

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE BIOAEROSLES BACTERIANOS EN
LA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS NEONATAL (UCIN), DE UNA
INSTITUCIÓN DE SALUD DE ALTA COMPLEJIDAD EN LA CIUDAD DE
BARRANQUILLA/ATLÁNTICO**

JHORMA JOSE MEDINA ALTAHONA

STEPHANIE DE LA HOZ PABOLA



Universidad de la Costa CUC

Departamento de civil y ambiental

Programa de Ingeniería Ambiental

Barranquilla, Colombia

2018

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE BIOAEROSOLES BACTERIANOS EN
UNIDADES DE CUIDADOS INTENSIVOS NEONATALES (UCIN), DE UNA
INSTITUCIÓN DE SALUD DE ALTA COMPLEJIDAD EN LA CIUDAD DE
BARRANQUILLA/ATLÁNTICO**

Para obtener el título de Ingeniero Ambiental

Grupo de investigación Gestión y Sostenibilidad Ambiental GESSA

Línea de investigación:

Control de la Contaminación

TESISTAS:

JHORMA JOSE MEDINA ALTAHONA

STEPHANIE DE LA HOZ PABOLA

Director de trabajo de grado

M.Sc. Wendy Beatriz Morgado Gamero

Codirector de trabajo de grado

Ph.D Dayana Agudelo Castañeda

Asesor de trabajo de grado

M.Sc. Heidy Posso Mendoza

Universidad de la Costa CUC

Departamento de civil y ambiental

Programa de Ingeniería Ambiental

Barranquilla, Colombia

2018

Nota de Aceptación

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Barranquilla, 26 julio de 2018

Dedicatoria

*A **Dios** por haber suplido en todo momento lo necesario para desarrollarme como persona, por ser mi amigo y padre incondicional.*

*A mi **Madre**, mejor amiga y compañera Jennifer Altahona Moreno la mejor mujer del mundo, por estar en todos los momentos de mi vida, por darme la vida, brindarme tus consejos y ayuda. Este trabajo es en parte producto del ejemplo de lucha que me ha enseñado, gracias por tus regaños, por tenerme siempre en tus oraciones y finalmente por ser padre y madre (Te amo).*

*Fui afortunado por haber contado con dos madres, por eso doy las gracias a mi **Tía** Maryuris Altahona, porque con su sabiduría me ha enseñado a ser quien soy, gracias por la paciencia, por los consejos, regaños y por quererme como una segunda madre.*

*A **Kaity Medina** que sin duda ha sido mi motorcito de arranque, por la persona que nunca dejare de luchar y la compañera de toda la vida.*

*A **Mis amigos** Stephanie de la Hoz, Anderson Valencia, Laura Gonzales, Jesús Mier y Jaider de la Hoz, por sus burlas y desordenes que dejan como moraleja que los amigos son una parte importante de la vida*

*A **Mis tutoras**, Dayana Agudelo y Wendy Morgado que me tuvieron paciencia en toda esta etapa y que a lo largo de la carrera me enseñaron a ser un profesional.*

Jhorma Jose Medina Altahona

Dedicatoria

A Dios, por haberme dejado vivir y disfrutar de todo lo que me ha concedido y por siempre iluminar mis caminos.

A Mis Padres, Parménides De La Hoz Sandoval y Mercedes Pabola Sandoval, por ser la fuente de aliento e inspiración para mí a lo largo de mi vida, doy gracias a ustedes por proporcionarme todos los recursos para cumplir este proyecto de vida, por ser mis más grandes guías y por el apoyo incondicional durante el proceso de esta investigación.

A Mis Compañeros y Amigos, Jhorma Medina, Anderson Valencia, Jesús Mier, Laura González, por apoyarnos mutuamente en nuestra formación profesional y por los buenos y malos momentos que vivimos durante este largo periodo.

A Arnold Mengual, por acompañarme en este momento de mi vida, apoyarme en mis momentos de desmotivación y brindarme palabras de aliento.

A Mis Tutoras, Wendy Morgado Gamero y Dayana Agudelo Castañeda, por su acompañamiento, asesoría, consejos, el compartir de sus saberes en este proceso de mi formación.

Stephanie De La Hoz Pabola

Agradecimientos

La culminación de este proyecto de investigación es sin duda gracias a la ayuda e intervención de nuestras familias, amigos, docentes y personal de laboratorio que apostó en esta aventura.

A la Universidad de la Costa, por brindar los conocimientos, instalaciones, todas las herramientas necesarias para desarrollar este proyecto y por ser nuestra Alma Mater.

A la Ph.D Dayana Agudelo y M.Sc. Wendy Morgado por ser nuestras tutoras, por sus consejos, asesorías, regaños y complicidad en ser siempre los mejores.

A Erika Arbeláez y Ana Villalobos, por ser compañeras y estar siempre dispuestas a colaborar durante todo el proyecto.

A las instalaciones y personal del centro de salud por haber brindado un espacio y tiempo para poder realizar los monitoreos en la unidad de cuidados intensivos neonatal.

A la Universidad Metropolitana especialmente a la Directora del programa de Bacteriología Heidy Posso Mendoza por el tiempo y conocimiento suministrado.

Contenido

Resumen.....	14
1. Introducción	16
2. Planteamiento del problema	19
3. Justificación	22
4. Objetivos	25
4.1 Objetivo General.....	25
4.2 Objetivos Específicos	25
5. Marco teórico	26
5.1. Marco referencial.....	26
5.1.1. Bioaerosoles.....	26
5.1.2. Factores ambientales favorables para el comportamiento, estabilidad y viabilidad de los bioaerosoles en ambiente indoor.	28
5.1.3. Aerosoles bacterianos en el ambiente hospitalario.	31
5.1.4. Infecciones intrahospitalarias.....	32
5.1.5. Infecciones intrahospitalarias en unidades de cuidados intensivos neonatal (UCIN).....	36
5.1.6. Infecciones intrahospitalarias causadas por bacterias.	38
5.2 Marco normativo	41
5.3. Antecedentes.....	45
6. Metodología	47
6.1. Área de estudio	47
6.2. Materiales y Equipo.....	47
6.2.1. Preparación de los materiales.....	47
6.2.2. Equipos.....	49

6.3.	Muestreo de bioaerosoles bacterianos en el área de estudio	52
6.3.1.	Estaciones y tiempo de Monitoreo.....	52
6.3.2.	Recolección de muestras.....	53
6.4.	Análisis de las muestras.....	54
6.4.1.	Muestras de aire.....	55
6.4.2.	Muestras de superficie.....	56
6.5.	Análisis de los resultados de las muestras de los bioaerosoles bacterianos y microorganismos en superficie	56
6.5.1.	Análisis e interpretación de los datos.....	56
7.	Resultados y discusión	57
7.1.	Concentraciones de Bioaerosoles bacterianos en el ambiente de la unidad de cuidados intensivos neonatal (UCIN).....	57
7.1.1.	Concentración por jornada.....	57
7.1.2.	Análisis estadístico de los datos.....	58
7.1.3.	Concentración por campaña.....	58
7.1.4.	Concentración por etapa.....	61
7.1.5.	Comparación con estándares internacionales.....	64
7.2.	Identificación de las especies bacterianas presentes en aire y superficie de la unidad de cuidados neonatal (UCIN).....	66
7.2.1.	Concentración promedio de bioaerosoles identificados.....	67
7.3.	Relación entre las especies bacterianas reportadas en bioaerosoles y superficies antes y después de las visitas	74
8.	Conclusiones	78
9.	Recomendaciones	80
10.	Bibliografías.....	82
ANEXOS	104

Lista de figuras

Figura 1. Alojamiento de los bioaerosoles en la cavidad nasal (a) partículas retenidas en las primeras fases del sistema respiratorio. (b) microorganismos suspendidos en la atmósfera.....	27
Figura 2. Clasificación de áreas ambientales en función de la proximidad al paciente.....	33
Figura 3. Medios por lo que se puede contraer IHH.....	33
Figura 4. Preparación de los materiales para el Monitoreo.....	48
Figura 5. Impactador de Cascada de Seis Etapas- Andersen.....	49
Figura 6. Impactador de cascada de seis etapas como simulador del sistema respiratorio del ser humano.....	50
Figura 7. Metodología utilizada para la identificación con BD Phoenix™.....	51
Figura 8. BD - Phoenix™ 100 y paneles de identificación.....	52
Figura 9. Esquema de la UCIN.....	53
Figura 10. Porcentajes de la concentración promedio de Bioaerosoles bacterianos por Jornada.....	57
Figura 11. Concentración por jornada, Grafico de medias.....	58
Figura 12. Concentración total de bioaerosoles bacterianos por campaña y jornada.....	60
Figura 13. Distribución de la concentración de bioaerosoles bacterianos por jornada y etapas del impactador.....	62
Figura 14. Distribución porcentual de bioaerosoles bacterianos por campaña y etapas del impactador.....	63
Figura 15. Distribuciones de especies bacterianas (%) identificada en aire.....	69
Figura 16. Distribuciones de especies bacterianas (%) identificada en superficie.....	70
Figura 17. Distribución de concentración de especies bacterianas en relación a las etapas del impactador.....	71

Lista de tablas

Tabla 1. Infecciones y patologías causadas por microorganismos.....	39
Tabla 2. Clasificación de los agentes biológicos en función del riesgo de infección	43
Tabla 3. ANOVA para UFC/m ³ por Jornada	58
Tabla 4. Resumen de estándares cuantitativos y directrices para bioaerosoles en aire por organizaciones gubernamentales y privadas.	65
Tabla 5. Distribuciones de géneros bacterianos (%) en ambos ambientes y jornadas	66
Tabla 6. Concentración promedio de especies bacterianas por jornada.....	68
Tabla 7. Relación entre las especies identificadas en aire y superficies	75

GLOSARIO

Agar: polisacárido compuesto por un azúcar simple, cuando se disuelve en agua a alta temperatura y luego se enfría, adquiere su consistencia de gelatina.

Aerosoles: partículas líquidas o sólidas suspendidas en el aire dentro de núcleos de vapor de agua. El tamaño de las partículas puede ser desde 0,002 μm a más de 100 μm .

Bioaerosoles: partículas de tamaño microscópico suspendidas en el aire, de origen biológico, que pueden afectar a los seres humanos causándoles algún tipo de alergia, toxicidad o infección. Incluye alérgenos (polen, hongos, esporas, partes y fecas de insectos) y patógenos casi siempre absorbidos por las partículas.

Bacterias: las bacterias son microorganismos unicelulares que presentan un tamaño de algunos micrómetros de largo, entre 0,5 y 5 μm , por lo general, y diversas formas incluyendo esferas, barras y hélices.

Calidad del aire: es una forma de medir las condiciones del aire en espacios exteriores e interiores.

Colonias: conjunto de microorganismos visibles macroscópicamente y que se han desarrollado a partir de un progenitor común.

Exposición: frecuencia con la que las personas o la estructura entran en contacto con los factores de riesgo. Para calcularla se puede considerar el tiempo promedio diario en horas de exposición o el tiempo semanal acumulado.

Fuente de emisión: actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire, agua y suelo

Infección: invasión y multiplicación de microorganismos en los tejidos corporales, produciendo enfermedad.

Infección intrahospitalaria: infección adquirida en ambientes intrahospitalarios, transmitida de persona a persona.

Infección respiratoria aguda (IRA): conjunto de infecciones del aparato respiratorio causadas por microorganismos virales, bacterianos y otros, con un período inferior a 15 días, con la presencia de uno o más síntomas o signos clínicos tales como tos, otitis, obstrucción nasal, respiración ruidosa, entre otros.

Inmunosupresión: estado de un organismo en el cual la formación de anticuerpos se ve dificultada y se disminuye la capacidad de reacción frente a ciertas enfermedades.

Impactador de cascada: equipo empleado para la medición de la concentración y distribución de tamaños de partículas en el aire, el cual simula el aparato respiratorio recolectando las partículas más respirables por el ser humano.

Medio de cultivo: solución acuosa que se solidifica y contiene diversos nutrientes para facilitar el crecimiento de diversos microorganismos y por modificaciones en su composición inhibir algunos de ellos.

Microorganismos: organismo que a simple vista no es visible y se requiere de un microscópico para su observación. Están conformadas por una célula o grupo de células.

Microorganismo patógeno: microorganismo que posee factores de virulencia (toxinas, adhesinas, cápsula) que le facilitan colonizar, proliferar o producir enfermedad.

Microorganismo oportunista: microorganismo que dependiendo de las condiciones del hospedador como personas inmunosuprimidas, puede perjudicar la salud.

Monitoreo: actividad consistente en efectuar observaciones, mediciones y evaluaciones continuas de una característica, elemento, parámetro o de un proceso en un sitio y período determinados, con el objeto de verificar los impactos y riesgos potenciales hacia el ambiente y la salud pública.

NTP: nota técnica de prevención

Riesgo biológico: presencia de un organismo, o la sustancia derivada de un organismo, que genera una amenaza a la salud humana.

Unidades formadoras de colonia (UFC): crecimiento de un microorganismo sobre un medio de cultivo que se puede visualizar microscópicamente en las muestras para su recuento e identificación.

Resumen

Las bacterias pueden adherirse a un medio físico como el material particulado, y de esta forma son capaces de dispersarse en el ambiente atmosférico. Son de gran preocupación dentro de las Instituciones de Salud debido a que su alta concentración puede aumentar la posibilidad de adquirir infecciones intrahospitalarias (IIH). En la presente investigación se evaluó el comportamiento de bioaerosoles bacterianos en la Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal (UCIN) de una institución de salud de alta complejidad en la ciudad de Barranquilla-Atlántico. Para este propósito se realizaron cinco (5) campañas de monitoreo durante dos jornadas, antes y después de la visita de los padres a los neonatos. Se estableció un punto de monitoreo, localizado en el eje central de la UCIN. Los bioaerosoles bacterianos fueron colectados mediante un impactador de cascada Andersen Thermo Scientific de seis etapas. Se realizó la identificación de los microorganismos aislados usando el equipo automatizado BD Phoenix™ 100. Los resultados arrojaron una concentración promedio para la jornada antes y después de la visita de 14,1 y 15,5 UFC/m³, respectivamente. Las mayores concentraciones se encontraron en la 1ª y 5ª etapa, los cuales corresponden a diámetros de tamaño de partículas atmosféricas de aproximadamente ≥ 7 μm y 1.1 – 2.1 μm , respectivamente. La UCIN presentó concentraciones de bacterias ≥ 100 – ≤ 600 UFC/m³ sobrepasando los estándares recomendados como aceptables por la Organización Mundial de la Salud. Adicionalmente, se encontraron seis géneros distribuidos en 12 especies bacterianas. *Staphylococcus* y *Bacillus* fueron los géneros dominantes; en cuanto a las especies se encontró *Staphylococcus epidermidis*, *Kocuria rosea*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus Cereus* y *Pseudomona pseudoalcaligene* clasificados como bacterias patógenas u oportunistas.

Palabras Claves: Bioaerosoles, bacteria, impactador de cascada, infecciones intrahospitalarias (IIH), material particulado y unidad de cuidados intensivos UCI.

Abstract

Bacteria can adhere to a physical medium as the particulate material, and in this way they are able to disperse in the atmospheric environment. They are of great concern within the Health Institutions because their high concentration can increase the possibility of acquiring nosocomial infections (IIH). In the present investigation, the behavior of bacterial bioaerosols in the Neonatal Intensive Care Unit (NICU) of a highly complex health institution in the city of Barranquilla-Atlántico was evaluated. For this purpose, five (5) monitoring campaigns were carried out during two days, before and after the visit of the parents to the neonates. A monitoring point was established, located in the central axis of the NICU. The bacterial bioaerosols were collected using an Andersen Thermo Scientific six-stage cascade impactor. Identification of isolated microorganisms was performed using BD Phoenix™ 100 automated equipment. The results showed an average concentration for the day before and after the visit of 14.1 and 15.5 CFU / m³, respectively. The highest concentrations were found in the 1st and 5th stages, which correspond to atmospheric particle size diameters of approximately $\geq 7 \mu\text{m}$ and 1.1 - 2.1 μm , respectively. The NICU showed bacterial concentrations $\geq 100 - \leq 600$ CFU / m³ exceeding the recommended standards acceptable by the World Health Organization. Additionally, six genera were found distributed in 12 bacterial species. Staphylococcus and Bacillus were the dominant genera; as for the species, Staphylococcus epidermidis, Kocuria rosea, Bacillus pumilus, Bacillus cereus and Pseudomona pseudoalcaligene were classified as pathogenic or opportunistic bacteria.

Key words: Bioaerosols, bacteria, cascade impactor, intrahospital infections (IIH), particulate material and ICU intensive care unit.

1. Introducción

La contaminación del aire constituye una de las principales problemáticas ambientales que más impacto o efectos nocivos tiene sobre las personas y su calidad de vida; en las últimas décadas ha quedado demostrada la actuación del aire en la transmisión de enfermedades infecciosas y la dispersión de sustancias nocivas para la salud (Jara & Piraquive, 2016), este medio ha sido considerado como el vehículo más importante en la dispersión de todo tipo de microorganismos, pudiendo estos ser aerotransportados rápidamente en forma de bioaerosoles, a través del movimiento del aire (Hernandez & León, 2008).

Estos bioaerosoles son partículas sólidas suspendidas en el aire que se derivan de organismos vivos (Solé & Obiols, 2005), incluyendo microorganismos y fragmentos de todas las variedades de materiales vivientes (Hernández, 1994). La supervivencia, dispersión, y reproducción de estos dependen, en gran medida, de las condiciones del entorno en que se encuentran, y de factores como la temperatura, la humedad relativa, el movimiento del aire, la luz y las fuentes de alimento (Edith & Espinoza, 2005; Pelczar, Chan, & Krieg, 1993). Los hongos, las esporas, el polen, las bacterias, los virus son algunos ejemplos de ellos (Gutiérrez, Romero, Reyes, Samdoval, & Aguirre, 2009).

En la actualidad la contaminación biológica en ambientes interiores y exteriores causada por bioaerosoles, ha tomado gran importancia por diferentes sectores de nuestra sociedad, uno de ellos es el sector de la salud ya que la presencia de los microorganismos genera un riesgo biológico lo que afecta la calidad del aire intramural de las instituciones de salud, como también ofrece un riesgo potencial para la adquisición de infecciones, tanto para los pacientes, como para su familia y el personal de salud (Wahab, Ghoneim, Khashaba & Abdel, 2013). Algunas

investigaciones a nivel internacional se han enfocado en el estudio de los bioaerosoles bacterianos presentes en las diversas unidades de instituciones de salud, justificado en las condiciones favorables que presentan los ambientes intramurales para el transporte y supervivencia de estos microorganismos en el aire (Jaffal et al., 1997; Youn, Shin, & Daekeun, 2010).

La fuente de bioaerosoles bacterianos que causan infecciones hospitalarias puede provenir de los pacientes, del ambiente y del personal hospitalario (Hernández & León, 2008); adicionalmente, la estimación de la concentración y diversidad de estos microorganismos en instituciones de salud es un indicador de la calidad del ambiente (Burge, 1990; Hoseinzadeh, Samarghandie, Guiasian, Alikhani, & Roshanaie, 2013). El control de la calidad del aire en el interior (aire intramural) de las instituciones de salud juega un papel importante en la prevención de infecciones intrahospitalarias (IIH) y puede ser útil para el diseño de estrategias que protejan tanto a los empleados, como a los pacientes, teniendo en cuenta que cada uno de ellos tiene diferentes grados de susceptibilidad o inmunosupresión y pueden llegar a verse afectados por un mal control de estos elementos (Leung & Chan, 2006).

El control del aire intramural es un factor fundamental cuando se habla de áreas críticas como quirófanos, salas de cuidados intensivos, salas de cuidados neonatales (Hernández, 2001), entre otras; debido a que estas son las áreas médicas en las que se presentan mayores tasas de transmisión de enfermedades intrahospitalarias (Organización Mundial de la Salud, 2002).

Las enfermedades intrahospitalarias constituye un problema de salud ambiental y un motivo de preocupación e interés por parte de las instituciones y organizaciones de este sector a escala mundial dadas las implicaciones económicas, sociales y humanas que se establecen con la

adquisición de la enfermedad además de su frecuencia, severidad, y el aporte de un número importante de casos de morbilidad cada año (Cosgrove, Kaye, Eliopoulous, & Carmeli, 2002; Guzmán & Pachón, 2016; Niven, Fick, Kirkpatrick, Grant, & Laupland, 2010)

De esta manera el monitoreo de bioaerosoles bacterianos en instituciones de salud puede proporcionar información para la investigación epidemiológica de enfermedades IIH, la investigación sobre la propagación y control de microorganismos en el aire, el monitoreo de procedimientos biológicos y su uso como medida de control de calidad (Hernandez & León, 2008).

En este orden de ideas, este trabajo tiene como objetivo principal, evaluar el comportamiento de bioaerosoles bacterianos en Unidades de Cuidados Intensivos Neonatal (UCIN) en una institución de salud de alta complejidad en la ciudad de Barranquilla/Atlántico; así como determinar la concentración de bioaerosoles bacterianos en el ambiente de las unidades de cuidados intensivos.

2. Planteamiento del problema

A lo largo de la historia se han realizado diversos estudios sobre la calidad del aire extramural y cómo afecta la calidad de vida de los seres vivos, logrando así establecer las principales enfermedades que son adquiridas por la inhalación o contacto con contaminantes aéreos (Oyarzún, 2010). La inmisión de material particulado y gases son la principal causa de estas afectaciones, dado que la mayoría de estas contienen uno o más contaminantes criterios (SO_2 , NO_2 , O_3 , MP, CO) que principalmente son emitidos como resultado de acciones antropogénicas (SEMARNAT, 2013).

No todas las alteraciones en la salud conseguidas por vías aérea están directamente relacionadas a sustancias inanimadas como los contaminantes criterios; también hay un gran grupo de patologías adquiridas de manera aérea que son de carácter biológico, como es el caso de la enfermedad de los legionarios que es obtenida por la exposición a cepas del género bacteriano *Legionella* (Molina, 2015). Este agente etiológico *Legionella pneumophila*, por lo general se encuentra en recipientes de agua asociados a los sistemas de aire acondicionado, grifos de agua en los hogares y otras fuentes, donde son dispersados en aerosoles (Edith & Espinoza, 2005).

Así mismo, los microorganismos en el aire extramural afectan la salud, el aire intramural y la concentración de los bioaerosoles impacta significativamente la calidad de vida. Debido a que en estos espacios las personas permanecen una cantidad de tiempo significativo, ya sea en sus hogares, centros de salud o lugares de trabajo, representando de tal manera una preocupación sanitaria y ambiental. Estos espacio cerrados proporcionan las condiciones favorables (humedad y temperatura) para el desarrollo y crecimiento de contaminantes biológicos en el aire (Behrentz, Mónica, & Franco, 2008).

Por otro lado, las personas que ingresan a centros de salud están expuestos a una variada concentración y cantidad de microorganismos que pueden incidir en el desarrollo de una infección o enfermedad durante su residencia u hospitalización (Ibáñez, 2008), la adquisición de esta patología se denomina infecciones intrahospitalarias (IIH) (Molina, 2015). Las IIH deterioran la salud e incluso en algunas ocasiones pueden ocasionar trastornos que deterioran la calidad de vida de los pacientes, aumentan el tiempo de estancia y por ende un incremento en los costos para el tratamiento de estas patologías (MINSALUD, 2009).

Las infecciones pueden ser contraídas por contacto directo (persona a persona), por contacto indirecto (transmisión objeto-persona) y también pueden ser adquiridas por la inhalación de sustancias recién contaminadas provenientes de otros focos (infección ambiental) (Hernández, 1994).

Esta última infección involucra a la inhalación de bioaerosoles o partículas aerotransportadas en los centros de salud, que son generados por los sistemas de aire acondicionado, al toser o hablar, emitiendo un polvo fino y núcleos de gotas menores a 10 μm de diámetro que permanecen suspendidas en el aire por varias horas y pueden ser inhaladas (Organización Mundial de la Salud, 2002; Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, 2002). Algunas de las patologías asociadas a la inhalación de microorganismos están relacionadas a bastoncillos Gram positivos anaerobios (*Clostridium*) que son causantes de la gangrena, o las bacterias Gram positivas (*Staphylococcus Aureus*) causantes de una gran variedad de infecciones pulmonares, óseas, cardíacas, entre otras y que a menudo son resistentes a antibióticos (Molina, 2015; OMS, 2002)

Así mismo la OMS en conjunto con otros estudios han demostrado que la mayor prevalencia de IHH ocurre principalmente en unidades de cuidados intensivos y en pabellones quirúrgicos. Así mismo, se ha establecido que estas infecciones son una de las principales causas de morbilidad y mortalidad a nivel de unidades de cuidados intensivos (Coronell, Rojas, Escamilla, Manotas, & Sánchez, 2010; Organización Mundial de la Salud, 2002).

Actualmente el Sistema de Vigilancia en Salud Pública (SIVIGILA) de Colombia no cuenta con mecanismos o protocolos de seguimiento que incluyan una relación entre los bioaerosoles y las IHH.

Por todo lo mencionado anteriormente, esta investigación está encaminada a generar conocimiento y dar respuesta al interrogante principal de este estudio.

¿Cómo es el comportamiento de los bioaerosoles bacterianos en unidades de cuidados intensivos de una institución de salud de la ciudad de Barranquilla?

3. Justificación

Las infecciones intrahospitalarias (IIH) adquiridas en centros de salud ocurren en todo el mundo y afectan tanto a países desarrollados como subdesarrollados, causan un incremento significativo en la morbilidad y mortalidad de los pacientes, especialmente de los inmunocomprometidos, ocasionando de esta forma grandes gastos económicos y sociales, dado que se encuentran entre las principales causas de defunción y de aumento en la morbilidad en pacientes hospitalizados (Organización Mundial de la Salud, 2002; Revert, 2005; Torres Lana A, Sierra López A, 1995).

Como se ha podido evidenciar hay numerosas enfermedades de tipo bacteriana que son transmitidas por el aire y representan un impacto significativo en la calidad de vida, estas son producidas principalmente por bacterias Grampositivas debido a su mayor supervivencia en el aire. Estos microorganismos afectan el tracto respiratorio superior (faringitis, epiglotis, difteria) e inferior (bronquitis, neumonías, tosferina, tuberculosis), y desde esta zona pueden llegar a la sangre y otros órganos causando patologías como: meningitis, carbunco pulmonar y fiebre Q (De La Rosa, Mosso, & Ullán, 2002; Oyarzún, 2010b)

En el año 2000 según un índice realizado por la Secretaria de Salud de la ciudad Bogotá, se señalaron los servicios que mayormente presentaba IIH; en este se notifica que de 1.458 IIH notificadas, 22% se presentaron en unidades de cuidados intensivos; sobrepasando a los servicios de cirugía que con un 21% estuvo por encima de los servicios neonatos con un 17%, medicina pediátrica 8%, urgencias 7%, hospitalización 7%, medicina interna 5%, ortopedia 3% y finalmente en gineco-obstétrica un 3% (Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, 2002).

Así mismo algunas instituciones de tercer nivel han determinado 18 gémenes causantes de IHH en 572 casos registrados; donde el 17% de estas infecciones fueron causadas por el *Staphylococcus epidermidis*, este coco Gram positivo es el agente que causa el mayor número de bacteriemias originadas en los hospitales del mundo. Así mismo el *Enterobacter sp* fue causante del 15% de estas infecciones, este bacilo Gram negativo es asociado a infecciones en heridas quirúrgicas, infecciones respiratorias y urinarias (Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, 2002). Las bacterias Gram positivas como *Staphylococcus aureus* es originadora de una gran gama de infecciones pulmonares, óseas, cardíacas y sanguíneas y a menudo son resistentes a los antibióticos (Organización Mundial de la Salud, 2002).

Estos microorganismos son transportados muchas veces por material particulado, dando como resultado un bioaerosol potencialmente infeccioso. Según sea el tamaño de estas partículas se pueden depositar cerca o a cierta distancia de la fuente de emisión y también según su tamaño pueden permanecer suspendidas y/o ser aerotransportadas a grandes distancias (Molina, 2015), las partículas menores o iguales a $10\ \mu\text{m}$ se denominan respirables, cuanto más pequeñas sean las partículas mayor es su capacidad de penetración en el árbol respiratorio; por ejemplo las partículas con un diámetro aerodinámico menor o igual a $2,5\ \mu\text{m}$ alcanzan fácilmente los bronquiolos terminales y los alvéolos, desde donde pueden ser fagocitadas por los macrófagos alveolares y atravesar la barrera alvéolo-capilar para ser transportadas hacia otros órganos por la circulación sanguínea (Oyarzún, 2010).

Con lo anteriormente mencionado, se ve la necesidad y la importancia de realizar estudios y análisis sobre la concentración de bioaerosoles en UCIN, para que estos sirvan como partida y en un futuro se instituyan y apliquen sistemas de vigilancia epidemiológica (Revert, 2005).

Por lo tanto, el presente estudio sobre el comportamiento de los bioaerosoles bacterianos en unidades de cuidados intensivos neonatales se convierte en una herramienta de gran ayuda ya que provee información sobre la calidad microbiológica del aire en los centros de salud en especial en la unidad de neonatos, ya que la vulnerabilidad de los pacientes es mayor en la infancia, la resistencia a una infección es menor y estos pacientes tienen alto valor social por lo que representan en la comunidad.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Evaluar el comportamiento de los bioaerosoles bacterianos en Unidades de Cuidados Intensivos neonatal (UCIN) en instituciones de alta complejidad en la ciudad de Barranquilla, Departamento del Atlántico.

4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la concentración de bioaerosoles bacterianos en el ambiente de la unidad de cuidados neonatal (UCIN).
- Identificar las especies bacterianas presentes en aire y superficie de la unidad de cuidados neonatal (UCIN).
- Relacionar las especies identificadas de bioaerosoles bacterianos y bacterias en superficie antes y después de las visitas.

5. Marco Teórico

5.1. Marco referencial

5.1.1. Bioaerosoles. La atmósfera representa para una gran variedad de organismos el medio que les permite cambiar su ubicación geográfica durante su ciclo de vida. Por tal motivo, las partículas biológicas, biopartículas o bioaerosoles están siempre presentes en dicho ambiente, aunque su viabilidad y número varíen con las horas del día, condiciones meteorológicas, estaciones del año y su localización geográfica (Pedersen, 2000; Pérez, 2004). La mayoría de los bioaerosoles son de tamaño respirable varían desde micrómetros, como los virus de 0.003 micras, hongos de 1 a 30 micras, bacterias desde 0,25 hasta 20 micras y polen de 17 a 58 micras; y milímetros, como las semillas y los insectos sin alas (Gregory, 1993). Estudios realizados han estimado que entre el 18% y el 80% de las emisiones atmosféricas presentan bioaerosoles (Jaenicke, 2005).

Sin embargo, la atmósfera en sí no es completamente considerada un hábitat de las partículas biológicas, ya que solo algunas de ellas pueden reproducirse en este medio; siendo su hábitat principal acuática o terrestre (Whitman, Coleman, & Wiebes, 1998). La mayoría de bioaerosoles provienen de fuentes naturales como la vegetación, el suelo y los cuerpos de agua y en menor proporción de actividades antropogénicas; su perduración y distribución están ligados a factores biológicos, meteorológicos y a la química atmosférica. La tasa metabólica de los bioaerosoles puede verse afectada durante su transporte y es recuperada en caso de que se impacten sobre un organismo o un medio con las condiciones óptimas para crecer o infectar (Bohannon & Lenski, 2000; Hutchinson, 1961).

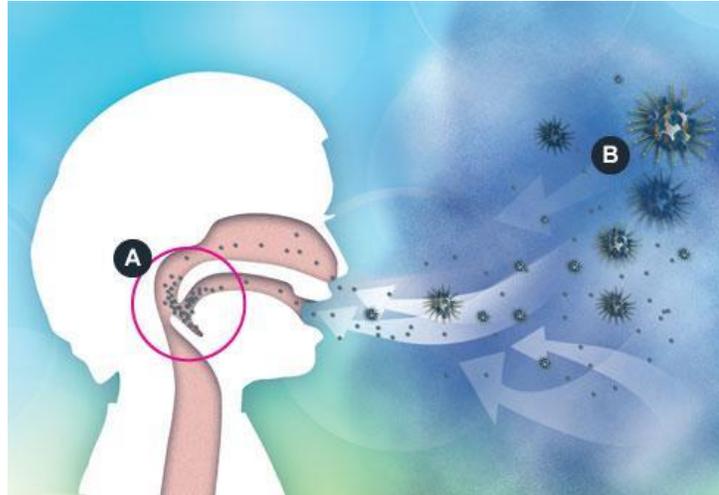


Figura 1. Alojamiento de los bioaerosoles en la cavidad nasal (a) partículas retenidas en las primeras fases del sistema respiratorio. (b) microorganismos suspendidos en la atmósfera. Recuperado de “Airborne Diseases”, de Sobieski, H., 2014, <http://conservativepapers.com/news/tag/>

Se ha visto que muchas enfermedades infecciosas y alérgicas están asociadas con la exposición a bioaerosoles, principalmente por bacterias y hongos (Burge, 1990; Cox & Wathes, 1995; Maldonado Vega et al., 2014). Un gran número de bacterias y propágulos fúngicos son capaces de dispersarse vía aérea, creando de esta manera la necesidad de controlar la exposición a estos patógenos potenciales y para ello es necesario determinar la composición y concentración de microorganismos aerotransportados en interiores, al aire libre y en ambientes ocupacionales (Cox & Wathes, 1995b; Henningson & Ahlberg, 1994; C. S. Li & Hou, 2003).

En ambientes como hospitales el análisis de la calidad de aire es recomendado para obtener información sobre bioaerosoles relacionados con enfermedades intrahospitalarias. La estimación de la concentración y diversidad de estos microorganismos en hospitales es un indicador de la calidad del ambiente (Burge, 1990; Hoseinzadeh et al., 2013).

Por lo tanto, el control de la calidad del aire en el interior de los hospitales adquiere un papel importante en la prevención de IHH y puede ser útil para el diseño de estrategias que protejan

tanto a los empleados del hospital, como a los pacientes, especialmente aquellos inmunocomprometidos e inmunosuprimidos (Leung & Chan, 2006).

Las bacterias son organismos procariotas que pueden clasificarse en función de la estructura y composición de su pared celular; según lo anterior se distinguen tres grupos, los micoplasmas que son bacterias muy pequeñas y pleomórficas debido a la ausencia de la pared celular, las bacterias Gram positivas que poseen hasta un 90% de peptidoglicano en su pared celular y carece de membrana externa, finalmente se encuentran las bacterias Gram negativas que contienen un porcentaje inferior de peptidoglicano y presentan una membrana externa constituida por lipopolisacáridos, lipoproteínas y otras macromoléculas (Madigan, et al., 2004) Las condiciones ambientales inciden en el crecimiento y desarrollo de las poblaciones bacterianas (Monsalve, *et. al.*, 2009). La temperatura es un factor influyente en la viabilidad de las bacterias, según rangos de temperatura óptima las bacterias pueden clasificarse en: termófilas, mesófilas y psicrófilas. (Miller, C. & Palenik, C., 2000; Carvajal, 2016).

5.1.2. Factores ambientales favorables para el comportamiento, estabilidad y viabilidad de los bioaerosoles en ambiente indoor. Los bioaerosoles pueden encontrarse en suspensión gracias a su pequeño tamaño y al comportamiento aerodinámico gobernado por sus propiedades físicas (forma, tamaño y densidad), los principios de gravitación, electromagnetismo, turbulencia y difusión y por las condiciones medioambientales (Sánchez, Monedero et al., 2006) (Hernández & León, 2008) , mientras, su supervivencia, reproducción y dispersión al aire dependen del tipo de microorganismo y en gran medida, de las condiciones atmosféricas del entorno en que se encuentran, incluyendo factores tales como la temperatura, la humedad relativa, el movimiento del aire, la radiación UV, la concentración de oxígeno y las fuentes de

alimento (Cox & Wathes, 1995), estos factores ambientales son los más significativos ya que determinan el grado en que los contaminantes biológicos se encontrarán en un ambiente.

- **Humedad Relativa**

Los microorganismos necesitan la presencia de agua, en una forma disponible, es por esto que los ambientes muy húmedos favorecen al desarrollo de los microorganismos, sin embargo, la disminución de la humedad relativa afecta significativamente la disponibilidad de agua para el ambiente exterior del microorganismo, lo que causa deshidratación y por tanto la inactivación de muchos de ellos (Hernandez & León, 2008; Morgado, 2017).

De todos los parámetros meteorológicos medibles, la humedad relativa es el más importante con respecto a la estabilidad del aerosol (Cox & Wathes, 1995), afectando directamente la concentración de estos (Mohr, 2002).

- **Temperatura**

Diversos estudios sobre la relación de las variaciones de temperatura y los microorganismos han demostrado que los aumentos en la temperatura tienden a disminuir la viabilidad de los microorganismos en el aire (Carvajal, 2016; Lighthart, 2000) y las temperaturas bajas tienden a inhibir el crecimiento de muchos ellos, causando una inactivación; no obstante, algunos de ellos (por ejemplo, mohos) se desarrollan bien en ambientes fríos. Otras especies microbianas (por ejemplo, *Aspergillus*, *Legionella pneumophila* o *Thermoactinomyces vulgaris*), alcanzan su desarrollo óptimo a temperaturas elevadas (Hernández, 1994).

- **Oxígeno**

Se ha observado una correlación negativa entre la concentración de oxígeno y la viabilidad, que aumenta con la deshidratación y el tiempo de exposición. La causa de la inactivación podría ser cuando el oxígeno se convierte en otras formas reactivas (peróxido de hidrógeno, radicales de

hidróxido, etc.); dichas formas reactivas del oxígeno causan daños en el ADN de los bioaerosoles, impidiendo su reproducción (De La Rosa et al., 2002; Pepper & Gerba, 2015).

- **Velocidad del viento**

La velocidad del viento es una variable fundamental para la supervivencia de los microorganismos, este factor favorece el proceso de emisiones y transporte. El tiempo que permanecen los microorganismos en el aire depende de sus propiedades físicas (forma, tamaño y peso) y de la existencia y potencia de las corrientes aéreas (Cox & Wathes, 1995; Maldonado Vega et al., 2014).

- **Radiación ultravioleta**

Los bioaerosoles son particularmente vulnerables a las ondas UV más cortas y a longitudes de onda cerca de los 254 nanómetros ya que estas causan daños en los nucleótidos, los cuales forman el ADN y así mismo causa inhibición de la actividad biológica como la replicación del genoma, transcripción y traducción (Millán, Romero, Brito, & Ramos, 2015).

- **Factores microbiológicos**

La supervivencia de un microorganismo en el aire es variable y se encuentra vinculada al tipo, especie o cepa como también a la diversidad estructural y metabólica (Carvajal, 2016).

Debido a su diversidad estructural las bacterias Gram positivas son más resistentes que las Gram negativas ya que su pared celular es más gruesa, esto se refleja en que existe poca evidencia de transmisión por el aire de bacterias Gram negativas, con la excepción de *Legionella* (De La Rosa et al., 2002; Hernández & León, 2008).

5.1.3. Aerosoles bacterianos en el ambiente hospitalario. Las bacterias son organismos unicelulares procariotas, tienen una maquinaria celular que le permite llevar a cabo sus actividades metabólicas (Aquiahuatl & Chabela, 2004; Orden, Martínez, Martínez-Ruiz, & Millán-Pérez, 2008; Proquimes S.A, 2010; Ramírez et al., 1995; Valdez, 2015). Algunas bacterias al igual que los hongos tiene la capacidad de producir esporas que les permite sobrevivir en condiciones extremas, ya que disminuye su actividad metabólica, son estas esporas las que en muchas ocasiones penetran los conductos de aire o ventilación llegando a los interiores de los recintos. Cuando las condiciones son propicias, las esporas salen de su estado de letargo y se transforma en una bacteria activa (Fernández Olmos, García de la Fuente, Saéz Nieto, & Valdezate Ramos, 2010; Gutiérrez et al., 2009; Jones & Harrison M, 2004; Lee et al., 2008).

La mayoría de estas esporas son inhalables e incluso pueden llegar a los alvéolos, para el caso específico de las bacterias estas se encuentran dentro del orden de 0,25 a 20 micras (W. Thompson, 1981).

La aspiración del material bacteriano presente en el aire es una de las causas por las que se adquieren patologías como la legionelosis, la tuberculosis, neumonitis y ántrax, (Burge, 1990; Hussong et al., 1987).

Según Guadino Sola (2005), en los ambientes hospitalarios las bacterias que normalmente deberían dominar son las correspondientes a la flora bacteriana normal humana, es decir, bacterias *Gram positivas* pertenecientes a los géneros *Micrococcus* y *Staphilococcus*. Las concentraciones ambientales elevadas de estos tipos de bacterias, que se encuentran por lo general en la piel y en las secreciones respiratorias, indican niveles de ocupación altos y/o que la renovación del aire es insuficiente.

5.1.4. Infecciones intrahospitalarias. Las infecciones intrahospitalarias (IIH) pueden definirse como todas aquellas infecciones contraídas durante una intervención u hospitalización que no estaban incubadas o presentes a la hora del ingreso del paciente, así mismo cualquiera infección que haya sido contraída dentro de estos centros de salud y se presente una vez el paciente sea dado de alta (Gaynes & Horan, 2004; Urbina, 2001). Estas infecciones han existido desde los primeros centros de salud, pero es hasta el siglo XIX donde se empieza a darle importancia y comprender la dimensión del problema.

Una de las principales causas de la gran cantidad de pacientes afectados por IIH es la transmisión cruzada de patógenos (Gardam, Burow, & Mus, 2007). Estos patógenos pueden ser contraídos por las actividades ocupacionales, tales como personal médico o de enfermería mal preparados y mal desinfectados, el movimiento constante de personas, el uso indiscriminado de antibióticos; también se incluyen los alimentos y bebidas ingeridas, las superficies de las habitaciones, los baños y en especial los sistemas de ventilación (Berquó, Barros, & Lima, 2004; Harakeh, Yassine, & Gharios, 2005; Ministerio de Protección Social, 2009; Rampling & Wiseman, 2001; Siqueira, 2000; Urbina, 2001).

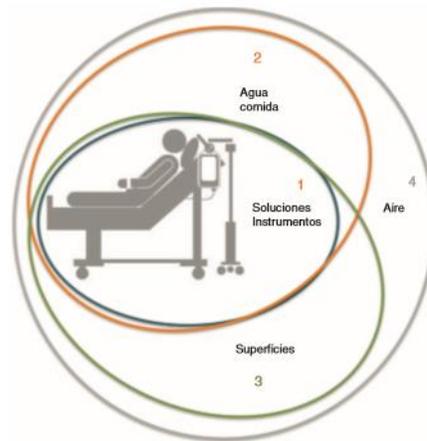


Figura 2. Clasificación de áreas ambientales en función de la proximidad al paciente. Recuperado de “Papel del ambiente hospitalario y los equipamientos en la transmisión de las infecciones nosocomiales”, de López, L., 2014, *Revista enfermedades infecciosas y microbiología clínica*, 32(7), pp. 409-476.

Aunque la mayoría de las infecciones hospitalarias se relaciona con los métodos de diagnóstico y terapéuticos (fuente endógena), estas infecciones pueden estar vinculadas con la calidad del aire (Pereira, Reis, & Ambrósio, 2005).



Figura 3. Medios por lo que se puede contraer IHH. Fuente. Adaptado de “Impacto de un programa de capacitación para la prevención de IHH en un hospital general”, de Chavés, J., 2013, *Fundación MAPFRE*. Recuperado de <http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/trauma/v24n2/docs/Articulo8.pdf>.

El grado de contaminación del aire interior tiene como fuentes el entorno externo y el propio medio ambiente y está determinado por factores como la cantidad de material particulado (polvo), la tasa de ventilación, la naturaleza y el grado de actividad ejercida por las personas que ocupan un espacio físico (Luoma & Batterman, 2001). La composición y concentración de microorganismos en el aire interno y/o externo en las áreas del hospital han sido enfatizado como extremadamente necesario (Alberti, Bouakline, & Ribauad, 2001) ya que estos microorganismos componen la microbiota generalmente oportunista y su determinación es importante para la prevención de las enfermedades alérgicas e infecciosas (Grumach, 2001). La mayoría de los estudios indican que los *Estafilococos* y los *Bacilos Gram-negativos* son responsables de la mayoría de las IHH.

La OMS establece que cada año cientos de millones de personas intervenidas en centros de salud o sitios ambulatorios contraen estas infecciones, así mismo se considera que durante el proceso de atención médica, más de 1,4 millones de pacientes contraen infecciones hospitalarias a nivel global, siendo el riesgo de infección de 2 a 20 veces mayor en los países en vía de desarrollo (Organización Mundial de la Salud, 2002).

Actualmente las cifras de IHH a nivel mundial se desconocen. La OMS estima que entre el 5% y el 10% de los pacientes que son asistidos en centros hospitalarios modernos contraen una o varias infecciones, en los Estados Unidos un paciente hospitalizado de 136 se enferma gravemente a causa de una infección contraída en el hospital, trayendo consigo gastos entre 4.500 millones y 5.700 millones de dólares; para México se calcula que 450.000 casos de infecciones asociadas a la asistencia médica causan 32 muertes por cada 1000.000 habitantes al año, que representa un costo anual aproximado de 1.500 millones de dólares (Coronell et al., 2010),

mientras tanto un estudio realizado en el 2013 estima que las proporciones de IIH en Colombia fueron de 1,25 a nivel nacional (MINSALUD, 2009). Así mismo en Colombia durante el periodo comprendido entre 2006 y 2010, se realizó un estudio sobre el impacto económico de infección por *Acinetobacter baumannii*, que reveló un costo pagado por las IPS y/o aseguradoras para la atención de pacientes entre 13 y 15 millones de pesos por paciente; dinero que se pudo haber invertido en la prevención de estas infecciones sin acarrear pérdidas humanas (Lemos et al., 2011).

Según la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá para el 2007 las unidades notificadas del sistema de vigilancia epidemiológica de la capital de Colombia, reportaron que los servicios con mayor porcentaje de IIH por microorganismos resistentes son cirugía general 35%, pediatría 22,4% y UCI 48,6% (SDS, 2007). Entre estos servicios, mencionar la unidades de cuidados intensivos (UCI) porque los pacientes que ocupan estos entornos presentan mayor riesgo de adquirir la IIH debido a la gravedad de enfermedades subyacentes (Avila, 1986), procedimientos invasivos que se presentan antes y después del ingreso en la UCI, tales como catéteres venosos centrales, el cateterismo urinario, ventilación mecánica, estancia hospitalaria prolongada, uso amplio de antibióticos y la alta relación Paciente- Enfermeras (Gorbach, Barlett, & Blacklow., 2003; Lambert, 1987).

5.1.5. Infecciones intrahospitalarias en unidades de cuidados intensivos neonatal (UCIN). Siguiendo las estadísticas anteriores las IHH por microorganismos en la UCI neonatal varía entre 7 y 24,5%, constituyen así un grave problema económico y de salud por su elevada frecuencia, la cual es 5 a 10 veces mayor que en otras unidades (Secretaría Distrital De salud Bogotá, 2011). La incidencia de este tipo de infecciones en países desarrollados varía entre 2,2 a 8,6% por 1000 nacidos vivos (Ministerio de la Protección Social, 2011).

Las IHH pueden contraerse por tres rutas posibles (propia flora del paciente, patógenos presentes en otros pacientes o en el personal sanitario y patógenos presentes en el ambiente hospitalario), comúnmente se ha hablado que las IHH de mayor importancia son de la flora endógena, pero en los últimos tiempos se ha podido establecer que las infecciones adquiridas en el ambiente hospitalario representan un 20% de estas infecciones (López, 2014; Weinstein, 1991). Durante la hospitalización, el neonato está expuesto a las patologías maternas y hospitalarias que se tornan invasivas cuando el estado inmunológico es deficiente (Ramírez et al., 1995).

La incidencia de la IHH en neonatos varía ampliamente entre las UCIN (7-24,5%) dependiendo de factores ambientales y diferencias en las prácticas clínicas. La red neonatal del *National Institute of child health and human development* de los Estados Unidos, estableció que aproximadamente el 29 % de los neonatos entre 25 y 28 semanas de gestación y que el 46 % de los recién nacidos antes de las 25 semanas sufren de una IHH grave durante su residencia en las unidades de cuidados intensivos (Polin & Saiman, 2003). Hay estimaciones de que las infecciones neonatales causan 1,6 millones de muertes anuales y el 40% de las muertes neonatales son en los países en vía de desarrollo (Zaidi, Huskins, & Thaver, 2005) y según datos publicados por la organización mundial de la salud (OMS), la mortalidad en las Américas en

niños menores de cinco años oscila alrededor de 400.000 muertes por año, de las que más del 40% ocurre en el período neonatal, lo que las convierte en motivo de intervención (Coronell et al., 2010).

La variedad de los microorganismos en el ambiente (virus, bacterias, hongos, protozoos, etc.) que pueden incidir en la adquisición de una IIH es muy grande; comúnmente se encuentran bacterias vinculadas, como es el caso de las Gram negativas (*klesbsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas sp.*) y Gram positivas (*Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus coagulasa negativo*) (Secretaria Distrital De salud Bogotá, 2011).

Existen unos aspectos esenciales que hacen que los neonatos puedan presentar una mayor vulnerabilidad a contraer o padecer de IIH; una de estas reside en que los neonatos se han desarrollado en un medio ambiente intrauterino estéril, con un contacto transitorio con la flora materna y luego se coloniza rápidamente con los microorganismos presentes en estas unidades, por otro lado el sistema inmunológico es inmaduro con bajos niveles de gammaglobulina y por último la piel de los prematuros no está completamente queratinizada, es frágil y se lastima fácilmente, favoreciendo así el ingreso de los microorganismos y su posible infección (Sarubbi, 2010; Revert, 2005). Las afectaciones por infecciones adquiridas en centros de salud en las unidades de cuidado intensivo neonatal por lo general son muy altas, en contraste con los demás sitios dentro de los centros y las tasas de colonización por patógenos se ha aumentado en los últimos años (Secretaria Distrital De salud Bogotá, 2011).

5.1.6. Infecciones intrahospitalarias causadas por bacterias. Las IIH están directamente relacionadas con el sistema inmunológico de cada paciente, si bien los patógenos oportunistas aéreos pueden ser inocuos para pacientes sanos, en personas inmunocomprometidas pueden causar efectos adversos (Augustowska & Dutkiewicz, 2006); en la actualidad se ha podido establecer que muchas enfermedades infecciosas y alérgicas están relacionadas y/o asociadas con la exposición a bioaerosoles, ya sea en espacios abiertos o cerrados, en especial estos últimos cuando son edificaciones húmedas o con un mantenimiento inadecuado de los aires acondicionados (Burge, 1990; Maldonado Vega et al., 2014), la bacteriemia primaria y la neumonía son las IIH más concurrentes en neonatos, y son casi que independientes del peso de este. (Zaragoza, Ramírez, & López-Pueyo, 2014).

Según análisis realizados en la ciudad de Bogotá por el Sistema de Vigilancia de la Resistencia Bacteriana (SIVIBAC), en los servicios de unidades de recién nacidos fueron obtenidos 2790 aislamientos en el 2007, de los cuales los microorganismos aislados con mayor frecuencia fueron *Staphylococcus epidermidis* con un 30%, *Escherichia coli* con un 11%, *Staphylococcus aureus* y *Klebsiella pneumoniae* con un 9%, y otros *Staphylococcus coagulasa negativa* con un 4%; así mismo encontraron una similitud con los microorganismos aislados en el año 2006 (Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, 2009). En la tabla 1 se evidencian infecciones y enfermedades asociadas a microorganismos patógenos u oportunistas anteriormente mencionados.

Tabla 1*Infecciones y patologías causadas por microorganismos*

Microorganismo	Patologías asociadas	Referencias
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Generación de IIH, infecciones en el tracto urinario, sistema respiratorio, tejidos blandos, heridas y bacteriemia; en ocasiones esta bacteria puede generar una infección generalizada (sepsis).	(Hoyos, Rivera, Hoyos, Mesa & Alfaro., 2007) (Secretaría Distrital De salud Bogotá, 2011) (Hernández & León, 2008) (De Martos, 2007)
<i>Pseudomona aeruginosa</i>	Presenta alta resistencia a los antibióticos, puede representar un grave problema, principalmente en pacientes oncológicos y quemados, infecta el tracto urinario, las vías respiratorias, las heridas y quemaduras, igualmente se encuentra asociado a bacteriemias	(De Martos, 2007) (Macedo & Blanco, 2008) (Secretaria Distrital De salud Bogotá, 2011) (Lebeque Pérez, Morris Quevedo & Calás Viamonte, 2005) (Zaragoza et al., 2014)
<i>Staphylococcus aureus</i>	Patógeno humano causante de importantes infecciones en heridas quirúrgicas, piel y tejidos, furúnculos, celulitis, lindangitis, linfangitis, artritis séptica, osteomiositis, piomiositis, así mismo causa neumonías, bacteriemias, endocarditis infecciosa, infección osteoarticular e infección del sistema nervioso central.	(Macedo & Blanco, 2008) (Secretaria Distrital De salud Bogotá, 2011)

<i>Streptococcus pneumoniae</i>	Es responsable de diversas infecciones como la otitis media aguda, neumonía, meningitis, septicemia, bacteriemia y en algunas ocasiones raramente es asociada a artritis, peritonitis y celulitis.	(Macedo & Blanco, 2008)
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Este microorganismo afecta especialmente al sistema respiratorio, y su contagio se da principalmente por inhalación; es el responsable de la tuberculosis.	(Müller, Dürr, Alonso, Hattendorf & Laisse, 2013; Secretaria Distrital De salud Bogotá, 2011)
<i>Legionella pneumophila</i>	La forma más común de adquirir este microorganismo es mediante la inhalación de aerosoles contaminados (bioaerosoles), las principales patologías están relacionadas a la enfermedad de los legionarios, neumonías e infecciones en heridas quirúrgicas.	(Coronell et al., 2010; Macedo & Blanco, 2008)
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	Es reconocido como una bacteria responsable de diversas patologías clínicas, como son las infecciones urinarias intrahospitalarias, osteomielitis, bacteriemia en pacientes inmunosuprimido e infecciones de dispositivos médicos o cuerpos extraños.	(Acher, Mandell, Douglas, & Bennett's, 2000; Fernández Olmos et al., 2010; Von Eiff, Proctor, & Peters, 2011; M. Weinstein et al., 1997)

Nota: Principales infecciones asociadas a microorganismos patógenos. Elaboración propia de diversas fuentes.

5.2 Marco normativo

La carga microbiana presente en las unidades de cuidados intensivos representa un peligro latente para los pacientes, visitantes y cuerpo médico, dado que muchos de estos microorganismos representan un factor de riesgo para contraer enfermedades. Como ya se ha mencionado a nivel mundial se han realizado diferentes estudios que permitan analizar las concentración o presencias de microorganismos en diferentes áreas de los centros de salud tanto en el aire como en superficie, sin embargo, hasta el momento solo han sido estudios de caso que permiten realizar aportes sobre la prevención de las IHH (Maldonado et al., 2014). Actualmente no se ha reportado o establecido límites específicos en cuanto a las concentraciones de bioaerosoles, ya que estos niveles dependen de muchas variables o factores que pueden inhibir o aumentar la presencia de los microorganismos (Del et al., 2000; Gulliver & Briggs, 2004; Hoseinzadeh et al., 2013; Pasquarella, Pitzuarra, & Savino, 2000).

En la actualidad se cuenta con guías técnicas o notas técnicas de prevención (NTP) de origen español que permiten analizar las exposiciones a los agentes biológicos; estas notas han sido desarrolladas en conjunto por el ministerio de trabajo y asuntos sociales y el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. De estas normas sobresalen para la presente investigación las que se mencionan a continuación.

- **NTP 299:** Métodos para el recuento de bacterias y hongos en aire.
- **NTP 313.** Calidad del aire interior.
- **NTP 409:** Contaminantes biológicos: criterio de valoración.
- **NTP 608:** Agentes biológicos: Planificación de la medición.
- **NTP 609:** Agentes biológicos: equipos de muestreo (I).

- **NTP 611:** Agentes biológicos: Análisis de muestras.
- **NTP 822:** Agentes biológicos: Enfermedades de la piel
- **NTP 1064 - 1065:** Calidad del aire interior: Contaminantes biológicos, estrategias de muestreos

La guía **NTP 299**, que establece el método para el recuento de bacterias y hongos en aire expone una metodología concerniente a la toma, transporte y conservación de muestras de aire para realizar la determinación de bacterias y hongos, así como el funcionamiento del método analítico para establecer la concentración de bioaerosoles por metro cuadrado (UFC/m³) (Martí Solé, 1991).

NTP 313. El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo expone en esta guía los riesgos microbiológicos en los sistemas de ventilación o climatización, también establece los principales focos de contaminación biológica y sugiere algunas medidas preventivas o de control para la contaminación microbiológica en ambientes interiores (INSHT, 2005).

NTP 409. En esta guía se encuentra una completa explicación sobre los inconvenientes en cuanto a la evaluación de las exposiciones a contaminantes de origen biológico y se establecen algunas de las razones por las cuales se es difícil establecer una valoración numérica para interpretar las situaciones que se puedan presentar; así mismo en la guía se proporcionan pautas que ayudan en la evaluación de dichas exposiciones.

Dentro de las pautas que se dictan para la evaluación de exposiciones a contaminantes biológicos se establece una clasificación de los agentes biológicas en función al riesgo de infección que se pueden contraer como se evidencia en la tabla 2 (Hernández, 1994).

Tabla 2*Clasificación de los agentes biológicos en función del riesgo de infección*

Categoría	Definición	Ejemplos
Grupo 1	Agente biológico que resulte poco probable que cause enfermedad en el hombre	La clasificación comunitaria no incluye los agentes biológicos del grupo uno, el hecho de que un agente biológico no esté clasificado en los grupos de riesgo de dos a cuatro de esta clasificación, no significa que estén implícitamente clasificados en el Grupo 1
Grupo 2	Agente patógeno que pueda causar una enfermedad en el hombre y pueda suponer un peligro para los trabajadores; es poco probable que se propague a la colectividad; existen, generalmente, profilaxis o tratamientos eficaces	Bacteria: Legionella pneumophila Virus: Virus de la gripe Hongos: Penicillum Sp.
Grupo 3	Agente patógeno que pueda causar una enfermedad en el hombre y presente un serio peligro para los trabajadores; exista el riesgo de que se propague a la colectividad, pero existen, generalmente, profilaxis o tratamientos eficaces	Bacteria: Mycobacterium Tuberculosis. Virus: Virus de la hepatitis B. Hongos: Histoplasma Capsulatum.
Grupo 4	Agente patógeno que cause una enfermedad grave en el hombre y suponer un peligro para los trabajadores; existen muchas posibilidades de que se propague a la colectividad, no existe, generalmente, profilaxis o tratamiento eficaces	Virus No hay ninguna clasificada en este grupo. Hongos: No hay ninguno clasificado en este grupo. Virus: Virus del Ébola.

Nota: Recuperado de “Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a Agentes Biológicos”, de Hernández, A., 1994, Recuperado a partir de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/agen_bio.pdf

NTP 608: En esta guía se consagra información importante sobre la planificación de la medición, como la necesidad de una cuidadosa planificación de las mediciones que se llevará a cabo, al igual que una correcta evaluación de las exposiciones a agentes biológicos, entre otros temas importantes a la hora de realizar el monitoreo (Hernández, 2001)

NTP 609: esta nota técnica describe principalmente los alcances de las metodologías de los diferentes instrumentos de medición utilizados en la evaluación de los agentes biológicos, describe los requisitos que deben cumplir los diferentes equipos de monitoreo de bioaerosoles, los principios de captación de partículas y las principales características de los muestreadores más utilizados (Calleja, 2003).

NTP 611: dentro de esta guía se describen los principales ensayos empleados en los análisis analíticos aplicables a los distintos tipos de bioaerosoles (bacterias, hongos, virus, etc) (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2001)

NTP 822: en esta nota técnica de prevención se estudia las principales enfermedades profesionales de la piel causadas por la exposición a diferentes bioaerosoles. (Hernández, 2009)

NTP 1064 – 1065: En conjunto estas dos guías se centran en el muestreo de contaminantes biológicos durante los procesos de investigación de los problemas de calidad del aire in-door. La primera se encarga esencialmente de establecer una serie de consideraciones a la hora de realizar un monitoreo en cuanto a la presencia o ausencia de bioaerosoles y suministra una serie de recomendaciones para realizar durante el monitoreo. En la segunda, se establecen las principales técnicas e instrumentos más empleados para la identificación o determinación de los bioaerosoles (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) & Culver González, 2015).

5.3. Antecedentes

El papel del aire ha sido reconocido durante las últimas décadas como fuente y transporte en la transmisión y dispersión de microorganismos y otras sustancias nocivas para la salud dentro de las instituciones prestadoras de servicio de salud (IPS), ya que varias enfermedades infecciosas transmitidas por el aire se han relacionado con la calidad del aire interior (Nunes et al., 2005) (Boushey & Fahy, 1995) (al-Dagal & Fung, 1990) (Seltzer, 1994). Estas infecciones se atribuyen a una amplia gama de contaminantes químicos, físicos o biológicos y/o contaminantes que se introdujeron o incluso produjeron en el medio ambiente (Loudon et al., 1996) (Stone, 2000).

En estudios relacionados con la información anterior, la Universidad Nacional de Taiwán, a través del contador de partículas y el impactador Andersen 1 – STG evaluó la correlación entre el número total de partículas y las concentraciones bacterianas y fúngicas en salas de unidades de cuidados intensivos y quirófanos, encontrando niveles más altos de bioaerosoles bacterianos que fúngicos y relaciones débiles entre la concentración de partículas y niveles de bioaerosoles (C. S. Li & Hou, 2003).

En Brasil, el Instituto de Ciencias Biológicas y de la Salud (ICBS) de la Universidad Federal de Alagoas monitoreó la microbiota fúngica del aire y filtros de los aires acondicionados de dos entornos de la UCI neonatal de un hospital universitario, durante el estudio se identificaron 24 géneros de bioaerosoles fúngicos; los géneros *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* fueron los más frecuentes, siendo considerados en la literatura como especies patógenas, toxígenas o alérgicas para el hombre (Pinheiro, 2009).

En el 2014, en dos hospitales de la ciudad de Guanajuato (México), se identificaron, aislaron y caracterizaron propágulos fúngicos y aerobacterias que pudieran comportarse como patógenos

potenciales, se encontró gran variedad de flora microbiana justificando una mala calidad de aire, que no solo afecta a los paciente internos, sino también al personal que se desenvuelve en estos ambientes; generando factores de riesgo para la salud y deteriorando la calidad del aire dentro de ellas (Maldonado et al., 2014). De igual manera, en Valencia (Venezuela) se realizaron evaluaciones de microorganismos aerobios mesófilo y población fúngica en 6 instituciones de salud. Los microorganismos identificados con mayor frecuencia fueron: *Staphylococcus spp*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus spp.*, *Acinetobacterlowfii*, *Aspergillus nidulans*, *A. terreus* y *Geotrichum candidu* (Izzeddin, Medina, & Rojas, 2011).

En Colombia se han realizado diversas investigaciones con respecto a la evaluación de bioaerosoles y la calidad de aire en instituciones de salud, uno de los estudios realizados es el de Jara & Piraquive, (2016), de la Universidad de la Salle, determinando la calidad de aire intramural a través de la caracterización de bacterias mediante muestreos con el equipo MAS-100 en consultorios, salas de espera y quirófano de la Clínica Veterinaria de la Universidad de La Salle. También, en la misma universidad en el 2008, se determinó la calidad del aire extramural e intramural en la sala de cirugía del hospital El Tunal de la ciudad de Bogotá. Esta investigación planteó mecanismos de control y minimización de factores de riesgo causados por microorganismos potencialmente nosocomiales (Hernández & León, 2008).

Estas investigaciones en general advierten la importancia de medir con frecuencia la cantidad de bacterias y hongos dentro de las UCIs y otras áreas, teniendo en cuenta factores como: posibles focos de contaminación y personal que puede llegar a presentar las más altas exposiciones, todo esto con el fin de generar una gestión ambiental oportuna de la calidad del aire que permita prevenir posibles enfermedades nosocomiales (Hernández & León, 2008).

6. Metodología

6.1. Área de estudio

Este estudio fue realizado en una unidad de cuidados intensivos neonatal (U.C.I.N) de un Hospital Universitario con un grado de complejidad de tercer nivel, localizado en el área central y metropolitana de la ciudad de Barranquilla, Colombia. Este Instituto de Salud atiende a pacientes principalmente del Departamento del Atlántico.

6.2. Materiales y Equipo

La recolección de muestras dentro de la unidad de cuidados intensivos neonatal demandó de materiales previamente preparados (medio de cultivo), que son utilizados para la operación adecuada del equipo muestreador (Impactador de Cascada Tipo Andersen de Seis Etapas - *Thermo Fisher Scientific*) al igual que otros instrumentos útiles para la recolección de microorganismos en la superficie.

6.2.1. Preparación de los materiales. Para el objeto de este estudio se utilizó como medio de cultivo, Agar Plate Count, dado que su composición permite el crecimiento, desarrollo y conteo de bacterias mesófilas. Su preparación se llevó a cabo mediante la mezcla de 23,5g de Agar Plate Count por litro de agua destilada. La mezcla se preparó en un Beaker con capacidad de 5 litros; luego de ello se llevó el Beaker a una plancha de calentamiento provista por agitadores magnéticos, se dejó hervir y reposar durante 10 minutos, al cabo de este tiempo, se sirvieron los litros de agar preparados en Frascos Shott Duran para su posterior esterilización. La mezcla se esterilizó en Autoclave a 121°C durante 15 minutos según lo indicado en las instrucciones del Agar Plate Count. Una vez esterilizado el medio se realizó la lectura del pH final (lectura aceptable $7,0 \pm 0,2$).

Al finalizar la esterilización, se dejó enfriar el medio y finalmente se sirvieron 25 ml del mismo en cada una de las cajas de Petri previamente esterilizadas; este procedimiento se realizó en una cabina de flujo laminar (Figura 4). Se dejaron enfriar las cajas de Petri durante 4 horas a temperatura ambiente para luego ser empacadas en papel Film y guardadas para el monitoreo. Un día antes de cada monitoreo se aclimataron las cajas de Petri para evitar condensación de agua en las tapas.

A su vez también se preparó una solución de Peptona; para la elaboración de esta proteína se diluyó una porción de Peptona en agua destilada teniendo en cuenta los requerimientos del monitoreo. Esta solución se envasó en tubos de ensayo limpios para su posterior esterilización. Las soluciones junto con los hisopos fueron esterilizados en el Autoclave.



Figura 4. Preparación de los materiales para el Monitoreo. Elaboración propia.

6.2.2. Equipos. La recolección de las partículas suspendidas en el aire demanda en muchas ocasiones de mecanismos de succión especializados, bajo esta condición se tomó el impactador de cascada tipo Andersen de seis etapas marca Thermo Fisher Scientific (Figura 5). Este impactador está constituido por una serie de seis placas de aluminio, cada una contiene cierta cantidad de orificios cuyo diámetro disminuye sucesivamente, por lo que la velocidad del aire se incrementa de una etapa a la siguiente; succiona un flujo de aire de $28,3 \text{ L/ min}^{-1}$ por medio de una bomba de vacío (Carvajal, 2016; Wang et al., 2012)

Una vez recolectadas las partículas, las de mayor diámetro se acentúan en las etapas superiores mientras que las de tamaños menores se depositan en las siguientes etapas dependiendo de su diámetro. En cada una de estas seis placas se coloca una caja Petri con Agar, en cuya superficie se desarrollarán las partículas viables (Wang et al., 2012). El caudal de aire fue calibrado previamente a la toma de muestra por medio de un rotámetro Dwyer modelo RMB-53-SSV. (Carvajal, 2016; M. Mendoza & López, 2017)

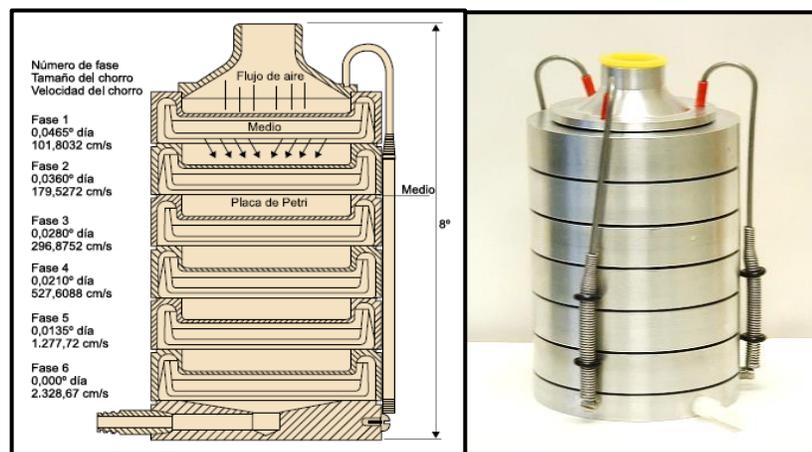


Figura 5. Impactador de Cascada de Seis Etapas- Andersen. Adaptado de “Non-Viable Andersen Cascade Impactors”, de Thermo Fisher Scientific Inc., 2007, Recuperado de <https://www.thermofisher.com/us/en/home.html>.

El equipo fue diseñado para simular el sistema respiratorio del ser humano, ya que este se puede considerar como un sistema de clasificación aerodinámico para partículas en el aire. El tamaño aceptable para cada área del sistema respiratorio, simulado por el equipo de impactación, se muestra en la Figura 6.

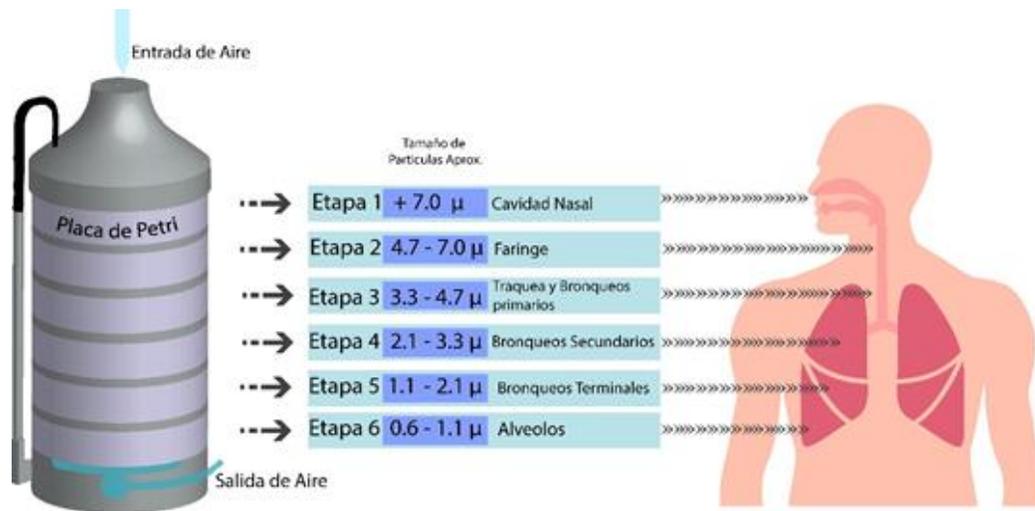


Figura 6. Impactador de cascada de seis etapas como simulador del sistema respiratorio del ser humano. Elaboración propia.

El equipo empleado para medir las condiciones medioambientales durante el muestreo en la UCIN fue el anemómetro Kestrel 4500 710830. Este equipo se configuró para medir diferentes variables como temperatura, sensación térmica, humedad, índice de calor y presión barométrica.

Para la identificación de las especie de las bacterias encontradas en cada uno de los monitores, se utilizó el equipo automatizado llamado BD Phoenix™ 100 (Figura 7).

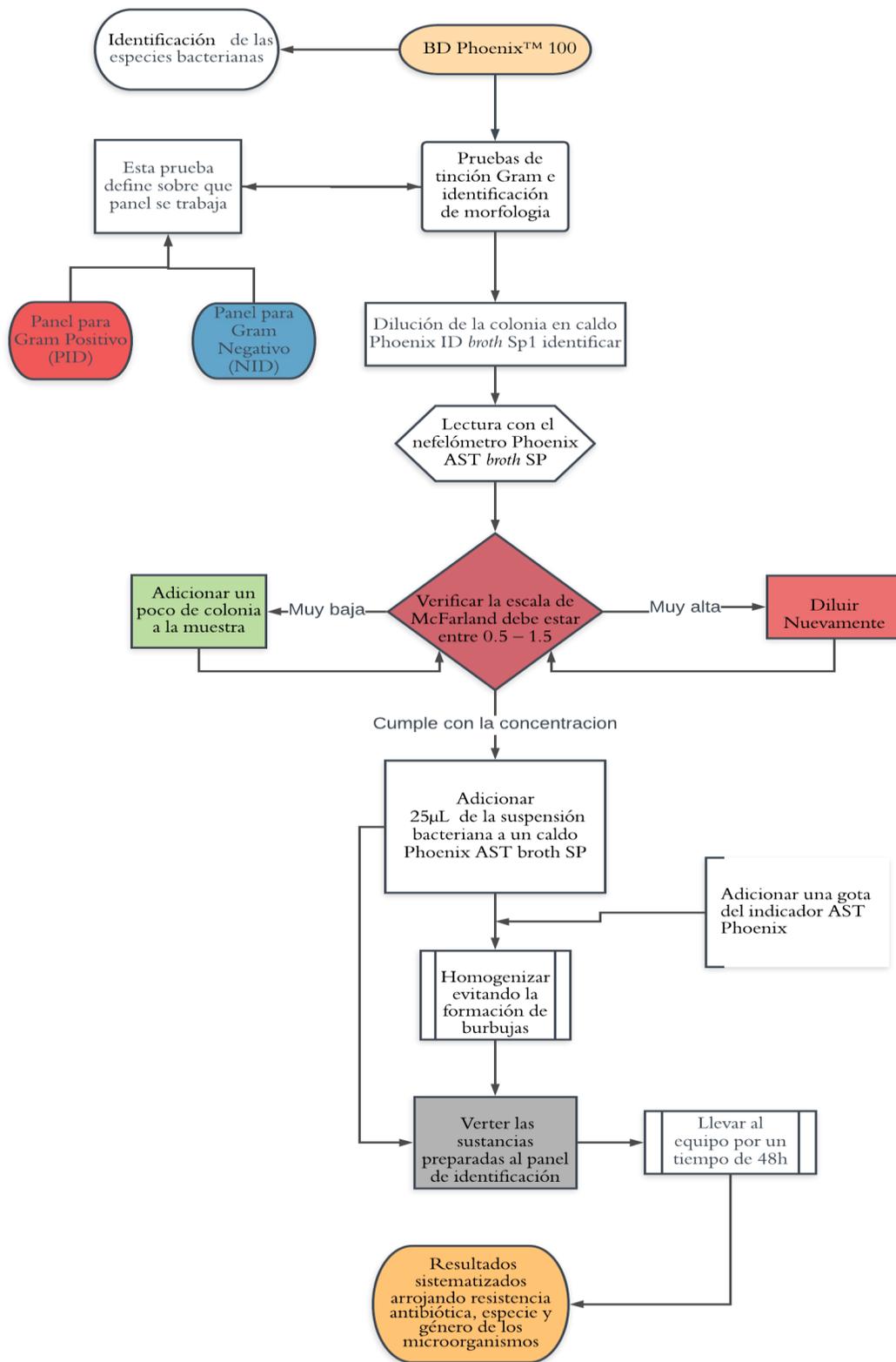


Figura 7. Metodología utilizada para la identificación con *BD Phoenix™*. Elaboración propia



Figura 8. BD - Phoenix™ 100 y paneles de identificación. Adaptado de BD Company, 2018, Recuperado de <https://goo.gl/zdLKbF>.

6.3. Muestreo de bioaerosoles bacterianos en el área de estudio

6.3.1. Estaciones y tiempo de Monitoreo. Por un periodo de seis meses, durante el primer semestre del año 2017, se realizaron evaluaciones sobre la calidad microbiológica intramural del aire y superficie, tomando como parámetros la concentración del material biológico suspendida (bioaerosoles) de tipo bacteriano y la carga microbiana en las superficies de una unidad de cuidados intensivos neonatal.

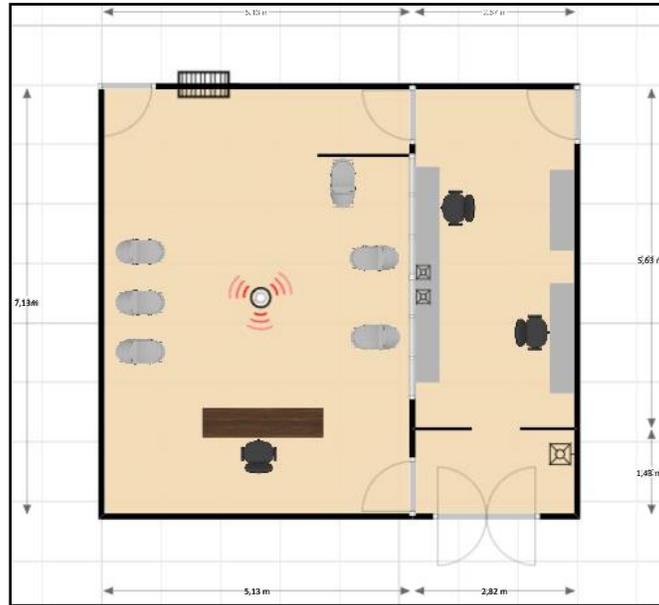


Figura 9. Esquema de la UCIN. Elaboración propia.

La estación de monitoreo donde se instaló el equipo se localizó en el eje central de la UCIN, lo más representativo posible, relacionando las dimensiones espaciales del recinto aislado de corrientes e influencias del sistema de climatización, los cuales por efectos de sus corrientes pueden incidir en el incremento y propagación de las unidades formadoras de colonia (UFC), de igual manera se evadieron posibles focos generadores de bioaerosoles. El punto de monitoreo se mantuvo constante.

6.3.2. Recolección de muestras. Para establecer la metodología de recolección de muestras de aire, se realizaron diversas consultas bibliográficas en base a la determinación de concentraciones de microorganismos presentes en el aire, como resultado se tomó la metodología de impactación utilizada por (Heo et al., 2010; M. Li et al., 2011) donde por medio de esta se logró no solo determinar la concentración de los bioaerosoles sino hasta qué punto del sistema respiratorio pueden penetrar, mientras que para el análisis de muestras en la superficie se escogió

la metodología de hisopado, dado que es la que mayormente se utiliza y tiene una confiabilidad en cuanto a la recolección de los microorganismos adheridos a las superficies (PDA, 1998).

La recolección de la muestra de aire se realizó por un lapso de tiempo de 5 minutos (Wang et al., 2012; Zhu, Phelan, Duan, Raupp, & Fernando, 2003), tiempo ajustado al pre-muestreo, donde se realizaron ensayos a tres tiempos diferentes: 3, 5 y 10 min. La recolección de la muestra se llevó a cabo en dos jornadas: Antes de la primera visita de padres a los neonatos desde las 8:00 am a 11:00 am (Jornada A) y después de la visita 12:00 pm hasta las 2:00 pm (Jornada D). Para la recolección de las muestras en superficie se tomaron puntos que permitieran analizar las zonas donde hubiese mayor concentración de microorganismos, por lo tanto, se hicieron recolecciones en las rejillas del aire acondicionado y en las cunas (4) de los neonatos. Las muestras fueron tomadas por triplicado en cada una de las dos jornadas.

6.4. Análisis de las muestras

Para las muestras de aire se realizó una determinación cuantitativa puesto que la metodología permite realizar un recuento de las unidades formadoras de colonia, mientras que para la técnica del hisopado solo se realizó una determinación cualitativa, es decir, se evalúa la presencia del microorganismo.

6.4.1. Muestras de aire. Para la cuantificación e identificación de los microorganismos impactados, las cajas Petri fueron transportadas hasta las instalaciones del Centro de Investigaciones Tecnológicas Ambientales de la Universidad de la Costa, (CITA) para su incubación por un periodo de 48 horas a 37°C. Al finalizar el periodo de incubación correspondiente se contaron las colonias y se efectuó una observación macroscópica y una microscópica. Una vez contadas las unidades formadoras de colonia (UFC) de microorganismos se procedió a realizar la tinción de Gram a las colonias de bacterias obtenidas lo cual permitió conocer la morfología.

Simultáneamente a esto se efectúa un aislamiento de las colonias en cajas Petri más pequeñas para su identificación. Estas colonias fueron enviadas nuevamente a incubación, para realizar posteriormente su identificación con el equipo BD Phoenix™ 100. Logrando así determinar el género y la especie de las colonias.

6.4.1.1. Determinación de la concentración de bioaerosoles. Para determinar la concentración de bioaerosoles bacterianos en la UCIN, se utilizó las unidades formadoras de colonia por metro cúbico del aire muestreado en un lapso determinado, por lo cual se aplicó la ecuación:

$$\text{Concentración de bioaerosoles } \left(\frac{UFC}{m^3}\right) = \frac{(N^{\circ}C * 1000)}{Q * NU} \quad (Ec. 1)$$

En Donde $N^{\circ}C$ es la cantidad de colonias por placa, 1000 es un factor de conversión de unidades, Q es el caudal de aire que ingresa en el impactador de cascada ($28,3 \text{ L/min}^{-1}$) y t el tiempo de colecta de los bioaerosoles (5 min).

6.4.2. Muestras de superficie. Las muestras recolectadas por el hisopado fueron sembradas en cajas Petri con medio de cultivo Agar Plate Count. El sembrado de estas muestras se hicieron mediante la técnica de siembra por estrías de agotamiento, utilizando como herramienta un asa estéril; estando servidas las muestras fueron llevadas al proceso de incubación por un periodo de 48 horas a una temperatura de 37°C.

Posterior el crecimiento de las colonias se realizó el mismo proceso de identificación que se ejecutó para las muestras de aire.

6.5. Análisis de los resultados de las muestras de los bioaerosoles bacterianos y microorganismos en superficie

6.5.1. Análisis e interpretación de los datos. Como herramienta para la tabulación e interpretación de los datos obtenidos en campo durante los monitoreos, se utilizó una hoja de cálculo en Excel, del paquete de Microsoft Office versión 2015. En la hoja se organizaron los datos referentes a las campañas realizadas (días de monitoreo), jornada (antes y después de las visitas), replica (1, 2 y 3) y se realizaron tablas dinámicas que ayudaron en el análisis del comportamiento de los bioaerosoles y los microorganismos presentes en la superficie.

- **Análisis estadístico.** Los datos fueron analizados mediante el software Statgraphics Centurion XVI, aplicando un análisis estadístico mediante ANOVA Multifactorial que permitió establecer si existían diferencias significativas entre los factores o variables independientes, en este caso las jornadas de antes y después.

7. Resultados y discusión

7.1. Concentraciones de Bioaerosoles bacterianos en el ambiente de la unidad de cuidados intensivos neonatal (UCIN)

7.1.1. Concentración por jornada. El análisis cuantitativo de los monitores realizados permitió observar la presencia de 2897,53 UFC/m³, siendo 1399,3 (48,3%) UFC/m³ antes de la visita de padres a los neonatos en la UCIN y 1498,2 (51,7%) UFC/m³ después de la visita. El valor promedio de colonias por metro cúbico encontradas para la jornada antes (Jornada A) y después de la visita (Jornada D) fue de 14,1 y 15,5 UFC/m³ respectivamente, nuevamente la concentración de la Jornada de después de la visita fue la que registró el mayor valor promedio aritmético (Figura 10).

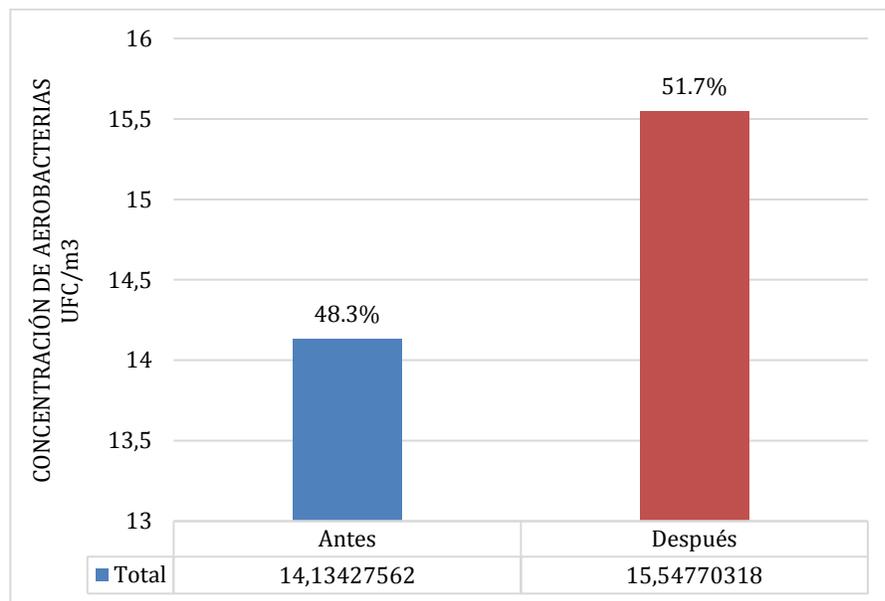


Figura 10. Porcentajes de la concentración promedio de Bioaerosoles bacterianos por Jornada. Elaboración propia

7.1.2. Análisis estadístico de los datos. De igual manera, los resultados obtenidos se analizaron mediante un modelo de regresión lineal desarrollado a partir de la relación de las jornadas (antes y después) y la concentración de microorganismos (Figura 11). Teniendo en cuenta que la diferencia entre los promedios de cada grupo (jornada) no fue significativa cuando se obtuvo un *valor-p* mayor de 0,05 para un nivel de confianza del 95,0% (Tabla 3).

Tabla 3

ANOVA para UFC/m³ por Jornada

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	58,82	1	58,82	0,22	0,639
Intra grupos	5,18E+04	194	267,2		
Total (Corr.)	5,19E+04	195			

Nota: Resultados obtenidos de la correlación existente entre las Jornadas y la concentración. Elaboración propia

***Diferencia estadísticamente significativa $P \leq 0.05$.*

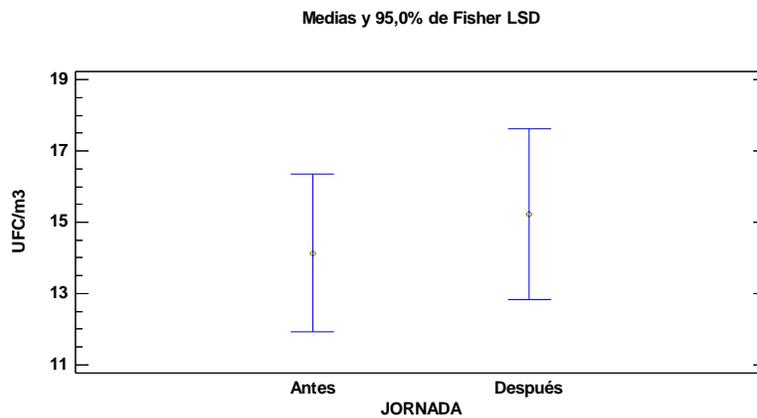


Figura 11. Concentración por jornada, Gráfico de medias. Elaboración propia

7.1.3. Concentración por campaña. La figura 12 relaciona los resultados de la concentración en UFC/m³ de bioaerosoles bacterianos durante las cinco campañas de monitoreo y las jornadas de antes y después de la visita. Las condiciones ambientales durante las cinco campañas presentaron rangos de valores de temperatura y humedad de 27- 24 °C y 74 - 63,2 %

respectivamente. Por ser un espacio *indoor* hospitalario estos factores son constantemente monitoreados y controlados con el fin de mantener variaciones mínimas.

Cada campaña mostró concentraciones diferentes, esta variación puede estar influenciada por las diferentes actividades externas del ambiente hospitalario o de la misma UCIN. En general, la máxima concentración registrada a lo largo del muestreo fue 572,44 UFC/m³ en la campaña tres de la Jornada D (jornada después de la visita), de igual modo la campaña tres de la Jornada A registró el valor más alto 508,83 UFC/m³ (jornada antes de la visitas), estos resultados fueron representativos para evaluar el comportamiento de los bioaerosoles ya que obtenidos los resultados de la campaña tres se realizó una visita en la institución de salud, donde se evaluó los registros de actividades clínicas y/o cambios realizados en la UCIN. Los resultados reportaron que dos días antes del muestreo se realizó una jornada de limpieza en el sistema de climatización (filtros de aire acondicionado). Es importante resaltar que según la literatura los ambientes cerrados climatizados como las Instituciones de Salud son propensas a tener una mayor acumulación de humedad y material orgánico. La humedad, las entradas y salidas de aire y las acumulaciones de cuerpos en los filtros de aire acondicionado tienden a propiciar la aparición, proliferación y dispersión de microorganismos (Cheng & Jiang, 2005; Guzmán & Pachón.; Hernández, 2001; Niemeier, Sivasubramani, Reponen, & Grinshpun, 2006; Pinheiro, 2009), es necesario por ello hacer un mantenimiento periódico y evitar el deterioro de la calidad de aire interior.

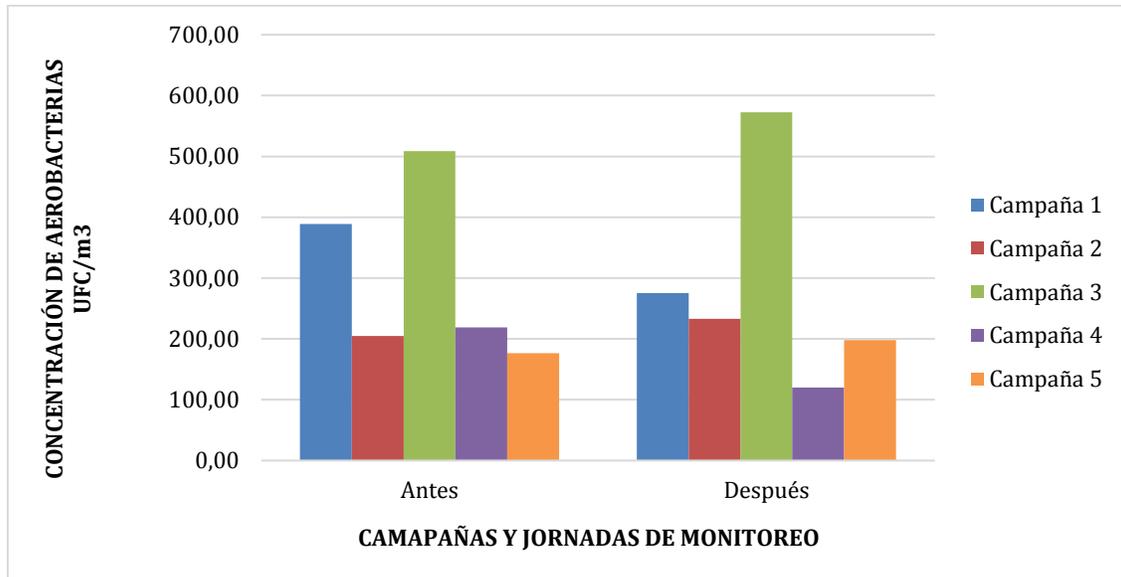


Figura 12. Concentración total de bioaerosoles bacterianos por campaña y jornada. Elaboración propia

7.1.3.1. Relación de la limpieza con la concentración bioaerosoles por campaña. En cuanto a la campaña cuatro y cinco de la Jornada A y D se aprecia un decrecimiento en los valores de las concentraciones en comparación a la campaña uno, dos y tres, factor que puede estar asociado al proceso de limpieza de los filtros, demostrando un resultado antes y después de la limpieza. Existen investigaciones que se basan en monitorear las cargas microbiológicas del aire y de superficies, antes y después de actividades de limpieza en instituciones de salud, edificios, industrias de alimentos e industrias de desechos y explican como las actividades de limpieza global, el mantenimiento de filtros de aires y el funcionamiento de otras fuentes rutinarias pueden variar la concentración de bioaerosoles en un ambiente interno (Pinheiro, 2009; Viegas et al., 2015; Wathes et al., 2017). En el estudio realizado por Wathes et al., (2017) se encontró que las principales fuentes en el interior para la generación de material particulado (PM_{10} – $PM_{2,5}$) en relación a bioaerosoles en la UCIP (unidad de cuidados intensivos pediátricos) fueron la terapia de nebulización, la succión traqueal y las actividades de limpieza; también hubo

algunas fuentes de partículas que no se identificaron, debido a la falta de información de actividades clínicas registrada.

7.1.4. Concentración por etapa. La Figura 13, presenta la distribución de la concentración de bioaerosoles bacterianos obtenidos en la UCIN según las etapas del impactador de cascada, se evidencia que en la 1^a, 3^a y 5^a etapa las concentraciones de los bioaerosoles bacterianos fueron mayores, arrojando concentraciones totales de 650, 473 y 791 UFC/m³ respectivamente, siendo la 5^a etapa la de mayor concentración en ambas jornadas (antes y después de la visita).

De los estudios que previamente analizaron la distribución del tamaño de las bacterias en el aire mediante el uso del impactador de cascada de seis etapas, encontramos a Lundholm, (1982) quien informó tasas de recolección más altas en la 1.^a, 2.^a, 5.^a y 6.^a etapa, mientras que Macher et al., (1991) y Yamamoto et al., (2011) demostraron tasas de recolección más altas en la 1^a y 5^a etapa, ambos estudios ejecutados en espacios interiores.

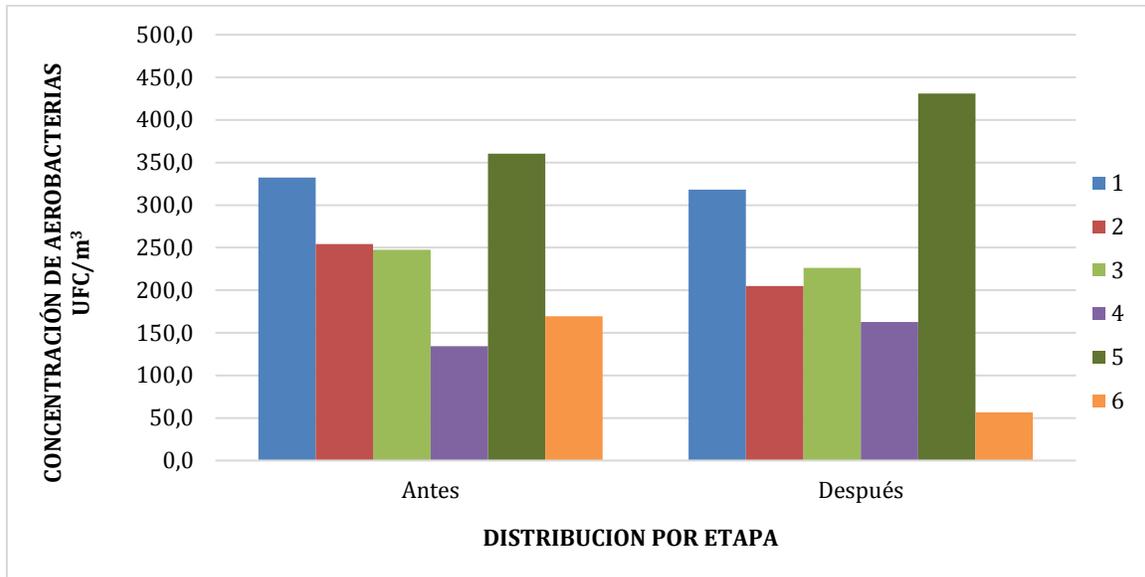


Figura 13. Distribución de la concentración de bioaerosoles bacterianos por jornada y etapas del impactador. Elaboración propia

La interpretación de la calidad del aire microbiano desde el punto de vista del tamaño de partícula es importante, ya que las partículas más pequeñas tienen una mayor probabilidad de penetrar en el sistema respiratorio (Sadyś, Kennedy, & West, 2016). Como resultado de la investigación, aproximadamente el 45,4% de las bacterias viables totales recolectadas en el impactador de cascada de seis etapas estaban en el rango de tamaño de 0,65-2,1 μm que pueden penetrar y depositarse en los bronquios secundarios, terminales y alveolo (etapa cuatro, cinco y seis). Por lo tanto, el 54,6% de los bioaerosoles bacterianos se asociaron con partículas gruesas en el aire, superiores a 2,1 μm , fijados principalmente en cavidad nasal, tráquea y bronquios primarios (etapa uno, dos y tres) (Dungan, 2010; Pahari et al., 2016) (Figura 14).

Los resultados reflejan una mayor concentración de bacterias cultivables en partículas gruesas; probablemente se observó este fenómeno porque existe una correlación positiva entre la concentración de bioaerosoles bacterianos, el material particulado en suspensión y el tamaño de las bacterias, donde las bacterias se adhieren al material en suspensión aumentando de esta

manera el tamaño de la partícula que principalmente quedan alojadas en la 1ª, 2ª y 3ª etapa (Pahari et al., 2016; Carvajal, 2016; Uhrbrand et al., 2017). Por otro lado, en las investigaciones de (Alonso et al., 2015; Awad et al., 2018; Pahari et al., 2016; Pastuszka et al, 2000) ha quedado demostrado que las fracciones de partículas finas cultivables generalmente son más altas en el ambiente interior debido a la estabilidad del aire y que el área superficial es mayor que el de las partículas gruesas, permitiendo mayor facilidad de adhesión entre las bacterias, por otro lado los bioaerosoles bacterianos en ambientes internos presentan concentraciones y patrones de distribución variables debido al tipo microorganismo, el clima local, los factores microclimáticos, el nivel de ocupación, el tipo de actividad humana, el tipo de ventilación y el mantenimiento del edificio (Adams et al.,2014; Ghosh, et al., 2015; Prussin & Marr, 2015; Wai Tham, 2016).

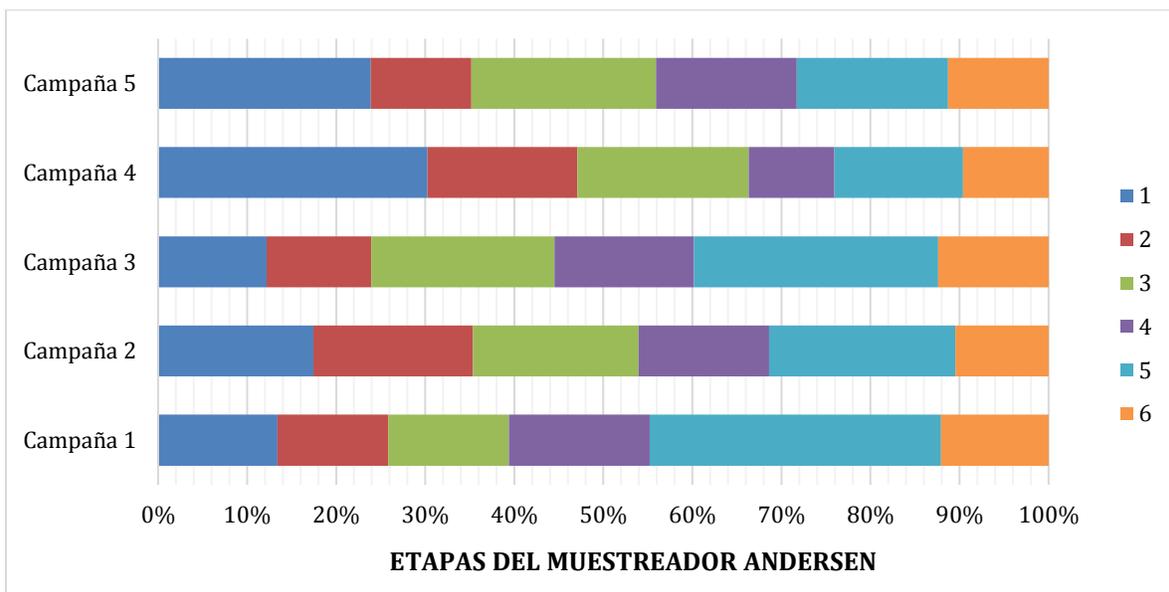


Figura 14. Distribución porcentual de bioaerosoles bacterianos por campaña y etapas del impactador. Elaboración propia

7.1.5. Comparación con estándares internacionales. En general, las concentraciones de bioaerosoles bacterianos obtenidas en este trabajo podrían clasificarse como altas ($\geq 100 - \leq 600$ UFC/m³), superando los índices aceptables sugeridos/establecidos por la OMS, quien define que los recuentos de bacterias en el aire en salas Clase B (similar ISO 7) deben ser inferiores a 100 UFC/m³ (Berenguer & Sanz, 2004; Cabo Verde et al., 2015; Maldonado et al., 2014; SAMPSP, 2016), en esta clase se encuentran las áreas críticas que incluyen a los individuos o pacientes con inmunodepresión de la unidad de cuidados intensivos neonatal. Sin embargo, la OMS aún no ha establecido una guía específica para los niveles de concentración y los estándares actuales basados en la evaluación de riesgo para la salud todavía no son prácticos. En contraste, algunas organizaciones privadas y gubernamentales han establecido estándares cuantitativos y directrices para bioaerosoles en ambientes interiores, estos estándares se basan en valores de referencia para concentraciones de bioaerosol, sin tener en cuenta los efectos sobre la salud humana Tabla 4.

Tabla 4

Resumen de estándares cuantitativos y directrices para bioaerosoles en aire por organizaciones gubernamentales y privadas.

Organización	Directriz	Calificación	Referencia
American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)	• < 100 UFC/m ³	Bajo	Macher et al. (1995)
	• 100–1000 UFC/m ³	Intermedio	
	• > 1000 UFC/m ³	Alto.	
Healthy Buildings International	< 750 UFC/m ³	El total de bacterias y hongos en el aire están bien, si las especies no son infecciosas o alergénicas.	Rao et al. (1996)
Indoor Air Quality Association (IAQ)	• < 150 UFC/m ³	Si es una mezcla de especies está bien.	IAQA (1995)
The Netherlands/research methods in biological indoor air pollution	• > 104 UFC/m ³	El total de hongo y bacterias son una amenaza para la salud.	Heida et al. (1995)
	• > 500 UFC/m ³	Una especie de naturaleza potencialmente patogénica es una amenaza para la salud.	
Occupational Safety and Health Administration (OSHAA)	• > 1000 UFC/m ³	Indica contaminación	OSHA (1994)
	• > 106 Hongo/Bacteria /g Polvo	Indica contaminación	

Nota: Adaptado de “Airborne bioaerosols and their impact on human health”, de Kim, K; Kabir, E; Jahan, S., 2017, *Rev. Journal of environmental sciences*, XX, p.p 01- 13.

Actualmente no se han establecidos normas específicas en materia de bioaerosoles para ambientes hospitalarios y en menor medida para áreas como unidades de cuidados intensivos, por otro lado, los estudios detallados de bioaerosoles bacterianos en ambientes UCIs son escasos en la literatura, aunque entre los que se han realizado se pueden mencionar los efectuados por (Awad et al., 2018; Chih Shan & Hou, 2003; Kim, 2007; Wathes et al., 2017), quienes reportan

intervalos de 67 - 326, 35 - 156, 194 - 404, 1 - 423 UFC/m³ respectivamente, valores que coinciden con los encontrados en este estudio.

De esta manera, debido a los diámetros de partículas encontrados en el estudio se confirma la presencia de bioaerosoles que resultan perjudiciales para la salud de los neonatos y pueden representar un peligro para el personal que labora en la institución de salud e inclusive para los padres u otros visitantes, debido a la acumulación de las partículas en los pulmones y bronquios pudiendo provocar diversas enfermedades alérgicas, respiratorias crónicas e infecciosas graves (Alonso et al., 2015; Morgado, 2017).

7.2. Identificación de las especies bacterianas presentes en aire y superficie de la unidad de cuidados neonatal (UCIN).

Las bacterias Gram positivas representaron el 92% del total de aislamientos identificados. El promedio de las distribuciones de géneros bacterianos (%), calculado a partir de los datos de UFC/m³, en la unidad de cuidados intensivos neonatal se muestra en la Tabla 5. En total, se identificaron 12 especies bacterianas diferentes, distribuidas en seis géneros: *Alloiococcus*, *Bacillus*, *Kocuria*, *Leifsonia*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*; encontrados en las jornadas A y D, en los dos ambientes estudiados (aire y superficie).

Staphylococcus y *Bacillus* fueron los géneros dominantes y representaron más del 95% de las bacterias totales identificadas en el aire y superficie. Esto coincide con lo reportado por (Caballero, Cartin, & Alfaro, 2007) en un estudio llevado a cabo en centros de salud en Costa Rica.

Tabla 5*Distribuciones de géneros bacterianos (%) en ambos ambientes y jornadas*

Genero	Aire		Superficie	
	Antes	Después	Antes	Después
Bacteriano				
<i>Alloiococcus</i>	1	1	-	-
<i>Bacillus</i>	10	9	36	44
<i>Kocuria</i>	4	4	9	-
<i>Leifsonia</i>	1	0	-	-
<i>Pseudomonas</i>	1	1	-	-
<i>Staphylococcus</i>	82	85	56	56

Nota: Elaboración propia.

Dentro del género *Staphylococcus* se encontraron tres especies diferentes (*S. epidermidis*, *S. saprophyticus* y *S. cohnii ssp*) mientras que para el generó *Bacillus* se encontraron cinco especies diferentes (*B. cereus*, *B. megaterium*, *B. pumilus*, *B. sutiles* y *B. thuringiensis*). Los otros géneros solo presentaron una especie: *Alloiococcus otitidis*, *Kocuria rosea*, *Leifsonia aquatica* y *Pseudomonas pseudoalcaligene*.

7.2.1. Concentración promedio de bioaerosoles identificados. El comportamiento y concentración promedio de bioaerosoles identificados en relación a las campañas y jornadas fueron variadas, se obtuvieron cuatro especies predominantes con concentraciones significativas, la mayor concentración promedio 23 y 20 UFC/m³ la presentó la especie *S. saprophyticus* para la jornada A y D respectivamente, este microorganismo alcanzó una predominancia del 19% en relación a las otras especies y estuvo presente en todas las cinco campañas. Con un promedio de 16 UFC/m³ en ambas jornadas le sigue el *S. epidermidis* quien se presentó en cuatro de las cinco campañas en las jornadas A y D y alcanzó el 14% (Tabla 6 y Figura 15).

Así mismo, se obtuvo una concentración media de la especie *Kocuria rosea* con un promedio de 8 y 28 UFC/m³ con una frecuencia de aparición de 11% y se mostró en cuatro campañas de la jornada A y dos de la jornada D. Otro microorganismo con concentración media fue *Bacillus cereus*, presentó una concentración de 9 y 7 UFC/m³ también estuvo presente en cuatro campañas de la jornada A y D con un porcentaje de 7%. En cuanto a las otras especies identificadas *Alloiococcus otitidis*, *B. megaterium*, *B. pumilus*, *B. subtiles* y *B. thuringiensis* *Leifsonia aquatica* y *Pseudomonas pseudoalcaligene*, *S. cohnii ssp* se mantuvieron concentraciones bajas de 7 UFC/m³.

Tabla 6

Concentración promedio de especies bacterianas por jornada

Microorganismo	Antes (UFC/m ³)					Después (UFC/m ³)					Total general
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	
<i>Alloiococcus otitidis</i>		7			7			7			7
<i>B. cereus</i>	7	7	21		7	7	7	7		7	8
<i>B. megaterium</i>	7		7	7	7	7		9			8
<i>B. pumilus</i>			7		7				7	7	7
<i>B. subtiles</i>	7		7				7			7	7
<i>B. thuringiensis</i>	7		7			7		7			7
<i>K. rosea</i>	7		9	7	7			28	28		12
<i>L. aquatica</i>	7		7		7						7
<i>P. pseudoalcaligenes</i>			7				7	7			7
<i>S. cohnii ssp</i>	7										7
<i>S. epidermidis</i>	11	13	27	18	11	8	15	20	16	19	16
<i>S. saprophyticus</i>	33	7	21		7	18	9	30	7		21

C: Campaña; C-1: (Campaña 1)

Nota: Elaboración propia.

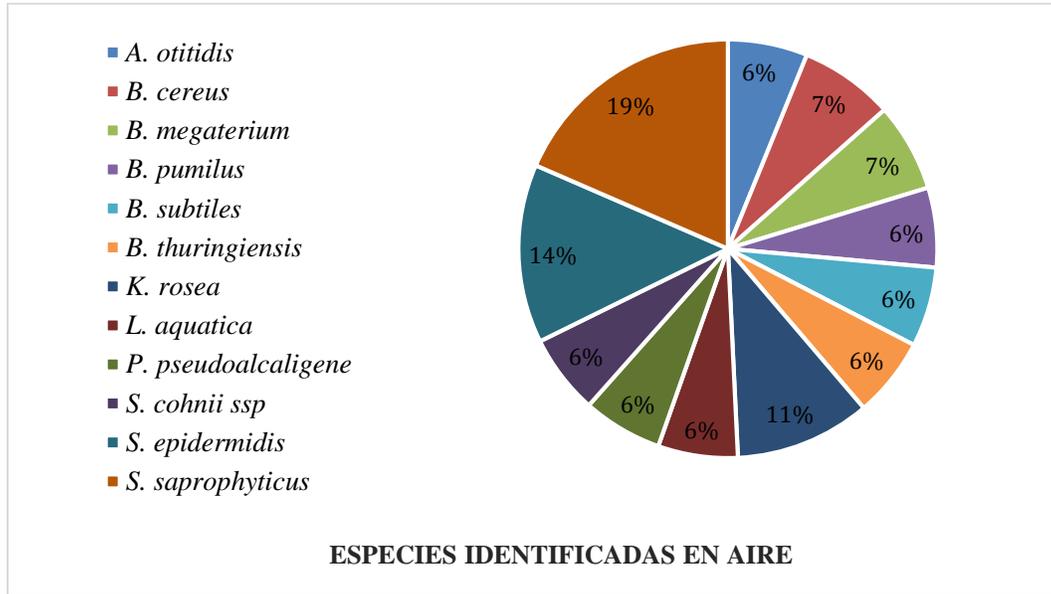


Figura 15. Distribuciones de especies bacterianas (%) identificada en aire. Elaboración propia.

El *Staphylococcus* fue el género que presentó mayor prevalencia al igual que en los estudios realizados por (Camilo & Jorge, 2013; Carvalho, Gomes, R, & Höfling, 2005; De La Rosa et al., 2002; Gamboa, M., Rodríguez, & Rojas, 2013; Maldonado et al., 2014), la respuesta a que este microorganismo tenga una mayor presencia puede darse a que el *Staphylococcus* presenta una pared celular gruesa que proporciona una mayor tolerancia a la desecación y le permite sobrevivir por más tiempo (De la Rosa et al., 2002).

Referente a las superficies no se determinaron concentraciones. Sin embargo, se evaluó la presencia y frecuencia de los microorganismos identificados en las diferentes superficies. Como resultado, en total se encontraron tres géneros bacterianos correspondientes a las siguientes especies *Bacillus Cereus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus Subtiles*, *Bacillus thuringiensis*, *Kocuria rosea*, *Staphylococcus epidermidis* y *Staphylococcus saprophyticus* presentes también en aire, esto debido al proceso de sedimentación por el que pasan los

bioaerosoles. El género *Bacillus* (60%) en conjunto con el *Staphylococcus* (26%) exhibieron la mayor presencia (Figura 16).

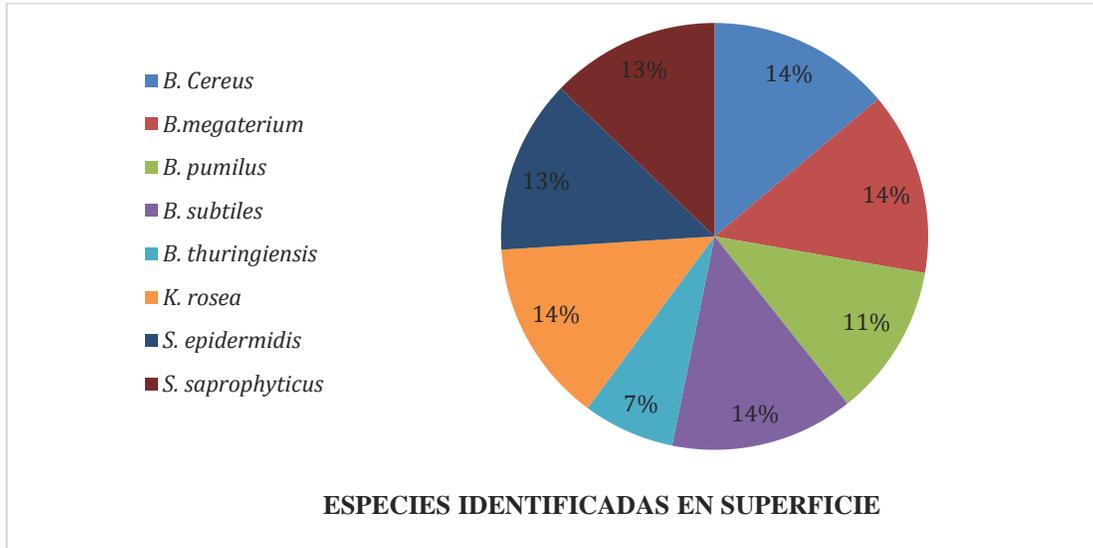


Figura 16. Distribuciones de especies bacterianas (%) identificada en superficie. Elaboración propia.

En cuanto a la fijación del microorganismo por etapa del impactador de cascada, se encontró que el *S. saprophyticus* y *S. epidermidis* con concentraciones relevantes lograron establecerse en las seis etapas del impactador con una predominancia en la 5^a y 6^a etapa, esto concuerda con lo postulado por (K. A. Thompson, Bennett, & Walker, 2011) quienes indicaron que la mayoría de los *Staphylococcus* estudiados estaban dentro del rango respirable 1.1-2.1µm.

El *Alloiococcus otitidis*, *B. Subtiles*, *B. thuringiensis*, *Kocuria rosea*, *P. pseudoalcaligene*, alcanzaron la última etapa del impactador recordando que esta etapa en relación al sistema respiratorio representa la fase de los alveolos, el *S. cohnii ssp* solo se fijó en la 3^a etapa y *B. cereus* alcanzó fijarse en cinco etapas de la 1^a a 5^a (Figura 17).

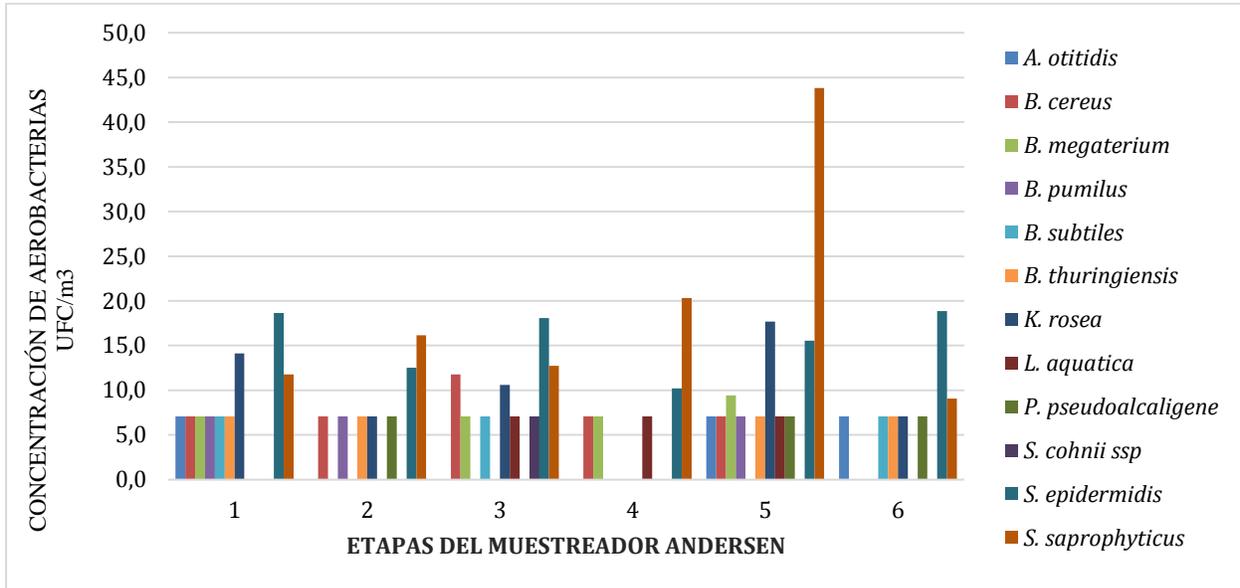


Figura 17. Distribución de concentración de especies bacterianas en relación a las etapas del impactador. Elaboración propia.

Algunas de las especies encontradas en la UCIN fueron identificadas como patógenas agresivas y altamente peligrosas para la salud de los neonatos, capaces de causar infecciones respiratorias, neumonías e infecciones de la piel y ojos, otras especies fueron reconocidas como patógenas bajo determinadas circunstancias como es el caso del *S. epidermidis*. Se dice que es una bacteria normal de la piel humana (Martinez, Ruiz, & Perez, 2008; Ziebuhr et al., 2006). Sin embargo, este microorganismo también puede emerger como patógeno intrahospitalario que infecta a pacientes inmunocomprometidos (Dong & Speer, 2014; K. A. Thompson et al., 2011). Las infecciones causadas por *S. epidermidis* se relacionan con la colonización de cuerpos extraños (catéteres endovenosos, fístulas para hemodiálisis, marcapasos, articulaciones protésicas, injertos valvulares y/o válvulas cardíacas protésicas) y eventualmente puede producir infecciones urinarias, bacteriemia y sepsis (Borrego, Perdomo, De La Paz, Gómez De Saravia, & Guiamet, 2011).

Respecto al *S. saprophyticus* es considerado un patógeno primario a nivel urinario, agente de infección urinaria extrahospitalaria en la mujer joven y niños (Orden et al., 2008). La infección se adquiere en la comunidad, por lo tanto, el microorganismo no se considera agente de IIIH (Estrada, Restrepo, Jaramillo, & Montoya, 1990) (Orden-Martínez et al., 2008b). No obstante, el *Staphylococcus cohnii ssp* si es reconocido como un patógeno u oportunista causante de IIIH (Soldera, Nedel, Cardoso, & d'Azevedo, 2013), está asociado con bacteriemia, colecistitis aguda, absceso cerebral, endocarditis, neumonía e infección del tracto urinario (S. Mendoza et al., 2017; Shahandeh, Shafi, & Sadighian, 2015).

Por otro lado, la *K. rosea*, forma parte de la microbiota normal de la piel, boca y bucofarínge de los seres humanos y otros mamíferos (Paul, Gupta, Khush, & Thakur, 2015). Es un patógeno poco común y bajo ciertas circunstancias causa enfermedades en pacientes inmunocomprometidos, por lo que es considerada como oportunista (Moreira, Riccetto, da Silva, & Vilela, 2015). En la literatura sólo existen escasos reportes médicos asociadas con catéteres vasculares, bacteriemia, colecistitis y peritonitis en pacientes crónicamente debilitados (Corti, Villafañe, Soto, Palmieri, & Callejo, 2012).

En el caso de *B. cereus* es un patógeno poco común pero potencialmente grave, asociado a infecciones de muy baja frecuencia, produce enfermedades de manera aislada y es reconocido principalmente como un patógeno con alta tasa de mortalidad en neonatos (Hilliard, Schelonka, & Waites, 2003), capaz de causar meningoencefalitis hemorrágica, infecciones respiratorias, infecciones del torrente sanguíneo y afectar el sistema nervioso central de los recién nacidos prematuros (Machado, Silva, Magalhães, Sá, & Abreu, 2014; Puvabanditsin et al., 2007). De igual manera, el *B. pumilus* ha sido identificado como un patógeno oportunista (Shivamurthy

et al., 2016; Yuan & Gao, 2015); rara vez causa infecciones graves y solo se ha descrito en recién nacidos e individuos inmunocomprometidos (Kimouli et al., 2012).

Otras especies del género *Bacillus* encontradas en el estudio como el *B. megaterium*, *B. Subtilis* y *B. thuringiensis* son comunes del suelo. El potencial patogénico de estos *Bacillus* generalmente se describe como bajo o ausente (Celandroni et al., 2016). No obstante, se les ha reconocido cada vez más como indicadores biológicos de contaminación y pueden representar un peligro para el paciente hospitalizado o inmunosuprimido, las infecciones o enfermedades causadas por estas bacterias son raras y se reconocen pocos estudios clínicos, algunas están relacionadas con traumatismos, infecciones profundas de tejidos blandos e infecciones sistémicas (Camacho et al., 2017; Oggioni, Pozzi, Valensin, Galieni, & Bigazzi, 1998).

En el estudio también se reportó *Alloiococcus otitidis*, un patógeno asociado a la otitis media con derrame (OME) enfermedad común en la infancia (Sheikh et al., 2015; Tano, Von Essen, Eriksson, & Sjöstedt, 2008), este microorganismo no es considerado patógeno oportunista o causante de enfermedades intrahospitalarias (Harimaya, Takada, Somekawa, Fujii, & Himi, 2006). Mientras que la *Pseudomona pseudoalcaligene* único Gram negativo identificado se muestra como un raro patógeno oportunista asociado a infecciones intrahospitalarias en humanos como meningitis y neumonía (Hage, Schoch, & Cunha, 2013).

La identificación de los microorganismos presentes en la UCIN brindó conocimiento sobre la exposición de los neonatos, padres y personal médico frente a microorganismos patógenos, alergénicos y oportunistas causante de enfermedades intrahospitalarias. En microbiología clínica la identificación rápida y correcta de este tipo de agentes es un requisito esencial para el diagnóstico y la aplicación de un tratamiento adecuado.

7.3. Especies bacterianas reportadas en bioaerosoles y superficies antes y después de las visitas

La razón de evaluar la presencia o la ausencia de los microorganismos alojados en las diferentes superficies o en el aire en forma de bioaerosoles, reside principalmente en poder efectuar una relación que pueda determinar si la biota de microorganismos presentes en el aire son los mismos encontrados en la superficie.

Un bioaerosol o partícula de origen biológico es el resultado de la asociación entre un microorganismo y una partícula, que según sean sus características biológicas puede tener una afectación a la salud (Cox & Wathes, 1995; Rey & Fula, 2005). Estas partículas biológicas pueden estar sujetas a las fuerzas gravitacionales, debido a la capacidad que tienen de sedimentar por acción de la gravedad (Ovarium, 2013). Por consiguiente, se puede decir que la biota encontrada en el aire puede tener una relación directa debido a la acción de la gravedad con los microorganismos encontrados en la superficie.

Para efectos prácticos se diseñó la Tabla 7 que permitió dimensionar la relación existente entre los microorganismos encontrados durante las campañas de monitoreo realizadas, las diferentes superficies analizadas y la biota presente en el aire.

Tabla 7*Relación entre las especies identificadas en aire y superficies*

Microorganismo	Campaña 1		Campaña 2		Campaña 3		Campaña 4		Campaña 5	
	Air	S								
<i>A. otitidis</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
<i>B. cereus</i>	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0
<i>B. megaterium</i>	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1
<i>B. pumilus</i>	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
<i>B. Subtiles</i>	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1
<i>B. thuringiensis</i>	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>K. rosea</i>	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0
<i>L. aquatica</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
<i>P. pseudoalcaligene</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>S. cohnii ssp</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>S. epidermidis</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S. saprophyticus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

*1: Presencia 0: Ausencia *Air: Aire S: Superficie

Nota: Resultados obtenidos de la relación existente entre las especies identificadas en aire y superficie.

Elaboración propia.

Según la tabla anterior se puede establecer que, de los 12 microorganismos encontrados en la UCIN, el 66,7% del total de las muestras presentó una presencia paralela de microorganismos viables en ambos ambientes monitoreados (aire y superficie), es decir se hallaron ocho microorganismos que exhibieron simultáneamente crecimiento de bioaerosoles bacterianos y bacterias en superficie. Los microorganismos que mostraron esta característica fueron: *Bacillus Cereus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus Subtiles*, *Bacillus thuringiensis*, *Kocuria rosea*, *Staphylococcus epidermidis* y *Staphylococcus saprophyticus*.

B. thuringiensis durante la primera campaña presentó una relación directa en los ambientes, este microorganismo apareció en forma de bioaerosol y en la superficie de una de las cunas

monitoreadas, es muy importante resaltar que el bioaerosol tenía un tamaño variado ya que alcanzó a depositarse en las etapas 1, 2 y 5 del impactador de cascada (Ortiz J, Prendez M, 1986).

B. Cereus alcanzó durante una campaña a manifestar presencia en los dos ambientes monitoreados (aire y superficie), solo se reportó en la superficie de una campaña. *B. Cereus* en forma de bioaerosol apareció en las dos jornadas de monitoreo y solo se percibió en las superficies para la Jornada A.

B. megaterium y *B. pumilus*, lograron aparecer en cuatro de los 5 monitoreos, ambos mantuvieron la relación constante entre aire y superficie. *B. Subtiles* y *Kocuria rosea* en dos campañas alcanzaron aparecer en ambos ambientes y obtener así una relación directa entre aire y superficie.

S. epidermidis apareció en todos los monitoreos, pero únicamente en la primera campaña no se reportó presencia en ninguna de las superficies. *S. saprophyticus* fue la única bacteria que logro aparecer en todas las campañas realizadas manteniendo así la presencia del 100% en ambos ambientes. Aunque predominó en forma de bioaerosoles ya que se encontró en todas las etapas del impactador.

Algunos microorganismos únicamente se encontraron en forma de bioaerosol y por lo tanto no se reportaron en ninguna de las superficies monitoreadas, estos son: *Alloiococcus Otitis*, *Leifsonia aquatica* apareciendo únicamente en tres campañas, *Pseudomonas pseudoalcaligenes* en dos campañas y *Staphylococcus cohnii* en una campaña; en otros términos, se puede establecer que *A. Otitis*, *L. aquatica* lograron manifestarse en un 30% cada una a lo largo del estudio realizado en la unidad de cuidados intensivos neonatal y en un 20% y 10% respectivamente para *P. pseudoalcaligenes* y *S. cohnii*.

En la totalidad de los monitoreos no se presentó un organismo específico que se encontrara exclusivamente en las superficies de la UCIN, por lo tanto, se puede establecer que la biota encontrada en las superficies estuvo directamente relacionada con los microorganismos en el aire.

8. Conclusiones

Los valores promedios reportados para las concentraciones en las jornadas antes y después de la visita fue de 14,1 y 15,4 UFC/m³ respectivamente. Luego de realizar el análisis estadístico de regresión lineal y ANOVA se encontró que la diferencia entre los promedios de cada grupo (jornada) no fue significativa cuando se obtuvo un *valor-p* mayor de 0,05 para un nivel de confianza del 95,0%.

Mediante la evaluación del comportamiento de bioaerosoles bacterianos en la unidad de cuidados intensivos neonatales se logró determinar inicialmente, la presencia de 6 géneros bacterianos correspondientes a las especies *Alloiococcus otitis*, *Bacillus Cereus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus Subtiles*, *Bacillus thuringiensis*, *Kocuria rosea*, *Leifsonia aquatica*, *Pseudomonas pseudoalcaligenes*, *Staphylococcus cohnii ssp cohnii*, *Staphylococcus epidermidis* y *Staphylococcus saprophyticus*, de estas el 92% de las especies fueron Gram Positivas.

Los géneros predominantes en la UCIN fueron *Staphylococcus* y *Bacillus* y la especie fue la *S. saprophyticus* con una concentración de 23 y 20 UFC/m³ para antes y después de las visitas. Mientras especies como *S. saprophyticus* y *S. epidermidis* lograron alcanzar las seis etapas del impactador, estas mismas especies aparecieron en todas las campañas realizadas y en todos los ambientes monitoreados a excepción de la *S. epidermidis* que no se percibió en las superficies del primer monitoreo.

Dentro de los microorganismos encontrados en las UCIN se identificaron especies patógenas agresivas y altamente peligrosas que pueden causar patologías como infecciones respiratorias,

neumonías, infecciones cutáneas, bacteriemia, colecistitis aguda, endocarditis, absceso cerebral, afectaciones al sistema nervioso central de los neonatos.

También se logró percibir las consecuencias que conllevan las limpiezas que se realizan en los sistemas de climatización, ya que antes de la campaña 3 se reportó una limpieza en los filtros, lo que posiblemente hizo aumentar las concentraciones en la campaña 3, pero a su vez se demostró la importancia de realizar estos manteamientos puesto que se presentó una disminución significativa en las campañas 4 y 5.

9. Recomendaciones

Debido a las escasas investigaciones, se recomienda aplicar este estudio en distintas instituciones de salud públicas y/o privadas para tener así una visión más general de lo que está ocurriendo al interior de éstos espacios, también se debe incluir otras UCIs (pediátrica y adultos) y ampliar el número de puntos de monitoreo, especialmente en el área externa y así determinar la carga microbiana aportada por el ambiente extramural ya que las concentraciones de bioaerosoles bacterianos en ambientes internos pueden verse afectadas por fuentes externas de emisión.

Es importante analizar aquellos factores que pueden incrementar las concentraciones como es el caso de los sistemas de ventilación, número de personas, actividades de limpiezas y frecuencia de actividades clínicas como terapia de nebulización y la succión traqueal con el fin de que dichos datos sean útiles al momento de implementar medidas de mitigación y pueda desarrollarse un modelo estadístico de predicción de dispersión y crecimiento en el área de influencia.

Se recomienda realizar estudios complementarios a este, incluyendo equipos capaces de medir material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ como apoyo al impactador cascada y así establecer una relación entre el tamaño y la concentración de partículas viables respirables y sedimentables.

Se desea incluir en la investigación, la evaluación del comportamiento de bioaerosoles fungí, ya que hay numerosas infecciones micóticas transmitidas por el aire y bibliografías que asocian las presencias de hongos patógenas y alergénicos en instituciones de salud, escuelas, bibliotecas, parques, entre otros lugares públicos y privados.

Finalmente, debido a que la calidad de aire en la UCIN puede clasificarse como pobre se recomienda a la institución de salud la creación de programas de epidemiología hospitalaria y

control de IHH en los neonatos, vigilar y monitorear las limpiezas a los sistemas climatización, llevar a cabo controles microbiológicos no solo en UCIs también en salas de emergencias, recepción y quirófanos, capacitar al personal de enfermería en el tema de bioaerosoles y realizar esfuerzos multidisciplinarios a fin de mejorar la calidad del aire brindando tranquilidad al personal médico y a los pacientes que ingresan.

10. Bibliografía

- Abdel-Wahab, F., Ghoneim, M., Khashaba, M., El-Gilany, A.-H., & Abdel-Hady, D. (2013). Nosocomial infection surveillance in an Egyptian neonatal intensive care unit. *The Journal of hospital infection*, 83(3), 196–199. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2012.10.017>
- Adams, R. I., Miletto, M., Lindow, S. E., Taylor, J. W., & Bruns, T. D. (2014). Airborne bacterial communities in residences: Similarities and differences with fungi. *PLoS ONE*, 9(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091283>
- al-Dagal, M., & Fung, D. Y. (1990). Aeromicrobiology--a review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 29(5), 333–340. <https://doi.org/10.1080/10408399009527531>
- Alberti, C., Bouakline, A., & Ribauad, P. (2001). Relationship between environmental fungal contamination and the incidence of invasive aspergillosis in haematology patients. *Journal of hospital infection*, 198–206.
- Alonso, C., Raynor, P. C., Davies, P. R., & Torremorell, M. (2015). Concentration, size distribution, and infectivity of airborne particles carrying swine viruses. *PLoS ONE*, 10(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135675>
- Aquihuatl, M. de los A., & Chabela, M. de L. P. (2004). *Manual de prácticas del laboratorio general de Microbiología. Manual de prácticas laboratorio.*
- Augustowska, M., & Dutkiewicz, J. (2006). Variability of airborne microflora in a hospital ward within a period of one year. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 13, 99–106.
- Awad, A. H., Saeed, Y., Hassan, Y., Fawzy, Y., & Osman, M. (2018). Air microbial quality in

- certain public buildings, Egypt: A comparative study. *Atmospheric Pollution Research*.
<https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.12.014>
- Behrentz, E., Mónica, E., & Franco, J. (2008). *Fundamentos de contaminación del aire e*
(Universida). Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo sostenible.
- Berenguer, J., & Sanz, J. L. (2004). *Cuestiones en microbiología*. Editorial Hélice.
- Berquó, L., Barros, A., & Lima, R. (2004). Utilizacao de medicamentos para o rastreamento de
infecoes respiratórias no camunidade. *Rev. Saúde Pública*, 358–364.
- Bohannan, B., & Lenski, R. (2000). The Relative Importance of Competition and Predation
Varies with Productivity in a Model Community. *The American Naturalist*, 137–147.
- Borrego, S., Perdomo, I., De La Paz, J., Gómez De Saravia, S., & Guiamet, P. (2011).
Relevamiento microbiológico del aire y de materiales almacenados en el Archivo Histórico
del Museo de La Plata, Argentina y en el Archivo Nacional de la República de Cuba.
Revista del Museo de La Plata, 18(119), 1–18. Recuperado a partir de
http://www.fcnym.unlp.edu.ar/uploads/docs/rmlp_bot_2011_t18_n119.pdf
- Boushey, H. A., & Fahy, J. V. (1995). Basic mechanisms of asthma. En *Environmental Health*
Perspectives (Vol. 103, pp. 229–233). <https://doi.org/10.1289/ehp.95103s6229>
- Burge, H. (1990). Bioaerosols: prevalence and health effects in the indoor environment. *J.*
Allergy. Clin. Immunol., 86, 687–701.
- Caballero, M., Cartin, V., & Alfaro, R. (2007). Calidad Del Aire En Dos Centros Hospitalarios
Y Ocho Clínicas Veterinarias En Costa Rica. *Revista Costarricense De Salud Pública*, 30,
16–26. <https://doi.org/ISSN 1409-1429>

- Cabo Verde, S., Almeida, S. M., Matos, J., Guerreiro, D., Meneses, M., Faria, T., Viegas, C. (2015). Microbiological assessment of indoor air quality at different hospital sites. *Research in Microbiology*, 166(7), 557–563. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2015.03.004>
- Calleja, A. H. (2003). NTP 609: Agentes biológicos: equipos de muestreo (I). *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España*, (I).
- Camacho, R., Aguilar, E. M., Quezada, H., Medina, Ó., Patiño, G., Cárdenas, H. M., & Ramos, R. (2017). Characterization of Cry toxins from autochthonous *Bacillus thuringiensis* isolates from Mexico. *Boletín Médico del Hospital Infantil de México*, 74(3), 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.bmhix.2017.03.002>
- Camilo, C., & Jorge, Z. (2013). Current Microbial Diversity In The Odontologic Clinic ´ S Environment, 61–68.
- Carvajal, C. (2016). *Evaluación del comportamiento de aerobacterias en el corregimiento de Cuatro*.
- Carvalho, D., Gomes, W., R, G., & Höfling, J. (2005). *Staphylococcus aureus* ampicillin resistant from the odontological clinical environment. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 19–24.
- Celandroni, F., Salvetti, S., Gueye, S. A., Mazzantini, D., Lupetti, A., Senesi, S., & Ghelardi, E. (2016). Identification and pathogenic potential of clinical *Bacillus* and *Paenibacillus* isolates. *PLoS ONE*, 11(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152831>
- Cheng, G., & Jiang, M. (2005). Investigation And Analysis Of Airborne Microbial Contamination In Air Conditioned Hospital Wards, 1487–1490.

- Coronell, W., Rojas, J., Escamilla, M., Manotas, M., & Sánchez, M. (2010). Infección Nosocomial En Unidades de Cuidados Intensivos Neonatales. *Precop SCP*, 9(3), 30–39.
<https://doi.org/10.1016/j.eimc.2014.02.006>
- Corti, M., Villafañe, M. F., Soto, I., Palmieri, O., & Callejo, R. (2012). Bacteriemia por *Kocuria rosea* en un paciente con SIDA. *Revista chilena de infectología*, 29(3), 355–356.
<https://doi.org/10.4067/S0716-10182012000300019>
- Cosgrove, S. E., Kaye, K. S., Eliopoulous, G. M., & Carmeli, Y. (2002). Health and economic outcomes of the emergence of third-generation cephalosporin resistance in *Enterobacter* species. *Arch.Intern.Med.*, 162(0003–9926 (Print)), 185–190.
<https://doi.org/10.1001/archinte.162.2.185>
- Cox, C., & Wathes, C. (1995a). *Bioaerosols Handbook*. CRC Press.
- Cox, C., & Wathes, C. (1995b). *Bioaerosols Handbook. Physical aspects of bioaerosol particles*.
- De La Rosa, M., Mosso, M. ., & Ullán, C. (2002). El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Observatorio Medioambiental*, 5, 375–402.
https://doi.org/10.5209/REV_OBMD.2002.V5.22909
- Del, M., La, C. D. E., Ullán, C., Pilar, M., M^a, P. Y., & Mosso, A. (2000). Calidad microbiológica del aire de una zona limpia en una industria farmacéutica.
- Dong, Y., & Speer, C. P. (2014). The role of *Staphylococcus epidermidis* in neonatal sepsis: Guarding angel or pathogenic devil? *International Journal of Medical Microbiology*.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2014.04.013>
- Dungan, R. S. (2010). Board-invited review: Fate and transport of bioaerosols associated with

livestock operations and manures. *Journal of Animal Science*, 88(11), 3693–3706.

<https://doi.org/10.2527/jas.2010-3094>

Edith, G., & Espinoza, C. (2005). Determinación de organismos mesófilos aerobios en el ambiente de Cd . Obregón, Sonora; mediante el uso del monitor aéreo microbiológico y método de cuenta en placa abierta.

Estrada, S., Restrepo, M., Jaramillo, E., & Montoya, C. M. (1990). *Staphylococcus saprophyticus* como agente etiológico de la infección del tracto urinario. *Acta médica colombiana*, 15(5), 292–297. Recuperado a partir de

<http://www.actamedicacolombiana.com/anexo/articulos/05-1990-02.pdf>

Fernández Olmos, A., García de la Fuente, C., Saéz Nieto, J. A., & Valdezate Ramos, S. (2010). Métodos de Identificación Bacteriana en el Laboratorio de Microbiología. Procedimientos en Microbiología Clínica (Vol. 37). <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2011.03.012>

Gamboa, M., E., Rodríguez, E., & Rojas, M. (2013). Bacterias de importancia clínica en respiradores y aires acondicionados de San José. *Revista Biomédica*, 14, 143–151.

Gardam, M., Burow, L., & Mus, J. (2007). Vigilancia de la infección en unidades de cuidados intensivos neonatales. *A principios Dev Hum*, 157–163.

Gaynes, R., & Horan, T. (2004). Surveillance of nosocomial infections. *Hospital Epidemiology and Infection Control*.

Ghosh, B., Lal, H., & Srivastava, A. (2015). Review of bioaerosols in indoor environment with special reference to sampling, analysis and control mechanisms. *Environment International*, 85, 254–272. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.018>

- Gorbach, S., Barlett, J., & Blacklow. (2003). Infectious Diseases. Amsterdam: *Lippincott Williams e Wilkins*, 2700–2715.
- Gregory, P. (1993). The microbiology of the atmosphere. *John Willey and Sons*.
- Grumach, A. (2001). Alergia e imunologia na infancia e na adolescencia. *Atheneu*, 42–47.
- Gulliver, J., & Briggs, D. (2004). Personal exposure to particulate air pollution in transport microenvironments. *Atmos. Environ*, 38, 1–8.
- Gutiérrez, J., Romero, E., Reyes, L., Samdoval, A., & Aguirre, C. (2009). Bioaerosoles depositados vía húmeda-seca en la zona metropolitana del valle de toluca. *Contancto Nuclear*, 16–23.
- Guzmán, L., & Pachón, A. (2016). Transmisión de infecciones intrahospitalarias mediada por bioaerosoles: antecedentes y oportunidades de investigación. 1. *Universidad Santo Tomás*, 1–17.
- Hage, J. E., Schoch, P. E., & Cunha, B. A. (2013). Pseudomonas pseudoalcaligenes peritoneal dialysis-associated peritonitis. *Peritoneal Dialysis International*, 33(2), 223–224.
<https://doi.org/10.3747/pdi.2012.00112>
- Harakeh, S., Yassine, H., & Gharios, M. (2005). Isolation molecular characterization and antimicrobial resistance patterns of Salmonella and Escherichia coli isolates from meat based fast food in Lebanon. *Scienci Total Environ*, 33–44.
- Harimaya, A., Takada, R., Somekawa, Y., Fujii, N., & Himi, T. (2006). High frequency of *Alloiococcus otitidis* in the nasopharynx and in the middle ear cavity of otitis-prone children. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 70(6), 1009–1014.

<https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2005.10.012>

- Henningson, E., & Ahlberg, M. (1994). Evaluation of microbiological aerosol samplers. *J. Aerosol*, 1459–1492.
- Heo, Y., Park, J., Lim, S., Hur, H., Kim, D., & Park, K. (2010). Size-resolved culturable airborne bacteria sampled in rice field, sanitary landfill, and waste incineration sites. *Journal of Environmental Monitoring*, 12(8), 1619. <https://doi.org/10.1039/c0em00004c>
- Hernández, A. (1994). NTP 409: Contaminantes biológicos: criterios de valoración. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, 1–6. Recuperado a partir de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_409.pdf
- Hernández, A. (2001). NTP 608: Agentes biológicos: planificación de la medición. *Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo*, 1–11.
- Hernández, A. (2009). Agentes biológicos. Enfermedades de la piel. *Instituto Nacional De Seguridad E Higiene En El Trabajo*, 10.
- Hernandez, M., & León, S. (2008a). Determinación de la calidad del aire extramural e intramural en la sala de cirugía del hospital el tunal de la ciudad de Bogotá para el desarrollo de mecanismos de control y minimización de riesgo causado por microorganismos potencialmente nosocomiales. *Universidad de la Salle*.
- Hernandez, M., & León, S. (2008b). Determinación de la calidad del aire extramural e intramural en la sala de cirugía del hospital el tunal de la ciudad de Bogotá para el desarrollo de mecanismos de control y minimización de riesgo causado por microorganismos

potencialmente nosocomiales.

Hilliard, N. J., Schelonka, R. L., & Waites, K. B. (2003). *Bacillus cereus* bacteremia in a preterm neonate. *Journal of Clinical Microbiology*, *41*(7), 3441–3444.

<https://doi.org/10.1128/JCM.41.7.3441-3444.2003>

Hoseinzadeh, E., Samarghandie, M., Guiasian, S., Alikhani, Y., & Roshanaie, G. (2013).

Evaluation of bioaerosols in five educational hospitals wards air in hamedan. *Jundishapur J. of Microbiol*, *6*.

Hussong, D., Colwell, R. ., Obrien, M., Weiss, E., Pearson, A., Weiner, R., & Burge, W. (1987).

Viable *Legionella-Pneumophila* not detectable by culture on agar media. *Bio- Technology*, 947–950.

Hutchinson, G. (1961). The Paradox of the Plankton. *The American Naturalist*, 137145.

Ibáñez, C. (2008). No Title Enfermedades nosocomiales (intrahospitalarias): Factores que influyen en su aparición. Recuperado a partir de

http://www.madrimasd.org/blogs/salud_publica/2008/03/11/86374

INSHT. (2005). NTP 313: Calidad del aire interior: riesgos microbiológicos en los sistemas de ventilación / climatización. *English*, 1–11.

INSHT. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, & Culver González, M. de la O. (2015). NTP 1064: Calidad del aire interior. Contaminantes biológicos (I): estrategia de muestreo. *Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo*, (I), 1–6.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, I. (2001). NTP 611: Agentes biológicos: análisis de las muestras. *Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo*, 1–12.

- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2015). Calidad del aire interior. Contaminantes biológicos (II). Tipos de muestreo, (Ii), 1–6.
- Izzeddin, N., Medina, L., & Rojas, T. (2011). Evaluación de bioaerosoles en ambientes de centros de salud de la ciudad de Valencia, Venezuela Evaluation of Bioaerosoles in Health Center Environments. *Kasmera*, 39(1), 59–67.
- Jaffal, A. A., Nsanze, H., Bener, A., Ameen, A. S., Banat, I. M., & Mogheth, A. A. El. (1997). HOSPITAL AIRBORNE MICROBIAL POLLUTION IN A DESERT COUNTRY, 23(2), 167–172.
- Jara, E., & Piraquive, J. (2016). *Determinación de la calidad de aire intrmural en la Clínica Veterinaria, Universidad de la Salle*. Universidad de la Salle, Bogotá.
- Jones, A., & HarrisonM. (2004). The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentration. *Science of the Total Environment*, 151.
- Kim, K. H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2017). Airborne bioaerosols and their impact on human health. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 1–13.
<https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.08.027>
- Kim, K. Y., & Kim, C. N. (2007). Airborne microbiological characteristics in public buildings of Korea. *Building and Environment*, 42(5), 2188–2196.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.04.013>
- Kimouli, M., Vrioni, G., Papadopoulou, M., Koumaki, V., Petropoulou, D., Gounaris, A., Tsakris, A. (2012). Two cases of severe sepsis caused by *Bacillus pumilus* in neonatal infants. *Journal of Medical Microbiology*, 61(4), 596–599.

<https://doi.org/10.1099/jmm.0.033175-0>

Lambert, R. (1987). Diagnosing nosocomial pneumonia in mechanically ventilated patients. *The Journal of Critical Illness*, 57–60.

Lee, T., Grinshpun, A., Martuzevicius, D., Adhikari, A., Crawford, M., Luo, J., & Reponen, T. (2008). Relationship between indoor and outdoor bioaerosols collected with a button inhalable aerosol sampler in urban homes. *Indoor air*, 37–47.

Lemos, E. V, De, F., Restrepo, H., Alvis, N., Quevedo, E., & Cañon, O. (2011). Mortalidad por *Acinetobacter baumannii* en unidades de cuidados intensivos en Colombia. *Revista Panamericana De Salud Pública*, 30(4), 287–294. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892011001000001>

Leung, M., & Chan, A. H. S. (2006). Control and management of hospital indoor air quality. *Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research*, 12(3), SR17-R23.

Li, C. S., & Hou, P. A. (2003). Bioaerosol characteristics in hospital clean rooms. *Science of the Total Environment*, 305(1–3), 169–176. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00500-4](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00500-4)

Li, M., Qi, J., Zhang, H., Huang, S., Li, L., & Gao, D. (2011). Concentration and size distribution of bioaerosols in an outdoor environment in the Qingdao coastal region. *Science of the Total Environment*, 409(19), 3812–3819. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.001>

Lighthart, B. (2000). Mini-review of the concentration variations found in the alfresco atmospheric bacterial populations. *Aerobiologia*, 16(1), 7–16.

<https://doi.org/10.1023/A:1007694618888>

- López, L. (2014). Papel del ambiente hospitalario y los equipamientos en la transmisión de las infecciones nosocomiales. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 32(7), 459–464. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2013.10.004>
- Loudon, K. W., Coke, A. P., Burnie, J. P., Shaw, A. J., Oppenheim, B. A., & Morris, C. Q. (1996). Kitchens as a source of *Aspergillus niger* infection. *Journal of Hospital Infection*, 32(3), 191–198. [https://doi.org/10.1016/S0195-6701\(96\)90145-0](https://doi.org/10.1016/S0195-6701(96)90145-0)
- Lundholm, I. M. (1982). Comparison of methods for quantitative determinations of airborne bacteria and evaluation of total viable counts. *Applied and Environmental Microbiology*, 44(1), 179–183.
- Luoma, M., & Batterman, S. (2001). Characterization of particulate emissions from occupant activities in offices. *Indoor Air*, 35–48.
- Machado, C., Silva, A., Magalhães, M. J., Sá, C., & Abreu, E. (2014). Severe *Bacillus cereus* infection in a neonatal intensive care unit. *Case Rep. Perinat. Med*, 3(2), 159–162. <https://doi.org/10.1515/crpm-2013-0073>
- Macher, J. M., Huang, F. Y., & Flores, M. (1991). A two-year study of microbiological indoor air quality in a new apartment. *Archives of Environmental Health*, 46(1), 25–29. <https://doi.org/10.1080/00039896.1991.9937425>
- Maldonado, M., Peña, J., De los Santos, S., Castellanos, A., Camarena, D., & Arévalo, B. (2014). Bioaerosoles Y Evaluación De La Calidad Del Aire En Dos Centros Laura Valdés-Santiago, Laura J. Hernández-Valadez Y Dora Linda Guzmán De Peña, 30(4), 351–363.
- Maldonado Vega, M., Peña-cabriales, j. J., de los santos, s., castellanos-arévalo, a. P., camarena-

- pozos, d., arévalo-rivas, b., guzmán de peña, d. L. (2014). Bioaerosoles y evaluación de la calidad del aire en dos centros hospitalarios ubicados en león, guanajuato, méxico. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 30(4), 351–363.
- Martí Solé, M. del C. (1991). Método para el recuento de bacterias y hongos en aire. *Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo*, 3, 1–4. Recuperado a partir de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_299.pdf
- Martinez, B., Ruiz, R., & Perez, R. (2008). What are we learning about *Staphylococcus saprophyticus*. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 26(8), 495–499. [https://doi.org/S0213-005X\(08\)72777-0](https://doi.org/S0213-005X(08)72777-0) [pii]
- Mendoza, M., & López, A. (2017). *Estimación de la exposición laboral a los bioaerosoles y su riesgo en los trabajadores de un sistema de disposición final de residuos sólidos en el departamento del atlántico*. Universidad De la costa.
- Mendoza, S., Garcia, J., Morfín, R., Villarreal, L., Camacho, A., Rodríguez, E., Garza, E. (2017). Draft genome sequences of two opportunistic pathogenic strains of *Staphylococcus cohnii* isolated from human patients. *Standards in Genomic Sciences*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s40793-017-0263-1>
- Ministerio de la Protección Social. (2011). Detectar, Prevenir Y Reducir El Riesgo De Infecciones Asociadas Con La Atención En Salud. *Paquetes Instuccionales. Guía Técnica Buenas Practicas Para La Seguridad Del Paciente En La Atención En Salud*", 1.0, 51.
- Ministerio de Protección Social. (2009). Detectar, prevenir y reducir el riesgo de infecciones

asociadas con la atención en salud. *Bogotá: Republica de Colombia.*

MINSALUD. (2009). Guía técnica “Buenas prácticas para la seguridad del paciente en la atención en salud”. Detectar, prevenir y reducir infecciones asociadas con la atención en salud. *Minsalud, Volumen 2*, 108.

Mohr, A. (2002). Fate and Transport of Microorganisms in Air. *Manual of Environmental Microbiology*, 827–838. <https://doi.org/10.1128/9781555818821.ch3.2.4>

Molina, E. (2015). Contaminantes biológicos del aire interior de la vivienda: factores contribuyentes, afecciones relacionadas y medidas correctiva. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 53, 1–15. Recuperado a partir de http://www.bvs.sld.cu/revistas/hie/vol53_1_15/hig08115.htm

Monsalve, L. G., Pertuz, L. O., & Gamero, W. M. (2009). Evaluación ambiental de las lagunas costeras del Departamento de Atlántico. *Academia Libre*, (7), 83-89.

Moreira, J. S., Riccetto, A. G. L., da Silva, M. T. N., & Vilela, M. M. dos S. (2015). Endocarditis by *Kocuria rosea* in an immunocompetent child. *Brazilian Journal of Infectious Diseases*, 19(1), 82–84. <https://doi.org/10.1016/j.bjid.2014.09.007>

Morgado, W. (2017). *Evaluación de bioaerosoles fungí asociados a un Relleno sanitario ubicado en el Municipio de Evaluación del comportamiento bioaerosoles fungí asociados a un Relleno sanitario ubicado en el Municipio de Tubara, Departamento. Universidad de Manizales.* DOI: 10.13140/RG.2.2.14401.45926

Morgado Gamero, Wendy; Ortiz Pertuz, Lizeth (2008). Evaluación de la calidad ambiental de la Ciénaga De Balboa, Municipio De Puerto Colombia. Caribe colombiano. Universidad Libre,

Barranquilla, Colombia. DOI: 10.13140/RG.2.2.18176.33287/1.

Niemeier, R. T., Sivasubramani, S. K., Reponen, T., & Grinshpun, S. A. (2006). Assessment of fungal contamination in moldy homes: Comparison of different methods. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 3(5), 262–273.

<https://doi.org/10.1080/15459620600637333>

Niven, D. J., Fick, G. H., Kirkpatrick, A. W., Grant, V., & Laupland, K. B. (2010). Cost and outcomes of nosocomial bloodstream infections complicating major traumatic injury. *Journal of Hospital Infection*, 76(4), 296–299. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2010.06.004>

Nunes, Z., Martins, A., Altoe, A. L., Nishikawa, M., Leite, M., Aguiar, P., & Fracalanza, S. (2005). Indoor air microbiological evaluation of offices, hospitals, industries, and shopping centers. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 100(4), 351–357. <https://doi.org/S0074-02762005000400003>

Oggioni, M. R., Pozzi, G., Valensin, P. E., Galieni, P., & Bigazzi, C. (1998). Recurrent septicemia in an immunocompromised patient due to probiotic strains of *Bacillus subtilis*. *Journal of clinical microbiology*, 36(1), 325–326.

Orden-Martínez, B., Martínez-Ruiz, R., & Millán-Pérez, R. (2008a). ¿Qué estamos aprendiendo de *Staphylococcus saprophyticus*? *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 26(8), 495–499. [https://doi.org/10.1016/S0213-005X\(08\)72777-0](https://doi.org/10.1016/S0213-005X(08)72777-0)

Orden-Martínez, B., Martínez-Ruiz, R., & Millán-Pérez, R. (2008b). ¿Qué estamos aprendiendo de *Staphylococcus saprophyticus*? *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 26(8), 495–499. [https://doi.org/10.1016/S0213-005X\(08\)72777-0](https://doi.org/10.1016/S0213-005X(08)72777-0)

Organización Mundial de la Salud. (2002). Prevención de las infecciones nosocomiales. *Guía práctica*, 2, 70. <https://doi.org/10.1590/S0036-36341999000700012>

Organización Panamericana de la Salud. (2005). Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores, 34.

Ortiz J, Prendez M, S. S. (1986). Utilización y manejo de un impactador de cascada ANDERSEN en el estudio de los aerosoles atmosféricos. Tarapaca: Universidad de Tarapaca, Chile.

Recuperado a partir de

http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/121473/ORTIZ_1986.pdf?sequence=1&is

Allowed=y

Ovarium, S. (2013). Apéndice 3: identificación y evaluación de agentes biológicos. *Euskal*

Herriko Unibertsitatea, (Universidad del país Vasco). Recuperado a partir de

https://www.ehu.eus/documents/2458096/2577739/apendice_03.pdf

Oyarzún, M. (2010a). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Chil Enf Respir*, 26, 16–25.

Recuperado a partir de <http://www.scielo.cl/pdf/rcher/v26n1/art04.pdf>

Oyarzún, M. (2010b). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista chilena de*

enfermedades respiratorias, 26, 16–25. <https://doi.org/10.4067/S0717-73482010000100004>

Pahari, A. K., Dasgupta, D., Patil, R. S., & Mukherji, S. (2016). Emission of bacterial bioaerosols from a composting facility in Maharashtra, India. *Waste Management*, 53, 22–31.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.04.027>

Pasquarella, C., Pitzuarra, O., & Savino, A. (2000). The index of microbial air contamination. *J.*

Hosp. Infect, 46, 41–56.

- Pastuszka, J. S., Kyaw Tha Paw, U., Lis, D. O., Wlazło, A., & Ulfig, K. (2000). Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland. *Atmospheric Environment*, 34(22), 3833–3842. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00527-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00527-0)
- Paul, M., Gupta, R., Khush, S., & Thakur, R. (2015). *Kocuria rosea*: An emerging pathogen in acute bacterial meningitis- Case report. *Journal of Microbiology and Antimicrobial Agents*, 1(1), 4–7.
- Pedersen, K. (2000). Exploration of deep intraterrestrial microbial life: current perspectives. *FEMS Microbiol Lett*, 9–16.
- Pelczar, M. J., Chan, E. C., & Krieg, N. R. (1993). *Microbiology*. 5th ed. *Tata Mc Graw Hill Publisher*.
- Pepper, I. L., & Gerba, C. P. (2015). Chapter 5 - Aeromicrobiology. En *Environmental Microbiology (Third edition)* (pp. 89–110). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-394626-3.00005-3>
- Pereira, R., Reis, D., & Ambrósio, G. (2005). Bioaerosols bacterianos en un hospital. *Rev. de Ciências Farmacéuticas Básica y Aplicada*, 71–81.
- Pérez, I. (2004). *Microbiología ambiental*. *Instituto Nacional de Ecología en Mexico*.
- Pinheiro, A. (2009). *Microbiota fúngica do ambiente da uti neonatal e de amostras clínicas dos recém-nascidos internados no hospital universitário de maceió, al*. Universidade federal de alagoas-ufal.
- Polin, R. A., & Saiman, L. (2003). Nosocomial Infections in the Neonatal Intensive Care Unit. *NeoReviews*, 4(3).

Proquimes S.a. (2010). Microbiología del aire. *Ambiente*, (52), 13.

Prussin, A. J., & Marr, L. C. (2015). Sources of airborne microorganisms in the built environment. *Microbiome*, 3, 78. <https://doi.org/10.1186/s40168-015-0144-z>

Puvabanditsin, S., Zaafran, A., Garrow, E., Diwan, R., Mehta, D., & Phattraprayoon, N. (2007). *Bacillus cereus* meningoencephalitis in a neonate. *Hong Kong Journal of Paediatrics*, 12(4), 293–296.

Ramírez, A., Dotres, C., Santin, M., Ezpeleta, C., Cisterna, R., Gálvez, R., Hernández, N. R. (1995). Infección nosocomial. *Actualización del Programa de Prevención y Control de la Infección Intrahospitalaria*, 5(2), 273–288.

Rampling, A., & Wiseman, S. (2001). Evidence that hospital hygiene is important in the control of methicillin - resistant *Staphylococcus aureus*. *Journal Infection Sociedade*, 109–116.

Revert, C. (2005). *Estudio epidemiológico de la infección nosocomial en el servicio de UCI del Hospital Universitario de Canarias*. <https://doi.org/10.1007/s10453-015-9402-6>

Rey, I., & Fula, Y. (2005). Evaluación de la contaminación del aire por microorganismos patógenos en los bioaerosoles, en una zona de alta actividad industrial y flujo vehicular de la localidad de Puente Aranda en Bogotá D.C., 152. Recuperado a partir de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14331/00798146.pdf?sequence=1>

Roses, C. (1994). Bioaerosols. *Epidemiology and Occupational Medicine*, 160, 566.

Sadyś, M., Kennedy, R., & West, J. S. (2016). Potential impact of climate change on fungal distributions: analysis of 2 years of contrasting weather in the UK. *Aerobiologia*, 32(1), 127–137. <https://doi.org/10.1007/s10453-015-9402-6>

SAMPSP. (2016). Recomendaciones para la monitorización de la calidad microbiológica del aire (bioseguridad ambiental) en zonas hospitalarias de riesgo., 1–35.

Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Cayuela, M. L., & Stentiford, E. I. (2006). Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos orgánicos. *Ingeniería*, 10(1), 39–47.

Sarubbi, M. (2010). INFECCIONES HOSPITALARIAS EN LAS UNIDADES DE CUIDADO INTENSIVO NEONATAL. Recuperado a partir de <http://www.funlanguia.org.ar/Herramientas/Guia-de-Prevencion-de-Infecciones-Intra-Hospitalarias/Infecciones-hospitalarias-en-las-UCIN>

Secretaría Distrital De salud Bogotá. (2011). Guía de prevención vigilancia epidemiológica y control de las infecciones asociadas al cuidado de la salud en las unidades de recién nacidos, 180.

Secretaría Distrital de Salud de Bogotá. (2002). Sistema de vigilancia epidemiológica de infecciones intrahospitalarias, 35.

Secretaría Distrital de Salud de Bogotá. (2009). Boletín epidemiológico de resistencia bacteriana – SIVIBAC año 2007. *Grupo para el Control de la Resistencia Bacteriana de Bogotá (GREBO)*.

Seltzer, J. M. (1994). Building-related illnesses. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 94(2 SUPPL. 18), 351–361. <https://doi.org/10.1053/ai.1994.v94.a57114>

SEMARNAT. (2013). Calidad del aire: una práctica de vida. *Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable*, 17–28. Recuperado a partir de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>

- Shahandeh, Z., Shafi, H., & Sadighian, F. (2015). Association of *staphylococcus cohnii* subspecies urealyticum infection with recurrence of renal staghorn stone. *Journal of Internal Medicine*, 6(1), 40–42.
- Sheikh, A. F., Saki, N., Roointan, M., Ranjbar, R., Yadyad, M. J., Kaydani, A., Goodarzi, H. (2015). Identification of *Alloiococcus otitidis*, *Streptococcus pneumoniae*, *Moraxella catarrhalis* and *Haemophilus influenzae* in children with otitis media with effusion. *Jundishapur Journal of Microbiology*, 8(3). <https://doi.org/10.5812/jjm.17985>
- Shivamurthy, V. M., Gantt, S., Reilly, C., Tilley, P., Guzman, J., & Tucker, L. (2016). *Bacillus pumilus* Septic Arthritis in a Healthy Child. *Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology*.
- Siqueira, L. (2000). Síndrome del edificio enfermo, el medio ambiente y la infección hospital. *Atheneu*.
- Soldera, J., Nedel, W. L., Cardoso, P. R., & d'Azevedo, P. A. (2013). Bacteremia due to *Staphylococcus cohnii* ssp. urealyticus caused by infected pressure ulcer: case report and review of the literature. *Sao Paulo Med.J.*, 131(1806–9460 (Electronic)), 59–61.
- Solé, M., & Obiols, J. (2005). NTP 288: Síndrome del edificio enfermo: enfermedades relacionadas y papel de los bioaerosoles. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, 1–10.
- Stone, V. (2000). Environmental air pollution. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. https://doi.org/10.1164/ajrccm.162.supplement_1.maic-12
- Tano, K., Von Essen, R., Eriksson, P. O., & Sjöstedt, A. (2008). *Alloiococcus otitidis* - Otitis

- media pathogen or normal bacterial flora? *APMIS*, 116(9), 785–790.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0463.2008.01003.x>
- Thompson, K. A., Bennett, A. M., & Walker, J. T. (2011). Aerosol survival of *Staphylococcus epidermidis*. *Journal of Hospital Infection*, 78(3), 216–220.
<https://doi.org/10.1016/j.jhin.2010.12.009>
- Thompson, W. (1981). Black's Dictionary. 33rd ed. *and charles black*.
- Torres Lana A, Sierra López A, V. J. (1995). Informe de la evolución de la prevalencia de infecciones nosocomiales según las encuestas. En *El problema de las infecciones nosocomiales*. (p. 7–54.). Madrid: Sociedad Española de Higiene y Medicina Preventiva Hospitalarias.
- Uhrbrand, K., Schultz, A. C., Koivisto, A. J., Nielsen, U., & Madsen, A. M. (2017). Assessment of airborne bacteria and noroviruses in air emission from a new highly-advanced hospital wastewater treatment plant. *Water Research*, 112, 110–119.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.046>
- Urbina, H. (2001). Infección nosocomial. *Archivos Venezolanos de Puricultura y Pediatría*, 114–120.
- Valdez, A. (2015). Capítulo II: Control Aerobiológico. *Catedra: Instalaciones Hospitalarias*, 1–28.
- Viegas, C., Faria, T., dos Santos, M., Carolino, E., Gomes, A. Q., Sabino, R., & Viegas, S. (2015). Fungal burden in waste industry: an occupational risk to be solved. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(4). <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4412-y>

- Wai Tham, K. (2016). Indoor air quality and its effects on humans—A review of challenges and developments in the last 30 years. *Energy & Buildings*, *130*, 637–650.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.071>
- Wang, W., Ma, Y., Ma, X., Wu, F., Ma, X., An, L., & Feng, H. (2012). Diversity and seasonal dynamics of airborne bacteria in the Mogao Grottoes, Dunhuang, China. *Aerobiologia*, *28*(1), 27–38. <https://doi.org/10.1007/s10453-011-9208-0>
- Wathes, C. M., Ramsay, K., Liang, Z., Kidd, T., Knibbs, L. D., Johnson, G., Morawska, L. (2017). Particle and bioaerosol characteristics in a paediatric intensive care unit. *Environment International*, *107*, 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.06.020>
- Weinstein, R. A. (1991). Epidemiology and control of nosocomial infections in adult intensive care units. *The American Journal of Medicine*, *91*(3), S179–S184. Recuperado a partir de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0002934391903666>
- Whitman, W., Coleman, D., & Wiebes, W. (1998). Prokaryotes: The unseen majority. *The National Academy of Sciences*, 6578–6583.
- Yamamoto, N., Schmechel, D., Chen, B. T., Lindsley, W. G., & Peccia, J. (2011). Comparison of quantitative airborne fungi measurements by active and passive sampling methods. *Journal of Aerosol Science*, *42*(8), 499–507. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2011.05.004>
- Youn, K., Shin, Y., & Daekeun. (2010). Distribution characteristics of airborne bacteria and fungi in the general hospitals of Korea. *Industrial health*, *48*(2), 236–243.
<https://doi.org/10.2486/indhealth.48.236>
- Yuan, Y., & Gao, M. (2015). Genomic analysis of a ginger pathogen *Bacillus pumilus* providing

the understanding to the pathogenesis and the novel control strategy. *Scientific Reports*, 5.

<https://doi.org/10.1038/srep10259>

Zaidi, A., Huskins, W., & Thaver, D. (2005). No TitleHospital - acquired neonatal infections in developing countries. *Lancet Publications*, 1175–1188.

Zambrano, M., Rodríguez, H., Urdaneta, L., González, A., & Nieves, B. (2007). Monitoreo bacteriológico de áreas clínicas odontológicas: estudio preliminar de un quirófano. *Acta Odontológica Venezolana*, 45, 160–165.

Zaragoza, R., Ramírez, P., & López-Pueyo, M. J. (2014). Infección nosocomial en las unidades de cuidados intensivos. *Enferm Infecc Microbiol Clin*, 32(5), 320–327.

<https://doi.org/10.1016/j.eimc.2014.02.006>

Zhu, H., Phelan, P., Duan, T., Raupp, G., & Fernando, H. J. S. (2003). Characterizations and relationships between outdoor and indoor bioaerosols in an office building. *China Particuology*, 1(3), 119–123. [https://doi.org/10.1016/S1672-2515\(07\)60122-5](https://doi.org/10.1016/S1672-2515(07)60122-5)

[https://doi.org/10.1016/S1672-2515\(07\)60122-5](https://doi.org/10.1016/S1672-2515(07)60122-5)

Ziebuhr, W., Hennig, S., Eckart, M., Kränzler, H., Batzilla, C., & Kozitskaya, S. (2006).

Nosocomial infections by *Staphylococcus epidermidis*: how a commensal bacterium turns into a pathogen. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 28(SUPPL. 1), 14–20.

<https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2006.05.012>

ANEXOS

Anexo 1: Registro fotográfico fase preparación del material



a. Esterilización de cajas Petri y frascos Schott



b. Dilución de Agar Plate Count en agua destilada



c. Esterilización del medio de cultivo a 121°C durante 15 minutos en Autoclave



d. Sirviendo el medio de cultivo.



e. Medio de cultivo en reposo

Anexo 2: Registro fotográfico fase de campo

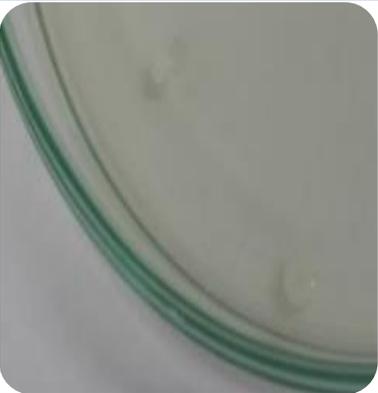
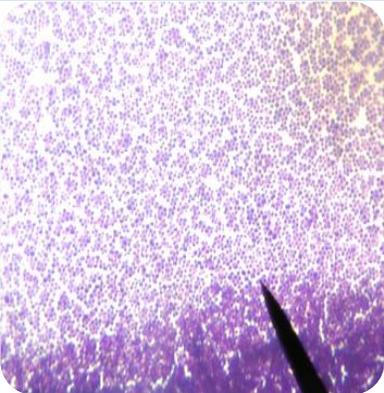


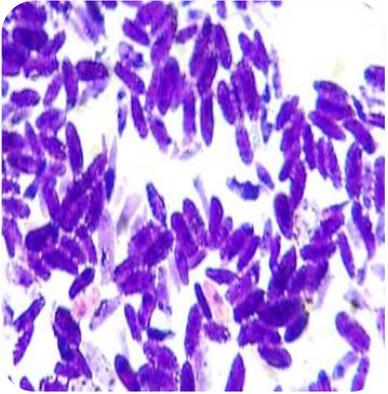
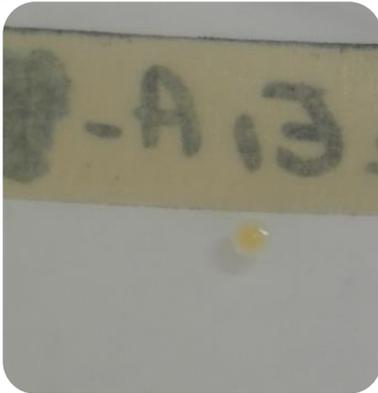
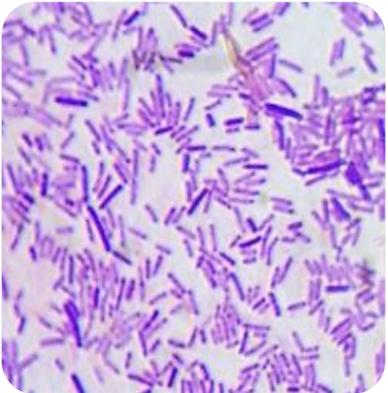
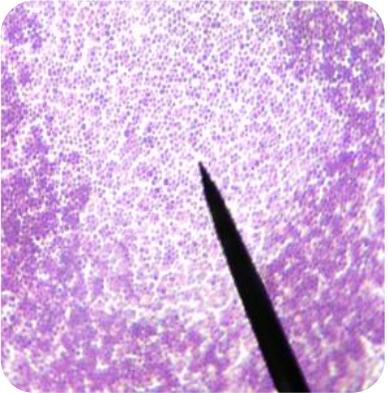
a. Desempaque y climatización de la cajas



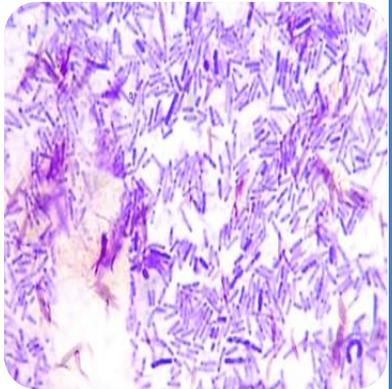
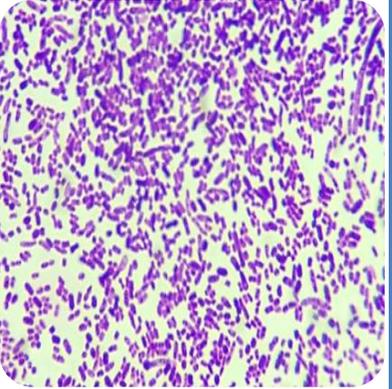
b. Instalación del impactador de cascada de seis etapas

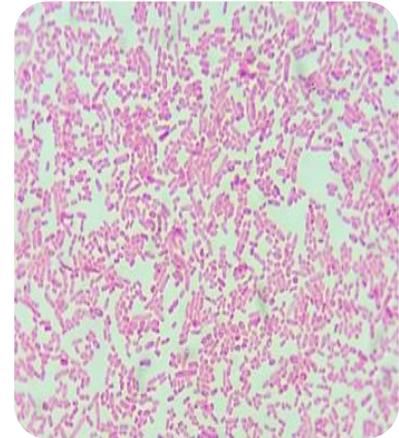
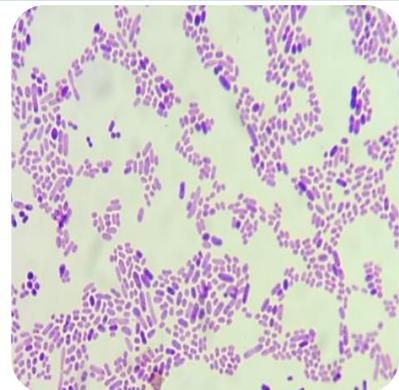
Anexo 3: Registro fotográfico características macroscópicas y microscópicas de bacterias

Bacterias mesófilicas									
SP	Características macroscópicas						Gram	Imagen Macroscópica	Imagen Microscópica
	Forma	Borde	Elevación	Aspecto	Color	Luz			
SP1	Circular	Entero	Elevada	Cremoso	Barniz	Brillo	Bacilos Gram (+)		
SP2	Circular	Entero	Elevada	Cremoso	Blanco	Brillo	Estafilococo Gram (+)		

SP3	Granular	Ondulada	Plana elevada	Semi- cremosa	Blanco Hueso	Opaca	Bacilos Gram (+)		
SP4	Circular	Entero	Elevada	Cremoso	Amarillo oscuro - yema de huevo	Brillo	Coco Gram (+)		
SP5	Granular	Lobulada	Pulvinada	Cremoso	Blanco Hueso	Brillo	Estafiloc oco Gram (+)		

SP6	Circular	Entero	Convexa	Cremoso	Amarillo Claro	Semi- Opaca	Estafilococo Gram (+)		
SP7	Granular	Lobulada	Plana	Cremosa centro elevado	Blanco	Brillo	Bacilos Gram (+)		
SP8	Granular	Ondulada	Convexa	Cremosa- centro irregular	Borde beige - Centro Rosa	Brillo	Bacilos Gram (+)		

SP9	Irregular	Lobulada	Elevada	Seca - elevación puntiforme en el centro	Blanca	Opaca	Bacilos Gram (+)		
SP10	Circular	Entero	Elevada	Cremosa	Blanca	Opaca	Coco Gram (+)		

SP11	Circular	Entero	Elevada	Crema	Anarajado	Brillo	Bacilos Gram (-)	No Disponible	
SP12	Irregular	Lobulada	Plana	Extendida	Hueso	Opaca	Bacilos Gram (+)	No Disponible	

Anexo 4. Informes de identificación Clínica de las bacterias (Equipo BD - Phoenix™ 100)

INFORME CLÍNICO - FINAL		
FUNDACIÓN HOSPITAL UNIVERSITARIO METROPOLITANO Cra 42 F No. 75 B - 18 Laboratorio Clínico Piso 5o. Barranquilla - Atlántico		Página 1/1 01/07/2017 08:07:18
Nombre del paciente:		ID del paciente:
N° de acceso:	17-06-SP14	
Tipo de muestra:	Sin especificar	
Servicio de hospital:	Sin especificar	
Zona del cuerpo:	Sin especificar	
Fecha de recogida:	29/06/2017 17:58:04	
Comentarios de muestra:		

<u>Nombre del test</u>	<u>Final</u>	<u>N° aisl.</u>	<u>Resultado</u>
CULTIVO GERMENES COMUNES	<input checked="" type="checkbox"/>		Positivo

<u>Nombre del organismo</u>	<u>Comentarios</u>
1 PSEPSE Pseudomonas pseudoalcaligenes	

Antibiótico	PSEPSE	
	CMI/Conc	SIR
Amikacina	<=8	S
Cefepima	<=1	S
Ceftazidima	2	S
Ciprofloxacino	<=0,125	S
Gentamicina	<=2	S
Imipenem	<=0,25	S
Levofloxacino	<=1	S
Meropenem	<=0,5	S
Piperacilina-Tazobactam	<=4/4	S
Trimetoprim-Sulfametoxazol	<=0,5/9,5	S

a. Informe Clínico de identificación de especie – Genero *Pseudomona*

INFORME CLÍNICO - FINAL			
FUNDACIÓN HOSPITAL UNIVERSITARIO METROPOLITANO		Página 1/1	
Cra 42 F No. 75 B - 18 Laboratorio Clínico Piso 5o.		06/07/2017 15:40:18	
Barranquilla - Atlántico			
Nombre del paciente:		ID del paciente:	
N° de acceso:	17-07-SX3		
Tipo de muestra:	Sin especificar		
Servicio de hospital:	Sin especificar		
Zona del cuerpo:	Sin especificar		
Fecha de recogida:	05/07/2017 17:59:39		
Comentarios de muestra:			

<u>Nombre del test</u>	<u>Final</u>	<u>N° aisl.</u>	<u>Resultado</u>
PMIC/ID-89	<input checked="" type="checkbox"/>	1	Completo

<u>Nombre del organismo</u>	<u>Comentarios</u>
1 BACICER Bacillus cereus	

<u>Antibiótico</u>	<u>BACICER</u>
	<u>CMI/Conc</u> <u>SIR</u>
Ampicilina	R
Cefoxitina	R
Ceftarolina	R
Penicilina G	R

b. Informe Clínico de identificación de especie – Genero *Bacillus*

INFORME CLÍNICO - FINAL		Página 1/1
FUNDACIÓN HOSPITAL UNIVERSITARIO METROPOLITANO Cra 42 F No. 75 B - 18 Laboratorio Clínico Piso 5o. Barranquilla - Atlántico		01/07/2017 08:12:03
Nombre del paciente:	ID del paciente:	
N° de acceso:	17-06-SP2	
Tipo de muestra:	Sin especificar	
Servicio de hospital:	Sin especificar	
Zona del cuerpo:	Sin especificar	
Fecha de recogida:	29/06/2017 17:58:04	
Comentarios de muestra:		

<u>Nombre del test</u>	<u>Final</u>	<u>N° aisl.</u>	<u>Resultado</u>
CULTIVO GERMENES COMUNES	<input checked="" type="checkbox"/>		Positivo

<u>Nombre del organismo</u>	<u>Comentarios</u>
1 STAEPI Staphylococcus epidermidis	

Notas del informe clínico

1 La nitrofurantoína está indicada para su uso exclusivamente frente a las infecciones de las vías urinarias.

Marcadores de resistencia

1 BLACT Staphylococcus productor de betalactamasa
 1 MRS Staphylococcus resistente a meticilina
 1 STAIML Fenotipo MLSb inducible en Staphylococcus

<u>Antibiótico</u>	<u>STAEPI</u>	
	<u>CMI/Conc</u>	<u>SIR</u>
Ampicilina		R
Clindamicina		R
Daptomicina	<=1	S
Eritromicina	>4	R
Linezolida	<=1	S
Minociclina	2	S
Oxacilina	0,5	R
Penicilina G	0,25	R
Rifampicina	<=0,5	S
Trimetoprim-Sulfametoxazol	1/19	S
Vancomicina	2	S

c. Informe Clínico de identificación de especie – Genero *Staphylococcus*