

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA  
ESCUELA DE ASUNTOS AMBIENTALES  
SAN JUAN, PUERTO RICO**

**ANÁLISIS CUANTITATIVO DE ESPORAS DE HONGOS Y CARACTERIZACIÓN DE  
PARTÍCULAS DE POLVO PRESENTES EN EL AIRE DE LA CABINA INTERIOR DE  
LOS VUELOS COMERCIALES DE PASAJEROS**

Requisito parcial para la obtención del  
Grado de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental  
en Evaluación y Manejo de Riesgo Ambiental

Por  
Saddy E. Rivera Rodríguez

09 de diciembre de 2010

## DEDICATORIA

*A mi esposo Fernando Rojas y a mis hijas  
Arianna, Bianca y Camila que inspiran lo que es  
realmente importante en la vida*

## AGRADECIMIENTOS

A Harry Peña Ruíz, director de mi comité de tesis, quien ha sido mentor y amigo, y de quién he aprendido suficiente para que me dure una vida. A los integrantes de mi comité de tesis que fueron guía certera en la configuración de este trabajo. A la dirección de la Escuela de Asuntos Ambientales por aceptar no menos que lo mejor de mi trabajo. Al laboratorio *RAMS Environmental Laboratory Inc.* en Miami, FL; en especial a Ruth Otero, por acogerme como parte de su familia. A la gerencia de la aerolínea, en especial Julio Rivera y Steven Tochillin por creer en la importancia de esta investigación. A las asistentes de vuelo, Jan Nethery y Kathleen Moore, por su acomodo y con quienes cultivé una gran amistad. A mis buenos amigos de la industria de la consultoría farmacéutica, sin cuyo incondicional apoyo este proyecto no hubiera sido posible; en especial a Ed Moore y su hermano Tom. Al Dr. Richard Prince por poner a mi disposición su amplio conocimiento en análisis de datos. Al gerente del aeropuerto Luis Muñoz Marín, Angel Esparra por ser mi ángel guardián durante el trabajo de campo en San Juan. A Frank Valentino, por recuperar mi trabajo de un disco duro cuando ya parecía que lo había perdido todo. A Maritza Abrams e Inri Ayala por su apoyo moral y estímulo en muchos momentos en los que ya no tenía más energía para seguir. A Iraida Otero por su amorosa ayuda en la correcta redacción de este documento. Y con mucho cariño, agradezco a Alex Rodríguez, Coordinador de Asuntos Estudiantiles de la Escuela de Asuntos Ambientales, UMET, quién fue siempre guía certera, presente y disponible durante todas las fases de este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE APÉNDICES.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
Trasfondo del problema de estudio.....	1
Problema de estudio.....	5
Justificación del problema.....	5
Pregunta de investigación.....	6
Meta.....	6
Objetivos.....	6
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
Trasfondo histórico.....	7
Marco teórico.....	10
Estudios de casos.....	14
Marco legal.....	15
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	17
Área de estudio.....	17
Descripción de la muestra.....	16
Muestreo de temperatura y humedad relativa.....	18
Muestreo de partículas de polvo y hongos.....	19
Análisis de la muestra.....	20
Análisis de datos.....	21
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	30
LITERATURA CITADA.....	35

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Cantidad de esporas de hongos presentes dentro de la cabina de los aviones comerciales que salieron de San Juan hacia Atlanta.....	40
Tabla 2.	Cantidad de partículas no-viables presentes dentro de la cabina de los aviones comerciales que salieron de San Juan hacia Atlanta.....	41
Tabla 3.	Cantidad de esporas de hongos presentes dentro de la cabina de los aviones comerciales que salieron de Atlanta hacia San Juan.....	42
Tabla 4.	Cantidad de partículas no-viables presentes dentro de la cabina de los aviones comerciales que salieron de Atlanta hacia San Juan.....	43
Tabla 5.	Cantidad de esporas de hongos presentes en el exterior e interior del aeropuerto.....	44
Tabla 6.	Cantidad de partículas no-viables presentes en el exterior e interior del aeropuerto.....	45
Tabla 7.	Temperatura y % de humedad relativa (% HR) dentro de la cabina de los aviones comerciales que salieron de San Juan hacia Atlanta.....	46
Tabla 8.	Temperatura y % de humedad relativa (% HR) dentro de la cabina de los aviones comerciales que salieron de Atlanta hacia San Juan.....	47
Tabla 9.	Temperatura y % de humedad relativa (% HR) en el exterior e interior del aeropuerto.....	48

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Muestreo tomado en el exterior del aeropuerto.....	50
Figura 2.	Muestreo tomado en la puerta de salida de los pasajeros (terminal).....	51
Figura 3.	Por ciento de esporas detectado en vuelos: San Juan, P.R. – Atlanta, GA.....	52
Figura 4.	Cantidad de partículas detectadas en vuelos: San Juan, P.R. – Atlanta, GA.....	53
Figura 5.	Por ciento de esporas detectado en vuelos: Atlanta, GA - San Juan, P.R.....	54
Figura 6.	Cantidad de partículas detectadas en vuelos: Atlanta, GA - San Juan, P.R.....	55
Figura 7.	Por ciento de esporas detectado en cabina del avión: San Juan, P.R. – Atlanta, GA.....	56
Figura 8.	Por ciento de esporas detectado en cabina del avión: Atlanta, GA – San Juan, P.R.....	57
Figura 9.	Contaje total de géneros de hongos encontradas dentro de la cabina del avión - San Juan, P.R. – Atlanta, GA.....	58
Figura 10.	Contaje total de géneros de hongos encontradas dentro de la cabina del avión Atlanta, GA. - San Juan, P.R.....	59
Figura 11.	Contaje total de partículas presentes en mayor cantidad dentro de la cabina del avión - San Juan, P.R. – Atlanta, GA.....	60
Figura 12.	Contaje total de partículas presentes en mayor cantidad dentro de la cabina del avión - San Juan, P.R. – Atlanta, GA.....	61

## LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1.	Carta de permiso para llevar a cabo el estudio dentro de la cabina del avión.....	63
Apéndice 2.	Ejemplo de reporte del laboratorio.....	64

## RESUMEN

El ambiente dentro de los aviones comerciales posee características únicas que lo hacen diferente al encontrado en otros espacios comunes ocupados por personas. Estas características hacen que el potencial de riesgo a exposición de esporas y partículas de polvo aumente. Nuestro estudio se basa en evidenciar la presencia y posible riesgo por exposición de esporas de hongos y realizar una caracterización de las partículas de polvo en el aire dentro de la cabina del avión. Evaluamos la presencia y caracterización de esporas de hongos y partículas de polvo en el aire dentro de la cabina de 12 aviones comerciales Boeing B757-200 que vuelan entre Puerto Rico y Atlanta. En las últimas décadas los aviones comerciales comenzaron a utilizar sistemas de recirculación de aire. Estos sistemas utilizan una combinación del aire exterior con aire que se recircula en la cabina pasándolo a través de filtros que tienen la función de purificarlo antes de volverlo a poner en el ciclo de circulación. Tomamos muestras de aire, temperatura y humedad relativa dentro de la cabina del avión cuando los pasajeros estaban abordando y cuando el avión había alcanzado una altura mayor de 10,000 pies. Todas las muestras se tomaron para evaluar la presencia de esporas de hongos y para la caracterización de partículas de polvo. Además del muestreo regular, tomamos una muestra del aire en el exterior del aeropuerto y en el área de la puerta de salida del avión para ser utilizada como referencia. Evaluamos un total de 12 vuelos comerciales durante un periodo de cinco meses, desde junio hasta noviembre de 2009. La duración promedio de cada vuelo fue de 3.5 a 4.0 horas. Finalmente concluimos, basado en una evaluación comparativa de cantidad y caracterización de partículas de polvo y esporas de hongos, que la calidad de aire dentro de la cabina de los aviones comerciales entre San Juan y Atlanta es mejor que la encontrada en las áreas de espera de los aeropuertos y el exterior de los mismos. Los datos demuestran un sistema de control de partículas de aire y esporas de hongos eficaz dentro de la cabina de los aviones comerciales estudiados. Nuestras recomendaciones es que se oriente a los pasajeros acerca de la importancia de reportar cualquier problema de salud que pueda poner en riesgo la salud de los otros pasajeros. Además, los sistemas de aire en la cabina de los aviones deben ser regulados por alguna agencia gubernamental para garantizar que su mantenimiento y monitoreo sea adecuado.

## ABSTRACT

The environment inside commercial aircrafts is unique and different from other spaces commonly shared by people. Thus, the potential of exposure to spores and dust particles is greater. Our study seeks to evidence the presence and possible exposure risk to fungal spores and to characterize dust particles inside the airplane cabin. We evaluated the data collected to evidence the presence and characterization of fungal spores and dust particles in the air inside the cabin of Boeing B757-200 airplanes that fly between San Juan, PR and Atlanta, GA. In the last decades, commercial airplanes started utilizing Air Recirculation Systems. These systems use a combination of outside air, with air that re-circulates throughout the cabin by passing it through filters whose function is to purify it before making it available again for breathing. Samples were taken inside the cabin when passengers were boarding, and at 10,000 feet. All samples were taken to evaluate the presence of fungal spores and for the characterization of dust particles. Beyond the mentioned sampling, samples of the air outside the airport and in the departure gate were collected as reference. A total of 12 commercial flights, over a period of 5 months, from June to November 2009, were evaluated. The average duration of each flight was 3.5 – 4.0 hours. We concluded, based on a comparative quantitative evaluation and a characterization of dust particles and fungal spores, that the air quality inside the cabin of commercial airplanes flying between San Juan, PR and Atlanta, GA is better than that of the waiting areas and the exterior of airports. The data demonstrates an efficient system of control of dust particles and fungal spores. We recommend that passengers are advised of the importance of reporting any current health problem that may represent a risk to the health of other passengers; and further, that government regulations for maintenance and monitoring be implemented to standardize optimal operating conditions of such equipment.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### Trasfondo del problema

En las últimas décadas los aviones comerciales han empezado a utilizar sistemas de recirculación de aire. Estos sistemas utilizan una combinación de aire de exterior con aire que se recircula en la cabina pasándolo a través de filtros que tienen la función de purificarlo antes de volverlo a poner en el ciclo de circulación. La razón de la incorporación de estos sistemas es el ahorro considerable en combustible ya que éstos permiten que los vuelos se hagan a mayores alturas reduciendo el arrastre y haciendo el trayecto de vuelo más eficiente.

Recientemente la cantidad de aire del exterior recomendado por ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, Inc.*) para la cabina del avión bajó de 7 litros por segundo (7L/sec) por pasajero a 3.5 litros por segundo por pasajero (ASHRAE, 2007). Tomando en cuenta que el aire recirculado no es tan puro y limpio como el del exterior, y que en un avión con sistema de recirculación el uso del aire del exterior es mínimo, es importante preguntarse si la calidad del aire en esos casos es óptima.

El tráfico de personas en un día normal de servicio de un avión es de centenares. Los cuales están juntos (aprisionados) en un espacio confinado durante un periodo de tiempo promedio de 3.5 horas donde es imposible salir. En estos grupos encontramos todo tipo de personas en cuanto a edad, tamaño, y condición de salud. Con la excepción de los cruceros, la diversidad de personas procedentes de diferentes continentes es única en la cabina de los aviones (Walkinshaw, 2010). El amplio rango de diversidad dentro de la cabina del avión puede generar una gran variedad de contaminantes (Persily & Hewett, 2010).

Es entonces lógico pensar que el riesgo de contraer una enfermedad que se contagie por el aire es alto. En un solo vuelo puede haber centenares de personas a distancias muy pequeñas el uno del otro. Las personas dispersan fragmentos de la piel y esta dispersión en el aire varía de persona a persona y varía con el tiempo (Bengt & Berit, 2008).

Por otro lado existe el riesgo de aumento en la cantidad de partículas de polvo presentes en la cabina asociadas con diferentes tipos de alergias que podrían poner en riesgo la salud del pasajero. En otras palabras, es absolutamente necesario que el sistema de control de calidad del aire y su mantenimiento sea de la más alta calidad y eficiencia posible. Evidencia de la importancia de mantener un sistema de calidad de aire en óptimas condiciones fue demostrada con el brote del Síndrome Respiratorio Agudo Severo (SARS, por sus siglas en inglés) en Hong Kong en el 2003 en el cual más de 300 personas pudieron haberse afectado con el virus que causa el SARS. Durante estudios realizados durante el brote se demostró que los pasajeros afectados estaban sentados de 5 a 7 filas de distancia del pasajero contaminado con el virus. En la mayoría de los vuelos comerciales modernos el aire entra y sale de la cabina aproximadamente en la misma fila de asientos por lo tanto, el flujo de aire de adelante hacia atrás (longitudinal) es mínimo (Mangili & Gendreau, 2005). Este patrón de circulación divide el flujo de aire en secciones, disminuyendo la probabilidad de transmisión de partículas en el aire a través de la cabina. Por lo tanto, dentro de las posibles causas de la distribución del virus dentro de la cabina del avión se incluyeron: transmisión por el aire en lugar de contacto directo y mal funcionamiento del sistema de filtración de aire (Mangili & Gendreau, 2005).

Otros casos de transmisión de SARS reportados en Canadá y Asia ocurrieron mayormente en edificios y aviones, demostrando nuevamente la importancia del control

y mantenimiento de los sistemas de aire en ambientes cerrados (Qingyan & Xianting, 2006).

En la actualidad se miden solamente la temperatura del aire y la presión barométrica en las cabinas de los vuelos comerciales. Estas medidas no son suficientes para monitorear el sistema de control ambiental cuando no está funcionando como se espera. Por esta razón, El Consejo Nacional de Investigación (NRC, por sus siglas en inglés) sugirió que se monitoreen otras características relacionadas a la calidad del aire que incluyan ozono, monóxido de carbono, dióxido de carbono, humedad relativa y partículas finas en el aire (Tengfei, Qingyan, Yan, & Chao-Hsin, 2007).

Una posibilidad para disminuir el riesgo de exposición a enfermedades infecciosas en la cabina de los aviones comerciales es mover la fuente de contaminación del centro hacia los lados. De esta manera se facilita la eliminación de la mayoría de los contaminantes del aire directamente a través de los conductos que devuelven el aire hacia afuera antes de que el mismo se propague por toda la cabina (Aijun, Yuanhui, Jennifer, Bennett, & Dunn, 2006).

También se ha considerado la posibilidad de usar ventiladores personales para proteger a los pasajeros de inhalar contaminantes gaseosos o partículas de polvo en el aire. Pero esta aplicación podría aumentar el transporte de aerosoles generados por el usuario del ventilador personal, y a su vez aumentar el riesgo de infección si el usuario del ventilador está infectado (Gao & Niu, 2008).

Actualmente el sistema de recirculación de aire en la cabina de los aviones consta de varios filtros HEPA (*high-efficiency particulate air*) comparables con los encontrados en “cuartos limpios” de fábricas de manufactura de productos farmacéuticos o salas de operaciones en hospitales (Levitan, 2010). De la misma forma es también esencial que estos sistemas estén regulados por alguna agencia gubernamental para garantizar que su mantenimiento sea adecuado.

Sin embargo, a pesar de los controles mencionados, de vez en cuando se siguen reportando casos de transmisiones infecciosas en los vuelos comerciales demostrando la necesidad de mejorar los sistemas de calidad de aire y la necesidad de entender mejor los mecanismos de transmisión de enfermedades (Sze To, Wan, Chao, Fang, & Melikov, 2009).

Al presente aunque existen estándares publicados por ASHRAE específicamente para la calidad de aire en la cabina de los aviones, no existen regulaciones oficiales de mantenimiento y monitoreo. Como ejemplo, existen reportes continuos de pobre calidad de aire por pasajeros y la tripulación (Spengler & Wilson, 2003). Las quejas van desde incomodidad por temperaturas muy altas o bajas, malos olores y hasta falta de suficiente oxígeno. Al no existir regulaciones concretas, no hay garantía de que esos problemas se resuelvan ya sea con mejores procedimientos de mantenimiento y/o especificación mínima de los filtros utilizados. En el estándar de ASHRAE se recomienda el uso de los filtros HEPA, como mínimo, para garantizar el filtrado eficiente de partículas viables y no viables. De acuerdo con la revista "Insight", varios pilotos entrevistados expresaron su confianza en la tecnología de control de calidad de aire en la cabina de los aviones. Del mismo modo, también expresaron su preocupación por la resistencia de las líneas aéreas a examinar, limpiar y cambiar los sistemas de aire en el período recomendado, ya que el proceso puede tomar medio día lo que representaría menos ganancias para la compañía (Dettmer, 2003).

Hoy en día se le está prestando más atención a las recomendaciones y guías para usar sistemas más eficientes para la filtración de partículas en el aire. Sin embargo, para no comprometer la calidad de aire, los sistemas de ventilación (aires acondicionados y calentadores de aire) deben tener un programa de mantenimiento regular y los filtros de los mismos deben cambiarse según las indicaciones del

manufacturero. Es importante también, prestarle atención a las horas de uso de estos filtros y sistemas (Bekö, 2009).

### **Problema de estudio**

El ambiente dentro de los aviones comerciales es diferente al encontrado en otros espacios comunes ocupados por personas (ASHRAE, 2007). Entre las diferencias se puede mencionar el tipo de población (desde infantes hasta ancianos, desde sanos hasta enfermos) y la alta cantidad de personas por pie cuadrado (densidad). Un aspecto único de este ambiente es que las personas presentes no tienen la posibilidad de salir del mismo como lo harían en otro (ASHRAE, 2007). El problema es que todas las características anteriores hacen que el potencial de riesgo a exposición de esporas y partículas de polvo aumente. Es importante llevar a cabo muestreos de aire para recoger los datos necesarios para evidenciar la presencia de esporas y caracterizar las partículas de polvo en el aire de la cabina y a la vez sirva de base a posibles regulaciones futuras.

### **Justificación del problema**

A través de los años ha aumentado el número de personas que utilizan los aviones como medio de transportación, ya sea por placer o trabajo. Centenares de pasajeros salen cada día del aeropuerto de San Juan, hacia algún lugar de la zona este de los Estados Unidos, en vuelos de aproximadamente 3 a 5 horas promedio. Cada persona que aborda estos aviones tiene el derecho de sentirse confiado de que el aire que respira durante ese período de tiempo es de buena calidad y no es perjudicial a su salud. El llevar a cabo un análisis cuantitativo de esporas de hongos y caracterización de partículas de polvo presente en el aire de la cabina interior de los vuelos comerciales de pasajero ayuda a tener una idea más clara de la calidad del aire que se respira

durante las horas de vuelo. La mayoría de la transmisión aérea de enfermedades se lleva a cabo por propagación por contacto y por transmisión de gotas de residuos, escamas de la piel y esporas de hongos (Morawska, 2006).

También este tipo de análisis ayuda a recoger los datos necesarios para que las distintas líneas aéreas mejoren sus sistemas de control ambiental y los procedimientos de mantenimiento de los mismos. Por último, las agencias reguladoras también se podrían beneficiar del estudio para futuras regulaciones o estándares.

### **Pregunta de investigación**

¿Es salubre la calidad de aire de los aviones comerciales de pasajeros?

¿Cuál es la cantidad de esporas de hongos y de qué están compuestas las partículas de polvo presentes en la cabina de los aviones comerciales?

### **Meta**

Evidenciar la presencia y posible riesgo por exposición de esporas de hongos y realizar una caracterización de las partículas de polvo en el aire dentro de la cabina del avión.

### **Objetivos**

1. Evaluar la presencia de esporas de hongos y partículas de polvo dentro de la cabina del avión para determinar la eficiencia de los controles de ingeniería existentes.
2. Evaluar los resultados obtenidos para establecer el posible riesgo por exposición a esporas de hongos y partículas de polvo en los pasajeros.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### **Trasfondo histórico**

La seguridad de la calidad del aire dentro de la cabina de los aviones comerciales ha sido una preocupación de años y hasta el día de hoy el tema ha creado controversias. Al final del 2001, el uso de aviones comerciales de pasajeros se había cuadruplicado en tres décadas, aumentando también la preocupación de los pasajeros y empleados sobre la calidad de aire dentro de estos vuelos (Spengler & Wilson, 2003). Aproximadamente  $1.5 \times 10^9$  de personas viajan en aviones al año (Leder & Newman, 2005). En los Estados Unidos trabajan aproximadamente 271,000 empleados en los diferentes vuelos aéreos (Estadísticas del Buró de Transportación, 2004). En el 1986, uno de los comités del Consejo Nacional de Investigaciones (NRC, por sus siglas en ingles) presentó un reporte requerido por el Congreso relacionado con la calidad del aire dentro de la cabina de los aviones comerciales de pasajeros (Nazaroff, 2003). En dicho reporte se recomendaba que se eliminara el fumar en los aviones comerciales de pasajeros e indicaba otras preocupaciones de seguridad y salud relacionadas con el aire que respiraban los pasajeros en la cabina del avión. A raíz de este reporte la Administración Federal de Aviación prohibió el fumar dentro de los vuelos comerciales de pasajeros, pero se dio cuenta de que todavía existían muchas interrogantes y quejas de los pasajeros y la tripulación relacionadas con la calidad del aire dentro del avión. Por esta razón, en el año 2000, el Congreso le pidió a la Administración Federal de Aviación (FAA, por sus siglas en ingles) que la NRC ejecutara otros estudios sobre calidad de aire en la cabina del avión para poder contestar las interrogantes que quedaron luego del primer estudio. Por tal razón, en el 2001 se produce el reporte conocido como *The Airliner Cabin Environment and Health of Passenger and Crew*. En

dicho reporte el comité dedicado a la calidad de aire dentro de los aviones de pasajeros revisa, entre otros temas, la evaluación del sistema de calidad ambiental en el avión y el origen de los contaminantes en la cabina del avión (Morton et al., 2002). Entre los contaminantes se mencionan agentes infecciosos y causantes de alergias como lo son los hongos y las partículas de polvo. Estos contaminantes pueden ser originados por los propios pasajeros que los introducen en el avión o del mismo ambiente dentro del avión. En el año 2004, el *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)* llevó a cabo estudios sobre la calidad del aire en general. Estos estudios demostraron que el aire en la cabina del avión era adecuado y cómodo para los pasajeros y empleados según las encuestas llevadas a cabo (IEQ Strategies, 2004). Pero en estos estudios no se realizaron muestreos de aire que incluyera trampas de esporas para determinar la concentración de éstas presentes en el aire. Son muy pocos los estudios que se han realizado sobre las esporas de hongos presentes y los posibles efectos en la salud de los pasajeros y personal del avión que pasan varias horas encerrados dentro del mismo, respirando aire recirculado. La mayoría de los estudios y guías sobre esporas de hongos procedentes de diferentes fuentes, coinciden en que la exposición a las esporas de hongos y otros productos biológicos causan síntomas de salud reales que pueden variar desde reacciones alérgicas leves hasta enfermedades serias que atentan contra la vida (Pinto, 2004).

Por último, los estándares utilizados para evaluar la calidad de aire de los aviones están dirigidos a edificios y otros lugares ocupados por personas. El ambiente de estos lugares es muy diferente al encontrado en la cabina de los aviones. Entre las diferencias podemos citar: la densidad de los ocupantes es alta, el rango de edades de las personas presentes va desde menores de edad hasta ancianos y un aspecto único de este ambiente es que las personas presentes no pueden abandonarlo a diferencia de otros ambientes ocupados por personas (ASHARE, 2007). Recientemente, en mayo de

2008, ASHARE publica por primera vez un estándar (161-2007) específico para la calidad de aire dentro de la cabina de los aviones comerciales de pasajeros. A pesar que este estándar toma en cuenta estas características únicas del ambiente dentro del avión, el tema de partículas de aire y esporas de hongos no se menciona. Sobre este tema lo que menciona el estándar es cómo el sistema de distribución de aire dentro de la cabina minimiza la distribución de contaminantes generados por los pasajeros y requiere que se instalen filtros HEPA (*high efficiency particulate air*) en todos los ductos donde recircule el aire. Sin embargo, enfatiza la importancia de llevar a cabo monitoreo para diferentes contaminantes en la cabina de los pasajeros. Según el estándar 161-2007, llevar a cabo monitoreo de aire cada cierto tiempo es beneficioso por las siguientes razones:

1. Para identificar los contaminantes presentes y su origen lo antes posible.
2. Para evaluar la eficiencia de las medidas de control existentes.
3. Para evaluar la necesidad de mejorar o añadir medidas de control.
4. Para informar a los empleados del avión y de mantenimiento de algún problema presente para poder ser remediado.

Este estándar puede ser adoptado voluntariamente por la Administración Federal de Aviación y cualquier línea aérea que tenga vuelos comerciales de pasajeros. Con la publicación de este primer estándar, a pesar de ser voluntario, las líneas aéreas tienen una mejor idea de cómo asegurar la calidad del aire dentro de la cabina del avión. El realizar estudios y monitoreo de aire dentro de la cabina del avión, además de identificar las partículas presentes en el aire en determinado momento, ayuda a recopilar información necesaria para mejorar este nuevo estándar y así poder asegurar una buena calidad de aire para los pasajeros y empleados que pasan varias horas dentro de la cabina del avión.

## **Marco teórico**

Luego de la incorporación de sistemas de aires que utilizan una combinación del aire exterior con el aire que se recircula en la cabina de los aviones, se han iniciado diferentes estudios para evaluar la calidad de aire dentro de la cabina del avión. Algunos de ellos indican que el haber incorporado aire de afuera en los sistemas de aire de los aviones aumenta la posibilidad de obtener una pobre calidad de aire. Estudios realizados han demostrado que el aire de afuera, cuando el avión alcanza una altura de varios miles de pies, siempre tiene contajes más bajos de material viable que el aire que se recircula dentro del avión (Hocking, 2000), dando a entender que el uso de aire recirculado aumenta la probabilidad de que el aire dentro de la cabina contenga mayor número de contaminantes. Esto ha creado debates en cuanto a la calidad de aire en relación a la mezcla de 50% de aire recirculado y 50% de aire del exterior del avión vs. 100% de aire del exterior del avión. Pero, el uso de 100% de aire de afuera, en el sistema de aire del avión, se ha eliminado porque al utilizar 50:50 se ahorra combustible considerablemente. Este sistema permite que los vuelos se hagan a mayores alturas reduciendo el arrastre y haciendo el trayecto de vuelo más eficiente. Por otro lado, estudios realizados al sistema de ventilación de los aviones demuestra que la mezcla de aire que pasa a través de él es esencialmente estéril (Leder & Newman, 2005).

Para poder comprender qué pasa en realidad con esta mezcla de aire recirculado y aire del exterior hay que conocer un poco del sistema de ventilación del avión y los controles ambientales utilizados. El sistema de aire de los aviones utilizados actualmente está diseñado para proveer un ambiente cómodo y seguro a los pasajeros a elevados pies de altura. La distribución de aire es uno de los factores más importantes en determinar la comodidad térmica de los pasajeros y el transporte de contaminantes en el aire dentro de la cabina del avión (Yuanhui, Yigang, Aijun, Topmiller, & Bennett, 2005).

Para poder lograr este propósito, es necesario presurizar la cabina para permitirle a la tripulación y pasajeros poder respirar normalmente. Por regulaciones del gobierno, la presión de la cabina no puede ser menor del equivalente a la presión del aire del exterior a 8,000 pies de altura (archivos Compañía Boeing).

Cuando el avión alcanza su máxima altura, > 10,000 pies, la temperatura del aire del exterior de la cabina del avión es usualmente alrededor de -55°C y el contenido de humedad es mínimo. La principal fuente de humedad en la cabina de los aviones, cuando están volando, es el aire exhalado por los pasajeros y tripulación, y la evaporación de la transpiración de los mismos. Durante el vuelo del avión, a una altura mayor de 10,000 pies, la humedad relativa se mantiene generalmente entre 14 – 19 % (Strøm-Tejsen, Wyon, Lagercrantz, & Fang, 2007).

La temperatura y la humedad relativa, además de tener un impacto directo en la comodidad de los pasajeros, también afectan el nivel de microorganismos (hongos y bacterias) en el aire los cuales pueden causar infecciones y alergias. Los microorganismos tienen diferentes propiedades a diferentes temperatura y humedad (Xiaoying, Zhongchao, Tay, & Wenqiao, 2006). El control de la humedad sigue siendo el principal regulador de la colonización por hongos en los filtros de aire (Simmons, Price, & Noble, 1997).

A continuación una descripción general del sistema de ventilación y control ambiental en la cabina de los aviones comerciales de pasajeros, según los archivos de la Compañía Boeing. El aire utilizado en la cabina a elevados pies de altura, entra en el motor del avión donde se comprime a altas presiones y se calienta a elevadas temperaturas que sobrepasan los 800°C. Cualquier microorganismo que se encuentre en el aire del ambiente se destruiría a esa temperatura (Leder & Newman, 2005). Luego que se comprime y calienta el aire, parte de éste es enfriado por un *heat exchanger* y según va viajando por los ductos cercanos a las alas del avión, se enfría nuevamente

por las unidades de aire acondicionado. Este aire frío que se libera es bastante seco (de humedad relativa aproximada de 5%), estéril y libre de partículas de polvo (Leder & Newman, 2005). Luego, el aire sigue por los ductos hasta llegar a una cámara donde se mezcla a partes iguales (50:50) con el aire filtrado que viene de la cabina de los pasajeros. Este aire filtrado pasa por filtros HEPA (*high-efficiency particulate air*, por sus siglas en inglés) que pueden atrapar partículas hasta de 0.3  $\mu\text{m}$  de tamaño. Este tipo de filtro es parecido al que se utiliza en los hospitales y en cuartos estériles de las industrias (Hunt et al., 1995). Si se le da el mantenimiento requerido y/o se cambian según las especificaciones del fabricante deberían remover 99.9% de organismos y partículas presentes en el aire (Leder & Newman, 2005). La mezcla de aire (del exterior y recirculado) sigue por los ductos del sistema de aire del avión hasta llegar a la cabina de los pasajeros y sale por los *overhead outlets*. Los aviones utilizados en años anteriores utilizaban 100% aire fresco (de afuera) en su sistema de ventilación. Pero esta práctica terminó en los años 1980 con el fin de reducir costos de operación.

Una vez en la cabina, el flujo de aire se mueve en un patrón circular y sale de la cabina por rejillas localizadas en ambas partes del piso del avión. Este flujo se mantiene continuo en la cabina de los pasajeros. Parte del mismo (la mitad más o menos) es eliminado del avión mediante válvulas (*outflow valves*) que también controlan la presión dentro de la cabina. La otra mitad del flujo de aire es extraída por los abanicos del avión y filtrada por los filtros HEPA para ser mezclada nuevamente con el aire que viene de los compresores del avión. Por lo tanto, el aire que corre por el sistema de ventilación de la cabina debe ser estéril, libre de partículas de polvo y tiene una humedad relativa de 10% a 20% (Hunt et al., 1995).

Usualmente el aire que reciben los pasajeros tiene una temperatura entre 50°F to 70°F (10°C to 21°C). El aire acondicionado es distribuido a través de un sistema diseñado para ofrecer un patrón de aire de techo a piso. Este sistema minimiza el flujo

de aire hacia delante o hacia atrás de la cabina del avión, disminuyendo la posibilidad de exposición a contaminantes provenientes de los pasajeros (Miró & Cox, 2000).

Por otro lado, existen artículos que dejan a sus lectores con otra percepción acerca de la calidad de aire en la cabina del avión. La percepción general es que la calidad de aire de la cabina es muy baja debido a que solo se usa 50% del aire de afuera en lugar de 100% y debido a la incorporación del sistema de recirculación de aire. Entre las percepciones que se mencionan están: la acumulación de agentes contaminantes en el sistema de ventilación y la propagación de enfermedades dentro de la cabina del avión (Hunt & Space, 1995).

Básicamente, si los sistemas de ventilación y de control ambiental del avión están en óptimas condiciones no debería haber ningún problema con la calidad del aire interior de la cabina. El problema es que no existen regulaciones que le requieran a las líneas aéreas llevar a cabo monitoreo de aire en la cabina de los pasajeros para determinar si su sistema de ventilación y de control ambiental está operando como debería. Si los filtros HEPA no se mantienen según las especificaciones del fabricante podrían poner en duda la calidad del aire que se recicla en la cabina interior. Esto aumentaría la probabilidad de presencia de partículas de polvo y esporas de hongos en el aire dentro del avión.

En general, son muchos los factores que influyen la presencia de bioaerosoles y el grado de contaminación del ambiente interior. Entre estos factores se encuentran: la presencia y eficiencia de filtros de aire, el diseño y operación del sistema de circulación de aire, la salud e higiene de los pasajeros, la cantidad de aire recirculado del exterior, el tipo de iluminación, la temperatura del ambiente y la humedad relativa (Maier, Pepper, & Gerba, 2000).

## Estudios de casos

Son muy pocos los estudios que se han realizado sobre las esporas de hongos presentes y los posibles efectos a la salud de los pasajeros y personal del avión que pasan varias horas encerrados dentro del mismo respirando aire recirculado. Hasta la fecha sólo se han realizado cinco estudios en los que se determinen la concentración de hongos en la cabina del avión (Burge et al., 2007; Dumyahn & Muilenburg, 2000; Nagda et al., 1989; Pierce et al., 1999; Wick & Irvine, 1995). De los cinco estudios sólo el de Burge et al., (2007) incluyó en su estudio filtro de esporas. Los demás estudios incluyeron métodos que estudiaban sólo los hongos cultivables, dejando fuera de contexto las esporas de hongos que no crecieran en los medios de cultivo utilizados con posibles efectos en la salud de los pasajeros o empleados (Burge et al., 2007).

Burge et al. (2007) realizaron estudios en 12 vuelos comerciales con el propósito de documentar el género y especie de los hongos cultivables recuperados y la concentración total de esporas de hongos dentro de la cabina del avión. El equipo utilizado para la toma de muestras fue el *N-6 impactor* para los cultivos viables y la trampa de esporas para determinar y caracterizar las esporas de hongos. Además de los muestreos de aire, se tomaron muestras de superficie utilizando hisopos para realizar las muestras de hongos cultivables. Los géneros de hongos cultivables obtenidos en mayor cantidad durante el estudio fueron: *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp. Los géneros que predominaron en los contajes totales de esporas fueron: *Cladosporium* sp., basidiosporas, *Penicillium/Aspergillus* sp. y ascosporas.

En el estudio realizado por Pierce et al. (1999), se utilizaron muestreadores de aire compactos para determinar la concentración de hongos cultivables dentro de la cabina de ocho vuelos comerciales. La concentración de hongos cultivables hallada en el estudio fluctuaba en rangos desde  $<1$  cfu/m<sup>3</sup> hasta 37 cfu/m<sup>3</sup>. Nagda et al. (1989) también utilizaron muestreadores de aire compactos para su estudio de concentración

de hongos dentro de la cabina de los aviones. En este estudio se monitorearon 23 vuelos comerciales en los cuales la concentración de hongos viables recuperados fue de menos de 10 cfu/m<sup>3</sup>.

Dumyahn & Muilenburg (2000), llevaron a cabo estudios dentro de la cabina de los aviones comerciales para determinar la concentración de hongos cultivables presentes. Para su estudio utilizaron muestreadores de aire *Burkard* que utilizan placas de cultivo. Las concentraciones de hongos recuperadas fluctuaban en rangos desde <1 cfu/m<sup>3</sup> hasta 500 cfu/m<sup>3</sup>. En los estudios realizados por Wick & Irvine (1995), utilizaron RCS (*Reuter Centrifugal Air Sampler*) y el promedio de hongos cultivables recuperados fue de 43 cfu/m<sup>3</sup> dentro de 36 vuelos comerciales.

### **Marco legal**

La Administración Federal de Aviación (FAA, por sus siglas en inglés) es la agencia que tiene la autoridad para regular los aviones comerciales. En 1970, el congreso aprobó el *Occupational Safety and Health Act* (OSHA) con el propósito de asegurar condiciones de trabajo seguras a los empleados. En la sección 4(b) (1), se le otorga a las agencias federales la jurisdicción de velar por sus propios empleados. De esta manera la FAA toma la autoridad para velar por la seguridad y salud de los pilotos y de los empleados que trabajan dentro de la cabina del avión (40 FR 29114, 1975). Esta autoridad reguladora sobre la seguridad ocupacional sólo aplica cuando el avión está operando y la tripulación está dentro del avión comercial.

Además de velar por la seguridad y salud de sus empleados, la FAA tiene también la autoridad para proteger la seguridad y salud de los pasajeros que viajan en la cabina del avión (49 USC 40101D y 49 USC 44701A). Por esta razón, la FAA crea especificaciones para asegurar la calidad del aire dentro de la cabina del avión (14 CFR 21, 14 CFR 25, 14 CFR 121 y 14 CFR 125). Pero estas especificaciones sólo regulan

las concentraciones de O<sub>3</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, ventilación y presión dentro de la cabina del avión. No existen regulaciones o estándares específicos para los contaminantes biológicos y partículas de polvo dentro de la cabina. La norma era seguir los estándares de calidad de aire que la ASHRAE asignaba a los edificios o espacios cerrados ocupados por personas. En el caso de las esporas de hongos, no existe uniformidad en las distintas guías existentes para determinar los niveles aceptables de hongos en el aire del ambiente interior de edificios o lugares cerrados. Por esta razón es muy difícil para los profesionales de salud determinar cuál es el nivel de hongos que podría presentar una amenaza para la salud humana (Gots, Layton, & Pirages, 2003).

Recientemente, en mayo del 2008, la ASHRAE publicó por primera vez un estándar específico dirigido a la calidad de aire dentro de la cabina de los aviones comerciales (ASHRAE 161-2007), ya que el ambiente dentro del avión es muy diferente al que encontramos en los edificios u otros lugares ocupados por personas. Este estándar hace referencia a los contaminantes químicos, físicos y biológicos que podrían afectar la calidad de aire dentro de la cabina del avión. Sobre los contaminantes biológicos, el estándar es bastante general y más bien se dirige a los controles ambientales que debería tener el sistema de ventilación. Menciona lo importante que es la instalación de los filtros HEPA en el sistema de recirculación de aire para disminuir la cantidad de partículas de polvo y contaminantes biológicos en el aire dentro de la cabina del avión. También se enfatiza la importancia del mantenimiento de estos sistemas de recirculación y de los controles ambientales establecidos. Por último, el estándar menciona la importancia de llevar a cabo muestreos y monitoreo periódicos del aire que es recirculado dentro de la cabina. Este estándar puede ser adoptado voluntariamente por las líneas aéreas y por la FAA para servirles de guía en futuras regulaciones para asegurar la calidad del aire dentro de la cabina de los aviones comerciales.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

Durante nuestro estudio, evaluamos los datos obtenidos para evidenciar la presencia y posible riesgo por exposición de esporas de hongos y partículas de polvo en el aire dentro de la cabina del avión de 12 vuelos comerciales de pasajeros.

#### **Objetivos:**

1. Evaluar la presencia de esporas de hongos y partículas de polvo dentro de la cabina del avión para determinar la eficiencia de los controles de ingeniería existentes.
2. Evaluar los resultados obtenidos para establecer el posible riesgo por exposición a esporas de hongos y partículas de polvo en los pasajeros.

#### **Periodo del estudio**

Muestreamos un total de 12 vuelos comerciales durante un periodo de cinco meses, desde junio 2009 hasta noviembre 2009.

#### **Área de estudio**

Llevamos a cabo el estudio dentro de la cabina de los aviones comerciales Boeing B757-200 de un solo pasillo con capacidad de acomodar 228 pasajeros. Este tipo de avión consta de *two air cooling packs and 50% recirculation rate* (i.e. una mezcla de 50:50 de aire del exterior con aire recirculado dentro de la cabina). El aire recirculado dentro de la cabina es filtrado por filtros HEPA (*High Efficiency Particulate Air filters*). Estudiamos siete vuelos que salieron desde San Juan hacia Atlanta y cinco vuelos que salieron desde Atlanta hacia San Juan para un total de 12 vuelos comerciales. La duración promedio de cada vuelo fue de 3.5 a 4.0 horas.

## Descripción de la muestra

Para la toma de muestras, utilizamos los *AllergencoD cassette* que consisten en un filtro que actúa como una trampa de esporas lineal con una traza de impacto de 1.1 mm x 14.4 mm. Estos cartuchos o trampas de esporas se utilizan para recoger bioaerosoles presentes en el aire, incluyendo hongos, polen y partículas. El *AllergencoD cassette* va conectado a una bomba de vacío de alto volumen (*High Volume Air Pump*), con reductor de sonido, compacta y operada con baterías. La misma tiene una capacidad de succión de 15 litros de aire por minuto. El método utilizado para el estudio de evaluación de la calidad de aire dentro de la cabina del avión consistió en succionar aire (con la bomba) a través del *AllergencoD cassette* por 5 minutos en tres puntos de muestreo diferentes dentro del avión.

Los tres puntos de muestreo que escogimos para el estudio fueron: la parte delantera, el medio y la parte trasera del avión. Tomamos las primeras dos muestras en la parte delantera de la cabina del avión (primera clase). Una de las muestras la tomamos durante el periodo de embarque de los pasajeros y la otra muestra la tomamos cuando el avión ya había alcanzado una altura de >10,000 pies. Luego, tomamos una segunda muestra en la parte trasera del avión, cerca de las últimas filas de pasajeros. Tomamos la última muestra en el medio de la cabina del avión (clase *coach*). Todas las muestras se tomaron para evaluar la presencia de esporas de hongos y para la caracterización de partículas de polvo. Durante cada muestreo tomamos lecturas de temperatura y humedad relativa.

Para los puntos de muestreo tomamos en cuenta el área donde se ubicó el mayor número de pasajeros y así lograr una muestra representativa. Como muestras de referencia, tomamos una muestra en el exterior del aeropuerto y otra en la sala de espera de los pasajeros (terminal) dentro del aeropuerto. Durante ambos muestreos, tomamos lecturas de temperatura y humedad relativa.

## **Muestreo de temperatura y humedad relativa**

Analizamos los parámetros ambientales como temperatura y humedad relativa en cada punto de muestreo dentro de la cabina del avión. Para las lecturas de temperatura y humedad relativa utilizamos el RT819 *Pocket TH*, instrumento compacto, fácil de utilizar y aprobado por la línea aérea. Además del muestreo regular, tomamos lecturas de temperatura y humedad relativa en los puntos de muestreo de referencia, como el exterior del aeropuerto y en la sala de espera de los pasajeros (terminal) dentro del aeropuerto.

## **Muestreo de partículas de polvo y hongos**

Materiales del muestreo:

1. Bomba de aire de alto volumen (*High Volume Air Pump*)
2. Tubo flexible
3. Rotámetro
4. Cartucho (*AllergencoD cassette*)

Procedimiento del muestreo:

1. Ajustar el flujo de aire de la bomba a una capacidad de 15 litros por minuto.
2. Conectar el *AllergencoD cassette* a la bomba de aire utilizando el tubo flexible.
3. Remover el sello que cubre la entrada (*inlet*) del *cassette*.
4. Colocar el equipo (bomba con tubo y *cassette*) en el área donde se llevará a cabo el análisis de las muestras.
5. Encender la bomba de succionar aire por un periodo de 5 minutos, a 15 litros por minutos para un total de 75L/m.
6. Comenzar el ciclo de colección de aire.

7. Apagar la bomba luego de completar el muestreo y verificar que se muestreó el volumen correcto.
8. Volver a colocar el sello al *cassette*.
9. Colocar cuidadosamente las muestras de aire en un envase plástico y completar el manifiesto de control de calidad.
10. Enviar las muestras del estudio a *RAMS Environmental Laboratory Inc.*, para ser analizadas.

### **Análisis de la muestra**

De acuerdo al procedimiento, enviamos las muestras a un laboratorio externo (*RAMS Environmental Laboratory Inc., Miami, Florida*) para el análisis de éstas. Este laboratorio está acreditado por el *AIHA Proficiency Analytical Testing Programs, LLC* (AIHA PAT Programs, LLC). En el Laboratorio, el analista desmonta el *Allergenco D<sup>TM</sup>* toma la laminilla dentro del mismo y la tiñe para realizar la identificación de las esporas de hongos a nivel de género y caracterizar las diferentes partículas de polvo encontradas.

### **Análisis de datos:**

Tomamos una sola muestra en diferentes puntos específicos dentro y fuera de la cabina del avión. Una vez obtuvimos los resultados del laboratorio indicando la cantidad de esporas o partículas de polvo presentes, desarrollamos gráficas con el total de partículas o esporas de hongos en contra del punto de muestreo. Utilizamos el sistema estadístico de *Excel Data Analysis Tool Pack* en nuestros cálculos.

Por otro lado, una vez obtenidos los resultados de identificación de los hongos y partículas presentes en la cabina del avión, revisamos la literatura para establecer los posibles riesgos a la salud, si alguno. Al presente no existen estándares publicados

para la calidad de aire en la cabina de los aviones, específicamente relacionados con total de esporas de hongos presentes y caracterización de partículas. En el estudio utilizamos como herramienta de comparación muestras del exterior del aeropuerto y muestras en la sala de espera de los pasajeros (terminal) dentro del aeropuerto. Las variables identificadas en el análisis fueron: identificación de hongos según el género científico, caracterización de las partículas, y por último, la cantidad de esporas y partículas en el aire de la cabina del avión.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En nuestro estudio tomamos muestras del aire dentro de la cabina del avión de 12 vuelos comerciales (Boeing B757-200) por un período de cinco meses. Siete de estos vuelos salieron desde San Juan y los otros cinco vuelos salieron desde Atlanta. La duración promedio de cada vuelo fue de 3.5 a 4.0 horas. Analizamos las muestras para detectar la presencia de esporas de hongos y caracterizar las partículas de polvo dentro de la cabina de los aviones. En cada muestreo tomamos lecturas de temperatura y humedad relativa. Los tres puntos de muestreos fueron: la parte delantera, el medio y la parte trasera del avión. En la parte delantera tomamos dos muestras, una durante el embarque y la segunda cuando el avión se encontraba a >10,000 pies de altura. Como muestras de referencia, tomamos una muestra en el exterior del aeropuerto y otra en la puerta de salida de los pasajeros (terminal) dentro del aeropuerto (Figura 1 y Figura 2).

#### **Temperatura y humedad relativa**

Los resultados de las lecturas de temperatura y humedad relativa dentro y fuera de la cabina del avión están enumerados en las Tablas 7 y 8. El promedio de la temperatura en el exterior del aeropuerto de San Juan fue 79.9°F con un promedio 73% de humedad relativa. El promedio de la temperatura en el exterior del aeropuerto de Atlanta fue 80.2°F con un promedio 52.6% de humedad relativa.

Dentro de la cabina de los aviones que salieron de San Juan, la temperatura promedio fue de 78.0°F y el promedio de la humedad relativa fue de <20%. En los aviones que salieron de Atlanta, la temperatura promedio dentro de la cabina fue de 78.5°F con un promedio de humedad relativa de <20%. El rango de lectura del instrumento que utilizamos para medir la humedad relativa era de 20% a 95%, por lo

tanto todas las medidas de humedad relativa que tuvieron una lectura menor de 20% las reportamos como <20%.

La gran cantidad de aire exterior que entra en la cabina del avión es necesaria para controlar la temperatura dentro de la cabina del avión para asegurar un ambiente confortable a los pasajeros. De acuerdo a la sección 7 del *ANSI/ASHRAE Standard 55-2004* y al *ANSI/ASHRAE Standard 161-2007*, la temperatura dentro del avión debe mantenerse entre 65°F y 75°F. En nuestro estudio la temperatura dentro de la cabina se registró varios grados por encima de los límites establecidos (Tablas 7 y 8). La temperatura más alta que registramos dentro de la cabina fue de 83.6°F.

No existen estándares para establecer el mínimo del por ciento de humedad relativa dentro de la cabina del avión debido a los requisitos de seguridad establecidos para la cantidad de aire exterior necesaria para la mezcla de aire interior con el aire exterior en el sistema de ventilación de la cabina. El nivel más alto de humedad relativa permitido por seguridad dentro de la cabina del avión durante horas de vuelo es menor que el límite más alto establecido para la comodidad de los pasajeros, por lo tanto el *ANSI/ASHRAE Standard 161-2007* (estándar específico para la cabina de aviones comerciales) no especifica el límite máximo de humedad relativa permitido. En nuestro estudio, el por ciento de humedad relativa promedio fue de <20% en los vuelos que salieron de San Juan y Atlanta.

### **Contaje de esporas y caracterización de partículas**

Los resultados del contaje de esporas y partículas de polvo dentro de la cabina de los vuelos comerciales están enumerados en las Tablas 1 – 4. Tomamos muestras de 5 minutos en cada punto de muestreo utilizando los *AllergencoD cassette* adjunto a una bomba de aire de alto volumen (*High Volume Air Pump*) que succiona 15 litros de aire por minuto. En cada tabla, los resultados están listados en las columnas y están

separados por puntos de toma de muestra: parte delantera (embarque y >10,000 pies de altura), medio y parte trasera. Convertimos los resultados de los contajes de esporas de hongos y partículas a contaje/m<sup>3</sup> para estar en acorde con la unidad de medida utilizada en las guías de referencia para el contaje sugerido de partículas en el ambiente interior.

En los resultados de las Tablas 1 y 2 (vuelos San Juan hacia Atlanta) hubo fechas en las que no se pudo tomar la muestra debido a medidas de seguridad de la línea aérea. El 10/13/09 y el 11/10/09 no pudimos tomar muestras en la parte del medio del avión. El 10/13/09 no tomamos la muestra de la parte trasera del avión. Por último, el 11/10/09 no tomamos muestras durante el embarque. Para lograr este estudio necesitábamos completar los siguientes objetivos:

**Evaluar la presencia de esporas de hongos y partículas de polvo dentro de la cabina del avión para determinar la eficiencia de los controles de ingeniería existentes.**

Las Tablas 1 y 5 presentan los datos de esporas de hongos obtenida de siete vuelos que salieron del aeropuerto de San Juan, Puerto Rico, los cuales incluyen los contajes del exterior e interior del aeropuerto (área de la puerta de salida de los pasajeros). Obtuvimos un número total de 35,880 esporas/m<sup>3</sup> en el exterior del aeropuerto y un total de 9,204 esporas/m<sup>3</sup> en el área de la puerta de salida en el interior del aeropuerto. El promedio de esporas en el interior del aeropuerto fue de 1,315 esporas/m<sup>3</sup>, en rangos desde 0 hasta 5,252 esporas/m<sup>3</sup>. Los contajes asociados al exterior del aeropuerto tuvieron un promedio de 5,126 esporas/m<sup>3</sup>, en rangos desde 0 hasta 24,188 esporas/m<sup>3</sup>.

Las Tablas 3 y 5 presentan los datos de esporas de hongos obtenida de cinco vuelos que salieron del aeropuerto de Atlanta, Georgia que incluyen los contajes del exterior e interior del aeropuerto (área de la puerta de salida de los pasajeros).

Obtuvimos un número total de 9,256 esporas/m<sup>3</sup> en el exterior del aeropuerto y un total de 468 esporas/m<sup>3</sup> en el área de la puerta de salida en el interior del aeropuerto. El promedio de esporas en el interior del aeropuerto fue de 94 esporas/m<sup>3</sup>, en rangos desde 0 hasta 208 esporas/m<sup>3</sup>. Los contajes asociados al exterior del aeropuerto tuvieron un promedio de 1,851 esporas/m<sup>3</sup>, en rangos desde 520 hasta 3,172 esporas/m<sup>3</sup>.

Las Tablas 2 y 6 presentan los datos de partículas obtenidas de siete vuelos saliendo del aeropuerto de San Juan, Puerto Rico incluyendo los contajes del exterior e interior del aeropuerto (área de la puerta de salida de los pasajeros). Obtuvimos un número total de 209,196 partículas/m<sup>3</sup> en el exterior del aeropuerto y un total de 139,992 partículas/m<sup>3</sup> en el área de la puerta de salida en el interior del aeropuerto. El promedio de partículas en el interior del aeropuerto fue de 19,990 partículas/m<sup>3</sup>, comenzando en 2,340 hasta 67,496 partículas/m<sup>3</sup>. Los contajes asociados al exterior del aeropuerto tuvieron un promedio de 29,885 partículas/m<sup>3</sup>, en rangos desde 3,640 a 66,664 partículas/m<sup>3</sup>.

Las Tablas 4 y 6 presentan resultados de la presencia de partículas obtenidas de cinco vuelos saliendo del aeropuerto de Atlanta, Georgia donde se incluyen los contajes del exterior e interior del aeropuerto (área de la puerta de salida de los pasajeros). Obtuvimos un número total de 89,908 partículas/m<sup>3</sup> en el exterior del aeropuerto y un total de 67,288 partículas/m<sup>3</sup> en el área de la puerta de salida en el interior del aeropuerto. El promedio de partículas en el interior del aeropuerto fue de 13,457 partículas/m<sup>3</sup>, en rangos desde 9360 hasta 17,056 partículas/m<sup>3</sup>. Los contajes asociados al exterior del aeropuerto tuvieron un promedio de 17,981 partículas/m<sup>3</sup>, en rangos desde 8,216 hasta 24,076 partículas/m<sup>3</sup>.

Como era de esperarse, el número total de partículas y esporas de hongos obtenido fuera del aeropuerto fue más alto que el encontrado en la puerta de salida de

los pasajeros (Tablas 5 y 6). Utilizamos el conteo total de partículas obtenida en los diferentes puntos de muestreos para calcular el por ciento de hongos presentes en cada uno de ellos. Estos porcentajes fueron separados entre los vuelos de San Juan hacia Atlanta y los de Atlanta hacia San Juan (Figura 3 y Figura 5). En los resultados de la Figura 3, vuelo de San Juan hacia Atlanta, encontramos que el porcentaje de esporas de hongos disminuye de 14.6% (exterior del aeropuerto) a 6.2% (área de la puerta de salida de pasajero). Durante el embarque el porcentaje de esporas de hongos baja a 1.4%. En este período las puertas de la cabina del avión están abiertas y hay constante movimiento de pasajeros. Ya cerradas las puertas del avión, los resultados de los porcentajes de esporas de hongos disminuyen a menos de 1%. A pesar de tener conteos tan bajos, en la parte del medio de la cabina aumentaron los porcentajes de hongos a una altura mayor de 10,000 pies (Figura 3). En el caso de los vuelos desde Atlanta hacia San Juan, los resultados variaron un poco. El porcentaje de esporas de hongos disminuye entre el exterior del aeropuerto y la salida de los pasajeros, de 9.3% a 1.4%. Durante el embarque el porcentaje de esporas de hongos sufre un aumento mínimo de 1.4% a 1.5%. Ya dentro de la cabina, a más de 10,000 pies de altura el porcentaje de esporas de hongo es menor de 1%. El leve aumento de esporas dentro de la cabina se notó en la parte trasera con un porcentaje bajo de 0.9% (Figura 5).

**Evaluar los resultados obtenidos para establecer el posible riesgo por exposición a esporas de hongos y partículas de polvo en los pasajeros.**

Como parte del análisis, las esporas encontradas dentro de la cabina fueron identificadas según el género científico por el laboratorio *RAMS Environmental Laboratory Inc.* Esto nos permitió tener una idea de la variedad de hongos existentes dentro de la cabina de avión. Calculamos el porcentaje de cada género de hongos de acuerdo al total de esporas de hongos encontrado dentro de la cabina de los vuelos de

San Juan hacia Atlanta (Figura 7) y los de la cabina de los vuelos de Atlanta hacia San Juan (Figura 8). El 46% de las esporas encontradas en la cabina de los vuelos de San Juan hacia Atlanta perteneció a los géneros *Penicillium/Aspergillus*, seguido por ascosporas con un 35.1 %. Otras esporas identificadas fueron: *Myxomycetes / Periconia / Rusts / Smuts* con 8.1%, esporas no identificadas con 5.4%, *Curvularia* con 2.7% y fragmentos de hifas con 2.7%.

En el caso de los vuelos de Atlanta a San Juan los resultados con cantidades mayores fueron invertidos, 33.3% de ascosporas y 27.8% de *Penicillium/Aspergillus*. El resto de los porcentajes se dividió de la siguiente manera: *Cladosporium* 14%, basidiosporas 11.1%, esporas no identificadas 5.6%, *Drechslera / Bipolaris / Helminthosporium* 2.8%, *Alternaria* 2.7% y *Curvularia* 2.7%. En estos vuelos se reportaron mayor variedad de hongos que los reportados en los vuelos que salieron desde San Juan.

El tipo de esporas encontradas en mayor porcentaje tanto en los vuelos que salieron de San Juan como en los vuelos desde Atlanta fueron las de *Penicillium/Aspergillus* y ascosporas. *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp. son dos géneros de hongos que se encuentran en muchos lugares y se distribuyen fácilmente. Mayormente crecen en los suelos y en plantas desintegradas (Kowalski, 2000). *Penicillium* y *Aspergillus* son alérgenos comunes y constan de una amplia gama de especies tanto en ambientes interiores como exteriores (Gots, Layton, & Pirages 2003). Como la identificación de ambos se realiza sólo mediante las características microscópicas de las esporas, las mismas son tan similares que el laboratorio no las puede diferenciar la una de la otra. Tendrían que tener un cultivo viable de los hongos para poder observar otras características microscópicas diferentes entre ellos. Al ser identificados de esta manera (sólo con la morfología de la espora), solamente pueden identificar los hongos a nivel de género, lo que nos limita ya que necesitamos saber la

especie de los hongos para poder clasificarlos como patógenos humanos. En el caso de las ascosporas resulta igual, necesitaríamos saber a qué género y especie pertenecen para poder catalogarlas. Pero en general, las ascosporas se encuentran en todas partes especialmente en los lugares de alta humedad.

Finalmente, comparamos el contaje total de géneros de esporas encontradas dentro de la cabina de los aviones que salieron de San Juan y los que salieron de Atlanta (Figura 9 y Figura 10). En ambos casos obtuvimos el mayor número de esporas de hongos durante el embarque, siendo el género *Penicillium/Aspergillus* el de mayor contaje en ambas rutas de vuelo.

De los datos registrados en la Tabla 2 y Tabla 4, separamos las cantidades de cada muestreo y las clasificamos por la caracterización de las partículas obtenidas. De todas las partículas presentes, analizamos las cuatro clases de partículas encontradas en mayor cantidad y comparamos los resultados obtenidos entre los vuelos saliendo de San Juan y los que salen de Atlanta (Figura 11 y Figura 12). En ambas rutas de vuelo, las partículas presentes en mayor cantidad presentaron las mismas características. Las clases de partículas no-viables que encontramos en mayor cantidad en ambas fueron: células de la piel, seguida por materiales carbonosos, fibras naturales y por último, fibras sintéticas. Las células de la piel se encontraron en mayor cantidad durante el embarque. En los resultados obtenidos durante horas de vuelos a una altura mayor de 10,000 pies, notamos un contaje similar entre la parte delantera y trasera de la cabina del avión para ambas rutas de vuelo, mientras que en el centro de la cabina el contaje de células de la piel disminuyó. En el caso de los materiales carbonosos, observamos un contaje constante entre el número de partículas encontradas durante el embarque, parte delantera y parte trasera de la cabina, en la ruta de vuelos que salieron de San Juan. En la parte central del avión, observamos una leve disminución en el contaje de materiales carbonosos. En la ruta de vuelos que salieron de Atlanta, la cantidad de

partículas de materiales carbonos se mantuvo bastante uniforme en las tres áreas de la cabina cuando el avión se encontraba a más de 10,000 pies de altura. Durante el embarque la cantidad de estas partículas fue mayor. Por otra parte, la cantidad de fibras naturales y sintéticas se mantuvo uniforme durante el embarque y horas de vuelo del avión. Otras partículas encontradas en el estudio fueron: polen, almidón, pelo humano, gotas de tinta y polvo. El porcentaje encontrado de estas partículas no-viables fue de 1% o menos de la cantidad total de partículas.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La meta de esta investigación fue evaluar el grado relativo de la calidad de aire durante los vuelos comerciales desde San Juan hacia Atlanta y viceversa. Para lograrlo, llevamos a cabo una serie de estudios cuantitativos y de caracterización de partículas no-viables y esporas de hongos durante un periodo de cinco meses en el año 2009.

*RAMS Environmental Laboratory, Inc.*, laboratorio acreditado por el AIHA *Proficiency Analytical Testing Programs, LLC (AIHA PAT Programs, LLC)*, localizado en Miami Florida, analizó las muestras tomadas mediante la caracterización de las partículas de polvo e identificación a nivel de género de esporas de hongos encontradas. La ventaja de la caracterización de partículas de polvo es que permite identificar de dónde provienen las mismas, ya sea de la calle, esporas, células de piel muerta o fibras, entre otras fuentes. Por otro lado, el beneficio de identificar a nivel de género las esporas de los hongos es que nos proveen la fuente de procedencia de los mismos. Por ejemplo, si las esporas derivan del aire, del suelo, de humanos o de otros tipos de ambientes. Estudiar la relación entre los bioaerosoles encontrados en el ambiente interior y el exterior es importante y necesario para entender el transporte y deposición de los contaminantes biológicos en el ambiente interior (Menetrez, Foarde, & Ensor, 2001).

Luego de analizar los datos obtenidos en nuestro estudio, llegamos a las siguientes conclusiones: Primero, el contaje total de esporas de hongos y partículas no-viables fue disminuyendo considerablemente desde el exterior del aeropuerto, seguido por el contaje obtenido en el área de la puerta de salida, el interior de la cabina durante el embarque y por último, observamos los resultados más bajos en el interior de la

cabina durante horas de vuelo. Estos resultados demuestran la eficiencia de los controles ambientales existentes dentro de la cabina de los vuelos comerciales que salen de San Juan hacia Atlanta monitoreados durante este estudio.

Segundo, el porcentaje de esporas de hongos encontradas durante el estudio, dentro de la cabina de los aviones durante horas de vuelo a una altura mayor de 10,000 pies, es menor de 1% comparado con el porcentaje total de esporas obtenidas. Durante el embarque de los vuelos comerciales que salieron desde San Juan, el por ciento de esporas recuperadas disminuyó comparado con el área de la puerta de salida de los pasajeros en el interior del aeropuerto. Sin embargo, en el caso de los aviones saliendo desde Atlanta, el porcentaje de esporas obtenidas en el embarque dentro de la cabina del avión aumentó, comparado con el área de la puerta de salida de los pasajeros. Las concentraciones de esporas de hongos encontradas a través del estudio variaron considerablemente en rangos desde 0 esporas/m<sup>3</sup> hasta 312 esporas/m<sup>3</sup> durante las horas de vuelo de los aviones comerciales.

Tercero, las clases de hongos encontrados en mayor cantidad pertenecían a los géneros *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp., según las identificaciones realizadas por el laboratorio. Estos tipos de hongos crecen en los suelos y plantas desintegradas. Ambos géneros se consideran alérgenos comunes.

Cuarto, en ambas rutas de vuelo las partículas presentes en mayor cantidad presentaron las mismas características. Al caracterizar los tipos de partículas encontradas, las células de la piel, seguidas por los materiales carbonosos, fibras naturales y fibras sintéticas fueron las encontradas en mayor cantidad.

Por último, en las Figuras 9 y 10, notamos un patrón similar en la cantidad y clase de partículas no-viables encontradas, tanto en los vuelos comerciales que salen de San Juan, como en los vuelos que salieron desde Atlanta.

Al analizar los resultados de este estudio debemos considerar las siguientes limitaciones estudios futuros:

- Las medidas de seguridad de vuelo impuestas por las leyes que regulan las líneas aéreas limitan las posibilidades de localización, frecuencia y duración de los muestreos.
- Restricciones de la oficina del Departamento Ambiental de la aerolínea.
- El método de Trampa de esporas utilizado identifica los hongos sólo a nivel de género o lo ubica en un grupo categórico amplio. Algunas esporas no se pueden diferenciar de otras debido a la similitud en tamaño y color.
- Al ser identificados de esta manera (sólo con la morfología de la espora), sólo pueden identificarse los hongos a nivel de género, lo que nos limita ya que necesitamos saber la especie de los hongos para poder clasificarlos como patógenos humanos. En el caso de las ascosporas resulta igual, necesitaríamos saber a qué género y especie pertenecen para poder catalogarlas.
- Con el método de trampa de esporas no se puede determinar la viabilidad de las esporas.
- No existen en el presente guías numéricas estrictas para evaluar si la contaminación por esporas de hongos en un área específica es aceptable o no.
- Solo tomamos una muestra en cada punto de muestreo (no muestras repetitivas en el mismo punto) lo que podría subestimar la contaminación por hongos, ya que la cantidad de esporas presentes en el aire varía de acuerdo al flujo de aire, humedad y temperatura, entre otros.

En nuestro estudio comparamos los resultados y llegamos a la conclusión de que es salubre la calidad de aire de los aviones comerciales de pasajeros. Finalmente concluimos, basado en una evaluación comparativa de cantidad y caracterización de

partículas de polvo y esporas de hongos, que la calidad de aire dentro de la cabina de los aviones comerciales entre San Juan y Atlanta es mejor que el encontrado en las áreas de espera de los aeropuertos y el exterior de los mismos. Los datos demuestran un sistema de control de partículas de aire y esporas de hongos eficaz dentro de la cabina de los aviones comerciales estudiados.

La trampa de esporas utilizadas en nuestro estudio tiene sus ventajas, entre ellas se puede mencionar las siguientes:

- El resultado es obtenido más rápido ya que las muestras se analizan inmediatamente sin tener que esperar por los días de incubación requeridos al utilizar equipo con medios de cultivo. De esta forma se reduce el costo de las pruebas.
- Útiles para pruebas iniciales de aire, especialmente cuando no es visible el crecimiento de hongos. Nos revelan la presencia de los hongos ocultos.
- Son fáciles de manejar y usar en el campo de estudio.
- Poca probabilidad de contaminación de la muestra.
- Estas trampas atrapan la mayoría de las esporas presentes en el aire incluyendo las que ya no sean viables y las especies que no crecen en medios de cultivo.
- No requieren preservación.

Pero, para futuros estudios, recomendamos utilizar varios métodos de muestreo de aire combinados con inspección visual del área. Cuando utilizamos medios de cultivos para la toma de muestras de aire, el método mayormente utilizado es el que utiliza muestreadores de impacto de aire. Con este método las partículas viables en el aire impactan el medio de cultivo durante el proceso de muestreo, son retenidas en la

superficie del mismo y eventualmente crecen luego de un periodo de incubación (Sutton, 2008).

Otra recomendación es obtener identificación completa de los hongos encontrados (a especie) para determinar la presencia de patógenos humanos. Y por último realizar monitoreo de aire para presencia de CO y CO<sub>2</sub>. En general, los aviones de vuelos comerciales pueden mantener una calidad de aire aceptable y disminuir la posibilidad de contaminación dentro de la cabina si mantienen en efecto las siguientes recomendaciones: llevar a cabo el mantenimiento de sus aviones, especialmente el del sistema de aire, con la regularidad necesaria de acuerdo a sus procedimientos, cambiar los filtros HEPA según las recomendaciones del fabricante, dependiendo de las horas de vuelo. Por último, se debe orientar a los pasajeros acerca de la importancia de reportar cualquier problema de salud que pueda poner en riesgo la salud de los otros pasajeros. Para poder lograr este objetivo, es esencial que estos sistemas estén regulados por alguna agencia gubernamental para garantizar que su mantenimiento y monitoreo sea adecuado.

## LITERATURA CITADA

- 14 Code of Federal Regulation (CFR). 21, 25, 121 & 125. octubre 21, 2008 de:  
<http://ecfr.gpoaccess.gov>.
- Aijun, W., Yuanhui, Z., Jennifer, L., T., Bennett, J., & Dunn, K. (2006). Tracer study of airborne disease transmission in an aircraft cabin mock-up. *ASHRAE Transactions*, 112(2), 697-705. Retrieved from Academic Search Complete database.
- Aircraft Cabin Air OK. (2004). *Indoor environment quality strategies*, 17(11): 7-8.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2007). *Air quality within commercial aircraft*. ANSI/ASHARE Standard 161-2007.
- Archivos Compañía Boeing. *Cabin air environment*. Recuperado de:  
<http://www.boeing.com/commercial/cabinair/index.html>.
- Bekö, G. (2009). Used filters and indoor air quality. *ASHRAE Journal*, 51(3), 64-6, 68, 70-2. Retrieved from Applied Science Full Text database.
- Bengt, L., & Berit, R. (2008). Safety ventilation in cleanrooms. In R. Prince (Ed), *Microbiology in pharmaceutical manufacturing* (pp1-17). River Grove, IL: DHI Publishing.
- Burge, H., McKernan, L., Wallingford, K., Hein, M. & Herrick, R. (2007). Evaluating fungal populations by genera/species on wide body commercial passenger aircraft and in airport terminals. *Annual Occupational Hygiene Society*. Vol. 51. Oxford University Press.
- Cheng, X., Tay, R., Tan, Z., & Yuan, W. (2006). Air quality in transportation cabins – part I: how much do we know about it? *ASHARE Transactions*, 112: 505-517.
- Dettmer, J. (2003). How good is the air up there?. *Insight on the News*, 19(12), 22. Retrieved from Academic Search Complete database.
- Does airplane cabin air make us sick? (2004). *Indoor Environment Quality Strategies*, 17(1): 12-13.
- Dumyahn T., & Muilenburg, M. (2000). Comparison of the environments of transportation vehicle: results of two surveys. *Air quality and comfort in airliner cabins*. West Coshohocken.
- Estadísticas del Buró de Transportación. (2004). Recuperado de:  
[http://www.bts.gov/xml/air\\_traffic/src/index.xml](http://www.bts.gov/xml/air_traffic/src/index.xml).

- Gao, N., & Niu, J. (2008). Improvement of facial humidity and reduction of pollutant inhalation in commercial aircraft cabins via application of personalized ventilation. *ASHRAE Transactions*, 114(2), 37-44. Retrieved from Academic Search Complete database.
- Gots, R., Layton, N., & Pirages, S. (2003). Indoor health: background levels of fungi. *AIHA Journal*, 64(4), 427-38. doi: 10.1080/15428110308984836.
- Hocking, M. (2000). Passenger aircraft cabin air quality. *Environmental Science and Pollution Res.*, 7(3): 173-174.
- How dangerous is airline cabin air? (2005) *Indoor Environment Quality Strategies*, 18(6): 7-7.
- Hunt, E., Reid, D., Space, D. & Tilton, F. (1995). Commercial airline environmental control system: engineering aspects of cabin-air quality. Aerospace Medical Association Annual Meeting. Anaheim, California.
- Hunt, E., Space, D. (1995). The airplane cabin environment: issues pertaining to flight attendant comfort. Aerospace Medical Association Annual Meeting. Anaheim, California.
- Kowalski, W. (2000). Indoor mold growth: health hazards and remediation. *Heating/Piping/Air Conditioning Engineering*, 72(9), 80-3. Retrieved from Applied Science Full Text database.
- Leder, K., & Newman, D. (2005). Respiratory infections during air travel. *Internal Medicine Journal*, 35(1), 50-55. doi:10.1111/j.1445-5994.2004.00696.x.
- Levitan, D. (2010). The Air up there. *Psychology Today*, 43(1), 47. Retrieved from Academic Search Complete database.
- Lindgren, T., Norbäck, D. (2005). Health and perception of cabin air quality among Swedish commercial airline crew. *Indoor Air*, 15: 65-72.
- Maier, R., Pepper, I., & Gerba, C. (2000). Aeromicrobiology. *Environmental Microbiology* (pp91-122). San Diego, CA: Academic Press Publishing.
- Mangili, A., & Gendreau, M. (2005). Transmission of infectious diseases during commercial air travel. *Lancet*, 365(9463), 989-996. Retrieved from Academic Search Complete database.
- Menetrez, M., Foarde, K., & Ensor, D. (2001). An analytical method for the measurement of nonviable bioaerosols. *Journal of the Air & Waste Management Association* (1995), 51(10), 1436-42. Retrieved from Applied Science Full Text database.
- McKernan, L., Kenneth, W., Hein, M., Burge, H., Rogers, C., & Herrick, R. (2008). Monitoring microbial populations on wide-body commercial passenger aircraft. *British Occupational Hygiene Society*. Publicado por la Universidad de Oxford.

- Miró, C., & Cox, J. (2000). Evaluating aircraft air cabin quality. *ASHRAE Journal*, 42(9), 12. Retrieved from Applied Science Full Text database.
- Morawska, L. (2006). Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection?. *Indoor Air*, 16(5), 335-347. doi:10.1111/j.1600-0668.2006.00432.x.
- Morton, L., Harriet, B., Jones, B., Macher, J., Morgan, M., & Nazaroff, W. (2002). Environmental controls. The airliner cabin environment and the health of passenger and crew. National Academy Press. Washington, DC.
- Nagda, N., Koontz, M., Baker, S., & Ginevan, M. (1989). Airliner cabin environment: contaminant measurements, health risks, and mitigation options. Report no. DOT-P-15-89-5. Washington, DC: US Department of Transportation.
- Nazaroff, W. (2003). Cabin air quality. 108<sup>th</sup> Congress (First Session). U.S. House of Representatives.
- Occupational Safety & Health Administration. Sec 4(b)(1) Recuperado de:  
<http://www.osha.gov>.
- Persily, A., & Hewett, M. (2010). Using ASHRAE's new IAQ guide. *ASHRAE Journal*, 52(5), 75-6, 78, 80, 82. Retrieved from Applied Science Full Text database.
- Pierce, W., Roethlisberger, B., Janczewski, M. (1999). Air quality on commercial aircraft. *ASHRAE Journal*; Sept.:26-32.
- Pinto, M. (2004). A reasoned approach to mold contamination. *Professional Safety*, 49(3), 46-8. Retrieved from Applied Science Full Text database.
- Qingyan, C., & Xianting, L. (2006). Advanced systems and equipment for the indoor environment: selected papers from Indoor air 2005 conference. *HVAC&R Research*, 12(3c), 821-823. Retrieved from Academic Search Complete database.
- Sergey, G., Adhikari, A., Cho, S., Kin, K., Lee, T., & Reponen, T. (2007). A small change in the design of a slit bioaerosol impactor significantly improves its collection characteristics. *Journal of Environmental Monitoring*, 9: 855-861.
- Simmons, R., Price, D., & Noble, J. (1997). Fungal colonization of air filters from hospitals. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 58, 900-4. Retrieved from Applied Science Full Text database.
- Spengler, J., Wilson, D. (2003). Air quality in aircraft. *Journal of Process Mechanical Engineering*, 217: 323-335.
- Strøm-Tejsen, P., Wyon, D., Lagercrantz, L., & Fang, L. (2007). Passenger evaluation of the optimum balance between fresh air supply and humidity from 7-h exposures in a simulated aircraft cabin. *Indoor Air*, 17(2), 92-108. doi:10.1111/j.1600-0668.2006.00458.x.
- Sutton, S., (2008). Cleanroom microbiology. In J. Moldenhauer (Ed), *Environmental monitoring, a comprehensive handbook* (pp97-118). River Grove, IL: DHI Publishing.

- Sze To, G., Wan, M., Chao, C., Fang, L., & Melikov, A. (2009). Experimental study of dispersion and deposition of expiratory aerosols in aircraft cabins and impact on infectious disease transmission. *Aerosol Science & Technology*, 43(5), 466-485. doi:10.1080/02786820902736658.
- Tengfei, Z., Qingyan-Yan, C., & Chao-Hsin, L. (2007). Optimal sensor placement for airborne contaminant detection in an aircraft cabin. *HVAC&R Research*, 13(5), 683-696. Retrieved from Academic Search Complete database.
- Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Atlanta. ANSI/ASHARE Standard 55-2004.
- Walkinshaw, D. (2010). Germs, flying, and the truth. *ASHRAE Journal*, 52(4), 70-73. Retrieved from Academic Search Complete database.
- Wick, R., & Irvine, L. (1995). The microbiological composition of airliner cabin air. *Aviation Space Environmental Med.*, 66: 220-224.
- Xiaoying, C., Zhongchao, T., Tay, R., & Wenqiao, Y. (2006). Air quality in transportation cabins-- Part I: How much do we know about it?. *ASHRAE Transactions*, 112(2), 505-517. Retrieved from Academic Search Complete database.
- Yigang, S., Yuanhui, Z., Aijun, W., Topmiller, J., & Bennet, J. (2005). Experimental characterization of airflows in aircraft cabins, Part I: Experimental system and measurement procedure. *ASHRAE Transactions*, 111(2), 45-52. Retrieved from Academic Search Complete database.
- Yuanhui, Z., Yigang, S., Aijun, W., Topmiller, J., & Bennett, J. (2005). Experimental characterization of airflows in aircraft cabins, Part II: Results and research recommendations. *ASHRAE Transactions*, 111(2), 53-59. Retrieved from Academic Search Complete database.
- Zhang, Y., Sun, Y., Wang, A., Topmiller, J., & Bennett, J. (2005). Experimental characterization of airflows in aircraft cabins, Part II: Results and research recommendations. *ASHARE Transactions*, 111: 53-59.

## TABLAS

Tabla 1.

*Cantidad de esporas de hongos presentes dentro de la cabina de los aviones comerciales que salieron de San Juan hacia Atlanta.*

Parte delantera				
Fecha	Embarque		>10,000 pies de altura	
	esporas (contaje)	esporas (contaje/m <sup>3</sup> )	esporas (contaje)	esporas (contaje/m <sup>3</sup> )
06/23/09	20	260	12	156
08/04/09	0	<13	0	<13
08/24/09	16	208	0	<13
09/01/09	0	<13	0	<13
09/29/09	56	728	0	<13
10/13/09	0	<13	0	<13
11/10/09	NA	NA	0	<13
Medio				
Fecha	esporas (contaje)	esporas (contaje/m <sup>3</sup> )		
06/23/09	8	104		
08/04/09	0	<13		
08/24/09	0	<13		
09/01/09	0	<13		
09/29/09	20	260		
Parte trasera				
Fecha	esporas (contaje)	esporas (contaje/m <sup>3</sup> )		
06/23/09	16	208		
08/04/09	0	<13		
08/24/09	0	<13		
09/01/09	0	<13		
09/29/09	0	<13		
11/10/09	0	<13		

Tabla 2.

*Cantidad de partículas no-viables presentes dentro de la cabina de los aviones comerciales que salieron de San Juan hacia Atlanta.*

Parte delantera				
Fecha	Embarque		>10,000 pies de altura	
	partículas (contaje)	partículas (contaje/m <sup>3</sup> )	partículas (contaje)	partículas (contaje/m <sup>3</sup> )
06/23/09	796	10348	524	6812
08/04/09	728	9464	396	5148
08/24/09	972	12636	1200	15600
09/01/09	804	10452	576	7488
09/29/09	664	8632	532	6916
10/13/09	2500	32500	1032	13416
11/10/09	NA	NA	1448	18824
Medio				
Fecha	partículas (contaje)	partículas (contaje/m <sup>3</sup> )		
06/23/09	296	3848		
08/04/09	856	11128		
08/24/09	856	11128		
09/01/09	764	9932		
09/29/09	260	3380		
Parte trasera				
Fecha	partículas (contaje)	partículas (contaje/m <sup>3</sup> )		
06/23/09	984	12792		
08/04/09	1180	15340		
08/24/09	784	10192		
09/01/09	1308	17004		
09/29/09	1000	13000		
11/10/09	540	7020		

Tabla 3.

*Cantidad de esporas de hongos presentes dentro de la cabina de los aviones comerciales que salieron de Atlanta hacia San Juan.*

Parte delantera				
Fecha	Embarque		>10,000 pies de altura	
	esporas (contaje)	esporas (contaje/m <sup>3</sup> )	esporas (contaje)	esporas (contaje/m <sup>3</sup> )
07/02/09	40	520	8	104
07/31/09	0	<13	0	<13
08/28/09	12	156	0	<13
10/09/09	44	572	0	<13
11/06/09	0	<13	0	<13
Medio				
Fecha	esporas (contaje)	esporas (contaje/m <sup>3</sup> )		
07/02/09	0	<13		
07/31/09	4	52		
08/28/09	0	<13		
10/09/09	4	52		
11/06/09	0	<13		
Parte trasera				
Fecha	esporas (contaje)	esporas (contaje/m <sup>3</sup> )		
07/02/09	8	104		
07/31/09	0	<13		
08/28/09	0	<13		
10/09/09	24	312		
11/06/09	0	<13		

Tabla 4.

*Cantidad de partículas no-viables presentes dentro de la cabina de los aviones comerciales que salieron de Atlanta hacia San Juan.*

Parte delantera				
Fecha	Embarque		>10,000 pies de altura	
	partículas (contaje)	partículas (contaje/m <sup>3</sup> )	partículas (contaje)	partículas (contaje/m <sup>3</sup> )
07/02/09	1640	21320	660	8580
07/31/09	468	6084	352	4576
08/28/09	788	10244	392	5096
10/09/09	1148	14924	500	6500
11/06/09	2108	27404	1324	17212
Medio				
Fecha	partículas (contaje)	partículas (contaje/m <sup>3</sup> )		
07/02/09	384	4992		
07/31/09	172	2236		
08/28/09	372	4836		
10/09/09	588	7644		
11/06/09	616	8008		
Parte trasera				
Fecha	partículas (contaje)	partículas (contaje/m <sup>3</sup> )		
07/02/09	964	12532		
07/31/09	264	3432		
08/28/09	352	4576		
10/09/09	460	5980		
11/06/09	1672	21736		

Tabla 5.

*Cantidad de esporas de hongos presentes en el exterior e interior del aeropuerto.*

San Juan				
Fecha	Exterior aeropuerto		Puerta de salida ("Gate")	
	esporas	esporas	esporas	esporas
	(contaje)	(contaje/m <sup>3</sup> )	(contaje)	(contaje/m <sup>3</sup> )
06/23/09	24	312	16	208
08/04/09	84	1092	404	5252
08/24/09	0	<13	0	<13
09/01/09	88	1144	76	988
09/29/09	708	9204	24	312
10/13/09	1856	24128	124	1612
11/10/09	0	<13	64	832

Atlanta				
Fecha	Exterior aeropuerto		Puerta de salida ("Gate")	
	esporas	esporas	esporas	esporas
	(contaje)	(contaje/m <sup>3</sup> )	(contaje)	(contaje/m <sup>3</sup> )
07/02/09	76	988	48	156
07/31/09	228	2964	0	<13
08/28/09	124	1612	8	104
10/09/09	244	3172	16	208
11/06/09	40	520	0	<13

Tabla 6.

*Cantidad de partículas no-viables presentes en el exterior e interior del aeropuerto.*

San Juan				
Fecha	Exterior aeropuerto		Puerta de salida ("Gate")	
	partículas (contaje)	partículas (contaje/m <sup>3</sup> )	partículas (contaje)	partículas (contaje/m <sup>3</sup> )
06/23/09	280	3640	416	5408
08/04/09	792	10296	368	4784
08/24/09	1708	22204	1124	14612
09/01/09	1164	15132	180	2340
09/29/09	3340	43420	632	8216
10/13/09	3680	47840	2852	37076
11/10/09	5128	66664	5192	67496

Atlanta				
Fecha	Exterior aeropuerto		Puerta de salida ("Gate")	
	partículas (contaje)	partículas (contaje/m <sup>3</sup> )	partículas (contaje)	partículas (contaje/m <sup>3</sup> )
07/02/09	1748	22724	1312	17056
07/31/09	632	8216	720	9360
08/28/09	1852	24076	1284	16692
10/09/09	1472	19136	852	11076
11/06/09	1212	15756	1008	13104

Tabla 7.

*Temperatura y % de humedad relativa (% HR) dentro de la cabina de los aviones comerciales que salieron de San Juan hacia Atlanta.*

Parte delantera				
Fecha	Embarque		>10,000 pies de altura	
	Temp. (°F)	% HR	Temp. (°F)	% HR
06/23/09	78.8	36%	78.8	<20%
08/04/09	82.6	51%	82.4	22%
08/24/09	81.0	44%	83.6	21%
09/01/09	75.6	43%	77.6	23%
09/29/09	76.2	53%	79.2	<20%
10/13/09	73.0	42%	71.6	<20%
11/10/09	NA	NA	76.2	29%

Medio		
Fecha	Temp. (°F)	% HR
06/23/09	81.2	<20%
08/04/09	75.4	<20%
08/24/09	75.6	<20%
09/01/09	78.2	<20%
09/29/09	77.0	<20%

Parte trasera		
Fecha	Temp. (°F)	% HR
06/23/09	81.2	<20%
08/04/09	75.2	<20%
08/24/09	80.2	<20%
09/01/09	77.8	<20%
09/29/09	76.6	<20%
11/10/09	76.4	<20%

Tabla 8.

*Temperatura y % de humedad relativa (% HR) dentro de la cabina de los aviones comerciales que salieron de Atlanta hacia San Juan.*

Parte delantera				
Fecha	Embarque		>10,000 pies de altura	
	Temp. (°F)	% HR	Temp. (°F)	% HR
07/02/09	79.0	40%	79	<20%
07/31/09	81.2	45%	81.2	<20%
08/28/09	79.6	62%	76.8	<20%
10/09/09	78.8	40%	83.2	<20%
11/06/09	75.6	28%	79.2	22%
Medio				
Fecha	Temp. (°F)	% HR		
07/02/09	73.8	<20%		
07/31/09	81.2	<20%		
08/28/09	76.6	<20%		
10/09/09	77.2	<20%		
11/06/09	77.2	<20%		
Parte trasera				
Fecha	Temp. (°F)	% HR		
07/02/09	76.0	<20%		
07/31/09	81.2	<20%		
08/28/09	76.6	<20%		
10/09/09	78.2	<20%		
11/06/09	79.6	<20%		

Tabla 9.

*Temperatura y % de humedad relativa (% HR) en el exterior e interior del aeropuerto.*

San Juan				
Fecha	Exterior aeropuerto		Puerta de salida ("Gate")	
	Temp. (°F)	% HR	Temp. (°F)	% HR
06/23/09	79.4	62%	77.9	54%
08/04/09	80.8	74%	76.2	66%
08/24/09	81.4	68%	76.4	52%
09/01/09	77.0	87%	75.0	51%
09/29/09	81.6	76%	73.4	49%
10/13/09	78.8	76%	72.6	48%
11/10/09	80.0	68%	73.4	55%

Atlanta				
Fecha	Exterior aeropuerto		Puerta de salida ("Gate")	
	Temp. (°F)	% HR	Temp. (°F)	% HR
07/02/09	85.2	38%	71.6	44%
07/31/09	80.6	78%	81.2	52%
08/28/09	77.6	65%	74.8	53%
10/09/09	86.0	61%	75.2	54%
11/06/09	71.6	21%	72.4	21%

## FIGURAS



*Figura 1.* Muestreo tomado en el exterior del aeropuerto.



*Figura 2.* Muestreo tomado en la puerta de salida de los pasajeros (terminal).

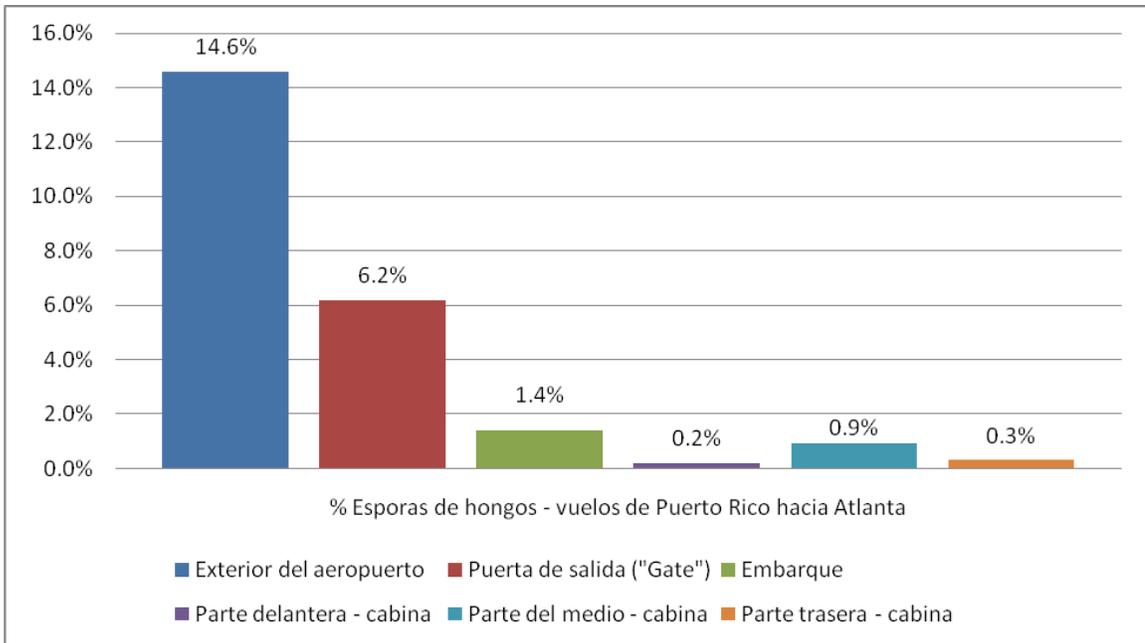


Figura 3. Por ciento de esporas detectado en vuelos: San Juan, P.R. – Atlanta, GA.

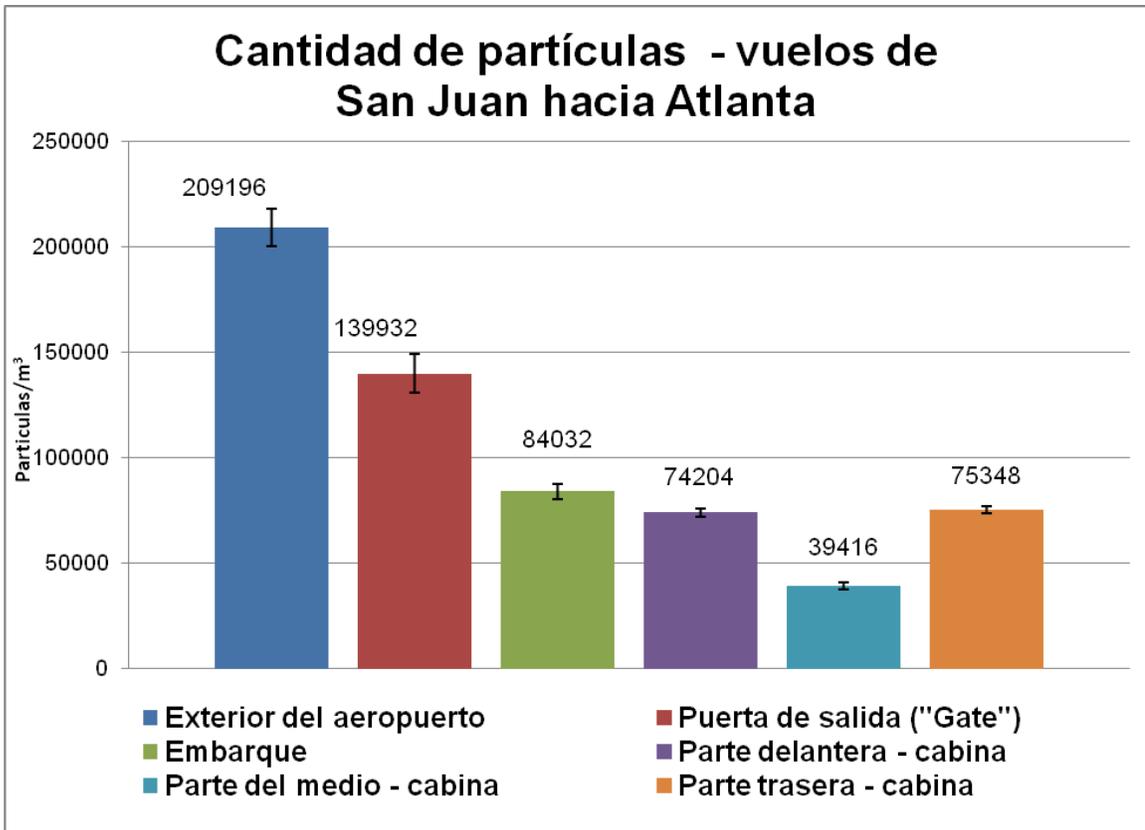


Figura 4. Cantidad de partículas detectadas en vuelos: San Juan, P.R. – Atlanta, GA.

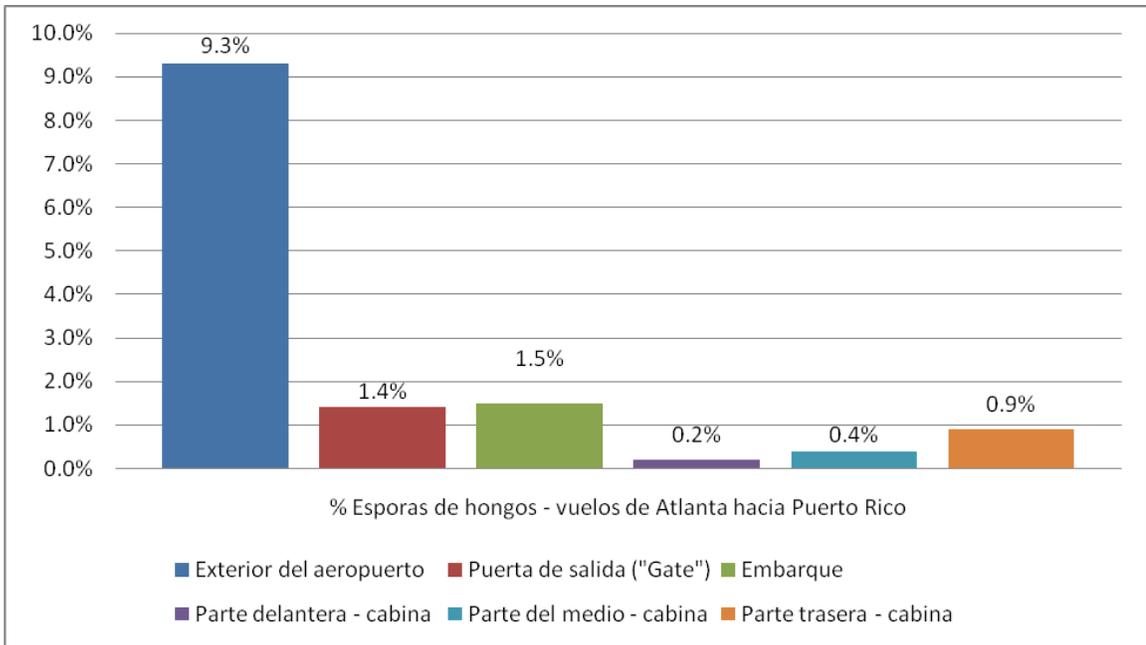


Figura 5. Por ciento de esporas detectado en vuelos: Atlanta, GA - San Juan, P.R.

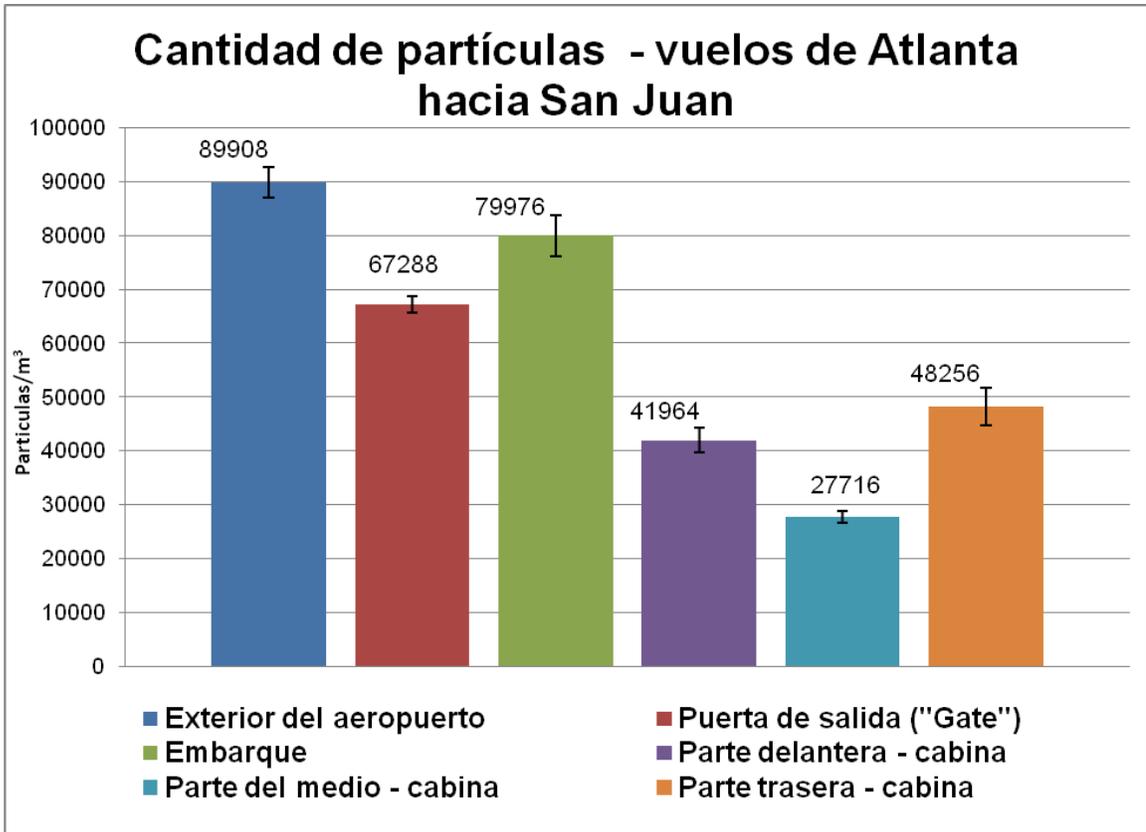


Figura 6. Cantidad de partículas detectadas en vuelos: Atlanta, GA - San Juan, P.R.

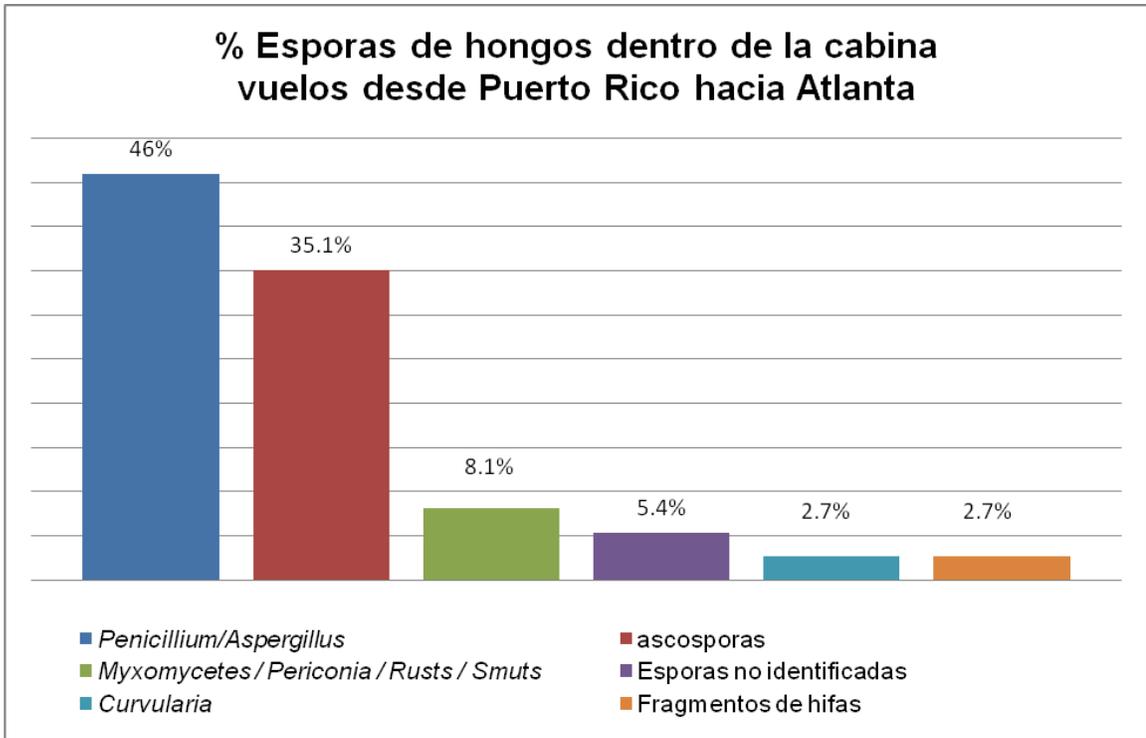
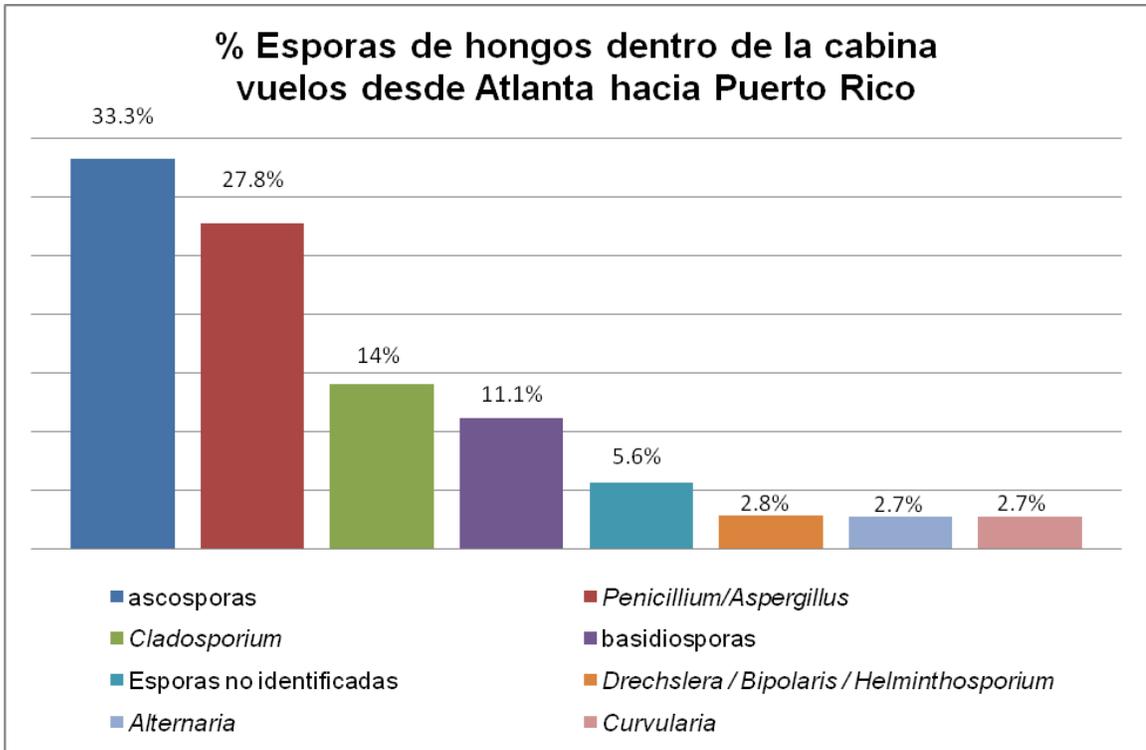
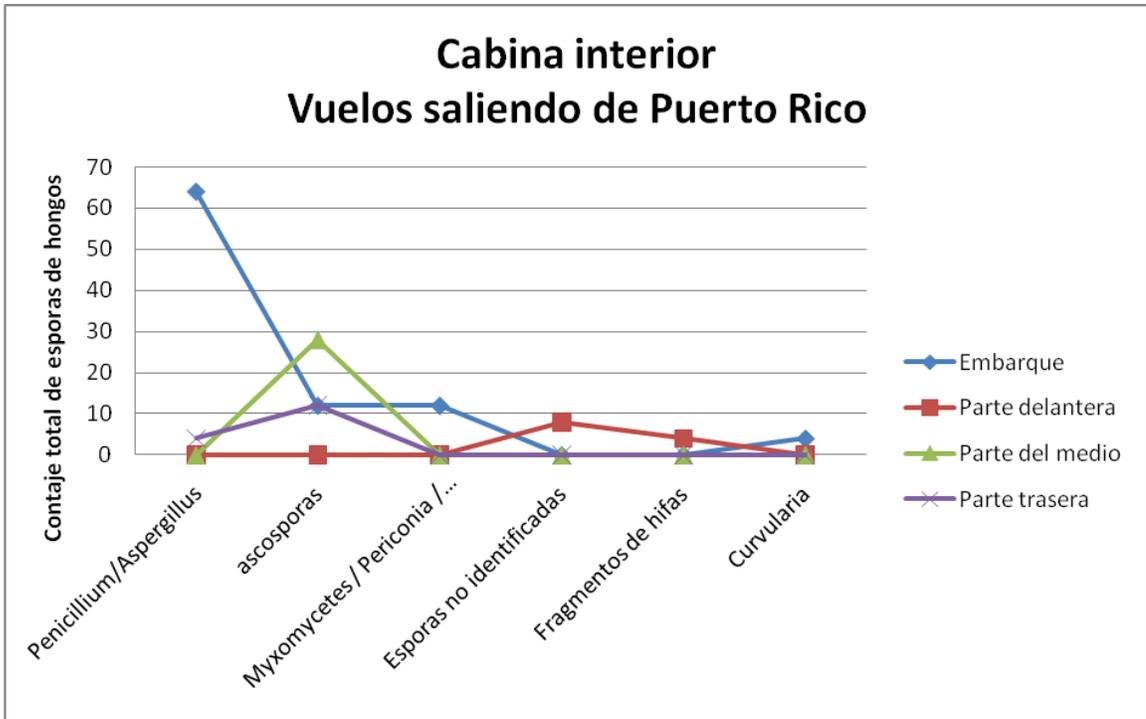


Figura 7. Por ciento de esporas detectado en cabina del avión: San Juan, P.R. – Atlanta, GA.



*Figura 8.* Por ciento de esporas detectado en cabina del avión: Atlanta, GA - San Juan, P.R.



*Figura 9.* Contaje total de géneros de hongos encontradas dentro de la cabina del avión - San Juan, P.R. – Atlanta, GA.

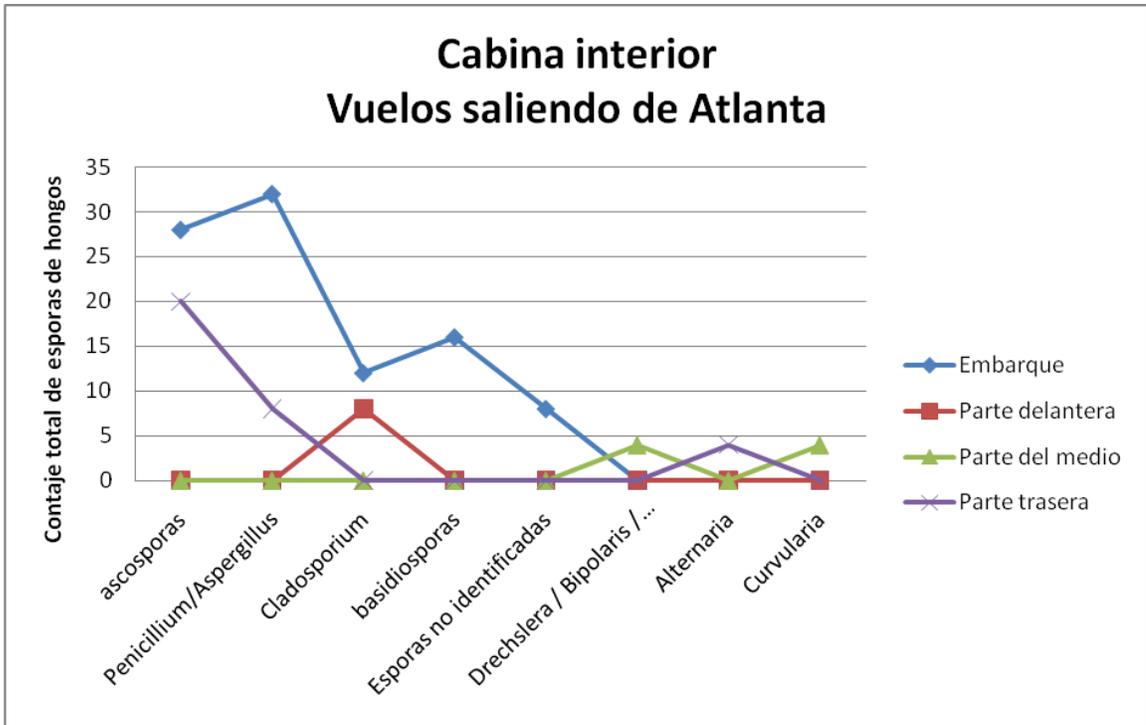
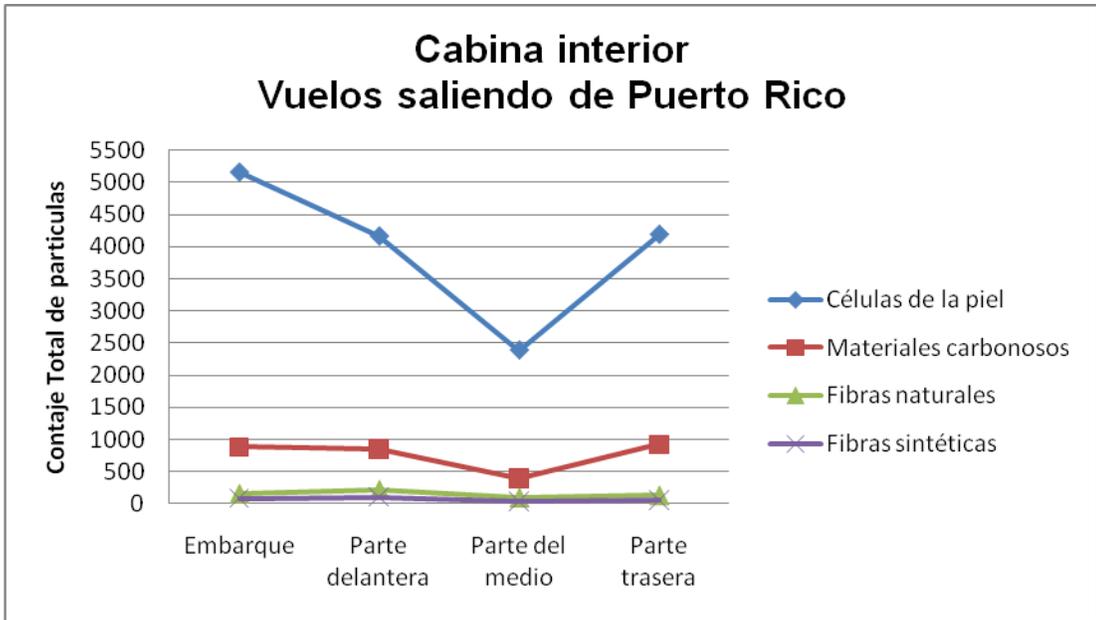


Figura 10. Contaje total de géneros de hongos encontradas dentro de la cabina del avión Atlanta, GA. - San Juan, P.R.



*Figura 11.* Contaje total de partículas presentes en mayor cantidad dentro de la cabina del avión - San Juan, P.R. – Atlanta, GA.

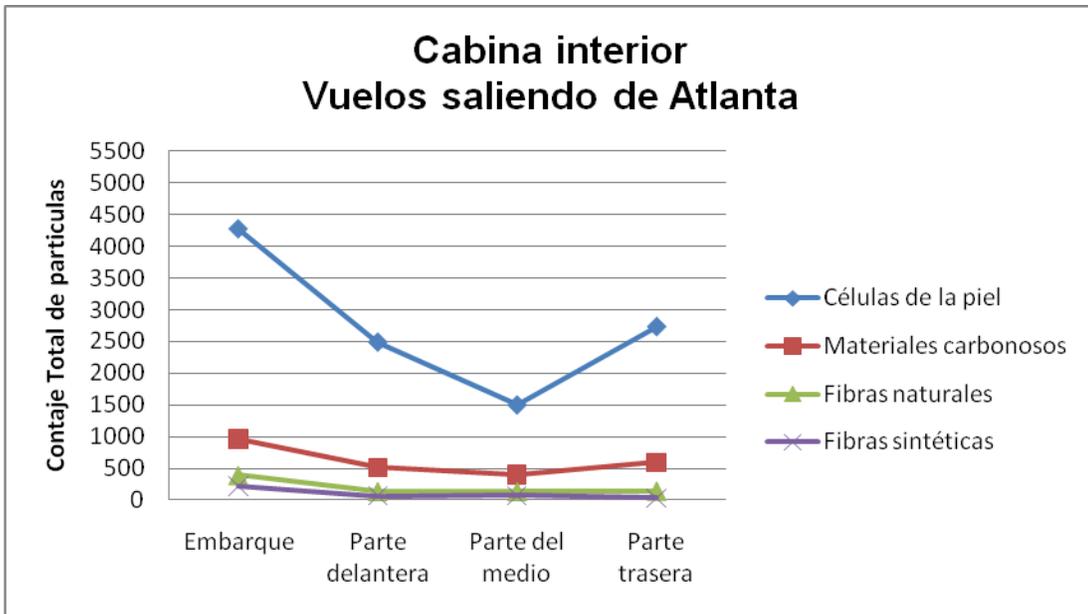


Figura 12. Contaje total de partículas presentes en mayor cantidad dentro de la cabina del avión - San Juan, P.R. – Atlanta, GA.

## APÉNDICES



**Steven Tochilin**  
General Manager,  
Environmental Health

**Delta Air Lines, Inc.**  
P.O. Box 20706, Dept. 885  
Atlanta, GA 30320  
T. +1 404 715 3303  
F. +1 404 714 3310  
M. +1 404 660 6700  
steve.tochilin@delta.com

# MEMO

To: Delta Crew Members  
Date: May 29, 2009  
Re: In-Flight Air Quality Measurements

This memo will serve to introduce Ms. Saddy Rivera. Saddy is a graduate student (and gold medallion SkyMiles member), and will be collecting air samples on this flight as part of her school research. Delta's Aircraft Engineering Dept. has reviewed the electromagnetic interference data for the SKC air sampling pump Saddy will be using and has approved it for in-flight use above 10,000 feet. Saddy will be collecting several samples during the flight, each of approximately 15-minute duration. She will, of course, comply with any crew member instructions regarding use and storage of her equipment.

Thank you in advance for helping Saddy with her research.

A handwritten signature in black ink that reads "Steve Tochilin".

Steve Tochilin  
Corporate Safety, Health & Environment

*Apéndice 1. Carta de permiso para llevar a cabo el estudio dentro de la cabina del avión.*



EMPAT #169743

**Particle Dust Characterization**

Client: SWR, Inc. 100 Grand Paseos Blvd. Suite 112-367, San Juan, PR 00936  
 Client Project ID: DL428-082409  
 REL Report No.: REL09328PCA

Date Sampled: August 24, 2009  
 Date Received: September 2, 2009  
 Date Analyzed: September 13, 2009

Lab Sample ID Client sample ID Location	Air vol. (m3)	Structure ID	Counts of Structures	Counts/m3	Percentage
REL09328PCA -01 DL428-01 Airport (Exterior)	0.075	<b>Carbonaceous Materials</b>	185	9,620	43%
		<b>Dust<sup>9</sup></b>	188	9,776	44%
		<b>Fibers</b>			
		Natural	6	312	1%
		Synthetic	3	156	1%
		<b>Skin Cells</b>	45	2,340	11%
		<b>TOTAL</b>	<b>427</b>	<b>22,204</b>	<b>100%</b>
REL09328PCA -02 DL428-02 Gate Area	0.075	<b>Carbonaceous Materials</b>	43	2,236	15%
		<b>Fibers</b>			
		Natural	3	156	1%
		Synthetic	5	260	2%
		<b>Hair</b>			
		Human	3	156	1%
		<b>Skin Cells</b>	227	11,804	81%
		<b>TOTAL</b>	<b>281</b>	<b>14,612</b>	<b>100%</b>
REL09328PCA -03 DL428-03 Pre-boarding (2D)	0.075	<b>Carbonaceous Materials</b>	26	1,352	11%
		<b>Fibers</b>			
		Natural	1	52	<1%
		Synthetic	2	104	1%
		<b>Fungal Matter</b>			
		Curvularia	1	52	<1%
		Periconia	3	156	1%
		<b>Hair</b>			
		Human	3	156	1%
		<b>Skin Cells</b>	205	10,660	83%
		<b>Starch</b>	6	312	2%
		<b>TOTAL</b>	<b>247</b>	<b>12,844</b>	<b>100%</b>
REL09328PCA -04 DL428-04 21,590 ft. (2D) (front)	0.075	<b>Carbonaceous Materials</b>	28	1,456	9%
		<b>Fibers</b>			
		Natural	7	364	2%
		Synthetic	6	312	2%
		<b>Skin Cells</b>	259	13,468	86%
		<b>TOTAL</b>	<b>300</b>	<b>15,600</b>	<b>100%</b>
REL09328PCA -05 DL428-05 39,005 ft. (hallway-row 31) (mid)	0.075	<b>Carbonaceous Materials</b>	19	988	9%
		<b>Fibers</b>			
		Natural	2	104	1%
		<b>Skin Cells</b>	193	10,036	90%
		<b>TOTAL</b>	<b>214</b>	<b>11,128</b>	<b>100%</b>
REL09328PCA -06 DL428-06 39,005 ft. (hallway-row 44) (end)	0.075	<b>Carbonaceous Materials</b>	61	3,172	31%
		<b>Fibers</b>			
		Natural	5	260	3%
		Synthetic	2	104	1%
		<b>Hair</b>			
		Human	3	156	2%
		<b>Skin Cells</b>	125	6,500	64%
		<b>TOTAL</b>	<b>196</b>	<b>10,192</b>	<b>100%</b>

Detection Limit: one fungal spore which is the lowest possible count to be detected.  
Concentration percentage is rounded to two significant figures

25% of trace counted

<sup>a</sup> Samples overloaded with particles (skin flakes, dust, manmade vitreous fibers, synthetic fibers, or any unidentifiable matter). Probability that fungal structures may be misidentified or overlooked.

<sup>b</sup> Counts of structures based on >50 in at least one traverse (passes) section.

<sup>c</sup> Counts of structures based on >100 counts in the entire traceable area observed.

<sup>d</sup> Clumps of conidia with a distinctive green pigment typical of Trichoderma.

<sup>e</sup> The spores of Penicillium/Aspergillus (and others such as Acremonium, Paecilomyces) are very similar, small and round, colorless or slightly pigmented and therefore cannot be differentiated due to these similarities.

<sup>f</sup> The dust observed was composed of minute solid colorless particles.

<sup>g</sup> The dust observed was composed of builders sand, brick dust and road dust like particles.

Approved by:   
Ruth Otero  
Laboratory Director

## Apéndice 2. Ejemplo de reporte del laboratorio.