

1-1-2008

# 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

Magda Nohelia Hernández Ramírez

Sonia Patricia León Piñeros

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria)

## Citación recomendada

Hernández Ramírez, M. N., & León Piñeros, S. P. (2008). 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. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/393](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/393)

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

MAGDA NOHELIA HERNANDEZ RAMIREZ  
SONIA PATRICIA LEÓN PIÑEROS

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
BOGOTÁ D.C.  
2008

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

MAGDA NOHELIA HERNANDEZ RAMIREZ  
SONIA PATRICIA LEÓN PIÑEROS

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director  
JORGE HERNAN OTERO ZIÑIGA  
Microbiólogo

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
BOGOTÁ D.C.  
2008

Nota de aceptación

---

---

---

---

Firma del Director

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá, Febrero de 2008

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Nuestras familias, que con su esfuerzo nos brindaron nuestra formación como profesionales.

Jorge Hernán Otero Zuñiga, Director del proyecto quien con su apoyo incondicional nos llevo a culminar este estudio.

Ricardo Montealegre, Coordinador de Laboratorios de Ciencias Básicas de la Universidad De La Salle

El personal del laboratorio de microbiología de la Universidad De La Salle.

Alexander Bustos, asesor estadístico del proyecto.

El Comité de Vigilancia Epidemiológica del Hospital Tunal, pero especialmente a Alberto Valderrama quien nos permitió desarrollar nuestro proyecto en esta institución.

A todas aquellas personas que contribuyeron al desarrollo del proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION .....	17
1. MARCO DE REFERENCIA .....	19
ANTECEDENTES .....	19
2. MARCO TEORICO .....	24
2.1 CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AIRE EN HOSPITALES.....	24
2.1.1 Quirófanos .....	24
2.1.1.1 Clasificación de Quirófanos.....	26
2.1.1.2 Control microbiológico ambiental en quirófanos .....	26
2.1.2 Medición de agentes biológicos .....	30
2.1.2.1 Equipo .....	31
2.1.3 Enfermedad nosocomial .....	32
2.1.3.1 Manifestación de la Infección .....	33
2.1.4 EDIFICIO ENFERMO.....	37
2.1.4.1 Generalidades de los bioaerosoles.....	37
2.1.4.2 Permanencia en la atmósfera.....	39
2.1.4.3 Factores de supervivencia .....	40
2.1.5 FACTORES DE RIESGO.....	40
2.1.5.1 Análisis de riesgos.....	40
2.1.6 Mecanismos de Control .....	42
2.1.6.1 Ventilación Mecánica.....	42
2.1.6.2 Filtración .....	42
2.1.6.3 Control direccional de la circulación de aire.....	43
2.1.6.4 Control de la presión diferenciada .....	44
2.1.7 ANALISIS ESTADISTICO .....	46
3. METODOLOGÍA .....	48
3.1 RECOPIACIÓN DE DATOS .....	49
3.1.1 Variables medio ambientales.....	49
3.2 SELECCIÓN DE DÍAS Y PUNTOS DE MUESTREO.....	49
3.2.1 Descripción del Sitio .....	49
3.2.2 Poblaciones:.....	49
3.2.3 Localización .....	50
3.2.4 Días de muestreo.....	52
3.2.5 Puntos de muestreo.....	52
3.3 Muestreo .....	53
3.3.1 Equipo de Muestreo.....	54
3.3.2 Período de muestreo .....	54
3.3.3 Almacenamiento y Transporte de las muestras .....	55
3.3.4 Codificación de las muestras .....	55
3.4 MEDIOS DE CULTIVO .....	56
3.5 Reconocimiento de las especies patógenas .....	56

3.5.1	Tinción De Gram.....	57
3.5.2	Pruebas Bioquímicas.....	57
3.6	Antibiogramas.....	58
3.6.1	Antibióticos.....	59
3.7	Mecanismos de control del factor de Riesgo.....	60
3.7.1	Factores de Riesgo.....	60
3.7.2	Mecanismos de control y minimización.....	60
4.	RESULTADOS Y ANALISIS.....	61
4.1	VARIABLES MEDIOAMBIENTALES.....	61
4.1.1	TEMPERATURA.....	62
4.1.2	HUMEDAD RELATIVA.....	63
4.1.3	VELOCIDAD DEL VIENTO.....	64
4.1.3.1	ROSAS DE VIENTO.....	65
4.2	ANALISIS DESCRIPTIVO.....	65
4.3	ANALISIS ESTADISTICO INFERENCIAL.....	79
4.4	ANALISIS PORCENTUAL.....	82
4.4.1	AMBIENTE INTRAMURAL.....	83
4.4.2	AMBIENTE EXTRAMURAL.....	87
5.	FACTORES DE RIESGO Y MECANISMO DE CONTROL.....	88
5.1	FACTORES DE RIESGO.....	88
5.2	MATRIZ DE RIESGO.....	88
5.3	MECANISMOS DE CONTROL PARA LA MINIMIZACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO.....	89
5.4	INDICADORES DE CALIDAD DE AIRE.....	94
6.	CONCLUSIONES.....	95
7.	RECOMENDACIONES.....	97
8.	BIBLIOGRAFIA.....	98

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fuente de los contaminantes microbianos en suspensión en el aire. ....	25
Tabla 2. Factores que influyen en la contaminación del quirófano transmitida por el aire.....	25
Tabla 3. Concentración de Bacterias en Quirófanos.....	26
Tabla 4. Bacterias de mayor frecuencia encontradas en salas de cirugía .....	28
Tabla 5. Planificación de la medición.....	31
Tabla 6. Factores Influyentes En La Manifestación De Las Infecciones Nosocomiales .....	33
Tabla 7. Generalidades de antibióticos utilizados en la investigación.....	35
Tabla 9. Muestreo Aleatorio Simple .....	52
Tabla 10 Criterios para la ubicación de los puntos de muestreo.....	53
Tabla 11. Días de muestreos .....	54
Tabla 12. Medios de cultivo .....	56
Tabla 13 Pruebas Bioquímicas .....	57
Tabla14. Antibióticos.....	59
Tabla 15. Promedio de las variables meteorológicas medidas en el periodo de muestreo .....	61
Tabla 16. Medidas de tendencia y dispersión de la temperatura.....	62
Tabla 17 Medidas de tendencia y dispersión de la humedad relativa.....	63
Tabla 18 Medidas de tendencia y dispersión de la velocidad del viento.....	64
Tabla 19. Concentraciones de especies patógenas y variables medioambientales en el día 1.....	66
Tabla 20. Concentraciones de especies patógenas y variables medioambientales en el día 2.....	67
Tabla 21. Concentraciones de especies patógenas y variables medioambientales en el día 3.....	69
Tabla 22. Concentraciones de especies patógenas y variables medioambientales en el día 4 .....	71
Tabla 23. Concentraciones de especies patógenas y variables medioambientales en el día 5.....	72
Tabla 24. Concentraciones de especies patógenas y variables medioambientales en el día 6.....	74
Tabla 25. Concentraciones de especies patógenas y variables medioambientales en el día 7.....	75
Tabla 26. Concentraciones de especies patógenas y variables medioambientales en el día 8.....	77
Tabla 27. Análisis multivarido de varianza (MANOVA).....	79
Tabla 28. Resultado del análisis ANOVA para temperatura.....	80
Tabla 29. Resultado de la prueba T de student para temperatura.....	81
Tabla 30. Resultado de la prueba T de student para ufc/m <sup>3</sup> .....	81



Tabla 31. Resultado de la prueba T de student para <i>Estafilococos Aureus</i> .....	82
Tabla 32. Resultado de la prueba T de student para <i>Candida Sp.</i> .....	84
Tabla 33. Porcentajes de antibiótico resistencia del <i>Estafilococo Aureus</i> .....	85
Tabla 34. Resultado de la prueba T de student para <i>Estafilococos Sp.</i> .....	86
Tabla 35. Criterios de evaluación.....	89
Tabla 36 Matriz de Riesgo .....	92
Tabla 37 Concentraciones permisibles de microorganismos en quirófanos .....	94

## LISTA DE GRAFICOS

Grafico 1. Flujo de aire vertical unidireccional en sala de cirugía. ....	44
Grafico 2. Control de la presión diferencial en sala de aislamiento para infecciosos. .....	45
Grafico 3. Metodología.....	48
Grafico 4. Ubicación geográfica del Hospital Tunal .....	51
Grafico 5. Equipo MAS 100 .....	54
Grafico 6. Técnica de la coloración gram.....	57
Grafico 7 Procedimiento de Antibiograma .....	58
Grafico 8 Comportamiento de temperaturas promedio y desviaciones estándar en el período de muestreo .....	63
Grafico 9 Comportamiento de los promedios de la Humedad Relativa y desviaciones estándar en el período de muestreo.....	64
Grafico 10 Comportamiento de los promedios de la velocidad del viento y desviaciones estándar en el período de muestreo.....	65
Grafico 11. Variación de (ufc/m <sup>3</sup> ) de especies patógenas aisladas en el día 1.....	67
Grafico 12 Variación de (ufc/m <sup>3</sup> ) de especies patógenas aisladas en el día 2.....	69
Grafico 13 Variación de (ufc/m <sup>3</sup> ) de especies patógenas aisladas en el día 3.....	70
Grafico 14 Variación de (ufc/m <sup>3</sup> ) de especies patógenas aisladas en el día 4.....	72
Grafico 15 Variación de (ufc/m <sup>3</sup> ) de especies patógenas aisladas en el día 5.....	73
Grafico 16 Variación de (ufc/m <sup>3</sup> ) de especies patógenas aisladas en el día 6.....	75
Grafico 17 Variación de (ufc/m <sup>3</sup> ) de especies patógenas aisladas en el día 7.....	76
Grafico 18 Variación de (ufc/m <sup>3</sup> ) de especies patógenas aisladas en el día 8.....	78
Grafico 19. Porcentajes de especies aisladas en sala de ortopedia en el periodo de muestreo.....	83
Grafico 20. Porcentajes de especies aisladas al exterior del edificio en el periodo de muestreo.....	87

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Recomendaciones para la selección del método de medición de Agentes Biológicos .....	102
Anexo B. Características De Un Muestreador De Bioaerosoles .....	103
ANEXO C. Listado de antibióticos de mayor frecuencia de utilización en el Hospital Tunal.....	104
ANEXO D. Lista de chequeo.....	105
ANEXO E. Rosas de viento del periodo de muestreo.....	106
ANEXO F. Análisis univariados de varianza (ANOVA) .....	110
ANEXO G. Correlaciones parciales del MANOVA.....	115
ANEXO H. MANOVA .....	116
ANEXO I. Antibiógramas .....	117
ANEXO J. Registro fotográfico Antibiógramas.....	124
ANEXO K. Formato para identificación de especies.....	125
ANEXO L .Matriz de Datos para el SAS .....	126
ANEXO M. Formato de Campo.....	127

## GLOSARIO

**AGAR:** Gel coloidal formado por hidratos de carbono que forma parte de la composición de un medio de cultivo.

**BIOAEROSOL:** incluye alergenos (polen, hongos, esporas, partes y fecas de insectos) y patógenos casi siempre absorbidos por las partículas. En general es el conjunto de microorganismos suspendidos en el aire a través de las partículas.

**CALIDAD DEL AIRE:** es una forma de medir las condiciones del aire en espacios exteriores e interiores.

**CEPA:** cultivo de microorganismos que se derivan de otros con caracteres morfológicos específicos.

**EPIDEMIA:** cantidad mayor a la normal de individuos enfermos o infectados, en un período y área determinada.

**EPIDEMIOLOGÍA:** estudio de la ocurrencia y distribución de enfermedades y los factores que controlan la presencia o ausencia de enfermedad.

**FACTORES DE RIESGO:** existencia de elementos, fenómenos, ambiente y acciones humanas que encierran una capacidad potencial de producir lesiones o daños materiales, y cuya probabilidad de ocurrencia depende de la eliminación y/o control del elemento agresivo.

**FACTORES METEOROLÓGICOS:** conjunto de valores que toman los parámetros meteorológicos en un momento dado, que hacen variar las condiciones atmosféricas de un lugar, tales como precipitación, temperatura, dirección y velocidad del viento, entre otros.

**HUÉSPED:** organismo capaz de sustentar el crecimiento de un microorganismo (bacteria, virus o parásito).

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

**INFECCIÓN NOSOCOMIAL:** 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.

**MECANISMOS DE DEFENSA:** todos los mecanismos con que cuenta un organismo determinado para dar una respuesta específica inmune a una enfermedad.

**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.

**MEDIO ESPECÍFICO:** medio de cultivo que contiene sustratos apropiados para que sólo los microorganismos de interés sean reconocidos con facilidad.

**MEDIO SELECTIVO:** medio de cultivo que contiene sustancias inhibidoras o factores de crecimiento singulares para el crecimiento particular de un tipo determinado de microorganismos.

**MICROORGANISMO:** organismos que no son visibles al ojo humano, por lo tanto requieren el uso de un microscopio para su observación y estudio.

**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.

**NTP:** Norma técnica de prevención.

**MORBILIDAD:** estado de enfermedad y sus efectos asociados en el huésped.

**RECAMBIO DE AIRE:** El número de renovaciones/hora del aire suministrado al quirófano a través de un sistema.

**RIESGO:** relación de todos los factores externos e internos con los cuales un individuo o un grupo de ellos puede verse afectado en una situación determinada.

**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

El aire ha sido considerado como el vehículo más importante en la transmisión de enfermedades y la dispersión de todo tipo de microorganismos, pudiendo estos ser aerotransportados rápidamente en forma de Bioaerosoles, a través del movimiento del aire.

La presencia de microorganismos patógenos nosocomiales dentro del ambiente de las instituciones prestadoras de salud, genera un riesgo biológico, aumentando la posibilidad de adquirir infecciones nosocomiales dentro del lugar, afectando directamente a los pacientes, que tienen diferentes grados de inmunosupresión y al personal médico que tienen una exposición continua al aire presente de la sala.

La cantidad de flora microbiana se determina por medio del número de ufc/m<sup>3</sup> presentes en el aire, pudiendo estas llegar a afectar la calidad del aire intramural. Al no existir una norma estándar en cuanto a los niveles de concentración permisibles de microorganismos en quirófanos, algunos investigadores recomiendan no sobrepasar 10 ufc/m<sup>3</sup>, para garantizarles a pacientes, personal medico, visitantes y personas en general, las condiciones ambientales óptimas para la realización de procedimientos y tratamientos médicos.

Se determino la calidad del aire extramural y su posible incidencia en el aire intramural, estableciendo factores de Riesgo, que permitieron desarrollar diseños mitigantes del impacto microbiano, ejercido sobre trabajadores y pacientes en dichas instituciones.

Para el desarrollo del estudio, se realizaron dos muestreos por día en diferente jornada, una en la mañana y otra en la tarde. Los muestreos se realizaron con el equipo MAS 100, los cuales fueron establecidos por las condiciones meteorológicas del lugar, determinadas en estudios exploratorios previos; la aleatoriedad simple y procedimientos de la sala.

Se clasificó la flora microbiana de bacterias y hongos a partir de pruebas de identificación y se realizaron antibiogramas, que dan respuesta al grado de sensibilidad a ciertos antibióticos.

## **ABSTRACT**

The air has been considered as the most important vehicle in the transmission of diseases and the spread of all kinds of microorganisms, these can be airlifted quickly as Bioaerosoles, through the movement of air.

The presence of pathogenic microorganisms nosocomial within the environment of the institutions that provide health, creates a biohazard, increasing the possibility of acquiring nosocomial infections within the site, directly affecting patients, who have varying degrees of immunosuppression and the medical staff who have continuous exposure to air present in the room.

The amount of microbial flora is determined by the number of ufc/m<sup>3</sup> in the air can reach these affect air quality intramural. In the absence of a standard as to the permissible levels of concentration of microorganisms in operating rooms, some researchers recommend not exceed 10 ufc/m<sup>3</sup> to reassure patients, medical staff, visitors and people in general, the best environmental conditions for the realization of medical procedures and treatments.

It determines air quality extramural and its possible impact on air intramural setting Risk factors, which resulted develop designs mitigating the impact microbial exerted on workers and patients in these institutions.

For the development of the study, there were two samples per day at different day, one in the morning and one in the afternoon. Sampling was conducted with the team MAS 100, which were established by the weather conditions of the site, identified in previous exploratory studies; randomness simple and procedures of the courtroom.

Was ranked microbial flora of bacteria and fungi from identification evidence and conducted Antibacterial, in response to the degree of sensitivity to certain antibiotics



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

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 factores de riesgo causados por microorganismos potencialmente nosocomiales

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Determinar variables medioambientales y meteorológicas para establecer el esquema de muestreo y la influencia en el desarrollo y transporte de bioaerosoles
2. Establecer la presencia de microorganismos patógenos potencialmente nosocomiales en las salas de cirugía y la incidencia de las variables medioambientales y meteorológicas de la zona de estudio.
3. Determinar la relación y la influencia de los ambientes Extramural – Intramural por la presencia de microorganismos patógenos potencialmente nosocomiales.
4. Establecer factores de riesgo como resultado de la presencia de microorganismos procedentes del exterior que define la calidad del aire del interior.
5. Proponer mecanismos de control y minimización con base a los riesgos producidos por la presencia de microorganismos nosocomiales en las salas de cirugía del hospital objeto de estudio.

## INTRODUCCION

Las infecciones adquiridas en áreas quirúrgicas son la principal preocupación de profesionales del área de la salud, y de los investigadores dedicados al estudio epidemiológico de enfermedades de infección nosocomial. La contaminación microbiológica en ambientes interiores y exteriores, ha venido adquiriendo gran importancia por parte de distintos sectores de nuestra sociedad; en especial la del sector hospitalario; ya, que es indiscutible el papel del aire en la transmisión de microorganismos y otras sustancias nocivas para la salud, afectando no solo a los pacientes internados, sino también al personal que trabaja en él, debido a que estos agentes pueden ser la causa de problemas de brotes infecciosos dentro del hospital.

En la actualidad la transmisión aérea ha adquirido mayor importancia en la Infección Nosocomial. Esto se produce por la diseminación de bioaerosoles ( $\leq 5 \mu$  de diámetro) o por material particulado que contienen el agente infeccioso, que permanecen suspendidas en el aire. Así, los microorganismos transportados de esta forma, se pueden extender ampliamente por las corrientes de aire, pudiendo ser inhalados o depositados en el huésped susceptible<sup>1</sup>.

El control de la calidad de aire intramural y extramural juega un papel importante en la prevención de dichas infecciones en los hospitales, además de proporcionar una protección continúa de los pacientes y del personal que trabaja en las instalaciones, teniendo cuenta que cada uno de ellos tiene diferentes grados de susceptibilidad o inmunosupresión y pueden llegar a verse afectados por un mal control de este elemento.

Un hospital pobre en calidad de aire puede ser el comienzo de un síndrome del hospital enfermo, generando patologías nosocomiales y enfermedades ocupacionales. Un parámetro fundamental para llegar a determinar esto, es la unidad formadora de colonia por metro cúbico ( $\text{ufc}/\text{m}^3$ ), ya que esta medida nos indica el grado de contaminación microbiológica de un ambiente y en especial la calidad de aire que circula dentro de la sala, además de elementos directamente relacionados con dicha calidad en estas unidades como lo son: la ventilación mecánica o natural, humedad y temperatura, tipos de filtración, dirección de las corrientes de aire, entre otros, ya que estos factores nos permiten identificar las características de cada unidad, las cuales deben estar acorde con las necesidades de cada una de las instalaciones previniendo así problemas asociados a partículas vivas e inertes y no generando inconvenientes con ellos.

---

<sup>1</sup> Servicio Vasco de Salud. Manual de normas para el control de la infección nosocomial: Anexo I. 1997 [en línea]. [s.e] [Citado: 16 de agosto/2006]. Disponible en: [www.mspas.gob.sv/regulacion/pdf/manual/Manual\\_nosocomiales.pdf](http://www.mspas.gob.sv/regulacion/pdf/manual/Manual_nosocomiales.pdf)

Por lo tanto es necesario determinar la composición y concentración de microorganismos en el aire transportado de adentro, afuera y ambientes ocupacionales. La investigación hecha en la sala de cirugía de ortopedia del hospital el tunal de Bogotá inicia un peldaño mas hacia el entendimiento de este tema, que ha sido poco estudiado en nuestro medio, y se justifica en el sentido que por medio de ésta, se podrá llegar a determinar si hay una posible incidencia del aire extramural en la calidad de aire intramural de la sala teniendo en cuenta las condiciones físicas y ambientales controladas en este sistema cerrado, y lo mas importante aún, que es el objetivo principal de este estudio, identificar posibles riesgos ambientales ocasionados por la presencia de patógenos nosocomiales en las corrientes de aire que circulan en dicho recinto, y así proponer mecanismos de control, que garanticen ambientes limpios de partículas y microorganismos en el aire que puedan llegar a generar enfermedades de este tipo.

El estudio se llevo a cabo por medio de muestreos in-situ, pruebas de laboratorio para el reconocimiento de especies patógenas nosocomiales, recopilación de información meteorológica de la zona, verificación del sistema de climatización, estructura del área quirúrgica entre otros, y cuantificación de parámetros ambientales como temperatura y humedad relativa de la sala para determinar las medidas de control para asegurar la calidad de aire. A partir de resultados obtenidos se demostró que existe diferencia significativa entre los totales de la carga microbiana encontrada en los ambientes extra e intramural, incrementando de esta manera el riesgo de adquirir una infección nosocomial por vía aérea, puesto que en el ambiente intramural durante el periodo de muestreo se llego a un total de 1540 ufc/m<sup>3</sup> donde el 57% correspondió a la especie *Candida Sp*, 14% a *Estafilococo Sp* y 18% a *Estafilococo Aureus* este ultimo multiresistente según lo arrojado por la prueba de antibiótico resistencia realizada, y principal característica de las bacterias patógenas nosocomiales.

En el ambiente extramural con un total de 368 ufc/m<sup>3</sup> las mayor concentración correspondió al genero *Otros*, donde se hallan las especies oportunistas o consideradas propias del medio ambiente, las cuales no son consideradas de importancia en nuestro estudio al no ser reconocidos como patógenos nosocomiales, lo anterior sin desconocer que en las muestras extramurales se identificaron las especies mencionadas anteriormente, aunque en distinta proporción y respondieron de manera diferente a los antibióticos utilizados en la prueba de antibiótico resistencia. Gracias a estos resultados se pudo identificar los factores de riesgo por medio de la verificación y cuantificación de factores físicos, mecánicos y ambientales con los cuales cuenta la sala de ortopedia, evidenciando de esta manera las falencias existentes en el sistema de climatización, control microbiológico del aire, configuración del flujo de aire en la sala, entre otros demostrando de esta manera la gran importancia de establecer dichos factores de riesgo para una optima calidad de aire intrahospitalaria y así proponer los correctivos necesarios.

## 1. MARCO DE REFERENCIA

### ANTECEDENTES

En las últimas décadas ha quedado demostrado el rol del aire como fuente y transporte en la inevitable 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 aerotransportadas han estado relacionadas a la calidad aérea interior (Wasserman 1988, Fung 1990. et al). Estas infecciones se atribuyen a una gama amplia de contaminantes químico, físico o biológicos, y/o contaminantes que eran introducidos o igual producido en el ambiente (Cazador el al del et. 1988, la piedra, 2000)<sup>2</sup>

Esto encontrado en estudios realizados en la Universidad de la Salle, como por ejemplo, en el año 2005 en donde se caracterizaron microorganismos en las salas ERA del hospital Rafael Uribe Uribe y se encontró gran variedad de flora microbiana justificando una mala calidad de aire,<sup>3</sup> que no solo afectan los paciente internos, sino también al personal que se desenvuelve en estos ambientes; generando factores de riesgo para la salud<sup>4</sup> y deteriorando la calidad del aire dentro de ellas.

En otro estudio se evaluó la presencia y se determinó la concentración de microorganismos patógenos que se consideran importantes variando (10 UFC/m<sup>3</sup> - 210 UFC/m<sup>3</sup>), en la conformación o formación de bioaerosoles, considerando factores que influyen su existencia y dispersión tales como lo son; parámetros meteorológicos, condiciones ambientales y del medio, y la concentración de material particulado.<sup>5</sup>

Otros estudios realizados en la Universidad de la Salle en donde exploran de manera mas profunda las características de los ambientes externos (extramurales), y se destaca la importancia de la calidad del aire extramural en cuanto a la microbiología del aire y los PM 10, un ejemplo de esto es el

---

<sup>2</sup>NUNES, Zilma, MARTINS, Alfredo. Indoor air microbiological evaluation of offices, hospitals, industries, and shopping centers. Río de Janeiro.Vol. 100. Nº 4. Jul. 2005. P.1

<sup>3</sup> NIÑO DIANA, OSORIO TONYA, Identificación de microorganismos patógenos presentes en las salas de terapia respiratoria de los centro de atención medica e inmediata Hospital Rafael Uribe Uribe. Universidad de la salle. 2005

<sup>4</sup>MINISTERIO DE TRANSPORTE Y AUSNTOS SOCIALES ESPAÑA, Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo [en línea]. España: [s.e] 1997 [Citado: 3 de septiembre/2006]. Disponible en Internet: <http://www.mtas.es/Insh/legislation/RD/biologic.htm>

<sup>5</sup> Rey Rodríguez, Ivon Milena. 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. Universidad de la salle 2005.

desarrollado en el 2003 por Luís Camilo Blanco<sup>6</sup>, en el cual se hizo una caracterización microbiológica del aire en la localidad de puente Aranda y su relación con el impacto de los PM, aportando mas significancia a la importancia de definir la calidad del aire interior como resultado de la entrada de las corrientes de aire contaminadas del exterior.

Siendo la primera caracterización del aire de esta localidad, se identificó los siguientes grupos de microorganismos: *Serratia sp*, *Klebsiella sp*, *Yersinia sp*, *Pseudomonas sp*, *Escherichia coli*, *Shigella sp*, *Corynebacterium sp*, *Candida sp* y *Rhodoturula sp*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus níger*, *Penicillum sp*, *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus epidermis*, sin identificar *Haemophilus influenzae* y *Streptococcus pneumoniae* que son los causantes más importantes de infecciones Respiratorias Agudas. Los microorganismos identificados en este estudio se consideran patógenos oportunistas, dependiendo de las condiciones ambientales y la vulnerabilidad de la población.

Se concluyó que los vientos de las horas de la tarde, para el primer trimestre del año, permiten la dilución y dispersión de PM<sub>10</sub>. Se confirmó una relación partícula-microorganismo, al presentarse un desarrollo de microorganismos en las huellas dejadas en los medios de cultivo.

Los estudios relacionados anteriormente, sólo se refieren a la epidemiología generada por la contaminación y a la relación cualitativa entre los microorganismos y material particulado.

Por otro lado un artículo publicado por el Journal of Hospital Infection (2002)<sup>7</sup>, en donde destacan diversas pautas para el adecuado control ambiental de una sala de cirugía, entre las que se encuentran: ropa apropiada que se debe utilizar las salas de cirugía, ventilación, cambios de aire de acuerdo al metraje cúbico, características físicas del lugar, suministro de agua, entre otros.

Advierte la importancia de medir periódicamente la calidad y cantidad de bacterias dentro de las salas de cirugía aunque no haya un umbral bacteriano límite, teniendo en cuenta factores como: posibles focos de contaminación y personal que puede llegar a presentar las más altas exposiciones. Generando una gestión ambiental oportuna de la calidad del aire y previniendo posibles enfermedades nosocomiales.

---

<sup>6</sup>Blanco, Luís Camilo. Caracterización microbiológica del material particulado como factor de riesgo sobre la salud en la localidad de Puente Aranda. Universidad De La Salle, 2003.

<sup>7</sup> PITTET D, DHARAN S. Environmental controls in operating theatres. (Diciembre, 2002) Disponible en: <http://www.idealibrary.com> [Consultada Septiembre 15 de 2007]

Y esto lo confirmó un estudio publicado en la AORN Journal (junio 1999), el cual mediante una serie de muestras de aire tomadas en quirófanos se pudo comprobar la presencia en el aire de microorganismos tales como: *Staphylococcus aureus y epidermidis*, *Micrococcus sp.*, *Corynebacterium sp.*, *Bacillus sp.*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Burkholderia cepacia*, *Cándida sp.*

Estos hallazgos microbiológicos demuestran el efecto rol de la transmisión aérea en la probable contaminación de un sitio y enfatiza en la importancia de contar con un sistema de control de aire eficiente y eficaz en el ámbito hospitalario. Esta medida es considerada, junto con otras, como de altísimo valor en la prevención de infecciones nosocomiales.<sup>8.9</sup>

Varios estudios (mouilleseaus y eastman, 1992; panasen y kalliokoski, 1992; flannigan et al, 1991; warnner y deuber, 1991; alfaró, 1997 y otros) demuestran los riesgos a exposición del ser humano a ambientes contaminados por material microbiológico, alfaró (1995) e indica que existe una mala calidad del aire en los hospitales, en especial en salas de cirugía, debido a la contaminación por hongos y bacterias de alta peligrosidad para la salud humana.

La mala calidad del aire pone a consideración otro factor importante, que es la exposición que tiene el personal dentro de las entidades, llegando a generar posibles factores de riesgo por la exposición frente a estos agentes aerotransportados en el aire que pueden incidir en la calidad del aire de la unidad.

A partir de situaciones establecidas el CDC de Atlanta, inició en 1970 el Estudio Nacional de Infecciones Nosocomiales (NNIS) fue elaborando diferentes sistemas de calificación, como el Estudio de Eficiencia de Control de Infecciones Nosocomiales.

En conclusión este factor constituye un importante problema ambiental y atenta contra la salud humana tanto a escala global como local y se convierte en un motivo de preocupación para las instituciones y organizaciones de la salud a escala mundial, por las implicaciones económicas, sociales y humanas que estas tienen.

Algunos estudios como el publicado en 1941 en donde se identificó la elevada virulencia de *S. aureus*, en donde se identificó 82% de mortalidad asociada a pacientes con bacteriemias ocasionadas por este microorganismo en un hospital

---

<sup>8</sup> Evaluation of the protective value of hospital gowns against blood strike-through and methicillin - resistant *Staphylococcus aureus* penetration. Granzow J., Smith J., Ronald L. et al. AJIC. Vol. 26. Nº 2. Pág. 85 - 93. 1998. USA.

<sup>9</sup> *Ibíd.*, p.5

de la ciudad de Boston, demuestran el gran valor que ha ido adquiriendo la calidad de aire en estas instituciones y como afecta al desarrollo de los pacientes.<sup>10</sup>

Es por todo lo anterior que el monitoreo continuo de Bioaerosoles puede proveer información para la investigación epidemiológica de enfermedades de infección nosocomial, un claro ejemplo es el estudio desarrollado en el Hospital de Miniápolis, en donde se caracterizaron diferentes áreas de importancia dentro de las que se encuentran: UCIs que incluyo la evaluación interna de medicina, cardiología, unidades de quemados, cirugía, pediatría, cirugía de cario, neurocirugía y neonatología y unidades de trasplante de medula ósea.

Se evaluaron las características de las partículas y Bioaerosoles y la cantidad en cada una de las salas limpias, para poder, junto con programas de vigilancia y programas de control ambiental, asegurar una adecuada calidad ambiental en hospitales y poder controlar las infecciones nosocomiales.<sup>11</sup>

La preocupación que ha generado la transmisión de enfermedades y microorganismos aerotransportados a través del aire, se ha podido observar a través del tiempo por medio de estudios realizados en donde investigadores reportaron la transmisión aérea de una variedad de infecciones que incluían la tuberculosis, influenza y sarampión<sup>12</sup>

Además en la década de los 30, Williams Wills, publicó artículos comentando la capacidad infecciosa de las gotas de Pflugge (alrededor de 100 micras) ya que se convierten en vehículos de los agentes infecciosos que pueden abandonar la fuente o reservorio por el aire en forma de aerosoles de partícula mínima.

Las gotitas de Pflugge por su pequeño tamaño pueden permanece largo tiempo en el aire y recorrer largas distancias hasta el huésped susceptible. Los aerosoles de partícula mínima son producidos de forma natural al toser o estornudar y es la vía de salida desde la fuente respiratoria de numerosos agentes infecciosos.

Sin embargo, los diversos estudios han dejado aun lado la posible incidencia en la relación extramural – intramural en cuanto a la calidad del aire en unidades de atención de salud. Debido a ello se comenzaron a buscar mecanismos y acciones que disminuyeran la contaminación aérea en el ámbito hospitalario y por ende, mejorar la calidad del aire dentro de las entidades, minimizando la posible incidencia que esta puede generar en la calidad de aire exterior y su circulación interna, especialmente en las áreas donde los pacientes, ya sea por su

---

<sup>10</sup> Skinner D, Keefer CS. Significance of bacteremia caused by *Staphylococcus aureus*. Arch Intern Med 1941;68:851-875

<sup>11</sup> CHIH, Shan Li. Bioaerosol characteristics in hospital clean rooms. En The Science of the Total Environment. (Jun. 2002); p. 2

<sup>12</sup> ECI. RODOLFO HECTOR CERMINARA, Control del aire en los hospitales. Hospital Nacional de Pediatría

enfermedad de base o por su tratamiento, son considerados huéspedes inmunocomprometidos.

El aire del medio ambiente, en reglas generales, no resulta perjudicial para la salud de las personas sanas. El aire que se respira en una Institución de Salud, donde los pacientes internados tienen distintos grados de inmunosupresión, debe estar estrictamente controlado. Es por ello que, para evitar los perjuicios que el aire mal tratado puede ocasionar a pacientes y profesionales de la salud, deben tenerse en cuenta ciertas medidas para evitar las infecciones intrahospitalarias que tienen su origen en una transmisión aérea.

Se espera que a partir de la información que se genere se puedan implementar las medidas correctivas requeridas y favorecer la recuperación ambiental de la zona con una mejor calidad del aire para todos.

Es por lo anterior que es importante hacer ver tanto a las instituciones públicas y privadas del servicio de salud, la importancia que toma conocer y controlar el recurso aire, ya que este tiene incidencia directa en la afectación a la salud humana y a la calidad de vida.

La calidad del aire debe ser tomado como factor determinante para el desarrollo social, económico y ambiental la calidad del aire en las instituciones prestadoras de salud y la incidencia que en ellas tienen las corrientes de aire exteriores que pueden transportar aerosoles y Bioaerosoles por mecanismos físicos como la dispersión deteriorando la calidad de aire en sistema cerrados y posibilitando la formación de focos nosocomiales por la presencia de microorganismos patógenos que entrando al sistema se convierten en nosocomiales y atentan contra un adecuado ambiente intrahospitalario.

Un estudio publicado en la MEDSCIMONIT, en el cual se desarrollan guías prácticas para el fácil manejo y control de la calidad del aire interna. Sistemas de Ingeniería para aplicar en diferentes departamentos y áreas de los hospitales teniendo como base los requerimientos técnicos para una saludable calidad del aire.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Control and management of hospital indoor air quality. Michael Leung Recivido 2004.11.17. Aceptado 2005.06.14 Publicado 2006.03.01. Med Sci Monit., <http://www.medscimonit.com/fulltxt.php?IDMAN=6641>



## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AIRE EN HOSPITALES

La caracterización de bioaerosoles se ha convertido en un tema importante porque relaciona efectos sobre la salud. Es por esto, que el **control de la calidad del aire interno (IAQ)** juega un papel importante en la prevención de infecciones en hospitales para proteger tanto a pacientes, como a personal del hospital; especialmente a pacientes inmunosuprimidos e inmunocomprometidos, quienes tienen alta susceptibilidad a los efectos adversos de productos químicos y microbios aerotransportados.

Un hospital pobre en (IAQ) puede ser el comienzo del **síndrome del hospital enfermo (SHS)** causando: dolores de cabeza, irritación en piel y ojos y otros síntomas. Además de manera mas seria un inadecuado (IAQ) puede causar infecciones nosocomiales (adquiridas en hospital) y enfermedades ocupacionales.

La contaminación de agentes microbianos e infecciones son serios factores en la IAQ. Microbios patógenos con diámetros de 1 a 5  $\mu\text{m}$  que pueden estar suspendidos en el aire, permitiendo enfermedades que son fácilmente transmitibles. En la **tabla 1** se presentan las posibles fuentes de microbios perjudiciales, incluyendo los multiresistentes a drogas, *Mycobacterium tuberculosis* (TB), *Legionella*, *Staphylococcus aureus* meticilo resistente, y *Esporas de Aspergillus*.

#### 2.1.1 Quirófanos

Infecciones adquiridas en quirófanos son la principal preocupación de las cirujías. La Flora normal de piel de pacientes o trabajadores de la salud causa más de la mitad de todas las infecciones que siguen a una cirugía limpia, pero la importancia de la bacteria en el aire en esta escena es aun polémica.

En la actualidad los quirófanos modernos que cumplen con las normas vigentes sobre la calidad del aire están prácticamente libres de partículas de más de 0,5  $\mu\text{m}$  (incluso bacterias) cuando no hay nadie adentro<sup>14</sup>. La actividad del personal de quirófano es el principal foco de bacterias transmitidas por el aire, que se originan sobre todo en la piel de las personas que lo ocupan. El número de bacterias transmitidas por el aire depende de ocho factores (tabla 2).

---

<sup>14</sup> Organización Mundial de la Salud. Prevención de las infecciones nosocomiales: Guía práctica. [en línea]. [s.e] [Citado: 16 de agosto/2006]. Disponible en: <http://www.who.int/csr/resources/publications/drugresist/PISpanish3.pdf>

**Tabla 1. Fuente de los contaminantes microbianos en suspensión en el aire.**

<b>Contaminantes</b>	<b>Fuentes</b>
TB Bacteria	Cuando un paciente con TB activa tose, estornuda, o habla, se generaran gotitas de tuberculosis en suspensión en el aire.
Legionella	Una fuente de esta bacteria en los hospitales es la alta neblina en las torres de enfriamiento. Involucrados a continuación en el medio ambiente a través de la toma de aire externo. Otras fuentes probables son condensadores, evaporadores, sistemas de agua potables y sistemas de agua caliente.
Staphylococcus Aureus	Las bacterias están presentes en la piel, y en la nariz, la sangre, y la orina de un paciente infectado. Durante algunos procedimientos quirúrgicos que requieren el uso de herramientas eléctricas, como las sierras de oscilación hueso y huesos surcos, se generan aerosoles microbianos.
Esporas de Aspergillus	La renovación de instalaciones y trabajos de construcción en los hospitales son las principales fuentes de aerosoles de esporas de <i>Aspergillus</i> . Las esporas de hongos del suelo, las plantas, los animales y las partículas de polvo pueden adherirse a la ropa de trabajadores y visitantes.

Fuente: LEUNG, Michael y CHAN, Alan H.S. Control and management of hospital indoor air quality.2006

**Tabla 2. Factores que influyen en la contaminación del quirófano transmitida por el aire**

<b>FACTORES</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tipo de intervención quirúrgica.</li> <li>2. Calidad del aire proporcionado.</li> <li>3. Número de ciclos de recambio de aire.</li> <li>4. Número de personas dentro del quirófano.</li> <li>5. Movimiento del personal del quirófano.</li> <li>6. Grado de cumplimiento con las prácticas de control de infecciones.</li> <li>7. Calidad de la ropa del personal.</li> <li>8. Calidad del proceso de limpieza.</li> </ol>

Fuente: OMS, Prevención de las infecciones nosocomiales. 2003

### 2.1.1.1 Clasificación de Quirófanos

La clasificación de quirófanos es muy importante en el momento de determinar tanto las condiciones ambientales del lugar como la calidad del aire que debe tener el habitáculo con respecto al tipo de cirugía que se llevara a cabo en el. Con respecto a lo anterior y de acuerdo a el criterio de climatización, es decir las condiciones ambientales básicas que debe reunir el sistema para un óptimo funcionamiento tales como temperatura, humedad relativa, presión, ventilación entre otras, los quirófanos se clasifican<sup>15</sup> en:

- 1 Quirófanos de cirugía normal: Grupo I
- 2 Quirófanos de cirugía especial: Grupo II
  - Transplante de órganos
  - Cirugía Cardíaca
  - Cirugía Vasculiar con implante
  - Neurocirugía
  - Cirugía ortopédica o con prótesis

Por consiguiente; y teniendo en cuenta la clasificación anterior, los valores admisibles de concentración de bacterias en el aire para un quirófano tipo II, en nuestro caso en particular para la realización de cirugía ortopédica son:

**Tabla 3. Concentración de Bacterias en Quirófanos**

<b>CONCENTRACIONES</b>
<b>Ambiente muy limpio: &lt; 10 Ufc/m<sup>3</sup></b>
<b>Ambiente limpio: 10 - 100 Ufc/m<sup>3</sup></b>
<b>Ambiente aceptable: 100 - 200 Ufc/m<sup>3</sup></b>

FUENTE: Servicio Vasco de Salud. Manual de normas para el control de la infección nosocomial: Anexo I. 1997.

### 2.1.1.2 Control microbiológico ambiental en quirófanos

Debido a que en el sistema se alojan microorganismos que pueden estar presentes en el ambiente y dar lugar a enfermedades, sobre todo en enfermos con el sistema inmunológico deprimido; se hace necesario identificar los tipos de

---

<sup>15</sup> Servicio vasco de salud, Op.Cit., p. 48.

patógenos mas frecuentes, que con respecto a las bacterias su tamaño oscila entre 0,2 y 50  $\mu\text{m}$ , pero la media está entre 0,5 - 1  $\mu\text{m}$ .

Su clasificación según Tinción de Gram (+ y – en función de su pared celular y por tanto en su forma de actuar) y morfología (cocos y bacilos) podemos encontrar:(Ver tabla 2).

Con respecto a los hongos podemos decir:

- Son microorganismos eucarióticos no fotosintéticos.
- Se dividen en tres grandes grupos: filamentosos (*Aspergillus*), levaduras (*Cándida*, *Rhodotorula*) y setas.
- Son terrestres

Los hongos filamentosos producen numerosas esporas que se dispersan por el aire a partir de estructuras microscópicas (productoras de esporas en los mohos) y de estructuras grandes (productoras de esporas en los macro hongos).

Existen esporas de muchos mohos diferentes en el aire de las casas y de los lugares de trabajo no industriales, pero probablemente los más frecuentes sean las especies de *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Eurotium*. Algunos mohos presentes en el aire interior, como las especies de *Cladosporium*, son abundantes en las superficies de las hojas y de otras partes de las plantas del exterior, en particular en verano.

En cualquier caso, aunque las esporas presentes en el aire interior pueden originarse en el exterior, la *Cladosporium* también es capaz de crecer y producir esporas sobre superficies húmedas en el interior, contribuyendo así a la carga biológica del aire interior. En la mayoría de las muestras de aire interior se encuentran levaduras, y en ocasiones pueden estar presentes a niveles elevados<sup>16</sup>.

La importancia de cada uno de los microorganismos aquí mencionados radica en su **PATOGENICIDAD**; es decir la capacidad de un microbio para producir enfermedad. Para ser un patógeno eficaz de una enfermedad transmisible<sup>17</sup>, un microorganismo debe ser capaz de:

- Sobrevivir el paso de un huésped a otro o de un reservorio a un huésped.
- Adherirse o penetrar a los tejidos del huésped.

---

<sup>16</sup> Guardino Solá, *Xavier*. Calidad del aire interior. En: Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. p. 40.

<sup>17</sup> Mecanismos de patogenicidad microbiana. [en línea]. [s.e] [Citado: 8 de septiembre/2006]. Disponible en: [http://www.ucv.ve/Farmacia/Micro\\_web/Catedras02/tema9.pdf](http://www.ucv.ve/Farmacia/Micro_web/Catedras02/tema9.pdf)

- Resistir a los mecanismos de defensa del huésped por un período de tiempo.
- Inducir lesión o disfunción de los tejidos del huésped.

Las bacterias causan enfermedades por dos mecanismos básicos:

- Invasión a los tejidos (INVASIVIDAD).
- Producción de toxinas (TOXIGENICIDAD).

La invasión causa daños demostrables en el sitio donde se localiza el patógeno, mientras que las toxinas solubles como son transportadas por la linfa y la sangre pueden causar efectos citotóxicos en sitios lejanos a la lesión original. Algunas de las bacterias deben su patogenicidad a uno solo de los mecanismos, mientras que otras poseen ambos mecanismos. Por ejemplo el *Streptococo pyogenes* posee capacidad invasora y toxigénica.

**Tabla 4. Bacterias de mayor frecuencia encontradas en salas de cirugía**

TINCIÓN DE GRAM Y MORFOLOGIA	ESPECIE	CARACTERISTICAS
Cocos Gram Positivos <sup>18</sup>	<i>Estafilococo</i>	<p>El género comprende en la actualidad a 35 especies y 17 subespecies, muchas de las cuales se encuentran en los humanos. Las especies que se asocian con más frecuencia a las enfermedades en humanos son <i>Staphylococcus aureus</i> (el miembro más virulento y conocido del género), <i>Staphylococcus epidermidis</i>, <i>Staphylococcus saprophiticus</i>, <i>Staphylococcus capitis</i> y <i>Staphylococcus haemolyticus</i>. Las enfermedades estafilocócicas adquiridas intrahospitalarias son el problema principal, y la prevención y control de estas infecciones depende del esfuerzo combinado de todo el personal del hospital.</p> <p>Estas bacterias se encuentran agrupadas en racimos de uva, característica que es el fundamento de su nombre del griego <i>Staphyle</i> que significa racimo de uva. Esta bacteria es Gram Positiva, no formadora de esporas y algunas de sus cepas tienen capsula notable. El <i>S. aureus</i> produce colonias redondas, abultadas, colonias opacas que tiene color amarillo oro, este microorganismos se diferencia de otros por su</p>

<sup>18</sup> PEREZ, Ramón. y JUAREZ, Antonio. Bioquímica de microorganismo. México : Ed reverté S.A 1997. p. 307

		habilidad para coagular el plasma.
	<b>Streptococo</b>	<p>Semejan cadenas de diferentes longitudes. Son moderadamente resistentes a los factores ambientales, significan que pueden permanecer vivas durante días o semanas después de ser eliminadas del cuerpo.</p> <p>El estreptococo se desarrolla bien en medios de sangre y muchas especies secretan hemolisina y producen diferentes patrones de áreas de hemólisis alrededor de las colonias. Estas zonas de hemólisis se emplean para hacer identificación preliminar de los grupos estreptococos. Una zona clara alrededor de la de la colonia se llama <i>hemólisis – beta</i>. Una zona de color verdoso opaco se llama <i>hemólisis – alpha</i>. Algunas especies no producen hemólisis.</p> <p>Las infecciones mas importantes causadas por estreptococo en el hombre la causada por la especie de <i>Streptococcus pyogenes</i>. La bacteria <i>Streptococcus pneumonia</i>, es la principal causa de neumonía.</p>
<b>Bacilos Gram Negativos<sup>19</sup></b>	<b>Klebsiella</b>	<p>Pertenece a la familia de las enterobacterias .Los representantes más importantes son <i>Klebsiella oxytoca</i> y <i>Klebsiella pneumoniae</i> es la <u>especie</u> de mayor relevancia clínica dentro del género bacteriano <i>Klebsiella</i>, compuesto por <u>bacterias gramnegativas</u> de la familia <i>Enterobacteriaceae</i>, que desempeñan un importante papel como causa de las <u>enfermedades infecciosas oportunistas</u>.</p> <p>Las Klebsiellas son inmóviles, poseen una cápsula polisacárida y pueden cultivarse fácilmente en medios de cultivo sencillos. Las colonias son grandes y mucosas. La mayor parte de las cepas pueden absorber glucosa y citratos como única fuente de carbono. Las enfermedades provocadas por <i>Klebsiella</i> son principalmente neumonía (neumonía de Friedländer), sepsis e infección urinaria.</p>
	<b>Escherichia Coli</b>	<p>Junto a otras especies de incidencia excepcional, forma el género <b>Escherichia</b>. Constituye la especie dominante de la flora aerobia del tubo digestivo, más de 10 serotipos coexisten normalmente en el</p>

<sup>19</sup> ALGORTA Gabriela. Bacilos gram negativos no exigentes: *enterobacteriaceae*, *vibrionaceae*, *pseudomonas*. [en línea]. [s.e] [Citado: 8 de septiembre/2006]. Disponible en: <http://www.higiene.edu.uy>

		mismo individuo. Son estas mismas bacterias integrantes de la flora normal las que pueden causar en diversas circunstancias infecciones urinarias, septicemias, meningitis etc.
	<b>Pseudomona</b>	De las numerosas especies de <b>Pseudomonas</b> sólo unas pocas tienen importancia en patología humana. En particular la especie <b>Pseudomonas aeruginosa</b> por su frecuencia en patología humana esta mejor estudiada que otros. Es un microorganismo versátil, ampliamente distribuido en el suelo, agua, plantas e intestino de animales. Puede causar enfermedad en el hombre, ciertos animales, plantas e insectos.
		Es susceptible a la desecación, pero sus habilidades metabólicas le permiten sobrevivir y multiplicarse en líquidos y ambientes húmedos de los hospitales. Las infecciones humanas están la mayoría restringidas a los pacientes hospitalizados que adquieren el microorganismo de fuentes ambientales (infección exógena) por contacto con vectores humanos o inanimados.

Fuente: Hernandez, Magda y León, Sonia 2008

### 2.1.2 Medición de agentes biológicos

Con la medición se busca determinar la concentración de los agentes contaminantes en un ambiente para nuestro estudio específico, en el aire. Ello implica dos aspectos fundamentales:

- a) La toma de muestras
- b) El análisis de las mismas.

Hasta donde fuera posible, la proporción relativa de un agente biológico en una muestra debería reflejar su proporción en el material original<sup>20</sup>. Para lograr esto, la muestra debe ser manipulada de tal forma que no se deteriore o pueda ser contaminada durante su toma, transporte y análisis, para que así los agentes biológicos sufran los mínimos cambios posibles.

Por lo tanto, al iniciar la evaluación de una posible exposición a agentes biológicos hay que tener claro de que manera la medición puede ayudar o complicar dicha evaluación.

---

<sup>20</sup> INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, NTP 608 Agentes biológicos: planificación de la medición [en línea]. [s.e] España. [Citado: 7 de mayo/2006]. Disponible en Internet: [http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_608.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_608.htm)

En la Tabla que recogen los puntos que se deben tomar en consideración al momento de planificar la medición; teniendo en cuenta cada uno de los recursos que intervienen en ella (humano, técnico, espacial y temporal) permitiéndonos de esta manera visualizar como la unión de cada uno de estos, llevaran a una medición exitosa.

**Tabla 5. Planificación de la medición.**

1. La naturaleza y los niveles previsible de agentes biológicos.
2. La caracterización de la exposición (concentración promedio, la peor situación, etc.).
3. La idoneidad, coste y disponibilidad de los equipos de toma de muestras.
4. El coste y disponibilidad de los diversos métodos de análisis.
5. Las limitaciones que el método de análisis pueda imponer al muestreo.
6. Las limitaciones que pueden suponer el tiempo y el transporte de las muestras al laboratorio.
7. La experiencia de los técnicos (prevencionistas, analistas, etc.).

Fuente: NTP 608. Agentes biológicos: planificación de la medición.

### **2.1.2.1 Equipo**

La elección de un muestreador de bioaerosoles depende del agente biológico que lo conforma y es objeto de interés, de la información que se desee obtener, de la concentración previsible de bioaerosol y del diámetro aerodinámico de las partículas<sup>21</sup>. Otros aspectos que pueden condicionar la elección del equipo de toma de muestras son las condiciones ambientales y determinados factores ligados al equipo.

El equipo utilizado para este estudio fue el muestreador MÁS 100 de Merck. En la actualidad los métodos mas usados para la cuantificación de gérmenes actuales se basan en el principio de Impactación. El MÁS 100 trata de corregir las fallas de los anteriores aparatos ya existentes.

El MÁS 100 se basa en el principio de aspiración de Andersen, que aspira aire por una placa perforada. El aire y las partículas que contiene se dirigen hacia la superficie de agar en una caja de petri. Después de tomada la muestra se procede a incubar o cultivar los microorganismos impactados en el medio y al recuento de colonias, cuyo resultado se presenta en Unidades formadoras de colonia (UFC). El equipo utiliza un aspirador de alta potencia y controla el volumen de forma continua. Este sistema mide la corriente de aire entrante y regula el aire aspirado

---

<sup>21</sup> NTP 608, Op.Cit., p. 7.



hasta obtener un caudal constante. Si la corriente de aire no es constante se regula automáticamente.

El Caudal se escoge según el lugar a muestrear, para la industria Farmacéutica es 1000 L / min requiere grandes volúmenes ya que se supone que hay pocos UFC, para ambiente se usa 500 litros por minuto un volumen menor puesto que hay más posibilidades de aparición de UFC. El equipo tiene los siguientes Volúmenes de acumulación 50, 100, 250, 500, 1000<sup>22</sup>.

El caudal de aire del MÁS 100 es de 100 litros por minuto. En cada ciclo pueden acumularse hasta 2000 litros de aire. Este rendimiento cumple con las exigencias impuestas en el control de aire en áreas asépticas.

La velocidad de impacto de los microorganismos sobre la superficie del agar es de 11 metros por segundo, coincidiendo con el nivel 5 del muestreador de Andersen. Esta velocidad garantiza la recolección de todas las partículas de tamaño superior a 1 micrómetro. Estudios comparativos demostraron que no se encuentran diferencias significativas, con otros medios de captación de microorganismos.

Tabla de corrección estadística según “Feller”. A mayor cantidad de partículas, mayor es la posibilidad de recolectar dos a través de un mismo orificio. En el caso de los microorganismos, dos gérmenes que se encuentren muy próximos sólo formaran una colonia. Esto se puede corregir estadísticamente con la ayuda de la fórmula descrita por Feller la cual:

$$Pr = N \cdot (1/N + 1/N - 1 + 1/N - 2 + \dots + 1/N - r + 1)$$

Donde:

Pr = N

N: Representa los 400 orificios de la tapa del equipo

r: número de colonias

Pr: número total de probabilidad estadística de gérmenes

### 2.1.3 Enfermedad nosocomial

Es de vital importancia para la comprensión de la investigación definir el concepto teórico de la problemática que viven los establecimientos de salud, el cual a pesar de su progreso en atención hospitalaria y salud pública sigue manifestando infecciones en pacientes hospitalizados, las cuales también pueden llegar afectar al personal que labora en el hospital ya que en la actualidad la transmisión aérea ha adquirido mayor importancia en la Infección Nosocomial.

---

<sup>22</sup> Manual Equipo MÁS 100. Merck

Una infección nosocomial puede definirse de la manera siguiente: Una infección contraída en el hospital por un paciente internado por una razón distinta de esa infección, pero manifiestas después del alta hospitalaria y también las infecciones ocupacionales del personal del establecimiento (Ducel G, Benenson American Public Health Association, 1995.). Esta es una particular problemática en los hospitales, donde los pacientes se ven atacados por la flora del lugar, la cual esta compuesta por las bacterias propias de la institución que han adquirido resistencia a uno o más fármacos. Los pacientes, debido a que su inmunidad está disminuida, corren alto riesgo de morir de estas infecciones y el tratamiento de las mismas consume altos costos debido a que se deben usar antibióticas de última generación.

Las infecciones nosocomiales más frecuentes son las de heridas quirúrgicas, las vías urinarias y las vías respiratorias inferiores. En un estudio realizado por la OMS y en otros se ha demostrado también que la máxima prevalencia de infecciones nosocomiales ocurre en unidades de cuidados intensivos y en pabellones quirúrgicos y ortopédicos de atención de enfermedades agudas. Las tasas de prevalencia de infección son mayores en pacientes con mayor vulnerabilidad por causa de edad avanzada, enfermedad subyacente o quimioterapia.

### 2.1.3.1 Manifestación de la Infección

Para evitar una posible epidemia, es importante que tanto el personal de la dependencia o departamento encargado del control y vigilancia de infecciones nosocomiales, como el personal que labora en las salas de cirugía; conozcan a cabalidad todos aquellos factores que pueden incidir en el desarrollo de este tipo de infecciones, para así, cuando alguno de estos se manifieste se pueda corregir a tiempo y de esta manera evitar un futuro problema epidemiológico. A continuación en la tabla se mencionara cada uno de estos factores<sup>23</sup>.

**Tabla 6. Factores Influyentes en la manifestación de las Infecciones Nosocomiales**

<i>Agente microbiano</i>	<i>Vulnerabilidad de los pacientes</i>	<i>Factores ambientales</i>	<i>Resistencia bacteriana</i>
La generación de infecciones depende, en parte, de las características de los	Los factores de importancia para los pacientes que influyen en la posibilidad de	Los principales factores que intervienen, son: a. Humedad relativa	Los antibióticos promueven el surgimiento de cepas de bacterias polifarmacorresistentes; se reduce la proliferación

<sup>23</sup>Organización mundial de la salud: Prevención de las infecciones nosocomiales, Op.Cit.,p. 2-3

<p>microorganismos, incluso la resistencia a los antimicrobianos, la virulencia intrínseca y la cantidad de material infeccioso (inóculo). Casi todas las infecciones nosocomiales son causadas por microorganismos comunes en la población en general, (Staphylococcus aureus, estafilococos negativos a la coagulasa, enterococos y Enterobacteriaceae</p>	<p>contraer una infección comprenden la edad, el estado de inmunidad, cualquier enfermedad subyacente y las intervenciones diagnósticas y terapéuticas.</p>	<p>b. Temperatura c. Oxígeno</p> <p>Otros factores característicos de ambientes al aire libre (presencia de iones, radiación solar.)</p>	<p>de microorganismos en la flora humana normal sensibles al medicamento administrado, pero las cepas resistentes persisten y pueden llegar a ser endémicas en el hospital. En algunos casos, dichos productos son menos eficaces por causa de resistencia. Con la mayor intensificación del uso de un agente antimicrobiano, a la larga surgirán bacterias resistentes a ese producto, que pueden propagarse en el establecimiento de atención de salud.</p>
--	---	--	---

Fuente: Hernandez, Magda y León, Sonia 2008

Con respecto a los factores ambientales además de gobernar el comportamiento aerodinámico de los bioaerosoles, también determinan su estabilidad y viabilidad, debido a la gran importancia de su compresión para este trabajo; a continuación se profundizara en los siguientes factores<sup>24</sup>:

- **Humedad relativa:**

Es el factor más importante. Cuando la humedad relativa del aire decrece, disminuye el agua disponible para los microorganismos, lo que causa deshidratación y por tanto la inactivación de muchos de ellos. La desecación puede causar una pérdida de viabilidad en las capas más bajas de la atmósfera, especialmente durante el día. La humedad relativa de la atmósfera varía de un 10-20 % en las regiones desérticas. El límite menor para el crecimiento de hongos es del 65 %. Las bacterias requieren una mayor humedad. Las Gram negativas resisten peor la desecación que las positivas; esto se refleja en que existe poca evidencia de transmisión por el aire de bacterias Gram negativas, con la excepción de *Legionella*.

---

<sup>24</sup> DE LA ROSA, MOSSO, Y ULLAN. El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. En: Observatorio Medioambiental. Vol 5 (2002); p. 387-389.

- **Temperatura:**

Está muy relacionada con la humedad relativa, por lo que es difícil separar los efectos que producen ambas. La temperatura en la troposfera varía de 40° C cerca de la superficie, a 80° C en las capas altas, alcanzándose temperaturas de congelación entre 3-5 Km. La congelación no destruye los microorganismos pero no pueden multiplicarse. Diversos estudios muestran que el incremento de la temperatura disminuye la viabilidad de los microorganismos.

- **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 los radicales libres de oxígeno.

En la tabla 7 también mencionábamos la resistencia de las bacterias a los antibióticos. Existen gérmenes nosocomiales que son resistentes a todos los antibióticos (multiresistentes). Los gérmenes más importantes son la *Klebsilla*, el *Stafilococo aureus*, el *Neumococo*, la *Pseudomona*, el *Enterococo*, y otros más. A continuación se citan los antibióticos utilizados para esta investigación y sus principales características:

**Tabla 7. Generalidades de antibióticos utilizados en la investigación.**

ANTIBIOTICO	CARACTERISTICAS
Ampicilina	Es la primera penicilina semi-sintética de mayor espectro dada la aparición de cepas resistentes. Las penicilinas son muy activas contra muchas bacterias, especialmente los microorganismos gram positivos, y en general tiene una baja toxicidad para las células humanas. Algunas especies son: <i>Escherichia coli</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Enterococos</i> , <i>Shigella</i> , <i>N. gonorrhoeae</i> , <i>H. influenzae</i> , <i>Estafilococos</i> , <i>Streptococos</i> <sup>25</sup>
Vancomicina	Es un antibiótico glicopéptido, se utiliza para el tratamiento de las infecciones causadas por cepas susceptibles de estafilococos resistentes a la meticilina (resistentes a las beta - lactamasas). <sup>26</sup>
Oxacilina	Es un antibiótico betalactámico (penicilínico) bactericida. Su espectro se limita a bacterias grampositivas como:

---

<sup>25</sup> THE MEDICINE CHEST. Disponible en: [http://www.wellcome.ac.uk/doc\\_WTX026108.html](http://www.wellcome.ac.uk/doc_WTX026108.html) (Jul.2005) [Consultada Diciembre 13 de 2007]

<sup>26</sup> *Ibid.*, p.1

	estafilococos, <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Streptococcus pneumoniae</i> . <sup>27</sup>
Ciprofloxacina	Es un agente antimicrobiano de la clase de las fluoroquinolonas. Es activo frente a un amplio espectro de gérmenes gram-negativos aerobios, incluyendo patógenos entéricos, <i>Pseudomonas</i> y <i>Serratia marcescens</i> , aunque ya han empezado a aparecer cepas de <i>Pseudomonas</i> y <i>Serratia</i> resistentes. Igualmente es activo frente a gérmenes gram-positivos, aunque también se han detectado resistencias en algunas cepas de <i>Staphylococcus aureus</i> y pneumococos. <sup>28</sup>
Rifampicina	Es un <u>antibiótico</u> bactericida del grupo de las rifamicinas. Es un componente semisintético derivado de <i>Amycolatopsis rifamycinica</i> . Se utiliza en el tratamiento de la tuberculosis, También se utiliza para tratar portadores asintomáticos de la <i>Neisseria meningitidis</i> , como profiláctico frente al <i>H. influenzae</i> tipo B, y en el tratamiento de la lepra. También es eficaz en las infecciones por <i>Legionella</i> , estafilococos y micobacterias atípicas <sup>29</sup>
Eritromicina	Es un macrólido es bacteriostática. Tiene amplio espectro antimicrobiano contra ls bacterias grampositivas y algunas gramnegativas. Los microorganismos más sensibles incluyen a <i>S. pneumoniae</i> , <i>S. pyoogenes</i> , <i>C. diptheriae</i> , <i>B. pertussis</i> , <i>L. P. neumophilia</i> , <i>M. pneumoniae</i> , <i>C. trachomatis</i> , <i>C. pneumoniae</i> <sup>30</sup> .
Cefalotina	Es una cefalosporina, la estructura básica contiene el anillo betalactámico, unido a un anillo de seis miembros. Las cefalotinas tienen adiciones complejas, son antibióticos semisintéticos y son cefalosporinas de primera generación que son muy activas contra patógenos Grampositivos y moderadamente eficaces contra algunos microorganismos Gramnegativos. <sup>31</sup>
Cefepime	Es una cefalosporina de tercera generación, son muy eficaces contra muchas bacterias Gramnegativas, pero son menos activas contra las Grampositivas, en partículas los <i>estafilococos</i> . Puede tener cierta actividad contra anaerobios y <i>Pseudomonas spp</i> <sup>32</sup>
Clindamicina	La clindamicina es una Lincosamina, son bacteriostáticas. Se

<sup>27</sup> INDICE FARMACEUTICO. Disponible en: [http://www.medicohomepage.com/db4/farma/data/robots/oxacilina\\_pa.htm](http://www.medicohomepage.com/db4/farma/data/robots/oxacilina_pa.htm) (Mayo. 2003). [Consultada Diciembre 13 de 2007]

<sup>28</sup> INSTITUTO QUÍMICO BIOLÓGICO. Vademecum. Disponible en: <http://www.iqb.es/cbasicas/farma/farma04/c058.htm> (Marzo. 2003). [Consultada Diciembre 13 de 2007].

<sup>29</sup> *Ibid.*, p.1

<sup>30</sup> ZEPEDA MENDOZA, Antimicrobianos. Instituto Politécnico Nacional. 2002.p.93

<sup>31</sup> *Ibid.*, p.61.

<sup>32</sup> *Ibid.*, p.61.

	usa para tratar infecciones por cocos Grampositivos y anaerobios como los estafilococos neumococos, <i>S. pyogenes</i> y <i>Streptococcus viridans</i> y contra la mayoría de los anaerobios. <sup>33</sup>
Ceftazidime	Es una cefalosporina de cuarta generación, son muy eficaces contra muchas bacterias Gramnegativas, pero son menos activas contra las Grampositivas, en particular los <i>estafilococos</i> . Puede tener cierta actividad contra anaerobios y <i>Pseudomonas spp.</i> <sup>34</sup>

## 2.1.4 EDIFICIO ENFERMO

Existe toda una serie de trastornos que hacen referencia a diversos síntomas y a las condiciones de los edificios EDIFICIO ENFERMO (SBS, del inglés “sick building syndrome”); se relacionan con la irritación de las membranas mucosas, dolor de cabeza y fatiga por causas desconocidas. Entre los síntomas más comunes generados por los bioaerosoles se encuentran: irritación e infecciones del tracto respiratorio, irritación de los ojos y otros tejidos húmedos, incluso de las terminaciones nerviosas en el lugar de acción, dificultades mecánicas en la respiración, agravamiento de males cardiaco-respiratorios, impacto en el sistema inmunológico, cambios morfológicos de las membranas pulmonares, problemas digestivos, etc.<sup>35</sup>

En general, es difícil realizar un control de los bioaerosoles que se producen en el ambiente exterior, pero sí es posible controlar su presencia y concentración en los ambientes interiores, bien sea impidiendo la entrada de los aerosoles exteriores, impidiendo la contaminación de los lugares interiores, o si ésta se ha producido, eliminando los materiales contaminados y por tanto la fuente de amplificación y diseminación interior. Por consiguiente a continuación se teorizara el concepto de bioaerosol para su total comprensión.

### 2.1.4.1 Generalidades de los bioaerosoles

Los bioaerosoles son partículas de tamaño microscópico suspendidas y transportadas por el aire, constituidas por seres vivos, o moléculas grandes que han sido liberadas por un ser vivo. El diámetro de las partículas constitutivas de los aerosoles oscila desde el submicroscópico (< 0.1 µm) hasta el superior a los

<sup>33</sup> *Ibíd.*, p.81.

<sup>34</sup> *Ibíd.*, p.61.

<sup>35</sup> CASTAÑEDA ROLDÁN ELSA IRACENA, Cuantificación de bioaerosoles en las áreas de proceso de una industria zapatera poblana y su relación con la salud de los trabajadores [en línea]. [s.e] España. [Citado: 4 de septiembre/2006]. Disponible en Internet: <http://www.amimc.org.mx/revista/2006/26-1/cuantificacion.htm>.

100 µm. Pueden afectar a los seres humanos causándoles algún tipo de alergia, toxicidad o infección. En los últimos años se ha venido estudiando la asociación de los bioaerosoles con el síndrome del edificio enfermo y algunas de sus enfermedades tales como: el asma alérgica, la rinitis alérgica, Legionelosis, Fiebre, dermatitis alérgica atópica, y alveolitis alérgica extrínseca (AAE), también conocida como neumonitis por hipersensibilidad (NH).<sup>36</sup>

Los bioaerosoles pueden estar conformados por virus, bacterias, esporas, polen y en general cualquier microorganismo (Cox y Wathes, 1995). La característica más relevante de los bioaerosoles es el comportamiento aerodinámico que presentan estas partículas, cuando son emitidas al aire; este comportamiento está gobernado por los principios de la gravitación, electromagnetismo, turbulencia y difusión. Una vez que se encuentran en suspensión, también influyen sus propiedades físicas (forma, tamaño y densidad) y las condiciones medioambientales (corrientes de aire, humedad y temperatura).<sup>37</sup>

Para que se llegue a producir un aerosol a partir de un organismo o sus partes, debe ocurrir un fenómeno llamado aerolización, el cual requiere de tres condiciones<sup>38</sup>:

- a) Presencia de un reservorio: La naturaleza del reservorio depende del organismo en cuestión; los reservorios de los organismos parásitos están constituidos por otros seres vivos. Los virus, algunas bacterias y determinados hongos que son parásitos obligados, sólo pueden crecer en huéspedes vivos, ya que fuera del organismo no pueden sobrevivir, y, por tanto, no se desarrollan en reservorios ambientales. La mayor parte de las bacterias y ciertos hongos son parásitos facultativos, por lo que pueden vivir y desarrollarse en organismos vivos o sobre materia orgánica no viva, teniendo algunos de ellos sus reservorios en huéspedes humanos, como es el caso de *Mycobacterium tuberculosis* (la bacteria causante de la tuberculosis humana), mientras otros los tienen en el medio ambiental, como *Legionella* (el agente causante de la legionelosis).
- b) Proceso de amplificación: consiste en el aumento en número o en concentración de los organismos, sus partes o componentes; este es un

---

<sup>36</sup> INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, NTP 288 Síndrome del edificio enfermo: enfermedades relacionadas y papel de los bioaerosoles [en línea]. [s.e] España. [Citado: 4 de septiembre/2006]. Disponible en Internet: [http://www.mtas.es/insh/ntp/ntp\\_288.htm](http://www.mtas.es/insh/ntp/ntp_288.htm)

<sup>37</sup> SÁNCHEZ-MONEDERO M. A Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos orgánicos [en línea]. [s.e]. [Citado: 4 de septiembre/2006] 2003. Disponible en Internet: <http://www.uady.mx/sitios/ingenier/revista/volumen10/emision.pdf#search='bioaerosoles'>

<sup>38</sup> NTP 288, Op. cit., p. 1.

proceso imprescindible, ya que sin él la diseminación, el proceso de dispersión de las partículas constitutivas del bioaerosol, no tendría ningún efecto porque la cantidad de material dispersado sería muy insignificante. En los parásitos obligados la amplificación tiene lugar en el propio huésped.

- c) Diseminación o Aerolización: la diseminación se produce desde el mismo, como es el caso del virus de la gripe, que se disemina por la tos y los estornudos de los individuos enfermos. Por el contrario, en el caso de *Legionella*, una bacteria que normalmente se encuentra en las corrientes de agua naturales y en el agua del suelo, se amplifica, por ejemplo, en las torres de refrigeración y se disemina a partir de los efluentes que salen de ellas, pudiendo entrar en contacto con los seres humanos, cuyas células invadirá produciéndose la enfermedad.

#### **2.1.4.2 Permanencia en la atmósfera**

El tiempo que permanecen los microorganismos en el aire depende de la forma, tamaño y peso del microorganismo y de la existencia y potencia de las corrientes aéreas que los sostengan y los eleven. Son factores adversos los obstáculos, que al oponerse a los vientos, disminuyen su velocidad y su potencia de arrastre, y las precipitaciones, que arrastran al suelo las partículas suspendidas.

La sedimentación de los microorganismos por gravedad sólo es importante en el aire en calma. Generalmente, hay demasiadas turbulencias para que esto suceda, excepto en zonas de vegetación densa, donde la velocidad del viento disminuye, o en condiciones estables durante la noche, cuando la capa laminar limitante alcanza varios metros de altura.

El lavado del aire por la lluvia termina rápidamente con el proceso de dispersión, siendo diez veces más eficiente que la sedimentación y la impactación. Su eficacia está en función del radio de las gotas de lluvia y de las velocidades terminales de la gota y de la partícula. El tamaño óptimo de las gotas de lluvia es el mismo para todos los tamaños de partículas, y se ha calculado menor de 2 mm pero la eficacia de la deposición decrece con el tamaño de la partícula. La lluvia disminuye exponencialmente la concentración de partículas del aire con respecto al tiempo, tardando más las de mayor tamaño<sup>39</sup>.

Durante el tiempo que permanecen suspendidas en el aire, las partículas podrían ser transportadas por la acción del viento a distancias que pueden variar desde unos pocos metros hasta varios kilómetros.

---

<sup>39</sup> DE LA ROSA, MOSSO, Y ULLAN, Op.cit., p. 375.



### 2.1.4.3 Factores de supervivencia

Las condiciones físico-químicas de la atmósfera no favorecen el crecimiento ni la supervivencia de los microorganismos por lo que la mayoría solo pueden sobrevivir en ella durante un breve período de tiempo. Las esporas son las formas de vida con mayor supervivencia y tienen varias propiedades que contribuyen a su capacidad para sobrevivir en la atmósfera, principalmente su metabolismo bajo, por lo que no requieren nutrientes externos ni agua para mantenerse durante largos períodos de tiempo. Además poseen otras adaptaciones que aumentan su capacidad de sobrevivir en este ambiente.

La supervivencia de las bacterias es variable, debido a su diversidad estructural y metabólica. En general, las bacterias Gram positivas son más resistentes que las Gram negativas ya que su pared celular es más gruesa.

### 2.1.5 FACTORES DE RIESGO

Un factor de riesgo se entiende como la existencia de elementos, fenómenos, ambiente y acciones humanas que encierran una capacidad potencial de producir lesiones o daños materiales, y cuya probabilidad de ocurrencia depende de la eliminación y/o control del elemento agresivo.<sup>40</sup>

#### 2.1.5.1 Análisis de riesgos

En nuestra investigación, para establecer los factores de riesgos se empleo la técnica de análisis de riesgo. Esta nos permite, identificar los peligros que puede acarrear la exposición a microorganismos patógenos presentes en el ambiente hospitalario en base a la prevención y reducción de riesgos. Se pueden aplicar a un amplio rango de situaciones de riesgo para la salud y el medio ambiente; incluyendo contaminación del aire, tanto en espacios interiores como en el ambiente exterior.

El análisis de riesgos sirve para<sup>41</sup>:

- ✓ Identificar y evaluar los problemas ambientales y de salud producidos por la realización de actividades peligrosas y el manejo de sustancias tóxicas.

---

<sup>40</sup> UNIVERSIDAD DEL VALLE, Salud Ocupacional. Disponible en: <http://saludocupacional.univalle.edu.co/factoresderiesgoocupacionales.htm>. [Consultada Diciembre 28 de 2007]

<sup>41</sup> THE UNIVERSITY OF ARIZONA, CENETR OF TOXICOLOGY, Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental. 1996 – 200. Disponible en: <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/c3-2.html>.

- ✓ Comparar tecnologías nuevas y tradicionales que se usan en la determinación de la efectividad de los diferentes controles y técnicas de mitigación diseñadas para reducir riesgos.
- ✓ Localización de instalaciones potencialmente peligrosas.

Selección de prioridades entre las posibles alternativas de acción para establecer secuencias de ejecución de acciones correctivas y/o de elaboración de reglamentos ambientales. Para el análisis de riesgos se deben tener en cuenta los siguientes pasos<sup>42</sup> los cuales serán explicados a continuación:

- ❖ **Evaluación de riesgos:** Esta fase tiene como meta estimar la severidad y probabilidad de que se produzca un daño para la salud humana y el ambiente por una actividad o exposición a una sustancia, que bajo circunstancias es probable que pueda causar daño a la salud humana o al ambiente.
- ❖ **Descripción del sitio:** El sitio se describe en función de las variables que puedan tener influencia sobre la movilidad de la biopartícula y los niveles de contaminación. Las características físicas importantes del escenario de exposición son:
  - ❖ Clima
  - ❖ Vegetación
  - ❖ Topografía
  - ❖ Acuíferos
- a) **Descripción de la población:** Se consideran las personas dentro del sitio y las cercanas, que puedan estar expuestas, aunque se encuentren localizados en sitios alejados de la fuente de contaminación. Como en el caso de la descripción del sitio, las poblaciones se describen especificando aquellas características que influyen en la exposición y sus consecuencias.
- ❖ **Caracterización de los riesgos:** La caracterización de los riesgos a la salud pública en un sitio contaminado consiste en determinar si es tolerable el nivel de riesgo de que se produzcan daños asociados a la exposición a los tóxicos presentes en el sitio.

---

<sup>42</sup> Ibid., p.3.

## 2.1.6 Mecanismos de Control

Debido a que la transmisión aérea de infecciones nosocomiales hoy en día, es considerado uno de los factores ambientales mas importantes a tener en consideración en el momento de controlarlas, se hace necesaria una ventilación y una calidad del aire adecuada para prevenir este tipo de transmisión.

En este contexto, se incluirán las condiciones ambientales y técnicas<sup>43</sup> específicas que debe tener un quirófano para controlar y disminuir este tipo de infecciones, y de esta manera garantizar la debida climatización que debe poseer este tipo de sala.

### 2.1.6.1 Ventilación Mecánica

Es esencial para la dilución de los contaminantes del aire interno, eliminando el aire contaminado de adentro e introduciendo aire limpio de afuera en una sala con aire acondicionado. La toma estará alejada de la salida de gases, humos y/o malos olores.

Se ha recomendado que el número de renovaciones aire/hora, sea de 15-20, teniendo en cuenta el tipo de quirófano, que para nuestro caso es tipo II como se menciono anteriormente.

### 2.1.6.2 Filtración

Los filtros pueden atrapar contaminantes particulados incluidos microorganismos patógenos y removerlos de la circulación de aire. Hay varios tipos de filtros que se pueden usar para conseguir diferentes grados de limpieza. Para facilidad del hospital un sistema apropiado de filtración consiste en un prefiltro, filtración de alta eficacia y filtración absoluta.

- **Prefiltración:** Lo más importante es que el prefiltro puede prolongar la vida útil del filtro puesto corriente abajo de la unidad de limpieza de aire, resultando un costo – efectivo de operación. Este evita:
  - a. La polución del aire del exterior al climatizador
  - b. Eficacia 25 %. Velocidad media de paso 1,5-3 m/seg.
- **Filtración “Alta Eficacia”:** Debe tener una capacidad tal para coleccionar al menos todas las esporas fungicidas de 2-5  $\mu\text{m}$  de diámetro y bacterias de unidad formadora de colonia de 1 $\mu\text{m}$  de diámetro o mas grande. Su eficacia debe ser del 90 % con una velocidad media de paso de 0,3-0,5 m/seg.

---

<sup>43</sup> SERVICIO VASCO DE SALUD. Op. Cit.; p-48.

- **Filtración de “Muy Alta Eficacia” Filtración Absoluta:** Se debe realizar en áreas críticas del hospital como lo son salas de cirugía. Se debe tener en cuenta que es:
  - a. Filtración absoluta también llamado HEPA (Filtro de alta eficiencia).
  - b. Eficacia del 99,97 % o 99,99 % (según tipo filtro) para partículas de 0,3  $\mu$ .
  - c. Velocidad media de paso 0,03-0.05 m/seg.
  - d. En la Unión Europea se utiliza tanto para los quirófanos Tipo I y II la filtración absoluta o HEPA.
  
- **Temperatura interior:** Mínima de 20°C y máxima de 24°C.
  
- **Humedad:** Mantener el adecuado porcentaje de humedad relativa en el quirófano es básico para eliminar las cargas electrostáticas y por las necesidades asistenciales. Se recomienda que se mantenga entre 50 y 60%.

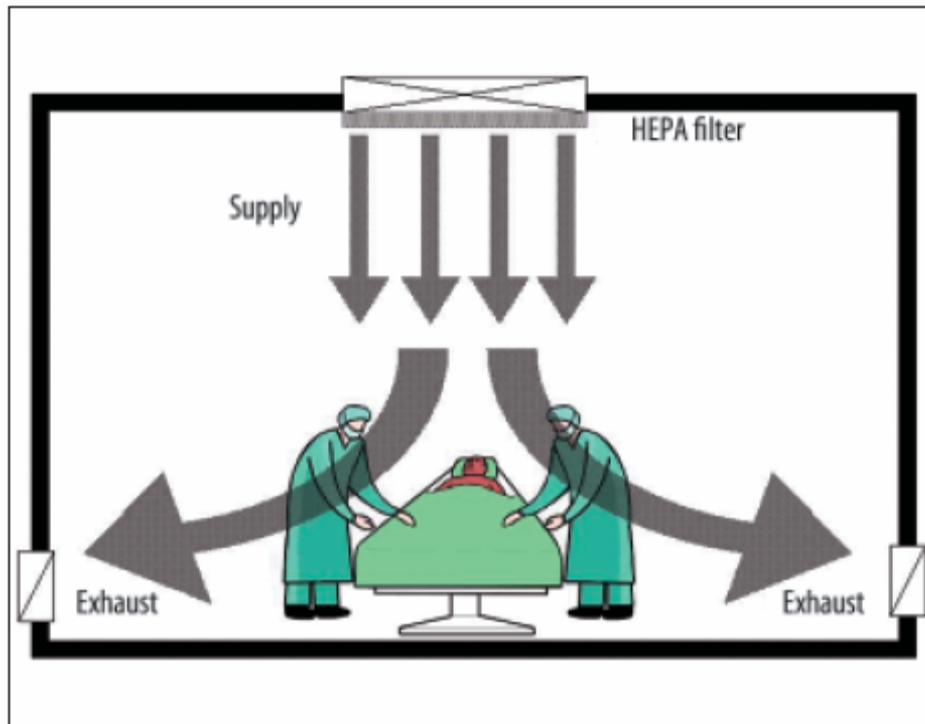
### 2.1.6.3 Control direccional de la circulación de aire

En una sala de cirugía, una circulación de aire unidireccional (laminar) debe ser mantenida la turbulencia del aire. Cualquier turbulencia es la causa de la mezcla de los patógenos del aire transportado, incrementando el riesgo de una infección nosocomial.

Se debe realizar de forma vertical (desde el techo hasta el piso) y horizontal (de pared a pared), estos métodos de flujo unidireccional son comúnmente usados. Un flujo de aire unidireccional vertical, es ilustrado en la Figura 1, puede efectivamente remover contaminantes dispersos por el equipo quirúrgico. El aire limpio es suministrado desde el techo verticalmente hacia el sitio quirúrgico. El difusor que suministra debe ser de tipo unidireccional. El aire contaminado es agotado a los lados en el nivel del piso.

En práctica, el actual patrón de circulación de aire puede ser diferente desde la condición ideal ilustrada en la Grafico 1, dependiendo de un número de factores tales como: el ambiente físico, tasa de ventilación, interferencias por trabajadores del hospital o herramientas de cirugía, etc.

**Grafico 1. Flujo de aire vertical unidireccional en sala de cirugía.**



Fuente: LEUNG, Michael y CHAN, Alan H.S. Control and management of hospital indoor air quality.2006

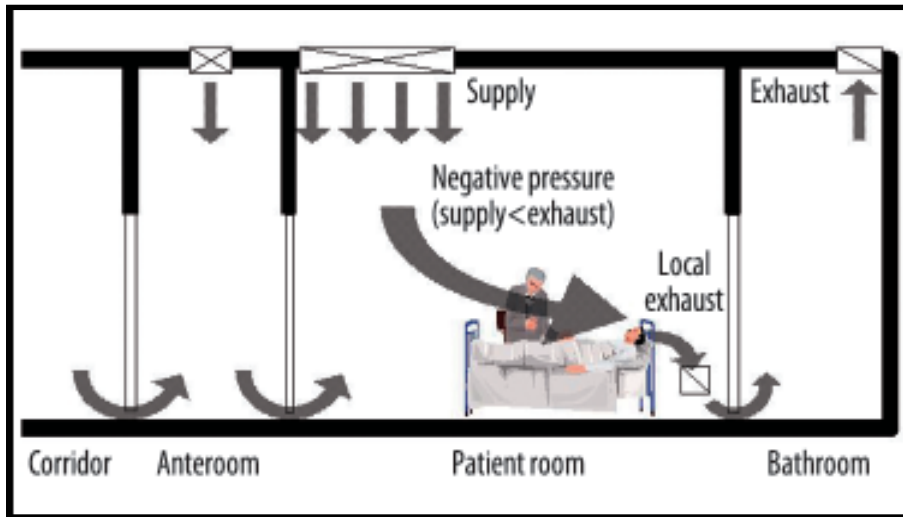
#### **2.1.6.4 Control de la presión diferenciada<sup>44</sup>**

Un ejemplo para mantener una presión diferencial entre áreas adyacentes tales como sala de aislamiento para personas con infecciones y pasillo, es ilustrado en la Grafico 2, esta diferencia puede restringir la salida de aire en una sola dirección por debajo del corte de la puerta. Para prevenir infecciones nosocomiales la presión de aire distribuida entre varias instalaciones del hospital puede ser controlada y asegurar que el flujo de aire va de limpio a menos limpio. La tabla 8 presenta las diferencias de presión apropiadas para instalaciones típicas de un hospital.

---

<sup>44</sup> LEUNG, Michael y CHAN, Alan H.S. Control and management of hospital indoor air quality. Japón. 2006

**Grafico 2. Control de la presión diferencial en sala de aislamiento para infecciosos.**



Fuente: LEUNG, Michael y CHAN, Alan H.S. Control and management of hospital indoor air quality. Japón 2006

**Tabla 8. Control de la presión diferenciada.**

AREA	DIFERENCIAL DE PRESION
Sala de aislamiento para infecciones	Negativa
Cuarto oscuro	Negativa
Cuarto de equipo de esterilización	Negativa
Laboratorio	Negativa
Unidad de cuidados intensivos	Positiva
Sala de aislamiento de protección	Positiva
<i>Sala de Cirugía</i>	<i>Positiva</i>
Sala de recuperación	Positiva
Farmacia	Positiva
Habitación del paciente	Igualada

Fuente: LEUNG, Michael y CHAN, Alan H.S. Control and management of hospital indoor air quality. Japón 2006

La presión diferenciada debe estar por lo menos a 2.5 Pa (0.01 in de agua) que cualquier diferencia debido a la apertura de la puerta que eleve el movimiento y otra actividad normal no vaya a cambiar la naturaleza positiva o negativa de la presión o la dirección del flujo de aire. Para las instalaciones típicas de un hospital una presión positiva de 2.5 Pa puede ser obtenida por medio de regulación a través de una fuente de aire, excediendo el nivel del extractor del aire por 59 L/s (125 cfm). Inversamente una presión negativa de -2.5 Pa puede ser obtenida con una regulación de aire 59L/s (125cfm) debajo del extractor de aire.

Una puerta ajustada con una reja en la puerta es usada para facilitar el control de presión diferenciada. El suministro de aire, es aire fresco 100% a una relación de 12 cambios de aire por hora. El diferencial de presión entre la sala de cirugía y zonas adyacentes debe mantenerse entre 15 y 20 Pa. Manteniendo una demanda constante de presión diferencial, teniendo constante atención al balance del aire.

La carga de un filtro HEPA incrementará la caída de presión, reduciendo el suministro de aire, y así puede causar una presurización positiva de la sala y convertir presurización negativa. Por lo tanto el mantenimiento regular del sistema de filtración debe ser obligatorio. Para el monitoreo del sistema de presión diferencial en un área crítica se recomienda continuas comprobaciones de la condición de operación.

### 2.1.7 ANALISIS ESTADISTICO

Por medio de esta rama de las matemáticas se busca recopilar, organizar, y procesar los datos obtenidos en la investigación con el fin de inferir los resultados obtenidos al analizar las muestras tomadas y hallar la relación o no de las UFC/m<sup>3</sup> encontradas en los dos ambientes (Intramural y extramural).

El análisis estadístico descriptivo se lleva a cabo resumiendo los datos disponibles para extraer la información relevante en nuestro estudio; la inferencia estadística se hace suponiendo un modelo para la población e interpretando los datos para la luz del modelo para obtener conclusiones generales.

Debido a que en este estudio, interfieren un gran número de variables y el objetivo es relacionar dos ambientes se decidió realizar el análisis de datos por medio de modelos que nos permitiera relacionarlas estas entre si y por si solas, y determinar su incidencia o no entre los patógenos nosocomiales; los cuales son:

**MANOVA:** El análisis multivariante de la varianza (MANOVA) es la generalización del análisis de la varianza para el caso de más de una variable dependiente. Dicha generalización es aplicable tanto al caso del análisis de la varianza de un factor (one-way ANOVA) como al caso del análisis de la varianza con varios factores (multiple-way ANOVA). El interés del MANOVA viene dado por el hecho de que pueden existir relaciones de dependencia entre las propias variables dependientes. De no haberlas, no tiene sentido llevar a cabo el MANOVA, siendo más sencillo llevar a cabo sucesivos ANOVA para las distintas variables investigadas<sup>45</sup>.

---

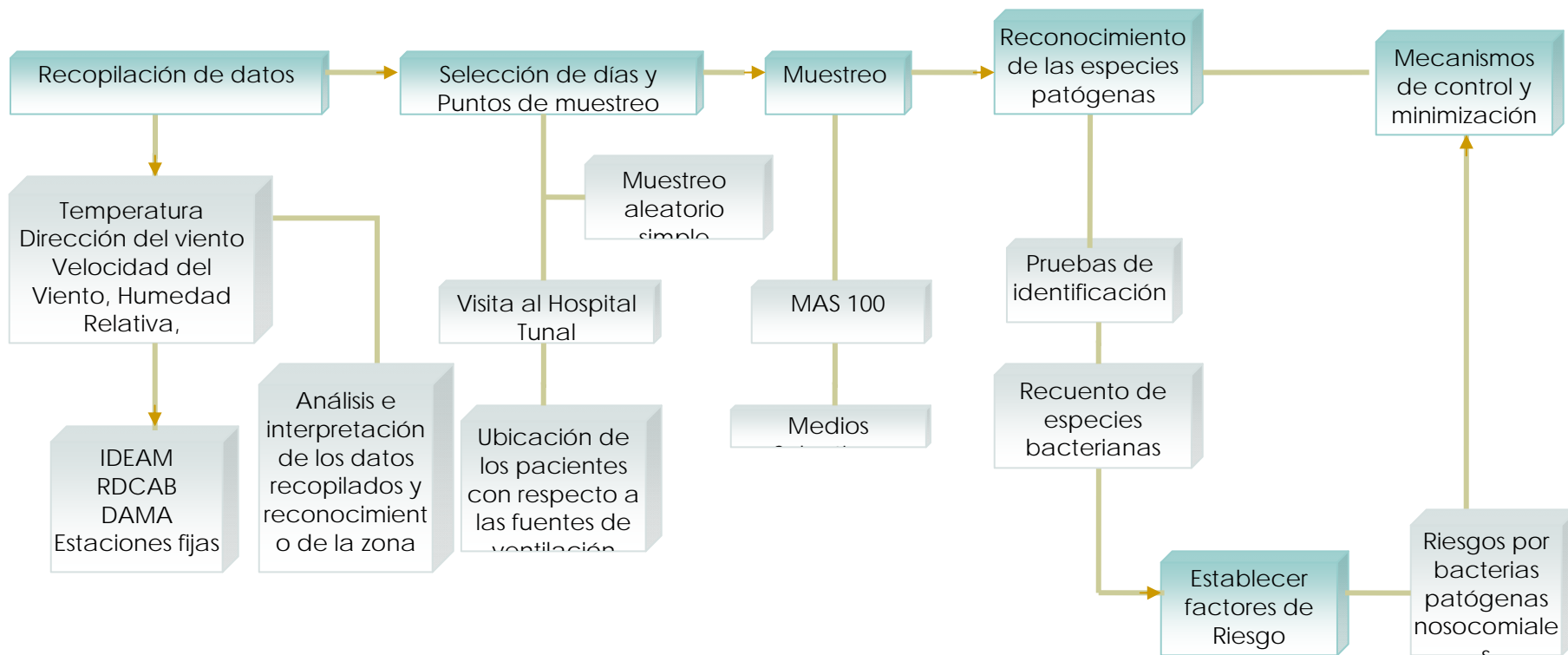
<sup>45</sup> Métodos Quantitatius per a l'Empresa. 3<sup>er</sup> Edición. Disponible en [http://www.aulavirtual.uji.es/file.php/2150/manova\\_1fact-lecture\\_notes2.pdf](http://www.aulavirtual.uji.es/file.php/2150/manova_1fact-lecture_notes2.pdf). [Consultada Diciembre 28 de 2007].

**T- STUDENT:** Se utiliza para contrastar hipótesis sobre medias en poblaciones con distribución normal. También proporciona resultados aproximados para los contrastes de medias en muestras suficientemente grandes cuando estas poblaciones no se distribuyen normalmente.



### 3. METODOLOGÍA

**Grafico 3. Metodología**



Fuente Hernández Magda y León Sonia, 2008

## **3.1 RECOPIACIÓN DE DATOS**

### **3.1.1 Variables medio ambientales**

Se realizó una recopilación de los datos proporcionados por el *Instituto De Estudios Ambientales Y Meteorológicos (IDEAM)*, *Red de Calidad del Aire de Bogotá (RDCAB)*, *Departamento Administrativo del Medio Ambiente (DAMA)* y de las *Estaciones Fijas* que aportan datos del particulado y del comportamiento de las condiciones meteorológicas de dicha zona, para establecer como afectan los procesos de formación de Bioaerosoles.

A partir de los datos proporcionados, y haciendo un análisis de cada una de las variables se determinó el comportamiento de las variables medioambientales y meteorológicas en el período de muestreo, permitiendo la selección de los puntos de muestreo que estuvieran acorde con las exigencias del mismo.

## **3.2 SELECCIÓN DE DÍAS Y PUNTOS DE MUESTREO**

Gracias al Hospital Tunal se pudo realizar el trabajo de investigación, para esto se partió del lugar y de las necesidades de este para seleccionar un área en donde poder recolectar las muestras y poder cumplir con los objetivos propuestos en el trabajo.

### **3.2.1 Descripción del Sitio**

La sala de Ortopedia del Hospital Tunal se encuentra ubicada en el segundo piso del área de cirugías, esta cuenta con dos pasillos que antecede al área de cirugía. La sala cuenta con un estar de médico y al fondo esta el lugar en donde se desarrollan los procedimientos quirúrgicos. Las puertas son de vaivén evitando que en la apertura de las puertas ingrese el menor volumen de aire.

El área de la sala es de 24m<sup>2</sup> dentro de la sala la temperatura media es de 21.4°C y la humedad relativa de 52%.

### **3.2.2 Poblaciones:**

La población que se encuentra en la sala de Ortopedia esta dividida en:

- ✚ Personal médico
- ✚ Pacientes
- ✚ Visitantes
- ✚ Personal de servicios generales

*Personal médico:* Se encuentra 8 horas del día dentro de la sala. Y se distribuyen en 2 turnos diarios. Todo el personal médico debe contar con un vestuario apropiado el cual incluye: gorro, protección facial, mascarilla facial, vestido quirúrgico, bata quirúrgica, guantes, polainas y zapatos<sup>46</sup>.

*Pacientes:* Personas a las que se les realizaran cualquier tipo de procedimiento médico en la sala, estas personas tienen diversos estados inmunológicos, edades, estados físicos, entre otros. Los pacientes que están en la sala pueden durar en ella, en un rango de tiempo de 1 – 4 horas, esto sujeto al tipo de procedimiento que se vaya a desarrollar

*Personal de servicios generales:* son las personas encargadas de los procedimientos de limpieza y desinfección después de cualquier procedimiento quirúrgico.

### **3.2.3 Localización**

Toda la población expuesta trabaja en el área en donde se puede llegar a presentar la exposición a los agentes patógenos nosocomiales, y comparten la misma calidad del aire.

En el Grafico 4 se referencia la ubicación geográfica del Hospital Tunal con respecto a la localidad de Tunjuelito.

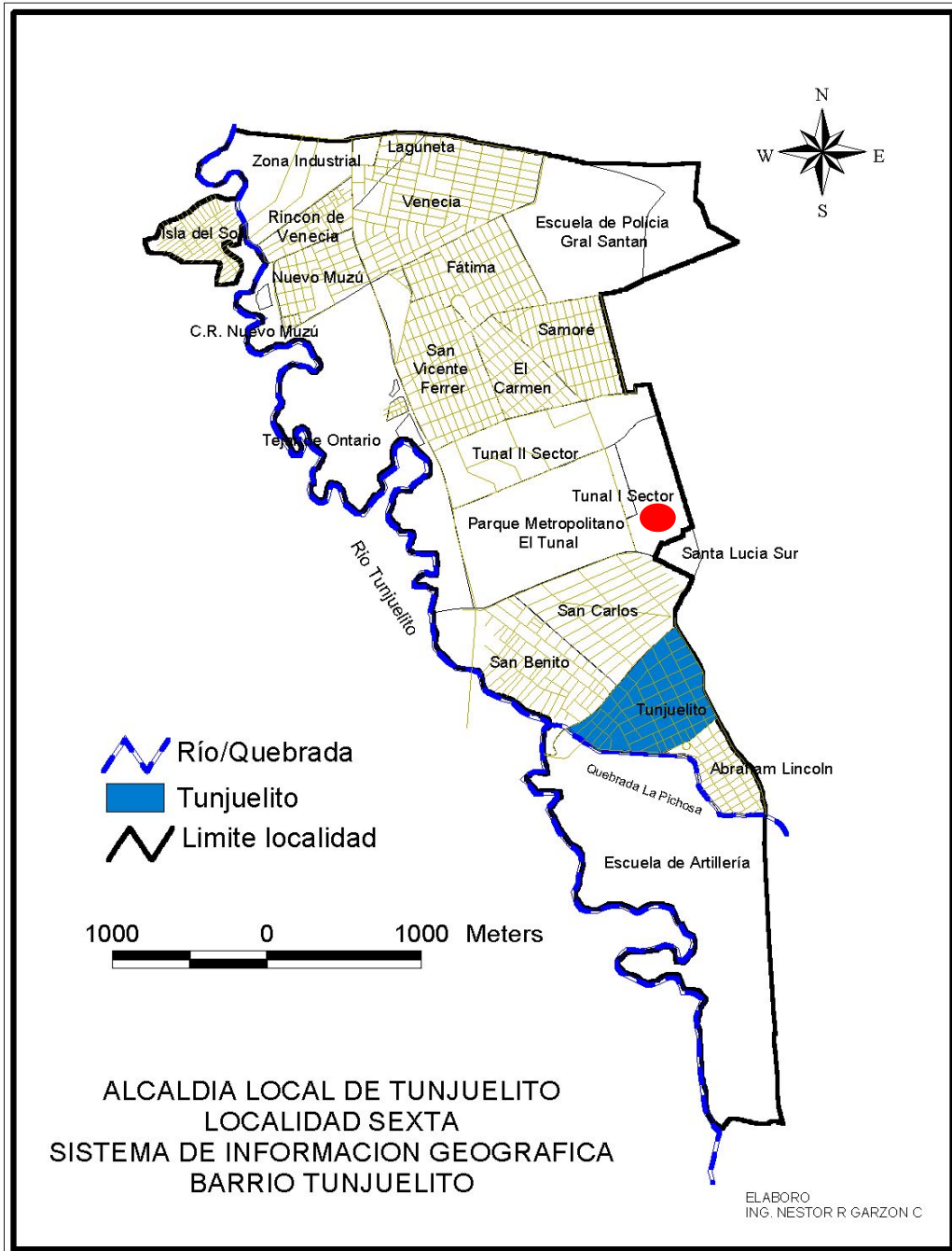
 HOSPITAL TUNAL

---

<sup>46</sup> HOSPITAL TUNAL, Guía para un ambiente quirúrgico seguro, en prevención de infecciones del sitio operatorio. Bogotá 2006.

---

**Grafico 4. Ubicación geográfica del Hospital Tunal**



Fuente: GARZON Nestor. Barrio Tunjuelito. Citado por Alcaldia Local de Tunjuelito. Disponible en: [www.segobdis.gov.co/.../barrio\\_tunjuelito.htm](http://www.segobdis.gov.co/.../barrio_tunjuelito.htm) [Consultado Diciembre 10 de 2007]