

EVALUACIÓN DEL RIESGO POR TRANSMISIÓN DE INFECCIONES RESPIRATORIAS INTRAHOSPITALARIAS MEDIADA POR BIOAEROSOL PRESENTES EN EL HOSPITAL DE SUBA (II NIVEL ESE).

¹Lina María Guzmán Fierro, ²José Alejandro Pachón Bernal

RESUMEN

Los bioaerosoles son un contaminante atmosférico compuesto por microorganismos o agentes biológicos que pueden contribuir en la incidencia de enfermedades respiratorias en seres humanos, especialmente en niños, adultos mayores y personas con alteraciones en su sistema inmunológico.

Se desarrolló un monitoreo de la calidad microbiológica del aire en el área de urgencias del hospital de Suba II E.S.E., para identificar los microorganismos oportunistas que pueden generar riesgo a la salud de las personas presentes en esta área, respecto a las infecciones respiratorias intrahospitalarias. Lo anterior se realizó a través de la determinación de las frecuencias de aparición, concentraciones, importancia clínica y de las variables ambientales (temperatura, humedad relativa y velocidad del viento), comparadas con la sugerencia de la Organización Internacional de Normalización (ISO) con respecto a las áreas limpias y ambientes controlados asociados (ISO 14644) y lo establecido en la Nota técnica de prevención 859 de España.

A partir del estudio se determinaron 81 morfotipos, de los cuales se identificaron 19 cepas y se obtuvo que el ambiente del área de urgencias del hospital representa un riesgo medio a la población debido a las características evidenciadas. Además se estableció que los agentes causales *Kytococcus spp* y *Cladosporium spp*, presentan un riesgo alto a la salud de las personas, ya que pueden generar enfermedades como rinitis, asma y neumonía, que en pacientes con inmunodepresión puede conllevar a la muerte.

PALABRAS CLAVE: Bioaerosol, infección intrahospitalaria, inmunocomprometidos, riesgo.

ABSTRACT

Bioaerosols are an atmospheric pollutant composed by microorganisms or biological agents that may contribute to the incidence of respiratory diseases in humans, especially in children, the older adult and people with immune system disorders.

People with immune suppression are characteristic of medical centers so a microbiological quality monitoring was performed in the emergency area of Suba II ESE hospital, this was conducted in order to identify opportunistic organisms that may cause health risk of the people in this area, compared to the nosocomial infections. This was done by determining the frequency of occurrence, concentrations, clinical significance and environmental variables (temperature, relative humidity and wind speed), compared to the suggestion of the World Health Organization and the established on the technical Note of prevention 859.

From the study, 81 morphotypes were determined, of which 19 morphotypes were identified and it was

¹ Estudiante de ingeniería ambiental, Universidad Santo Tomás, Bogotá- Sede principal, linaguzman@usantotomas.edu.co

² Estudiante de ingeniería ambiental, Universidad Santo Tomás, Bogotá- Sede principal, jose.pachon@usantotomas.edu.co

found that the hospital has a medium risk to the hospital population due to the characteristics described above. In addition it was found that the microorganisms that present a high risk to the health of people are *Kytococcus* spp and *Cladosporium* spp, which can cause diseases such as rhinitis, asthma and pneumonia that in some cases as patients with immunosuppression can bring deadly consequences.

KEY WORDS: Bioaerosols, Immunosuppressed, immunocompromised, nosocomial infections, risk.

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica constituye una de las principales problemáticas ambientales que se ha traducido en una preocupación por los efectos nocivos en la calidad de vida de las personas. Uno de los contaminantes atmosféricos son los bioaerosoles, que pueden contribuir en la incidencia de enfermedades en grupos vulnerables tales como niños, ancianos y personas con alteraciones en su sistema inmunológico. La contaminación intramural del aire y sus efectos en la transmisión de infecciones nosocomiales o intrahospitalarias (IIH), constituye un problema de salud ambiental, por su frecuencia, severidad, alto costo y el aporte de un número importante de casos de morbilidad cada año.

De acuerdo a lo anterior, la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el 2003 desarrolló la guía denominada *“Guía Práctica de Prevención de las infecciones nosocomiales”*, en la cual establece el concepto de infecciones nosocomiales, como infecciones contraídas al interior de los centros de salud; además define al factor ambiental como aquel que influye en la manifestación de estas infecciones y también menciona las diferentes enfermedades a las que se puede llegar a estar expuesto a través de los microorganismos y la exposición que se puede tener a través del aire [1].

Lo anterior expone la importancia de desarrollar sistemas de vigilancia, control y prevención de las enfermedades intrahospitalarias, por lo que el presente estudio busca establecer la calidad del aire interior en relación a bioaerosoles, para definir el riesgo de adquisición de enfermedades respiratorias en la población del área de urgencias del Hospital de Suba. Además busca incentivar la aplicación de estrategias que permitan definir medidas de control de la calidad de aire intramural como lo es el monitoreo microbiológico, con el fin de reducir las tasas de transmisión de enfermedades nosocomiales que se reportan en los boletines epidemiológicos. Lo anterior sirve para dar cumplimiento a la política de prevención, control y vigilancia epidemiológica de infecciones intrahospitalarias establecida en la resolución 073 de 2008 de la Secretaría Distrital de Salud.

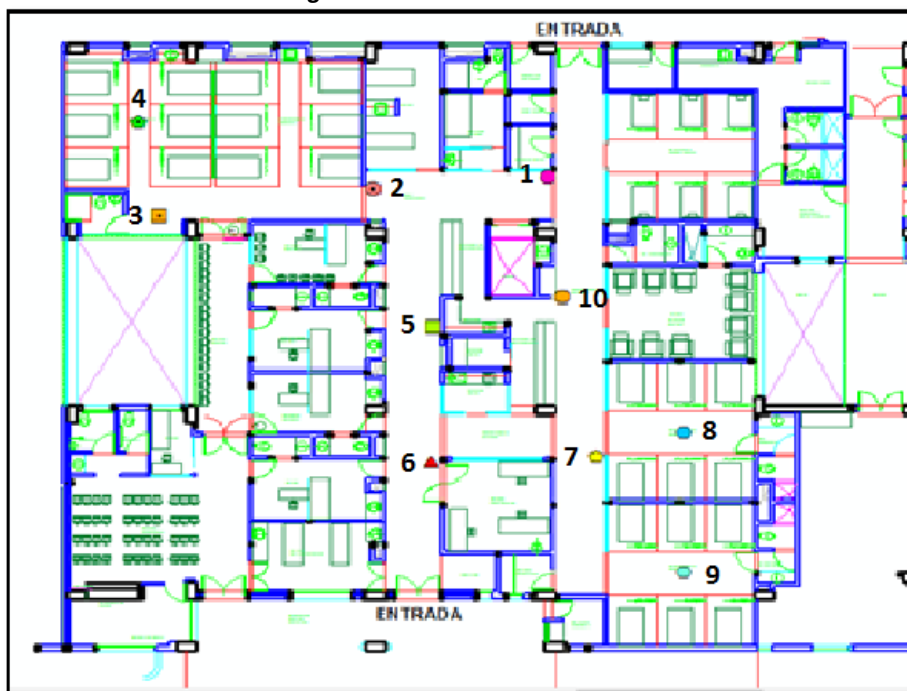
MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un monitoreo en el área de urgencias del Hospital de Suba, entre el primero y seis de febrero del 2016. La metodología se describe a continuación:

- ***Cálculo de puntos de muestreo:***

Para la determinación del número de puntos de muestreo, se siguió la metodología de la ISO 14644-1 sobre áreas limpias y ambientes controlados asociados [2], además de considerar la disponibilidad de material y espacio para el análisis de las muestras. A partir de esto, se establecieron 10 puntos de muestreo que se localizaron en diferentes zonas del área de urgencias.

Ilustración 1. Área de urgencias- distribución estaciones de muestreo.



Fuente: Adaptado y modificado de Hospital de Suba [3].

Las estaciones de muestreo se ubicaron en los pasillos del área de urgencias del hospital debido a que son las zonas en donde confluye toda la población; además se localizó sólo una estación en las áreas de observación de hombres, mujeres y niños debido a la sobreocupación de estas salas.

- Estación 1: Zona de entrada del personal y de algunos pacientes al área de urgencias.
- Estación 2: Pasillo que conecta el área de niños y la de adultos. Entrada a consultorio de pediatría.
- Estación 3: Pasillo exterior a las salas de niños.
- Estación 4: Sala de observación de niños.
- Estación 5: Pasillo consultorios adultos y niños. Área personal médico de niños.
- Estación 6: Pasillo de entrada pacientes de urgencias y entrada a sala de reanimación
- Estación 7: Pasillo área de adultos
- Estación 8: Sala de observación mujeres
- Estación 9: Sala de observación hombres
- Estación 10: Pasillo área de adultos. Área personal médico de adultos.

- **Selección medios de cultivo:**

Se seleccionaron tres medios de cultivo de acuerdo con el tipo de microorganismos a analizar (Bacterias y Hongos filamentosos).

Agar sangre: Medio de cultivo con una base rica en nutrientes, que proporciona condiciones óptimas de crecimiento para todos los microorganismos [4].

Sabouraud: Facilita el crecimiento óptimo fúngico debido a su concentración de carbohidratos relativamente alta (2 o 4%) [4].

MacConkey: Las sales biliares y cristal violeta presentes en el medio inhiben el crecimiento de la flora microbiana Gram-positiva [4].

- **Monitoreo microbiológico:**

Para la toma de muestras de aire se utilizó el método de succión mecánica empleando el equipo muestreador de aire (Microbiologic Air Sampler - MAS -100), el cual aspira un volumen constante de aire que impacta con un medio de crecimiento servido en una caja de Petri. Para el estudio, se utilizó un volumen de muestreo de 100 litros durante un minuto.

- **Registro de variables ambientales:**

De manera paralela al monitoreo microbiológico se registraron las variables ambientales; temperatura, humedad relativa y velocidad del viento por medio de un termohigrómetro.

- **Seguimiento de las muestras:**

Sabouraud: Las cajas de Petri con las muestras recolectadas fueron incubadas a temperatura ambiente.

Sangre y MacConkey: Las cajas fueron incubadas por un periodo de 48 horas a una temperatura de 37°C para simular la temperatura interna del cuerpo humano.

- **Cuantificación de colonias:**

Para las diferentes muestras obtenidas se realizó el conteo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) distinguiendo los diferentes morfotipos.

El número de colonias obtenido se corrigió a través de la tabla de Feller, cuyo principio se basa en que a mayor cantidad de microorganismos en cada toma de muestras, aumenta la probabilidad de que penetren varios microorganismos por el mismo orificio de la tapa del equipo de muestreo del MAS-100.

Finalmente, para obtener la concentración de colonias en un metro cúbico, se aplicó la fórmula establecida por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene de España en la NTP 299: Método para el recuento de bacterias y hongos en aire [5].

$$n^{\circ}ufc/m^3 = \frac{NC \times 1000}{V * NU}$$

Donde:

NC: número de colonias por placa

V: volumen de muestreo (litros)

NU: número de unidades de tiempo empleadas en el muestreo

- **Caracterización e Identificación:**

Con el número de colonias para los diferentes morfotipos y la frecuencia de aparición de estos, se eligieron las cepas a aislar, según la frecuencia de aparición, abundancia (ufc/m³), disponibilidad del material para emplear en el análisis de las muestras, condiciones de bioseguridad y espacio de los laboratorios y capacidad hemolítica.

Bacterias: Se aislaron por la técnica de agotamiento. A partir de esto, se hizo tinción de Gram para determinar que los cultivos fueran puros y definir la morfología y estructura de las bacterias. Posteriormente se aplicó el Índice Analítico de Perfil (API), el cual es una prueba bioquímica que permite identificar bacterias de acuerdo a la reacción de las enzimas de estas con diferentes sustratos deshidratados. El tipo de prueba que se debía aplicar a cada bacteria se definió a partir de las

características obtenidas de la tinción de Gram. Para el estudio se contó con tres pruebas: API STHAP (identificación *Staphylococcus*), API 20E (identificación *Enterobacterias*) y API 20STREP (identificación *Streptococcus*).

Hongos: De acuerdo a las características macroscópicas y microscópicas, y siguiendo las claves de identificación se definieron los géneros de los hongos.

- **Procesamiento y análisis de datos:**

Se realizó estadística descriptiva con el fin de conocer la calidad de los datos obtenidos, además de análisis por conglomerados y de componentes principales con el fin de observar las relaciones entre las variables.

- **Evaluación de riesgo:**

Se determinó el riesgo a través de la adaptación de la evaluación del riesgo toxicológica, por medio de la identificación de los bioaerosoles presentes a nivel intramural, definiendo aquellos con patogenicidad reconocida y realizando una matriz de evaluación.

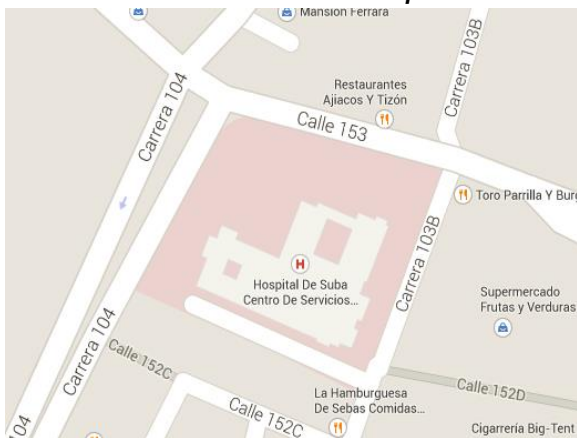
RESULTADOS

✓ Evaluación del riesgo

Caracterización del sitio.

El Hospital de Suba II nivel E.S.E., se encuentra en Bogotá en la localidad de Suba, ubicado en la Avenida Carrera 104 No. 152 C – 50, que tiene como vía de acceso a la Avenida Ciudad de Cali que es una vía arterial. Esta institución hace parte de la red de hospitales que coordinan en las localidades las actividades de vigilancia de salud pública dentro del distrito. Este tiene como principales funciones prestar servicios de salud de baja, mediana y alta complejidad dentro de los parámetros y principios señalados en la Ley 100 de 1993 y que se encuentra clasificado como nivel II (complejidad media).

Ilustración 2. Ubicación del hospital de Suba



Fuente: Google Maps [25].

Ilustración 3. Pasillo del área de urgencias

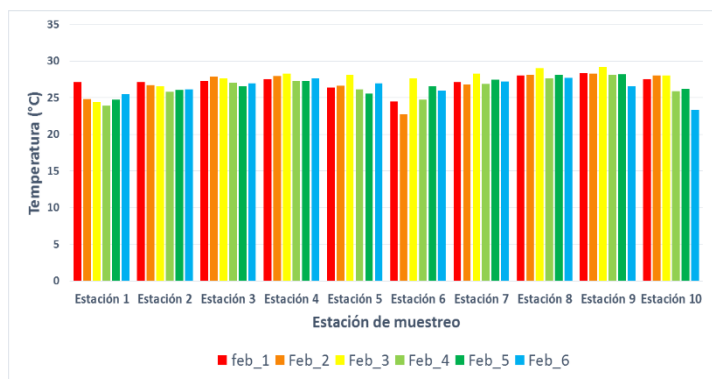


Fuente: Autores

El servicio de urgencias del hospital cuenta con dos consultorios para adultos, dos de servicio pediatría y una sala de procedimiento; entre los servicios se encuentran: medicina general, medicina interna, cirugía general, pediatría entre otros. Así mismo cuenta con 24 camas, 16 sillas, 4 camas de reanimación, 14 camas pediátricas y una cama de reanimación pediátrica [6].

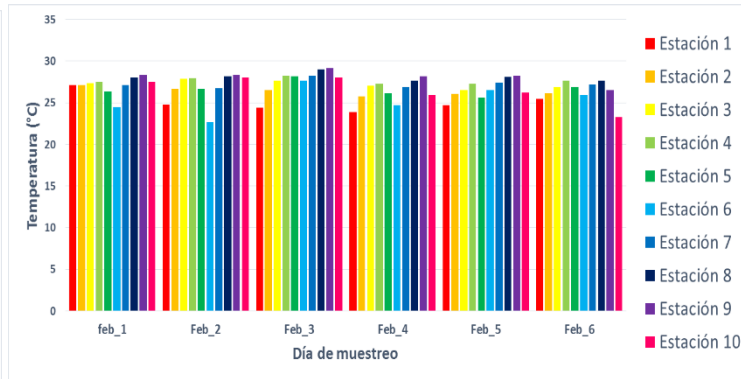
Temperatura

Ilustración 4. Temperatura por estación de muestreo



Fuente: Autores

Ilustración 5. Temperatura por día de muestreo

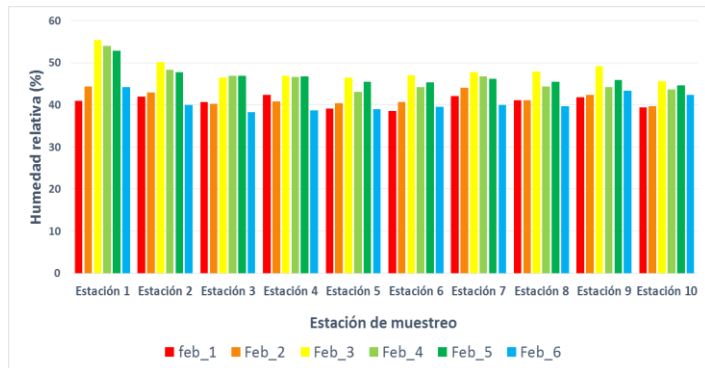


Fuente: Autores

En las ilustraciones 4 y 5 se observa que la diferencia entre las temperaturas mínima y máxima fue de 7°C. Las menores temperaturas se registraron en las estaciones 1 y 6, ya que eran los puntos más cercanos a las salidas, y los valores más altos fueron en las estaciones 8 y 9, en donde se encontraba el mayor número de pacientes. La mayor variabilidad se presentó entre estaciones, mientras que para la misma estación en diferentes días se observó un comportamiento constante (variación de 3°C).

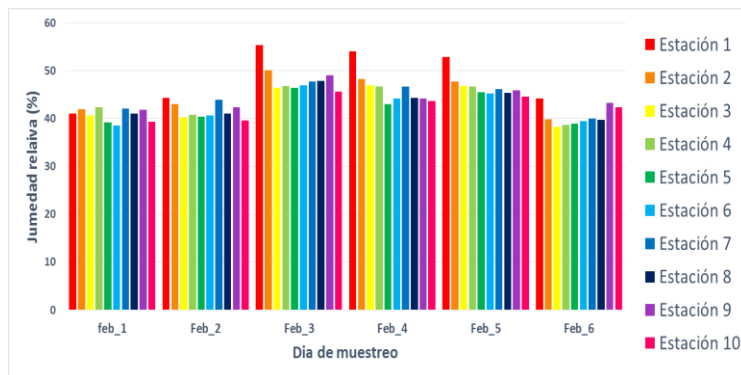
Humedad relativa

Ilustración 6. Humedad relativa por estación de muestreo



Fuente: Autores

Ilustración 7. Humedad relativa por día de muestreo



Fuente: Autores

Con respecto a la humedad relativa se estableció (ilustraciones 6 y 7) que los días con mayores valores fueron el 3, 4 y 5 de febrero, días en los que se presentaron lluvias. Respecto a las estaciones, los menores valores de humedad relativa se encontraron en los puntos 5, 6 y 8.

• Características de la población expuesta

La población expuesta es aquella presente al interior del área de urgencias, incluyendo pacientes, acompañantes y trabajadores, estos pertenecen a los diferentes grupos etarios incluyendo poblaciones vulnerables (menores a 5 años y mayores a 60), adicionalmente los pacientes presentes en el área pueden estar en inmunodepresión haciéndolos más susceptibles a la adquisición de infecciones de tipo bacteriana, vírica o fúngica.

- **Ruta de exposición:**

Los bioaerosoles son un contaminante atmosférico que utilizan la atmósfera como un medio rápido para su dispersión.

Vía de exposición: Los microorganismos pueden ingresar al organismo por las diferentes vías, pero el presente estudio se enfoca en la vía respiratoria con el fin de conocer el riesgo de adquisición de infecciones respiratorias intrahospitalarias.

- **Concentraciones de microorganismos**

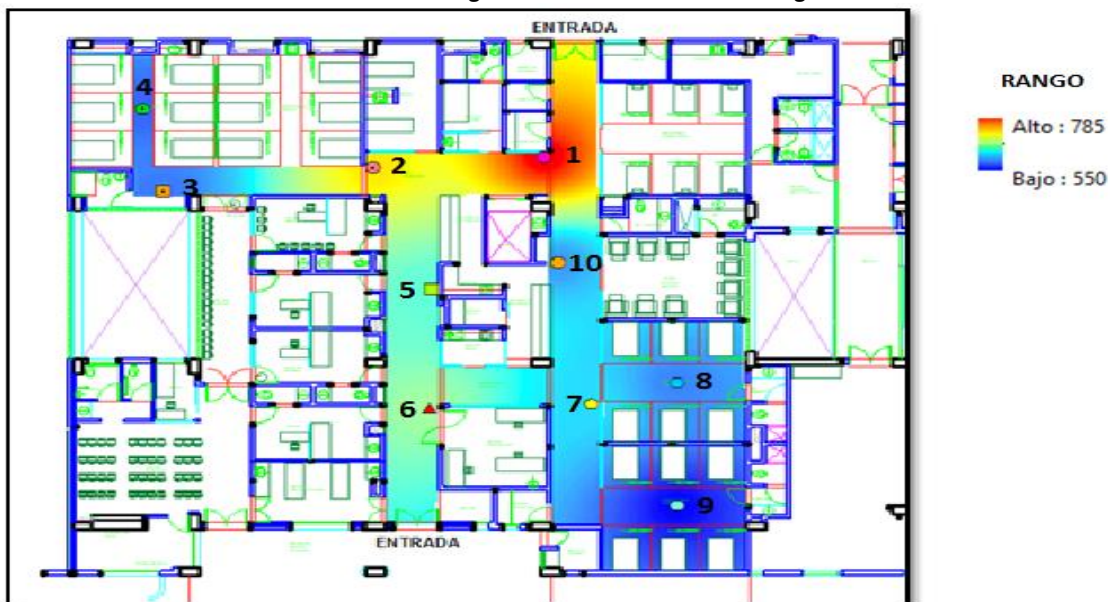
Tabla 1. Distribución de concentraciones

UFC/m ³										
Día	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Punto 8	Punto 9	Punto 10
feb_1	780	823	533	617	663	763	603	603	503	510
Feb_2	727	787	617	537	563	673	600	590	527	593
Feb_3	750	440	450	410	457	423	600	343	340	513
Feb_4	670	677	517	620	533	603	597	640	540	567
Feb_5	1153	933	763	803	880	757	593	650	647	703
Feb_6	637	613	637	490	737	740	713	713	743	690

Fuente: Autores

Las mayor concentración de microorganismos se registró el viernes 5 de febrero, donde alcanzó un valor de 1153 ufc/m³, mientras que la más baja se observó el miércoles 3 de febrero (340 ufc/m³) (Tabla 1).

Ilustración 8. Carga microbiana del área de urgencias.



Fuente: Adaptado y modificado de Hospital de Suba [3].

En cuanto a la carga microbiana por estaciones de muestreo, se obtuvo que la estación que en promedio presentó mayores valores fue la 1, que corresponde al área de adultos y de ingreso del personal del hospital y pacientes. Por otro lado, el punto 9, ubicado en la sala de observación de hombres presentó la carga microbiana más baja (ilustración 8).

Análisis estadístico

Tabla 2. Análisis estadístico de la carga microbiana en los muestreos (ufc/m³)

<i>Estadística descriptiva</i>	
Media	628.6
Error típico	18.1
Mediana	616.7
Moda	600
Desviación estándar	140.01
Varianza de la muestra	19604.3
Curtosis	2.5
Coeficiente de asimetría	0.8
Rango	813.3
Mínimo	340
Máximo	1153.3
Suma	37713.3
Cuenta	60
Nivel de confianza (95.0%)	36.2

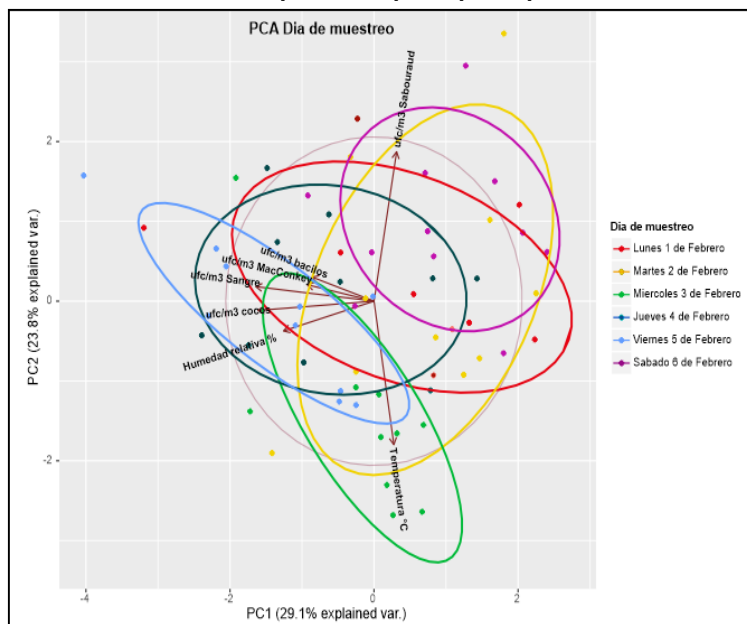
Fuente: Autores

En la tabla 2 se observa que los datos analizados no presentan una distribución normal debido a que los valores de las concentraciones de microorganismos obtenidas para la media, moda y mediana son diferentes; por otro lado el coeficiente de asimetría es positivo, lo que permite inferir que los datos se concentran hacia la parte media de la distribución, lo que demuestra que la carga microbiana es similar a la media (628,6 ufc/m³).

La varianza y desviación estándar muestran que las concentraciones presentan un índice de dispersión moderado, ya que el coeficiente de varianza (cociente entre desviación estándar y media) se encuentra en un rango de 340 a 1153 ufc/m³, obteniendo un índice de 0.22, es decir que un 22% de los datos se encuentran variantes entre sí, por último el nivel de confianza indica que de cada 100 muestras realizadas 36 se ajustan a la distribución normal.

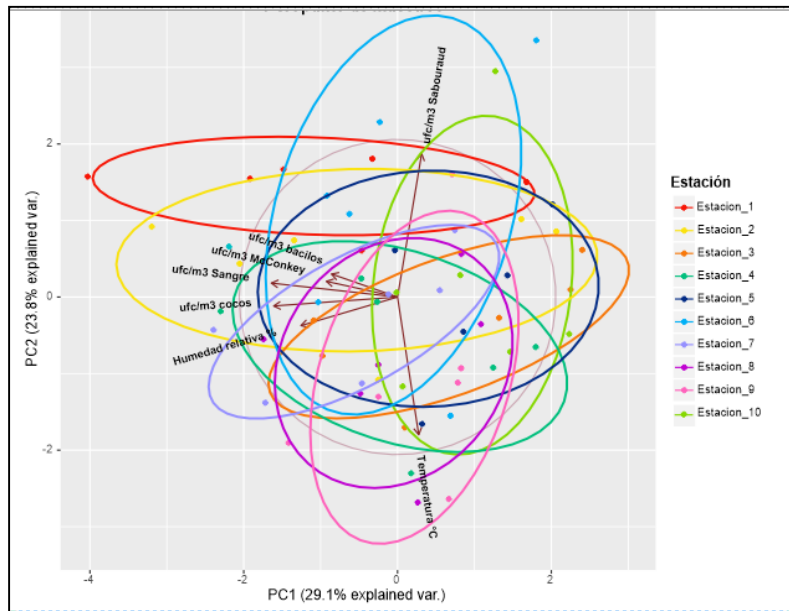
Análisis de componentes principales

Ilustración 9. Análisis componentes principales por día de muestreo



Fuente: Autores

Ilustración 10. Análisis de componentes principales por estación de muestreo



Fuente: Autores

A través del análisis de componentes principales (Ilustraciones 9 y 10), se estableció que las unidades formadoras de colonias (UFC) en los medios sangre y MacConkey, así como las morfologías de cocos y bacilos tienen una relación directa con los niveles de Humedad Relativa (HR), ya que el aumento de esta puede implicar concentraciones más altas de microorganismos. Además se observó una relación inversamente proporcional entre hongos y temperatura, y una relación directamente proporcional entre bacterias y temperatura.

En la ilustración 9 se observa que para el sexto día de muestreo predominaron los hongos, mientras que el día 3 se ve más influenciado por la temperatura. Se observa que las concentraciones de microorganismos en los días de muestreo se encuentran dispersas en la parte media de la gráfica, debido a que los componentes no presentan mucha variación, por lo que en el análisis de componentes principales las variables explican el modelo en un 29,1%.

En la ilustración 10 se observa que la estación 6 presentó mayores concentraciones de hongos, indicando la relación inversa con la temperatura descrita anteriormente. Así mismo la estación 9 presenta menores concentraciones de hongos lo que se puede relacionar con que las mayores temperaturas se presentaron en este punto.

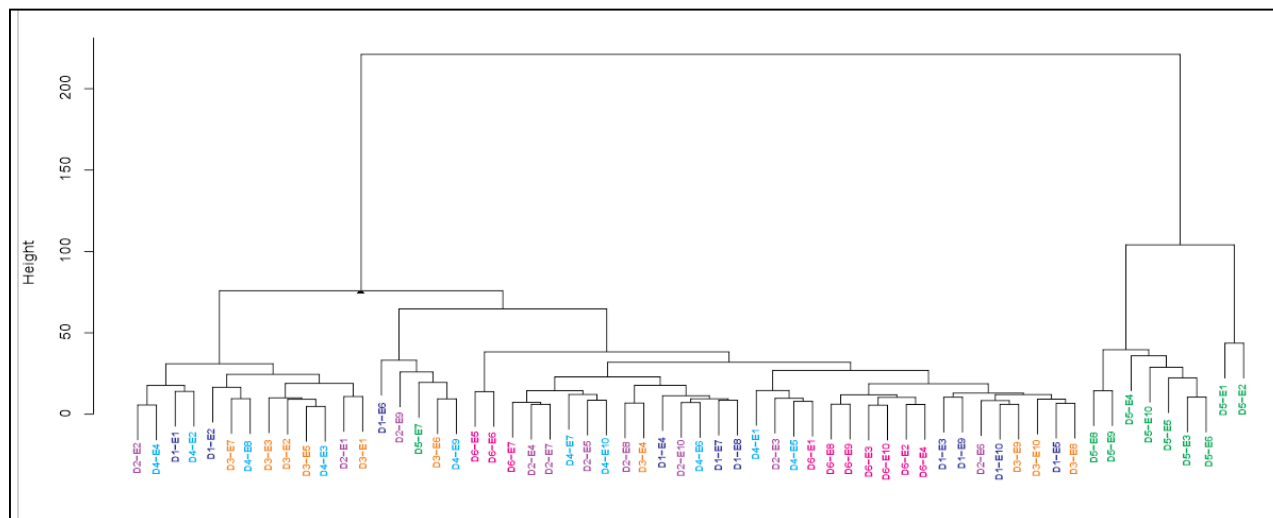
Análisis de conglomerados

Tabla 3. Convención de los dendogramas.

Fecha	Día	Color
Lunes 1 de Febrero	D1	
Martes 2 de Febrero	D2	
Miércoles 3 de Febrero	D3	
Jueves 4 de Febrero	D4	
Viernes 5 de Febrero	D5	
Sábado 6 de Febrero	D6	

Fuente: Autores

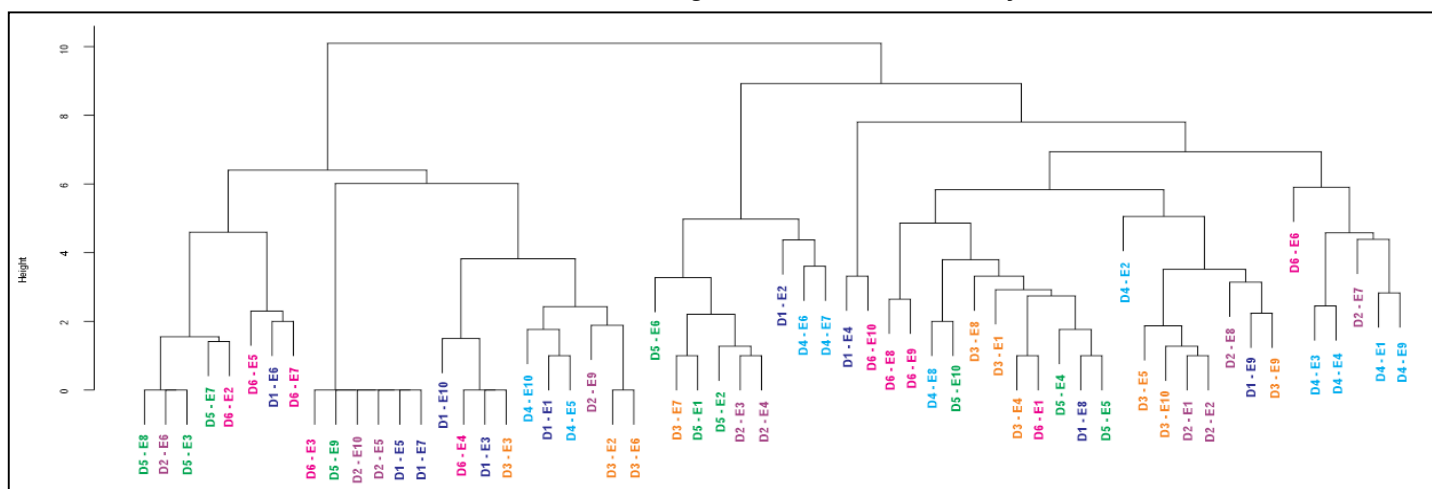
Ilustración 11. Dendograma de agar sangre



Fuente: Autores

Respecto al análisis de conglomerados en el medio Sangre (ilustración 11), se observó que los datos de concentración del día 5 de febrero se encuentran agrupados, indicando mayor similitud entre ellos; esto se puede explicar ya que en este día se registraron las mayores cargas y composición microbiana similar. Las concentraciones en los demás días fueron similares entre sí por lo que el rango de la escala vertical del dendograma es estrecha, no observando un comportamiento específico para los días 1, 2, 3, 4, y 6. Lo anterior indica que las muestras recolectadas durante el día 5 presentan disimilitud con respecto a los demás días, lo que se puede observar en el amplio rango de la escala vertical del dendograma.

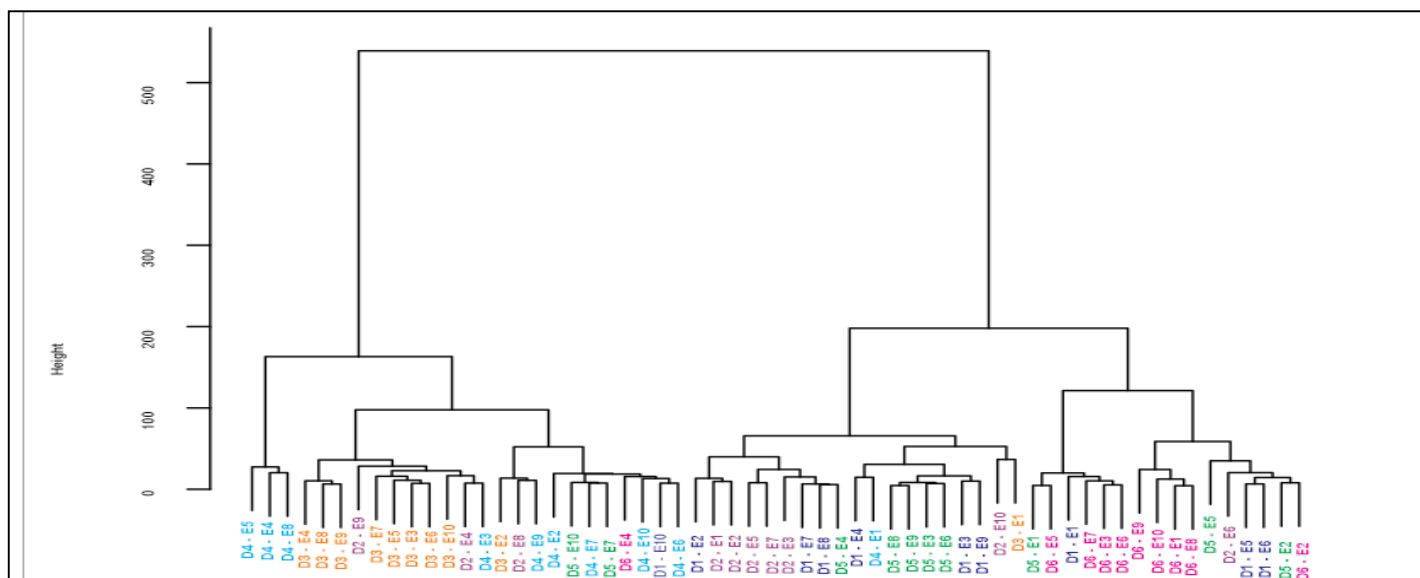
Ilustración 12. Dendograma del medio MacConkey



Fuente: Autores

En el análisis de conglomerados en el medio MacConkey (ilustración 12) mostró similitud entre las estaciones y los días de muestreo, ya que no se encuentra un patrón de asociación entre días y estaciones, y a que la escala vertical del dendograma es estrecha.

Ilustración 13. Dendograma del medio Sabouraud



Fuente: Autores

En cuanto al análisis de conglomerados en el medio Sabouraud (ilustración 13) se observaron dos grupos; el primero conformado por los días 3 y 4 que muestran similitud, y el segundo por los días 2, 5 y 6 que presentan la misma característica. El amplio rango de la escala vertical del dendrograma indica que estos dos grupos presentan disimilitud.

El análisis de conglomerados estableció que las concentraciones de microorganismos en medio MacConkey presentan mayor similitud que las registradas en los agares sangre y Sabouraud.

Microorganismos identificados

A partir del monitoreo se determinaron 81 morfotipos, de los cuales 34 crecieron en agar sangre, 26 en medio MacConkey y 21 en Sabouraud; la totalidad de morfotipos obtenidos fueron caracterizados de acuerdo a sus propiedades macroscópicas como color, forma y textura de las colonias.

Los criterios de selección aplicados para identificar los morfotipos fueron:

- ✓ Frecuencia de aparición: Número de veces que se presenta el morfotipo para cada una de las muestras. Es importante resaltar que aunque el criterio de frecuencia de aparición se aplicó a todos los morfotipos se presentaron casos en los que no se pudieron aislar dadas las condiciones de las muestras.
- ✓ Material disponible para realizar el análisis: Número de pruebas bioquímicas a emplear en el análisis de las muestras.
- ✓ Espacio de laboratorio: Espacio del laboratorio y de los equipos (incubadora, autoclave y nevera) disponibles para el análisis de las muestras
- ✓ Presencia de hemólisis: Este criterio se aplica sólo para aquellos morfotipos presentes en el medio agar sangre. La hemólisis es el proceso de destrucción de los hematíes, que conlleva la liberación del contenido intraeritrocitario en el plasma alterando su composición [7].
- ✓ Condiciones de bioseguridad del laboratorio: Por otro lado al no contar con un laboratorio que cumpla con las especificaciones de bioseguridad nivel 3 que permite la manipulación de microorganismos del grupo de riesgo 3 (“agentes patógenos que suelen provocar enfermedades

humanas o animales graves, pero que de ordinario no se propagan de un individuo a otro”) se descartaron hongos presentes en los medios MacConkey y agar sangre, ya que la mayoría de estos crecen a 25°C y se inhiben a 35°C [8]. Asimismo, se descartó el morfotipo 22 de agar sangre ya que por presentar resistencia al ácido-alcohol puede tratarse de *Mycobacterium* [9].

A partir del análisis microscópico y de la aplicación de pruebas bioquímicas (API), se obtuvo que diferentes morfotipos correspondían al mismo microorganismo, como sucedió con los morfotipos 13, 14 y 16 del medio MacConkey que dio como resultado *Burkholderia cepacia*.

Tabla 4. Microorganismos identificados

Medio	Morfotipo	Identificados	Frecuencia (%)	Concentración ufc/m3	%Identificación API
McConkey	Morfotipo_3	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	18.33	3.33	82.20
McConkey	Morfotipo_4	<i>Serratia rubidaea</i>	16.67	1.83	49.10
McConkey	Morfotipo_10	<i>Pseudomonas putida</i>	13.33	1.50	97.40
McConkey	Morfotipo_13	<i>Burkholderia cepacia</i>	31.67	4.83	98.70
McConkey	Morfotipo_14				99.30
McConkey	Morfotipo_16				98.90
McConkey	Morfotipo_18				99.70
Agar Sangre	Morfotipo_2	<i>Demacoccus</i>	95.00	96.17	99.7
Agar Sangre	Morfotipo_1	<i>Kytococcus spp</i>	100.00	200.17	99.9
Agar Sangre	Morfotipo_3	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	90.00	90.33	84.70
Agar Sangre	Morfotipo_4	<i>Kocuria varians</i>	88.33	49.50	94.80
Agar Sangre	Morfotipo_7	<i>Staphylococcus capitis</i>	63.33	15.83	77.70
Agar Sangre	Morfotipo_10	<i>Kocuria rosea</i>	40.00	7.50	97.80
Agar Sangre	Morfotipo_14	<i>Staphylococcus xylosus</i>	28.33	4.33	99.70
Agar Sangre	Morfotipo_16	<i>Micrococcus spp</i>	20.00	2.33	99.80
Agar Sangre	Morfotipo_22	<i>Mycobacterium</i>	6.67	0.67	
Sabouraud	Morfotipo 18	<i>Aspergillus</i>	1.67	0.17	
Sabouraud	Morfotipo 12	<i>Aspergillus conicus</i>	70.00	24.3	
Sabouraud	Morfotipo 2	<i>Cladosporium</i>	100.00	969.50	
Sabouraud	Morfotipo 1				
Sabouraud	Morfotipo 11	<i>Fusarium</i>	90.00	32.83	
Sabouraud	Morfotipo 12				
Sabouraud	Morfotipo 4	<i>Rhodotorula spp</i>	83.33	31.00	

Fuente: Autores

Como se observa en la tabla 4, *Kytococcus spp* y *Cladosporium* fueron los microorganismos que presentaron mayor frecuencia de aparición, además de presentar las mayores concentraciones.

• Cálculo del riesgo

Para el cálculo del riesgo se tuvo en cuenta los siguientes criterios:

Importancia clínica de los microorganismos:

De acuerdo al manual de seguridad en el laboratorio, elaborado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se toma como referencia la clasificación de los microorganismos infecciosos por grupos de riesgo, en donde el grupo 2 presenta niveles de riesgo más bajos que el grupo 4. A continuación se muestran las especificaciones para cada uno de los grupos. Se realiza el cálculo del riesgo para microorganismos que puedan generar riesgo a la salud de las personas evaluando el peor escenario.

- Grupo de riesgo 1 (Riesgo individual y poblacional escaso o nulo). Microorganismos que tienen pocas probabilidades de provocar enfermedades en el ser humano o los animales [10].
- Grupo de riesgo 2: (Riesgo individual moderado, riesgo poblacional bajo). Agentes patógenos que pueden provocar enfermedades humanas o animales pero que tienen pocas probabilidades de entrañar un riesgo grave al individuo, la población, los animales o el medio ambiente. La exposición

puede provocar una infección grave, pero existen medidas preventivas y terapéuticas eficaces y el riesgo de propagación es limitado [10].

- Grupo de riesgo 3: (Riesgo individual elevado, riesgo poblacional bajo). Agentes patógenos que suelen provocar enfermedades humanas o animales graves, pero que de ordinario no se propagan de un individuo a otro. Existen medidas preventivas y terapéuticas eficaces [10].
- Grupo de riesgo 4: (Riesgo individual y poblacional elevado). Agentes patógenos que suelen provocar enfermedades graves en el ser humano o los animales y que se transmiten fácilmente de un individuo a otro, directa o indirectamente. Normalmente no existen medidas preventivas y terapéuticas eficaces [10].

Frecuencia de aparición:

La frecuencia de aparición es la cantidad de veces que apareció el microorganismo en las estaciones y en los días de monitoreo. Para el caso de los adultos, se tomó 48 como la frecuencia más alta, pues durante el monitoreo este fue el número de muestras en el hospital para la zona de adultos, mientras que la frecuencia más alta para los niños fue de 24.

Concentración:

Para la concentración se utiliza como riesgo bajo el límite sugerido la ISO 14644 respecto a las áreas limpias y ambientes controlados asociados, en donde establece que este debe ser de 100 ufc/m³ para ambientes limpios (clasificación ISO 7) [2].

Factores ambientales:

Los criterios de los factores ambientales se establecen de acuerdo a la NTP 859 con respecto a la ventilación de hospitales, en la que establecen que el sentido de la circulación del aire debe ser desde las zonas más limpias hacia las zonas más sucias, y las condiciones termo-higrométricas deben ser las adecuadas para cada lugar [11].

Temperatura:

En la NTP 859, de acuerdo a la norma UNE 100713: 2005, establecen que la temperatura mínima para todo centro sanitario debe ser 24°C y la máxima de 26°C [11].

Humedad relativa:

En la NTP 859, de acuerdo a la norma UNE 100713: 2005, establecen que la humedad relativa mínima para todo centro sanitario debe ser 45% y la máxima de 55% [11].

Ventilación:

De acuerdo a la NTP 859, con respecto a la ventilación de hospitales, establecen que de acuerdo a la norma UNE 100713: 2005, el caudal mínimo de aire para la sala de urgencias es de 30 m³/(h.m²) [11].

Para el cálculo del riesgo se establecieron rangos que definen si el riesgo es alto, medio o bajo.

Tabla 5. Rangos de riesgo

Riesgo	Puntaje
Alto	≥ 16
Medio	$10 \leq X \leq 15$
Bajo	≤ 9

Fuente: Autores

A continuación se presentan los resultados del cálculo de riesgo

Tabla 6. Cálculo del riesgo en adultos

Variables	Importancia clínica				Frecuencia de aparición			Concentración (ufc/m ³)		Temperatura		Humedad Relativa		Ventilación		RIESGO TOTAL
	1	2	3	4	1	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	
Morfotipos	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	< 30 %	30% ≤ X < 70 %	≥ 70 %	≤ 100	> 100	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple	
<i>Pseudomonas fluorescens</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Serratia rubidaea</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Pseudomonas putida</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Burkholderia cepacia</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Pantoea spp 3</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Micrococcus spp</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Dermacoccus</i>		2					3	1			3		3		3	15
<i>Kytococcus spp</i>		2					3		3		3		3		3	17
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>		2					3	1			3		3		3	15
<i>Staphylococcus capitis</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Kocuria varians</i>		2				2		1			3		3		3	14
<i>Kocuria rosea</i>		2				2		1			3		3		3	14
<i>Staphylococcus xylosum</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Mycobacterium</i>				3	1			1			3		3		3	14
<i>Aspergillus</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Aspergillus conicus</i>		2				2		1			3		3		3	14
<i>Cladosporium</i>		2					3		3		3		3		3	17
<i>Fusarium</i>		2					3	1			3		3		3	15
<i>Rhodotorula spp</i>		2				2		1			3		3		3	14

Fuente: Autores

Se observa que la mayoría de microorganismos representan un riesgo medio para la población de adultos, en cuanto a la adquisición de enfermedades que estos pueden producir (Tabla 6).

Tabla 7. Cálculo de riesgo en niños

Variables	Importancia clínica				Frecuencia de aparición			Concentración (ufc/m ³)		Temperatura		Humedad Relativa		Ventilación		RIESGO TOTAL
	1	2	3	4	1	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	
Morfotipos	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	< 30 %	30% ≤ X < 70 %	≥ 70 %	≤ 100	> 100	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple	
<i>Pseudomonas fluorescens</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Serratia rubidaea</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Pseudomonas putida</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Burkholderia cepacia</i>		2				2		1			3		3		3	14
<i>Pantoea spp 3</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Micrococcus spp</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Dermacoccus</i>		2					3	1			3		3		3	15
<i>Kytococcus spp</i>		2					3		3		3		3		3	17
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>		2					3	1			3		3		3	15
<i>Staphylococcus capitis</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Kocuria varians</i>		2				2		1			3		3		3	14
<i>Kocuria rosea</i>		2				2		1			3		3		3	14
<i>Staphylococcus xylosum</i>		2			1			1			3		3		3	13
<i>Mycobacterium</i>				3	1			1			3		3		3	14
<i>Aspergillus Conicus</i>		2				2		1			3		3		3	14
<i>Cladosporium</i>		2					3		3		3		3		3	17
<i>Fusarium</i>		2					3	1			3		3		3	15
<i>Rhodotorula spp</i>		2					2	1			3		3		3	14

Fuente: Autores

Para la población de niños se estableció que la mayoría de microorganismos representan un riesgo medio, en cuanto a la adquisición de enfermedades que estos pueden producir (Tabla 7).

Se establece entonces que el riesgo para las zonas de adultos y niños es similar, ya que para los dos casos se presenta riesgo alto derivado de los agentes causales *Kytococcus spp* y *Cladosporium spp*.

DISCUSIÓN

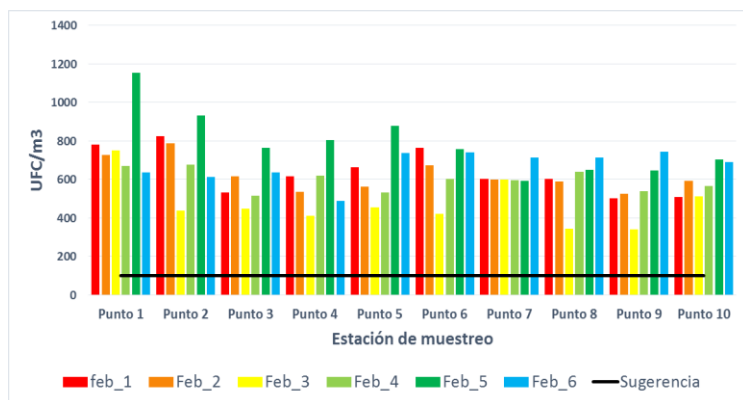
Respecto a los bioaerosoles, la presencia de estos es normal en los diferentes ambientes, ya que se pueden producir por partículas liberadas por los seres vivos y están conformados por bacterias, hongos, protozoos, virus y/o diversas estructuras como heces de ácaros, escamas de piel y saliva, provenientes de artrópodos, aves y mamíferos [12], [13]. Estos requieren condiciones adecuadas de crecimiento que se definen por la temperatura, humedad y nutrientes o sustrato que determinan el desarrollo óptimo.

Los resultados obtenidos en el área de urgencias del hospital de Suba, muestran una relación entre la carga microbiana del ambiente y la temperatura, pues para el caso de los hongos presentes en medio Sabouraud, las concentraciones aumentaban a medida que disminuía la temperatura, lo que puede demostrar que son microorganismos psicrófilos. En cuanto a las bacterias estas se presentan en ambientes con temperaturas más altas, por lo que pueden generar mayor riesgo a la salud de las personas, ya que se pueden adaptar a la temperatura corporal.

Es importante mencionar que el área de urgencias no cuenta con un sistema de ventilación mecánica que permita controlar esta variable, pues durante el monitoreo no se registró velocidad de viento en el termo higrometro y se obtuvo temperaturas entre los 22 y 29°C y valores de humedad entre 38% y 55%, superando los límites establecidos por la NTP 859 con respecto a la ventilación general en hospitales y a la aplicación de la norma UNE 100713:2005, en los que definen que la temperatura debe ser de 24°C a 26°C, y la humedad relativa debe estar entre 45% y 55%. Además, la norma establece que el caudal mínimo de aire debe ser de 30 m³/ (h.m²). Esta sugerencia se debe a que una adecuada ventilación puede brindar medidas de protección que permiten eliminar o reducir los agentes contaminantes presentes en el ambiente, cubriendo las necesidades clínicas y proporcionando condiciones higiénicas adecuadas que permitan proteger los pacientes [11].

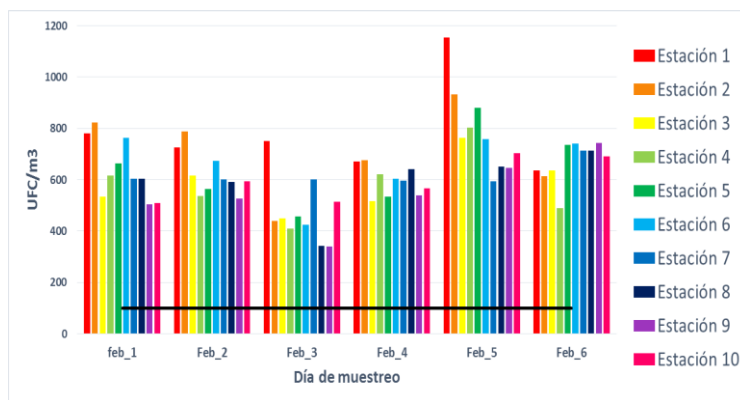
Por otra parte la normativa respecto a bioaerosoles es escasa ya que se desconocen las relaciones dosis-respuesta frente a los contaminantes biológicos debido a que los bioaerosoles son mezclas complejas de diversas clases de partículas y a que las respuestas de los seres humanos varían dependiendo del agente específico y de los factores de susceptibilidad de cada persona; sin embargo la ISO 14644 sugiere que los recuentos microbianos en áreas limpias, debe ser inferior a 100 ufc/m³. Con respecto a esta sugerencia en las ilustraciones 14 y 15 se muestra la comparación con las concentraciones totales obtenidas a partir del monitoreo.

Ilustración 14. Unidades formadoras de colonia por estación de muestreo



Fuente: Autores

Ilustración 15. Unidades formadoras de colonia por día de muestreo



Fuente: Autores

Al comparar los resultados obtenidos con la recomendación de la ISO 14644 se establece que la totalidad de las estaciones en los diferentes días de muestreo superan considerablemente el límite sugerido.

Con respecto a los microorganismos identificados y las infecciones intrahospitalarias asociadas, se obtuvo lo siguiente:

Tabla 8. Microorganismo identificado y enfermedad asociada

Microorganismo		Enfermedad Asociada
<i>Pseudomonas fluorescens</i>		Septicemia, neumonía, infecciones urinarias
<i>Serratia rubidaea</i>		Infección heridas quirúrgicas
		Infección vías urinarias
		Infección tracto respiratorio
<i>Pseudomonas putida</i>		Septicemia, neumonía, infecciones urinarias
<i>Burkholderia cepacia</i>		Fibrosis quística
<i>Pantoea spp3</i>		Infecciones
<i>Micrococcus spp</i>		Endocarditis
<i>Dermacoccus</i>		Endocarditis
<i>Kytococcus</i>		Endocarditis
		Neumonía
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>		Infección tracto urinario
<i>Staphylococcus capitis</i>		Endocarditis
<i>Kocuria varians</i>		Endocarditis
<i>Kocuria rosea</i>		Endocarditis
<i>Staphylococcus xylosus</i>		Infecciones tracto urinario
		Endocarditis
<i>Micobacterium</i>	<i>Tuberculosa</i>	Tuberculosis
	<i>No tuberculosa</i>	Adenitis Cervical
		Infección cutánea
		Infección Pulmonar
<i>Aspergillus</i>		Asma
		Aspergilosis
		Rinitis
		Neumonía
<i>Aspergillus conicus</i>		Endofalmitis
<i>Cladosporium</i>		Rinitis
		Asma
		Micotoxicosis pulmonar
<i>Fusarium</i>		Asma
		Alveolitis alérgica
		Rinitis
<i>Rhodotorula</i>		Rinitis
		Asma

Fuente: Autores

Dentro de los morfotipos identificados se encuentran diversos tipos de bacterias, hongos y levaduras causantes de infecciones en pacientes en estado de inmunodepresión, principalmente infecciones en el sistema respiratorio, tracto urinario y endocarditis.

De acuerdo a la revisión bibliográfica previa, con respecto a estudios realizados en centros de atención médica, se encontró que las principales enfermedades intrahospitalarias adquiridas a través de bacterias y hongos presentes en bioaerosoles son la neumonía originada por *Legionella spp.*, *Aspergillus*,

Enterobacter cancerogenus, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Klebsiella pneumoniae*, y alveolitis alérgica causada por *Penicillium* y *Fusarium*; que además son patógenos oportunistas que pueden causar enfermedades en inmunodeprimidos [14], [15], [16]. Al comparar los resultados de la revisión con los del presente estudio se observa que *Aspergillus* y *Fusarium* son los únicos microorganismos comunes en los monitoreos.

Por otra parte, el Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH), en el manual de métodos analíticos, establece que *Micrococcus* y *Staphylococcus* son normalmente dominantes en ambientes intramurales, además define que los altos niveles de estos microorganismos son indicadores de hacinamiento e inadecuada ventilación. Lo anterior coincide con las condiciones del área de urgencias del hospital de Suba, la cual presenta 180% de sobreocupación y ausencia de ventilación [17].

A partir del cálculo del riesgo se determinó que el área de urgencias presenta un riesgo medio para la salud de las personas y que los agentes causales *Kytococcus spp*, *Cladosporium spp*, *Fusarium spp* y *Staphylococcus saprophyticus* representan riesgo alto a esta población. Igualmente se considera que el bacilo con características similares a *Mycobacterium*, al estar en el grupo 3 de riesgo puede ser importante para el estudio realizado, ya que aunque no fue tan frecuente y no presentó concentraciones altas, puede generar enfermedades graves de fácil transmisión.

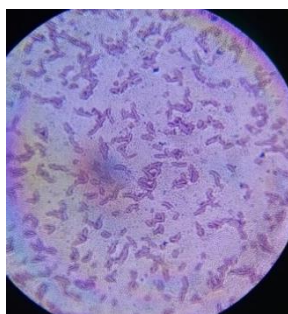
Debido a que el objeto del estudio son las infecciones respiratorias intrahospitalarias, se presentan a continuación las enfermedades asociadas al sistema respiratorio producidas por los microorganismos identificados. Se considera que es importante el control de estos en el ambiente de los centros de atención médica, ya que son patógenos oportunistas que pueden causar enfermedades en personas inmunodeprimidas y se caracterizan por:

- ***Cladosporium spp*:** *Cladosporium* es un hongo filamentoso, que presenta una temperatura óptima de crecimiento es de 18°C a 28°C coincidiendo con las temperaturas encontradas al interior del área de urgencias, este produce contaminación de heridas por inoculación del hongo mediante pinchazos o arañazos con herramientas o elementos contaminados; también la inhalación de las esporas o conidios presentes en forma de bioaerosol en ambientes laborales se ha relacionado con procesos de alergia, con infecciones en el sistema respiratorio y con efectos tóxicos [18].
- ***Kytococcus spp*:** Algunos casos de infecciones graves causadas por estos organismos se han reportado, en particular endocarditis en pacientes con válvulas protésicas. En este género de bacteria se encuentra *Kytococcus schroeteri*, el cual es un saprofito de la piel humana que puede causar neumonía y bacteremia en huéspedes inmunocomprometidos. Este presenta altas tasas de mortalidad debido a que es un microorganismo invasivo y a que suele ser resistente a la penicilina, presentándose más que todo en pacientes que están recibiendo quimioterapia. La óptima elección de la terapia antimicrobiana aún no se ha establecido [19], [20].
- ***Fusarium spp*:** El género *Fusarium* es un grupo de hongos filamentosos ampliamente distribuidos en el suelo y plantas. Debido a su capacidad de crecer a 37°C, son considerados oportunistas y pueden causar infecciones sistémicas en pacientes inmunocomprometidos, con una alta mortalidad [21].
- ***Staphylococcus saprophyticus*:** Se trata de una bacteria Gram positiva, anaerobia facultativa, inmóvil, no esporulada, no encapsulada, de forma esférica, de 0.5 a 1 mm de diámetro perteneciente

a la familia de los *Micrococcaceae*; presenta una frecuencia del 5 al 10% de aislamiento en las infecciones urinaria de la mujer joven, lo que le hace ser el segundo agente causante de estas después del *E. coli* [22].

- ***Mycobacterium*:** El género *Mycobacterium* está integrado por bacilos largos de 3 a 5µm de longitud que poseen resistencia mayor a la tinción por los colorantes comunes, pero una vez teñidos son resistentes a la decoloración con una mezcla de alcohol ácido. Estos son agentes de enfermedades infecciosas que han acompañado al hombre a lo largo de su historia. *Mycobacterium tuberculosis* y *Mycobacterium leprae* son los agentes etiológicos más frecuentes de las dos enfermedades más conocidas de este género. Poco tiempo después que Roberto Koch descubriera *M. tuberculosis* en 1882, fueron identificadas otras especies, constituyendo el grupo de las mycobacterias atípicas. El hallazgo de estas últimas estuvo vinculado por años a colonización transitoria o contaminación de la muestra clínica, pero es a partir de 1950 que se les ha asignado un rol en determinadas patologías; por ejemplo, actualmente *M. avium complex* y enfermedad pulmonar [23].

Ilustración 16. Posible *Mycobacterium* resistente a decoloración de alcohol ácido.



Fuente: Autores

CONCLUSIONES

La mayoría de los microorganismos que se identificaron en el monitoreo, representan un riesgo medio a la población del hospital debido a que la frecuencia de aparición y las altas concentraciones en el ambiente superan la sugerencia de la OMS para establecimientos con individuos en estado de inmunodepresión; esto se suma a que los registros de temperatura y humedad relativa no cumplen con las sugerencias establecidas por la NTP 859, por lo que el hospital no ofrece condiciones de seguridad, tanto para los pacientes como para el personal de la institución.

Las variables temperatura y humedad relativa no presentaron correlación estadística significativa al ser estas casi constantes, pues explicaron el modelo de análisis de componentes principales en un 29%. Esto puede significar que el ambiente del hospital presenta una carga constante, es decir, es un ambiente apropiado para la reproducción y desarrollo de microorganismos, y que puede haber otros factores que influyan en las altas concentraciones de microorganismos presentes en el área de urgencias.

No se encontraron diferencias entre las estaciones de las áreas de niños y de adultos en cuanto a la diversidad de microorganismos que se obtuvieron a partir del monitoreo, es decir, la mayoría de morfotipos estaban presentes en las dos áreas. Lo anterior puede ser consecuencia de que estas no se encuentran separadas entre sí.

A partir del cálculo del riesgo se obtuvo que los agentes causales *Kytococcus spp* y *Cladosporium spp* representan un riesgo alto a la salud de las personas, ya que fueron los que presentaron mayor frecuencia de aparición y concentración. Para el caso del estudio que se enfoca en las infecciones respiratorias intrahospitalarias, estos pueden generar enfermedades como rinitis, asma y neumonía que en algunos casos por tratarse de pacientes con inmunodepresión puede traer consecuencias mortales.

Los microorganismos identificados pueden transmitirse tanto a los pacientes como al personal por diversas vías de exposición, dadas las características que presentan y a las enfermedades que puedan causar. Aunque el grado del riesgo para el área de urgencias es medio, es importante tener en cuenta que este puede variar de acuerdo a las condiciones del huésped.

La ausencia del monitoreo microbiológico del aire al interior de los centros médicos puede estar asociado a que no se han establecido límites numéricos en normativa, ya que como se menciona en la NTP 409 se desconocen las relaciones dosis-respuesta frente a los contaminantes biológicos debido a que los bioaerosoles son mezclas complejas de diferentes clases de partículas y a que las respuestas de los seres humanos frente a estos varían dependiendo del agente específico y de los factores de susceptibilidad individual.

RECOMENDACIONES

Para cumplir con las sugerencias de la ISO 14644 y la NTP 859 se recomienda la implementación de un sistema de ventilación, calefacción y enfriamiento (HVAC), el cual tiene como principio el acondicionamiento de temperatura y humedad relativa, la renovación del aire (ventilación) y la filtración (eliminación de partículas) [24]. A este se le deben realizar mantenimientos periódicos.

Se recomienda implementar el monitoreo de la calidad microbiológica del aire al interior de los centros médicos, con el fin de identificar los microorganismos patógenos oportunistas que pueden aprovechar las condiciones de los inmunodeprimidos e identificar los posibles puntos críticos que permiten su diseminación. Para el caso del Hospital de Suba se deben incluir más variables que permitan identificar el factor que propicia las altas concentraciones de microorganismos que se registraron.

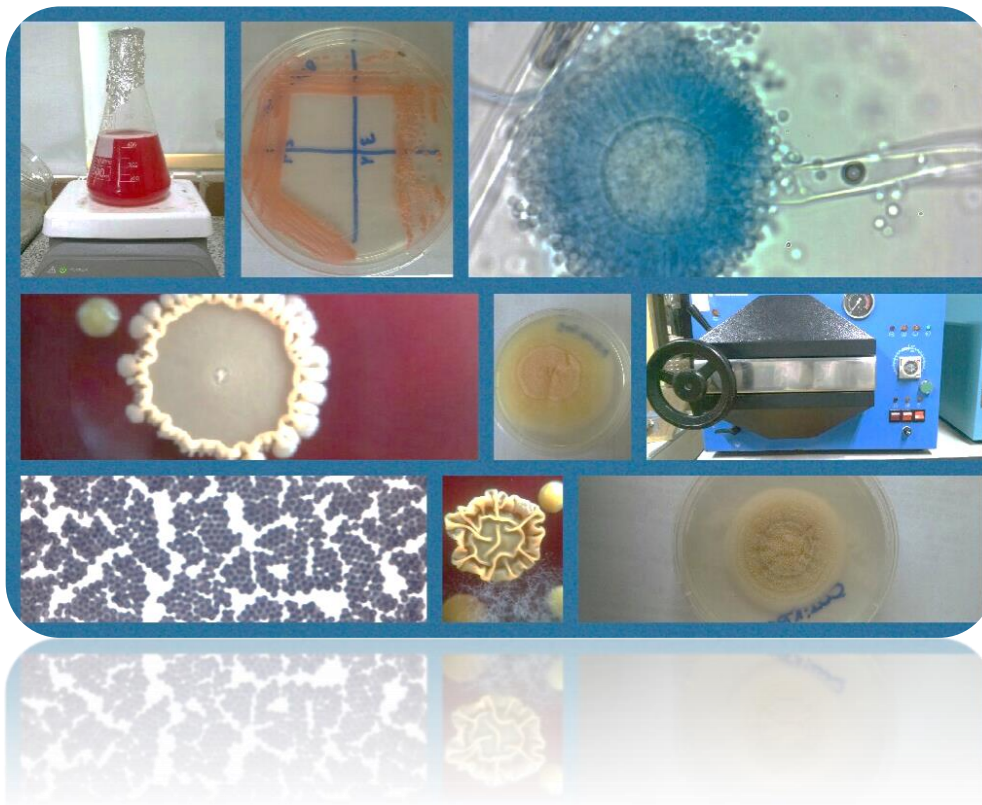
Para establecer el riesgo que puedan presentar los microorganismos a la salud de las personas, es importante llegar a la identificación de la especie, ya que las enfermedades pueden variar de acuerdo a las características de cada una.

REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud., «Instituto Nacional de Salud,» Instituto Nacional de Salud, Marzo 2011. [En línea]. Available: <http://www.ins.gov.co/iaas/paginas/que-son-las-iaas.aspx>. [Último acceso: 15 Septiembre 2015].
- [2] Organización Internacional para la Estandarización., ISO 14644-1, Cleanrooms and associated controlled environments, Part 1: Classification of airborne, Ginebra: Organización Internacional para la Estandarización..
- [3] Hospital de Suba II nivel ESE., *Plano del área de urgencias*, Bogotá D.C: Hospital de Suba, 2016.
- [4] Merck Millipore, Manual de microbiología, Darmstadt: Merck Millipore, 2012.

- [5] M. d. . C. Martí Solé , «NTP 299: Método para el recuento de bacterias y hongos en aire,» Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Madrid.
- [6] Hospital de Suba, «Hospital de Suba, Subred Integrada de Servicios de Salud Norte,» 22 Diciembre 2011. [En línea]. Available: <http://www.esesuba.gov.co/joomla/portal/index.php/urgencias>. [Último acceso: 15 Febrero 2016].
- [7] R. Gómez Rioja, M. J. Alsina Kirchner, V. Álvarez Funes, N. Barba Meseguer, M. Cortés Rius, M. A. Llopis Díaz y C. Martínez Bru, «Hemólisis en las muestras para diagnóstico,» *Revista del Laboratorio Clínico*, vol. 2, nº 04, pp. 185-195, 2009.
- [8] A. J. Streifel, «Bioscience International,» Bioscience International, 2011. [En línea]. Available: http://www.biosci-intl.com/news/USP797_env_testing.html. [Último acceso: 5 Marzo 2016].
- [9] G. J. Tortora, B. R. Funke y C. L. Case, Introducción a la microbiología, Madrid: Editorial Médica Panamericana S.A., 2007.
- [10] Organización Mundial de la Salud, Manual de bioseguridad en el laboratorio., Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 2005.
- [11] M. G. Rosell Farrás y A. Muñoz Martinez , «NTP 859: Ventilación general en hospitales,» Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo., Barcelona, 2010.
- [12] M. d. C. Martí Solé, «NTP 288: Síndrome del edificio enfermo: enfermedades relacionadas y papel de los bioaerosoles,» Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Madrid.
- [13] C. Rose, «Bioaerosols,» *Epitomes-Occupational Medicine*, vol. 160, nº 6, p. 566, 1994.
- [14] Organizacion Mundial de la Salud, «Prevención de infecciones nosocomiales,» La Valeta, 2003.
- [15] N. Izzedin, L. Medina y T. Rojas, «Evaluación de bioaerosoles en ambientes de centros de salud de la ciudad de Valencia , Venezuela,» Valencia, 2011.
- [16] P. Luksamijarulkul, N. Aiempradit y P. Vatanasomboon, «Microbial Contamination on Used Surgical Masks among Hospital Personnel and Microbial Air Quality in their Working Wards: A Hospital in Bangkok.,» *Oman Medical Journal*, vol. 29, nº 5, pp. 346-350, 2014.
- [17] National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) , Manual de metodos analiticos, Atlanta: National Institute of Occupational Safety and Health, 1994.
- [18] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, «Fichas de agentes biológicos: Cladosporium spp,» Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Madrid, 2014.
- [19] O. Blennow, K. Westling, I. Fröding y V. Özenc, «Pneumonia and Bacteremia Due to Kytococcus schroeteri,» *Journal of Clinical Microbiology*, vol. 50, nº 2, pp. 522-524, 2012.
- [20] C. Hodiamont, C. Huisman, L. Spanjaard y R. Van Ketel, «Kytococcus schroeteri Pneumonia in Two Patients with a Hematological Malignancy,» *Infection*, vol. 38, nº 2, pp. 138-140, 2010.
- [21] C. Tapia y J. Amaro, «Retrato microbiológico: Género Fusarium,» *Revista Chilena Infectol*, vol. 31, nº 1, pp. 85-86, 2014.

- [22] W. Hirzel, «Implicancias del *Staphylococcus saprophyticus* en la patología infecciosa urinaria de la mujer,» *Acta bioquím. clín. latinoam*, vol. 38, nº 2, pp. 217-220, 2004.
- [23] G. Rodríguez Cuns, «Género *Mycobacterium*,» Instituto de Higiene, Medellín, 2002.
- [24] MCG Servicios hospitalarios, *Calificación ambiental de áreas hospitalarias*, Caracas: MCG Servicios hospitalarios, 2012.
- [25] Alphabet Inc, «Google Maps,» Alphabet Inc, 2016.



PROTOCOLO DE MONITOREO Y ANÁLISIS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AIRE EN CENTROS DE ATENCIÓN MÉDICA

*PROTOCOLO DE MONITOREO Y ANALISIS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AIRE EN CENTROS DE
ATENCIÓN MEDICA*

Lina	María	Guzmán	Fierro
Estudiante		de	ingeniería
Ambiental			

José	Alejandro	Pachón	Bernal
Estudiante		de	ingeniería
Ambiental			



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD INGENIERIA AMBIENTAL
LINEA DE SALUD AMBIENTAL
2016

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. DEFINICIONES Y ACRÓNIMOS.....	5
3. GENERALIDADES.....	7
3.1. Quienes deben aplicar el protocolo	7
3.2. Propósito.....	7
4. TIPOS DE MONITOREO	7
4.1. Impactación directa en medios de cultivo.....	7
4.2. Succión.....	7
5. DESARROLLO	8
5.1. Características del lugar.....	8
5.2. Materiales, insumos y equipos	8
5.3. Cálculo puntos de muestreo	9
5.4. Cálculo número de muestras.....	10
5.5. Monitoreo	10
5.6. Seguimiento.....	12
5.7. Cuantificación de colonias	13
5.8. Caracterización	13
5.9. Descarte de material.....	15
5.10. Procesamiento Datos.....	15
BIBLIOGRAFÍA.....	18
ANEXOS	20
ANEXO I: PREPARACIÓN MEDIOS DE CULTIVO.	20
ANEXO II: FORMATO DE CAMPO	21
ANEXO III: TABLA DE FELLER.....	22
ANEXO IV: AISLAMIENTO DE COLONIAS.....	23
ANEXO V: TINCIÓN	25

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación intramural del aire y sus efectos en las transmisión de infecciones nosocomiales o intrahospitalarias (IIH), constituye un problema de salud ambiental, rama de la salud pública, dada su frecuencia, severidad, alto costo y que aportan un número importante de casos de morbilidad cada año.

Por otro lado, factores como el flujo de pacientes, la diversidad de servicios, y la posible deficiencia en el sistema de aireación, hacen que la probabilidad de adquisición de IIH sea alta, ya que aumenta la presencia de bacterias, virus y hongos patógenos que en gran proporción se encuentran asociados a bioaerosoles, por lo que cualquier paciente que se localice en el centro hospitalario, especialmente los que se encuentran en estado inmunocomprometido, pueden tener un riesgo más alto de contraer infecciones nosocomiales al estar expuesto a algún tipo de bioaerosol.

2. DEFINICIONES Y ACRÓNIMOS

Abrasivo: Un abrasivo es todo aquel material o producto químico cuya dureza es mayor que la del objeto que va a pulir, desgastar o alisar [1].

Asepsia: Se habla de asepsia para referirse al conjunto de técnicas que garantizan la ausencia de gérmenes o microorganismos infecciosos [2].

Aerosolización: Proceso de dispersión de las partículas constitutivas del bioaerosol [3].

Amplificación: Aumento en número o en concentración de los organismos, sus partes o componentes [3].

Bacteria Gram negativa: Bacterias con una capa de peptidoglican delgada y con membrana externa, al realizar la tinción de Gram pierden el color violeta con el agente decolorante y toman un color rojo al teñirse con safranina [4].

Bacteria Gram positiva: Bacterias que poseen una capa gruesa de peptidoglicano y carecen de membrana externa, al someterlas a tinción de Gram retienen el cristal violeta y por lo tanto se ven de un color violeta intenso [4].

Bioaerosol: Partículas transportadas por el aire, constituidas por seres vivos, o moléculas grandes que han sido liberadas por un ser vivo [3].

Cepario: Colección de microorganismos: bacterias, hongos, virus y parásitos, principalmente, así como parte o productos de ellos; ácidos nucleicos, proteínas o toxinas que se han conservado [5].

Enzimas: Las enzimas son biocatalizadores (es decir compuestos de origen biológico) que aceleran las reacciones químicas [6].

Estéril: Ambiente que no cuenta con presencia de microorganismos [7].

Inerte: Sinónimo de inactivo, aplicado a un residuo o producto significa que este resulta inalterable ante determinados agentes exteriores, ya sean físicos, químicos o biológicos. Cuando se habla de un residuo inerte es aquel que no podrá contaminar por acción de los mencionados agentes, una vez depositado o almacenado [8].

Inertización: Cualquier proceso que tienda a hacer inerte un residuo [8].

ISO: La Organización Internacional de Normalización

Microorganismos: Seres vivos diminutos que individualmente suelen ser demasiado pequeños para ser observados a simple vista. El grupo incluye las bacterias, hongos (levaduras, mohos, hongos filamentosos), protozoos, algas microscópicas y virus [9]

Microorganismos anaerobios: Son microorganismos que pueden vivir en ausencia de oxígeno atmosférico [10].

NTP: Notas técnicas de prevención.

Reservorio: lugar donde, de forma natural, se encuentra un organismo [3].

RESPEL: Residuo Peligroso

Sanitizante: Es el agente/producto que reduce el número de bacterias a niveles seguros de acuerdo a normas de salud [11].

UFC: Unidades Formadoras de Colonias.

3. GENERALIDADES

3.1. Quienes deben aplicar el protocolo

El siguiente protocolo lo deben aplicar los comités de infecciones intrahospitalarias que se reglamentan en el decreto 3518 de 2006 del Ministerio de Salud y Protección Social, quienes deben contribuir a mejorar la calidad de los servicios de salud e identificar los factores de riesgo o factores protectores relacionados con los eventos de interés en salud pública y los grupos poblacionales expuestos a dichos factores [12].

3.2. Propósito

Incentivar la aplicación de estrategias como el monitoreo microbiológico del aire en centros de atención médica, con el fin de formular medidas de control para reducir las tasas de adquisición de enfermedades nosocomiales que se reportan en los boletines epidemiológicos. Lo anterior para dar cumplimiento a la política de prevención, control y vigilancia epidemiológica de infecciones intrahospitalarias establecida en la resolución 073 de 2008 de la Secretaría Distrital de Salud.

4. TIPOS DE MONITOREO

4.1. Impactación directa en medios de cultivo

Las partículas suspendidas en el aire tienden a precipitarse sobre las superficies. Este método consiste en dejar expuesta una caja de Petri con el medio de cultivo sólido seleccionado en las diferentes áreas, con el fin de captar estas partículas.

4.2. Succión

Este procedimiento se basa en el sistema de Impactación de Andersen, el cual consiste en aspirar el aire a través de una tapa perforada. Un ventilador radial, controlado por un sensor de flujo, regula con precisión el flujo de aire en tiempo real. El aire aspirado impacta con un medio de crecimiento en una placa de contacto [13].

El sistema aspira un caudal constante de 100 litros por minuto, regulando automáticamente el caudal de acuerdo a la presión y temperatura ambiental. Si la corriente de aire fuese irregular a causa de factores externos, o bien fuera interrumpida o limitada por capsulas de Petri sobrecargadas, la cantidad de aire será automáticamente reajustada [13], [14].

5. DESARROLLO

5.1. Características del lugar

- Determinar las dimensiones de la zona a monitorear.
- Determinar fuentes de contaminación cercana, (ubicación del centro de atención médica).
- Determinar el estado de la infraestructura y materiales de construcción de los pisos, paredes, techos, puertas y ventanas; lo anterior debido a que esto influye en la facilidad de limpieza del área y en la generación de reservorios para los microorganismos.
- Identificar puntos críticos de control como puertas, ventanas, zonas en donde la infraestructura se encuentre deteriorada, la ubicación de los sistemas y ductos de aireación. Este último debido a que influyen en las fases de formación de un bioaerosol; reservorio, amplificación y aerosolización.

5.2. Materiales, insumos y equipos

Se sugiere el empleo de algunos materiales, pero estos pueden variar según la consideración de quien aplique este protocolo.

- Muestreador de aire que cumpla con las especificaciones de la norma ISO14698-1.
- Cajas de Petri (en caso de utilizar el muestreador de aire es necesario que cumplan con las dimensiones requeridas). Se recomienda el uso de cajas de Petri desechables, dada su facilidad de manipulación y a que se pueden disponer después de su uso.
- Medios de cultivo: para el monitoreo se recomienda utilizar medios de cultivo que permitan el crecimiento de hongos, bacterias Gram positivas y Gram negativas, y microorganismos anaerobios.
- Elementos de protección personal: guantes de látex, tapabocas, cofias, bata de laboratorio.
- Pruebas bioquímicas para identificación de microorganismos.
- Reactivos para tinción de Gram
- Microscopio
- Campana de anaerobiosis
- Autoclave
- Mechero
- Incubadora
- Nevera

5.3. Cálculo de puntos de muestreo

Para la determinación del número de puntos de muestreo, se sugiere la aplicación de la metodología de la parte 1 de la ISO 14644 con respecto a las áreas limpias y ambientes controlados asociados [15].

Tabla 1. Número mínimo de puntos de muestreo dependiendo del área de sala limpia según ISO 14644-1

Área de sala limpia (m ²) de menos o igual a	Número mínimo de puntos de muestreo a probar (NL)
2	1
4	2
6	3
8	4
10	5
24	6
28	7
32	8
36	9
52	10
56	11
64	12
68	13
72	11
76	15
104	16
108	17
116	18
148	19
156	20
192	21
232	22
276	23
352	24
436	25
636	26
>1000	Aplicar ecuación

Fuente: Normalización, capacitación, certificación - Cambios en la ISO 14644-1&2 y los impactos en la GMPS [16].

- Si el área de la sala es mayor a 1000 m² se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$N_L = 29 * \left(\frac{A \text{ m}^2}{1000 \text{ m}^2} \right)$$

Donde:

N_L = Número mínimo de puntos de muestreo

A = Área total de zona a monitorear (m²)

- Si el área de la zona se encuentra entre dos valores de la tabla, el mayor de los dos debe ser seleccionado.

5.4. Cálculo de número de muestras

Para que los resultados obtenidos a partir del monitoreo sean estadísticamente significativos, se recomienda realizar como mínimo tres repeticiones por punto de muestreo y por cada medio de cultivo seleccionado.

Ejemplo:

Área establecimiento: 25 m²

N_L= 7

Repeticiones (R)= 3

*Número de medios de cultivo (C_L)= 4

Número total de muestras por monitoreo: N_L* R*C_L= 84

* El número de medios de cultivo varía de acuerdo a las consideraciones e interés de quien aplique el monitoreo (ver numeral 5.2).

5.5. Monitoreo

Antes de realizar el monitoreo es necesario el tener los elementos de protección personal (Guantes, Tapabocas, Cofia, Bata de laboratorio) con el fin de garantizar que no se alteren las muestras por la manipulación de los instrumentos.

Por otro lado es necesario preparar los medios de cultivo seleccionados de manera previa (Ver anexo I).

Los puntos de muestreo deberán ser distribuidos de manera equidistante en la zona a monitorear con el fin de abarcar toda el área de interés.

Dependiendo el método de monitoreo a desarrollar se seguirán las siguientes metodologías:

- Succión:

Antes de utilizar el equipo muestreador de aire es necesario verificar que este se encuentre calibrado y funcione correctamente. Luego se debe desinfectar con un sanitizante no abrasivo (por ejemplo, alcohol al 70%).

- Verifique la esterilidad de los medios de cultivo seleccionados.

- Ubique el equipo en el punto de muestreo a una altura entre 1 y 1.5 m.
 - Encienda y programe el equipo según el caudal seleccionado para el monitoreo.
 - Retire el cabezal del equipo.
 - Introduzca la caja de Petri cerrada sobre el soporte del equipo y retírele la tapa. Guarde la tapa en una bolsa hermética durante la toma de muestra.
 - Coloque el cabezal inmediatamente y retire el guardapolvo en el mismo instante en el que inicie la toma de muestra.
 - Coloque el guardapolvo en el equipo en el instante en que finaliza la toma de muestra.
 - Retire el cabezal del equipo y tape la caja de Petri.
 - Rotule la caja de Petri con el día, punto de muestreo y medio de cultivo utilizado.
 - Realizar el monitoreo con los demás medios de cultivo.
 - Realizar las repeticiones correspondientes, de acuerdo con el área de sala (m²) que se define en la tabla 1.
 - Desinfecte el cabezal y el guardapolvo.
 - Recargue el equipo según la frecuencia de muestreo y el tiempo de duración de la batería.
- Impactación directa:
 - Verifique la esterilidad de los medios de cultivo seleccionados.
 - Ubique las cajas de Petri en los punto de muestreo
 - Retírele la tapa de la caja de Petri y guarde la tapa en una bolsa hermética durante la toma de muestra.
 - Dejar expuestas las cajas de Petri por un tiempo de 15 minutos [17].
 - Tape la caja de Petri y rotúlela con el día, punto de muestreo y medio de cultivo utilizado. Presérvelas
 - Realizar el mismo procedimiento, para las diferentes repeticiones y los diferentes medios de cultivo.

De manera paralela y para los dos métodos de monitoreo, se recomienda registrar datos de temperatura y humedad relativa con el fin de identificar las relaciones existentes entre variables. Esta información se puede recolectar con un termohigrómetro, que además permite registrar valores de velocidad del viento en caso de que se presenten corrientes de aire.

Se recomienda registrar estas variables en formatos junto con las observaciones que se hagan al momento de monitorear (Ver anexo II).

5.6. Seguimiento

A través del correcto manejo, cuidado y preservación de las muestras, desde su recolección hasta su análisis, se pueden obtener resultados confiables. A partir de esto se sugiere llevar un control antes y después de cada procedimiento.

- Transporte: Transportar las cajas de Petri en condiciones de asepsia, garantizando la seguridad de estas, evitando el movimiento excesivo y que puedan llegar a abrirse y contaminarse.
- Laboratorio: El manual de bioseguridad en el laboratorio desarrollado por la Organización Mundial de la Salud, sugiere que los laboratorios de contención, tienen un nivel de bioseguridad 3 ya que está concebido e instalado para trabajar con microorganismos del grupo de riesgo 3 (“agentes patógenos que suelen provocar enfermedades humanas o animales graves, pero que de ordinario no se propagan de un individuo a otro”). Debido a los riesgos a los que está sujeto el personal al momento de trabajar en este, se recomienda adoptar las directrices que se establecen en el manual en cuanto a protección personal (guantes, tapabocas, cofia, bata de laboratorio), a los procedimientos, al cuidado de las zonas de trabajo, a la utilización de materiales y equipos, y a los procedimientos de manipulación y eliminación de material y desechos contaminados. Además, la adopción de estas directrices contribuye a la confiabilidad de los resultados del análisis [18].

Según los tipos de microorganismos que se quieran monitorear se deberán garantizar las condiciones de crecimiento.

- Hongos: Temperatura ambiente.
- Anaerobios: Se debe simular una atmósfera anaerobia, por lo que se recomienda introducir las muestras en la campana de anaerobiosis junto con el componente activo que permita absorber el oxígeno y el dióxido de carbono. Una vez realizado esto, se deberá introducir en incubadora durante 24 a 48 horas a una temperatura de 37 grados, con el fin de simular la temperatura del cuerpo humano y acelerar el crecimiento de los microorganismos.
- Aerobios: Se introducirán en la incubadora a una temperatura de 37 grados durante 24 a 48 horas.

5.7. Cuantificación de colonias

Realizar el conteo de las colonias de manera manual en las muestras obtenidas, distinguiendo los diferentes morfotipos.

El número de colonias obtenido se debe corregir a través de la tabla de Feller (Ver anexo III), el cual se basa en el siguiente principio: A mayor cantidad de microorganismos en cada toma de muestras, aumenta la probabilidad de que penetren varios microorganismos por el mismo orificio de la tapa del equipo.

El número de colonias presentes por metro cúbico de aire se estima mediante la fórmula establecida por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en la NTP 299: Método para el recuento de bacterias y hongos en aire [19].

$$n^{\circ}ufc/m^3 = \frac{NC \times 1000}{V}$$

Donde:

NC: Número de colonias por placa

V: Volumen de muestreo (litros)

5.8. Caracterización

Se recomienda la elaboración de un cepario para facilidad de identificación de microorganismos y para ahorrar insumos (se sugiere realizar el análisis de las muestras en laboratorios externos a los centros de salud). (Ver anexo IV).

Una vez se tienen aislados los microorganismos se debe realizar la tinción según corresponda.

- Tinción de Gram: A través de la metodología de tinción (Ver anexo V) se realiza la identificación de bacterias según su estructura y grosor de pared bacteriana, ya que las Gram positivas no se decoloran porque su pared de peptidoglicano es gruesa, contiene pocos lípidos y dificulta la penetración de alcohol que pudiera extraer el colorante, generando una tonalidad morada; mientras que las Gram negativas adquieren una tonalidad rosada [20].

Es necesario realizar este procedimiento con el fin de verificar que se encuentre un solo tipo de célula, para que al momento de realizar las pruebas bioquímicas para la identificación no se presenten cruces de datos.

- Caracterización de hongos: Se realiza tinción con azul de lactofenol para posteriormente analizar en microscopio y así determinar los hongos de acuerdo a su estructura.

Para identificar bacterias aerobias y anaerobias se recomienda el uso de pruebas bioquímicas, que permiten diferenciar bacterias de acuerdo a la reacción de las enzimas de estas con diferentes sustratos deshidratados.

- Índice Analítico de Perfil (API): Los sistemas miniaturizados API son métodos rápidos que permiten la identificación de microorganismos mediante un dispositivo de plástico con varios microtubos que contienen diferentes medios de cultivo deshidratados o diferentes sustratos de enzimas de acuerdo al tipo de prueba que se requiere.

Entre algunas de las pruebas bioquímicas que pueden realizarse con estos sistemas están las pruebas de fermentación de carbohidratos, la determinación de la producción de H₂S, la determinación de la hidrólisis de la gelatina, entre otras.

A continuación se indican algunas pruebas específicas para llegar a una aproximación de la especie a partir del género que pertenece:

- API 20E: Permite la identificación de microorganismos pertenecientes al grupo de las enterobacterias y de otros bacilos Gram negativos.
 - API 20STREP: Permite la identificación de estreptococos, enterococos y bacterias emparentadas.
 - API STAPH: Permite la identificación de estafilococos y micrococos
 - API 20A: Permite la identificación de microorganismos anaerobios.
- Medios de cultivo:

Los medios de cultivo son utilizados para diferentes propósitos; entre estos el aislamiento de ciertos tipos de microorganismos y su identificación. Con base en su uso o función se clasifican como medios selectivos, diferenciales, selectivo-diferenciales, entre otros [21].

- Medios selectivos: Favorece el crecimiento de ciertas bacterias e inhibe el de otras. Dentro de este tipo de medio se encuentra el agar sal, que posee una concentración de cloruro de sodio (NaCl) del 10% facilitando el crecimiento de *Staphylococcus aureus* [21].
- Medios diferenciales: Permite distinguir diferencias metabólicas de diversas especies o géneros de microorganismos o de ciertos grupos de los mismos, mediante la adición de alguna sustancia que pueda ser metabolizada solo por los microorganismos de interés [21].

- Medios selectivo-diferenciales: Permite la selección de un tipo de microorganismo y brinda información sobre sus características metabólicas [21].

5.9. Descarte de material

- Material biológico.

Se debe tener en cuenta que los residuos generados en el análisis de calidad microbiológica se tratan de residuos peligrosos con características infecciosas (agentes patógenos), a los cuales se les debe dar un tratamiento previo a su disposición final, por lo cual una vez analizadas las muestras, los materiales (cajas de Petri, medios de cultivo contaminados y material desechable contaminado) se deben almacenar en bolsas plásticas resistentes a altas temperaturas para posteriormente desactivarlos en autoclave. Por último se deben almacenar en bolsas rojas indicando riesgo biológico y se debe contactar a la empresa encargada de la recolección y disposición final del material.

- Residuos químicos peligrosos.

Depositar los residuos químicos en contenedores apropiados de acuerdo a sus características de peligrosidad, el volumen generado y su compatibilidad con otros residuos. Estos contenedores deben ser preferiblemente de cierre hermético y deben presentar resistencia a golpes.

Tener en cuenta los principios establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 1692, en donde se establece el rotulado, etiquetado y descripción de los envases que se utilizan para el acondicionamiento de RESPEL.

5.10. Procesamiento Datos

Se recomienda la aplicación de la estadística descriptiva para presentar, analizar e interpretar datos de una forma objetiva y útil, para que la información resulte confiable y exprese los contenidos en un lenguaje de fácil comprensión para que se puedan establecer comparaciones [22].

a) Determinación del Promedio de partículas por punto de muestreo:

$$Xi: \frac{X1 + X2 \dots + Xn}{n}$$

Donde:

X_i = Concentración Promedio localización i
 X_1 a X_n = Concentración individual de partículas
 n = Número de muestreos por puntos de muestreo

b) Determinación del Valor Medio del Promedio:

$$X_p = \frac{X_{i1} + X_{i2} \dots + X_{im}}{m}$$

Donde:

X = Valor medio de los promedios por localización.
 X_{i1} a X_{im} = Valores promedios por localización individual
 m = Número de puntos de muestreo

c) Determinación de la Desviación Estándar

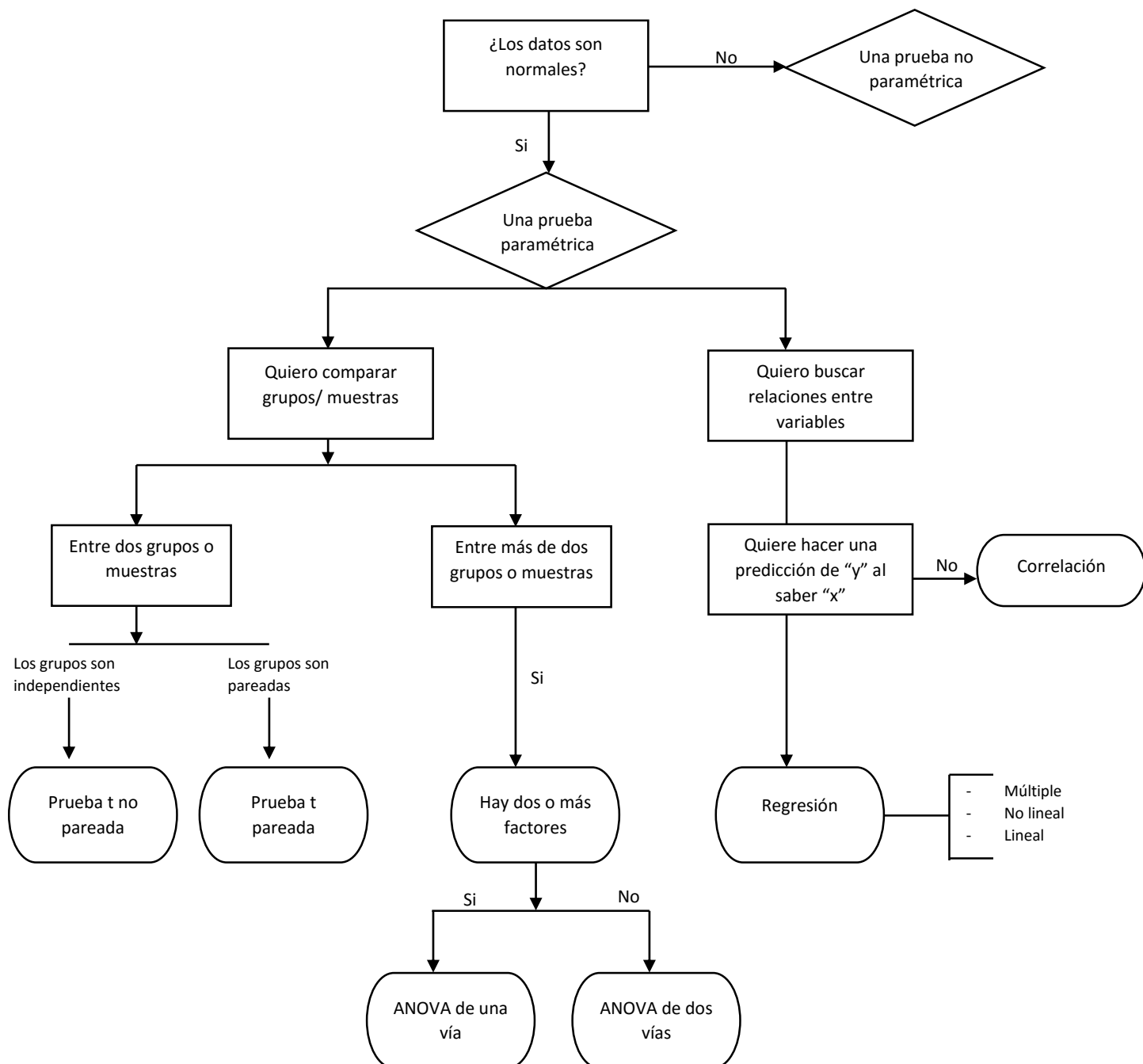
$$S = \sqrt{\frac{(X_{i1} - X_{p1})^2 + (X_{i2} - X_{p2})^2 \dots + (X_{in} - X_{pn})^2}{(m - 1)}}$$

Donde:

S = Desviación estándar
 X_{i1} a X_{in} = Valores promedios por localización individual
 X_{p1} a X_{pn} = Valores medios del promedio por localización
 m = Número de puntos de muestreo

Así mismo es recomendable utilizar estadística inferencial la cual permite correlacionar las variables analizadas. En la imagen 1 se observan los diferentes análisis que se pueden realizar, de acuerdo a las características de los datos y a la hipótesis planteada.

Imagen 1. Flujo de pruebas paramétricas



Fuente: Guía de aplicación de pruebas estadísticas en el programa Systat 7.0 para ciencias biológicas y forestales [23].

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Herpimar, *Rocmaquina*, vol. 97, p. 78, 2005.
- [2] L. Silva Garcia , J. M. Perez Santana y C. R. Junquera Velasco, «Limpieza del instrumental e higiene del medio hospitalario,» vol. I, Sevilla, MAD - Edufarma, 2006.
- [3] Insituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, «NTP 288: Síndrome del edificio enfermo: enfermedades relacionadas y papel de los bioaerosoles,» Madrid.
- [4] V. Garcia, de *Introduccion a la microbiologia*, Universidad estatal a distancia, p. 47.
- [5] «BM Editores,» [En línea]. Available: <http://bmeditores.mx/cepario-nacional-de-salud-animal/>. [Último acceso: 3 Marzo 2016].
- [6] J. Koolman, «Bioquimica: Texto y Atlas,» Madrid, Panamericana, 2004, p. 156.
- [7] Universidad de Navarra, «Técnicas de eliminación y de conservación de microorganismos,» Pamplona.
- [8] F. Roman Ortega, «Diccionario de medio ambiente y materias afines,» FC Editorial, 1999, p. 133.
- [9] B. R. F. C. L. C. Gerard J. Tortora, de *Introduccion a la Microbiologia*, Buenos Aires, Panamericana, 2007, p. 2.
- [10] M. Negroni, de *Microbiologia Estomatologica*, Buenos Aires, Panamericana, 2009, p. 49.
- [11] MERCOSUR, «Código del MERCOSUR: tratado, protocolos, acuerdos, declaraciones, decisiones, resoluciones, directivas, recomendaciones,» Buenos Aires, 1996, p. 6074.
- [12] Ministerio de la Protección Social., «Decreto 3518 de 2006,» Bogota, 2006.
- [13] Merck Millipore, «MAS -100, Microbial Air Monitoring Systems,» Merck Millipore, Darmstadt, 2012.

- [14] Subdepartamento Higiene y Seguridad Industrial, «Procedimiento muestreo microbiológico del aire,» Instituto de Salud Pública de Chile, Santiago de Chile, 2011.
- [15] Organización Internacional para la Estandarización., ISO 14644-1, Cleanrooms and associated controlled environments, Part 1: Classification of airborne, Ginebra: Organización Internacional para la Estandarización..
- [16] A. E. Gamino, «Normalización, capacitación, certificación - Cambios en la ISO 14644-1&2 y los impactos en la GMPS,» Sociedade Brasileira de Controle de Contaminacao, Cartagena, 2013.
- [17] C. R. N. O. M. B., «Correlación entre pruebas cutáneas positivas a hongos, IgE total, e IgE específica por ELISA y cultivos de hongos en el medio ambiente del paciente pediátrico alérgico.,» *Alérg Mex*, nº 48, pp. 137-140 , 2001.
- [18] Organización Mundial de la Salud, Manual de bioseguridad en el laboratorio., Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 2005.
- [19] M. d. . C. Martí Solé , «NTP 299: Método para el recuento de bacterias y hongos en aire,» Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Madrid.
- [20] J. M. Macarulla y F. M. Goñi, Bioquímica Humana, Barcelona: Reverté S.A., 1994.
- [21] V. García Cortés, Introducción a la microbiología, San José: Universidad Estatal a Distancia, 2004.
- [22] H. Llinás Solano y C. Rojas Alvarez, Estadística descriptiva y distribuciones de probabilidad, Barranquilla: Uninorte, 2006.
- [23] J. C. Herrera F. y L. E. Carse, Guía de aplicación de pruebas estadísticas en el programa Systat 7.0 para ciencias biológicas y forestales., Santa Cruz: Chemonics International, 2000.
- [24] SERAMIX, «SERAMIX,» 2 Mayo 2013. [En línea]. Available: seramix.blogs.uv.es. [Último acceso: 25 01 2016].

ANEXOS

ANEXO I: PREPARACIÓN DE MEDIOS DE CULTIVO.

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA BOGOTÁ	PREPARACIÓN DE MEDIOS DE CULTIVO
Materiales Erlenmeyer Agua Destilada Alcohol Algodón Probeta Papel Aluminio Espátula Bolsas con cierre hermético Cajas de Petri estériles Medios de cultivo de interés	Procedimiento - Determinar el número de cajas de Petri y el volumen de medio a preparar, teniendo en cuenta que para una caja de Petri de 90mm se requiere entre 15 y 20 ml de medio de cultivo. - Calcular la cantidad de medio de cultivo y el volumen de agua destilada de acuerdo a las especificaciones de preparación - Disolver y tapar con papel aluminio. Calentar y agitar hasta obtener una mezcla homogénea y un color a cristalino en el medio. - Esterilizar los medios de cultivo en autoclave - Esterilizar la superficie de trabajo. - Situar las cajas de Petri en la cámara de flujo laminar o cerca al mechero, y sirva el medio de cultivo antes de que este se solidifique - Rotule y empaque las cajas preparadas en bolsas herméticas. - Refrigerar de 2 a 6° C hasta su uso. Se recomienda que al momento de utilizar las cajas con los medios se verifique la esterilidad de estos.
Equipos Plancha de calentamiento Báscula Cámara de flujo laminar o mechero Autoclave Agitador Magnético <i>Imagen 2. Preparación de medio de cultivo.</i>  Fuente: Autores	

ANEXO II: FORMATO DE CAMPO

FORMATO DE TRABAJO DE CAMPO			
Lugar			
Fecha	día/ mes/ año		
Medio de cultivo	Agar sangre	PCA	Sabouraud
	Mc Conkey		
Hora	Punto de muestreo	Temperatura	Humedad relativa
Observaciones del lugar:			
ENCARGADO	Nombre _____	Firma _____	

ANEXO IV: AISLAMIENTO DE COLONIAS

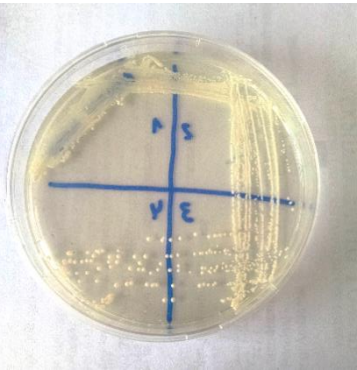
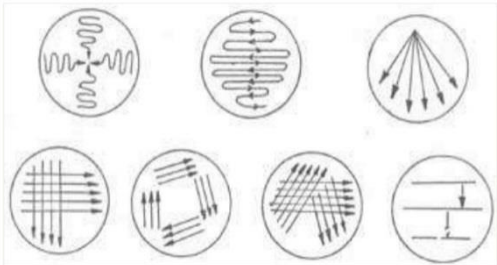
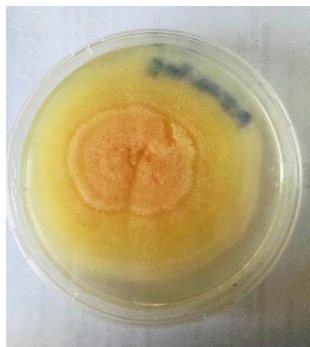
 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA BOGOTÁ	AISLAMIENTO DE COLONIAS
Materiales y equipos Cajas con muestras para aislar Cajas con medios estériles Asa bacteriológica Asa de micología Algodón Alcohol Mechero <i>Imagen 3. Bacteria aislada por agotamiento.</i>  Fuente: Autores <i>Imagen 4. Autoclave.</i>  Fuente: Autores	Procedimiento Bacterias - Desinfecte el área de trabajo, junto con los materiales a utilizar. - Localice las cajas con muestras para aislar y las cajas con medios estériles cerca al mechero. - Incinere el asa bacteriológica para garantizar que no se contamine la muestra a aislar. - Tome una pequeña cantidad de muestra de la colonia a aislar y distribúyala sobre la superficie del medio de cultivo de acuerdo al trazado seleccionado.  Fuente: SERAMIX [24]. Es importante resaltar que se debe incinerar el asa bacteriológica entre cada trazo y al final del aislamiento. - Incubar las cajas de Petri a 37° C durante un periodo de 24 a 48 horas. Para bacterias anaerobias lleve a incubar en la campana de anaerobiosis.

Imagen 5. Hongo aislado.



Fuente: Autores

Hongos

- Desinfectar el área de trabajo, junto con los materiales a utilizar.
- Localice las cajas con muestras para aislar y las cajas con medios estériles cerca al mechero.
- Incinere el asa de micología para garantizar que no se contamine la muestra a aislar.
- Trace una X en la mitad del medio de cultivo estéril para enfriar el asa. Tome una pequeña cantidad de muestra y deposítela en la mitad de la X.
- Almacene las muestras aisladas a temperatura ambiente.

ANEXO V: TINCIÓN

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA BOGOTÁ	TINCIÓN
Materiales y equipos Alcohol Algodón Asa bacteriología Asa de micología Portaobjetos Cubreobjetos Agua destilada Topper de tinción Reactivos : Cristal Violeta Lugol Alcohol Acetona Fucsina Azul de Lactofenol  Fuente: Autores	Tinción de Gram. (Bacterias) Procedimiento - Desinfecte el área de trabajo, junto con los materiales a utilizar. - Localice las cajas con la muestra aislada. - Desinfecte el portaobjetos en que se va a tomar la muestra para tinción. - Incinere el asa bacteriológica para garantizar que no se contamine la muestra a aislar. - Agregue una gota de agua destilada y distribúyala con el asa en el centro de la lámina portaobjetos en aproximadamente 2 cm. - Tome una pequeña cantidad de muestra de la colonia aislada y frótela en la gota de agua. Incinere el asa. - Fije la muestra en el portaobjetos pasándola tres veces por la llama del mechero. Tinción: - Agregue una gota de cristal violeta y espere dos minutos. Lave con agua destilada. - Agregue una gota de Lugol y espere dos minutos. Lave con agua destilada.

	- Agregue una gota de alcohol acetona y espere 30 segundos. Lave con agua destilada. - Agregue una gota de fucsina y espere 15 segundos. Lave con agua destilada y deje secar.
	Hongos: Procedimiento - Desinfecte el área de trabajo, junto con los materiales a utilizar. - Localice las cajas con la muestra aislada. - Desinfecte el portaobjetos en que se va a tomar la muestra para tinción. - Incinere el asa de micología para garantizar que no se contamine la muestra a aislar. - Agregue una gota de azul de lactofenol en el centro de la lámina portaobjetos. - Tome una pequeña cantidad de muestra de la colonia aislada y frótela en la gota del azul de lactofenol Incinere el asa. - Tape la muestra con el cubreobjetos.

TRANSMISIÓN DE INFECCIONES INTRAHOSPITALARIAS MEDIADA POR BIOAEROSOLES: ANTECEDENTES Y OPORTUNIDADES DE INVESTIGACIÓN.

¹Lina María Guzmán Fierro, ²José Alejandro Pachón Bernal

RESUMEN

La contaminación del aire extramural e intramural de tipo microbiológico, unida a condiciones ambientales favorables y a características de diferentes sustratos pueden dar lugar al desarrollo de microorganismos que conforman los bioaerosoles, los cuales contribuyen con la ocurrencia de infecciones intrahospitalarias y constituyen un problema de salud pública debido al aporte de un número significativo de casos cada año, además de generar altos costos. Los servicios médicos en los que se presentan mayores tasas de transmisión de infecciones intrahospitalarias son la unidad de Cuidados Intensivos (UCI) y el servicio de cirugía.

Dentro de los microorganismos más comunes en los monitoreos de los centros de atención médica se encuentran *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae* y *Aspergillus sp* que son microorganismos patógenos oportunistas, que aprovechan las condiciones de los pacientes inmunocomprometidos que asisten a los centros de atención médica.

Por otro lado, debido a la naturaleza de los bioaerosoles se dificulta establecer límites permisibles de concentraciones en el aire, generando deficiencias en la normativa aplicable. Es por esto que los centros de atención médica desconocen la carga microbiana en sus instalaciones y no incluyen el monitoreo microbiológico del aire para definir medidas de control para disminuir la ocurrencia de infecciones intrahospitalarias, las cuales se deben implementar en cumplimiento de la política de prevención, control y vigilancia epidemiológica de infecciones intrahospitalarias establecida en la resolución 073 de 2008.

PALABRAS CLAVE

Bioaerosoles, Contaminación, infecciones intrahospitalarias, inmunocomprometidos.

¹ Estudiante de ingeniería ambiental, Universidad Santo Tomás, Bogotá- Sede principal, linaguzman@usantotomas.edu.co

² Estudiante de ingeniería ambiental, Universidad Santo Tomás, Bogotá- Sede principal, jose.pachon@usantotomas.edu.co

ABSTRACT

The extramural and intramural air pollution of microbiological type, combined with favorable environmental conditions and characteristics of different substrates, can lead to development of microorganisms that make the bioaerosols, which contribute to the occurrence of nosocomial infections and make up a public health problem of a significant number of cases each year in addition to generating high costs. The medical services in which higher rates of acquisition of nosocomial infections occur are in the Intensive Care Unit (ICU) and the surgery department.

Among the most common microorganisms in the monitoring of health care facilities are *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae* and *Aspergillus*, which are opportunistic pathogenic microorganisms, who exploit the conditions of immunocompromised patients, attending medical care centers.

On the other hand, due to the nature of bioaerosols it is difficult to establish permissible limits of concentration in air, creating gaps in the applicable rules. That is why the medical care centers unknown microbial load in their facilities and do not include microbiological air monitoring as a control measure for the occurrence of nosocomial infections, which must be implemented in compliance with the policy of prevention, control and epidemiological surveillance of nosocomial infections established by the resolution 073 of 2008.

KEY WORDS

Bioaerosols, Pollution, immunocompromised, nosocomial infections.

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica constituye una de las principales problemáticas ambientales que se ha traducido en una preocupación por los efectos nocivos en la calidad de vida de las personas. Uno de los contaminantes atmosféricos son los bioaerosoles (partículas transportadas por el aire, compuestas por seres vivos, o moléculas grandes que han sido liberadas por otro ser vivo) (1) que pueden contribuir en la incidencia de enfermedades en grupos vulnerables tales como niños, ancianos y personas con alteraciones en su sistema inmunológico. La contaminación intramural del aire y sus efectos en la transmisión de infecciones nosocomiales o intrahospitalarias (IIH), constituye un problema de salud ambiental, por su frecuencia, severidad, alto costo y el aporte de un número importante de casos de morbilidad cada año.

La diversidad de servicios, las características de las instalaciones y la posible deficiencia en los sistema de aireación de las instituciones de salud, son factores que afectan la probabilidad de adquirir una IIH, debido a la exposición a bacterias, virus y hongos patógenos que se encuentran asociados a bioaerosoles presentes en el ambiente intramural. Teniendo en cuenta lo anterior, se realiza una revisión bibliográfica en la que se identifican necesidades de investigación en cuanto a la transmisión de IIH por acción de los bioaerosoles.

METODOLOGÍA

Inicialmente se identificaron palabras y conceptos clave para la realización de la búsqueda, se construyó la ecuación de búsqueda con ayuda de operadores booleanos de proximidad y utilizando una combinación de vocabulario controlado (términos MeSH, Emtree, DeCS).

Tabla 1. Conceptos para la búsqueda de información.

PALABRAS CLAVE		OPERADORES BOLEANOS	
Infection		AND (Intersección, unión de las palabras)	
Microorganism			
Bacteria			
Bioaerosols			
Nosocomial			
Hospital acquired		OR (opción, alternativa)	
Control			
Pathogens			
Immunosuppressed			
Pollution			
ECUACIÓN DE BÚSQUEDA			
(disease OR infection OR infections) AND (microorganisms OR bacteria OR microorganism OR bioaerosol) AND (nosocomial OR hospital acquired) AND			

(microbiological air quality OR air quality) AND (hospital OR hospitals) AND (control OR infection control OR infections control) AND (pathogen OR pathogens OR pathogenic microorganisms) AND (immunosuppressed) AND (microbial contamination)

Fuente: Autores

Posteriormente se introdujeron las palabras clave en las bases de datos Scopus, Science Direct, EBSCO HOST y el buscador de Google académico, de acuerdo al objetivo de búsqueda y al obtener los resultados se filtraron para después determinar cuáles de estos resultados eran los más apropiados para la revisión bibliográfica.

Dentro de los criterios de selección se tuvo en cuenta los artículos científicos que trataran temas de contaminación atmosférica extramural e intramural y que tuvieran como contenido monitoreos microbiológicos de aire y de los microorganismos presentes en los bioaerosoles. En este se discriminaron los artículos que abordaran enfermedades y microorganismos específicos; además se descartaron los artículos que no tuvieran su estructura completa disponible y que tuvieran algún costo.

En la tabla 2 se observan los resultados obtenidos a partir de la búsqueda en las diferentes bases de datos.

Tabla 2. Resultados de bases de datos consultadas.

Base	Resultados	Bases de datos
EBSCO HOST	41	Academic Search Complete Environment Complete GreenFILE Fuente académica
Science direct	71	Journal of hospital infection American journal of infection control Clinical Microbiology and infection
Scopus	86	
Google académico	453	
Total		648

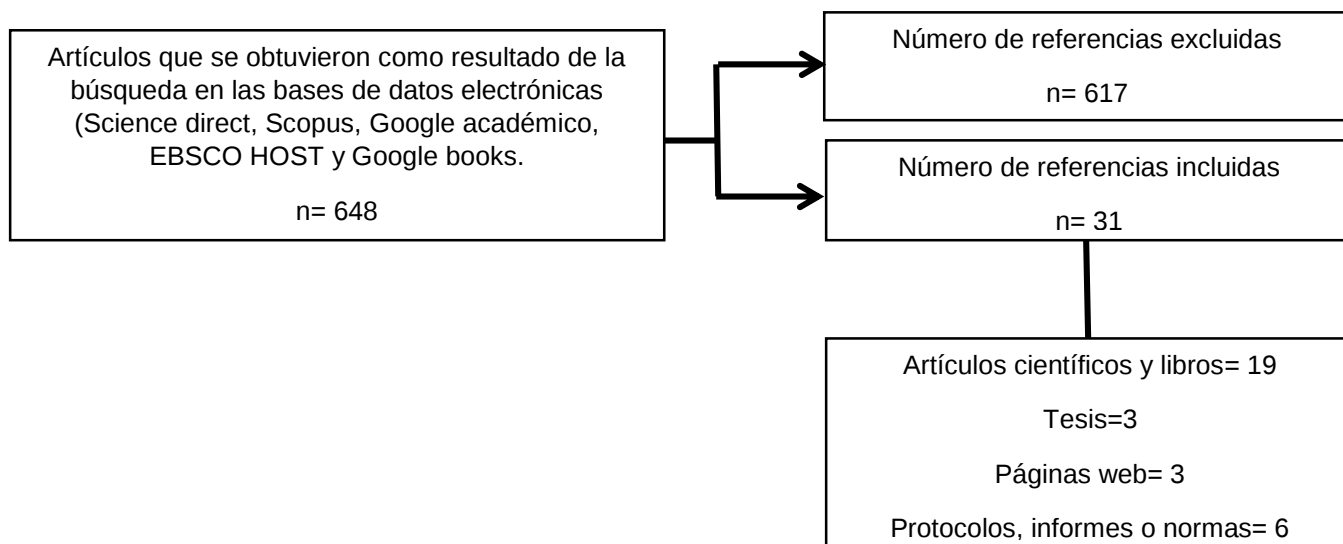
Fuente: Autores

A partir de estos resultados se seleccionaron 18 artículos que eran los más apropiados para la revisión bibliográfica.

Por otro lado se realizaron consultas en los repositorios de las universidades de Colombia para obtener estudios a nivel nacional. Además se buscaron guías, informes, normas y protocolos de las diferentes instituciones como la Organización Mundial de la Salud, Instituto Nacional Salud, Secretaría distrital de salud de Bogotá, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, entre otras. A

partir de esta búsqueda se encontraron 13 productos.

Ilustración 1. Diagrama de flujo con los resultados de la búsqueda



Fuente: Autores

En la ilustración 1 se muestran los artículos que dieron como resultado de la búsqueda y el número de artículos seleccionados que cumplían con lo establecido en el objetivo de la revisión.

RESULTADOS

1. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR BIOAEROSOLAS

La contaminación atmosférica es la presencia de sustancias indeseables en el aire (gases, vapores, partículas sólidas o líquidas, etc.) en cantidades grandes como para producir efectos nocivos a la salud humana, la vegetación, los animales y bienes humanos (2). Esta contaminación constituye uno de los principales problemas ambientales, debido a la magnitud e impacto negativo generado en la salud de la población expuesta (3). Los bioaerosoles son un factor que puede contribuir en la incidencia de enfermedades respiratorias en seres humanos, especialmente en niños, ancianos y personas con alteraciones en su sistema inmunológico (4).

El estudio de los bioaerosoles comenzó en 1930, con el origen de la aerobiología, rama de la biología que se encarga de estudiar el transporte, identificación, comportamiento y supervivencia de los microorganismos en el aire, teniendo como referencia la microbiología, meteorología, física de los aerosoles y la química atmosférica (5). A partir de la aerobiología surge un interés en los microorganismos del aire por su patogenicidad y la posible transmisión de

infecciones, catalogándolos como un contaminante atmosférico, tal y como lo plantean Vélez y Camargo, quienes definen los bioaerosoles como un material particulado compuesto por microorganismos o agentes biológicos que pueden llegar a causar afección a los seres vivos, utilizando la atmósfera como un medio rápido para su dispersión (6). Estos microorganismos se clasifican en función de si son alergénicos, infecciosos o capaces de inducir reacciones tóxicas o inflamatorias cuando se inhalan (7).

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España, a través de la Nota Técnica de Prevención (NTP) 288, establece la complejidad respecto a la naturaleza de los bioaerosoles debido a sus componentes, dentro de los cuales pueden encontrarse bacterias, hongos, protozoos, virus y/o diversas estructuras como heces de ácaros, escamas de piel y saliva, provenientes de artrópodos, aves y mamíferos (1), (8). Asimismo, definen tres condiciones para que se llegue a producir un aerosol a partir de un organismo o sus partes, que son: la presencia de un reservorio, un proceso de amplificación y la diseminación o aerosolización. El reservorio es el lugar donde de forma natural, se encuentra un organismo. La amplificación consiste en el aumento en número o en concentración de los organismos, sus partes o componentes, el cual es un proceso imprescindible ya que sin él, la diseminación (proceso de dispersión de las partículas constitutivas del bioaerosol), no tendría ningún efecto debido a que la cantidad de material dispersado sería imperceptible (1).

Dentro de estudios e investigaciones en el tema, Rose (8) estableció las enfermedades de hipersensibilidad asociadas con la exposición a bioaerosoles, donde se incluyen la rinitis, el asma y la alveolitis alérgica. En Santiago de Chile se realizó un estudio microbiológico del material particulado atmosférico, en el que se estableció que la Neumonía Asociada en Comunidad (NAC) es la tercera causa de muerte en la población de niños y adultos mayores, siendo la bacteria *Streptococcus pneumoniae* el principal agente relacionado, seguido en menor grado por las bacterias *Haemophilus influenzae* y *Legionella pneumophila* (3).

En la localidad de Puente Aranda, en Bogotá, se realizaron dos estudios de caracterización microbiológica del aire, donde se identificaron dentro del material particulado algunos patógenos de características oportunistas que pueden llegar a generar problemas respiratorios, además de comprobar una relación entre la concentración de PM₁₀ y el desarrollo de microorganismos, pues se presentó mayor desarrollo de colonias en horas de la mañana, horario donde se registraron las mayores concentraciones de PM₁₀ (9). En el segundo estudio se evidenció que no había una relación significativa entre SO₂ y NO₂ con la concentración de microorganismos y se hallaron especies como *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas aeruginosa*, asociadas con infecciones respiratorias, neumonías e infecciones de la piel y los ojos (10).

2. CONTAMINACIÓN INTRAMURAL DEL AIRE

Desde el reconocimiento de la neumonía, existe un creciente interés en las enfermedades asociadas a la exposición en aire interior a agentes microbianos, denominado comúnmente como bioaerosoles (8). Burrell realizó un análisis del aire en oficinas, hallando la presencia de varios géneros de hongos asociados con la neumonía; el estudio encontró que el principal responsable del transporte de fragmentos de hifas y esporas respirables son los equipos de tratamiento de aire que se contaminan con estos y los distribuyen a través de los conductos de aire, para después dispersarlos en el entorno. Una fuente común de microorganismos en el aire interior se asocia con ciertos tipos de entornos, por ejemplo, las bacterias que contienen los suministros de agua. Cuando el agua de algún equipo como humidificadores de aire, aire acondicionado, etc. se contamina con bacterias comunes y se aerosolizan, las concentraciones de estas en el ambiente alcanzan niveles de importancia para la salud, pudiendo producir infecciones (7).

Por otra parte, en la biblioteca central Jorge Palacios Preciado de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja, se evaluó la concentración microbiana en el ambiente, encontrando 34 géneros de hongos filamentosos principalmente *Cladosporium*, *Paecilomyces* y *Penicilium*, y 16 géneros de bacterias entre las que sobresalieron *Bacillus* y *Neisseria*. En este estudio los investigadores concluyeron sobre la importancia de mantener un control de poblaciones microbianas específicas, principalmente de los géneros fúngicos y bacterianos, ya que en mayor concentración pueden llegar a causar graves problemas de salud pública (11).

En las fuentes mencionadas anteriormente, la presencia de humedad es un componente crítico, ya que al igual que cualquier otro organismo, los microorganismos requieren condiciones adecuadas de crecimiento (temperatura, humedad y nutrientes de crecimiento o sustrato); estas condiciones definen los parámetros de crecimiento óptimo (7). Por otro lado, las concentraciones de hongos en el aire varían significativamente según la temporada (alcanzando valores más altos en verano y más bajos en invierno), y se correlacionan negativamente con las concentraciones de CO₂ (12).

Respecto a los ambientes de las poblaciones vulnerables como lo son los niños menores a 5 años, una investigación realizada en una guardería en Bangkok, Tailandia, encontró respecto a la calidad del aire interior que el 47.2% y el 47.6% del total de muestras tenían presencia de bacterias y hongos por encima de los niveles recomendados por la OMS (13). En relación a esta misma población, en Bucaramanga, Colombia, Herrera et al determinaron que a nivel intradomiciliario, los niños menores a 7 años presentaron una relación entre los síntomas de asma y la presencia de ácaros y hongos (14).

3. INFECCIONES NOSOCOMIALES E INTRAHOSPITALARIAS

En los últimos 20 años, el interés por el conocimiento y control de las infecciones hospitalarias ha tenido un aumento, ya que representa un problema importante de salud pública. Respecto al tema la Universidad Nacional de Colombia indica que las instituciones de salud invierten anualmente cerca de 727 millones de pesos, en el tratamiento de pacientes que contraen IIH (15).

En relación con el tema, el Ministerio de Salud y Protección Social reglamentó en el decreto 3518 de 2006, que toda institución de salud debe contar con un comité de infecciones intrahospitalarias, el cual debe contribuir a mejorar la calidad de los servicios de salud e identificar los factores de riesgo o factores protectores relacionados con los eventos de interés en salud pública y los grupos poblacionales expuestos a dichos factores (16), (17).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el 2003 desarrolló la guía denominada “*Guía Práctica Prevención de las infecciones nosocomiales*”, en la cual establece el concepto de infecciones nosocomiales, como infecciones contraídas al interior de los centros de salud; además define al factor ambiental como aquel que influye en la manifestación de estas infecciones y también menciona las diferentes enfermedades a las que se puede llegar a estar expuesto a través de los microorganismos y la exposición que se puede tener a través del aire. Las principales enfermedades intrahospitalarias adquiridas a través de virus, bacterias y hongos presentes en bioaerosoles son la bronquiolitis vírica (causada por el virus sincitial respiratorio VSR) y la neumonía originada por *Legionella spp.* Y por *Aspergillus* (18).

Por otro lado, el Instituto Nacional de Salud (INS) de Colombia, especifica que el paciente adquiere aquellas infecciones mientras recibe tratamiento para alguna condición médica o quirúrgica y en quien la infección no se había manifestado, ni estaba en período de incubación en el momento del ingreso a la institución (19).

La Secretaría Distrital de Salud de Bogotá (16) indica que las instituciones que prestan servicios de salud, son ambientes ideales para la transmisión de enfermedades por varias razones, entre ellas:

- Siempre que se realizan procedimientos médicos, el paciente está en riesgo de infección durante e inmediatamente después del procedimiento.
- Todo el personal que presta sus servicios en la institución está constantemente expuesto a los materiales potencialmente infecciosos, como parte de su trabajo.
- La mayoría de los pacientes que acude a los servicios de salud es más susceptible de adquirir infección que la población sana, debido a su patología de base que produce inmunosupresión en mayor o menor grado.
- Muchas veces se encuentran pacientes en un espacio físico muy pequeño.

- Una buena parte de los pacientes que consulta un servicio médico tiene enfermedades infecciosas.

3.1. Estudios

En Rio de Janeiro (2005) se realizó un estudio donde se evaluaron los niveles de contaminación microbiana en diversas muestras de oficinas, hospitales, industrias y centros comerciales. Dentro de sus hallazgos encontraron que los hospitales presentaban un promedio de 200 UFC/m³, concluyendo la importancia de identificar las especies de microorganismos más allá de solo realizar una cuantificación, dada la naturaleza de los centros hospitalarios y la posibilidad de encontrar pacientes inmunocomprometidos (20).

Adicionalmente se han desarrollado estudios en otros países con la finalidad de caracterizar la carga microbiológica presente en centros hospitalarios. En la Universidad de Pisa, Italia, se desarrolló un estudio el cual tuvo como objetivo monitorear las superficies y el aire en ambientes hospitalarios para encontrar la presencia de Hepatitis C, Adenovirus humano, Norovirus, Rotavirus humanos y Torque teno virus (TTV); como conclusión se resalta que la detección frecuente de TTV sugiere su posible uso como indicador de la contaminación viral del medio ambiente (21). En la ciudad de Valencia, Venezuela se realizaron evaluaciones en ambientes hospitalarios con el fin de encontrar la presencia de bioaerosoles y su papel en las infecciones nosocomiales; se encontró con mayor frecuencia la presencia de los géneros *Bacillus* y *Staphylococcus*, además de la *Pseudomonas aeruginosa*, microorganismos que producen compuestos tóxicos causantes de daños fisiológicos a los pacientes (22). Para el año 2014 se realizó un estudio en dos centros hospitalarios ubicados en León, Guanajuato, México, cuya finalidad fue caracterizar los propágulos fúngicos y las aerobacterias que podían estar presentes, además de identificar aquellos potencialmente patógenos que pudieran entrar en contacto con los pacientes más vulnerables; se identificó la predominancia de bacterias como *Escherichia coli*, *Enterobacter cancerogenus* y *Acinetobacter* y de hongos tales como *Fusarium* y *Penicillium*, concluyendo que el número de aerobacterias y propágulos fúngicos superaban los índices aceptables establecidos por la OMS, quien define que los recuentos microbianos deben ser inferiores a 100 UFC/m³ para ambientes con individuos o pacientes con inmunosupresión (23), (24).

A nivel nacional, se desarrolló un monitoreo microbiológico de aire, superficies y manos del personal asistencial en entidades de salud en departamento del Meta, donde se realizó un muestreo en cinco entidades con la mayor generación de Residuos Hospitalarios; el estudio encontró una elevada carga fúngica del aire en zona crítica (900 NMP/100 L). Estos resultados indicaron que los sistemas de climatización pueden representar un riesgo para la calidad del aire interior, creando un escenario con niveles no aceptables de contaminación de esporas fúngicas, haciendo probable la adquisición de infecciones de transmisión aérea en enfermos susceptibles (25). Pérez et al llevaron a cabo un estudio en el Hospital San Jerónimo de Montería, donde mencionan que uno de los factores

preponderantes para la persistencia de las enfermedades infecciosas intrahospitalarias es la capacidad de los microorganismos para evadir la acción de los agentes antimicrobianos; el estudio determinó que los servicios con mayores tasas de infecciones nosocomiales fueron el servicio de cirugía, seguido de la Unidad de Cuidados intensivos (UCI), estableciendo que el principal bacilo Gram negativo aislado fue *Pseudomonas spp*, seguido por *Enterobacter spp*, *Klebsiella spp*, *Proteus spp* y *Escherichia coli*. Esto indicó el predominio de los Gram negativos sobre los Gram positivos. El trabajo demostró que en el Hospital existe una alta resistencia a los principales antimicrobianos usados en la práctica clínica y que han de tomarse serias y drásticas medidas de control para evitar una excesiva diseminación de la resistencia antibiótica (26).

3.2.EPIDEMIOLOGÍA

Según Sligl et al, las infecciones nosocomiales contribuyen a una elevada morbilidad y mortalidad en los Estados Unidos, lo que representa aproximadamente el cuatro por ciento de los pacientes hospitalizados y 250.000 casos anuales. Por otro lado, entre el 20% y 30% de todas las infecciones nosocomiales se adquieren en la UCI y las tasas de infección anual fluctúan de 1,6 a 9,6 por cada 1.000 pacientes ingresados. Los investigadores llevaron a cabo un estudio de cohorte en el hospital universitario de Alberta en Edmonton, Canadá, donde se encontró que la infección más común fue la neumonía con un 33% (27).

A su vez se identificaron las principales especies bacterianas, en el que el patógeno bacteriano más común fue *Escherichia coli* con un 21%, seguido por *Pseudomonas aeruginosa* con 18% y *Klebsiella* 16% (27).

A nivel nacional existe un conjunto de indicadores epidemiológicos básicos que describen la magnitud y el comportamiento de las infecciones intrahospitalarias. Dentro de estos se encuentra: la tasa global de infecciones intrahospitalarias que son el número de infecciones intrahospitalarias respecto al número de pacientes que egresaron de hospitalización (16). Según el Ministerio de Salud, entre 1996 y 1999 el porcentaje de infección en diez hospitales de tercer nivel de los departamentos de Nariño, Norte de Santander, Santander, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca y en cinco hospitales de Bogotá, fue en promedio entre 2,55% y 2,31%, con un máximo de 6,6% en 1996 y de 0,26% en 1999 (16).

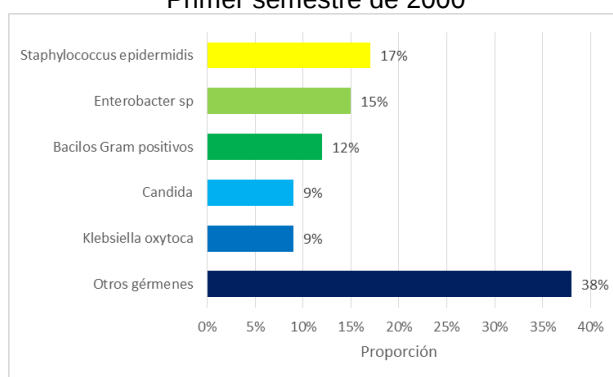
Otro indicador epidemiológico es el porcentaje de infección por servicio, el cual indica los servicios de las instituciones de salud con mayor frecuencia de infección intrahospitalaria. Para el año 2000 se encontró que de 1.458 IIH notificadas, 22% se presentó en las unidades de cuidados intensivos (16).

El tercer indicador epidemiológico es el porcentaje por localización anatómica. Para el año 2010 en el boletín epidemiológico de infecciones intrahospitalarias de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, se encontró que de 15.065 casos de IIH notificados por parte de 82 IPS, el mayor porcentaje correspondió a la infección de

sitio operatorio con 24,5%, seguida de infección urinaria sintomática con 15,4%, e infección del torrente sanguíneo primaria con 12,7% (28).

El último indicador es la proporción de infecciones por microorganismo causal. De 572 infecciones intrahospitalarias registradas, el mayor número de infecciones fueron causadas por el *Staphylococcus epidermidis*, con un 17%, el segundo fue *Enterobacter sp*, que ha sido el causante de 15% de dichas infecciones. Asimismo, los bacilos Gram positivos provocaron 12% del total de IIH; por lo general, estos microorganismos pueden afectar a pacientes inmunosuprimidos a través de catéteres, válvulas y otros dispositivos; los hongos produjeron 9% de las infecciones así como la *Klebsiella oxytoca* y la *Escherichia coli* (16).

Ilustración 2. Porcentaje de IIH por microorganismo en hospitales de tercer nivel. Bogotá, D.C.
Primer semestre de 2000



Fuente: Sistema de vigilancia epidemiológica de infecciones intrahospitalarias (16).

DISCUSIÓN

Las infecciones nosocomiales o intrahospitalarias (IIH) constituyen un problema de salud pública dada su frecuencia, severidad y alto costo; estas infecciones pueden enmarcarse en el contexto de contaminación del aire por bioaerosoles, un tema de gran relevancia ya que aportan un número importante de casos de morbilidad y mortalidad cada año.

Respecto a los bioaerosoles, la presencia de estos es normal en los diferentes ambientes, ya que se pueden producir por partículas liberadas por los seres vivos. El inconveniente de estos, es que algunos pueden ser patógenos oportunistas que aunque no afectan normalmente a individuos sanos, pueden infectar a inmunodeprimidos, los cuales son frecuentes en los centros de atención médica.

En las instituciones médicas, las características de las instalaciones, el flujo de pacientes, la diversidad de servicios y la posible deficiencia en los sistemas de aireación, son factores que pueden facilitar la amplificación y aerosolización de los microorganismos. Los equipos de tratamiento de aire son uno de los factores que puede controlarse, ya que con un mantenimiento adecuado, evita que el agua recirculada que contienen estos equipos funcionen como reservorios y ayude a la

diseminación de microorganismos. Asimismo, estos dispositivos pueden generar cambios en la humedad relativa y temperatura lo que propicia condiciones adecuadas para el libre desarrollo de los bioaerosoles, favoreciendo así su proliferación.

Por otra parte, los bioaerosoles que se encuentran suspendidos en el aire se pueden precipitar en las superficies e instrumentos de los centros de atención médica; estos al entrar en contacto con los pacientes y/o trabajadores, generan no solo infecciones respiratorias sino algunas infecciones como las del tracto urinario, gastrointestinales y otras relacionadas con los procedimientos que se realizan en las instalaciones. Un ejemplo claro se da con la *Escherichia coli*, que aunque se encuentra en el aire, no constituye riesgo a las personas al entrar por inhalación, pero al estar en contacto con manos u objetos que se expongan a diferentes partes del cuerpo, puede causar enfermedades como la infección del tracto urinario, septicemia, neumonía, meningitis neonatal, peritonitis y gastroenteritis(29).

Con respecto a los microorganismos que pueden causar infecciones intrahospitalarias y que se obtuvieron como resultado de la revisión, se encuentran los siguientes:

Tabla 3. Enfermedades asociadas a microorganismos.

Microorganismo	Enfermedad Asociada
<i>Bacillus spp</i>	Gastroenteritis aguda
<i>Escherichia coli</i>	Disentería
<i>Staphylococcus aerus</i>	Infecciones Oportunistas, neumonía
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Infecciones Oportunistas, otitis complicaciones gastrointestinales, neumonía
<i>Enterobacter cancerogenus</i>	Neumonía
<i>Acinetobacter</i>	Infecciones Oportunistas
<i>Penicillium</i>	Alveolitis Alérgica
<i>Fusarium</i>	Alveolitis Alérgica
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Infecciones Oportunistas, Neumonía
<i>Legionella spp</i>	Neumonía
<i>Virus sincitial respiratorio</i>	Bronquitis vírica
<i>Aspergillus</i>	Aspergilosis
<i>Torque teno virus</i>	Hepatitis (no comprobado)
<i>Proteus spp</i>	Infecciones en el tracto urinario, neumonía, septicemia.
<i>Staphylococcus epidermis</i>	Infecciones en la piel
<i>Klebsiella oxytoca</i>	Infecciones en el tracto urinario, absceso hepático, sepsis neonatal.

Fuente: Autores.

A partir de la revisión se establece que los microorganismos más comunes en los monitoreos de aire intramural fueron *Staphylococcus aerus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* y *Aspergillus*. Se considera que es importante el control de estos en el ambiente de los centros de atención médica, ya que son patógenos oportunistas que pueden causar enfermedades en inmunodeprimidos y se caracterizan por:

- El *Staphylococcus aerus* es considerado uno de los patógenos más importantes, responsables de las infecciones nosocomiales. Este coloniza principalmente los conductos nasales, infectando no solo lo superficial, sino también a los tejidos profundos (29).
- De tres a siete por ciento de las infecciones bacterianas nosocomiales están relacionados con *Klebsiella pneumoniae*, que es un patógeno importante en entornos de atención médica. Es una bacteria oportunista, que por lo general coloniza el tracto gastrointestinal, la faringe y la piel. Se involucra en enfermedades como la septicemia neonatal, neumonía e infecciones en herida (29).
- *Pseudomonas aeruginosa* contribuye al 11% de todas las infecciones nosocomiales, que dan lugar a altas tasas de mortalidad y morbilidad. Los sitios de colonización son los riñones, el tracto urinario y el tracto respiratorio superior. Las enfermedades asociadas a este microorganismo son infecciones quirúrgicas y heridas, infección del tracto urinario, neumonía y fibrosis quística (29).
- *Aspergillus* es un hongo que causa aspergilosis que puede manifestarse principalmente en personas con neumoopatías crónicas, además puede presentarse en pacientes que reciben tratamiento con citotóxicos o inmunosupresores, y a veces diseminarse al cerebro, riñones u otros órganos, y en ocasiones causar la muerte. Este hongo puede colonizar o producir infección invasora de los senos paranasales (30).

Finalmente, la falta de investigación y la ausencia del monitoreo microbiológico del aire al interior de centros médicos puede estar asociado a que no se han establecido límites numéricos en normativa, ya que como se menciona en la NTP 409 española, se desconocen las relaciones dosis-respuesta frente a los contaminantes biológicos debido a que los bioaerosoles son mezclas complejas de diferentes clases de partículas y a que las respuestas de los seres humanos frente a estos varían dependiendo del agente específico y de los factores de susceptibilidad de cada persona (31); sin embargo la OMS sugiere que los recuentos microbianos en las oficinas deben ser inferiores a 300 UFC/m³ y en espacios con individuos o pacientes en estado de inmunosupresión, debe ser inferior a 100 UFC/m³ (24). Por lo tanto al no ser de obligatorio cumplimiento el monitoreo y el control microbiológico, los centros de atención médica a nivel

nacional no lo incluyen en la política de prevención, control y vigilancia epidemiológica de infecciones intrahospitalarias (resolución 073 de 2008), ya que no consideran que los microorganismos contenidos en los bioaerosoles pueden ser patógenos oportunistas que contribuyen a las infecciones nosocomiales o intrahospitalarias.

CONCLUSIONES

A partir de la revisión se determinó que dentro de los servicios médicos en los cuales se presentan mayores porcentajes de adquisición de infecciones intrahospitalarias se encuentran la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) y el servicio de cirugía. Asimismo, se obtuvo que los microorganismos más comunes en los monitoreos del aire de los centros de atención médica son *Staphylococcus aerus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* y *Aspergillus*, los cuales son patógenos oportunistas que aprovechan las condiciones de los pacientes inmunocomprometidos.

En Colombia, la política de prevención, control y vigilancia epidemiológica de infecciones intrahospitalarias, se enfoca en el registro de infecciones y en la caracterización de microorganismos que causan la enfermedad, pero no se orienta a acciones que definan que medidas de control se deben aplicar para disminuir la transmisión de estas enfermedades, como lo es el monitoreo microbiológico del aire, el cual permite establecer la presencia y niveles de microorganismos que puedan afectar a la población que asiste a los centros médicos y que sirve para identificar los posibles puntos críticos que permiten la diseminación de estos.

Dentro de las fuentes que pueden impactar la calidad microbiológica del aire se encuentran los sistemas de aireación, ya que suministran tres condiciones para producir un aerosol; estos actúan como reservorios para los microorganismos debido a la succión de nutrientes que sirven para su crecimiento, además pueden generar variación de temperatura y humedad relativa que propician ambientes favorables para la propagación y diseminación de los microorganismos.

El uso indebido de antibióticos es un factor a tener en cuenta dentro de la persistencia de microorganismos en el ambiente, ya que la utilización de estos pueden generar cepas multirresistentes las cuales presentan una mayor dificultad de eliminación, lo que se refleja en enfermedades más difíciles de combatir y sobre costos para su tratamiento.

La política de prevención, control y vigilancia epidemiológica establece que la ausencia de investigación de las IIH, la falta de personal entrenado, falta de planeación en la compra de insumos necesarios para la prevención y el control de estas enfermedades, dificultan la ejecución de las funciones de los comités de IIH, en cuanto a la identificación de factores de riesgo relacionados con los eventos de interés en salud y los grupos poblacionales expuestos a dichos factores, e impide generar acciones para mejorar la calidad de los servicios de salud. Por lo tanto se recomienda diseñar e implementar una metodología sobre el monitoreo de la

calidad microbiológica del aire al interior de los hospitales, con el fin de identificar los microorganismos patógenos oportunistas que pueden aprovechar las condiciones de los inmunodeprimidos y los focos que influyen en las etapas de formación de un aerosol.

BIBLIOGRAFÍA

1. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. NTP 288: Síndrome del edificio enfermo: enfermedades relacionadas y papel de los bioaerosoles. Notas Técnicas de Prevención. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
2. Cortés J. Alcaldía Mayor de Bogotá. [Online]; 2013 [cited 2014 12 27. Available from: <http://bogota.gov.co/>.
3. Barahona Crisostomo SK. Estudio microbiológico del material particulado atmosférico de Santiago mediante herramientas de biología molecular. Tesis de Maestría. Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza; 2010.
4. Cruz Orjuela AM, Jiménez Pallares AA. Evaluación de la contaminación del aire por microorganismos oportunistas y su relación con material particulado (PM 2,5 Y PM10) en la localidad de Puente Aranda. Tesis Pregrado. Bogotá D. C.: Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria; 2006.
5. Rosas I, Cravioto A, Ezcurra E. Bacterias en la atmósfera. In Rosas I, Cravioto A, Ezcurra E. Microbiología ambiental. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México; 2004. p. Cap 1.
6. Vélez Pereira M, Camargo Caicedo. Comportamiento Aerodinámico y Viabilidad de las Partículas Biológicas. RE'TAKVN. 2008 Diciembre; I (22).
7. Burrell R. Microbiological Agents As Health Risks in Indoor Air. Environmental Health Perspectives. 1991; 95: p. 29-34.
8. Rose C. Bioaerosols. Epitomes-Occupational Medicine. 1994 Junio; 160(6): p. 566.
9. Blanco Becerra LC. Caracterización microbiológica del material particulado como factor de riesgo sobre la salud en la localidad de Puente Aranda. Épsilon. 2006 Junio; IV (4): p. 49-59.
10. Pérez F, Olaya D. Caracterización cualitativa- cuantitativa de bioaerosoles relacionados con factores meteorológicos y material particulado en Puente

Aranda Bogotá D.C. Tesis Pregrado. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria; 2006.

11. Tolosa Moreno DL, Lizarazo Forero LM, Blanco Valbuena JO. Concentración y composición microbiana en el ambiente de la biblioteca central Jorge palacios preciado de la universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. *Actualidades Biológicas*. 2012 Julio; 34(97): p. 241-252.
12. Chao J, Schwartz J, Milton K, Burge HA. Populations and Determinants of indoor air quality in large buildings. *Environmental Health Perspectives*. 2002 Agosto; 110(8): p. 777-782.
13. Luksamijarulkul P, Kongtip P. Microbial Counts and Particulate Matter Levels in Indoor Air Samples Collected from a Child Home-Care Center in Bangkok, Thailand. *The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*. 2010 Junio; 41(3): p. 678-684.
14. Berena Herrera A, Rodríguez LA, Niederbacher J. Contaminación biológica intradomiciliaria y su relación con síntomas respiratorios indicativos de asma bronquial en preescolares de Bucaramanga Colombia. *Biomédica*. 2011; 31(3): p. 357-371.
15. Ávila Reyes. Infecciones intrahospitalarias cuestan 727 mil millones anuales. *UN Periódico*. 2013 Aug 14.
16. Secretaría Distrital de Salud de Bogotá. Sistema de vigilancia epidemiológica de infecciones intrahospitalarias. Protocolo. Bogotá D.C.: Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, Vigilancia en Salud Pública; 2010.
17. Ministerio de la Protección Social. Decreto 3518 de 2006. Decreto. Bogotá, D.C.; 2006.
18. Organización Mundial de la Salud. Prevención de infecciones nosocomiales. Guía Práctica. La Valeta: Organización Mundial de la Salud; 2003.
19. Organización Mundial de la Salud. Instituto Nacional de Salud. [Online]; 2011 [cited 2015 Septiembre 15. Available from: <http://www.ins.gov.co/iaas/paginas/que-son-las-iaas.aspx>.
20. Nunes Z, Martins A, Altoe AL, Nishikawa M, Leite M, Aguiar P, et al. Indoor air microbiological evaluation of offices, hospitals, industries and shopping centers. *Memorias del Instituto Oswaldo Cruz*. 2005 Julio; 100(4): p. 351-357.
21. Carducci A, Verani M, Lombardi R, Casini B, Privitera G. Environmental survey to assess viral contamination of air and surfaces in hospital settings. *The Journal Of Hospital Infection*. 2011 Marzo; 77(3).

22. Izzedin N, Medina L, Rojas T. Evaluación de bioaerosoles en ambientes de centros de salud de la ciudad de Valencia, Venezuela. Open Access Library Journal, OALib. 2011 Marzo; 39(1).
23. Maldonado M, Peña JJ, Castellanos A. Bioaerosoles y evaluación de la calidad del aire en dos centros hospitalarios ubicados en León, Guanajuato, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 2014 Agosto; 30(4).
24. Luksamijarulkul, Aiempadit, Vatanasomboon P. Microbial Contamination on Used Surgical Masks among Hospital Personnel and Microbial Air Quality in their Working Wards: A Hospital in Bangkok. Oman Medical Journal. 2014 Septiembre; 29(5): p. 346-350.
25. Rodríguez Moreno NC. Monitoreo microbiológico de aire, superficies y manos del personal asistencial en entidades de salud en departamento del Meta. Tesis Especialización. Bogotá: Universidad del Rosario, Facultad de Medicina; 2009.
26. Pérez D, Máttar S, Mercado M. Alta resistencia de los microorganismos nosocomiales en el Hospital San Jerónimo de Montería. Universitas Médica. 2003; 44(3): p. 131-137.
27. Sligl WI, Dragan T, Smith W. Nosocomial Gram-negative bacteremia in intensive care: epidemiology, antimicrobial susceptibilities, and outcomes. Elsevier. 2015 Agosto; 37: p. 129-134.
28. Henríquez Iguarán DE, Rodríguez ME. Boletín epidemiológico de infecciones intrahospitalarias. Boletín. Bogotá D.C.: Área de Vigilancia en Salud Pública; 2010.
29. Khan A, Ahmad A, Mehboob R. Nosocomial infections and their control strategies. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine. 2015 Julio; 5(7): p. 509-514.
30. Asociación Estadounidense de Salud Pública. El control de las enfermedades transmisibles. Decimoséptima ed. Chin J, editor. Washington D.C.: Organización Panamericana de la Salud; 2001.
31. Hernández Calleja A. NTP 409: Contaminantes biológicos: criterios de valoración. Notas Técnicas de Prevención. Madrid.