

Determinación de la relación del contenido de Black Carbon (BC) en muestras ambientales de
PM2.5 con la presencia de diferentes tipos de microorganismos

María Valentina Fernández Villafañe

Id. 256537

Johan David León Camacho

Id. 257474

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería Ambiental

Bucaramanga

2019

Determinación de la relación del contenido de Black Carbon (BC) en muestras ambientales de PM2.5 con la presencia de diferentes tipos de microorganismos

María Valentina Fernández Villafañe

Id. 256537

Johan David León Camacho

Id. 257474

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Director del Proyecto

Kento Taro Magara Gómez

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería Ambiental

Bucaramanga

2019

Agradecimientos

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo bajo la supervisión del PhD- Kento Magara, con la ayuda de Claudia Santoyo, Naidu Villamizar, a quienes me gustaría agradecer, su tiempo, paciencia y disposición para que el trabajo se llevara a cabo de manera exitosa.

A mi familia por su apoyo durante todo el recorrido de mi educación universitaria, sin importar las adversidades presentadas y el tiempo que tomo, para lograr una de las metas por cumplir.

A mi padre y mi tía por brindarme la economía suficiente para culminar mis estudios y estar presentes en cada etapa de mi vida y apoyarme en todo lo que me he propuesto.

María Valentina Fernández Villafañe

Agradezco a mi familia por el apoyo, la confianza y la oportunidad que me han brindado durante los últimos años para cumplir y formar parte de mi proyecto de vida.

Doy gracias a los diferentes docentes que durante estos cinco años de carrera me han facilitado los conocimientos suficientes para formar al profesional que soy hoy día.

Agradezco especialmente al PhD. Kento Magara por su dirección durante la ejecución del proyecto, a la Bióloga Claudia Santoyo por su apoyo, consejos y recomendaciones, y agradezco a Naidu Villamizar por su paciencia, tiempo y disposición en la realización del proyecto.

Johan David León Camacho

Tabla de Contenidos

Introducción	5
Capítulo 1 Delimitación del Problema	7
Capítulo 2 Antecedentes	9
Capítulo 3 Justificación	14
Capítulo 4 Objetivos	15
Objetivo general	15
Objetivos específicos	15
Capítulo 5 Marco Teórico	16
Contaminación atmosférica, material particulado y efectos en la salud	16
Partículas suspendidas	18
Aerosoles	18
Bioaerosoles y microbiología del aire	19
Bacterias de importancia	21
Hongos de importancia	23
Dispersión rápida de microorganismos	24
Condiciones meteorológicas para la dispersión rápida	25
Humedad relativa	25
Temperatura	25
Radiación solar	26
Fenómeno de inversión térmica	26
Capítulo 6 Metodología	28

Revisión bibliográfica	28
Determinación de las variables experimentales	28
Selección de la zona de muestreo	28
Obtención de la muestra	29
Toma de variables meteorológicas	31
Selección de agar y cultivo microbiológico	31
Determinación del contenido de Black Carbon presente en concentraciones de material fino	32
Concentración total de PM2.5 de las muestras	32
Distribución temporal y espacial de la concentración de PM2.5	33
Concentración del Black Carbon	33
Descripción macroscópica y microscópica de los diferentes microorganismos	34
Presencia de diferentes grupos de microorganismos en muestras con contenidos extremos de BC	35
Relación de los niveles de Black Carbón (BC) con la presencia de microorganismos	35
Capítulo 7 Resultados y Discusión	36
Determinación del contenido de Black Carbon presente en concentraciones de material fino	36
Concentración total de PM2.5 y BC presente en las muestras	36
Distribución temporal y espacial de la concentración de PM2.5	40
Descripción microbiológica de los diferentes microorganismos	43
HONGOS	43
BACTERIAS	46

Presencia de diferentes tipos de microorganismos en muestras con contenidos extremos de PM 2.5 y BC	47
Capítulo 8 Conclusiones y Recomendaciones	50
Conclusiones	50
Recomendaciones	52
Lista de Referencias	53
Anexos	61

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Composición de bioaerosoles</i>	20
Tabla 2 <i>Cronograma, periodos de muestreo 24 horas durante 4 semanas</i>	30
Tabla 3 <i>Determinación de la concentración de PM 2.5 y BC</i>	37
Tabla 4 <i>Géneros y especies fúngicas caracterizadas</i>	44
Tabla 5 <i>Especies Fúngicas descritas en cada filtro de muestro</i>	45

Lista de figuras

Figura 1. Puntos de muestreo, UPB- Seccional Bucaramanga	29
Figura 2. URG 3000ABC / DUSTTRAK II AEROSOL MONITOR 8530EP	30
Figura 3. Estación meteorológica Davis Vantage Pro2™ Inalámbrica	31
Figura 4. SootScan™ Model OT21 Optical Transmissometer	34
Figura 5. Aerosol Optical Depth - satellite Aqua/Modis	39

Lista de graficas

Grafica 1. Concentración de PM 2.5 comparada con la resolución 2254-2017	36
Grafica 2. Concentración de BC presente en PM 2.5	40
Grafica 3. Distribución temporal de PM 2.5 semana 1 Edificio J	41
Grafica 4. Distribución temporal de PM 2.5 semana 1 Edificio K.....	42
Grafica 5. Comparación de PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Equipo Dusttrak vs URG 3000 ABC.....	42
Grafica 6. Porcentaje de frecuencia de especies fúngicas.	46
Grafica 7. Porcentaje de frecuencia de características bacterianas microscópicas.....	47
Grafica 8. Concentración de PM 2.5 – cantidad de tipos de microorganismos.....	48
Grafica 9. Concentración de BC – cantidad de tipos de microorganismos.	49

Lista de anexos

Anexo 1. Determinación del contenido de masa de PM 2.5	61
Anexo 2. Determinación de la concentración de PM 2.5	62
Anexo 3. Concentración de PM 2.5 equipo Dusttrak	63
Anexo 4. Comparación de concentración de PM 2.5 equipo Dusttrak vs URG 3000 ABC.....	64
Anexo 5. Determinación del contenido de Black Carbon presente en las muestras.....	65
Anexo 6. Morfotipos fúngicos descritos, edificio J	66
Anexo 7. Morfotipos fúngicos descritos, edificio K.....	67
Anexo 8. Morfotipos bacterianos descritos, edificio J.....	68
Anexo 9. Morfotipos bacterianos descritos, edificio K	69

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Determinación de la relación del contenido de Black Carbon (BC) en muestras ambientales de PM2.5 con la presencia de diferentes tipos de microorganismos

AUTOR(ES): Johan David León Camacho
María Valentina Fernández Villafañe

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): Kento Taro Magara Gómez

RESUMEN

En el presente trabajo se determinó la relación existente entre el Black Carbon y diferentes grupos de microorganismos, ambos presentes en el material particulado de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, con el fin de evidenciar una relación positiva o negativa entre el BC y los microorganismos presentes en la microbiota del aire. En dicho estudio se realizaron tomas de muestras ambientales atmosféricas mediante el equipo URG 3000ABC durante un periodo de 4 semanas correspondientes al mes de marzo del presente año. Se realizaron análisis de determinación de concentraciones de material particulado, contenido de Black Carbon presente e identificación de grupos fúngicos y descripción de colonias bacterianas. Los resultados arrojaron similitud entre las concentraciones de PM 2.5 en ambas zonas debido a la influencia de un fenómeno regional que aumentó las concentraciones de partículas de aerosol atmosférico durante el periodo de muestreo, dichas concentraciones llegaron a presentar niveles superiores y/o cercanos a la máxima permisible de 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecida por la resolución 2254-2017 de minambiente. Se obtuvo una diversidad microbiológica bacteriana con predominancia en característica microscópica perteneciente al grupo de Bacilos Gram + seguidos de Bacilos Gram + esporulados y en menor medida Bacilos Gram – y cocos Gram +. La diversidad microbiológica correspondiente para el grupo fúngico varía entre especies del género Aspergillus y Rhizopus; también se encuentra dentro de este grupo dos especies de hongo no identificable mediante la metodología usada. Debido a la similitud entre las concentraciones de PM 2.5 no se evidencia una relación entre las concentraciones de dicho material, con la diversidad microbiológica, a diferencia de las concentraciones de black carbon, en las cuales se observa una disminución en la diversidad de especies de hongos a medida que las concentraciones del BC aumentan.

PALABRAS CLAVE:

Material particulado, Black Carbon, Microorganismos, Hongos
Bacterias



V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Determination of the relationship of Black Carbon content (BC) in environmental samples of PM_{2.5} with the presence of different types of microorganisms

AUTHOR(S): Johan David León Camacho
María Valentina Fernández Villafañe

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: Kento Taro Magara Gómez

ABSTRACT

In the actual research work, the relationship between Black Carbon and different groups of microorganisms, both present in the particulate material of the Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga section, was determined in order to demonstrate a positive or negative relationship between the BC and microorganisms present in the microbiota of the air. In this study, atmospheric environmental samples were taken by the URG 3000ABC team during a period of 4 weeks corresponding to the month of March of this year. Analyzes of determination of results of particulate material, black carbon content, identification of fungal groups and description of bacterial colonies were carried out. The results showed a similarity between the results of PM 2.5 in both areas due to the influence of a regional phenomenon on the results of atmospheric aerosols during the sampling period, to the contents at levels above and/or close to the maximum Permissible 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ established by resolution 2254-2017 of minambiente. Bacterial microbiological diversity was obtained with predominance in the microscopic characteristic belonging to the group of Gram + Bacillus followed by Gram + Bacillus esporulados and to a lesser extent Bacillus Gram - and Gram + cocci. The microbiological diversity for the fungal group between the species of the genus Aspergillus and Rhizopus; Two non-identifiable fungus species are also found within this group, using the methodology used. The information is based on information from PM 2.5. There is no evidence of a relationship between the forms of said material, the microbiological diversity, the difference in the amount of black carbon, in which a decrease in the diversity of fungal species is observed. A measure that the BC figures increase.

KEYWORDS:

Particulate material, Black Carbon, Microorganisms, Fungi, Bacteria.



V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

Introducción

La Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga ha ido creciendo exponencialmente con el paso de los años, la población de estudiante, la construcción de edificios, el número de automóviles y motocicletas ha ido aumentando. Esto junto con la proximidad a la autopista vía Piedecuesta, trae como consecuencia el incremento de la contaminación atmosférica por fuentes móviles de uso de combustible fósil, que genera preocupación e interés en docentes, estudiantes, plantel institucional y autoridades de salud pública debido a posibles incrementos en el material particulado PM 10 y PM 2.5

El material particulado (PM 2.5) puede presentar una composición de distintos compuestos con origen variable, este tipo de material por su tamaño es fácilmente respirable, permitiendo que los estudiantes, docentes y trabajadores de la universidad al ser expuestos a altos niveles de PM fino puedan tener consecuencias importantes en la salud de cada uno de ellos, incluyendo enfermedades patógenas.

Los microorganismos presentes en el aire no tienen una microbiota específica, es necesario algún tipo de material o método de dispersión para su transporte, por ende, se encuentran depositados sobre las partículas de polvo, material particulado, gotas de agua, etc., que funcionan como medio de transporte para estos microorganismos. La mayor fuente de emisión por microorganismos son las personas que al toser, estornudar, moverse, salivar, fibras de ropa, etc., liberan gran cantidad de microorganismos, también se encuentran diferentes tipos de

microorganismos que han sido transportados por corrientes de aire desde otros lugares de la ciudad o del país.

Con este proyecto se pretende determinar la relación que pueden tener concentraciones altas y bajas de Black Carbón presente en material particulado fino (PM2.5) sobre la presencia de ciertos tipos de microorganismos transportados por este material, afectando el crecimiento, diversidad y presencia de microorganismos que puedan estar relacionados con afectaciones a la salud, de igual manera verificar los niveles máximos permisibles de (PM2.5) para un tiempo de exposición de 24 horas de $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que empezó a regir desde el 1 julio de 2018, según la resolución 2254-2017 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, capítulo 1.

Capítulo 1

Delimitación del Problema

Alrededor del mundo ha tomado importancia la preocupación sobre la contaminación atmosférica producida por la industrialización, los motores diésel y la quema de biomasa. En países de Asia y Europa se han desarrollado diversas investigaciones que relacionan el material particulado (PM), producto del desarrollo industrial, que es directamente proporcional a la demanda energética, con enfermedades cardiovasculares y respiratorias que suponen una carga para la salud pública, siendo los niños y adultos mayores la población más vulnerable.

En los últimos años en Colombia han incrementado las investigaciones sobre temas atmosféricos. Se han venido desarrollando estudios donde se relaciona el PM con el incremento en la contaminación producida por automotores, industrias y la presencia de microorganismos patógenos. Sin embargo, las investigaciones no cubran la totalidad del territorio colombiano y se limitan a zonas concretas de las ciudades más industriales, por ejemplo: Medellín, Bogotá, Cali, etc.

Aunque Floridablanca no es considerada una ciudad industrial, el aumento en la extensión territorial y el desarrollo productivo precisa de una mayor red vial que genera un aumento en el uso de vehículos a gasolina y diésel con las consecuencias que esto implica como problemas cada vez más graves y extendidos e la salud de las personas que habitan grandes ciudades; por otro lado, está el crecimiento de la universidad en cuanto a infraestructura, desarrollo y nivel de estudiantes.

La Universidad Pontificia Bolivariana se encuentra afectada en su localización por una vía nacional que conjuntamente irán aumentando los niveles de exposición a PM, bioaerosoles y otros contaminantes atmosféricos. Por tal motivo es preciso realizar una correlación entre el contenido de Black Carbon (BC) en muestras ambientales de PM_{2.5} y la presencia de diferentes tipos de microorganismos dentro del campus de la UPB Bucaramanga, donde se realizarán tomas de muestras atmosféricas en dos puntos de localización estratégica, que posteriormente serán llevadas a laboratorio para el correspondiente análisis, con el fin de obtener resultados significativos que permitan la continuación de investigaciones en otras áreas que puedan demostrar la incidencia del PM_{2.5} en los problemas de salud en la comunidad educativa.

Capítulo 2

Antecedentes

Son muchos los estudios que se han realizado a lo largo del tiempo sobre contaminación atmosférica generada por material particulado y sus consecuencias en la salud pública y el medio ambiente, sin embargo, son pocas las investigaciones que se han enfocado en los componentes de dicho material; el Black Carbon y los bioaerosoles. Son algunos de los componentes presentes en el PM que con el tiempo han ido aumentando sus impactos.

A nivel mundial se conoce que países de Europa o Asia por su historia y mayor desarrollo lideran los estudios en temas ambientales. Por ejemplo, en Milán, Italia en 2011 se realizó una investigación in vitro para medir los efectos del PM caracterizado microbiológicamente (Maurizio et al., 2011); en Graz, Austria en 2012 fueron medidas las concentraciones de microorganismos en relación con el PM, esta investigación evidenció cómo los cambios de temperatura de invierno a verano favorecen el aumento en la concentración de PM y la proliferación de diversos microorganismos (Haas et al., 2013).

Más tarde, en el año 2014 en la ciudad de Jeddah, Arabia Saudita, se realizó un estudio preliminar para determinar los posibles microorganismos asociados al PM; la investigación no obtuvo resultados significativos dado que no se consideró que los procesos químicos y los factores ambientales podrían afectar las propiedades del material y a su vez su calidad biológica (Alghamdi et al., 2014).

Para el año 2015 Gao min y un grupo de investigadores realizó durante 12 meses en Beijín, China un estudio para determinar la variación en las correlaciones entre diversos factores

atmosféricos, incluido el PM y los microorganismos cultivables; el desarrollo del estudio permitió detectar el aumento de altas concentraciones de químicos y bioaerosoles cultivables en horas específicas del día producto de las actividades humanas (Gao et al., 2015).

En los últimos años han aumentado las investigaciones sobre las correlaciones presentes entre el PM y los microorganismos del aire. Estudios realizados en Beijing, China para determinar la variación de las comunidades microbianas inhalables presentes en PM_{2.5} permitieron demostrar como a mayor nivel de contaminación del aire disminuía la riqueza de especies, sin embargo, no se evidenció correlación entre los niveles de abundancia y de contaminación del aire, también permitió mostrar que las bacterias y hongos patógenos son más abundantes en las estaciones de invierno. (Du et al., 2018)

Caso aparte ocurrió en Atenas, Grecia; un estudio publicado en el año 2017 estableció mayor interrelación entre las condiciones meteorológicas y las concentraciones de hongos en el aire y menor significancia con los contaminantes del aire, siendo la temperatura la mayor influencia y el mejor predictor en la concentración de hongos en la atmósfera. (Pyrrri et al., 2017)

A nivel latinoamericano los estudios del material particulado en la incidencia en la salud humana han sido pocos, sin embargo, trascurrido los años, nuevas investigaciones se han publicado, en el año 2017, en la ciudad de Quito, Ecuador; se presentó una investigación para la identificación de bacterias causantes de infecciones respiratorias presentes en el PM₁₀. El estudio permitió identificar cinco de diez especies bacterianas de interés, sin embargo, no se evidenció una correlación positiva entre el número de cepas y las concentraciones de PM₁₀, las

concentraciones de los microorganismos se ven asociada a diversos factores, como condiciones meteorológicas, contaminantes del aire entre otras. (Benavides 2017)

En Colombia los estudios de identificación de microorganismos y los riesgos asociados al material particulado aún son insuficientes, considerando que las investigaciones realizadas por diversas universidades se han centrado en zonas específicas. La universidad de la Salle para el año 2005 publicó una investigación que evaluó la presencia y concentración de microorganismos patógenos en bioaerosoles, considerando factores meteorológicos y concentración de PM, en una zona de alta actividad industrial y flujo vehicular de la localidad de Puente Aranda en Bogotá D.C. seguido a esto, la universidad realizó una caracterización cualitativa y cuantitativa de bioaerosoles relacionados con factores meteorológicos y material particulado en la misma localidad de Puente Aranda en Bogotá D.C, para identificación de especies y familias, concentración y establecer relaciones entre concentración de microorganismos y condiciones atmosféricas y material particulado. Finalmente, en 2007, se realizó la determinación y correlación del material particulado y gases con los principales microorganismos patógenos existentes en los ambientes intramural y extramural presentes en tres jardines infantiles ubicados en las localidades de Fontibón, Puente Aranda y Kennedy de la ciudad de Bogotá D.C, la investigación permitió evidenciar el aumento en las concentraciones en interiores que en ambientes exteriores, indicando una influencia del ambiente exterior hacia el interior por la presencia de fuentes que a nivel interno favorecen el aumento en las concentraciones tanto de contaminantes atmosféricos como de microorganismos. (Rey & Fula, 2005)(Olaya & Pérez, 2006)(Cerreño & Prieto, 2008)

En el año 2015, debido al aumento de las enfermedades respiratorias y enfermedades transmitidas por consumo de agua en niños en la localidad de Usme en Bogotá D.C, posiblemente relacionadas con las emisiones atmosféricas provenientes de las principales avenidas y la zona industrial, la Universidad Santo Tomás realiza una caracterización microbiológica del material particulado intramural y del agua de consumo en jardines infantiles, encontrando que los microorganismos presentes en el aire intramural, en su mayoría patógenos oportunistas, son responsables de infecciones respiratorias. (Lara & Torres, 2015)

Para el año 2016, en el municipio de Ocaña, Norte de Santander se llevó a cabo un estudio para caracterizar los hongos presentes en el material particulado como indicador de riesgo de enfermedades respiratorias. Los resultados allí arrojaron la presencia de 3 grupos de hongos microscópicos y hongos unicelulares causantes de enfermedades respiratorias tales como: neumonías, micosis sistémicas, hipersensibilidad y micotoxicosis. (Cuello et al., 2016)

Otro caso de estudio ocurrió en el Valle de Aburrá, Antioquia, región que cuenta con altas concentraciones de PM10 y mediciones que sobrepasan los valores máximos recomendados por la Organización Mundial de la Salud. En el año 2017 se realizó por parte de la Universidad Nacional la identificación de los microorganismos fúngicos y los riesgos asociados al PM10, el estudio permitió la identificación de géneros predominantes y la correlación entre las concentraciones de PM 10 y la diversidad fúngica, de igual forma también se obtiene correlación entre factores meteorológicos. (Suárez 2017)

Aunque este tipo de estudios aún es insuficiente, cabe resaltar que cada investigación favorece el conocimiento y aporta un paso para el estudio de posibles implicaciones en la salud pública de los microorganismos presentes en la contaminación del aire.

Capítulo 3

Justificación

La Universidad Pontificia Bolivariana ha ido creciendo con el paso de los años en cuanto a su población de estudiantes, trabajadores, directivos, docentes, entre otros. De igual manera la expansión de red vial y el incremento de vehículos diésel, aumentan conjuntamente los riesgos a los que la comunidad se encuentra expuesta.

Por lo general se encuentra en gran medida estudios realizados para establecer la calidad de aire referente a material particulado, gases, smog, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y plomo, que producen efectos negativos para la salud de las personas, específicamente en el sistema respiratorio y cardiovascular, o afecciones causadas por altas concentraciones de PM y en menor cantidad estudios microbiológicos acerca de la contaminación del aire. Por este motivo se vio oportuna la propuesta de este proyecto que permite realizar la evaluación del impacto del contenido de black carbon en PM 2.5 sobre la presencia de diferentes microorganismos que son transportados por medio de partículas inertes, teniendo en cuenta condiciones meteorológicas, con el fin de relacionar el contenido de Black Carbón con el crecimiento de distintos tipos de microorganismos y un análisis microbiológico de estos que incidan en la salud humana, este estudio permitirá plantear recomendaciones que ayuden a implementar investigaciones más rigurosas para disminuir problemas de salud en la comunidad educativa.

Capítulo 4

Objetivos

Objetivo general

Determinar la relación del contenido de Black Carbon (BC) en muestras ambientales de PM_{2.5} con la presencia de diferentes tipos de microorganismos.

Objetivos específicos

Determinar el contenido de Black Carbon en las muestras de PM 2.5 colectadas en el campus.

Describir macro y microscópicamente los diferentes microorganismos presentes en muestras de material particulado fino (PM 2.5) colectadas en diferentes zonas del campus de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

Examinar la presencia de diferentes tipos de microorganismos en muestras con contenidos máximos y mínimos de BC.

Capítulo 5

Marco Teórico

Contaminación atmosférica, material particulado y efectos en la salud

Desde el desarrollo de las comunidades humanas, el agrupamiento, la coordinación en actividades de prestación de productos y servicios, la creación de centros urbanos, el avance en ciencia y tecnología y el interés por el desarrollo y la modernidad, han sido causantes de la contaminación de suelos, agua, aire y biodiversidad, que a través del tiempo ha aumentado, llegando hoy en día a estados críticos e irreversibles. El incremento de la manufactura, vehículos, industrias, expansión poblacional y territorial, entre otras, han ido aumentando la contaminación del aire con la emisión de sustancias no deseadas. Descargas como gases, metales, elementos tóxicos, peligrosos y/o cancerígenos, partículas microscópicas o material particulado y bioaerosoles, son algunos de los componentes de dicha contaminación, en su mayoría como resultado de actividades antropogénicas de las grandes ciudades. (Olaya & Pérez. 2006).

El origen de las emisiones varía de acuerdo a la actividad, están las fuentes fijas, provenientes de un lugar determinado e inamovibles, ejemplo de estas son las industrias, que a través de chimeneas o ductos emiten todo tipo de gases y partículas al aire. Otro tipo de fuente son las móviles, como vehículos automotores o ferroviarios, aviones u otro equipo de maquinarias con motores de combustión y similares, que en su proceso operativo emitan o puedan emitir contaminantes a la atmosfera. (Carreño & Prieto. 2008)

En los últimos años, el material particulado o PM ha sido foco de diversas investigaciones relacionadas con la contaminación atmosférica. En general es toda partícula en estado sólido o líquido, suspendidas y dispersas en el aire y se clasifica de acuerdo a su diámetro. Están las partículas finas, las cuales poseen un diámetro menor o igual a 2.5 μm , O partículas gruesas con diámetro menor a 10 micras. (Olaya & Pérez. 2006). Aun a bajas concentraciones la contaminación por partículas suspendidas totales (PST) puede incrementar el riesgo de las infecciones respiratorias agudas (IRA), los episodios asmáticos y otras enfermedades respiratorias (Abbey et al, 1995).

Los efectos sobre la salud varían de acuerdo al tiempo, tipo de contacto y tamaño de partícula, aunque el organismo cuenta con barreras que impiden la entrada de agentes externos, solo es capaz de retener la fracción gruesa de ingresar al sistema respiratorio superior como epiglotis, laringe, cavidad nasal y faringe, y aquella de menor tamaño como la fracción fina, atraviesa estas barreras llegando a los pulmones y adhiriéndose a los alveolos.

Dado de que los microorganismos se encuentran dentro del rango de diámetro de las partículas inhalables, estos se adhieren a las partículas (bioaerosoles) facilitando el transporte. Durante el recorrido hasta los pulmones, las partículas chocan con las paredes de la tráquea y bronquios permitiendo un mayor contacto con el organismo y de esta manera los bioaerosoles tienen mayor cobertura donde asentarse y generar infecciones respiratorias como difteria, influenza, afecciones respiratorias agudas entre otras. (Rey & Fula.2005)

Partículas suspendidas

Son el contaminante más visible, generalmente se presenta como humo emitidos en procesos de combustión y actividades industriales, en grandes concentraciones son nocivas para la salud publica produciendo irritaciones en el sistema respiratorio. El material particulado con diámetro aerodinámico o de fracción fina PM 2.5 se encuentra clasificado como amenaza para la salud según la Organización Mundial para la Salud, estos efectos dependen de su tamaño y composición química, siendo aparentemente más finas y los sulfatos lo más perjudiciales, responsables de los aumentos de ataques de asma y agravaciones de enfermedades cardiacas y pulmonares. (Cruz & Jiménez, 2006)

Aerosoles

Partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, pueden ser generados por eventos naturales como las tormentas de arena o erupciones volcánicas, también son emitidos por actividades de origen antropogénico, varia su composición química y su diámetro aerodinámico entre $0,002 \mu\text{m}$ - $100\mu\text{m}$, haciendo parte en los procesos de contaminación atmosférica. Los efectos de estos dependen del diámetro de las partículas que lo componen, las partículas con diámetros menores a $10 \mu\text{m}$ contribuyen a la absorción de la radiación infrarroja, las partículas con diámetros de $0,0 \mu\text{m}$ y $1 \mu\text{m}$ absorben la radiación visible, teniendo como consecuencia enfriamiento de la superficie terrestre (Moreno, 2007).

Bioaerosoles y microbiología del aire

Los bioaerosoles son aquellas partículas transportadas por el aire compuestas por materiales orgánicos como polen, hongos, esporas, actinomicetos, protozoos, restos de insectos, patógenos como virus y bacterias, compuestos orgánicos volátiles y/o residuos procedentes de alguna materia viva. Aunque la atmosfera posee algunas condiciones difíciles como la alta radiación solar, baja humedad y nutrientes, grandes capacidades de dispersión evolucionaron gradualmente a uno de los hábitats para microorganismos (Henderson & Salem, 2016).

Condiciones como temperatura, humedad, rayos ultravioleta, entre otros factores meteorológicos, favorecen el traslado y crecimiento de la población microbiana; de igual forma, cada microorganismo se comporta de manera diferente ante los factores mencionados anteriormente, como ejemplo esta la temperatura que inhibe el crecimiento de muchos; sin embargo algunos presentan mayor resistencia y pueden reproducirse sin ningún problema, esto dificulta los estudios y aumenta el grado de complejidad en el desarrollo de conocer el comportamiento de los microorganismos en un ambiente aéreo.

Tabla 1
Composición de bioaerosoles

Organismo	Unidad transportada	Ejemplos de organismos	Efectos humanos primarios	Tipos de vida
Bacteria	Organismos Esporas Productos	<i>Legionella</i> <i>Thermoactinomyces</i> Endotoxinas Proteasas	Neumonía Fiebre Escalofríos Asma	Parásitos facultativos Saprotitos
Hongos	Organismos Esporas Antígenos Toxinas Volátiles	<i>Sporobolomyces</i> Alternaria Histoplasma Glicoproteínas Aflatoxinas Aldehídos	Neumonía Asma(rinitis) Infección sistémica Cáncer Iritación membrana mucosa	Saprotitos Saprotitos facultativos
Protozoos	Organismos Antígenos	<i>Naoglersis</i> <i>Acanthamoeba</i>	Infección Neumonía	Parasito facultativo
Virus	Organismos	Gripe	Infección respiratoria	Parasito obligado
Algas	Organismos	<i>Chlorococcus</i>	Asma, Rinitis	Autótrofos
Plantas verdes	Polen	<i>Ambrosia sp.</i>	Asma, Rinitis	Autótrofos
Artrópodos	Heces	Dermatofagoides	Asma, Rinitis	Fagótrofos
Mamíferos	Escamas de piel, saliva	Caballos Gatos	Asma, Rinitis	Fagótrofos

Fuente: NTP 288. Ministerio de trabajo y asuntos sociales. España

Los microorganismos pueden existir en el aire, en su mayoría dependen del material particulado que son los portadores principales de los microorganismos del aire, desde cuando el material particulado pueda ofrecer nutrientes para prevenir las condiciones de hambre y mantener su metabolismo, el material particulado también puede ofrecer para los microorganismos un escudo contra el daño por radiación UV (Kharangate-Lad, 2015). Sin embargo, los microorganismos presentes en el aire pueden sufrir de episodios de estrés debido a las condiciones extremas provocadas en la atmosfera, los microorganismos que presentan estrés pueden llegar a reproducirse si encuentran los elementos necesarios en el medio para recuperarse

de los daños causados, esto dependerá de la capacidad del microorganismo para reparar sus funciones biológicas y metabólicas. (Cruz & Jiménez, 2006)

Bacterias de importancia

Las bacterias aumentan durante el día en comparación con la noche, debido a las pesadas actividades humanas y al flujo vehicular. La concentración de las bacterias depende de condiciones como la velocidad del viento, radiación solar y el aumento de las actividades humanas (Dybwad et al., 2014).

- *Pseudomona spp*: patógeno oportunista nosocomial de individuos inmunocomprometidos, *P. aeruginosa* típicamente infecta el tracto pulmonar, tracto urinario, quemaduras y heridas. Es la causa más común de infecciones de quemaduras y del oído externo (otitis externa), y es el colonizador más frecuente de dispositivos médicos (por ejemplo, catéteres). *Pseudomonas* pueden, en raras circunstancias ser causa de neumonías adquirida en la comunidad, así como las neumonías asociadas a la ventilación mecánica, siendo uno de los agentes más comunes aislados en varios estudios. (Cuesta et al., 2012)

- *Staphylococcus aureus*: infección nosocomial más común, esta bacteria puede estar presente en la nariz y en la piel de las personas sin causar una infección activa (Ibáñez 2008)

- *Serratia spp*: Bacteria que puede causar infección en varios sitios, incluyendo el tracto urinario, tracto respiratorio, heridas y el ojo, ya que puede causar conjuntivitis, queratitis,

endofalmitis y las infecciones de conductos lagrimales. También es una causa poco frecuente de endocarditis y osteomielitis, neumonía y meningitis. (Patiño et al., 2005)

- *Klebsiella spp*: es un patógeno oportunista en pacientes con enfermedad pulmonar crónica, la patogenicidad entérica, atrofia de la mucosa nasal, y rinoscleroma. Las heces son la fuente más importante de infección del paciente, seguido por el contacto con instrumentos contaminados (Andrade & Silva, 2004)

- *Haemophilus influenzae*: Bacteria Gram negativa que causa meningitis e infecciones respiratorias agudas, principalmente en los niños (Nemours 2012)

- *Streptococcus pneumoniae*: Bacteria responsable de infecciones benignas como otitis media y sinusitis agudas, e infecciones severas como septicemia, meningitis y neumonía (Preado 2001)

- *Mycobacterium*: Bacteria que se propaga a través del aire cuando las personas que tienen una activa infección como lo es tos, estornudo, o transmisión de su saliva a través del aire. (Lara et al.)

En general la diversidad bacteriana, riqueza y abundancia relativa, exhiben significativamente patrones de estacionalidad, concentraciones, temperatura, región y el terreno (Algharndi et al., 2014)

Hongos de importancia

- *Mucor spp* y *Rhizopus spp*: Hongos los cuales pueden originar ocasionalmente enfermedad al hombre. Algunas especies son capaces de producir mucormicosis al hombre, que si no se tratan pueden causar la muerte. Ambos géneros se encuentran ampliamente extendidos en la naturaleza, especialmente en la materia orgánica en descomposición. (Lara et al.)

- *Aspergillus fumigatus*: Para que se produzca enfermedad por *Aspergillus* es necesario estar muy expuesto a ella y presentar deficiencia inmunitaria u otras circunstancias como ciertos tratamientos farmacológicos y enfermedades debilitantes. Se localiza inicialmente en los pulmones debido a la inhalación de esporas, que cuando germinan crecen invadiéndolo todo (bola de hongos), provocando fiebre, dolor pleural, tos seca (INSTH 2012)

- *Alternaria spp*: Hongo alérgeno en los humanos, y, dentro de casa, pueden causar rinitis alérgica o reacciones de hipersensibilidad que, en ocasiones, pueden producir ataques de asma. Sus esporas son las causantes de la alergia, y, al igual que los pólenes, son transportadas por el aire hasta la nariz o bronquios del alérgico, causando la rinitis o asma (INSTH 2014)

- *Aspergillus Níger*: Las infecciones causadas por el hongo rara vez ocurren en personas con un sistema inmunitario normal. Las infecciones raras causadas por el *aspergillus* abarcan neumonía y bola fúngica (aspergiloma) (INSTH 2012)

- *Absidia spp*: Son hongos filamentosos comunes en el medio ambiente, La *A. corymbifera* es la especie de *Absidia* más comúnmente aislada. Es un patógeno que causa zigomicosis en seres humanos. Puede infectar la piel, los pulmones, el sistema nervioso y el cerebro o causar infecciones diseminadas. (Guarro 2012)

- *Cladosporium spp*: La especie *Cladosporium herbarum* es la especie con más frecuencia encontrada en el aire, es uno de los hongos alergénicos respiratorios más importantes y se le ha implicado casos de asma y fiebre del heno. (RIM 2002)

Dispersión rápida de microorganismos

El aire es un medio para la dispersión rápida y global de distintos tipos de microorganismos ya que proporciona un mecanismo de transferencia comprendido por una parte de material particulado, se desarrollan donde la masa de aire es estable y contribuye a su crecimiento. Las nubes poseen agua, intensidad de luz y concentración de CO₂ suficiente para permitir el crecimiento de microorganismos fotoautótrofos. Sin embargo, no todos los microorganismos encuentran las condiciones apropiadas para sobrevivir, bajan su tasa metabólica y usan mecanismo como la formación de esporas que les permite resistir las condiciones adversas por prolongados periodos de tiempo (De la rosa, Mosso et, al. 2002).

Condiciones meteorológicas para la dispersión rápida

Humedad relativa

Siendo la humedad relativa uno de los factores más importantes para la dispersión de microorganismo, cuando hay poca presencia de humedad en el aire disminuye la cantidad de agua disponible para los microorganismos, esto produce deshidratación. En los hongos la humedad mínima para su crecimiento debe ser 65%, mientras que para las bacterias debe contener mayor humedad (Lidwell, 1990).

Temperatura

La temperatura se encuentra relacionada con la humedad relativa, afecta los valores de humedad o cantidad de vapor que se encuentra presente en el aire, también influye en la presión atmosférica, esta se relación con el fenómeno de inversión térmica. La temperatura en la troposfera varia de 40°C cerca de la superficie y -80°C en las capas más altas, la congelación no destruye los microorganismos, pero su metabolismo disminuye al punto de no poder multiplicarse, por ende, hay poca presencia de microorganismos.

Radiación solar

La radiación de luz ultravioleta (UV) produce un efecto biocida para los microorganismos, depende de la longitud de onda e intensidad de la radiación, ya que las longitudes de onda corta, rayos (γ) contienen más energía y destruyen el ADN de los microorganismos, debido al desecamiento y la elevada temperatura que puede presentarse, especialmente en los que no están protegidos por endoesporas, los microorganismos esporulados permanecen por largos periodos de tiempo en la atmosfera, favoreciendo el incremento en las enfermedades presentes en la población (Atlas & Bartha, 2002).

Fenómeno de inversión térmica

Consiste en un proceso natural que se presenta cuando la circulación del aire se afecta en las capas más bajas de la atmosfera, el suelo ha perdido el calor por radiación las capas de aire más cercanas a él se enfrían más rápido que las capas superiores. El aire suele estar en constante movimiento, cuando este ciclo se interrumpe, se forma una capa de aire frío que queda inmóvil sobre el suelo e impide la circulación atmosférica regular provocando que disminuya la velocidad de mezclado vertical y dificultando la dispersión de partículas en suspensión dejándolas atrapadas entre las 2 capas frías de aire cerca de la superficie. (El comercio, 2015)

Este fenómeno ocurre con más frecuencia en las noches despejadas de invierno y mañanas frías sobre los valles de escasa circulación de aire. También se presenta este fenómeno en las

cuencas cercanas a las montañas en noches frías ya que el aire frío se desplaza acercándose al aire caliente de la cuenca provocando un gradiente positivo de temperatura.

Es provocado cuando se emiten contaminantes al aire en condiciones de inversión térmica, se acumulan debido a que los fenómenos de transporte y difusión de los contaminantes ocurren demasiado lentos, generando graves episodios de contaminación atmosférica y por consecuencia provocando graves afectaciones a la salud de los seres vivos. La inversión térmica se termina cuando se calienta el suelo y vuelve a emitir calor lo cual restablece la circulación normal en la troposfera. (El siglo de Durango, 2003)

Capítulo 6

Metodología

Revisión bibliográfica

Durante toda la ejecución del proyecto se realizó una revisión bibliográfica en base de datos como *Science Direct* sobre investigaciones previas que sirvieron como base para el desarrollo experimental y análisis de este trabajo.

Determinación de las variables experimentales

Selección de la zona de muestreo

Este trabajo se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga; para la selección de los puntos de muestreo se tuvo en cuenta el nivel de concentración de PM según la ubicación de fuentes potenciales de emisión de material particulado con un área de 3m a la redonda libre de edificaciones, arboles u obstáculos que interfirieran con el flujo del aire y altura mínima de 1.50m para las válvulas de succión.

Punto Crítico (PC): se encuentra ubicada a un costado del edificio J por la carretera de ingreso de profesores (7.037507, -73.071589)

Punto Fondo (PF): ubicado atrás del edificio K, alejada de fuentes de emisión, con menor exposición a gases de combustión y mayor cubrimiento vegetal. (7.039158, -73.069084)



Figura 1. Puntos de muestreo, UPB- Seccional Bucaramanga
Fuente: Imágenes DigitalGlobe, Datos del mapa 2018 Google

Obtención de la muestra

La recolección de la muestra se llevó a cabo con el equipo URG 3000ABC (Ver figura 2) mediante filtros de fibra de cuarzo y membrana de teflón (PTFE) durante un periodo de 24 horas; simultáneamente se utilizó un equipo DUSTTRAK II AEROSOL MONITOR 8530EP (Ver figura 2) para obtener valores de concentración de aerosoles en tiempo real durante el periodo de muestreo. El muestreo se realizó 4 veces entre lunes y viernes durante dos semanas por cada punto de muestreo, para una duración total de 4 semanas.

Además, se realizaron muestreos entre el domingo y lunes de las semanas 2 y 4, como blancos, dado que son días con menor tráfico vehicular y no hay actividad académica dentro de la universidad. (Ver tabla 2)

Tabla 2

Cronograma, periodos de muestreo 24 horas durante 4 semanas

	Lunes – Martes	Martes – Miércoles	Miércoles – Jueves	Jueves – Viernes	Domingo - Lunes
Semana 1					
Semana 2					
Semana 3					
Semana 4					

Fuente: Autores

Diariamente se recolectaron tres filtros de cuarzo y un filtro de teflón con un diámetro de 47 mm, los cuales fueron distribuidos de la siguiente manera: un filtro de cuarzo y uno de teflón para análisis de PM y 2 filtros de cuarzo para descripción microbiológica. Los filtros de cuarzo para pruebas microbiológicas se esterilizaron previamente a una temperatura de 550°C durante 5 horas (Du et. al., 2018).

Para los estudios de laboratorio se utilizaron el laboratorio de microbiología y el laboratorio de análisis de estudios ambientales (LEA) adscritos a la facultad de ingeniería ambiental de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.



Figura 2. URG 3000ABC / DUSTTRAK II AEROSOL MONITOR 8530EP

Fuente: © 2016 URG Corporation; © 2018 TSI

Toma de variables meteorológicas

Se contó con información meteorológica durante el periodo de muestreo mediante una estación Davis Vantage Pro2™ Inalámbrica (ver figura 3) para la recolección de datos de temperatura y humedad exterior, velocidad y dirección del viento, radiación, intensidad de lluvia, rocío, presión, entre otros.



Figura 3. Estación meteorológica Davis Vantage Pro2™ Inalámbrica
© 2018 estacionesdavis.es

Selección de agar y cultivo microbiológico

Se utilizó un tipo de agar específico por cada uno de los dos grupos de microorganismos de enfoque. Los medios de cultivo que se emplearon son: agar nutritivo para descripción de bacterias y agar de papa y dextrosa (PDA) para descripción de hongos.

El método de siembra que se implementó para el cultivo de muestras microbiológicas, se determinó por medio de ensayos previos, el cual consistió en depositar los filtros en placas Petri

antes de su total solidificación, asegurando un contacto íntegro entre el filtro y el medio de cultivo, luego de este procedimiento las muestras fueron llevadas a incubadora a una temperatura de 37°C durante 48 horas o hasta evidenciar crecimiento (Méndez et. al., 2015).

Determinación del contenido de Black Carbon presente en concentraciones de material fino

Concentración total de PM_{2.5} de las muestras

Para determinar la concentración total de PM 2.5 en las muestras se usó el filtro de teflón mediante método gravimétrico, que consiste en 5 fases:

Fase 1: periodo de acondicionamiento de 24 horas a condiciones de laboratorio

Fase 2: pesaje inicial (filtro sin muestra)

Fase 3: periodo de muestreo de 24 horas

Fase 4: periodo de acondicionamiento de 24 horas a condiciones de laboratorio

Fase 5: pesaje final (filtro con muestra)

Luego del pesaje de los filtros se estableció la diferencia de peso (final – inicial) para obtener el contenido de masa de PM y, junto al volumen de aire muestreado determinar la concentración de PM 2.5 que se comparó con la concentración obtenida por el equipo DUSTTRAK.

Distribución temporal y espacial de la concentración de PM2.5

Mediante el empleo del equipo DUSTTRAK, se llevó a cabo la medición de aerosoles en tiempo real para determinar picos de concentración y obtener un balance en la distribución de la concentración de PM 2.5 durante las 24 horas en cada punto. Posteriormente se tomaron los datos de cada punto para una comparación entre las concentraciones. Estos resultados fueron comparados con las variables meteorológicas con el fin de establecer si tienen alguna influencia; al mismo tiempo se mantuvo un control sobre episodios de generación de material particulado como tráfico vehicular anormal, incendios forestales, entre otros.

Concentración del Black Carbon

La determinación del contenido de Black Carbón se realizó mediante el uso del SootScan™ Model OT21 Optical Transmissometer en el laboratorio de análisis de estudios ambientales. El equipo emite una luz de longitud de onda en el espectro infrarrojo (880 nm) y otra en el espectro ultravioleta (370nm) sobre el filtro; el BC absorbe radiación electromagnética en esta zona del espectro y a partir del valor de atenuación se puede obtener una medición cuantitativa de concentración de BC, método 5/201A de la EPA. El análisis es sin contacto, no contaminante y no destructivo.



Figura 4. SootScan™ Model OT21 Optical Transmissometer
©by Magee Scientific

Descripción macroscópica y microscópica de los diferentes microorganismos

Pasada la etapa de recolección e incubación de las muestras se procedió a realizar la descripción microbiológica correspondiente para cada grupo de bacterias y hongos recolectados.

Se cultivaron 18 muestras para hongos y 18 muestras para bacterias, equivalentes a los 18 días de muestreo. Se realizaron aislamientos de los hongos más representativos encontrados en todas las cajas sembradas, para mejorar el proceso de descripción e identificación.

La descripción de microorganismos bacterianos se realizó teniendo en cuenta la morfología de las colonias, elevación, superficie, consistencia, borde, luz transmitida y luz reflejada; se aplicó tinción de Gram para hacer una descripción microscópica para determinar forma, agrupación y clasificación como Gram positivos o gramnegativos. (Méndez et. al., 2015, pag.4).

Para la descripción fúngica se tuvo en cuenta: aspecto, color, y formación de pigmento, presencia de hifas aéreas. La descripción microscópica se realizó con colorante azul de lactofenol para observación de estructuras típicas y método de reproducción. (Méndez et. al., 2015).

Presencia de diferentes grupos de microorganismos en muestras con contenidos extremos de BC

Dado que el Black Carbon, está directamente asociado a la quema de combustibles fósiles o biomasa, se examinó la presencia de diferentes grupos microbianos en las muestras con contenido máximo y mínimo de BC. Debido al impacto que este presenta sobre diferentes microorganismos, variando desde soporte, traslado o fuente de carbono, hasta mortalidad por sus efectos tóxicos. De esta forma se estableció un punto de referencia para el posterior análisis en la relación del contenido de BC y microorganismos.

Relación de los niveles de Black Carbón (BC) con la presencia de microorganismos

La relación se determinó teniendo en cuenta los niveles de BC y riqueza (diferencia) de grupos microbiológicos encontrados en los filtros, es decir, se tomaron los diferentes microorganismos en cada punto de muestreo y se evaluó la posible relación que tienen con el contenido de BC; para esto se tuvo en cuenta la diferencia y cantidad de tipos de microorganismos descritos en cada punto. De igual forma, la información meteorológica, la concentración de PM y demás datos recopilados durante el muestreo permitieron realizar un mejor análisis y relación en cuanto al BC y la presencia de microorganismos

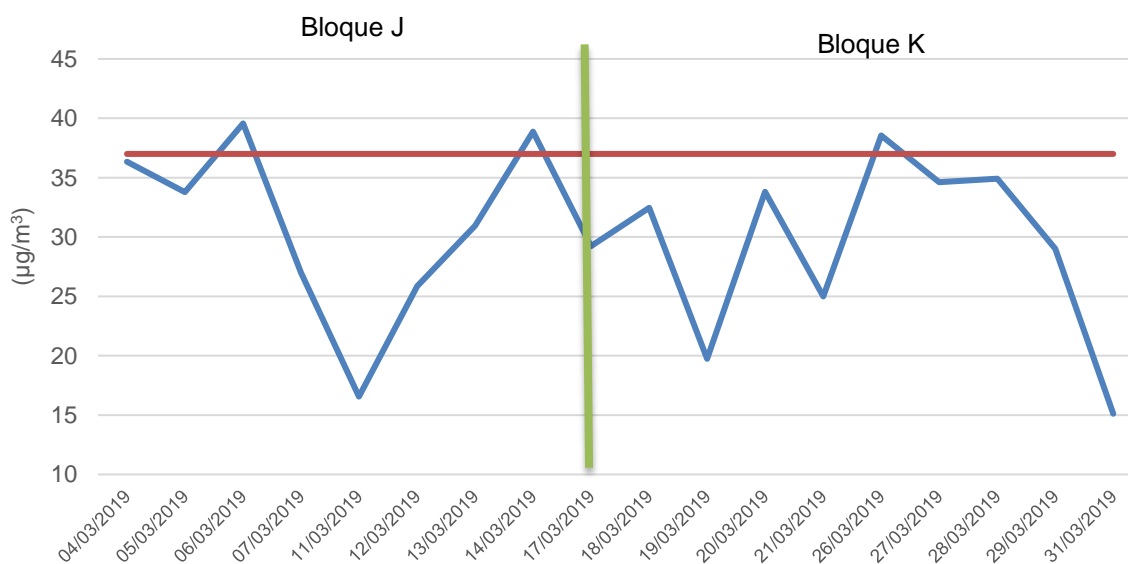
Capítulo 7

Resultados y Discusión

Determinación del contenido de Black Carbon presente en concentraciones de material fino

Concentración total de PM2.5 y BC presente en las muestras

La grafica 1 representa la concentración de PM 2.5 en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) obtenida para cada día de muestreo comparado con el valor de $37 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ establecido por la resolución 2254-2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Se evidencia un aumento en la concentración de tres días durante el periodo de muestreo mayor al valor máximo permisible con el valor más alto registrado el día 06/03/2019 con valor de $39.56 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ para la zona del edificio J, sin embargo, cabe resaltar el incremento presente en otros días con concentraciones superiores a $30 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$, cuyos valores se acercan al umbral dispuesto.



Grafica 1. Concentración de PM 2.5 comparada con la resolución 2254-2017

Fuente: Autores

En la tabla 3. Se representa la concentración del contenido de PM y concentración de BC. Los filtros correspondientes al ID 1 a 9 pertenecen a las muestras tomadas en el edificio J y los filtros del ID 10 a 18 comprenden las muestras tomadas en el edificio K.

Tabla 3
Determinación de la concentración de PM 2.5 y BC

ID Filtro	Concentración PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	BC/PM2.5
04/03/2019	36.3379	4.1617	11.4528%
05/03/2019	33.7738	0.7326	2.1691%
06/03/2019	39.5685	0.7923	2.0022%
07/03/2019	27.0000	3.2729	12.1219%
11/03/2019	16.5464	2.7830	16.8194%
12/03/2019	25.8687	2.8634	11.0691%
13/03/2019	30.9428	3.4706	11.2163%
14/03/2019	38.8806	3.8160	9.8148%
17/03/2019*	29.2232	2.4111	8.2507%
18/03/2019	32.4718	3.2339	9.9590%
19/03/2019	19.7447	2.7712	14.0353%
20/03/2019	33.8171	2.8036	8.2904%
21/03/2019	25.0000	3.6867	14.7468%
26/03/2019	38.5450	1.5440	4.0057%
27/03/2019	34.6249	1.2762	3.6857%
28/03/2019	34.9224	1.6533	4.7341%
29/03/2019	29.0000	1.4938	5.1512%
31/03/2019*	15.1147	0.8846	5.8525%

Fuente: Autores

- Fechas correspondientes a domingos

Se obtiene un valor de PM 2.5 máximo de $39.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor mínimo de $16.54 \text{mg}/\text{m}^3$ para la zona del edificio j; así mismo en el edificio k se presenta una concentración de $38.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $19.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como valor máximo y mínimo. De igual forma se registran concentraciones de black carbon máximas y mínimas de $4.16 \text{mg}/\text{m}^3$, $0.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $3.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ correspondientes a cada edificio.

Cabe resaltar que las concentraciones de PM máximas y mínimas no se relacionan con las concentraciones de BC máximas y mínimas debido a que el black carbon se encuentra asociado a procesos de combustión con uso de combustible fósil y dicho material solo hace parte de la composición del PM.

Los datos arrojados presentan similitud entre las concentraciones de PM para el edificio J y K, con valores promedios de $30.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $29.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Se analizan los domingos como días de blanco para cada bloque. Dichos valores representas fechas en los que no hay actividad académica y el tráfico vehicular disminuye, sin embargo, las concentraciones obtenidas no son las esperadas, debido a un fenómeno regional que se presentó en esta época.

Esta similitud entre las concentraciones de PM_{2.5} son consecuencia del fenómeno regional ocurrido durante el trascurso del tiempo de muestreo, dicho fenómeno permite la acumulación de contaminantes atmosféricos formando una zona de mezcla e impidiendo su elevación, estas

alteraciones presentes en la atmosfera pueden llegar a cubrir amplias zonas del territorio y tener una duración prolongada de meses.

Según reportes del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) la calidad del aire reportada por las estaciones de monitoreo se mantuvo entro los rangos de moderado y dañino para población sensible- niños, mujeres embarazadas y adultos mayores durante el mes de marzo (AMB, RED METROPOLITANA DE LA CALIDAD DEL AIRE. 03-2019). La figura. 5 muestra un escaneo satelital de partículas de aerosol que evidencian la acumulación de dicho material durante los días del mes de marzo.

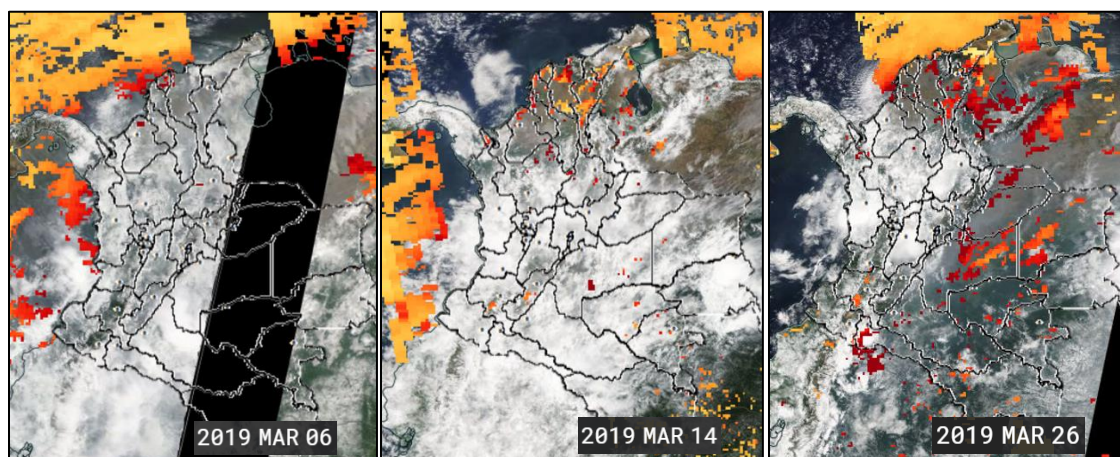
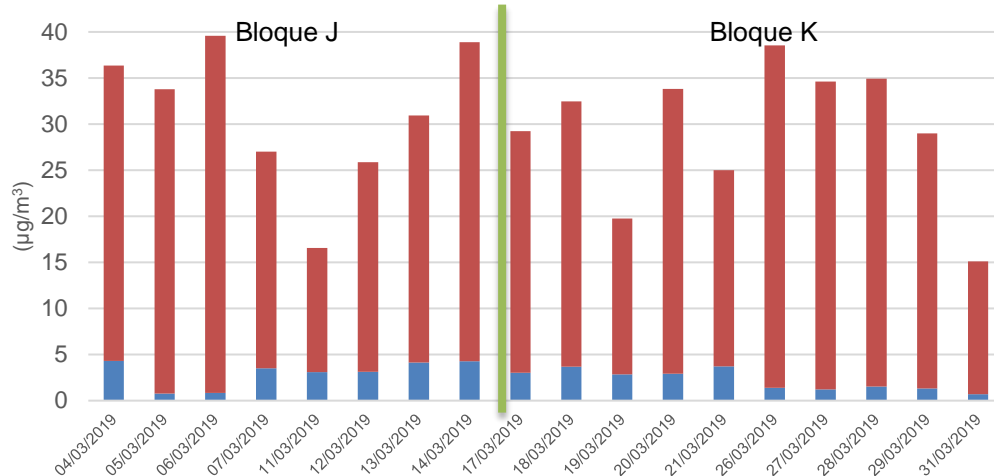


Figura 5. Aerosol Optical Depth - satellite Aqua/Modis

Fuente: worldview.earthdata.nasa.gov

En la gráfica 2, se observa la concentración de Black Carbon presente en el PM 2.5 para ambas zonas, dichas concentraciones no superan los $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo, la zona perteneciente al edificio K obtiene los valores más bajos en comparación con los registrados en el edificio J.

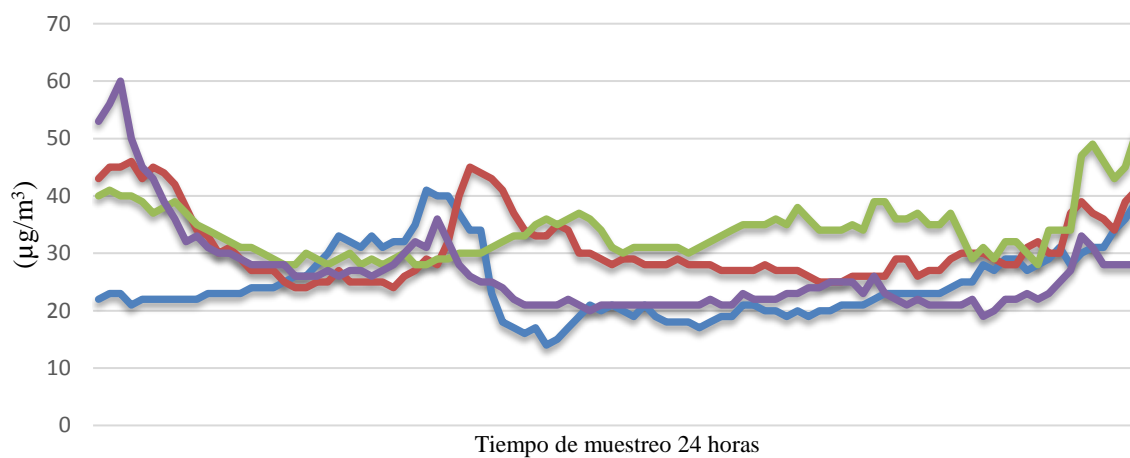


Gráfica 2. Concentración de BC presente en PM 2.5
Fuente: Autores

Distribución temporal y espacial de la concentración de PM2.5

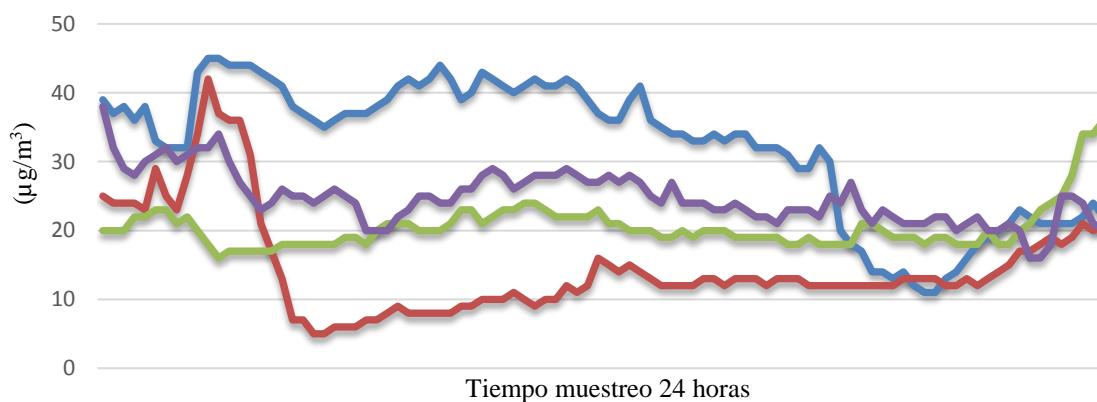
Mediante el empleo del equipo Dusttrak se obtuvieron registros en tiempo real de las concentraciones de PM 2.5 durante las 24 horas de muestreo de cada día, se presenta semejanza entre cada día para ambas zonas, evidenciando aumento en las concentraciones durante periodos de tiempo establecidos en los que aumenta el flujo vehicular denominadas horas pico. Durante el periodo de 24 horas se recolectaron 96 muestras en cada estación de monitoreo del edificio J y K para cada día.

La grafica 3, representa la distribución temporal de PM 2.5 perteneciente al edificio J, se evidencian concentraciones regulares entre cada día, siendo el J el punto crítico en referencia a la cercanía de la fuente, también se muestran los horarios con alzas en las concentraciones distribuidas en los horarios de mañana, medio día y tarde noche.



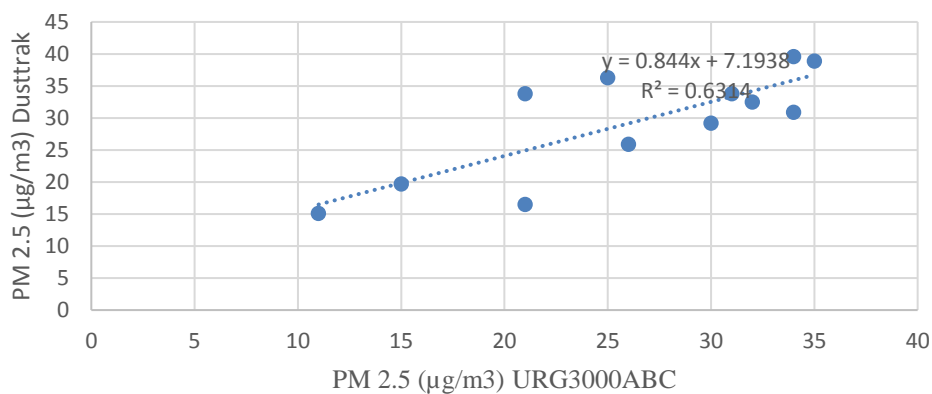
Grafica 3. Distribución temporal de PM 2.5 semana 1 Edificio J
Fuente: autores

Caso contrario ocurre en el edificio K, que, aunque los datos presentan semejanza entre los días en cuanto a la distribución temporal de las concentraciones, se presenta para dos ocasiones una alteración debido a un evento externo ocurrido en el periodo de tiempo de la tarde.



Grafica 4. Distribución temporal de PM 2.5 semana 1 Edificio K
Fuente: autores

Al mismo tiempo se realizó una comparación entre las concentraciones obtenidas por el equipo Dusttrak y la determinada mediante el equipo URG3000ABC por método gravimétrico, dicha comparación permite corroborar la información obtenida por ambos equipos debido a la coherencia entre los datos.



Grafica 5. Comparación de PM 2.5 (µg/m3). Equipo Dusttrak vs URG 3000 ABC
Fuente: Autores


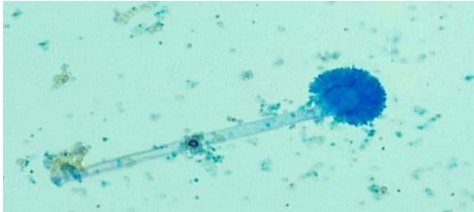

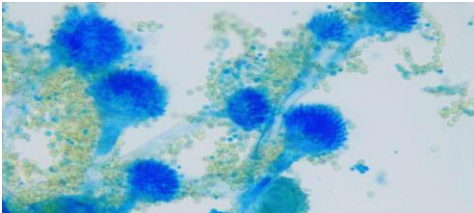

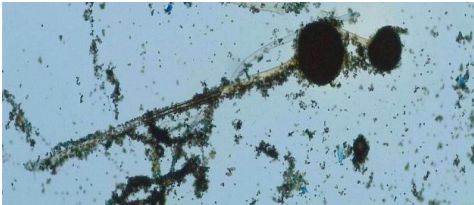

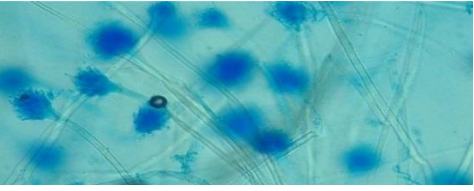
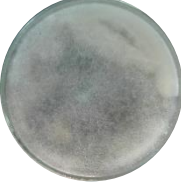
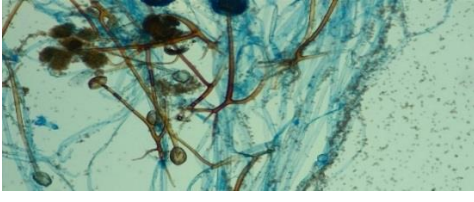
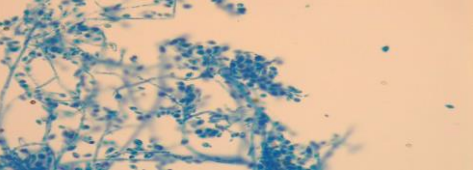
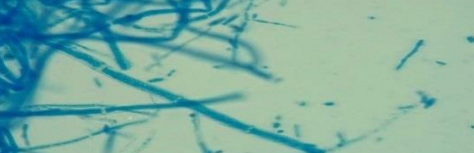
Descripción microbiológica de los diferentes microorganismos

HONGOS

Se obtuvieron 60 morfotipos descritos macro y microscópicamente durante todo el periodo de muestreo (ver anexo 6 y 7); se logró determinar dos géneros y 7 especies y se registra mayor abundancia de morfotipos en el edificio J en comparación con los presentes en el edificio K.

Se aislaron morfotipos de hongos con el fin de mejorar la descripción e identificación de los mismo, donde el género más representativo encontrado es el *Aspergillus* spp, presentando la mayor frecuencia de aparición y el mayor número de especies registradas en ambos puntos de muestreo. Seguido del género *Rhizopus*, también se registran dos especies sin posibilidad de identificación por la metodología usada. (Ver tabla 4)

Tabla 4
Géneros y especies fúngicas caracterizadas

Especie	Características	
	Macro	Micro
<i>Aspergillus sp1</i>	<p>Colonias lanosas de color amarillento con reverso color café amarillento.</p> 	
<i>Aspergillus sp2</i>	<p>Colonias algodonosa de color gris verdoso, presenta un reverso incoloro.</p> 	
<i>Aspergillus sp3</i>	<p>Colonias pulverulentas de color marron, su reverso posee una coloracion amarillenta..</p> 	
<i>Aspergillus sp4</i>	<p>Colonias lanosas de color blanco con reverso color marron.</p> 	
<i>Rhizopus</i>	<p>Colonia algodonosa de color gris.</p> 	
<i>Sp desconocida 1</i>	<p>Coloniaa algodonosa de color blanco.</p>	
<i>Sp desconocida 2</i>	<p>Colonia algodonosa de color blanco.</p>	

Fuente: Autores

La tabla 5 representa la presencia y ausencia de cada especie determinada en cada día y zona de muestreo, se obtienen las especies del genero *Aspergillus spp* como predominantes en ambas zonas, siendo el edificio J el punto con mayor número de morfotipos registrados.

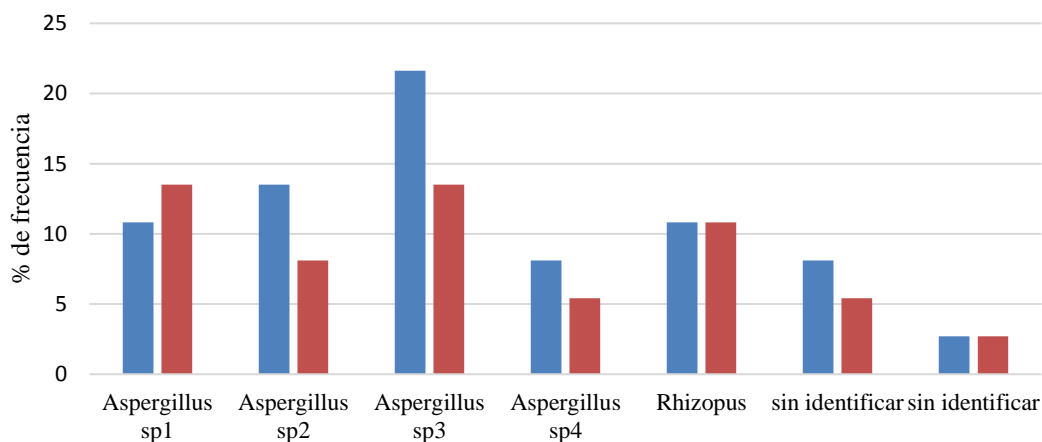
Tabla 5
Especies Fúngicas descritas en cada filtro de muestro

Especies fúngicas descritas en cada filtro de muestreo							
ID filtro	<i>Aspergillus sp1</i>	<i>Aspergillus sp2</i>	<i>Aspergillus sp3</i>	<i>Aspergillus sp4</i>	<i>Rhizopus</i>	<i>Sp sin identificar 1</i>	<i>Sp sin identificar 2</i>
1	X		X	X		X	
2	X	X		X		X	
3	X	X	X	X			X
4			X			X	
5			X		X		
6	X	X	X		X		
7		X	X				
8			X		X		
9		X	X		X		
10	X	X	X		X	X	
11					X		
12	X				X		
13	X		X		X	X	
14							
15	X	X	X				
16	X	X					
17			X	X			X
18			X	X			

Fuente: Autores

Cabe de resaltar que para el filtro con ID 11 se presentó un crecimiento expansivo de la especie del genero *Rhizopus* en toda la caja petri, esto inhibió el crecimiento de otras especies. Otro filtro importante a mencionar corresponde al ID 14, en el cual no se presentó ningún crecimiento de especies fúngicas por inconvenientes durante la incubación

Sin embargo, el edificio J y K presentan similitud en cuanto a la frecuencia de aparición de las especies, ambas zonas poseen la misma diversidad de especies caracterizadas (ver grafica 6).



Grafica 6. Porcentaje de frecuencia de especies fúngicas.

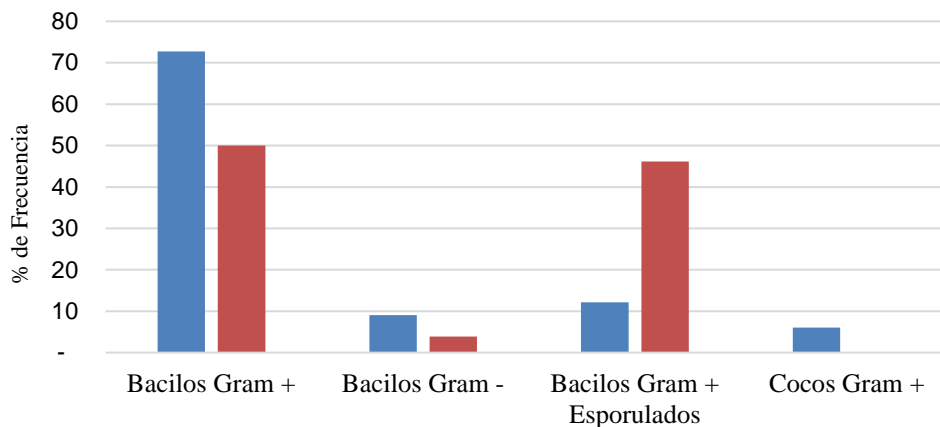
El color azul representa los morfotipos descritos para el edificio J, seguido del color rojo que representa los morfotipos descritos en el edificio K

Fuente: Autores

BACTERIAS

Los morfotipos del grupo bacteriano fueron descritos macroscópicamente por la diferencia entre colonias obtenidos en cada muestreo y descritas microscópicamente por su forma y coloración. Dado que no se realizaron pruebas bioquímicas o moleculares que permitirán una mejor identificación, los morfotipos bacterianos fueron agrupados dependiendo de sus características microscópicas. De esta forma podemos ver en la gráfica # 7 que los bacilos Gram positivos representan el mayor porcentaje de frecuencia en comparación a otras características microscópicas descritas para ambas zonas del muestreo, la presencia de bacilos gram negativos y cocos gram positivos es casi nula durante el muestreo, otra característica importante a resaltar,

son los bacilos gram positivos esporulados; esta característica en las bacterias es una adaptación que la célula adquiere para facilitar su traslado por el aire.

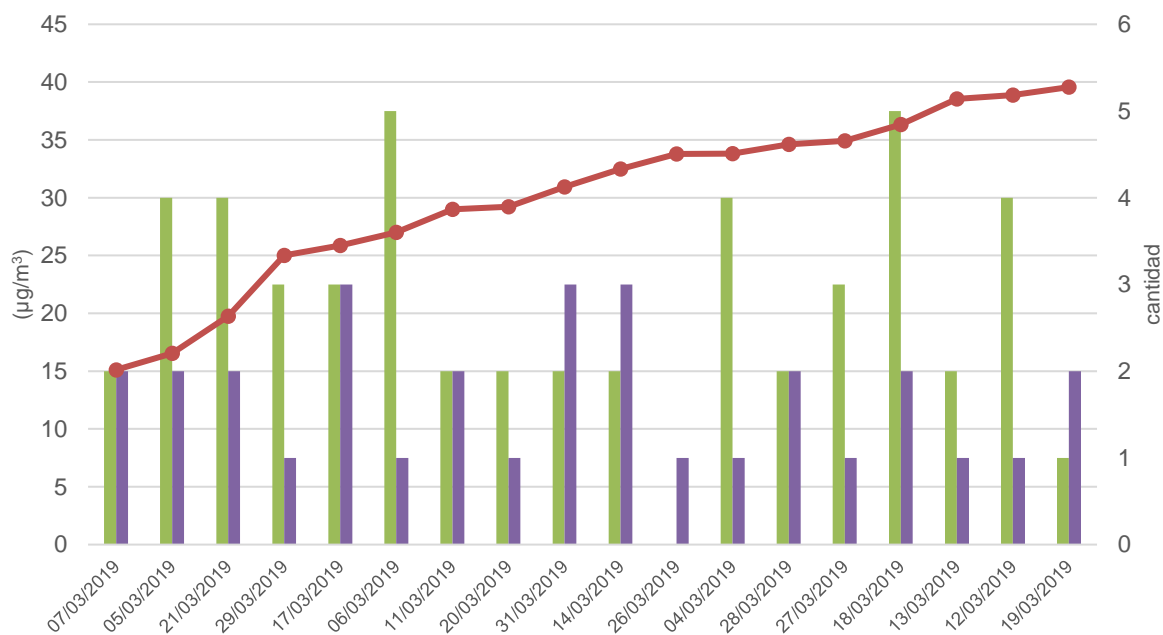


Grafica 7. Porcentaje de frecuencia de características bacterianas microscópicas. El color azul representa los morfotipos descritos para el edificio J, seguido del color rojo que representa os morfotipos descritos en el edificio K
Fuente: Autores

Presencia de diferentes tipos de microorganismos en muestras con contenidos extremos de PM 2.5 y BC

Los microorganismos en el aire no poseen una microbiota específica, se requiere de cambios o adaptaciones especializadas que favorezcan su traslado; el material particulado al tener una composición variada brinda la posibilidad de traslado que se requiere para su dispersión.

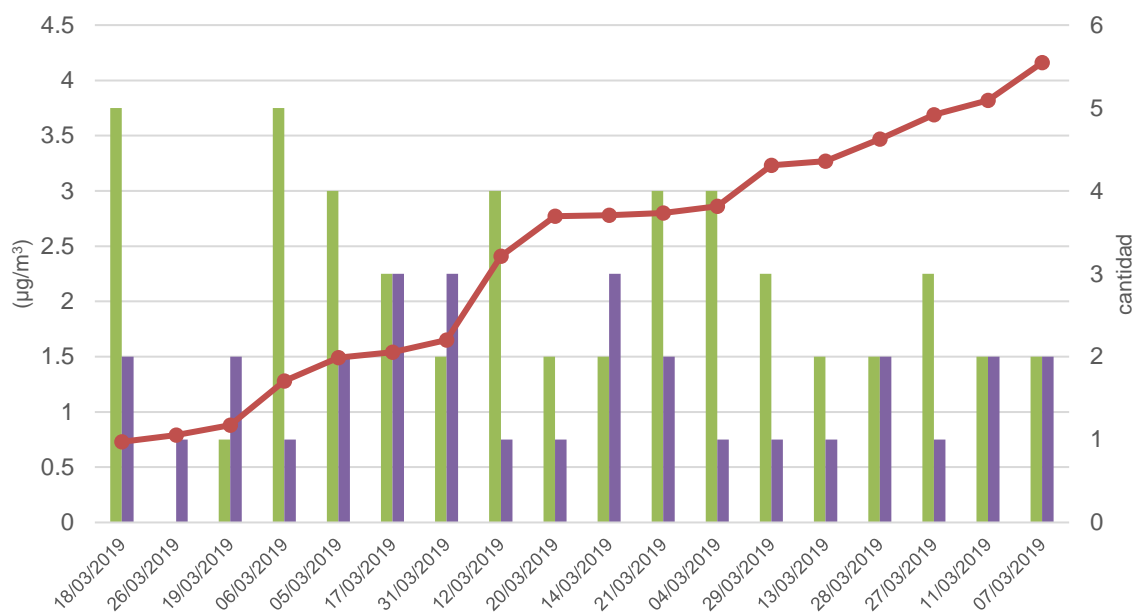
La gráfica 8 muestra una comparación entre las concentraciones agrupadas de mínimas a máximas de PM 2.5 con la cantidad de tipos de microorganismos obtenidos en cada muestra, no se evidencia una relación directa entre la cantidad de microorganismos con la concentración de PM 2.5, aunque el PM permita una mejor dispersión no asegura aumento en la diversidad microbiológica del aire, los tipos de microorganismos varían entre cada día sin depender de las concentraciones de PM 2.5, siendo las bacterias representadas por barras moradas y hongos por barras verdes.



Gráfica 8. Concentración de PM 2.5 – cantidad de tipos de microorganismos.

Fuente: Autores

El PM posee variedad de compuestos, orgánicos e inorgánicos que pueden llegar a representar efectos negativos en la supervivencia de estos microorganismos. El black carbon como componente evaluado del PM para este estudio, presenta una tendencia a disminuir la diversidad de tipos de hongos obtenidos en medida que las concentraciones aumentan (ver grafica 9).



Grafica 9. Concentración de BC – cantidad de tipos de microorganismos.

Fuente: Autores

Capítulo 8

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Comparando las concentraciones totales del PM2.5 con la diversidad microbiológica descrita, no es posible evidenciar una relación entre estas dos variables debido a la presencia de un fenómeno de inversión térmica que se presencié en nuestro país en los primeros meses del año, por ende, no permitió ver la influencia de las fuentes móviles cercanas.

Alteraciones en las condiciones climáticas como fenómenos regionales que impiden la correcta dispersión, elevación de los gases y partículas suspendidas en el aire limitan los rangos obtenidos en las concentraciones del material particulado creando similaridad entre los datos.

Se registra el género *Aspergillus* con mayor frecuencia de aparición y mayor número de especies, siendo el *Aspergillus sp3* el de mayor abundancia para ambos puntos; de igual forma se obtiene que las bacterias Bacilos gram positivo presentan mayor frecuencia en la descripción microscópica.

Al encontrar las mismas especies de hongos en cada punto se puede evidenciar que las distancias entre las zonas de muestreo no son suficiente

Las concentraciones del material particulado no permiten determinar una relación con la diversidad microbiológica presente en el aire, aunque el PM brinde soporte para el traslado de los microorganismos, no es posible usar las concentraciones como indicador de la diversidad microbiológica.

Se evidencia una influencia por las altas concentraciones de BC origen de fuentes móviles que disminuye que disminuye la presencia de hongos en el aire, sin embargo, aumenta el riesgo en la salud pública.

Recomendaciones

Realizar el estudio durante un tiempo más prolongado que abarque época de lluvia y seca, que permita mayor variabilidad de datos.

Evitar las épocas donde se presenten fenómenos regionales de inversión térmica extrema que afecten las concentraciones del material particulado.

Aumentar los puntos de muestreo y variar distancias entre puntos críticos y de fondos que favorezcan las concentraciones de PM y diversidad de microorganismos a obtener esto dada la contaminación ambiental, factores antropogénicos, climáticos y biológicos.

Mejorar el análisis microbiológico con procesos taxonómicos que permitan una identificación más exacta

Lista de Referencias

Abbey, D. E., Ostro, B. E., Petersen, F., & Burchette, R. J. (1995). Chronic respiratory symptoms associated with estimated long-term ambient concentrations of fine particulates less than 2.5 microns in aerodynamic diameter (PM_{2.5}) and other air pollutants. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, 5(2), 137-159.

Aira, M. J., Rodríguez-Rajo, F. J., Jato, V., & Piontelli, E. (2006). Análisis cuantitativo y cualitativo de la aeromicota aislada de la catedral de Santiago de Compostela (Galicia, España). *Boletín Micológico*, 21.

Alghamdi, M. A., Shamy, M., Redal, M. A., Khoder, M., Awad, A. H., & Elserougy, S. (2014). Microorganisms associated particulate matter: a preliminary study. *Science of the Total Environment*, 479, 109-116.

Atlas, R. M., & Bartha, R. (2002). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Pearson-Addison Wesley.

Benavides Correa, D. L. (2017). Identificación de bacterias causantes de infecciones respiratorias presentes en material particulado PM₁₀ en el Distrito Metropolitano de Quito (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armada ESPE. Carrera de Ingeniería en Biotecnología.).

Blanco Becerra, L. C. (2004, August). Caracterización microbiológica del material particulado como factor de riesgo sobre la salud en la localidad de Puente Aranda. In Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 29 (pp. 1-9). AIDIS.

Carreño Rodríguez, A. C., & Prieto Puentes, G. P. (2008). Determinación y correlación del material particulado y gases con los principales microorganismos patógenos existentes en los ambientes intramural y extramural presentes en tres jardines infantiles ubicados en las localidades de Fontibón, Puente Aranda y Kennedy.

Cruz, A., & Jiménez, A. (2006). Evaluación de la contaminación del aire por microorganismos oportunistas y su relación con material particulado (PM 2.5 y PM 10) en la localidad de Puente Aranda, Bogotá, DC (trabajo de grado). Bogotá,. DC: Universidad de la Salle, 189-91.

Cuello, J. A. G., Arenas, A. A., Criado, J. C. H., Duarte, J. A., & Felizola, M. P. (2016). HONGOS ASOCIADOS AL MATERIAL PARTICULADO, EN OCAÑA NORTE DE SANTANDER. *Revista Ingenio UFPSO*, 12(1), 75-83.

DE, M., ROSA, M. M., & Ullán, C. (2002). El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Observatorio medioambiental*, 5(2002), 375-402.

Du, P., Du, R., Ren, W., Lu, Z., & Fu, P. (2018). Seasonal variation characteristic of inhalable microbial communities in PM_{2.5} in Beijing city, China. *Science of the Total Environment*, 610, 308-315.

Du, P., Du, R., Ren, W., Lu, Z., Zhang, Y., & Fu, P. (2018). Variations of bacteria and fungi in PM_{2.5} in Beijing, China. *Atmospheric Environment*, 172, 55-64.

Dybwad, M., Skogan, G., & Blatny, J. M. (2014). Temporal variability of the bioaerosol background at a subway station: concentration level, size distribution, and diversity of airborne bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, 80(1), 257-270.

El Siglo de Durango, calle Hidalgo 419 Sur, Durango, Dgo. México, C.P. 34000

Gao, M., Yan, X., Qiu, T., Han, M., & Wang, X. (2016). Variation of correlations between factors and culturable airborne bacteria and fungi. *Atmospheric Environment*, 128, 10-19.

Haas, D., Galler, H., Luxner, J., Zarfel, G., Buzina, W., Friedl, H., ... & Reinthaler, F. F. (2013). The concentrations of culturable microorganisms in relation to particulate matter in urban air. *Atmospheric environment*, 65, 215-222.

Hernández-Cadena, L., Téllez-Rojo, M. M., Sanín-Aguirre, L. H., Lacasaña-Navarro, M., Campos, A., & Romieu, I. (2000). Relación entre consultas a urgencias por enfermedad

respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Salud pública de México*, 42, 288-297.

Hwang, S. H., Roh, J., & Park, W. M. (2018). Evaluation of PM10, CO2, airborne bacteria, TVOCs, and formaldehyde in facilities for susceptible populations in South Korea. *Environmental pollution*, 242, 700-708.

Jung, J. H., Lee, J. E., Lee, C. H., Kim, S. S., & Lee, B. U. (2009). Treatment of fungal bioaerosols by a high-temperature, short-time process in a continuous-flow system. *Applied and environmental microbiology*, 75(9), 2742-2749.

Kharangate-Lad, A. (2015). Bacteria Adhered to Particulate Matter and Their Role in Plant Litter Mineralization. In *Bioprospects of Coastal Eubacteria* (pp. 195-207). Springer, Cham.

Lara Rodríguez, H. E., & Torres Alfonso, V. J. Caracterización microbiológica del material particulado intramural y del agua de consumo en jardines de la Secretaría de Integración Social en la Localidad de Usme.

Li, L., Li, H., Zhang, X., Wang, L., Xu, L., Wang, X., & Cao, G. (2014). Pollution characteristics and health risk assessment of benzene homologues in ambient air in the northeastern urban area of Beijing, China. *Journal of Environmental Sciences*, 26(1), 214-223.

Lidwell, O. M. (1990). The microbiology of air. Topley and Wilson's. Principles of bacteriology, virology and immunity, I, 8.

Liu, H., Zhang, X., Zhang, H., Yao, X., Zhou, M., Wang, J., ... & Zheng, P. (2018). Effect of air pollution on the total bacteria and pathogenic bacteria in different sizes of particulate matter. *Environmental Pollution*, 233, 483-493.

Maier, R. M., & Gentry, T. J. (2015). Chapter 17: microorganisms and organic pollutants. *Environmental microbiology*, 3rd edn. Academic Press, San Diego, 377-413.

Maurizio, G., Andrea, F., Eleonora, L., Paride, M., Giuseppina, B., Ezio, B., & Marina, C. (2011). In vitro effects of microbiologically characterized Milan particulate matter. *Procedia Environmental Sciences*, 4, 192-197.

Méndez-Puentes, C. A., Camacho-Suárez, J. G., & Echeverry-Hernández, S. (2015). Identificación de bacterias y hongos en el aire de Neiva, Colombia. *Revista de Salud Pública*, 17, 728-737.

Nanclares Castañeda, D. A. Evaluación de las bacterias aisladas de material particulado PM2.5 captado en tres estaciones de la red de monitoreo de calidad de aire del Área Metropolitana Valle de Aburrá (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín).

Nava, A., García, H., Leal-Lozano, L., & Sánchez-Yáñez, J. M. (2004). Microorganismos en la atmósfera de la ciudad de Monterrey, México. Universidad autónoma de Nuevo León.

Olaya Escobar, D. R., & Perez Rojas, F. A. (2006). Caracterización cualitativa-cuantitativa de bioaerosoles relacionados con factores meteorológicos y particulado en Puente Aranda Bogotá DC.

Ostro, B., Tobias, A., Karanasiou, A., Samoli, E., Querol, X., Rodopoulou, S., ... & Jacquemin, B. (2015). The risks of acute exposure to black carbon in Southern Europe: results from the MED-PARTICLES project. *Occup Environ Med*, 72(2), 123-129.

Pyri, I., & Kapsanaki-Gotsi, E. (2017). Functional relations of airborne fungi to meteorological and pollution factors in a mediterranean urban environment. *Fungal Ecology*, 30, 48-54.

Rey Rodríguez, I. M., & Fula Huertas, Y. M. (2005). Evaluación de la contaminación de aire por microorganismos patógenos en los bioaerosoles, en una zona de alta actividad industrial y flujo vehicular de la localidad de Puente Aranda.

Roldán, M. S. Estudio de bioaerosoles fúngicos captados de filtros PM10 de tres estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire del Valle de Aburrá.

Sales, E. A. (2014). Material particulado y bioaerosoles en el aire de granjas de aves y conejos: cuantificación, caracterización y medidas de reducción (Doctoral dissertation).

Scheff, P. A., Paulius, V. K., Curtis, L., & Conroy, L. M. (2000). Indoor air quality in a middle school, Part II: Development of emission factors for particulate matter and bioaerosols. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 15(11), 835-842.

Suárez Roldán, M. Estudio de bioaerosoles fúngicos captados de filtros PM10 de tres estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire del Valle de Aburrá (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín).

Tolosa-Moreno, D. L., Lizarazo-Forero, L. M., & Blanco-Valbuena, J. O. (2012).
CONCENTRACIÓN Y COMPOSICIÓN MICROBIANA EN EL AMBIENTE DE LA
BIBLIOTECA CENTRAL JORGE PALACIOS PRECIADO DE LA UNIVERSIDAD
PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, TUNJA, COLOMBIA/MICROBIAL
CONCENTRATION AND COMPOSITION IN THE ENVIRONMENT OF THE JORGE
PALACIOS PRECIADO CENTRAL LIBRARY OF THE UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y
TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, TUNJA, COLOMBIA. *Actualidades Biológicas*, 34(97),
241.

Wolf, R., El-Haddad, I., Slowik, J. G., Dällenbach, K., Bruns, E., Vasilescu, J., ... & Prévôt, A. S. H. (2017). Contribution of bacteria-like particles to PM_{2.5} aerosol in urban and rural environments. *Atmospheric Environment*, 160, 97-106.

Zhai, Y., Li, X., Wang, T., Wang, B., Li, C., & Zeng, G. (2018). A review on airborne microorganisms in particulate matters: Composition, characteristics and influence factors. *Environment international*, 113, 74-90.

Anexos

Anexo 1. Determinación del contenido de masa de PM 2.5

ID Filtro	Pesaje inicial				Pesaje final				Diferencia de pesos (g)
	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso prom (g)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso prom (g)	
1	0.35248	0.35265	0.35263	0.35259	0.353	0.35302	0.35299	0.35300	0.00042
2	0.06357	0.06357	0.06354	0.06356	0.06393	0.06396	0.064	0.06396	0.00040
3	0.06383	0.06377	0.06379	0.06380	0.06426	0.06432	0.06424	0.06427	0.00048
4	0.06334	0.06334	0.06333	0.06334	0.0634	0.06338	0.06334	0.06337	0.00004*
5	0.06411	0.0641	0.06408	0.06410	0.06428	0.06431	0.06431	0.06430	0.00020
6	0.06391	0.06394	0.06386	0.06390	0.06425	0.06422	0.06421	0.06423	0.00032
7	0.06377	0.06372	0.06373	0.06374	0.06413	0.06411	0.06415	0.06413	0.00039
8	0.06251	0.06246	0.0625	0.06249	0.06295	0.06295	0.06298	0.06296	0.00047
9	0.06408	0.06415	0.06414	0.06412	0.06445	0.06449	0.0645	0.06448	0.00036
10	0.06578	0.0658	0.06581	0.06580	0.06619	0.06618	0.06617	0.06618	0.00038
11	0.06385	0.06387	0.0639	0.06387	0.06408	0.06412	0.0641	0.06410	0.00023
12	0.06194	0.06199	0.06201	0.06198	0.06236	0.06239	0.06237	0.06237	0.00039
13	0.06507	0.06505	0.06504	0.06505	0.0651	0.06511	0.0651	0.06510	0.00005*
14	0.06704	0.06707	0.06705	0.06705	0.06749	0.06755	0.06749	0.06751	0.00046
15	0.07016	0.07012	0.07018	0.07015	0.07057	0.07054	0.07058	0.07056	0.00041
16	0.05956	0.0595	0.05951	0.05952	0.05994	0.05991	0.05998	0.05994	0.00042
17	0.06601	0.06607	0.06598	0.06602	0.06603	0.06604	0.06602	0.06603	0.00001*
18	0.06051	0.06047	0.06048	0.06049	0.06071	0.06065	0.06063	0.06066	0.00018

Fuente: Autores

Anexo 2. Determinación de la concentración de PM 2.5

Determinación de concentración de PM 2.5							Valor Max. Permissible
ID Filtro	Tiempo total de muestreo (h)	Volumen total de muestreo (m3)	Temperatura prom (°C)	Presión prom (in Hg)	PM 2.5 (µg)	Concentración PM2.5 (µg/m3)	
1	24	11.5	23.7	29.685	416.67	36.3379	37 (µg/m3) Resolución 2254 - 2017 Tiempo de exposición 24 horas.
2	24	11.9	24.7	29.685	403.33	33.7738	
3	24	12.0	24.9	29.705	476.67	39.5685	
4	24	11.7	24.1	29.686	36.67	27.000	
5	24	12.3	25.1	29.674	203.33	16.5464	
6	24	12.5	25.5	29.335	323.33	25.8687	
7	24	12.6	25.7	29.301	390.00	30.9428	
8	24	12.1	24.7	29.285	470.00	38.8806	
9	24	12.2	24.9	29.346	356.67	29.2232	
10	24	11.8	24.1	29.301	383.33	32.4718	
11	24	11.5	23.5	29.32	226.67	19.7447	
12	24	11.6	23.8	29.4	393.33	33.8171	
13	24	11.4	23.4	29.388	50.00	25.000	
14	24	11.8	24.2	29.393	456.67	38.5450	
15	24	11.8	24.2	29.336	410.00	34.6249	
16	24	12.0	24.6	29.352	420.00	34.9224	
17	24	11.7	24.0	29.377	10.00	29.000	
18	24	11.7	23.9	29.428	176.67	15.1147	

Fuente: Autores

Anexo 3. Concentración de PM 2.5 equipo Dusttrak

Concentración de PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
ID Filtro	Mínimo	Máximo	Promedio
1	14	41	25
2	24	46	31
3	28	51	34
4	19	60	27
5	14	42	21
6	14	37	26
7	26	46	34
8	27	49	35
9	24	43	30
10	11	45	32
11	5	42	15
12	16	36	21
13	16	38	25
17	23	47	29
18	0	31	11

Fuente: Autores

Anexo 4. Comparación de concentración de PM 2.5 equipo Dusttrak vs URG 3000 ABC

Comparación de PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
ID filtro	Dustrak	URG3000ABC
1	25	36.3
2	31	33.8
3	34	39.6
4	27	3.1*
5	21	16.5
6	26	25.9
7	34	30.9
8	35	38.9
9	30	29.2
10	32	32.5
11	15	19.7
12	21	33.8
13	25	4.4*
14	0	38.5
15	0	34.6
16	0	34.9
17	29	0.9*
18	11	15.1

Fuente: Autores

* Valores descartados por daño en el filtro, Remplazados por la concentración obtenido por el equipo dustrak

Anexo 5. Determinación del contenido de Black Carbon presente en las muestras

Determinación del contenido de Black Carbon						
ID Filtro	IR	UV	BC (g/m ²)	UV (g/m ²)	BC (μg)	UV (μg)
1	60	148	3.6145	3.7468	47.7201	49.4679
2	11	28	0.6627	0.7089	8.7487	9.3588
3	12	30	0.7229	0.7595	9.5440	10.0273
4	48	122	2.8916	3.0886	38.1761	40.7776
5	43	114	2.5904	2.8861	34.1994	38.1036
6	45	117	2.7108	2.9620	35.7901	39.1064
7	55	156	3.3133	3.9494	43.7435	52.1418
8	58	155	3.4940	3.9241	46.1295	51.8076
9	37	110	2.2289	2.7848	29.4274	36.7667
10	48	130	2.8916	3.2911	38.1761	43.4515
11	40	98	2.4096	2.4810	31.8134	32.7558
12	41	102	2.4699	2.5823	32.6088	34.0927
13	53	127	3.1928	3.2152	42.1528	42.4488
14	23	50	1.3855	1.2658	18.2927	16.7121
15	19	43	1.1446	1.0886	15.1114	14.3724
16	25	55	1.5060	1.3924	19.8834	18.3833
17	22	46	1.3253	1.1646	17.4974	15.3751
18	13	25	0.7831	0.6329	10.3394	8.3561

Fuente: Autores

Anexo 6. Morfotipos fúngicos descritos, edificio J

Día	Morfotipo	Aspecto	Color	Forma Pigmento	Especie
Día 1	1.1	Algodonoso	Blanco	No	Sp desconocida 1
	1.2	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
	1.3	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
	1.4	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
	1.5	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
	1.6	Pulverulento	Amarillo	Si	Aspergillus sp 1
	1.7	Pulverulento	Verde	Si	Aspergillus sp 1
	1.8	Pulverulento	Blanco	Si	Aspergillus sp 4
Día 2	2.1	Algodonoso	Blanco	No	Sp desconocida 1
	2.2	Pulverulento	Verde	Si	Aspergillus sp 1
	2.3	Pulverulento	Gris	No	Aspergillus sp 2
	2.4	Pulverulento	Blanco	Si	Aspergillus sp 4
Día 3	3.1	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
	3.2	Pulverulento	Verde	Si	Aspergillus sp 1
	3.3	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
	3.4	Pulverulento	Gris	No	Aspergillus sp 2
	3.5	Pulverulento	Blanco	Si	Aspergillus sp 4
	3.6	Algodonoso	Blanco	No	Sp desconocida 2
Día 4	4.1	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
	4.2	Algodonoso	Blanco	No	Sp desconocida 1
	4.3	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
Día 5	5.1	Algodonoso	Gris	No	Rhizopus
	5.2	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
Día 6	6.1	Pulverulento	Verde	Si	Aspergillus sp 1
	6.2	Pulverulento	Verde	Si	Aspergillus sp 1
	6.3	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
	6.4	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
	6.5	Pulverulento	Gris	No	Aspergillus sp 2
	6.6	Algodonoso	Gris	No	Rhizopus
Día 7	7.1	Pulverulento	Gris	No	Aspergillus sp 2
	7.2	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
Día 8	8.1	Algodonoso	Gris	No	Rhizopus
	8.2	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
Día 9	9.1	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
	9.2	Algodonoso	Gris	No	Aspergillus sp 2
	9.3	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
	9.4	Pulverulento	Verde	Si	Aspergillus sp 1

Fuente: Autores

Anexo 7. Morfotipos fúngicos descritos, edificio K

Día	Morfotipo	Aspecto	Color	Forma Pigmento	Especie
Día 10	10.1	Algodonoso	Gris	No	Rhizopus
	10.2	Algodonoso	Blanco	No	Sp desconocida 1
	10.3	Pulverulento	Gris	No	Aspergillus sp 2
	10.4	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
	10.5	Pulverulento	Verde	Si	Aspergillus sp 1
Día 11	11.1	Algodonoso	Gris	No	Rhizopus
Día 12	12.1	Algodonoso	Gris	No	Rhizopus
	12.2	Pulverulento	Verde	Si	Aspergillus sp 2
Día 13	13.1	Algodonoso	Gris	No	Rhizopus
	13.2	Algodonoso	Gris	No	Rhizopus
	13.3	Algodonoso	Blanco	No	Sp desconocida 1
	13.4	Pulverulento	Verde	Si	Aspergillus sp 2
	13.5	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
Día 14	-	-	-	-	-
Día 15	15.1	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
	15.2	Pulverulento	Verde	Si	Aspergillus sp 1
	15.3	Pulverulento	Gris	No	Aspergillus sp 2
Día 16	16.1	Algodonoso	Verde	Si	Aspergillus sp 1
	16.2	Pulverulento	Gris	No	Aspergillus sp 2
Día 17	17.1	Pulverulento	Marrón	Si	Aspergillus sp 3
	17.2	Algodonoso	Blanco	No	Sp desconocida 2
	17.3	Algodonoso	Blanco	si	Aspergillus sp 4
Día 18	18.1	Pulverulento	Marrón	Si	aspergillus sp 3
	18.2	Algodonoso	Blanco	No	Aspergillus sp 4

Fuente: Autores

Anexo 8. Morfotipos bacterianos descritos, edificio J

Día	Morfotipo	Descripción macroscópica							Descripción microscópica
		Forma	Borde	Elevación	Superficie	Consistencia	Luz transmitida	Luz reflejada	
Día 1	1.1	Rizoide	Lobulado	Plana	Lisa	Membranosa	Traslucida	Opaca	Bacilos +
	1.2	Rizoide	Ondulada	Plana	Rugosa	Membranosa	Traslucida	Brillante	Bacilos +
	1.3	Irregular	Ondulada	Plana	Lisa	Cremosa	Opaca	Brillante	Bacilos +
	1.4	Circular	Entera	Convexa	Lisa	Cremosa	Opaca	Brillante	Bacilos +
	1.5	Circular	Entera	Convexa	Plana	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos +
	1.6	Irregular	Ondulada	Convexa	Lisa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos +
Día 2	2.1	Rizoide	Lobulada	Plana	Lisa	Cremosa	Traslucida	Opaca	Bacilos +
	2.2	Circular	Ondulada	Convexa	Plegada	Cremosa	Opaca	Opaca	Cocos +
	2.3	Irregular	Lobulada	Convexa	Rugosa	Membranosa	Traslucida	Opaca	Bacilos +
Día 3	3.1	Circular	Ondulada	Plana	Lisa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos +
	3.2	Puntiforme	Entera	Convexa	Lisa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos +
	3.3	Irregular	Lobulada	Plana	Lisa	Cremosa	Traslucida	Opaca	Bacilos +
Día 4	4.1	Rizoide	Lobulada	Plana	Lisa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos -
	4.2	Irregular	Filamentosa	Plana	Rugosa	Cremosa	Traslucida	Opaca	Bacilos +
	4.3	Irregular	Entera	Plana	Lisa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos -
	4.4	Irregular	Entera	Plana	Lisa	Membranosa	Traslucida	Opaca	Endosporas
Día 5	5.1	Rizoide	Lobulada	Plana	Lisa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos +
	5.2	Circular	Entera	Plana	Lisa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Endosporas
	5.3	Rizoide	Filamentosa	Plana	Rugosa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos +
	5.4	Rizoide	Lobulada	Plana	Lisa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos +
Día 6	6.1	Rizoide	Entera	Convexa	Lisa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos +
	6.2	Circular	Entera	Plana	Lisa	Membranosa	Traslucida	Opaca	Bacilos +
	6.3	Rizoide	Ondulada	Plana	Lisa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos +
Día 7	7.1	Rizoide	Ondulada	Plana	Lisa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos +
	7.2	Irregular	Entera	Convexa	Lisa	Cremosa	Traslucida	Opaca	Bacilos +
	7.3	Rizoide	Filamentosa	Plana	Rugosa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos +
Día 8	8.1	Rizoide	Lobulada	Plana	Lisa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos -
	8.2	Irregular	Entera	Plana	Lisa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos +
	8.3	Irregular	Ondulada	Plana	Lisa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Endosporas
Día 9	9.1	Rizoide	Lobulada	Plana	Lisa	Cremosa	Opaca	Brillante	Cocos +
	9.2	Irregular	Ondulada	Convexa	Lisa	Cremosa	Opaca	Brillante	Endosporas
	9.3	Puntiforme	Entera	Convexa	Lisa	Cremosa	Traslucida	Brillante	Bacilos +
	9.4	Irregular	Filamentosa	Plana	Lisa	Membranosa	Opaca	Opaca	Bacilos +

Fuente: Autores

Anexo 9. Morfotipos bacterianos descritos, edificio K

Día	Morfotipo	Descripción macroscópica							Descripción microscópica
		Forma	Borde	Elevación	Superficie	Consistencia	Luz transmitida	Luz reflejada	
Día 10	10.1	Irregular	Entera	Plana	Lisa	Creмоса	Opaca	Opaca	Endosporas
	10.2	Rizoide	Filamentosa	Plana	Lisa	Creмоса	Opaca	Brillante	Bacilos +
	10.3	Rizoide	Lobulada	Plana	Lisa	Creмоса	Opaca	Brillante	Endosporas
	10.4	Rizoide	Lobulada	Elevada	Lisa	Creмоса	Opaca	Opaca	Endosporas
	10.5	Circular	Entera	Plana	Lisa	Creмоса	Traslucida	Opaca	Endosporas
	10.6	Irregular	Ondulada	Plana	Lisa	Membranosa	Opaca	Brillante	Bacilos +
Día 12	11.1	Irregular	Ondulada	Plana	Lisa	Creмоса	Opaca	Brillante	Endosporas
	11.2	Circular	Entera	Plana	Lisa	Creмоса	Opaca	Brillante	Bacilos +
Día 12	12.1	Rizoide	Filamentosa	Plana	Lisa	Creмоса	Opaca	Opaca	Bacilos +
	12.2	Irregular	Ondulada	Plana	Lisa	Creмоса	Opaca	Brillante	Bacilos +
Día 13	13.1	Irregular	Entera	Plana	Lisa	Creмоса	Opaca	Opaca	Endosporas
	13.2	Irregular	Ondulada	Plana	Lisa	Creмоса	Opaca	Brillante	Bacilos +
	13.3	Rizoide	Lobulada	Plana	Lisa	Creмоса	Opaca	Brillante	Endosporas
	13.4	Circular	Entera	Convexa	Lisa	Creмоса	Opaca	Brillante	Bacilos +
Día 14	14.1	Irregular	Entera	Plana	Rugosa	Membranosa	Traslucida	Brillante	Endosporas
	14.2	Irregular	Ondulada	Plana	Lisa	Creмоса	Traslucida	Brillante	Endosporas
Día 15	15.1	Irregular	Entera	Plana	Lisa	Creмоса	Traslucida	Brillante	Bacilos +
	15.2	Irregular	Lobulada	Plana	Lisa	Creмоса	Traslucida	Brillante	Bacilos +
	15.3	Irregular	Lobulada	Plana	Lisa	Membranosa	Traslucida	Opaca	Bacilos +
Día 16	16.1	Irregular	Lobulada	Plana	Lisa	Creмоса	Traslucida	Brillante	Bacilos +
	16.2	Circular	Entera	Plana	Lisa	Creмоса	Traslucida	Brillante	Endosporas
	16.3	Rizoide	Filamentosa	Plana	Rugosa	Creмоса	Traslucida	Brillante	Bacilos +
Día 17	17.1	Irregular	Entera	Plana	Lisa	Membranosa	Traslucida	Brillante	Endosporas
Día 18	18.1	Irregular	Lobulada	Plana	Lisa	Creмоса	Opaca	Brillante	Bacilos +
	18.2	Circular	Entera	Plana	Lisa	Creмоса	Traslucida	Brillante	Endosporas
	18.3	Irregular	Lobulada	Plana	Lisa	Creмоса	Opaca	Brillante	Bacilos -

Fuente: Autores

