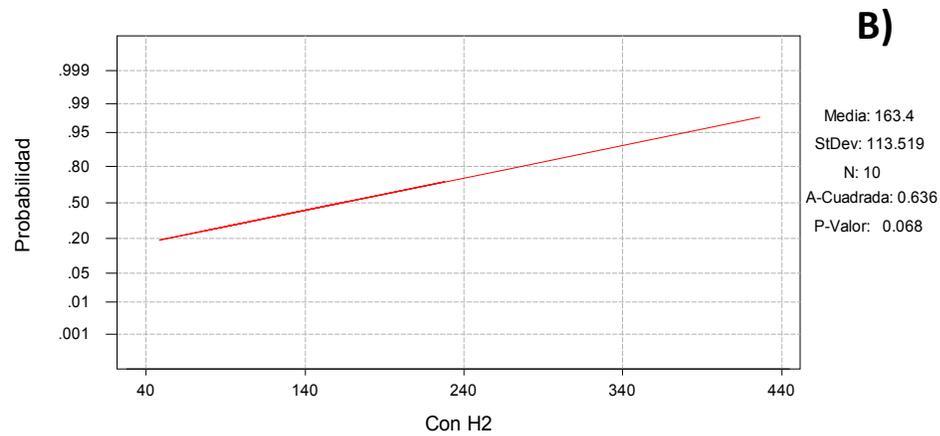
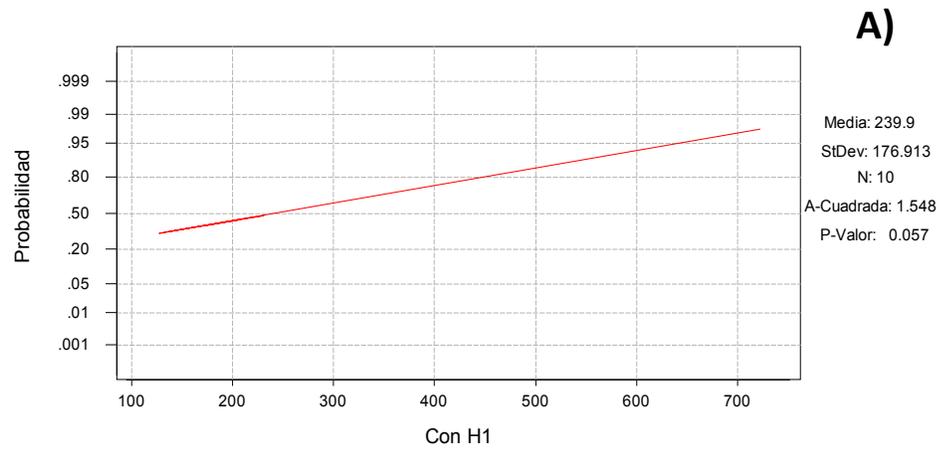


Figura 5A. Prueba de normalidad Anderson – Darling ($P > 0.05$) con plantas: A) habitación 1, B) habitación 2 y C) habitación 3: Interpretación de la línea y puntos representan; 1) Sí los datos vienen de una distribución normal, los puntos muy apenas seguirán la línea de referencia. 2) Si los datos no vienen de una distribución normal, los puntos no seguirán la línea.

Cuadro 1A. Análisis de correlación de Pearson entre la intensidad de luz y temperatura en tres áreas intramuros sin y con plantas.

Tratamiento	Habitación 1		Habitación 2		Habitación 3	
	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Temp. (°C)	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Temp. (°C)	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Temp. (°C)
Sin Plantas	8.5	23.1	11.2	21.2	23.6	23.5
	17.2	22.7	8.4	21.2	24.1	24.1
	24.4	22.0	14.1	23.2	8.5	22.8
	19.1	22.2	8.4	23.0	8.6	23.6
	26.7	23.9	21.8	23.0	19.2	23.1
	22.4	23.6	21.6	23.1	20.8	24.3
	27.6	23.9	21.4	23.2	23.9	24.5
	28.1	23.7	21.6	23.5	23.4	25.3
	21.2	22.1	21.6	23.4	16.1	21.7
	16.3	22.1	21.7	23.5	22.7	23.1
Con Plantas	32.9	26.0	21.5	25.0	25.5	25.1
	32.4	25.8	21.3	25.0	24.6	25.4
	30.3	24.8	22.7	26.4	26.0	26.2
	32.7	25.0	23.3	26.5	25.4	26.8
	26.0	27.1	21.9	25.8	25.0	26.8
	25.6	26.8	21.3	25.8	22.7	27.2
	11.7	27.0	10.9	25.4	13.5	25.4
	12.4	26.5	8.9	25.4	19.8	26.3
	29.2	25.5	19.5	26.2	26.5	25.4
	29.9	25.6	18.1	26.0	26.5	26.0
R	0.245		0.397		0.529	
P < 0.05	0.297		0.083		0.016	

R: Prueba de correlación de Pearson ($P < 0.05$); $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$: micromoles por metro cuadrado por segundo; Temp. (°C): temperatura ambiental en grados centígrados.

Cuadro 2A. Prueba de Normalidad de Anderson-Darling sin y con plantas en tres áreas intramuro

Tratamiento	valores de α		
	H1	H2	H3
Sin Plantas	0.550*	0.115*	0.130*
Con Plantas	0.057*	0.068*	0.859*

Valores de α : prueba de normalidad de Anderson-Darling a un nivel ($P > 0.05$)^{*}; H1 - habitación 1; H2 - habitación 2; H3 - habitación 3.

Cuadro 3A. Análisis de correlación de Pearson entre la concentración de esporas y temperatura en tres áreas intramuros sin y con plantas.

Tratamiento	Habitación 1		Habitación 2		Habitación 3	
	UFC m ⁻³	Temp. (°C)	UFC m ⁻³	Temp. (°C)	UFC m ⁻³	Temp.(°C)
Sin Plantas	1059	23.1	459	21.2	768	23.5
	881	22.7	530	21.2	857	24.1
	460	22.0	308	23.2	176	22.8
	433	22.2	322	23.0	186	23.6
	863	23.9	296	23.0	711	23.1
	463	23.6	448	23.1	663	24.3
	692	23.9	228	23.2	486	24.5
	639	23.7	277	23.5	573	25.3
	482	22.1	905	23.4	711	21.7
	106	22.1	692	23.5	875	23.1
Con Plantas	722	26.0	426	25.0	93	25.1
	296	25.8	258	25.0	127	25.4
	127	24.8	119	26.4	55	26.2
	146	25.0	228	26.5	168	26.8
	231	27.1	90	25.8	144	26.8
	204	26.8	168	25.8	173	27.2
	137	27.0	48	25.4	114	25.4
	156	26.5	106	25.4	106	26.3
	207	25.5	77	26.2	100	25.4
	173	25.6	114	26.0	216	26.0
R	-0.458		-0.632		-0.661	
P < 0.05	0.042		0.003		0.001	

R: Prueba de correlación de Pearson ($P < 0.05$); UFC m⁻³: Unidades formadoras de colonias de hongos por metro cubico de aire; Temp. (°C): temperatura ambiental en grados centígrados.

Cuadro 4A. Análisis de correlación de Pearson entre la concentración de esporas e intensidad de luz en tres áreas intramuros sin y con plantas.

Tratamiento	Habitación 1		Habitación 2		Habitación 3	
	UFC m ⁻³	μmol m ⁻² s ⁻¹	UFC m ⁻³	μmol m ⁻² s ⁻¹	UFC m ⁻³	μmol m ⁻² s ⁻¹
Sin Plantas	1059	8.5	459	11.2	768	23.6
	881	17.2	530	8.4	857	24.1
	460	24.4	308	14.1	176	8.5
	433	19.1	322	8.4	186	8.6
	863	26.7	296	21.8	711	19.2
	463	22.4	448	21.6	663	20.8
	692	27.6	228	21.4	486	23.9
	639	28.1	277	21.6	573	23.4
	482	21.2	905	21.6	711	16.1
	106	16.3	692	21.7	875	22.7
Con Plantas	722	32.9	426	21.5	93	25.5
	296	32.4	258	21.3	127	24.6
	127	30.3	119	22.7	55	26.0
	146	32.7	228	23.3	168	25.4
	231	26.0	90	21.9	144	25.0
	204	25.6	168	21.3	173	22.7
	137	11.7	48	10.9	114	13.5
	156	12.4	106	8.9	106	19.8
	207	29.2	77	19.5	100	26.5
	173	29.9	114	18.1	216	26.5
R	0.056		-0.173		0.022	
P < 0.05	0.814		0.465		0.928	

R: Prueba de correlación de Pearson (P < 0.05); UFC m⁻³: Unidades formadoras de colonias de hongos por metro cubico de aire; μmol m⁻² s⁻¹: micromoles por metro cuadrado por segundo.

Cuadro 5A. Efecto de la presencia de plantas en la concentración de esporas de hongos entre las tres áreas intramuros.

Tratamiento	UFC m ⁻³ de aire		
	H1H2	H1H3	H2H3
Sin Plantas	607.8 a	607.8 a	446.5 a
Sin Plantas	446.5 a	600.6 a	600.6 a
DMS	232.67	248.17	218.65
Con Plantas	207.7 a	207.7 a	164.5 a
Con Plantas	164.5 a	162.5 a	162.5 a
DMS	72.857	70.319	56.424

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P < 0.05$); Prueba de comparación de medias Tukey; UFC m⁻³: DMS; diferencia mínima significativa; unidades formadoras de colonias de hongos por metro cubico de aire; Sin-Con plantas: ausencia o presencia de plantas; H1 - habitación 1; H2 - habitación 2; H3 - habitación 3.

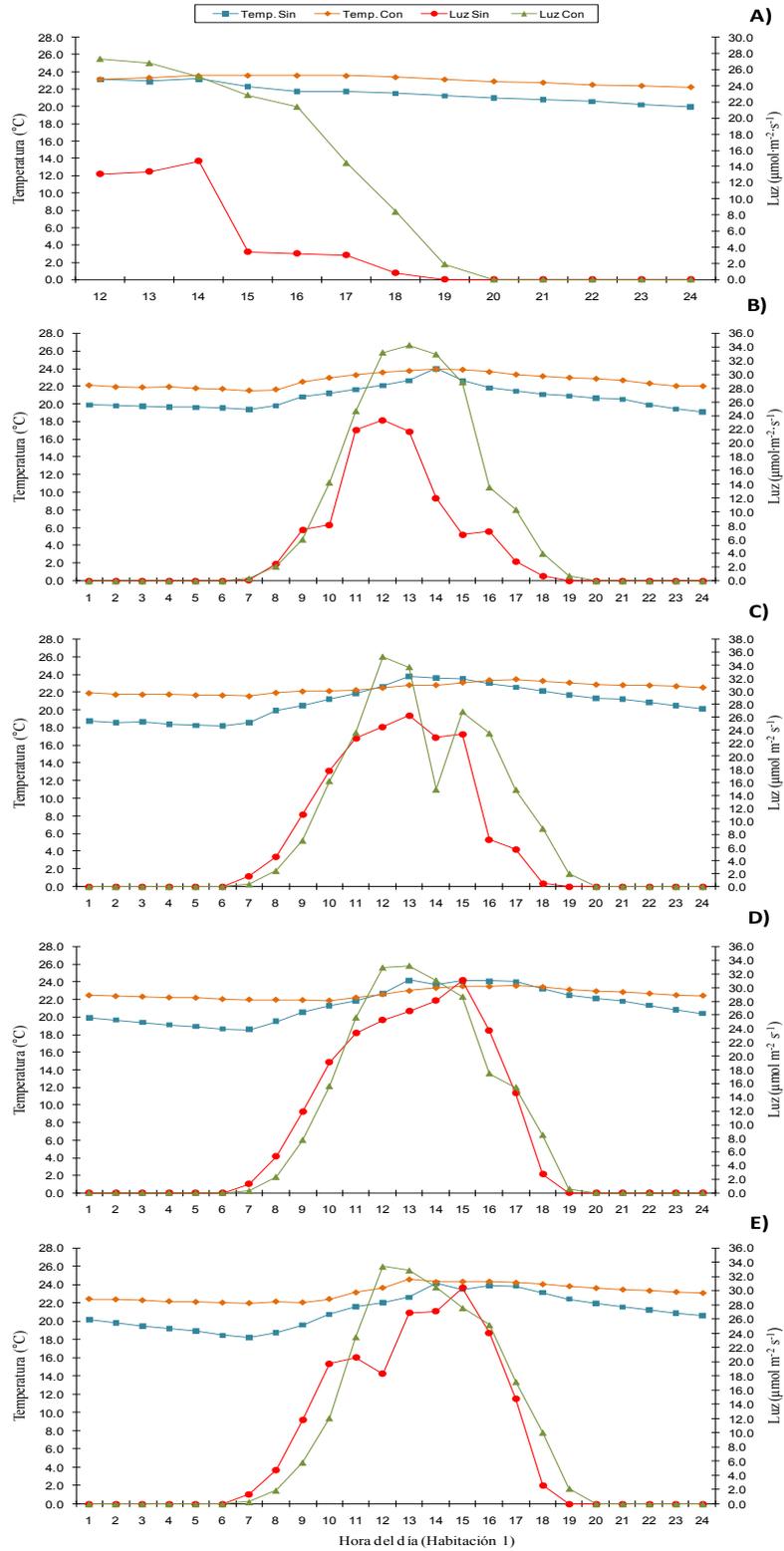


Figura 6A. Registro de la temperatura y luz por hora, durante la semana de muestreo en ausencia y presencia de plantas; A) Lunes; B) Martes; C) Miércoles; D) Jueves; E) Viernes.

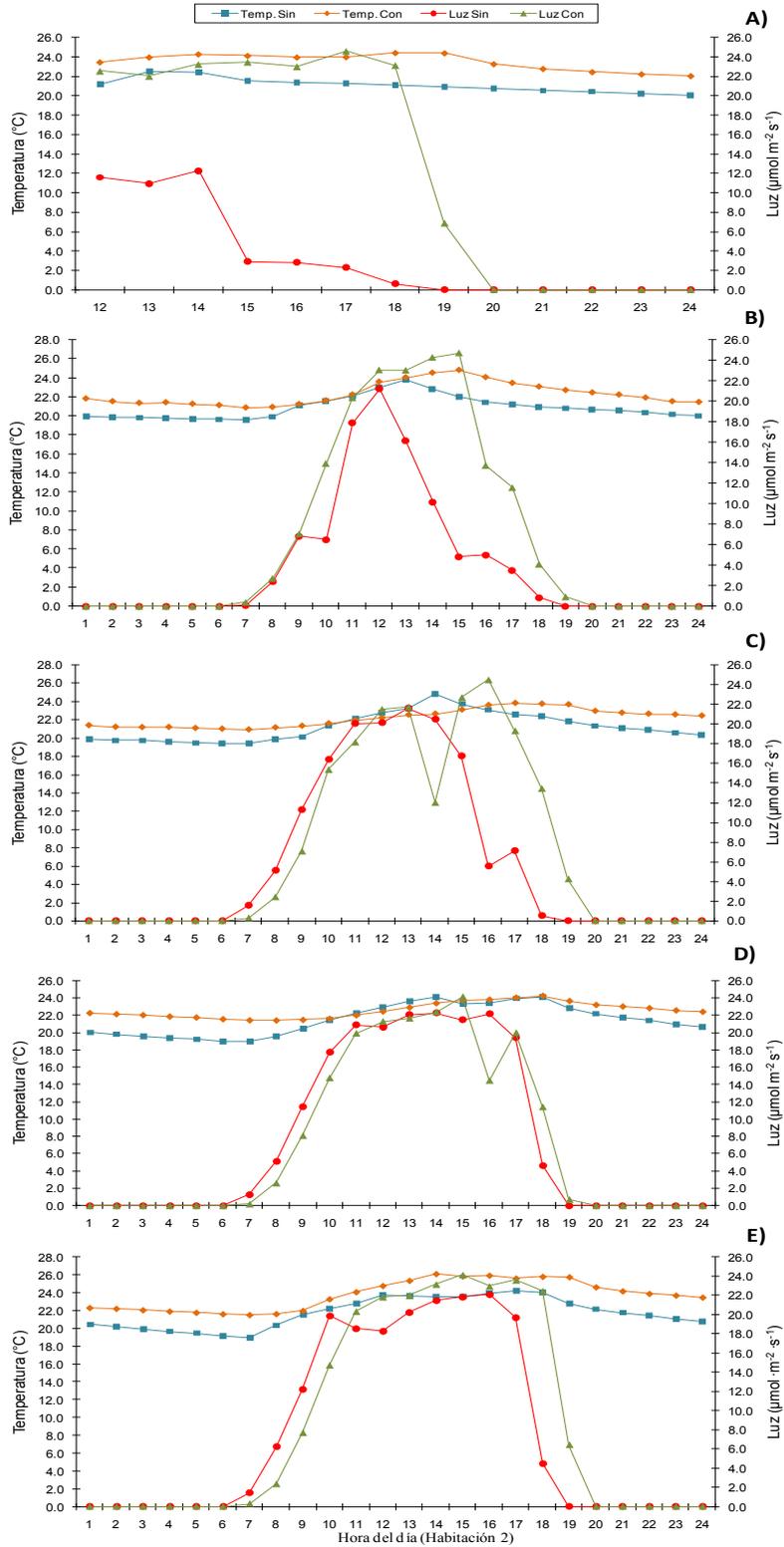


Figura 7A. Registro de la temperatura y luz por hora, durante la semana de muestreo en ausencia y presencia de plantas; A) Lunes; B) Martes; C) Miércoles; D) Jueves; E) Viernes.

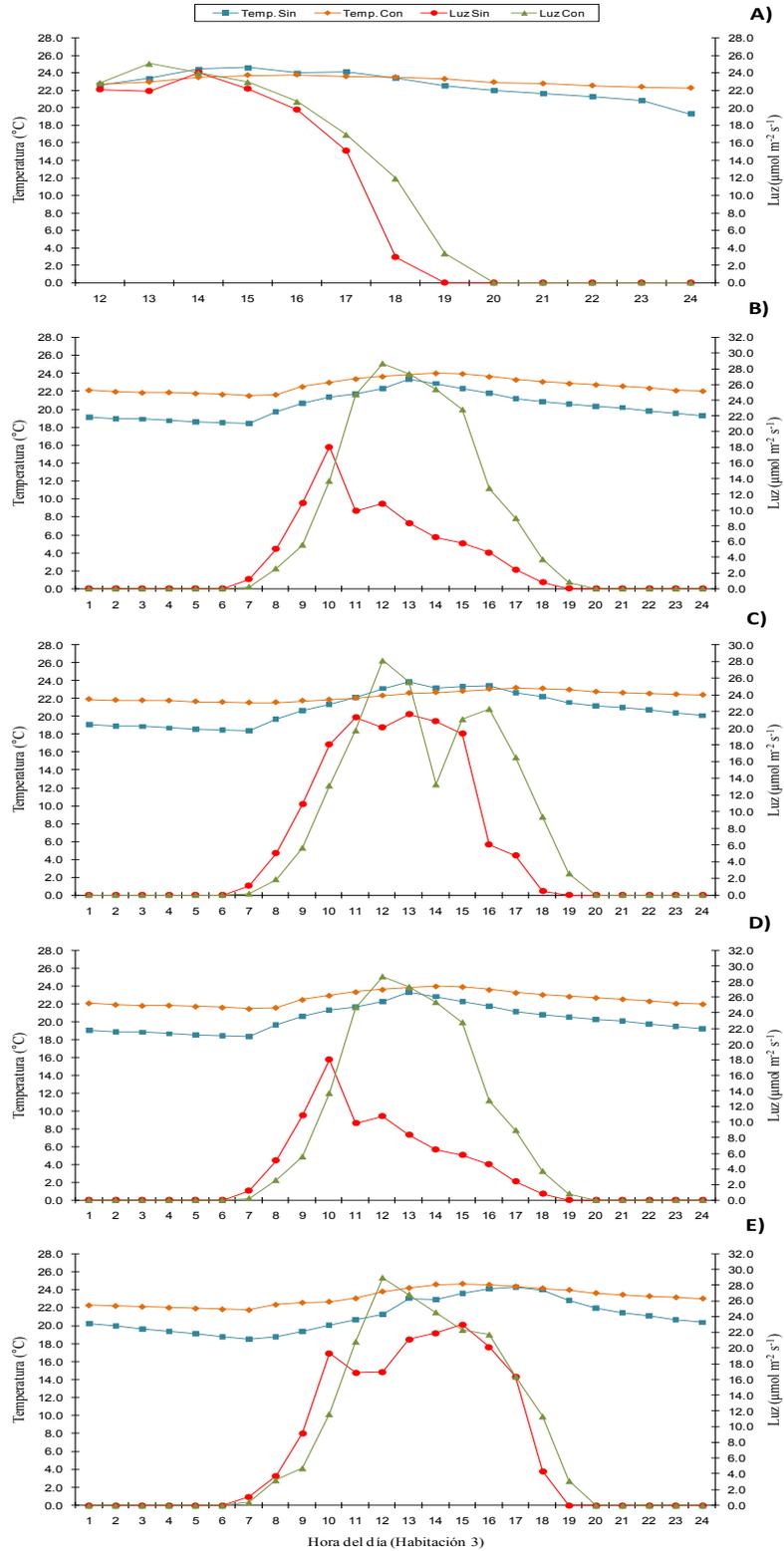


Figura 8A. Registro de la temperatura y luz por hora, durante la semana de muestreo en ausencia y presencia de plantas; A) Lunes; B) Martes; C) Miércoles; D) Jueves; E) Viernes.