



**AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL
TEXTO COMPLETO**

Puerto Colombia, **24 de octubre de 2023**

Señores

**DEPARTAMENTO DE
BIBLIOTECAS**

Universidad del Atlántico

Cuidad

Asunto: Autorización Trabajo de Grado

Cordial saludo,

Yo, **IULEDER PATRICK DE MOYA HERNÁNDEZ.**, identificado(a) con **C.C. No. 1.140.876.622.** de **BARRANQUILLA**, autor(a) del trabajo de grado titulado **INCIDENCIA DEL COMPORTAMIENTO DE BIOAEROSOLIOS FUNGÍ EN LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA Y SU ÁREA METROPOLITANA** presentado y aprobado en el año **2023** como requisito para optar al título Profesional de **MAGISTER EN CIENCIAS AMBIENTALES.**; autorizo al Departamento de Bibliotecas de la Universidad del Atlántico para que, con fines académicos, la producción académica, literaria, intelectual de la Universidad del Atlántico sea divulgada a nivel nacional e internacional a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios del Departamento de Bibliotecas de la Universidad del Atlántico pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web institucional, en el Repositorio Digital y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad del Atlántico.
- Permitir consulta, reproducción y citación a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Esto de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Atentamente,

Firma

Iuleder De Moya Hernández.

IULEDER PATRICK DE MOYA HERNÁNDEZ.

C.C. No. 1.140.876.622 de BARRANQUILLA

DECLARACIÓN DE AUSENCIA DE PLAGIO EN TRABAJO ACADÉMICO PARA GRADO

Puerto Colombia, **24 de octubre de 2023**

Una vez obtenido el visto bueno del director del trabajo y los evaluadores, presento al **Departamento de Bibliotecas** el resultado académico de mi formación profesional o posgradual. Asimismo, declaro y entiendo lo siguiente:

- El trabajo académico es original y se realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, en consecuencia, la obra es de mi exclusiva autoría y detento la titularidad sobre la misma.
- Asumo total responsabilidad por el contenido del trabajo académico.
- Eximo a la Universidad del Atlántico, quien actúa como un tercero de buena fe, contra cualquier daño o perjuicio originado en la reclamación de los derechos de este documento, por parte de terceros.
- Las fuentes citadas han sido debidamente referenciadas en el mismo.
- El (los) autor (es) declara (n) que conoce (n) lo consignado en el trabajo académico debido a que contribuyeron en su elaboración y aprobaron esta versión adjunta.

| | |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Título del trabajo académico: | INCIDENCIA DEL COMPORTAMIENTO DE BIOAEROSOLLES FUNGÍ EN LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA Y SU ÁREA METROPOLITANA. |
| Programa académico: | MAGISTER EN CIENCIAS AMBIENTALES |

| | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------------------------|---|----|--|----------------------|-------------------|------------------------------|
| Firma de Autor 1: | <i>Iuleder De Moya Hernández</i> | | | | | | |
| Nombres y Apellidos: | IULEDER PATRICK DE MOYA HERNÁNDEZ | | | | | | |
| Documento de Identificación: | CC | X | CE | | PA | | Número: 1.140.876.622 |
| Nacionalidad: | Colombiano | | | | Lugar de residencia: | Soledad | |
| Dirección de residencia: | Calle 25 #15A-96 | | | | | | |
| Teléfono: | 3458692 | | | | Celular: | 3135471309 | |



FORMULARIO DESCRIPTIVO DEL TRABAJO DE GRADO

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TITULO COMPLETO DEL TRABAJO DE GRADO | INCIDENCIA DEL COMPORTAMIENTO DEBIOAEROSOLES FUNGÍ EN LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA Y SU ÁREA METROPOLITANA. |
| AUTOR(A) (ES) | IULEDER PATRICK DE MOYA HERNÁNDEZ. |
| DIRECTOR (A) | CARLOS DIAZ URIBE. |
| CO-DIRECTOR (A) | EULER GALLEGO CARTAGENA. |
| JURADOS | YOMA ISABEL MENDOZA GUERRA CARLOS DORIA ARGUMEDO |
| TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE | MAGISTER EN CIENCIAS AMBIENTALES. |
| PROGRAMA | MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES |
| PREGRADO / POSTGRADO | POSTGRADO |
| FACULTAD | CIENCIAS BASICAS |
| SEDE INSTITUCIONAL | SEDE NORTE. |
| AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO | 2023 |
| NUMERO DE PAGINAS | 133 PAGINAS. |
| TIPO DE ILUSTRACIONES | ILUSTRACIONES, MAPAS, TABLAS, GRÁFICOSY DIAGRAMAS |
| MATERIAL ANEXO (VÍDEO,AUDIO, MULTIMEDIA O PRODUCCIÓN ELECTRÓNICA) | NO APLICA |
| PREMIO O RECONOCIMIENTO | NO APLICA |



**INCIDENCIA DEL COMPORTAMIENTO DE BIOAEROSOLES FUNGÍ EN LA
CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA Y SU ÁREA
METROPOLITANA**

IULEDER PATRICK DE MOYA HERNÁNDEZ

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

SEDE UNIVERSIDAD DEL ATLANTICO

PUERTO COLOMBIA

2023



**INCIDENCIA DEL COMPORTAMIENTO DE BIOAEROSOLES FUNGÍ EN LA
CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA Y SU ÁREA
METROPOLITANA.**

IULEDER PATRICK DE MOYA HERNANDEZ

**Trabajo presentado como requisito para optar al título de Magister en ciencias
ambientales**

Director de trabajo de grado

PHD. CARLOS ENRIQUE DIAZ URIBE

Co-Director Académico

MG. EULER GALLEGO CARTAGENA

MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES RED SUE CARIBE

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

SEDE UNIVERSIDAD DEL ATLANTICO

PUERTO COLOMBIA

2023

Nota de aceptación

Firma de jurado

Firma de jurado

DEDICATORIA

A Dios por su apoyo incondicional porque a pesar de las adversidades él me daba fuerzas para seguir adelante. La sagrada Biblia nos dice: “Escribe al ángel de la iglesia en Filadelfia: Esto dice el Santo, el Verdadero, el que tiene la llave de David, el que abre y ninguno cierra, y cierra y ninguno abre: Yo conozco tus obras; he aquí, he puesto delante de ti una puerta abierta, la cual nadie puede cerrar; porque, aunque tienes poca fuerza, has guardado mi palabra, y no has negado mi nombre”. **(Apocalipsis 3: 7 y 8)**.

A mis padres Sandra Hernández Morales y Melvin De Moya García, a las personas más importante en mi vida, quienes me dieron la vida, la crianza, la educación y por ello, hoy en día soy un gran profesional gracias a sus esfuerzos, sacrificios a su apoyo desinteresado en este proyecto de investigación.

A mi hermano Dibrish De moya quien ha sido un apoyo fundamental en este proceso desde la distancia y por su infinito amor de hermano hacia mí.

A mi colega y amiga Martha Mendoza por sus consejos, por su paciencia, por su acompañamiento en este proceso.

A mi novia Neidys Pérez Fábregas quien es mi motor, mi fortaleza. Esa personita especial y maravillosa que amo con todas las fuerzas de mi corazón. Ella que me da fuerzas para seguir y cumplir este gran sueño de ser magister en ciencias ambientales y quien me ha acompañado día tras día en este proceso.

A mi asesora Wendy Morgado por su asesoría, consejos, guía, por darme la oportunidad de trabajar con ella, aprender de sus saberes, por ser una amiga y madre para mí.

A mis tutores Carlos Díaz Uribe y Euler Gallego Cartagena por tener la paciencia y la dedicación de enseñarnos, acompañarnos y compartir con nosotros este proceso de formación.

Dra. Dayana Agudelo, Msc. Margarita Castillo y Msc. Alexander Parody por ayudarnos en el proceso por medio de sus asesorías.

Iuleder. P. De Moya Hernández

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Universidad de la Costa por el apoyo financiero del trabajo de tesis a través del proyecto Índice: INV.1106-01-008-1 “Relación de la contaminación atmosférica y la composición química del material de construcción con el biodeterioro de edificaciones patrimoniales de la ciudad de Barranquilla”.

A los grupos de investigación en Fotoquímica y Fotobiología de la Universidad del Atlántico y Gestión y Sostenibilidad Ambiental-GESSA de la Universidad de la Costa por su apoyo y seguimiento durante la ejecución del proyecto. También al laboratorio del Centro de Investigaciones Tecnológicas Ambientales (CITA) de la Universidad de la Costa por el préstamo de las instalaciones y suministros de equipos y reactivos.

IUDM agradece a la profesora Msc. Wendy Morgado y codirector Candidato a PhD. Euler Gallego Cartagena y al Departamento de Ingeniería Civil Ambiental de la CUC, y a los evaluadores por sus correcciones y sugerencias, las cuales contribuyeron en su permanente mejora de calidad en el trabajo.

Tabla de contenido

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| DEDICATORIA..... | 4 |
| AGRADECIMIENTOS | 6 |
| Tabla de contenido..... | 7 |
| Lista de figuras..... | 9 |
| LISTA DE TABLAS..... | 12 |
| GLOSARIO..... | 13 |
| RESUMEN | 16 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 17 |
| 2. OBJETIVOS | 22 |
| 2.1. Objetivo general | 22 |
| 2.2. Objetivos específicos..... | 22 |
| 3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO | 23 |
| 3.1. Antecedentes | 23 |
| 3.2.1. <i>Bioaerosoles</i> | 29 |
| 3.2.2. <i>Bioaerosoles fungi</i> | 34 |
| 3.2.4. <i>Aerosoles fungí y su efecto sobre la salud</i> | 39 |
| 3.2.5. <i>Exposición a bioaerosoles fungí</i> | 40 |
| 4. MARCO NORMATIVO | 42 |
| 4.1. Normas internacionales sobre bioaerosoles..... | 42 |
| 4.2. Normas nacionales sobre bioaerosoles..... | 43 |
| 5. MARCO METODOLÓGICO | 45 |
| 5.1. Tipo de investigación..... | 45 |
| 5.2. Área de estudio | 45 |
| 5.2.2. <i>Tasas de mortalidad y morbilidad de la población en el área de estudio</i> | 48 |
| 5.2.3. <i>Muestreo de bioaerosoles fúngicos en el área de estudio</i> | 51 |
| 5.2.4. <i>Estaciones de monitoreo de aire en el área de estudio</i> | 51 |
| 5.3. Materiales y métodos para la medición de bioaerosoles fungí..... | 54 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3.1. <i>Equipo de monitoreo</i> | 54 |
| 5.3.2. <i>Medidor de datos meteorológicos</i> | 55 |
| 5.3.3. <i>Método de colecta de bioaerosoles fungí</i> | 56 |
| 5.3.4. <i>Validación del tiempo de colecta</i> | 57 |
| 5.3.5. <i>Recolección de muestras</i> | 57 |
| 5.3.6. <i>Materiales y preparación para la toma de muestra</i> | 58 |
| 5.4. <i>Análisis de muestras bioaerosoles fungí</i> | 59 |
| 5.4.1. <i>Cuantificación e identificación de las muestras</i> | 59 |
| 5.4.2. <i>Determinación de la concentración de las muestras</i> | 59 |
| 5.5. <i>Análisis de los resultados de las muestras de los Bioaerosoles Fungí</i> | 59 |
| 5.5.1. <i>Análisis e Interpretación de los datos</i> | 59 |
| 5.5.2. <i>Distribución espaciotemporal de bioaerosoles fungís</i> | 60 |
| 5.6. <i>Análisis estadístico</i> | 60 |
| 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 62 |
| 6.1. <i>Resultados de las concentraciones de bioaerosoles fungí en el aire</i> | 62 |
| 6.2. <i>Identificación taxonómica de los bioaerosoles</i> | 73 |
| 6.3. <i>Distribución espacio temporal de los bioaerosoles del reino fungí en la ciudad de Barranquilla y su Área Metropolitana</i> | 87 |
| 6.4. <i>Análisis estadísticos de los datos</i> | 90 |
| CONCLUSIONES..... | 98 |
| Recomendaciones..... | 100 |
| Referencias | 101 |
| Anexos | 115 |
| Registro fotográfico..... | 115 |

Lista de figuras

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Diámetro de partículas respirables por el ser humano. Fuente: (Morgado-Gamero, (2018)) | 33 |
| Figura 2: Forma Teórica de liberación y dispersión de partículas. Fuente:(Main (2000)) | 38 |
| Figura 3. Imagen satelital de las zonas de estudio en Barranquilla y su área Metropolitana. Fuente: Google Earth. 2021 | 48 |
| Figura 4. Ubicación geográfica de estaciones de monitoreo de aire y puntos de dispersión | 53 |
| Figura 5. Impactador de cascada de seis etapas Andersen. Fuente: Thermo Fisher scientifici.inc.2007 | 55 |
| Figura 6. Etapas del monitoreo de bioaerosoles fungí con el impactador de Cascada. Fuente:(De Moya,2021) | 57 |
| Figura 7. Preparación en el laboratorio de los materiales para el monitoreo de bioaerosoles Fungí..... | 58 |
| Figura 8. Concentración de los Bioaerosoles Fungí en las estaciones de muestreo en el Área Metropolitana de la ciudad de Barranquilla en época seca | 63 |
| Figura 9. Concentración de los Bioaerosoles Fungí en las estaciones de muestreo en las localidades Centro histórico, Uninorte, Malecón y Parque Megua en dos jornadas durante la época seca..... | 64 |
| Figura 10. Distribución porcentual de la concentración de Bioaerosoles Fungí por etapas del impactador. (Época seca)..... | 65 |
| Figura 11. Concentración de los Bioaerosoles Fungí en las estaciones de muestreo durante la época seca y época de lluvia | 66 |
| Figura 12. Concentración de los Bioaerosoles Fungí en las estaciones de muestreo durante la jornada matinal en época seca y época de lluvia | 67 |
| Figura 13. Concentración de los Bioaerosoles Fungí en las estaciones de muestreo durante la jornada tarde en época seca y en época de lluvia | 67 |
| Figura 14. Concentraciones de Bioaerosoles Fungí en etapa vs monitoreo | 68 |
| Figura 15. Promedio total de las concentraciones de bioaerosoles Fungí por jornada..... | 68 |
| Figura 16. Promedio de las concentraciones de Bioaerosoles Fungí por campaña. (Mes) | 69 |
| Figura 17. Promedio de las concentraciones de Bioaerosoles Fungí por estaciones..... | 70 |
| Figura 18. Distribución porcentual de las concentraciones de bioaerosoles Fungí hallados e identificados por campaña de monitoreo | 71 |
| Figura 19. Distribución porcentual de las concentraciones de Bioaerosoles Fungí hallados e identificados por estación de monitoreo..... | 72 |
| Figura 20. Distribución porcentual de las concentraciones de Bioaerosoles Fungí hallados e identificados por etapas del Impactador Andersen..... | 73 |
| Figura 21. Género <i>Aspergillus flavus</i> . Bioaerosol fungí presente en el aire de la ciudad de Barranquilla-Colombia. Fotos macroscópica y microscópica. Fuente: (De Moya. I.H.2019) | 74 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 22 Genero Aspergillus Niger. Bioaerosol presente en el aire de Barranquilla-Colombia. Foto Macroscopica y Microscopica. Fuente: (De Moya H. I. (2019))..... | 75 |
| Figura 23. Genero Aspergillus Nidulans. Bioaerosol presente en el aire de Barranquilla. Colombia. Foto Macroscopica y Microscopica. Fuente: (De Moya H.I 2021)..... | 76 |
| Figura 24. Fotos macroscopica y microscopica de bioaerosol Fungi genero Aspergillus Terreus presente en el aire de la ciudad de Barranquilla. Fuente:(De Moya H.I. 2021) | 77 |
| Figura 25. Genero Aspergillus Versicolor. Bioaerosol presente en el aire de Barranquilla. Colombia. Fotos macroscopica y microscopica. Fuente: (De Moya H.I 2021)..... | 78 |
| Figura 26. Fotos macroscopicas y microscopicas de Bioaerosol fungi genero Aspergillus Fumigatus(A , B, C y D) presente en el aire de la ciudad de Barranquilla-Colombia. Fuente:(De Moya H.I. 2021) | 82 |
| Figura 27. Genero Penicillium Sp. Bioaerosol presente en el aire de Barranquilla-Colombia. Foto Macroscopica y microscopica..... | 83 |
| Figura 28.(A y B)Bioaerosol fungi genero Penicillium Chrisogenum. presente en el aire de la ciudad de Barranquilla-Colombia. Fuente: (De Moya H. I. 2021 | 84 |
| Figura 29. Foto bioaerosol Fungi Cladosporium.sp. encontrado en el aire de la ciudad de Barranquilla. Colombia en las 8 campañas de monitoreo de aire. Foto macroscopica. fuente: (De MOya H.I. 2019) | 85 |
| Figura 30. Bioaerosol Fungi genero Fusarium Oxisporum hallado en el aire de la ciudad de Barranquilla. Fotos macroscopica y microscopica. Fuente: (De Moya. H. I.2021) | 86 |
| Figura 31. Distribución espacial de la concentracion de Bioaerosoles Fungi en las estaciones de muestreo en la ciudad de Barranquilla y su Area Metropolitana en epoca lluviosa y jornada matinal. Fuente: (De Moya H.I. 2021) | 87 |
| Figura 32. Distribucion espacial de la concentracion de Bioaerosoles fungi en las estaciones de muestreo en las diferentes zonas de la ciudad de Barranquilla y su Area Metropolitana en epoca seca jornada mañana. | 88 |
| Figura 33. Distribución espacial de la concentracion de Bioaerosoles de muestreo en las diferentes zonas de la ciudad de Barfranquilla y su Area Metropolitana jornada tarde en epoca de lluvia. | 88 |
| Figura 34. Distribucion espacial de la Concentracion de Bioaerosol Fungi en las estaciones de muestreo en las diferentes zonas de la ciudad de Barranquilla y su Area metropolitana jornada tarde en epoca seca..... | 89 |
| Figura 35. Concentraciones de Bioaerosoles Fungi con relacion a los 8 meses de monitoreo de aire. | 92 |
| Figura 36. Expresion de concentraciones de Bioaerosoles Fungi con relacion a jornadas dia luz | 93 |
| Figura 37. Concentraciones de Bioaerosoles Fungi por estaciones de monitoreo.(S1 Plaza de la Paz, S2: Malecon, S3: Uninorte, S4: Megua) | 94 |
| Figura 38. Concetraciones de Bioaerosoles Fungi con relacion a las etapas del impactador | 95 |
| Figura 39. Concentraciones de Bioaerosoles Fungi con relacion a los taxones encontrados | 96 |
| Figura 40. Concentraciones de Bioaerosoles Fungi con relacion a las condiciones de temperatura. | 96 |
| Figura 41. Rosa de los vientos de los meses de monitoreo en la ciudad de Barranquilla-Colombia comprendido entre octubre de 2019 hasta diciembre de 2020 | 97 |

ANEXOS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Anexo 1:Preparación de cajas Petri en laboratorio | 115 |
| Anexo 2:Empaques cajas Petri..... | 116 |
| Anexo 3:Pesaje del Agar Sabouraud con dextrosa 2%..... | 117 |
| Anexo 4:Preparación del medio de cultivo Agar Sabouraud con dextrosa 2%..... | 118 |
| Anexo 5:Secado de cajas Petri en el horno después de esterilizar | 119 |
| Anexo 6: Esterilización de Agar Sabouraud con dextrosa 2% en Autoclave | 120 |
| Anexo 7:Sirviendo medio de cultivo Agar Sabouraud..... | 121 |
| Anexo 8:Embalaje y rotulación de medios de cultivos | 122 |
| Anexo 9: Medio listo para ir a monitorear..... | 123 |
| Anexo 10: Identificación microscópica de especies..... | 124 |
| Anexo 11:Estación de monitoreo de aire S1:Plaza de la Paz | 125 |
| Anexo 12:Estacion de monitoreo de aire S2:Malecón Puerta de Oro | 126 |
| Anexo 13:Estación de monitoreo de aire S3:Universidad del Norte(Uninorte) | 127 |
| Anexo 14:Estación de monitoreo de aire S4:Parque Biotemático Megua(Galapa)..... | 128 |
| Anexo 15:Impactador de Cascada de seis etapas. Andersen. Fuente:(De Moya.H.I. 2019)..... | 129 |
| Anexo 16:Kestrel 4500 | 130 |
| Anexo 17:Bomba de vacío | 131 |
| Anexo 18:Cambio de replicas de medio de cultivo Agar Sabouraud | 131 |
| Anexo 19: Evidencia monitoreo de aire en Parque Biotemático Megua(Galapa)..... | 132 |
| Anexo 20:Evidencia monitoreo de aire estación Malecón Puerta de Oro | 133 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Estudios que validan el método por impactador por cascada | 25 |
| Tabla 2. Normativas Técnicas españolas de Prevención (NTPS) | 42 |
| Tabla 3. Normas nacionales sobre bioaerosoles | 43 |
| Tabla 4. Coordenadas geográficas de las estaciones S de muestreo | 51 |
| Tabla 5. Análisis de Varianza para UFC/m ³ | 91 |
| Tabla 6. Suma de Cuadrados tipo III | 91 |

GLOSARIO

ABPA: Aspergilosis broncopulmonar alérgica.

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

Agente biológico: son seres vivos, con un determinado ciclo de vida que, al penetrar en el ser humano, ocasionan enfermedades de tipo infeccioso o parasitario.

AQI: índice de calidad del aire.

Bioaerosoles: partículas de tamaño microscópico suspendidas en el aire y de origen biológico, que pueden afectar a los seres humanos causándoles algún tipo de alergia, toxicidad o infección.

CEPIS: Evaluación del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente para América Latina y el Caribe.

CITA: Centro de Investigaciones Tecnológicas Ambientales (CITA) de la Universidad de la Costa

Colonia: agrupación de bacterias/hongos formada a partir de la reproducción de una Unidad Formadora de Colonia (UFC).

Contaminación: es la alteración del medio ambiente por sustancias o forma de energía generadas por actividad humana o la naturaleza, en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora, la fauna y degradar la calidad del medio ambiente.

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas.

Emisión: descarga de una sustancia o elementos, en estado sólido, líquido o gaseoso o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil.

EPA: Agencia de protección Ambiental.

EPOC: Enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

Esporas fúngicas: medio asexual de reproducción y propagación del hongo.

Factores meteorológicos: conjunto de valores que toman los parámetros meteorológicos en un momento dado, que hace variar las condiciones atmosféricas de un lugar, tales como precipitación, temperatura, dirección y velocidad del viento.

Fuente de emisión: son aquellas actividades donde sus procesos u operaciones, emiten contaminantes al aire por las actividades antropogénicas.

IDEAM: instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales.

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

Infección respiratoria aguda (IRA): conjunto de infecciones del aparato respiratorio causadas por microorganismos virales, hongos y otros, con un periodo inferior a 15 días, con la presencia de uno o más síntomas.

Inmisión: transferencia de contaminantes de la atmosfera a un “receptor”. Se entiende por inmisión a la acción opuesta a la emisión.

INSHT: institución nacional de seguridad e higiene en el trabajo.

IRAs: infección respiratoria aguda.

Medio de cultivo: solución acuosa que se solidifica y contiene diversos nutrientes, para facilitar el crecimiento de microorganismos.

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

Minsalud: Ministerio de Salud y Protección Social.

Monitoreo: proceso que consiste en una serie de actividades que apuntan a medir el cambio en los recursos de manera consistente.

NTPs: Normativa de Técnicas españolas de prevención

OMS: organización mundial de la salud.

PBAPs: Partículas Aerosoles Biológicos Primarios (PBAPs)

Riesgo biológico: son agentes y materiales potencialmente transmisibles para los humanos, animales y otras formas de vida como bacterias, hongos y virus.

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

SINA: Sistema Nacional Ambiental.

SISPRO: Sistema Integrado de Información de la Protección Social.

Tinción de esporas: metodología aplicada para la identificación de las estructuras y formación de las esporas por medio de la coloración.

TLVs: Valor Umbral Límite.

UFC: unidad formadora de colonia.

Unidades formadoras de colonia por metro cúbico (UFC/m³): parámetro para expresar la contaminación biológica resultado de relacionar las UFC con el caudal de succión del equipo muestreador microbiológico.

Viabilidad de aparición: se establece como la posibilidad de que un microorganismo se cultive en el laboratorio, después de que se ha muestreado.

WWTPs: plantas de tratamiento de aguas residuales

RESUMEN

La presencia de bioaerosoles en el aire puede conducir a problemas graves en la salud humana, provocando enfermedades alérgicas, infecciosas y respiratorias agudas, entre otras. En Colombia no existen normas que regulen la exposición a bioaerosoles ya que hay pocos estudios técnicos relacionados con la generación y el comportamiento de este tipo de biocontaminantes en el aire. En la presente investigación se evaluó el comportamiento de bioaerosoles fungí en diferentes zonas de la ciudad de Barranquilla-Atlántico. Esta investigación se realizó en dos fases: la primera comprendió una fase de campo, en donde se realizaron (8) campañas de monitoreo durante dos jornadas del día: matutina y vespertina; y ubicadas en (4) estaciones de muestreo a saber: el centro histórico de Barranquilla, Malecón Puerta de Oro, Universidad del Norte (ubicada en el kilómetro 5 vía al Municipio de Puerto Colombia) y Parque Biotemático Megua (ubicado en el municipio de Galapa). Los bioaerosoles fungí fueron colectados sobre el agar Sabouraud mediante un impactador de cascada Andersen Thermo Scientific de 6 etapas, operando a 28,3 L/min durante 5 min y ubicado a 1,5 m de altura; las condiciones meteorológicas de cada campaña de monitoreo se tomaron mediante un anemómetro Kestrel Modelo 4500 ubicado a favor de la dirección del viento y a la misma altura del impactador. La segunda parte fue una fase de laboratorio, en la cual se recolectaron muestras para ser llevadas al laboratorio del Centro de Investigaciones Tecnológicas Ambientales (CITA) de la Universidad de la Costa, donde posteriormente fueron caracterizadas. En esta última etapa se realizó la identificación molecular de los hongos encontrándose *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* determinado su concentración en un promedio de 1810.033863 UFC/cm³. Los valores determinados no suponen riesgo alto sino moderado según la clasificación de microorganismo de la OMS, para la incidencia en la salud de los Barranquilleros y de su área metropolitana.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica sigue siendo una importante amenaza para la salud de las personas en todo el mundo (Turner et al., 2021; Gollakota et al., 2021; Georgakopoulos et al., 2009). Entre los principales contaminantes se encuentran los bioaerosoles, también conocidos como Partículas Aerosoles Biológicos Primarios (PBAPs), que son conocidas como pequeñas partículas aerotransportadas de origen biológico que varían en tamaño (rango desde 0,001 a 100 μ m) y composición (Gollakota et al., 2021; Kathiriyae et al., 2021). Estas partículas pueden contener microorganismos vivos (Georgakopoulos et al., 2009), afectadas por diversos factores ambientales que pueden influenciar su dispersión y supervivencia al medio. En las áreas urbanas y rurales, los bioaerosoles son hasta un 30% de la masa del aerosol (Fröhlich-Nowoisky et al., 2016). Las esporas aerotransportadas fungí representan la fracción mayor de las partículas primarias de los PBAPs encontrados en la atmósfera y tienen afectaciones en salud humana (Romero-Bohórquez et al., 2016), incluso a grandes distancias de la fuente (Fernández-Rodríguez et al., 2018).

Algunos estudios prueban el impacto dañino que tienen los bioaerosoles sobre la salud humana, causando trastornos de tipo tóxico, alérgico o irritativo dependiendo de las características como tamaño, género o especie. (Douwes et al., 2003). También se ha evidenciado que la exposición a niveles de contaminación del aire tiene varios impactos sobre causas específicas de mortalidad y morbilidad en adultos y ancianos (Holgate, 2002 ;Castanas, 2008) e inclusive tiene impacto negativo a temprana edad (Kim et al., 2018b) y durante el embarazo (Davand, 2013).

El tamaño de las esporas de hongos, registran valores entre 1 y 30 μ m (Reponen, 2001). Su estudio es de muy particular interés, ya que tiene incidencia en la salud de las personas, por ejemplo, los bioaerosoles con tamaño menor o igual a 10 μ m

pueden ser inhalados causando infecciones y alergias (Blanco, 2005; Cramer & Blaser, 2002).

Según una evaluación de la carga de morbilidad debida a la contaminación atmosférica realizada por la OMS, cada año se producen más de 2 millones de muertes prematuras atribuibles a los efectos de la contaminación atmosférica y algunos contaminantes del aire en exteriores. (Organización Mundial de la salud, 2005). Según CEPIS (Evaluación del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente para América Latina y el Caribe, 2005) 35.000 muertes se atribuyen a la contaminación del aire cada año, pero la cifra real puede ser más alta. En un estudio reciente titulado “*características de perfil y distribución de hongos en el aire en hogares residenciales con niños en Beijing, China*” realizado por Zhiguo Fang se logró identificar un total de 225 hongos aislados pertenecientes a 24 géneros y a 65 especies. Los hongos más comunes fueron *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus* y *Alternaria* según la proporción de concentración y frecuencia (Fang et al., 2017a).

Aspergillus es un hongo muy común presente en el aire, el cual produce un espectro de enfermedades, que incluyen aspergilosis broncopulmonar alérgica (ABPA), aspergiloma, aspergilosis crónica y diversas formas de aspergilosis invasiva (Steinbach, 2018) . Otro hongo que tiene impacto en la salud humana es el *Fusarium*. Este es un género de hongos de distribución universal, ubicuos y con gran importancia económica ya que son habituales fitopatógenos. Las infecciones por el género *Fusarium* se incluyen dentro de las hialohifomicosis, esto es, las causadas por hongos oportunistas que presentan hifas hialinas septadas. Su amplia distribución se atribuye a su capacidad para crecer en gran número de substratos y a su eficaz mecanismo de dispersión; el viento y la lluvia juegan un importante papel en su diseminación. Se ha demostrado que el aire puede llevar las esporas hasta 400 km de distancia (Monzón & Rodríguez, 2013a).

Los cuatro géneros más comunes de bioaerosoles fungí asociados con el desarrollo de la alergia son *Alternaria*, *Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus* (D'Amato et al., 1997) . El género *Aspergillus* contiene casi 200 especies, de las cuales se sabe que solo aproximadamente 2 docenas causan algunas enfermedades humanas, principalmente por *A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. niger*, *A. terreus* y *A. nidulans*, y cada especie a veces causa infecciones clínicas únicas. *A. fumigatus* es responsable de la mayoría de los casos de aspergilosis invasiva y crónica, específicamente infección pulmonar, sinusal y del sistema nervioso central (Steinbach, 2018a).

Por otro lado, la contaminación del aire es un problema ambiental que se ha acentuado en los últimos años en los grandes conglomerados urbanos (Blanco, 2005b). Hasta el 70% de todos los antibióticos se liberan al medio en su forma original (Kümmerer, 2003) debido a la baja absorción en humanos y animales (Sarmah, 2006), inapropiado manejo y disposición de los medicamentos. Los bioaerosoles asociados a las plantas de tratamiento de aguas residuales (WWTPs) se han convertido en uno de los indicadores críticos de sostenibilidad, que garantizan la salud y el bienestar de las sociedades y ciudades.(Singh et al., 2021a). De acuerdo con los parámetros fijados por la Organización Mundial de la Salud en cuanto a contaminación del aire, es posible evidenciar que la mayoría de las ciudades del mundo están por encima de los niveles recomendados; lo que hace a sus poblaciones vulnerables a los efectos negativos sobre su salud. En grandes ciudades de Latinoamérica los niveles de contaminación del aire son muy elevados y han mostrado tener una gran relación con los decesos por EPOC (Enfermedad pulmonar obstructiva crónica), cáncer, enfermedades cardiovasculares, baja funcionalidad del pulmón de los niños y síntomas de desarrollo de asma infantil. (Ortega, Sanches-Solis, & Ferris-Tortajada, 2018; Babatola, 2018; Turner et al., 2021b). Según La Red de Monitoreo de Aire Metropolitano de Quito, administrado por la Secretaria de Ambiente DMQ la calidad del aire es de 93- Moderado. En cuanto a Lima-Perú, La SENAMHI informa que la calidad del aire allí es 155-enfermo. En cerro Navia-Chile, AQI informa que el índice de calidad de aire es 127-

insaludable. En Argentina, AQI reporta un índice de 62-moderado en Villa Las Camelias-Santa Rosa.

Colombia tiene como muestra las ciudades de Bogotá y Medellín, donde los niveles de contaminación del aire son altos. Según el US Environmental Protection Agency, (US EPA) en el museo de Antioquia en Medellín-Colombia los niveles de contaminación están en 70-moderado. Y en Bogotá, La ONG Greenpeace en su estudio “Evaluación del monitoreo de la contaminación atmosférica en Bogotá” estableció que los parámetros establecidos por la medición de $pm_{2.5}$ y pm_{10} exceden en un 150% los rangos establecidos por la OMS. AQI (Air Quality Index informa que en la calle 79ª, Bogotá el índice es 131-insaludable. Así mismo, y aunque el ICA (Índice de Calidad del Aire) en Barranquilla es bueno, esta ciudad crece vertiginosamente en población e industrialización lo que la vuelve un foco de atención para prevenir y/o mitigar el deterioro de la calidad del aire. Según el informe de Registro de Estadísticas Vitales del DANE y Bodega de datos SISPRO, en Barranquilla la causa principal de mortalidad es la infección respiratoria aguda tanto en mujeres como en hombres; La mortalidad a causa de estas dos han venido aumentando rápidamente cada año (Secretaría Distrital de Salud Pública Barranquilla, 2016).

A pesar de la vigilancia y la legislación para evitar y/o disminuir la contaminación de aire, ésta ha aumentado proporcionalmente al crecimiento de las actividades antropogénicas (Blanco, 2005a). Aún existe una falta de conciencia sobre la importancia de monitorear las fuentes y las estrategias de control de los bioaerosoles. En este sentido, reconocer estas actividades generadoras de bioaerosoles es crucial para diseñar tecnologías y métodos relacionados con la prevención y atenuación de la liberación y exposición de bioaerosoles. (Burdsall et al., 2021; Singh et al., 2021a). El monitoreo de los bioaerosoles es crucial para lograr las condiciones higiénicas propias de los vertederos (Cyprowski et al., 2019) y plantas de tratamientos de aguas servidas. De ahí surge la necesidad de medir la

concentración y distribución espaciotemporal de los bioaerosoles fungi en el aire de la ciudad de Barranquilla-Colombia y su área metropolitana, asociados a actividades antropogénicas y condiciones meteorológicas. Además, identificarlos y caracterizarlos para estimar los factores de riesgo de la población por exposición. De esta manera, se logra determinar el comportamiento de bioaerosoles fúngicos con relación a condiciones geográficas y meteorológicas en esta ciudad.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar el comportamiento de bioaerosoles fúngicos con relación a condiciones geográficas y meteorológicas del área Metropolitana de Barranquilla, Colombia.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar las concentraciones de bioaerosoles fúngicos presentes en diferentes localidades del área metropolitana de Barranquilla.
- Establecer la distribución espacio/temporal de bioaerosoles fúngicos asociados a actividades antropogénicas y las condiciones meteorológicas de las zonas de estudio.
- Evaluar los factores de riesgo de la población por exposición a bioaerosoles fúngicos presentes en el aire de la ciudad de Barranquilla-Colombia.

3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

El deterioro de la calidad del aire en las grandes ciudades y su incidencia en la salud de sus pobladores conduce a que investigadores, autoridades ambientales y de salud pública se interesen en su estudio, medición e identificación de esos contaminantes (Abdel Hameed et al., 2009; Douwes et al., 2003). La formación de bioaerosoles toma la forma de un proceso interdisciplinario y mezcla compleja, que puede contener alérgenos, tóxicos, misceláneos compuestos que pueden ser patógenos o no patógenos (Kim et al., 2018a). Los efectos fisiopatológicos de los contaminantes bioaerosoles dependen de su tamaño, concentración, propiedades fisicoquímicas y distribución del tamaño (Brandl, 2011; Fang et al., 2017a).

Se ha logrado determinar que, por su tamaño, el bioaerosoles entran fácilmente a los pulmones y al sistema circulatorio; y este ingreso puede resultar en complicaciones de salud de un órgano o de un sistema de órganos (Georgakopoulos et al., 2009). La OMS en su clasificación de microorganismos ha incluido a los bioaerosoles fungí en los grupos de riesgos I (bajo riesgo individual y comunitario, pero que requiere contención), grupo de riesgo II (riesgo moderado individual y riesgo limitado comunitario y que requieren nivel de contención) y grupo de riesgo III (alto riesgo individual y bajo riesgo comunitario; y que requieren nivel de contención 3). Estos patógenos producen enfermedades serias a humanos y a animales (Organización Mundial de la Salud, 2005).

Las especies de hongos pueden causar importantes peligros para la salud como toxicidad, hipersensibilidad, micosis invasiva y anomalías respiratorias (Crameri & Blaser, 2002). Evaluar permanentemente la calidad del aire y realizar monitoreos ambientales se ha convertido en una de las principales prioridades de los estados (Kathiriya et al., 2021a).

El desarrollo industrial y el aumento de la población en las grandes ciudades trae consigo el aumento de las actividades antropogénicas perjudiciales. Los bioaerosoles se producen en una variedad de entornos ocupacionales, incluida la clasificación de residuos y el compostaje, actividades agrícolas y de conservación de alimentos, y la ganadería industria, entre otros (Pearson et al., 2015). Los hongos son ubicuos en todas las atmósferas. En general, ambas atmósferas interior y exterior son dominadas por especies de *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium* y *Alternaria*. (Kermani et al., 2016). Según la Asociación de Empresarios del Henares (2008), se debe considerar la emisión de los bioaerosoles como bacterias, hongos, micotoxinas, entre otros; como un impacto relevante en los procesos de tratamiento y disposición de residuos, establece además que deben realizarse mediciones orientadas a controlar los niveles de emisión de estos, considerando los riesgos asociados a la salud de los empleados y de los habitantes de zonas circundantes.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (WWTPs) han sido identificadas como una de las mayores fuentes de bioaerosoles (Kowalski et al., 2017). Las bacterias y los hongos son abundantes y ubicuos en bioaerosoles provenientes de las WWTPs, con un rango de concentración 810 – 1.915 CFU/m³ para las bacterias y 1.450 – 1.955 CFU/m³ para los hongos, respectivamente (Singh et al., 2021b). Las actividades humanas regulares u ordinarias (e.g, toser, lavar, aseo, cosmético, hablar, caminar y trapear pisos) son también capaces de generar bioaerosoles (Chen & Hildemann, 2009).

También Fahti et al revelaron que la exposición por inhalación de bioaerosoles es aproximadamente 10⁵ veces más potente que la exposición dérmica (Jokar et al., 2019). Tal exposición de los humanos a los bioaerosoles en países sobrepoblados como China, India, etc. es una preocupación primaria por estar asociada a los impactos adversos a la salud (Lavoie & Dunkerley, 2002). Es razonable esperar que la presencia de cada tipo de bioaerosoles debe reflejar condiciones ambientales

únicas facilitando su formación y las tensiones mecánicas. La intensidad de la luz, la magnitud de las corrientes de aire, la dirección del viento y la velocidad del viento también juegan un papel importante en la concentración de bioaerosoles y su transporte y desplazamiento de un entorno a otro (B.Lighthart & Schaffer, 1994). Los estudios han encontrado que la humedad en el aire puede facilitar el crecimiento y la supervivencia de los microbios en el aire (Heo et al., 2014a).

En el caso de bioaerosoles fúngico, también se había estudiado su naturaleza de distribución en áreas suburbanas de Washington, la concentración de hongos en el aire era similar a la concentración bacteriana, es decir, la más baja en invierno y la más alta en verano y otoño (Jones & Harrison, 2004a). También se observó un patrón similar de distribución de hongos en Beijing, con el más alto en verano y otoño, y el más bajo en primavera e invierno (Fang et al., 2017a). El fuerte contraste entre los periodos secos y lluviosos sugiere que la liberación de PBA durante y después de la lluvia puede jugar un papel importante en la dispersión y reproducción de los microorganismos en ciertos ambientes y también puede contribuir a la transmisión de agentes patógenos y alérgenos (Huffman et al., 2013a; Kathiriya et al., 2021b).

Muchos estudios validan el método por impactador de cascada, equipo que permite obtener información sobre la receptación del sistema respiratorio de los bioaerosoles fúngi. La tabla 1 es una relación sencilla de algunos de ellos.

Tabla 1. Estudios que validan el método por impactador por cascada.

| <i>Titulo</i> | <i>Año</i> | <i>Autores</i> | <i>Equipo</i> | <i>Caudal</i> | <i>Tiempo</i> |
|-----------------------|------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|
| Characterizations and | 2003 | Zhu, H., Phelan, P., | Impactador de cascada de 2 etapas | 28,3 L/min | 5-8 Min |

| | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------|
| relationships between outdoor and indoor bioaerosols in an office building. | | Duan, T., Raupp, G., Fernando, H. | (FX II Impactor, versión China) | | |
| Indoor and outdoor bioaerosol levels at recreation facilities, elementary schools, and homes. | 2005 | Jo, W., Seo, Y. | Impactador de cascada de 1 etapa Andersen | 28,3 L/min | 2 min |
| Culturable airborne fungi in outdoor environments in Beijing, China. | 2005 | Fang, Z., Ouyang, Z., Hu, L., Wang, X., Zheng, H., Lin, X. | Impactador de cascada de 6 etapas (FA-1) | 28,3 L/min | 3 min |
| Analysis of portable impactor performance for enumeration of viable bioaerosols. | 2007 | Yao, M., Mainelis, G. | Impactador BioStage (réplica de la última etapa del impactador de cascada de 6 etapas Andersen) | 28,3 L/min | 5 min |
| Evaluación de la concentración de bioaerosoles fungí asociados al relleno sanitario Palangana, Santa Marta Colombia | 2009 | Vélez-Pereira, A., Camargo, Y. | Impactador de cascada de 2 etapas | 28,3 L/min | 3 min |
| Seasonal variations of airborne | 2010 | Wang, W., Ma, Y., Ma, X., Wu, F., | Impactador de cascada de 6 etapas | 28,3 L/min | 5 min |

| | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------|
| bacteria in the Mogao Grottoes, Dunhuang, China. | | Ma, X., An, L., Feng, H. | (FA-1) | | |
| Understanding and mitigating the challenge of bioaerosol emissions from urban community composting. | 2011 | Pankhurst, L., Akeel, U., Hewson, C., Maduka, I., Pham, P., Saragossi, J., Taylor, J., Lai, K. | Impactador de cascada de 6 etapas (Andersen sampler, Thermo Fisher Scientific, USA) | 28,3 L/min | 10 min |
| Evaluación de bioaerosoles desde un relleno sanitario en el departamento del Atlántico. | 2016 | Carvajal | Impactador de cascada Andersen Thermo Scientific | 28,3 L/min | 5 min |
| Concentraciones y distribuciones de tamaño de bioaerosoles viables bajo diversas condiciones climáticas en una típica ciudad semiárida del noroeste de China. | 2017 | Li, Lu, Li, Xie, y Song | muestreador de seis etapas (Westech, Reino Unido), | 28,3 L/min | 10 min |
| Efectos de algunos factores meteorológicos sobre la concentración de esporas de hongos | 2017 | Ramos y Meza | muestreador Andersen de seis etapas | 28,3 L/min | 5 min |

| | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------|--------------------------------------------------|------------|--------|
| en la Plaza San Martín de Lima. | | | | | |
| Estimación de la exposición laboral a los bioaerosoles y su riesgo en los trabajadores de un sistema de disposición final de residuos sólidos en el departamento del atlántico. | 2017 | Mendoza y López | Impactador de cascada Andersen Thermo Scientific | 28,3 L/min | 15 min |
| Ocurrencia de Cladosporium en la atmósfera de la Plaza San Martín de Lima (Perú) y su relación con algunos factores meteorológicos. | 2018 | Ramos y Meza | muestreador Andersen de seis etapas | 28,3 L/min | 5 min |
| Nota. Fuente: De Moya H.I.2021 | | | | | |

De acuerdo con lo anterior se utilizó un impactador por cascada Andersen Thermo Scientific a una altura de 1.5 m. este equipo es un simulador del sistema respiratorio humano por lo tanto tiene 6 etapas que corresponden a nariz, faringe, tráquea y bronquios primarios, bronquios secundarios, bronquios terminales y alveolos en el muestreador la velocidad del aire se incrementa de una etapa a la siguiente y succiona un flujo de aire de 28,3 L/min. (Jo, 2005; Lee, 2006; Heo, 2014) que arrastró las partículas viables por medio de una bomba de vacío. Al mismo tiempo, se utilizó el anemómetro Kestrel Modelo 4500 710830 (calibrado previamente), el cual permitió la medición de las variables meteorológicas (humedad, temperatura y velocidad del viento).

3.2. Marco conceptual

En Colombia, según informe de los entes de salud pública las enfermedades respiratorias son una de las principales causas de mortalidad en niños y adultos (OPS, 2012). La toxicidad de los bioaerosoles tiene un impacto negativo en la vida humana, causando efectos adversos agudos, varios tipos de enfermedades y desordenes cancerígenos entre otros problemas (Gollakota et al., 2021). Estas esporas se dispersan atendiendo a diversas variables o factores fundamentales como vientos, lluvia, entre otros (Jones & Harrison, 2004a). Recientes estudios han demostrado que las concentraciones de bioaerosoles varían de acuerdo con el clima, por ejemplo, se obtienen grandes concentraciones en días nublados y bajas en días lluviosos (Heo et al., 2014b). Otro estudio titulado: “Evaluación de la contaminación bacteriana y fungica en el aire emitida por un vertedero municipal en el norte de polonia” se concluye que los factores influenciaron la concentración de los microorganismos en el aire evaluado incluidas la distancia del vertedero, el clima y la estación (Breza-Boruta, 2016a).

En el estudio: “Características e interacciones de los microorganismos bioaerosoles de las plantas de tratamiento de aguas residuales” también se pudo determinar que los factores meteorológicos tuvieron más impacto en la población de los bioaerosoles bacterianos y fungí (Han et al., 2020). Cuando el bioaerosol fungí es liberado y dispersado en el aire, cambia de hábitat y su supervivencia depende de lo que le pueda proveer el material particulado. Allí recibe nutrientes y protección contra la radiación ultravioleta (Zhai et al., 2018).

3.2.1. Bioaerosoles.

Los bioaerosoles son contaminantes atmosféricos de tamaño microscópico que se encuentran suspendidos en el aire, son de origen biológico y pueden afectar a los seres humanos causándoles algún tipo de alergia, intoxicación o infección (Sánchez-Monedero et al., 2006). Estos son una mezcla de partículas patógenas e

inmunogénicas (bacterias, hongos y virus), componentes biológicamente activos (endotoxina bacteriana, glucano de moho y micotoxina), fragmentos de plantas (polen) y materiales derivados de animales (cabello, caspa y alérgenos) así como también material particulado (PM). (Gollakota et al., 2021). Claramente se ha podido establecer que los bioaerosoles son abundantes y ubicuos a través de toda la biosfera y además se pueden mover rápidamente entre un ambiente y otro debido a su tamaño más pequeño y peso más liviano (Fröhlich-Nowoisky et al., 2016).

Los microorganismos presentes en los bioaerosoles tienen gran importancia ambiental por su influencia en los procesos físicos naturales como la nucleación, el clima global y el ciclo hidrológico (DeLeon-Rodriguez et al., 2013). Al encontrarse los bioaerosoles suspendidos en el aire los organismos están expuestos a elevadas concentraciones, causando afectaciones a la salud, ya que estos comprenden diámetros entre 0.1 a 10 μm de diámetro y son los únicos que tienen la capacidad de entrar al sistema respiratorio inferior.

Los países con alta contaminación y humedad presentan graves problemas por biocontaminantes (bioaerosoles); temperaturas y humedades relativas altas que favorecen el crecimiento de la población microbiológica contaminante (hongos, bacterias, virus) y se perjudica por las variaciones de temperatura entre el día y la noche (ANEXO I: Clasificación de Microorganismos Según Grupos de Riesgo (OMS, Manual De, 2005). El ser humano tiene mecanismos de defensa como: vellos nasales, los cilios, el revestimiento de la tráquea, entre otros (Esposito et al., 2012), que de cierto modo pueden retener la entrada de los bioaerosoles grandes al aparato respiratorio superior (epiglotis, laringe, cavidad nasal y faringe) y los pequeños son exhalados; sin embargo, los bioaerosoles menores a 5 μm penetran hasta los pulmones y se depositan en los alvéolos (Kummer & Thiel, 2008). De igual forma, las regiones con mayor acumulación de partículas son la extratorácica (orificios nasales y laringe), bronquial (tráquea, bronquial y terminal bronquial) y alveolar (bronquios y las bolsas de alveolares).

Diferentes autores han definido a los aerosoles biológicos o bioaerosoles, como las partículas aerotransportables, de toda clase de material biológico que se encuentra suspendido en el aire y que contienen organismos viables y no viables (Vélez-Pereira & Caicedo, n.d.); estas partículas son muy pequeñas y comprenden diámetros entre 0.1 y 10 μm , lo cual pueden estar suspendidas en el aire con una gran facilidad debido a su tamaño (Ambiental & 2005, n.d.; Cox & Wathes, 1995a). Los estudios basados en la caracterización de bioaerosoles revelaron que tales aerosoles típicamente contienen una gran variedad de microorganismos incluyendo bacteria patogénica oportunistas, fungi, virus, y sus respectivos productos tales como esporas fungi, endotoxinas, peptidoglycanos bacterianos, y glucanos de pared celular de mohos, etc (Singh et al., 2021b).

Los Bioaerosoles pueden tener un impacto significativo en el clima, actuando como núcleos de condensación de nubes y núcleos de hielo los cuales pueden iniciar precipitación. Las partículas de aerosol de origen biológico (células, fracciones de células, o materia orgánica de animal, planta y de origen microbiano) forman una porción significativa de los aerosoles atmosféricos alcanzando, algunas veces, cerca del 50% de todos los aerosoles. (Georgakopoulos et al., 2009).

Los bioaerosoles son altamente relevantes para la extensión de los organismos. Ellos permiten el intercambio genético entre los hábitats y cambios geográficos de biomas. Son elementos centrales en el desarrollo, evolución y dinámica de los ecosistemas (Fröhlich-Nowoisky et al., 2016). Las partículas de bioaerosoles a menudo están mezcladas con otras materias con densidad más alta, tales como polvo mineral o sal marina. La forma del bioaerosol puede variar de estructuras esféricas a estructuras alargadas. Desde una sola célula a cadenas o agregados complejos. La carga eléctrica está presumiblemente cercana a la distribución de carga Boltzmann neutral (Jonsson & Olofsson, 2014).

Dependiendo de las propiedades del aerosol y de las condiciones meteorológicas, el tiempo característico de residencia (tiempo de vida) de la partícula del aerosol en el rango de la atmosfera va de horas a semanas. Después de regresar al suelo, las partículas viables pueden continuar su reproducción biológica y su actividad metabólica que puede generar más emisiones de PBA y precursores de SOA cerrando así un bucle de retroalimentación y un ciclo biogeoquímico de los aerosoles derivados biológicamente en el sistema de la tierra (Fröhlich-Nowoisky et al., 2016).

Los bioaerosoles están siempre presentes en la atmosfera, aunque su número y viabilidad varían según las condiciones propias de la localidad. Sin embargo, la presencia de microorganismos vivos en el aire ya sean solos o en suspensión mediante partículas, son dispersados por la acción del viento con un diámetro aerodinámico comprendido entre 0.5 y 100 μm (Cox & Wathes, 1995b), los cuales aumentan la probabilidad de afecciones en la salud dependiendo de las vías de exposición como la ingesta, inhalación o contacto con la piel; siendo la inhalación la que da lugar a las mayores afecciones en la salud (Kummer & Thiel, 2008). Así mismo, los bioaerosoles de mayor importancia, desde un punto de vista sanitario, son los que tienen un tamaño inferior a 5 μm , debido a su tamaño tan pequeño pueden ser inhalados y alcanzar fácilmente los alvéolos pulmonares, donde pueden depositarse y causar infecciones o reacciones alérgicas (The Dictionary of Environmental Microbiology - Linda D. Stezenbach, Marylynn V. Yates).

Debido al tamaño de escala de micro a nano, el escaneo de bioaerosol se deposita fácilmente en varias partes del cuerpo vía pulmones y en el sistema circulatorio. Tal deposición puede causar un numero de complicaciones de salud involucrando un solo órgano a un sistema de órgano entero (Georgakopoulos et al., 2009). Los estudios revelaron que la mejora en el nivel de bioaerosoles se ha convertido en una grave preocupación ambiental. Por lo tanto, también se han revisado

brevemente varios métodos de control. Sin embargo, varios niveles individuales de esfuerzos, como operaciones de limpieza periódicas, actividades de mantenimiento y un sistema de ventilación adecuado también sirve de la mejor manera para mejorar la calidad del aire interior (Ghosh et al., 2015).

A continuación, en la figura 1, se presenta el impactador de cascada viable, el cual simula la respiración humana. Este equipo se emplea porque las muestras se recogen de manera graduada, permitiendo que el investigador pueda identificar los tamaños de las partículas de la sustancia.

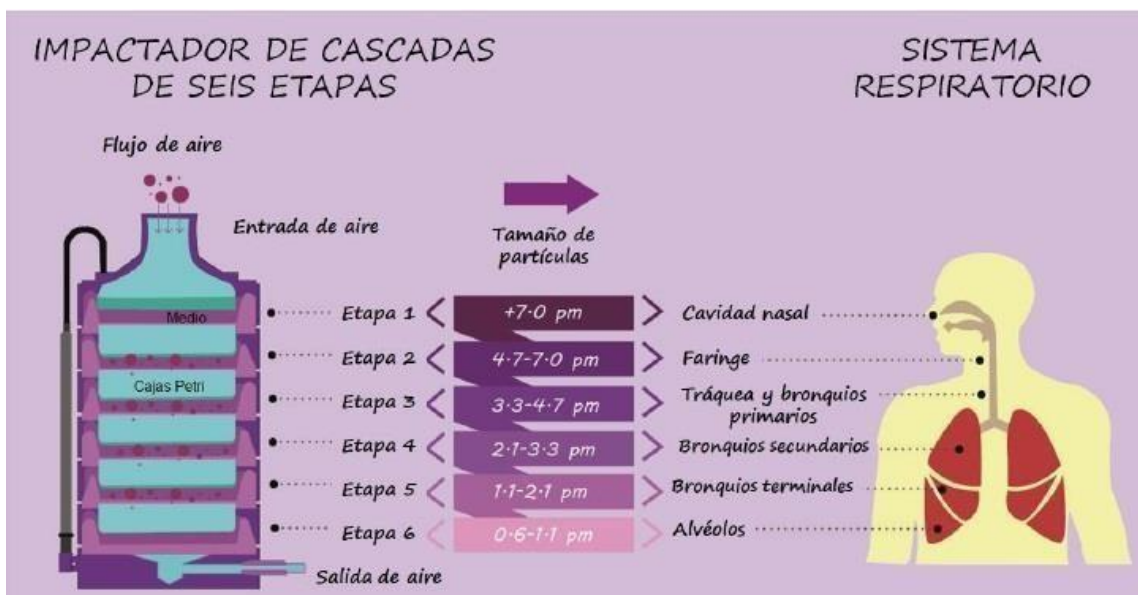


Figura 1. Diámetro de partículas respirables por el ser humano. Fuente: (Morgado-Gamero, (2018))

Las esporas de hongos y las aerobacterias, se encuentran entre los bioaerosoles más numerosos en la atmosfera del medio ambiente; su concentración está influenciada por los procesos aero-biológicos de liberación, dispersión y disposición (Gil et al., 2014); Sin embargo, factores como la localización geográfica, topografía, época del año, hora del día, parámetros meteorológicos, localización del equipo de

muestreo en relación con la fuente de los bioaerosoles, además de las actividades humanas, influyen en su comportamiento para su evaluación (Grinn-Gofroñ et al., 2011).

Con respecto a las fuentes de origen, en general éstas son tanto de origen antrópico como natural. Las primeras atribuidas en general a actividades propias de zonas urbanas como por ejemplo plantas de tratamiento, plantas de compostaje entre otras, con respecto a las fuentes de origen natural, esta se relaciona con la dinámica biológica del suelo, cuerpos de agua entre otros, las que en conjunto con los otros componentes del material particulado contribuyen a provocar episodios de contaminación que se manifiestan debido a las altas emisiones y baja capacidad de dispersión del aire (Morales, 2006).

Los microorganismos aerotransportados, ambos bacteria y fungi, pueden ser agentes causantes de muchas enfermedades. Estas incluyen fiebre alta, bronquitis, neumonía, asma, tuberculosis, enfermedades cardiovasculares o reacciones alérgicas (sinusitis o conjuntivitis)(Breza-Boruta, 2016b).

3.2.2. Bioaerosoles fungi

Los aerosoles bacteria y fungi, como los bioaerosoles más importantes, son una parte inseparable de las sociedades humanas y principalmente presente en los ambientes más encerrados (Ghosh et al., 2015). Las esporas de hongos en el aire representan la fracción principal de las partículas denominadas partículas de aerosol biológico primario (PBAP) que se encuentran en la atmósfera. Su cuantificación es importante porque está ampliamente aceptado que las esporas de hongos juegan un papel importante en la salud de los seres humanos, los animales y las plantas (Fernández-Rodríguez et al., 2018).

Los bioaerosoles fungí como mohos y levaduras son omnipresentes en ambientes interiores y exteriores, y casi el 10% de la población humana del mundo tiene alergias a los hongos. Más del 80% de los generos fungí han sido asociados a los síntomas de alergias respiratorias del tracto y más de 100 especies han sido implicadas en serias infecciones humanas y animales (Fang et al., 2017a). Un estudio reciente de aislamientos de fusarium clínico mostró una gran diversidad entre especies, con una distribución global de enfermedades, sugiriendo que estos fungí son verdaderos patógenos oportunistas (Lainhart, 2018).

Los fungi más comunes identificados en el aire fueron *penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus* y *Alternaria* basada en la proporción de la concentración y la frecuencia. Aproximadamente 40% del número total de las especies fungi aisladas pertenecían al *Penicillium*, que representa la máxima proporción de la concentración total del 32%, seguido por el *Cladosporium*, *Aspergillus*, fungi no espora, *monilia* y *Alternaria*. La mayoría de las especies fungi que se presentan son *Cladosporium cladosporioide* (8.44%), *Penicillium chrisogenum* (5.33%) y *penicillium furiculosum* (4.89%).(Fang et al., 2017a).

El nicho ecológico de las especies de *Aspergillus* es el suelo; los organismos prosperan especialmente en el compost, donde funcionan como saprofitos creciendo en escombros orgánicos y carbón reciclante y nitrógeno a través del medio. La reproducción asexual en todas las especies *Aspergillus* es abundante y se caracteriza por la producción de conidia asexual pigmentado verde (esporas). Se estima que la mayoría de la gente inhala varios cientos de conidia de *A. Fumigatus* diariamente (Steinbach, 2018b).

3.2.3. Influencia de las condiciones meteorológicas en el comportamiento aerodinámico de los bioaerosoles.

Las condiciones meteorológicas tienen claramente una profunda influencia en la producción, dispensación y disposición de esporas fungí (Al-Doory et al., 1980). Se estima que sobre la superficie terrestre un cuarto del material aerotransportado son material biológico. Las variables meteorológicas afectan su liberación inicial hacia el aire y su dispersamiento una vez son aerotransportados (Jones & Harrison, 2004b).

Los resultados de experimentos en varias especies de fungí tanto en ambientes controlados como en el campo, muestran la liberación de la conidia asociada a la humedad relativa y a la exposición incrementada a la radiación infrarroja y visible (Jones & Harrison, 2004b). El daño causado por las condiciones meteorológicas puede resultar en la liberación de partículas biológicas desde dentro del material dañado. Además, se ha encontrado que en general las concentraciones de varias esporas fungí varían con la temperatura media, la temperatura mínima, la temperatura máxima, la velocidad media del viento, la humedad relativa, las precipitaciones y la velocidad máxima del viento y de la nieve (Jones & Harrison, 2004b; Li & Kendrick, 1995). En el caso de los bioaerosoles fungí, se pudo detectar que la naturaleza de su distribución y concentración en las áreas urbanas era también similar a las concentraciones bacterianas en las áreas suburbanas de Washington. Similar patrón de la distribución de los fungí se observó también en Beijing siendo las más alta en verano y otoño; y la más baja en primavera e invierno (Ghosh et al., 2015).

De acuerdo con varios estudios (Droffner et al., 1995; Pasanen' et al., 1993) dos tipos de factores influyen en los bioaerosoles: las características físicas y los factores ambientales. Las características físicas incluyen tamaño, densidad, y forma de gotas o partículas mientras que los factores ambientales incluyen contenido de

humedad de material de construcción, densidad del aire, humedad relativa y temperatura (Ghosh et al., 2015). Por otro lado, se ha demostrado que los microorganismos aerotransportados varían de principio a fin del día y del tipo de estación, dependiendo de varios factores ambientales tales como: tipo de vegetación (Pepeljnjak & Šegvi, 2003), contaminación del aire, actividades humanas, factores climáticos meteorológicos y estacionales; y la periodicidad de las fuentes de emisión, tasas de intercambio de aire y actividades humanas (Abdel Hameed et al., 2009).

Como los factores ambientales juegan un papel importante en la distribución de los bioaerosoles, varios estudios relacionados a la distribución espacio temporal también se han conducido en diferentes partes del mundo. Estos demuestran un patrón de variación en frecuencia y concentración de los bioaerosoles fungi en las cuatro estaciones del año (Fang et al., 2017a). Por ejemplo, en verano y otoño se presentaron las más altas concentraciones en ciudades como Beijing-China, Washington. D.C.-U.S. A, Montreal-Canadá y Moscú-Rusia.(Ghosh et al., 2015). Los datos de medición de la concentración de las partículas fungi y de las partículas bacterianas muestran cuantitativamente que las concentraciones de los bioaerosoles durante el evento de lluvia son varias veces mayor que la concentración en la condición de no lluvia (Heo et al., 2014b).

Las partículas aerosoles son capturadas y removidas desde el aire por la lluvia y la concentración disminuye significativamente después de los eventos de lluvia. Por consiguiente, se considera que la lluvia puede tener un efecto en los ambientes del aire en términos de la salud respiratoria del público en general (Heo et al., 2014a). Varios estudios han demostrado que la concentración de las esporas de hongos en el aire interior y exterior está fuertemente relacionada con los factores

meteorológicos como temperatura, humedad relativa y duración de la luz día, agentes de contaminación del aire (Reanprayoon & Yoonaiwong, 2012).

El comportamiento aerodinámico que presentan los bioaerosoles constituye la característica más influyente cuando son emitidas al aire. Una vez que se encuentran en suspensión, su comportamiento aerodinámico va a estar gobernado por sus propiedades físicas (forma, tamaño y densidad) y por las condiciones medioambientales (corrientes de aire, humedad, temperatura, etc.) (Sánchez-Monedero et al., 2006). De forma teórica, los bioaerosoles se liberarían inicialmente formando un cono horizontal con el vértice situado en el foco de emisión, como se muestra en la siguiente imagen (figura 2):

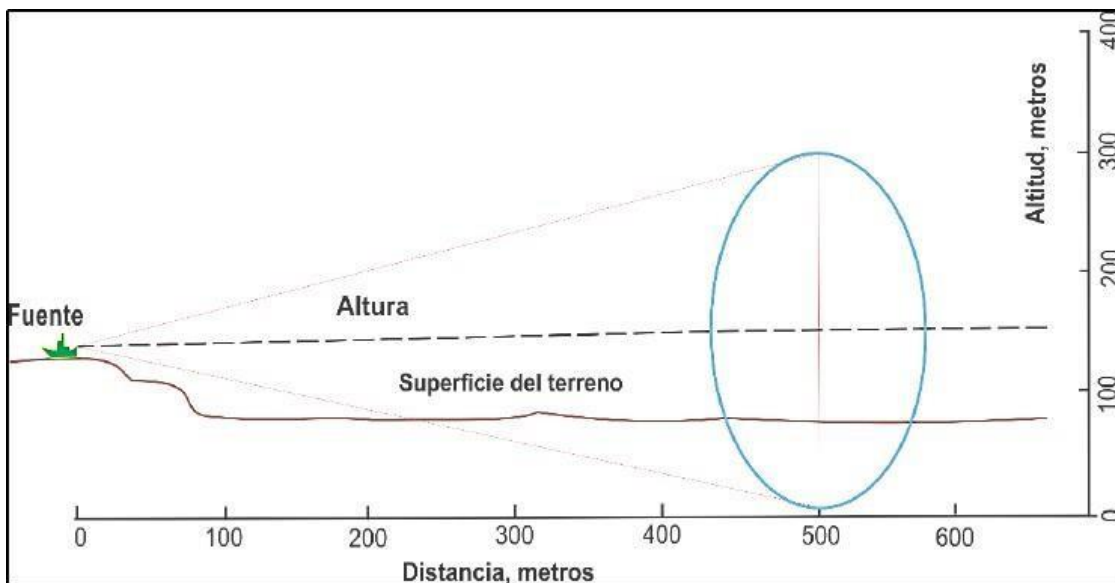


Figura 2: Forma Teórica de liberación y dispersión de partículas. Fuente: (Main (2000))

La supervivencia de estos bioaerosoles, su producción, liberación, dispersión y composición están influenciadas por las variables meteorológicas como se mencionó anteriormente, en donde se tienen en cuenta la temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del viento, radiación y punto de condensación (Grinn-

Gofroń & Bosiacka, 2015). De igual manera estos factores ambientales son los más significativos, por lo que estos influyen en los altos niveles de concentración en ciertas épocas del año. El aumento de la temperatura ambiente tiende a disminuir la viabilidad de los bioaerosoles en el aire. Altas temperaturas influyen en ciertos microorganismos suspendidos debido a que no toleran estas condiciones, presentando baja concentración. Sin embargo, caso contrario sucede con la humedad, debido a que es un factor que ayuda en la viabilidad de estos bioaerosoles, por lo que estos le proporcionan al microorganismo hidratación y a su vez su supervivencia (Lighthart, 2000).

La exposición diaria de una persona a la contaminación del aire (bioaerosoles) es la sumatoria de sus exposiciones a varios ambientes a lo largo del tiempo. Estos espacios particulares de exposición se conocen como microambientes y pueden variar a lo largo del día. La exposición en cada microambiente es el producto de la concentración del contaminante en particular por el tiempo que permaneció la persona en cada uno de estos espacios (vivienda, trabajo) (Mantzouranis, 2008).

3.2.4. Aerosoles fungí y su efecto sobre la salud

Las tasas de morbilidad y mortalidad causadas normalmente por inofensivas especies de fungí (e.g. *Cándida*, *Aspergillus*, *Fusarium* y *Tricosporum*) son relativamente altas. La invasión de los fungí en los humanos está asociada a una gran variedad de enfermedades, oscilando de colonización benigna, infecciones superficiales de la piel y alergia, hasta micosis sistémica peligrosas para la vida (Cramer & Blaser, 2002). Los efectos adversos a la salud de los fungí han sido estudiados globalmente y muchos estudios han determinado la presencia de bioaerosoles fungí en ambientes interiores (Fang et al., 2017a). Los organismos Fungí tales como *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*, and *Cladosporium* spp son responsables por una colección de condiciones respiratorias desde rinitis alérgica hasta el asma. *Aspergillus Fumigatus* pueden ser responsable de 90% de todas las

Aspergilosis, y el *Aspergillus fumigatus* puede causar un rango de enfermedades pulmonares invasivas (Fang et al., 2017a).

En realidad, las bacterias son PM_{2.5} y una parte de las esporas fungí son PM₁₀ (Blais-Lecours et al., 2015; Brook et al., 2004; Després et al., 2012). Tanto los sistemas respiratorios superior e inferior se afectan por los aerosoles bacterianos y fungí. (Blais-Lecours et al., 2015; Després et al., 2012; Faridi et al., 2015). La micosis sistémica se puede dividir en dos grupos basados en su habilidad para infectar anfitriones inmunocompetentes. Los fungí infecciosos, el primer grupo, se clasifican como patógenos primarios. Estos incluyen *Coccidioides immitis*, *Histoplasma capsulatum*, *Blastomyces*, y *Paracoccidioides*. El segundo grupo incluye los patógenos oportunistas tales como *Cándida*, *Aspergillus*, *Cryptococcus*, *Trichosporon* y *Fusarium*. Sumado a la micosis sistémica y oportunista varios fungí están asociados con un gran número de desórdenes alérgicos en humanos que ocurren aumentada prevalencia (Crameri & Blaser, 2002).

Fusarium es un género muy difícil de identificar, sobre todo, en relación con la especie, y generalmente hay que recurrir a laboratorios especializados. Pueden aislarse a partir de cualquier de los órganos que afecta: piel, cornea, esputo, hueso, sangre, etc. (Monzón & Rodríguez, 2013a).

3.2.5. Exposición a bioaerosoles fungí

En muchas ciudades del mundo, como Barranquilla, en donde crecen su población y sus industrias, la exposición a los bioaerosoles aumenta. Nuevas actividades industriales han surgido en los últimos años en los cuales la exposición a los agentes biológicos puede ser abundante. Además, la evaluación de los riesgos de salud ambiental para los residentes quienes viven cerca de las fuentes de emisión. Varios estudios han demostrado que las plantas de compostaje (Taha et al., 2007), el tratamiento de aguas residuales (Guo et al., 2014), y los vertederos de

residuos urbanos(Duquenne et al., 2012), son fuentes reales significativas de emisiones antropogénicas de bioaerosoles fungí en ambientes exteriores(Grisoli et al., 2009), principalmente, si estas actividades incluyen etapas asociadas al movimiento mecánico de residuos orgánicos (Morgado Gamero et al., 2018).

Muchos estudios han demostrado que la exposición ocupacional a los bioaerosoles fungí causan diferentes tipos de enfermedades. Entre esos estudios están los hechos en las plantas de tratamiento de aguas residuales. El tratamiento de las aguas residuales genera aerosoles de diferentes tamaños y todos los microorganismos presentes en las aguas residuales pueden ser aerosolizados y depositados en las superficies (Han et al., 2013). Los trabajadores de las plantas de tratamiento de aguas residuales están expuestos a muchos riesgos biológicos y se ha demostrado tener un mayor riesgo de desarrollar una gran variedad de síntomas comparados con la población general, incluyendo efectos respiratorios y gastrointestinales (e.g. diarrea) (Masclaux et al., 2014). Tales tipos de aerosol han sido reportados como causas potenciales de infecciones en personas inmunocomprometidas, en trabajadores de plantas de tratamientos de aguas residuales y en comunidades de los alrededores (Niazi et al., 2015). En particular los trabajadores de las plantas de tratamiento de aguas residuales están expuestos a estos bioaerosoles a través de varias vías tales como ingestión, contacto con la piel o las mucosas, inhalación y contacto con superficies contaminadas, vestuario o herramientas, etc. (Masclaux et al., 2014).

Según informe del Banco Mundial más de 1.3 billones de toneladas de residuos municipales se generan anualmente en el mundo. Por ello varios estudios indican la importancia de monitorear el aire en los vertederos municipales y en su vecindad(Cyprowski et al., 2019). Así se observan dos grupos de estudios: Un grupo de estudios dedicado a evaluar la exposición ocupacional a los bioaerosoles de los empleados que manejan los residuos en los vertederos(Marchand et al., 1995). Otros estudios evalúan los tipos de bioaerosoles que se dispersan más allá del área

de los vertederos(Vilavert et al., 2012). Las mediciones en las cercanías a las partes de los vertederos explotados se han presentado a menudo concentraciones microbiológicas en niveles similares a los de exposición ocupacional. i.e. 10^1 - 10^4 CFUm⁻³.(Breza-Boruta, 2016a)

4. MARCO NORMATIVO

4.1. Normas internacionales sobre bioaerosoles

La exposición a bioaerosoles, a diferencia de la exposición a sustancias químicas, no tiene valores límites umbral (TLVs) para evaluar el impacto en la salud o efectos tóxicos, debido a la complejidad en su entidad, las variaciones en la respuesta humana a la exposición y las dificultades en la recuperación de los microorganismos que pueden suponer riesgo durante el muestreo de rutina (Srikanth, 2008). De igual forma países como España han desarrollado guías y técnicas NTPs para la prevención de enfermedades relacionadas con biocontaminantes en el aire, es por esto que el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España y el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo han creado guías relacionadas con la medición, prevención y control de los agentes biológicos, como se aprecia en la Tabla 2.

Tabla 2. Normativas Técnicas españolas de Prevención (NTPS)

| Normativas | Generalidades |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------|
| NTP 299 | Método para el recuento de bacterias y hongos en aire. |
| NTP 409 | Contaminantes biológicos: criterios de valoración. |
| NTP 608 | Agentes biológicos: planificación de la medición. |
| NTP 609 | Agentes biológicos: equipos de muestreo (I) |
| Nota. Fuente: De Moya H.I.2021 | |

Si bien no existe una normativa que establezca los valores de concentración de bioaerosoles fungí por UFC/m³ en Colombia para clasificar los estados de contaminación del aire, los monitoreos de las concentraciones de bioaerosoles en Colombia se pueden guiar por los valores establecidos por el Departamento de Salud y Bienestar de Canadá y Corea. Estos establecen que al monitorear concentraciones de 50 UFC/m³ para una especie exige una investigación. Concentraciones de 100 UFC/m³ es inaceptable por la presencia de algunos patógenos fungí. 150 UFC/m³ en especies mezcladas es normal (Morgado Gamero et al., 2018). También (Godish, 2001) establece que las concentraciones de bioaerosoles mayores de 1000 UFC/m³ se considera un ambiente no aceptable y en presencia de concentraciones mayores a 10000 esporas/m³ se considera un ambiente contaminado.

4.2. Normas nacionales sobre bioaerosoles

En Colombia no existen normativas que expongan los criterios numéricos o niveles permisibles que regulen la emisión o inmisión de los biocontaminantes, se debe a la complejidad de los componentes de los Bioaerosoles (baterías hongos, restos de microorganismos, etc.). Por otra parte, en las normas técnicas no es mencionado el monitoreo de bioaerosoles en interiores y exteriores (tabla 3).

Tabla 3. Normas nacionales sobre bioaerosoles.

| <i>Normativas</i> | <i>Generalidades</i> |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ley 9 de 1979 | <p>“Las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar u mejorar las condiciones necesarias en lo que se relaciona a la salud humana”</p> <p>“Los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente”</p> |

| | |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ley 99 de 1993 | Ley que reglamenta la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, creó el “Ministerio de Medio Ambiente, hoy MAVDT15, el Sistema Nacional Ambiental - SINA, y el Consejo Nacional Ambiental” |
| Constitución Política de Colombia (4 de julio de 1991) | <p>Artículos 79. Donde se reglamenta el derecho de todos los ciudadanos a un ambiente sano, además de incentivar la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectar el ambiente.</p> <p>Artículo 89. Donde se reglamentan las acciones, y los procedimientos necesarios para que se logre defender la integridad del orden jurídico, los derechos individuales, colectivos o de grupo, frente a la acción u omisión de las autoridades.</p> <p>Artículo 95. Donde se reglamenta los deberes de los colombianos en mención a la calidad de vida y relación con el entorno.</p> |
| Nota. Fuente: De Moya ,2021 | |

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. Tipo de investigación

La metodología utilizada en esta investigación fue de carácter cuantitativo dedicada especialmente al caso de la medición de las concentraciones de los bioaerosoles fungí en el aire de la ciudad de Barranquilla y su área Metropolitana (Arturo et al., 2011). Para ello se obtuvieron mediciones de las concentraciones de los bioaerosoles fungí por UFC/m³, y posteriormente se procedió a sus respectivas identificación y caracterización.

5.2. Área de estudio

El muestreo de los bioaerosoles fungí se realizó en la ciudad capital del departamento del Atlántico: Barranquilla. Esta ciudad se encuentra al norte de América del Sur y de la República de Colombia, ocupa la parte más septentrional del Departamento del Atlántico, del cuál es su capital. La ciudad se levanta en la margen izquierda del río grande de La Magdalena y a 22 kilómetros aguas arriba de su desembocadura en el mar Caribe. en las siguientes coordenadas: 10° 57' 42" de latitud norte y 74° 46' 54" de longitud occidental. Esta posición presenta una temperatura media de 27.8°C, con una mínima de 24° C y una temperatura máxima de 31.6° C (SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD BARRAQUILLA, 2019).

Barranquilla limita al norte de manera natural con el Mar Caribe y políticamente con Jamaica, República Dominicana y Haití; al sur con los municipios de Soledad y Galapa; al oriente y nororiente con el río Magdalena; al occidente y Noroccidente con el municipio de Puerto Colombia; en el suroccidente, en un pequeño tramo, con el municipio de Tubará. Los límites naturales de Barranquilla

son el mar Caribe y el río Magdalena al oriente y nororiente (SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD BARRAQUILLA).

5.2.1. Factores meteorológicos en el área de estudio.

El clima de la ciudad de Barranquilla es de tipo tropical seco, correspondiente a una vegetación propia de la sequedad y con una temperatura promedio de 27 °C. Barranquilla no tiene estaciones, pero cuenta con dos períodos en el año: un período seco y otro de lluvias. Desde diciembre hasta mayo se presenta el período seco, este se caracteriza porque coincide con el invierno boreal en el cual soplan los vientos alisios del noreste brindando un agradable ambiente fresco. La temporada de lluvias se extiende de abril a noviembre, interrumpida por un período seco entre junio y julio, en el que se da la llegada de los vientos alisios del sureste y es conocido como el Veranillo de San Juan. La precipitación anual promedio es de 821 mm. Presenta un período muy definido que va del mes de mayo al de octubre, con lluvias que oscilan entre 70 y 178 mm/mes, constituyéndose este último como el de más altos índices de pluviosidad. El período seco transcurre entre los meses de diciembre hasta abril, con promedios entre 1.0 y 25 mm/mes. Así mismo, el número de días con precipitación oscila a lo largo del año entre 0.0 y 14.0 días. La duración de los eventos es en general de 90 minutos, con eventos extraordinarios de duración superior a 120 minutos. Las tormentas son de corta duración, pero de gran intensidad. La hora de iniciación de los eventos está en general, entre las 11:00 a.m. y las 4:00 p.m. Durante el período de precipitaciones de mayor intensidad el sistema vial de la ciudad transforma sus componentes (calles) en "canales" de drenaje por los cuales evacúan las aguas lluvias, cuyos efectos restrictivos sobre la circulación vehicular son particularmente notorios(Climatología de Barranquilla, CIOH.2021).

En Barranquilla no se producen las abundantes selvas características del clima tropical. Por el contrario, es una zona seca, como lo es todo el litoral Caribe colombiano, debido a que los vientos alisios del noreste soplan paralelos al litoral,

absorbiendo la humedad, empujándola hacia el interior de la Región Caribe hasta las estribaciones de la cordillera de los Andes, donde producen abundantes lluvias. Los vientos alisios son secantes y en determinadas épocas del año soplan con más energía, aumentando la sequía en la región. La sequía también se produce por un fenómeno conocido como la "Sombra de sotavento" de la Sierra Nevada de Santa Marta. La Sierra Nevada de Santa Marta es una barrera para los vientos alisios del noreste, éstos, luego de aridecer la península de la Guajira, alojan toda la humedad del lado de Barlovento de la Sierra Nevada produciendo abundantes lluvias, hasta 2500 mm anuales, pero en el lado de sotavento esto es, el lado opuesto a Barlovento, la parte de la Sierra que mira hacia Barranquilla, se genera sequía que se extiende hasta el oriente de la ciudad. Por la sombra de sotavento el promedio de lluvias en la parte oriental de la ciudad (Barrios las Nieves, Rebolo, La Luz, Simón Bolívar) es ligeramente menor que en el occidente y suroccidente de la ciudad.

La toma de muestra se realizó en cuatro zonas de la ciudad de Barranquilla y su área metropolitana: S1 (Plaza de la Paz), S2 (Malecón Puerta de oro), S3 (Uninorte) y S4 (Parque Biotemático Megua), figura 3.



Figura 3. Imagen satelital de las zonas de estudio en Barranquilla y su área Metropolitana. Fuente: Google Earth. 2021.

5.2.2. Tasas de mortalidad y morbilidad de la población en el área de estudio

Barranquilla es una de las principales ciudades de Colombia, es el principal centro económico, comercial e industrial de la región caribeña de este país y tiene una población aproximada de 1'419,644 habitantes. La densidad de su población es la más alta del departamento: 8.552 habitantes por km². Según DANE el número de habitantes de primera infancia (entre 0 y 6 años) es de 130.557. En la infancia (entre 7 y 12 años) es 115,792 habitantes. En adolescentes (entre 13 a 18 años) 119,123 habitantes. En la juventud (entre 19 a 26 años) 159.454 habitantes. En el ciclo de adultez (entre 27 a 59 años) 551.736 habitantes y persona mayor (60 años o más) 167.993 habitantes.

La tasa de mortalidad por IRA en Barranquilla manifiesta un comportamiento fluctuante, con valores inferiores a los nacionales en los años 2009 a 2012 y en 2014, en el año 2016 disminuyó llegando a una tasa de 19,77. Sin embargo, se aprecia un leve incremento en 2017 llegando a 23,13. Es necesario indicar que el alto grado de urbanismo del Distrito (99,6%), puede incidir en la calidad del aire, así como los procesos empresariales consecuentes que implican combustión por fuentes fijas y móviles, generando dióxido y monóxido de carbono, así como óxidos de nitrógeno y azufre, que afectan las vías respiratorias y que podrían debilitar el sistema inmune, predisponiendo a que infecciones respiratorias encuentren un sustrato que pueda agravar su efecto; sumado a la exposición a cambios repentinos de temperatura dadas las condiciones climatológicas de la ciudad, que se dan con frecuencia al acceder a lugares con aire acondicionado, apertura de refrigeradores o incluso bañarse (SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD BARRAQUILLA. 2019)

La Infección respiratoria aguda, es la principal causa dentro del grupo de las enfermedades transmisibles en hombres, tanto en hombres como en mujeres. Cabe anotar que las enfermedades respiratorias de origen infeccioso suelen estar relacionadas con la ocurrencia en algunos meses del año, ya que en épocas de lluvias y por cambios abruptos de temperatura propios de la ciudad de Barranquilla y en general de regiones tropicales como la nuestra, se presenta un incremento de estas. En hombres tuvieron una tasa que pasó de 27,7 en el 2005 a 40,38 en 2017 (SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD BARRAQUILLA. 2019).

En mujeres, la Infección respiratoria aguda, también es la principal causa dentro del grupo de las enfermedades transmisibles, con una tasa que alcanzó un valor en 2010, con 23,28, y aunque descendió, a partir de 2011 su tendencia es al incremento y se mantuvo hasta 2016, en 2017 presentó una leve disminución siendo su valor de 19,30 (SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD BARRAQUILLA. 2019). Los “trastornos respiratorios específicos del periodo perinatal en mujeres”, son dentro de este grupo, la principal causa de mortalidad, con 53 casos en el año 2005 y 33 en el año 2017, con una tendencia a la disminución. Dentro del subgrupo de las “demás

causas” en hombres, las enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores tuvieron las tasas más altas durante el período 2005 a 2017, con un comportamiento fluctuante en el periodo con un leve para el año 2017, con respecto al año inmediatamente anterior, siendo de 38,6. En mujeres, en primer lugar, se encuentran las enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores, alcanzado una tasa de 38,7 en el año 2017.

La causa de mortalidad infantil y niñez más frecuente en el periodo 2005-2017 en el distrito fueron las “afecciones originadas en el periodo perinatal”, con una tasa en menores de 1 año de 10,35 en el 2005 y 7,26 en el año 2017. el tercer lugar estuvo ocupado por “las enfermedades del sistema respiratorio” con una tasa de 0,71 en el año 2017. Los niños de 1 a 4 años, para el año 2017, la tasa específica de mortalidad más alta estuvo en los “enfermedades del sistema respiratorio” y “enfermedades del sistema nerviosos”, ambas con una tasa de 10,49. Se encontró que la Razón de Mortalidad Materna (RMM) del distrito de Barranquilla fue inferior a la de la nación: 45,92 frente a 51,27 aunque sin diferencias estadísticamente significativas, mostrando un incremento en el 2017, con respecto al 2016. De otra parte, la tasa de mortalidad por enfermedades respiratorias en menores de 5 años significativamente mayor a la del país en el 2017.(SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD BARRAQUILLA. 2019)

En el ámbito de las morbilidades en el subgrupo de causa “condiciones transmisibles y nutricionales”, la causa más frecuente las enfermedades infecciosas y parasitarias fueron las atendidas mayormente en el 2018 con un 50,46% de las atenciones y un incremento de 5,07pp respecto de 2017, seguida de las infecciones respiratorias con un 45,05% de las atenciones. Este comportamiento es similar tanto en hombres como en mujeres. Es posible que las enfermedades respiratorias sean las más dominantes en este grupo de afecciones, por los cambios climatológicos propios de la región caribe, en donde, al no estar expuestos a “estaciones”, sino a períodos de “lluvia” y “no lluviosos”, la temperatura cambiante en determinadas épocas del año, junto con la exposición a contaminantes por quemas, hidrocarburos

de automotores e industrias, jueguen un papel crucial en su aparición.(SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD BARRAQUILLA. 2019). En el grupo de enfermedades de Transmisión aérea y contacto directo, la infección respiratoria aguda, tuberculosis pulmonar y tuberculosis farmacorresistente tuvieron un valor de levemente superior a la del país con valores de 0,59%, 10,39% y 12,5 respectivamente.(SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD BARRAQUILLA. 2019)

5.2.3. Muestreo de bioaerosoles fúngicos en el área de estudio

En un periodo de unos 8 meses (octubre, noviembre, diciembre de 2019.enero, febrero, marzo, abril y mayo de 2020), se realizó la medición de la inmisión de Bioaerosoles fungí, en el cual se ubicaron cuatro estaciones de monitoreo en diferentes zonas de la ciudad de Barranquilla y área metropolitana como objeto de estudio descritas anteriormente. Se tomaron 36 muestras por cada punto en ambas jornadas para un total de 144 muestras por campaña. Un total de 1.152 muestras se tomaron en las 8 campañas.

5.2.4. Estaciones de monitoreo de aire en el área de estudio.

Las estaciones definidas durante el premuestreo fueron georreferenciadas utilizando un GPS marca Garmin Oregón 550. La tabla 4 presenta las coordenadas durante las 8 campañas de monitoreo.

Tabla 4.Coordenadas geográficas de las estaciones S de muestreo

| Estaciones | Coordenadas Geográficas | |
|----------------------------|-------------------------|---------------|
| | Norte | Este |
| Plaza De La Paz (S1) | N10°59'16" | 74°47'20" W |
| Malecón Puerta de Oro (S2) | N10°49'.9" | 74°46'13.9" W |
| Universidad Del Norte (S3) | N11°01'.05" | 74°51'04" W |

| | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|
| Parque Biotemático Megua (S4) | N10°5054'.5" | 74°53'48.5" W |
| Nota. Fuente: Ubicación Satelital de las zonas de muestreo. (De Moya H.I 2021) | | |

Estas estaciones fueron seleccionadas, considerando factores ambientales que predominan en las diferentes zonas, por lo que el Bioaerosol se desplaza a través de las condiciones meteorológicas presente en el ambiente. Dentro de esta, se considerarán la dirección del viento como factor principal. No obstante, en estas estaciones después de haber sido identificadas como puntos para objeto de estudio, con ayuda de un GPS y un pre-muestreo se tomaron las coordenadas donde se colocó el equipo de recolección de muestras para Bioaerosoles Fungí.

En la localidad centro histórico de Barranquilla se encuentra ubicada la Plaza de la Paz, considerada un punto central de la ciudad y epicentro de manifestaciones públicas y eventos culturales. Se consideró este punto para el estudio por estar ubicado en medio de edificaciones residenciales, por su intensidad en actividades antropogénicas, como el tránsito vehicular, plantas de tratamiento de aguas residuales, centros de manejo de residuos sólidos y el movimiento de animales domésticos (mascota), actividades que se asocian con la liberación de bioaerosoles. Por su parte, el Malecón del Río es una zona relativamente nueva de la ciudad, se ubica a orillas del río Magdalena, arteria fluvial importante para el desarrollo económico no solo de la región caribe sino del país, así mismo este río. La arteria es receptora de los diferentes efluentes residuales en el interior del país, lo que deteriora la calidad del agua. Este punto fue elegido dada su ubicación frente al río, la importante carga microbiológica que puede traer y la autorización de estos, así como la influencia de las actividades que aquí se desarrollan.

La Universidad del Norte, por su parte, está rodeada de una gran variedad de flora tropical, y es considerada un sistema abierto en continuo intercambio, dispersión,

colonización, supervivencia y patogenicidad con la atmósfera y diferentes grupos de bacterias y hongos. Este punto se tomó en la investigación dada su ubicación estratégica a 5 kilómetros de la ciudad de Barranquilla y en el lado occidental del río Magdalena. Administrativamente este es un punto del área metropolitana ubicada en el municipio de Puerto Colombia.

En tanto, el Parque Biotemático Megua es un área de reserva natural de bosque seco tropical, con una importante variedad ecológica, y por tanto permite comprender a través de esta investigación el aporte y variedad de bioaerosoles fúngi que componen estos sistemas tropicales.

A continuación, se presenta la imagen satelital de la ubicación de los puntos de dispersión (15) de los bioaerosoles fúngi. Estos presentan una distancia de 500mts entre uno y el otro, figura 4.

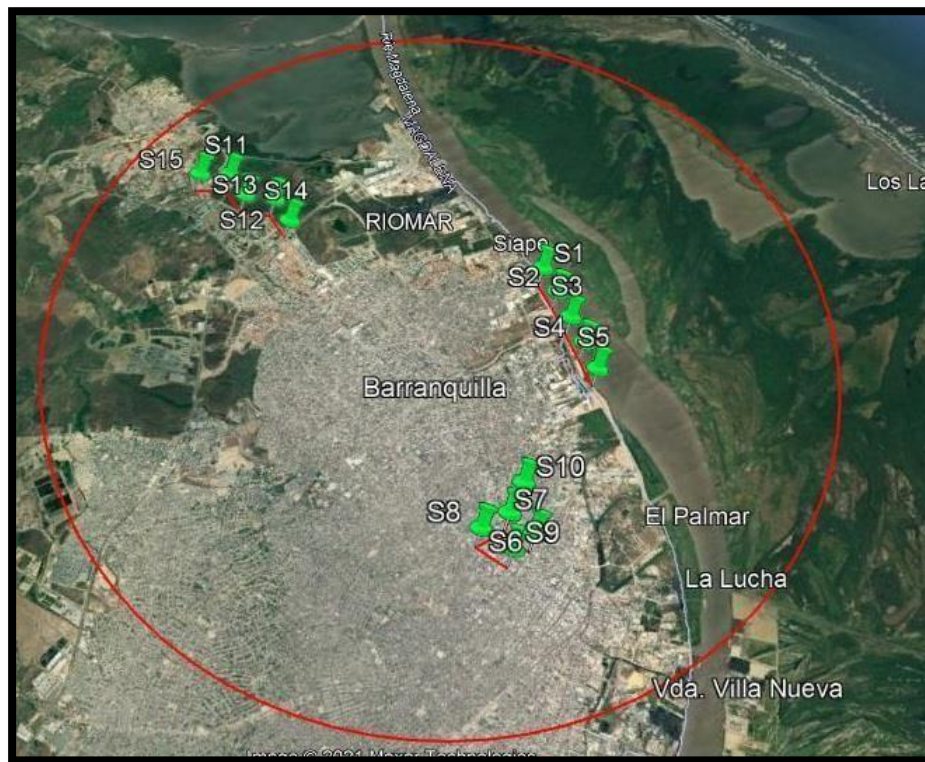


Figura 4. Ubicación geográfica de estaciones de monitoreo de aire y puntos de dispersión.

5.3. Materiales y métodos para la medición de bioaerosoles fungí

5.3.1. Equipo de monitoreo.

En esta investigación se empleó como equipo de monitoreo el Impactador de Cascada Andersen de seis etapas el cual provee una distribución del tamaño correspondiente a la deposición potencial de la partícula en el sistema respiratorio humano simulando la inmisión tanto tracto superior respiratorio (cavidad nasal y faringe) como el tracto respiratorio inferior (tráquea, los bronquios y los alveolos) (Heo et al., 2014b; Gamero & Barraza, 2017). Este es el método más común de medición de bioaerosoles. El impactador fue ubicado a una altura de 1.5 metros de altura para recoger los bioaerosoles en la zona promedio de inhalación humana, cada muestra después de ser impactada se incubo a $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas. El recuento utilizado fue el de las unidades formadoras de colonias por m^3 (C.F.U./ m^3) por placa de Petri (Morgado-Gamero et al., 2019). La concentración de bacterias viables en el aire por metro cubico (C.F.U./ m^3) se determinó mediante la división de las C.F.U. entre el caudal del impactador (28.3 L/min) y tiempo de monitoreo (5 min).

Algunas partículas viables suspendidas en el aire requieren de equipos un poco más específicos para la recolección de sus muestras. Para el estudio en campo se utilizó un impactador de cascada marca Thermo Fisher Scientific (figura 6), el cual está diseñado para simular el aparato respiratorio, por lo que dispone de 6 placas que permite colectar las partículas que son sedimentables en la etapa (1) y respirables en la etapa (6), (Vélez-Pereira & Caicedo, 2009.). Este equipo cuenta con varios orificios perforados con precisión, además cada diámetro de la placa disminuye sucesivamente, para que cuando el aire circule dentro de este la velocidad del aire se incremente de una etapa a la siguiente; succionando un flujo de aire de $28,3 \text{ L} / \text{min}^{-1}$ por medio de una bomba de vacío.

Una vez recolectadas las partículas, las de mayor diámetro se acentúan en la etapa 1 (etapa superior), mientras que las de tamaños menores se depositan en las siguientes etapas dependiendo de su diámetro, a su vez estas impactan sobre la superficie de colecta de las siguientes etapas. Bajo cada placa se coloca una caja Petri con Agar, en cuya superficie se desarrollan las partículas viables.(Wang et al., 2010). El caudal de aire fue calibrado previamente a la toma de muestra por medio de un rotámetro Dwyer modelo RMB-53-SSV (Carvajal Tatis, 2016).



Figura 5. Impactador de cascada de seis etapas Andersen. Fuente: Thermo Fisher scientifici.inc.2007.

5.3.2. Medidor de datos meteorológicos

Para los datos meteorológicos se utilizó un Kestrel Modelo 4500, que monitorea variables como temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento. Este equipo mide: velocidad del viento, temperatura de aire, agua y nieve; sensación térmica, humedad relativa, índice de estrés térmico, temperatura del punto de rocío, temperatura del bulbo húmedo, presión barométrica, altitud, altitud de densidad, brújula digital, dirección del viento y viento en contra y viento de cola.

5.3.3. Método de colecta de bioaerosoles fungi

La metodología implementada para la ejecución de este proyecto se basó en lo propuesto en la investigación de (Vélez-Pereira & Caicedo, 2009.), la cual se fundamentó en lo propuesto por la Asociación de Compostaje del Reino Unido y el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos.

La figura 5, resume las etapas del monitoreo, en cuanto a la preparación previa del material, los equipos implicados en la toma de muestras en la fase de campo, la fase de laboratorio, con su respectivo análisis de las muestras y desactivación del material biológico, categorizado como residuos peligrosos RESPEL.

PREPARACION DEL MATERIAL: MEDIOS DE CULTIVOS

EQUIPOS: autoclave, balanza, cabina de flujo laminar, planchas, calentadores, PH metro de sólidos.

Materiales: Cajas Petri, frascos Scott, agitador, cinta de enmascarar.

Consideraciones: Bitácora de los equipos, protocolo de la casa, comercializadora para agar Sabouraud, formato de preparación de medio.



FASE DE CAMPO: TOMAS DE MUESTRAS

EQUIPOS: GPS, Anemómetro, planta eléctrica, Bomba de vacío.

Materiales: Manguera del impactador, Extensión eléctrica, Gaza estéril, Cinta paraflim, Papel, Marcador Sharpie, cinta de enmascarar, llave expansiva, destornillador, Gel refrigerante, neveras portátiles, EPP.

Consideraciones: Formato de toma de muestra en campo.



FASE DE LABORATORIO: PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS

EQUIPOS: Incubadora, Cabina de flujo laminar, Microscopio, cuento de colonias.

Materiales: Marcadores, EPP + Guante y Tapabocas,

Consideraciones: Formato de reporte de datos de laboratorio.

FASE DE LABORATORIO: PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS

portaobjetos, Cubre objetos,
Azul de lactofenol, asas estériles.



DESATIVACIÓN DEL MATERIAL BIOLÓGICO

| | | |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EQUIPOS: Autoclave. | Materiales: Hipoclorito, Espátula, EPP +Guantes y Tapabocas. | Consideraciones: Bitácora de equipos, Formato reporte de desactivación de RESPEL. |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|

Figura 6. Etapas del monitoreo de bioaerosoles fungí con el impactador de Cascada. Fuente:(De Moya,2021)

5.3.4. Validación del tiempo de colecta

El tiempo de recolección de la muestra se determinó por medio de la aplicación de un pre-muestreo a tres tiempos (5, 10, 15 minutos). Esto de acuerdo con la información establecida en diferentes estudios con el mismo principio de muestreo activo y por impactación, mediante un análisis estadístico de límites de confianza y precisión de concentración se estableció que 5 m fue aquel que mostró mejor precisión y exactitud de las concentraciones en las distintas etapas del impactador por cascada.

5.3.5. Recolección de muestras.

La metodología que se implementó para ejecución de este proyecto es la utilizada por (Camargo, Y. C., Henao, D. H., & Vélez-Pereira, A. M., 2011). Posteriormente se realizó la recolección de las muestras en un lapso de 5 minutos establecido en el pre-muestreo. Por otra parte, las muestras se realizaron en dos jornadas mañana 8:00 a 11:30 AM y tarde de 1:30 a 5:00 PM el muestreo se realizó a lo largo de 8 meses en el periodo comprendido de octubre 2019 a agosto 2020 una vez por mes.

5.3.6. Materiales y preparación para la toma de muestra.

La toma de las muestras en campo requirió a parte del equipo, la preparación de materiales, los cuales fueron utilizados dentro del mismo, por lo que requirió la preparación de agares, en donde las partículas viables impactaron. Para el objeto de estudio se preparó Agar Sabouraud con dextrosa al (2%), medio ideal para el desarrollo y conteo de los fungís. Su preparación constó de agregar 65 g por un litro de agua destilada, este se disolvió en beaker y se llevó a una plancha donde se calentará hasta hervir, cabe resaltar que se le adiciona agitadores magnéticos para que el medio no se sedimentara. Luego de haber hervido, este se sirvió en botellas de vidrio con tapa para ser llevadas a esterilización, donde en la autoclave alcanzó una temperatura de 121°C durante 15 minutos, este debe tener un pH final de 5,6. (Merck, 2016). Posterior a la preparación del medio y su enfriamiento, se sirvieron 30 mL de este en cada caja Petri, ésta debió estar esterilizadas, y servidas en una cabina de flujo laminar previamente desinfectada, se dejó enfriar hasta que esta estuvo sólida y se guardó para ser llevadas al monitoreo, como lo muestra la figura 8.

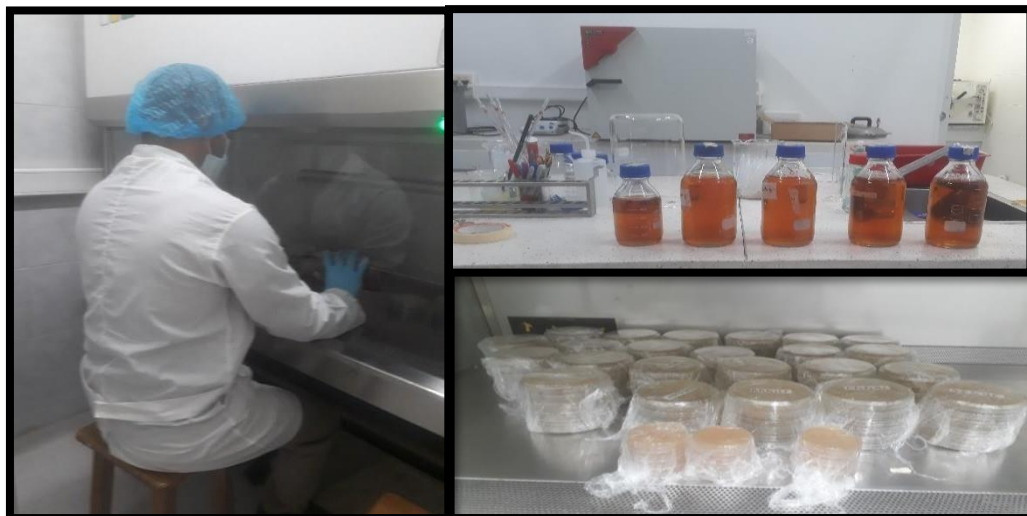


Figura 7. Preparación en el laboratorio de los materiales para el monitoreo de bioaerosoles Fungí.

5.4. Análisis de muestras bioaerosoles fungí

5.4.1. Cuantificación e identificación de las muestras

Posterior a la recolección de las muestras durante el monitoreo, estas fueron llevadas a incubar al Centro de Investigaciones Tecnológicas Ambientales CITA de la Universidad de la Costa CUC, donde se mantuvo a una temperatura de 25°C para fungis durante 5 días. Una vez finalizado el periodo de incubación, se contaron las colonias y se realizó una caracterización macroscópica y microscópica. Una vez contadas se separó por colonias encontradas y se aisló cada una. Pasado el tiempo de incubación de las colonias aisladas, se procedió a realizar la tinción de Azul de Lactofenol, lo cual nos permitió conocer el género Fungí presente.

5.4.2. Determinación de la concentración de las muestras.

La determinación de las concentraciones de las muestras requirió del conteo de las colonias, en función de unidades formadoras de colonia por metro cúbico (UFC) del aire muestreado por un lapso determinado, por lo cual se aplicó la ecuación:

$$\text{Concentración de bioaerosoles} \left(\frac{\text{UFC}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\# \text{colonias} \times 1000}{Q \times t} \text{ EC. 1.}$$

Donde, # colonias representa las unidades contadas por placa, 1000 es el factor de conversión de unidades, (Q) caudal de aire que ingresa al impactador (28,3 L/min) y (t) el tiempo de colecta de los bioaerosoles fungis (5 minutos).

5.5. Análisis de los resultados de las muestras de los Bioaerosoles Fungí.

5.5.1. Análisis e Interpretación de los datos.

Para la interpretación y análisis de los resultados del proyecto fueron sistematizados en una tabla dinámica de Excel por cada campaña, estación, jornada, replica,

microorganismo y concentración de los bioaerosoles fungís. Los resultados fueron analizados por gráficos, con el propósito de determinar las variaciones de concentraciones en las diferentes estaciones de monitoreo.

5.5.2. Distribución espaciotemporal de bioaerosoles fungís.

El comportamiento espaciotemporal de los bioaerosoles fungís se realizó por el programa Golden Surfer 11, por medio de mapas de isoconcentraciones, con el fin de observar las concentraciones en distintas isolíneas y poder detallar las zonas con mayor o menor concentración en una determinada época (Seca y/o lluviosa).

5.6. Análisis estadístico

Se utilizaron modelos de regresión lineal que permiten inferir la relación de las variables en la población, comprobando si la relación entre las variables que componen el modelo está de acuerdo con la propia forma del modelo, se estiman los parámetros de acuerdo con el criterio elegido mediante mínimos cuadrados y se verifica el ajuste del modelo para que tengan consistencia las inferencias que se saquen para la población (Sabadias, 1995). Por su parte, el ANOVA Multifactorial está diseñado para construir un modelo estadístico describiendo el impacto de dos o más factores categóricos X_j de una variable dependiente Y . Se realizan pruebas para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medias a diferentes niveles de los factores y si hay o no interacciones entre los factores. Además, los datos pueden desplegarse gráficamente de varias maneras, incluyendo un gráfico múltiple de dispersión, una gráfica de medias y una gráfica de interacciones (Morgado Gamero, (2017)).

Los resultados obtenidos fueron sistematizados en una hoja de Excel por campaña, jornada, estación de monitoreo y réplica. Esta información permitió realizar el análisis de los datos mediante el software Statgraphics Centurión XVI, aplicando un modelo de regresión lineal generalizado, con el fin de determinar si existe relación

entre las variables meteorológicas medidas (temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento) con las concentraciones obtenidas de aerosoles fúngi con un 95% de confianza ($p < 0.05$). Además, se realizó un análisis estadístico mediante ANOVA Multifactorial que permitió establecer si existen diferencias significativas entre los factores o variables independientes, en este caso las estaciones de monitoreo, la jornada y la campaña, e inclusive para conocer la varianza de un determinado factor con respecto a la media.

Para evaluar los factores de riesgo de contraer enfermedades producidas por los bioaerosoles fúngi en la población de la ciudad de Barranquilla-Colombia se tuvo en cuenta el estado de salud de los habitantes en mortalidad y morbilidad (método Rothman)(Asis, 2013) relacionada con enfermedades producidas por las concentraciones de bioaerosoles fúngi. La tasa de mortalidad por enfermedades transmisibles desde 2005 a 2017(tasa de mortalidad por enfermedades transmisibles: 53.6) siendo la infección respiratoria aguda la principal causa de muerte dentro de las enfermedades transmisibles, seguido en segundo lugar por el VIH.

De igual forma se tomaron los datos de morbilidad presentados por la Secretaría de salud de Barranquilla. La tasa de atenciones por infecciones respiratorias fue de 45.05% en el 2018. (SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD BARRAQUILLA 2019,) Los anteriores datos evidencian que toda la población está expuesta a estos bioaerosoles fúngi y, por tanto, a contraer las infecciones que ellos producen. Sin embargo, los pacientes inmunosuprimidos, con VIH y pacientes en clínicas corren mayor riesgo de contraer estas infecciones. Por último, se identificó con el estudio realizado, que los periodos de mayor riesgo son los meses de lluvia y las jornadas de la tarde por presentarse allí las mayores concentraciones de bioaerosoles fúngi. Lo que expresa que en esta época y en la jornada de la tarde la exposición ambiental es mayor.

6.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Resultados de las concentraciones de bioaerosoles fungí en el aire.

El entendimiento de la composición del conjunto de los bioaerosoles en interiores y exteriores es esencial para la evaluación del riesgo relacionado con la salud humana (Fang et al., 2017b). En este trabajo fue esencial identificar los bioaerosoles fungi y sus concentraciones en el aire de la ciudad de Barranquilla-Atlántico por su conexión directa con reacciones alérgicas y un amplísimo espectro de enfermedades (Grinn-Gofroñ & Bosiacka, 2015) . De acuerdo con los resultados de las mediciones de concentración en UFC/m³ de los bioaerosoles fungí, tanto en las jornadas matutina y vespertina de muestreo, y durante un periodo de 8 campañas de monitoreo, se logró cuantificar las concentraciones de bioaerosoles fungí emitidos desde diferentes zonas de ciudad de Barranquilla y su área Metropolitana en las épocas seca y lluviosa.

En la figura 8 se observa la concentración de los bioaerosoles fungí en las diferentes campañas de monitoreo muestreadas en la época seca. Es muy relevante la campaña octubre, la cual registra un valor superior de 89929,3286 UFC/m³ a diferencias de los otros tres meses de época seca, cuyos valores registrados fueron menores. Octubre es un mes lluvioso en la ciudad de Barranquilla, lo que demuestra que, a diferencias de otros estudios (Fang et al., 2017b), las concentraciones de bioaerosoles fungí y bacteria aumentan durante los eventos de lluvia (Huffman et al., 2013b) por las siguientes causas: Primero los bioaerosoles caen desde las nubes durante las lluvias. Segundo, los bioaerosoles chocan con el suelo y el viento las aerosoliza. Tercero, durante las lluvias los rayos UV disminuyen y las tasas de supervivencia aumentan por la disminución estos rayos. Por último, las lluvias aumentan la humedad en el aire y esto facilita el crecimiento de los organismos (Heo et al., 2014a).

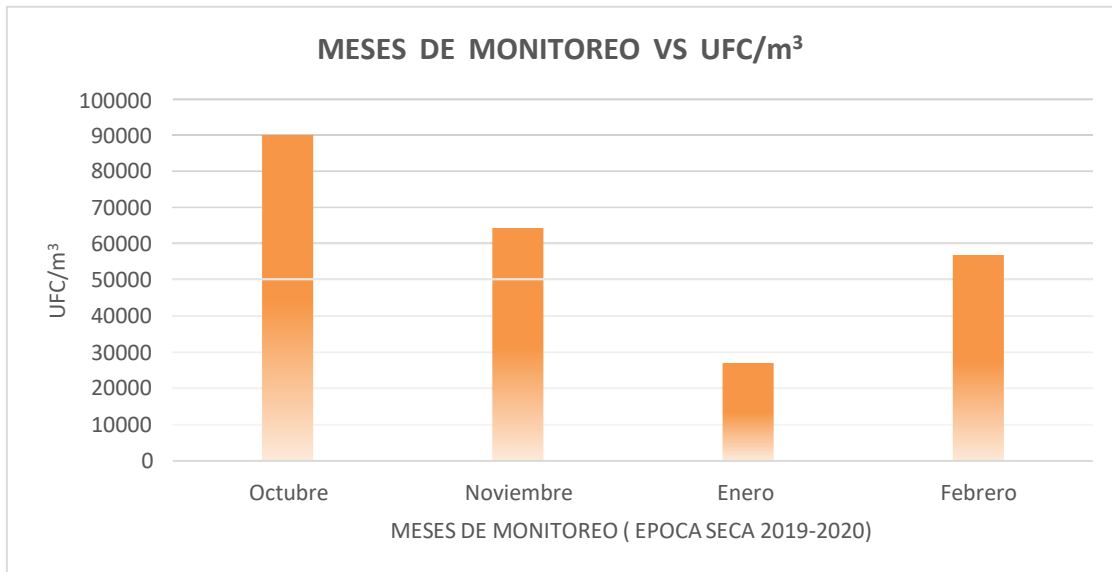


Figura 8. Concentración de los Bioaerosoles Fungí en las estaciones de muestreo en el Área Metropolitana de la ciudad de Barranquilla en época seca.

En la figura 9 se muestran los resultados de la medición de las concentraciones de bioaerosoles fungí por jornada. En la jornada vespertina los meses de octubre de 2019 y febrero de 2020 mostraron un rango mayor que el de la mañana 51236,7491 UFC/m³ y 36042,4028 UFC/m³ respectivamente. En tanto que en los meses de noviembre y enero las concentraciones fueron mayores en la jornada matinal 29151,9435 UFC/m³ y 13604,2403UFC/m³ respectivamente.

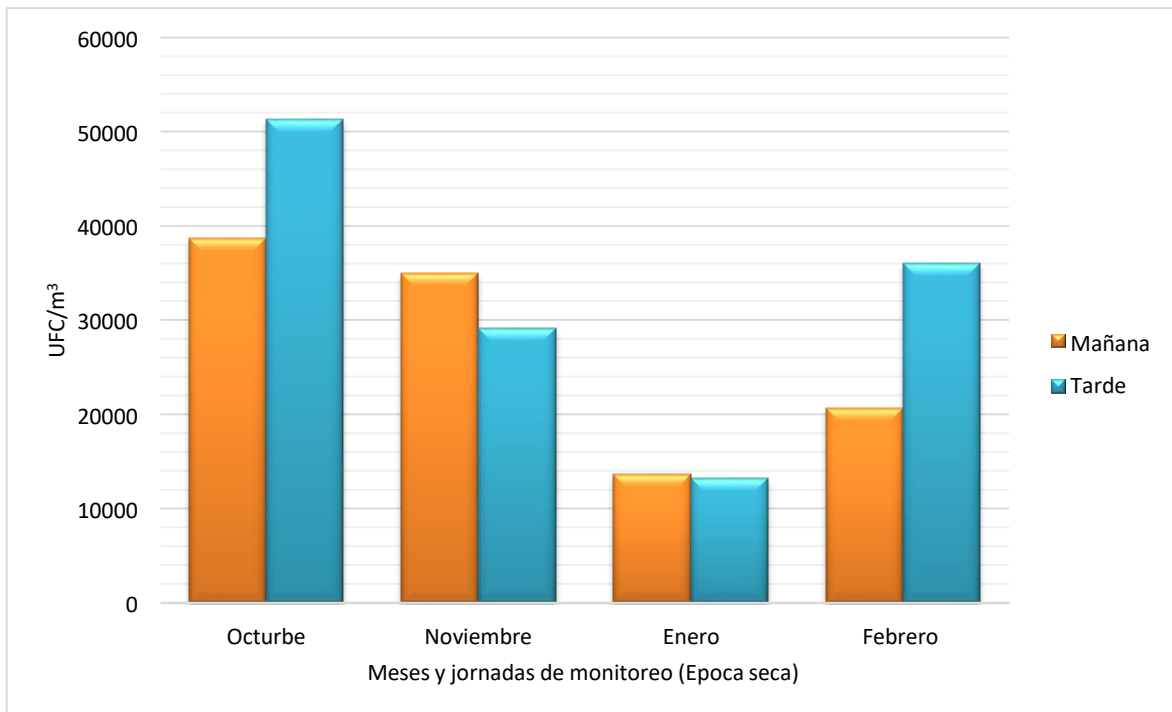


Figura 9. Concentración de los Bioaerosoles Fungí en las estaciones de muestreo en las localidades Centro histórico, Uninorte, Malecón y Parque Megua en dos jornadas durante la época seca.

En la figura 10 se observa en cada estación de monitoreo la concentración de los bioaerosoles fungí en las diferentes etapas impactadas del sistema respiratorio en la época seca. Se muestra que la mayor etapa impactada fue la cavidad nasal (1), mostrando rango mayor en la estación Uninorte. Le siguen en orden de mayor a menor por etapas, la etapa (3) tráquea y bronquios primarios, etapa (6), etapa (5), etapa (4) y etapa (2). Estos resultados implican que, en todos los puntos seleccionados para los monitoreos y tomas de muestras, los habitantes de estas zonas están expuestos durante todo el año a la presencia de bioaerosoles fungí y que éstos penetran todas las etapas del sistema respiratorio humano. Estas concentraciones de bioaerosoles fungí indudablemente terminarán afectando la salud de los habitantes de la ciudad de Barranquilla (Babatola, 2018).

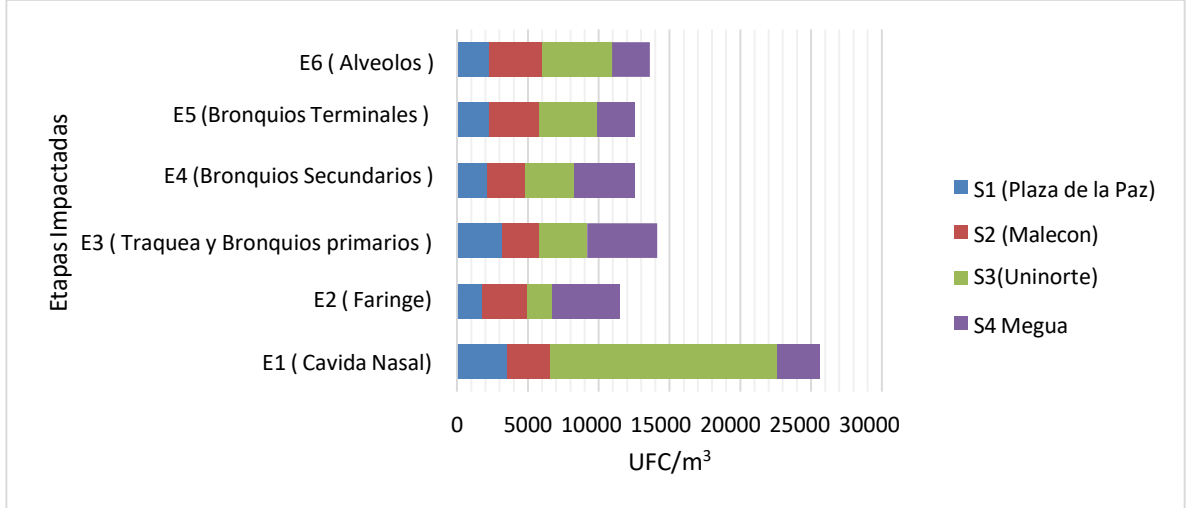


Figura 10. Distribución porcentual de la concentración de Bioaerosoles Fungí por etapas del impactador. (Época seca).

En la figura 11, se observa la concentración de los bioaerosoles fungí en las ocho campañas de monitoreo muestreadas tanto en época seca como en época de lluvia. Presentando concentraciones mayores en los meses de M1 (octubre) y M4 (febrero) de la época seca. A diferencias de los meses M5 (septiembre) a M8 (diciembre) 2020 época de lluvia son menores las concentraciones de Bioaerosoles fungí.

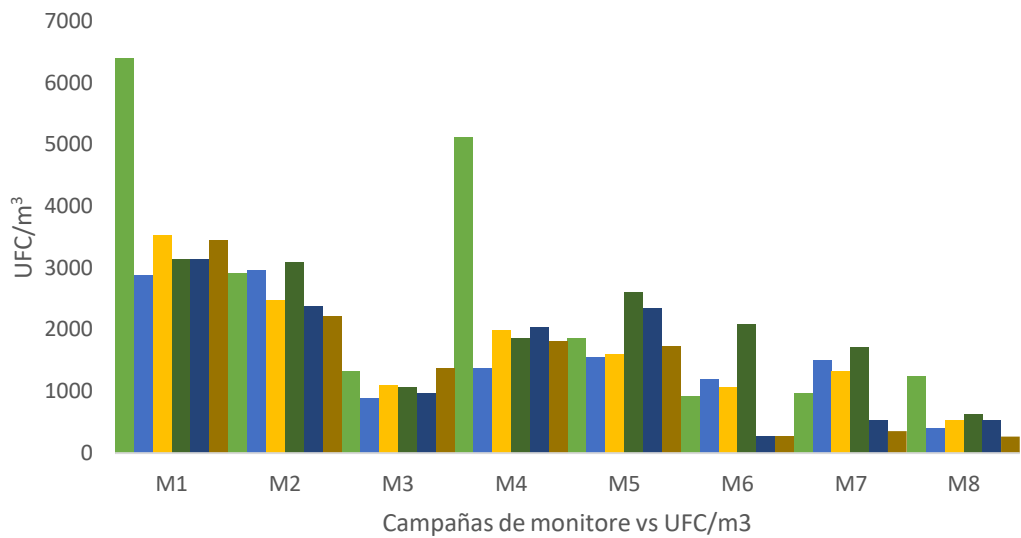


Figura 11. Concentración de los Bioaerosoles Fungí en las estaciones de muestreo durante la época seca y época de lluvia.

En las figuras 12 y 13 se muestra la medición de las concentraciones de bioaerosoles fungí en las épocas seca y de lluvia por jornada en las 8 campañas de monitoreo. Se presenta mayor concentración en la campaña (1) en S2(Malecón) seguido de concentraciones descendentes desde la campaña 2 hasta la 8. en la jornada de la mañana. En tanto que la jornada vespertina muestra un rango bastante elevado en la estación Uninorte en los meses 1 y 4. Los demás meses son muy bajos con relación a la jornada matinal.

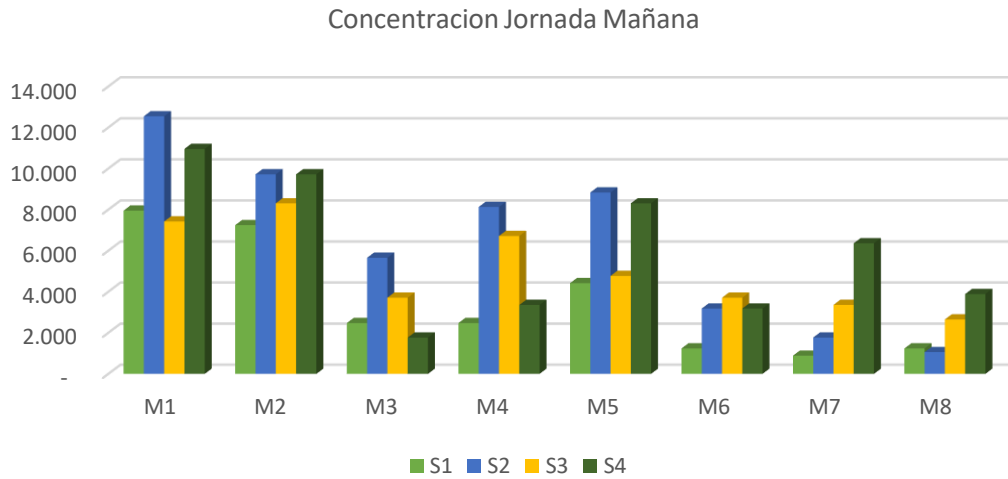


Figura 12. Concentración de los Bioaerosoles Fungí en las estaciones de muestreo durante la jornada matinal en época seca y época de lluvia.

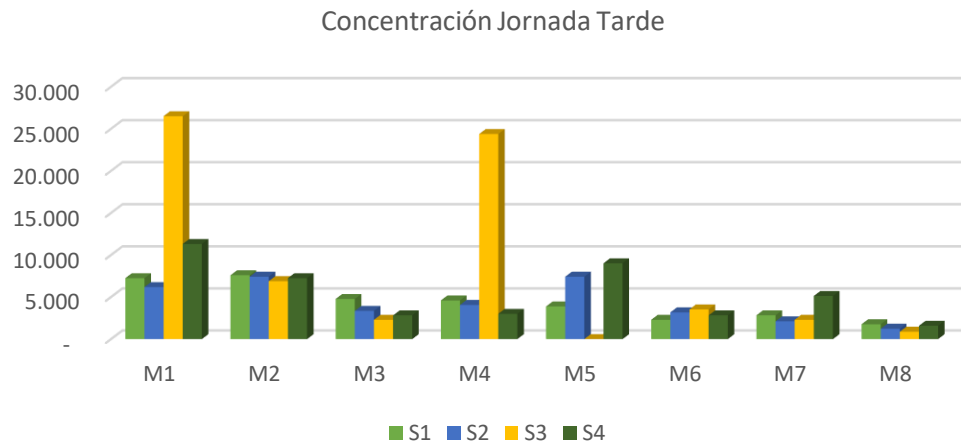


Figura 13. Concentración de los Bioaerosoles Fungí en las estaciones de muestreo durante la jornada tarde en época seca y en época de lluvia.

En la figura 14, se observa la concentración de los bioaerosoles fungí en las diferentes etapas muestreadas tanto en la época seca como la época de lluvia. Donde la etapa 1 la cavidad nasal presenta la mayor concentración de partículas

impactadas, en que se presenta una similitud en la etapa 3, 4 y 5 tráquea, bronquios primarios, secundario y terminales

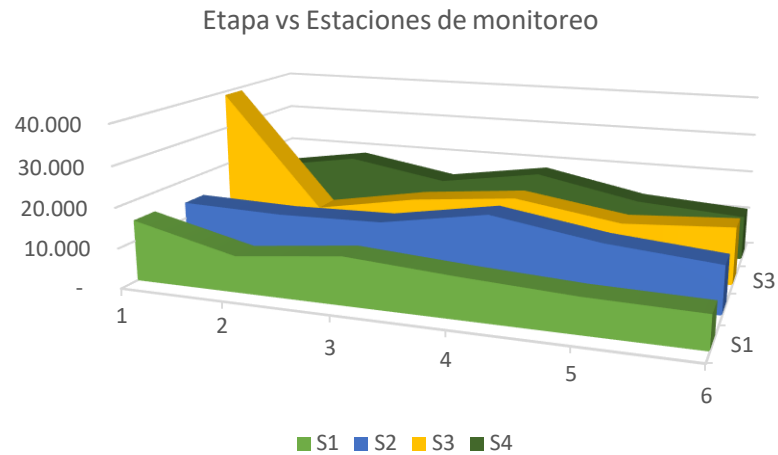


Figura 14. Concentraciones de Bioaerosoles Fungí en etapa vs monitoreo.

En la figura 15, Se observa el promedio total por jornada, evidenciando la mayor concentración de bioaerosoles fungí en la jornada de la tarde y en menor concentración la jornada de la mañana durante las 8 campañas de monitoreo.

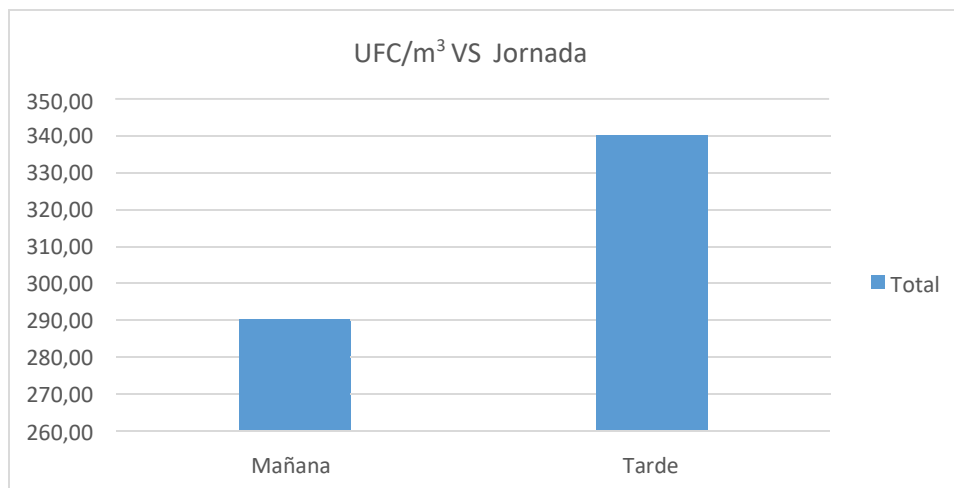


Figura 15. Promedio total de las concentraciones de bioaerosoles Fungí por jornada.

En la figura 16, se observa el promedio total por estación o punto de monitoreo en las ocho campañas en las cuales se evidencia las mayores concentraciones de bioaerosoles fungí en el punto S3 (Uninorte) y en similitud o menor concentración las otras estaciones.

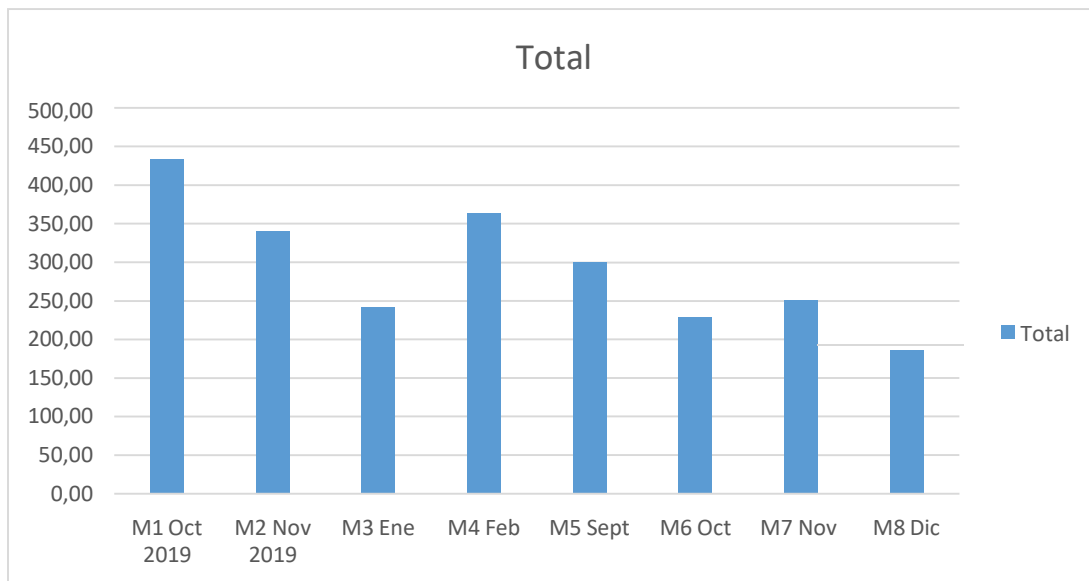


Figura 16. Promedio de las concentraciones de Bioaerosoles Fungí por campaña. (Mes)

En la figura 17, se muestra el promedio de las concentraciones de bioaerosoles por estaciones de monitoreo. Se observa un promedio mayor de más de 350.00 UFC/M³ en la estación (3) Uninorte.

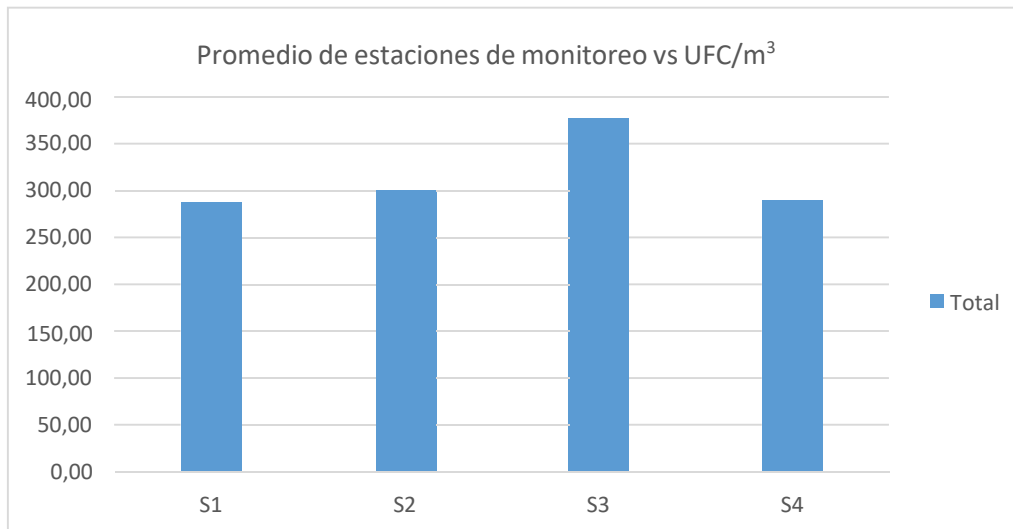


Figura 17. Promedio de las concentraciones de Bioaerosoles Fungí por estaciones.

La figura 18, muestra los resultados porcentuales de los diferentes bioaerosoles fungí hallados e identificados en cada una de las campañas. Notable el porcentaje del fungí *Aspergillus Versicolor* (100%) en la campaña (6) y *Aspergillus terreus* con un porcentaje de (86%) en la campaña (4).

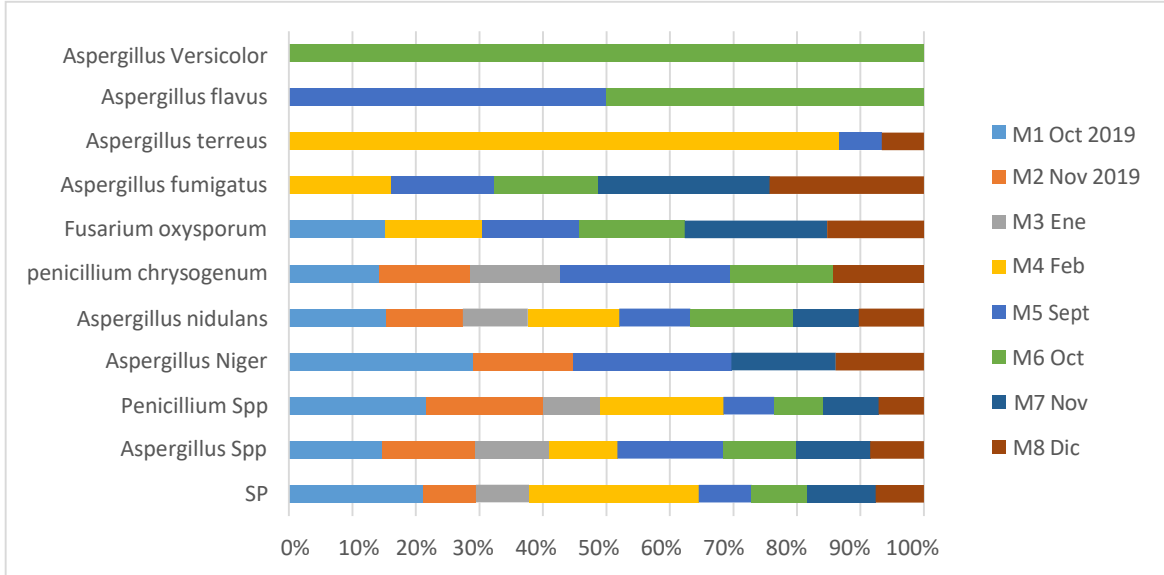


Figura 18. Distribución porcentual de las concentraciones de bioaerosoles Fungí hallados e identificados por campaña de monitoreo.

En la figura 19, se observa la distribución porcentual de la concentración de los bioaerosoles fungí hallados e identificados por estación. Destaca el porcentaje hallado del fungí *Aspergillus terreus* (86%) en la estación (3) Uninorte. Siguiendo en valores el fungí *Aspergillus Versicolor* en las estaciones (3) Uninorte y (4) j Megua.

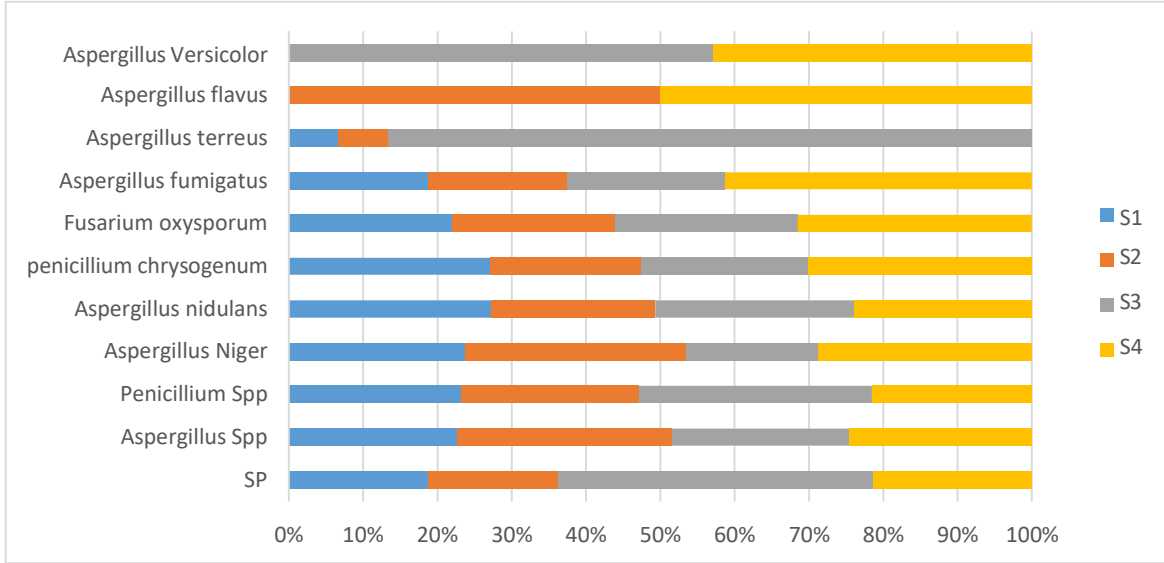


Figura 19. Distribución porcentual de las concentraciones de Bioaerosoles Fungí hallados e identificados por estación de monitoreo.

En la figura 20, se describe la distribución porcentual de los bioaerosoles fungí hallados e identificados por etapas del impactador. Se observa que los fungís *Aspergillus terreus* impactan en un 86% la cavidad nasal. De igual forma impactan con un 50% *Aspergillus Versicolor* y *Aspergillus flavus* E (3) tráquea y bronquios primarios, y *Aspergillus flavus* con un 50% en la etapa (1) cavidad nasal.

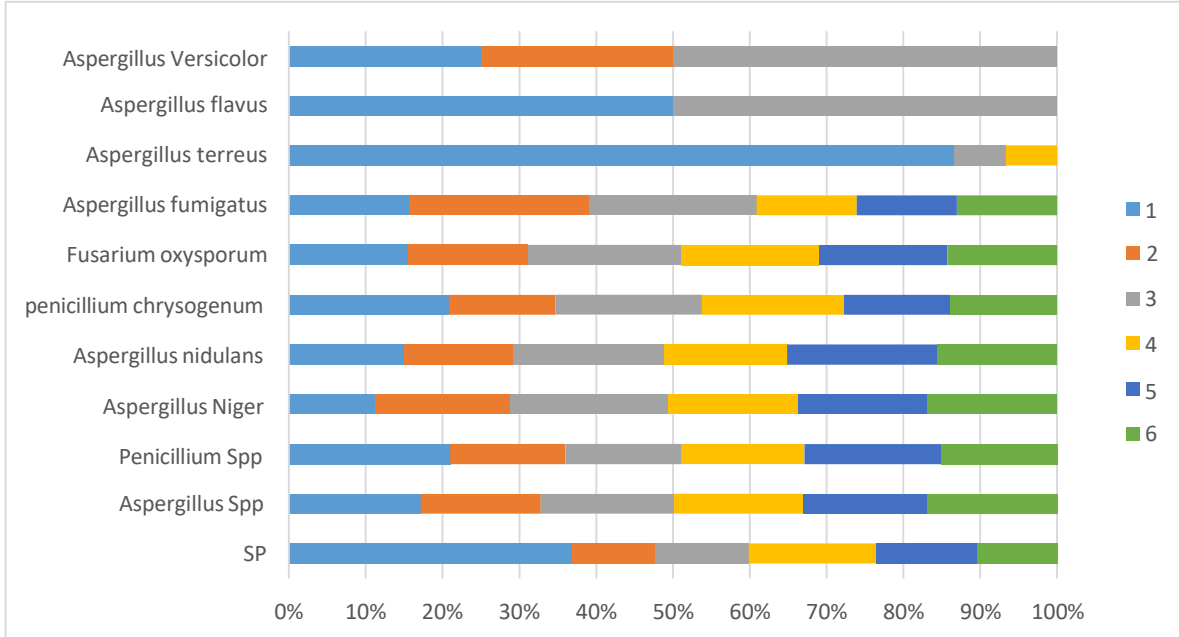


Figura 20. Distribución porcentual de las concentraciones de Bioaerosoles Fungí hallados e identificados por etapas del Impactador Andersen.

6.2. Identificación taxonómica de los bioaerosoles

Este estudio permitió identificar 10 taxones. Estos corresponden a *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus nidulans*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Aspergillus Versicolor*, *Cladosporium sp*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium sp*, *Penicillium chrisogenum*.

La figura 21 muestra fotos macroscópica y microscópica del género *Aspergillus flavus* hallados en las 8 campañas de monitoreo de aire en la ciudad de Barranquilla-Colombia.

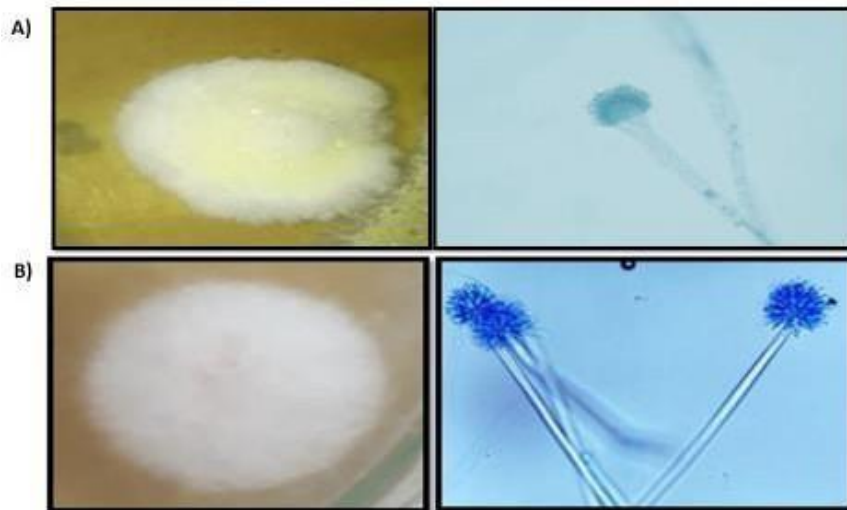


Figura 21. Género *Aspergillus flavus*. Bioaerosol fungí presente en el aire de la ciudad de Barranquilla-Colombia. Fotos macroscópica y microscópica. Fuente: (De Moya. I.H.2019)

Aspergillus. Sp es un patógeno oportunista, lo que indica que la exposición a este hongo es un factor de riesgo. Este produce un espectro de enfermedades incluyendo aspergilosis broncopulmonar, aspergiloma, aspergilosis crónica y varias formas de aspergilosis invasiva. (Cadena, R. Thompson, & F.Patterson, 2021)

Aspergillus flavus es un hongo de moho saprófito y fitopatógeno con una distribución mundial. Es también un patógeno vegetal, bien conocido por ser capaz de producir daño en precosecha, postcosecha e infecciones de almacenamiento. Las infecciones de los cultivos de *A. flavus* pueden conducir a pérdidas de rendimiento que se ha informado que valen millones de dólares. Esta especie puede causar daños significativos a cultivos como granos, nueces de árbol y legumbres. *A. flavus* libera varias micotoxinas, que pueden tener efectos adversos graves para la salud. Este hongo es una de las principales fuentes de aflatoxinas, que se encuentran entre las toxinas más preocupantes en la producción de alimentos. (Abass, Calleweart, & Devlieghere, 2022)

La figura 22 muestra el bioaerosol Fungi de genero *Aspergillus Niger* encontrados en las 8 campañas de monitoreo de aire en la ciudad de Barranquilla-Colombia. Las esporas de este hongo son muy comunes en el aire. *Aspergillus niger* generalmente se ha considerado como un hongo benigno y se ha utilizado ampliamente en la producción de enzimas e ingredientes para el procesamiento de alimentos. Tiene el estado GRAS (generalmente considerado como seguro) de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos. Sin embargo, abarca et al. (1994) informaron que 2 de los 19 aislados de *A. niger* producen ocratoxina A (1994) y otras investigaciones han demostrado que muchos más aislados de agregado de *A. niger* pueden producir ocratoxina A en diversas condiciones(Pitt & Hocking, 2009).



Figura 22 Genero *Aspergillus Niger*. Bioaerosol presente en el aire de Barranquilla-Colombia. Foto Macroscopica y Microscopica. Fuente: (De Moya H. I. (2019))

Si las personas inhalan gran cantidad de estas esporas, pueden contraer la infección de neumonitis o inflamación de las paredes de los pulmones. Las personas también pueden contraer Aspergilosis al inhalar *Aspergillus niger*. También se ha descubierto que este fungí produce en personas sanas infección en el oído. Esta produce dolor y discapacidad auditiva temporal. Los casos graves pueden provocar daños en el canal auditivo y en el tímpano (Lecanu et al., 2009).

En la figura 23 se presenta en fotos macroscópica y microscópica el Bioaerosol Fungí genero *Aspergillus Nidulans* presente en el aire de Barranquilla-Colombia.

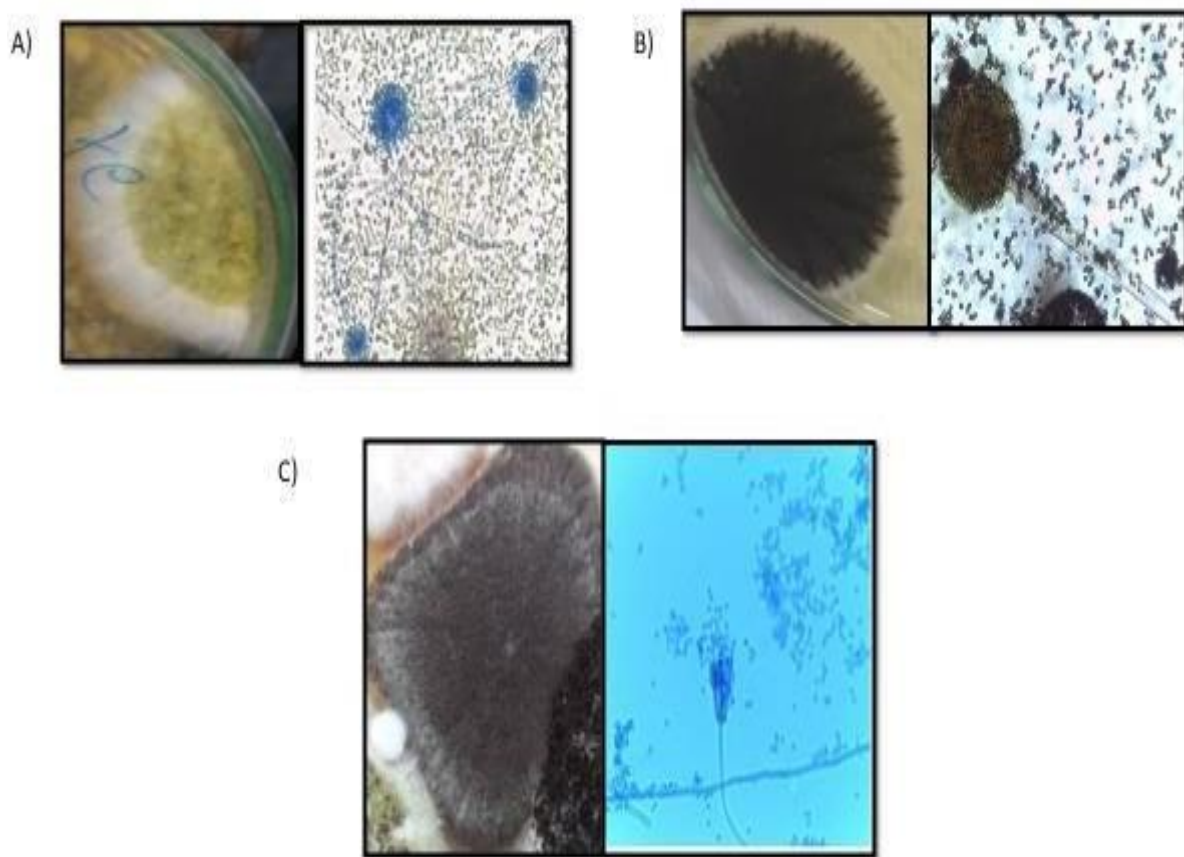


Figura 23. Genero *Aspergillus Nidulans*. Bioaerosol presente en el aire de Barranquilla, Colombia. Foto Macroscópica y Microscópica. Fuente: (De Moya H.I 2021)

La figura 24 presenta en fotos Macroscópica y microscópica Bioaerosol Fungí genero *Aspergillus Terreus* hallados durante los monitoreos realizados al aire de la ciudad de Barranquilla-Colombia. *Aspergillus terreus* produce una amplia gama de metabolitos pero de estos sólo los teritrems parecen tener una toxicidad significativa.(Pitt & Hocking, 2009) La infección por *A.terreus*, no muy frecuente, se asocia con elevadas tasas de mortalidad quizás debida a su resistencia a la anfotericina B.(Pemán & Salavert, 2013)

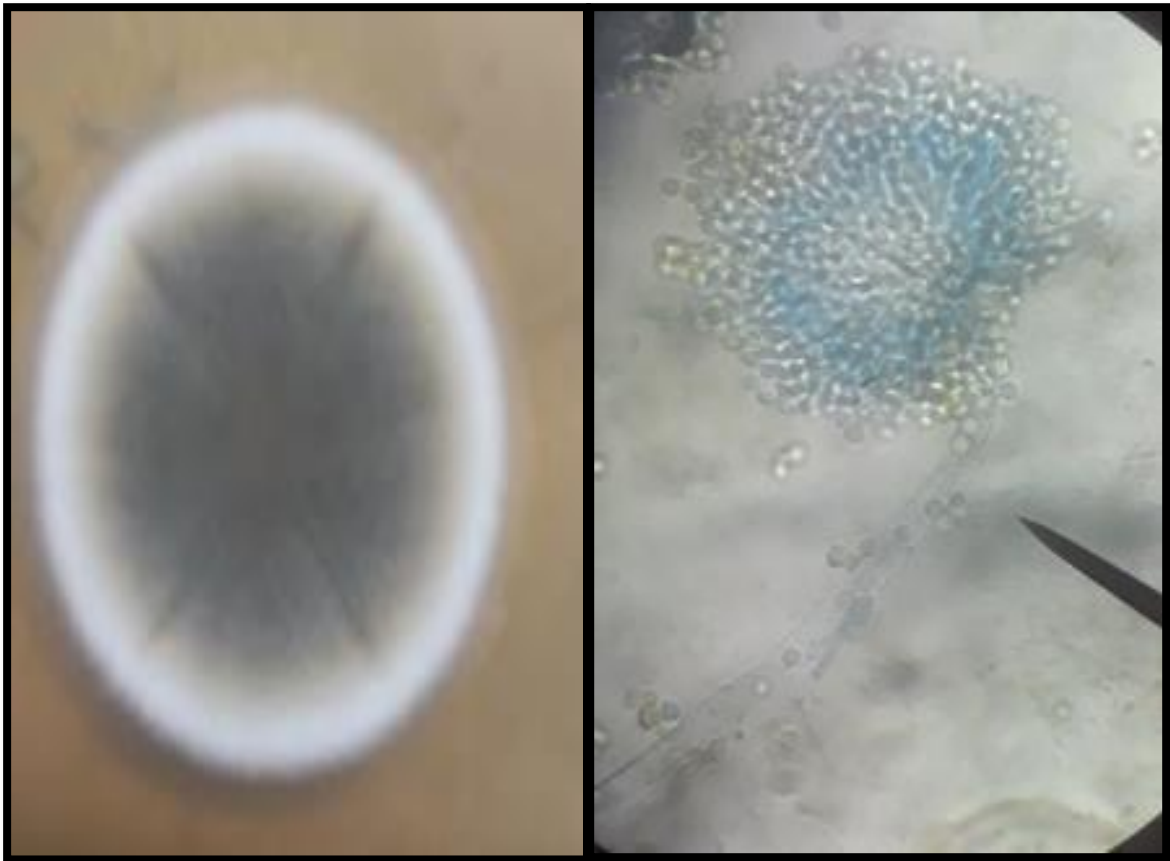


Figura 24. Fotos macroscópica y microscópica de bioaerosol Fungi genero Aspergillus Terreus presente en el aire de la ciudad de Barranquilla. Fuente:(De Moya H.I. 2021)

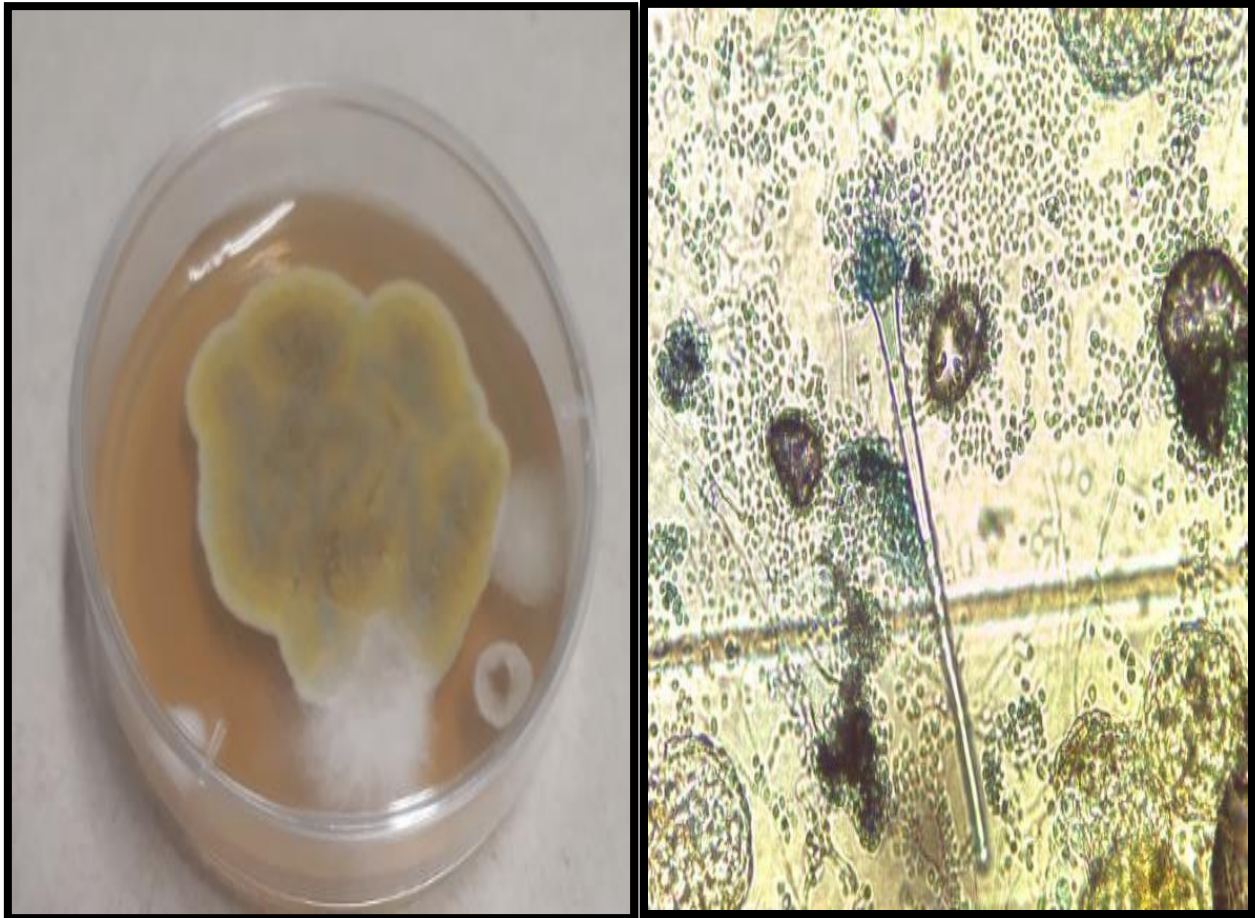


Figura 25. Genero *Aspergillus Versicolor*. Bioaerosol presente en el aire de Barranquilla. Colombia. Fotos macroscópica y microscópica. Fuente: (De Moya H.I 2021)

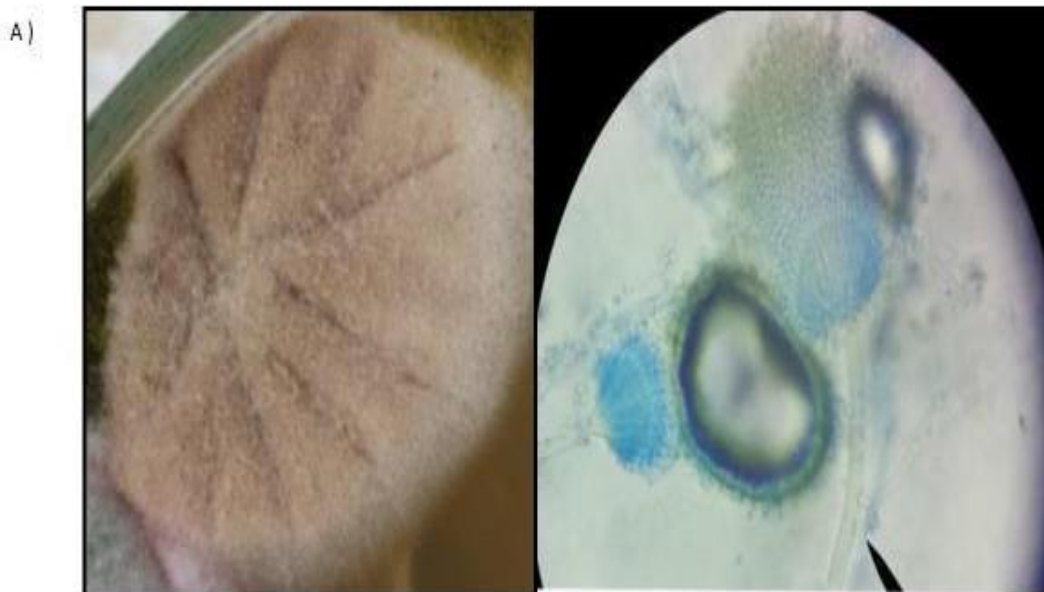
La figura 25 muestra fotos macroscópica y microscópica de Bioaerosol Fungí genero *Aspergillus Versicolor* presente en el aire de la ciudad de Barranquilla Colombia. Ésta es una especie de hongo perteneciente al género *Aspergillus*, que consta de aproximadamente 200 especies. Se encuentra comúnmente en el suelo y la materia orgánica en descomposición, y se sabe que se desarrolla en muchos tipos de alimentos, incluidos los granos de cereales, semillas, nueces, carnes secas y productos lácteos (Pitt & Hocking, 2009). Con frecuencia se puede encontrar en interiores, particularmente en edificios dañados por el agua o materiales como papel

tapiz, alfombras y aislamiento. Tiene un olor a humedad o terroso y es un indicador común de humedad, humedad y problemas de ventilación en los edificios.

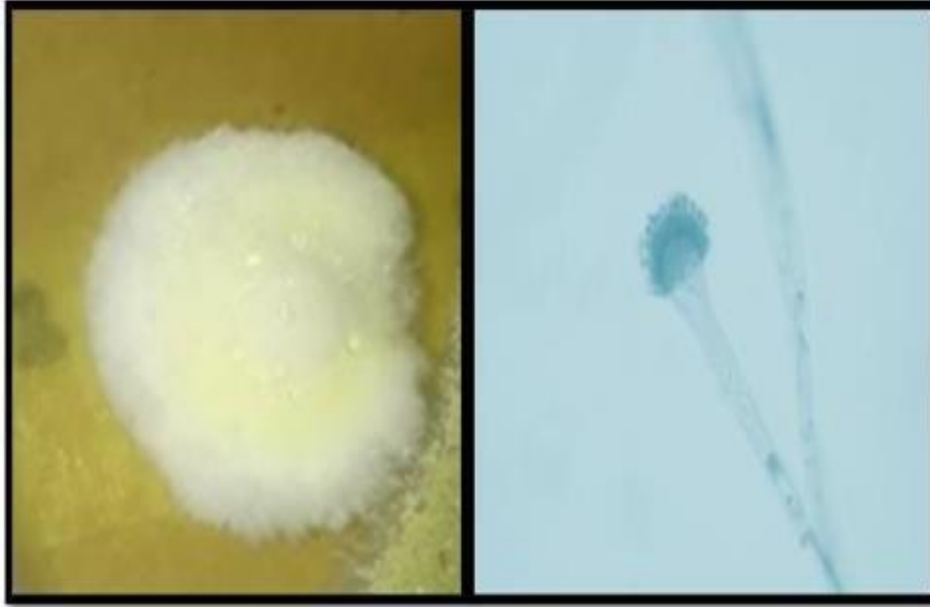
Aspergillus versicolor crece lentamente, produce tanto metulae como phialides a partir de pequeñas vesículas y conidios verdes. El crecimiento a 37°C es débil o ausente. Esta especie es notable por la amplia gama de pigmentación micelial y inversa que puede producir, especialmente si los cultivos se incuban durante 14 días más o menos. (Pitt & Hocking, 2009)

A. versicolor puede producir micotoxinas (esterigmatocistina y ácido ciclopiaxónico) que pueden causar diarrea y malestar estomacal si se ingieren en cantidades moderadas. La esterigmatocistina es estructuralmente similar a la aflatoxina B y se ha informado que es un carcinógeno renal y hepático. Sin embargo, *A. versicoloris* sólo ocasionalmente patógeno. (Díaz Nieto et al., 2018)

La figura 26 muestra fotos macroscópica y microscópica de Bioaerosol Fungí genero *Aspergillus Fumigatus* presente en el aire de la ciudad de Barranquilla-Colombia. Sin duda, el carácter fisiológico más importante de *Aspergillus fumigatus* es su naturaleza termófila: su temperatura mínima de crecimiento es cercana a los 128°C, la óptima de 40-428°C y máxima cercana a los 558°C. Este fungí produce fumitremorgens, verruculógenos y gliotoxinas y parece probable que desempeña un papel en las enfermedades animales. También es el principal agente de la aspergilosis pulmonar en el hombre y las aves. Sin embargo, infecciones diseminadas en pacientes sin disord inmune aparente. (Pitt & Hocking, 2009)



B)



C)

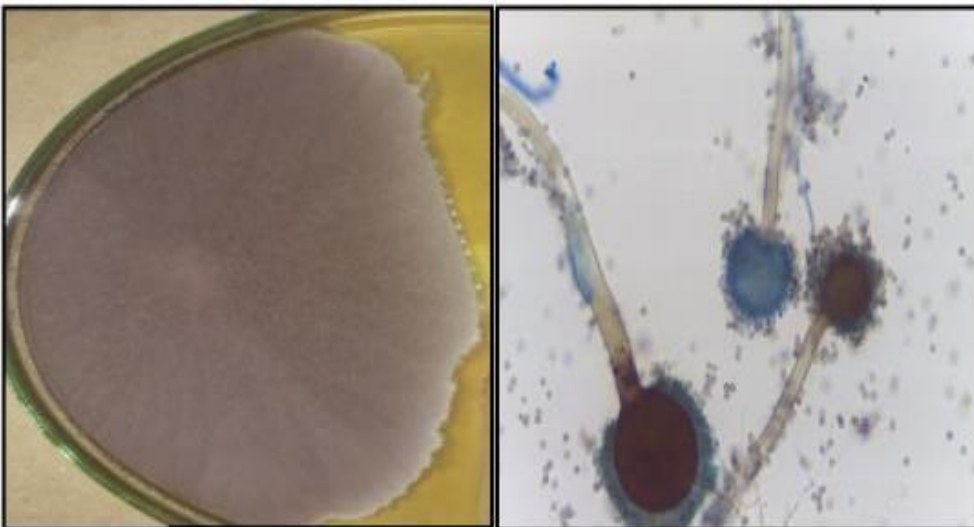




Figura 26. Fotos macroscópicas y microscópicas de Bioaerosol fungi genero *Aspergillus Fumigatus*(A , B, C y D) presente en el aire de la ciudad de Barranquilla-Colombia. Fuente:(De Moya H.I. 2021)

La figura 27 nos muestra de manera espectacular el Bioaerosol Fungí de genero *Penecillium sp*, hallado en las 8 campañas de monitoreo en la ciudad de Barranquilla-Atlántico. El bioaerosol fungi *Penicillium marneffe* causa la infección peniciliosis. Es un hongo oportunista que afecta a pacientes con infección con VIH y otros pacientes inmunosuprimidos. Esta infección consiste en fiebre de baja intensidad, pérdida de peso, anemia, lesión cutánea y síntomas respiratorios en una tercera parte de los pacientes (Boonsarngsuk et al., 2015).

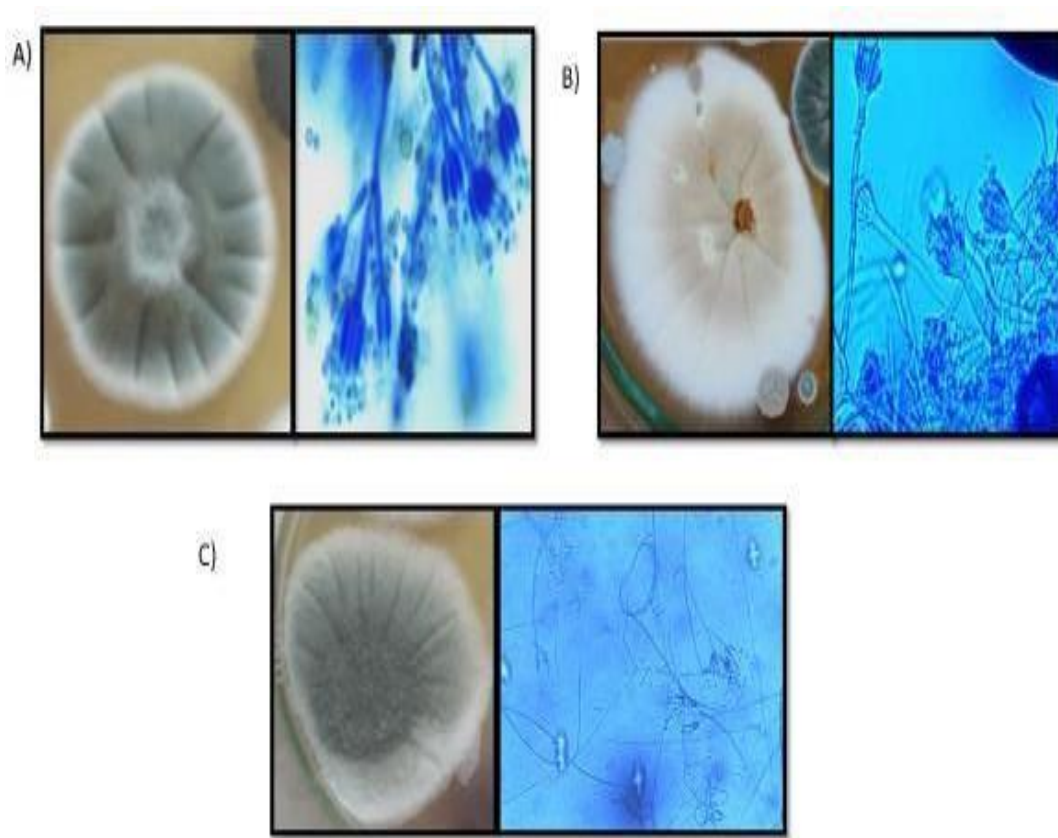


Figura 27. Genero *Penicillium* Sp. Bioaerosol presente en el aire de Barranquilla-Colombia. Foto Macroscòpica y microscòpica

La figura 28 (A y B) presenta fotos macroscòpica y microscòpica del Bioaerosol Fungi genero *Penicillium* *Chrisogenum* hallado en las campañas de monitoreo en el aire de la ciudad de Barranquilla.

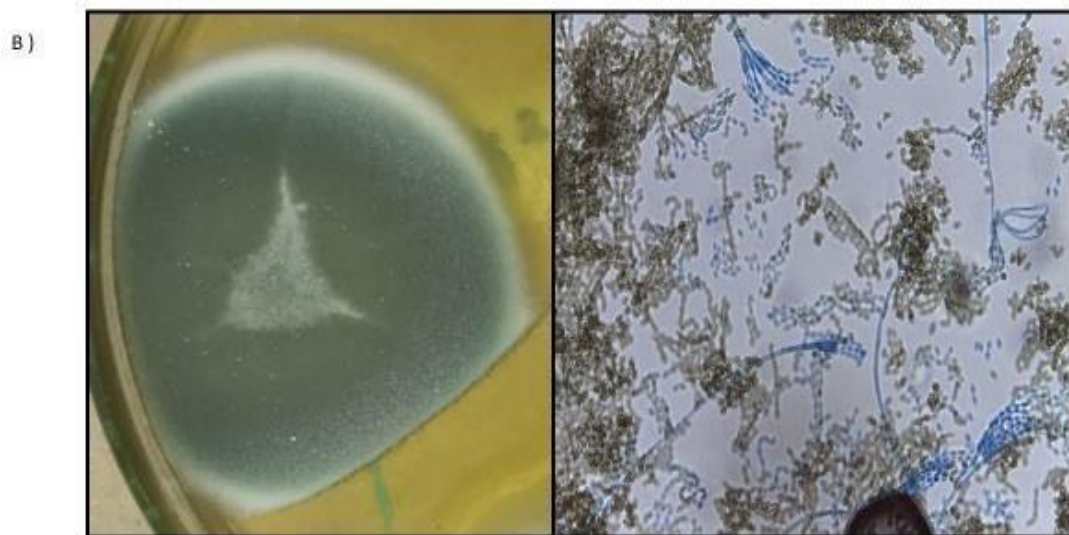
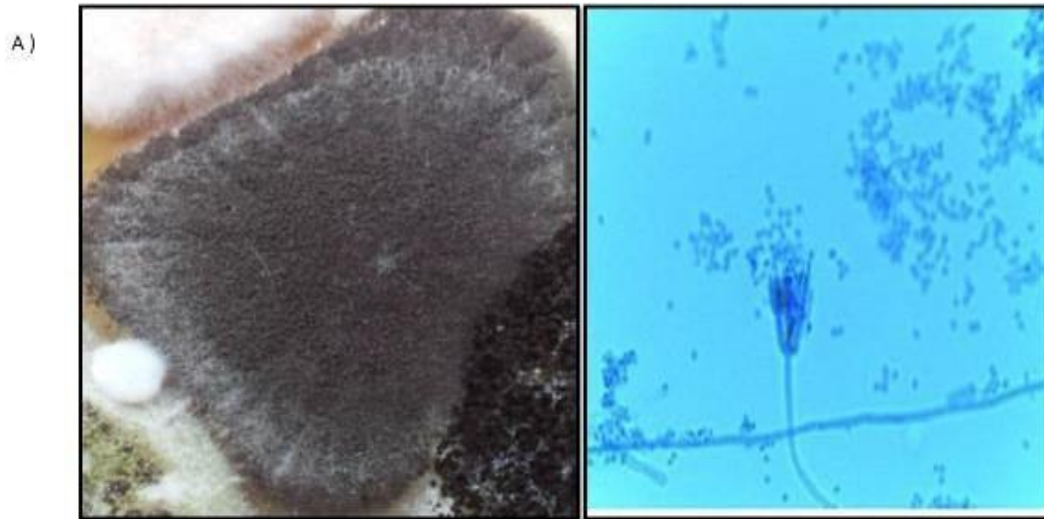


Figura 28.(A y B) Bioaerosol fungi genero *Penicillium chrysogenum*. presente en el aire de la ciudad de Barranquilla-Colombia. Fuente: (De Moya H. I. 2021).



Figura 29. Foto bioaerosol Fungi Cladosporium.sp. encontrado en el aire de la ciudad de Barranquilla.Colombia en las 8 campañas de monitoreo de aire. Foto macroscópica. fuente: (De MOya H.I. 2019)

La figura 29 muestra foto macróscopica de bioaerosol fungí Cladosporium presente en el aire de la ciudad de Barranquilla-Colombia.



Figura 30. Bioaerosol Fungi genero Fusarium Oxysporum hallado en el aire de la ciudad de Barranquilla. Fotos macroscópica y microscópica. Fuente: (De Moya. H. I. 2021)

La figura 30 presenta fotos macroscópica y microscópica de Bioaerosol Fungí genero Fusarium Oxysporum hallado en el aire de la ciudad de Barranquilla. Causa infecciones en pacientes normales (queratitis, Onimicosis, etc). Este hongo es de amplia distribución por su capacidad para crecer en cualquier sustrato y para dispersarse. Su taxonomía es: división: Ascomycota, clase: Eufungi, orden: Hypocreales, familia: Hypocreaceae, genero: Fusarium, especie: Oxysporum. (Monzón & Rodríguez, 2013b)

6.3. Distribución espacio temporal de los bioaerosoles del reino fungí en la ciudad de Barranquilla y su Área Metropolitana.

Desde las figuras 31 a la 34 se muestra la distribución temporal de los bioaerosoles en las zonas estudiadas. En particular, la figura 33 y 34 muestran la distribución espacial de las concentraciones de Bioaerosoles Fungí en las diferentes estaciones de monitoreo de aire en la ciudad de Barranquilla-Colombia en jornada mañana en época lluviosa y seca respectivamente.

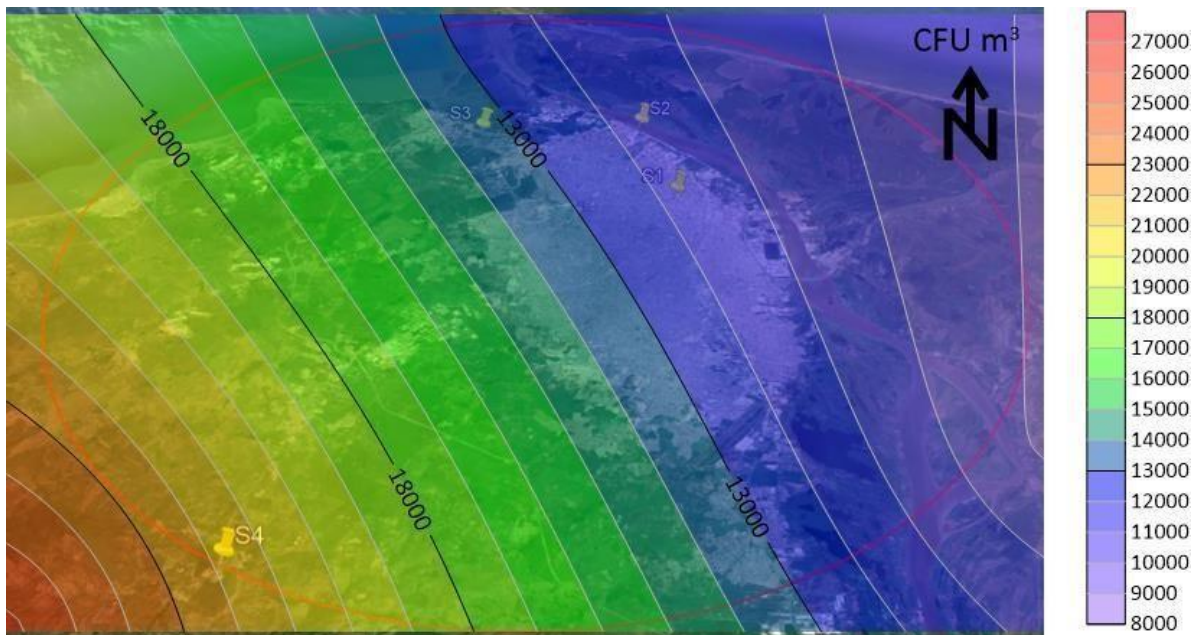


Figura 31. Distribución espacial de la concentración de Bioaerosoles Fungi en las estaciones de muestreo en la ciudad de Barranquilla y su Área Metropolitana en época lluviosa y jornada matinal. Fuente: (De Moya H.I. 2021)

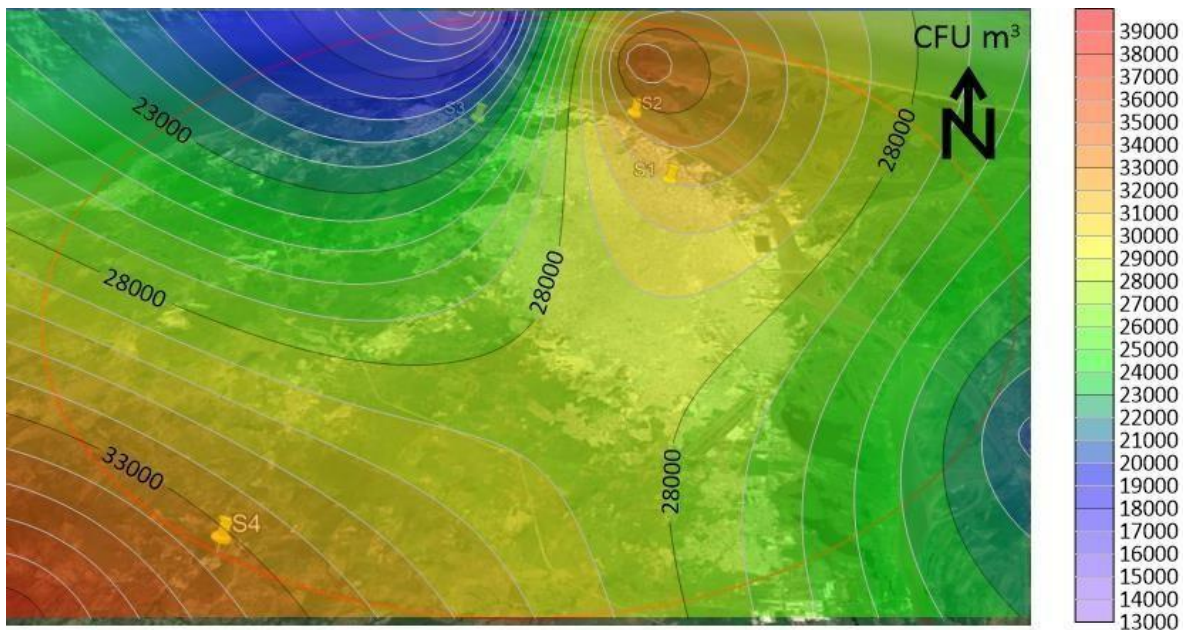


Figura 32. Distribución espacial de la concentración de Bioaerosoles fungi en las estaciones de muestreo en las diferentes zonas de la ciudad de Barranquilla y su Area Metropolitana en época seca jornada mañana.

Las figuras 33 y 34 presentan la distribución de las concentraciones de Bioaerosoles Fungí en las estaciones de muestreo en las diferentes zonas de la ciudad de Barranquilla y Área Metropolitana jornada tarde en épocas lluviosa y seca respectivamente.

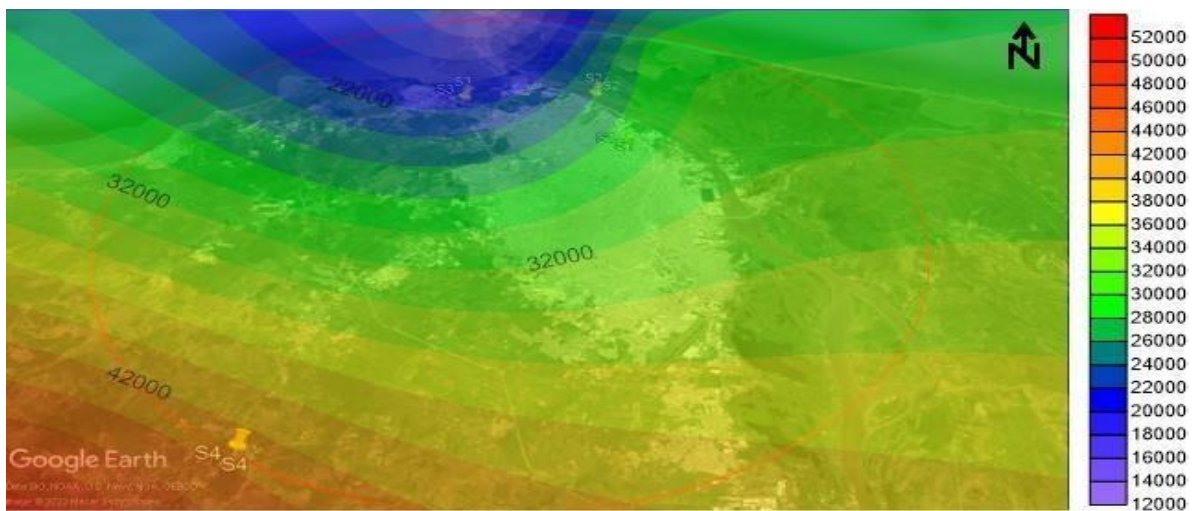


Figura 33. Distribución espacial de la concentración de Bioaerosoles de muestreo en las diferentes zonas de la ciudad de Barfranquilla y su Area Metropolitana jornada tarde en época de lluvia.

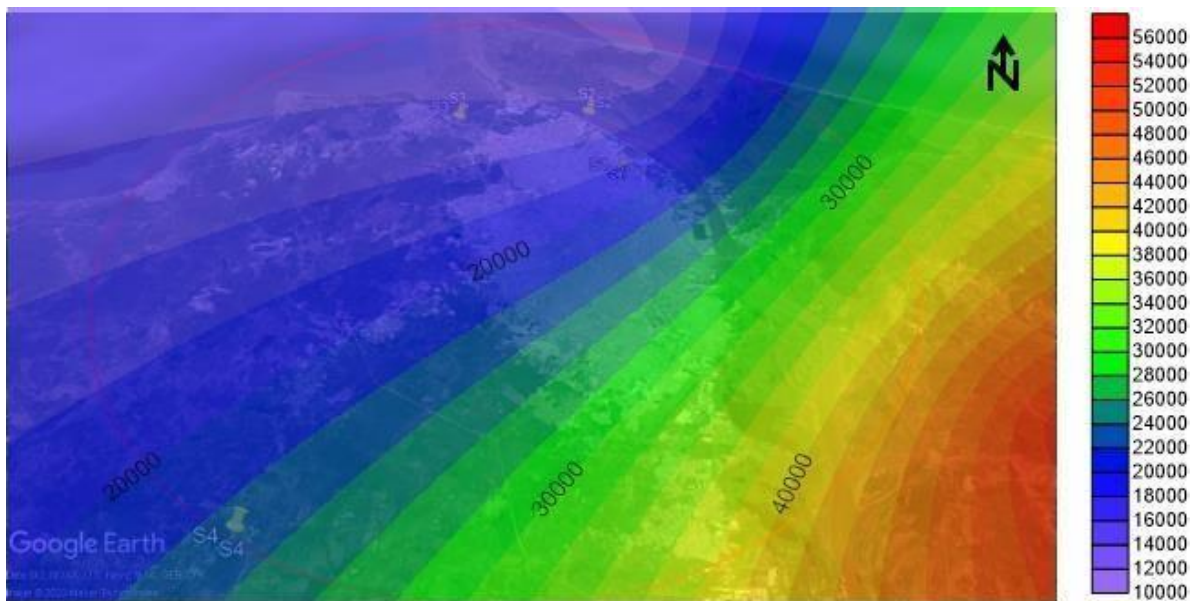


Figura 34. Distribución espacial de la Concentración de Bioaerosol Fungi en las estaciones de muestreo en las diferentes zonas de la ciudad de Barranquilla y su Área metropolitana jornada tarde en época seca.

De acuerdo con los resultados anteriores los cuales surgen a partir del monitoreo que se realizó en las diferentes zonas de la ciudad de Barranquilla y Área Metropolitana, la concentración de los bioaerosoles fungí depende de los factores ambientales o meteorológicos que se presentan en la zona de estudio, los cuales ayudan a regir su comportamiento y la viabilidad que estos mismos tienen para desplazarse y permanecer suspendidos en el aire.

Por otro lado, se evaluaron las concentraciones en diferentes épocas (seca y lluviosa) que se presentaron durante las 8 campañas que duro el monitoreo. De

acuerdo con lo anterior, se realizó en campo la recolección de las muestras para conocer las diferentes concentraciones de los bioaerosoles fungi; este tipo de microorganismos suspendidos en el aire, en ambas épocas coincidieron con la concentración más elevada, pero en diferentes jornadas.

En la época seca, la concentración mayor fue registrada en la jornada de la tarde con un valor de 51236,74 UFC/m³, en la estación antes mencionada, y su valor inferior fue de 13250,88 UFC/m³. En cuanto a la época lluviosa se registra la mayor concentración en la jornada de la mañana con un valor de 26325,08 UFC/m³, en la misma estación como se resalta en el párrafo anterior, y un valor mínimo de 8833,92 UFC/m³. Estos valores se pueden atribuir a los factores meteorológicos y climáticos que influyen sobre los bioaerosoles, estudios, afirman que, debido al aumento de la temperatura y la humedad, hay una mayor probabilidad de proliferación de bioaerosoles y a su vez se encuentren en elevadas concentraciones por esta razón presentan más probabilidades de supervivencia. Por otra parte, se debe tener en cuenta las diferentes zonas de estudio y la dirección del viento el cual juega un papel fundamental en la dispersión de los bioaerosoles.

6.4. Análisis estadísticos de los datos

En la investigación, se empleó un modelo de regresión lineal desarrollado a partir de las medidas de las condiciones meteorológicas y la concentración de microorganismos. Las variables fueron significativas teniendo en cuenta que en la tabla de ANOVA de la significancia de las variables se obtuvo un valor-p menor de 0,05. Las variables: monitoreo, etapa, jornada, especie, estación o punto y temperatura presentaron una correlación estadísticamente significativa con P-valor=0. Las variables que no resultaron significativas fueron la velocidad del viento la concentración. Las variables que no resultaron significativas fueron la velocidad del viento (valor p = 0,6393), dirección del viento (valor p = 0,9910) y humedad (valor p 0,7947), como lo presenta la tabla 5.

Tabla 5. Análisis de Varianza para UFC/m³

| <i>Análisis de Varianza para UFC/m³</i> | | | | | |
|----------------------------------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
| Modelo | 1,65684E7 | 29 | 571324, | 5,81 | 0,0000 |
| Residuo | 1,0516E8 | 1070 | 98280,6 | | |
| Total (Corr.) | 1,21729E8 | 1099 | | | |
| Nota: Fuente (De Moya Hernández I.P 2021) | | | | | |

La tabla 6 muestra la suma de cuadrados tipo III, modelo estadístico que permita evaluar los factores que influyen en las concentraciones de bioaerosoles fungi en la ciudad de Barranquilla-Colombia.

Tabla 6. Suma de Cuadrados tipo III

| <i>Suma de Cuadrados tipo III</i> | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
| MONITOREO | 4,73668E6 | 7 | 676669, | 6,89 | 0,0000 |
| Jornada | 617257, | 1 | 617257, | 6,28 | 0,0122 |
| Estación o Punto | 934589, | 3 | 311530, | 3,17 | 0,0236 |
| Etapa | 1,91847E6 | 5 | 383694, | 3,90 | 0,0016 |
| Especie | 5,60582E6 | 12 | 467152, | 4,75 | 0,0000 |
| TEMPERATURA | 549083, | 1 | 549083, | 5,59 | 0,0181 |
| Residuo | 1,0516E8 | 1070 | 98280,6 | | |
| Total (corregido) | 1,21729E8 | 1099 | | | |

Nota: Fuente (De Moya Hernández I.P 2021)

Las variables analizadas son estadísticamente significativas al presentar valores menores a los establecido para la prueba ($p < 0,05$); sin embargo, sólo explican el 13,6109% de la variabilidad presentada por la concentración. Aplicando el método de regresión lineal simple, se encontró que las concentraciones presentan diferencias significativas en relación con los meses de monitoreos como se observa en la figura 5. Los rangos de las posibles concentraciones que pueden presentarse para cada mes son amplios. La figura 35 muestra las concentraciones de Bioaerosoles Fungí hallados durante los 8 meses de monitoreo en el aire de la ciudad de Barranquilla-Colombia. La mayor concentración de bioaerosoles fungí se presentó en el mes M1 (octubre 2019) teniendo como variable-causa que en este mes se presentaron los niveles más elevados de temperatura. (temperatura promedio 32.6° centígrados)

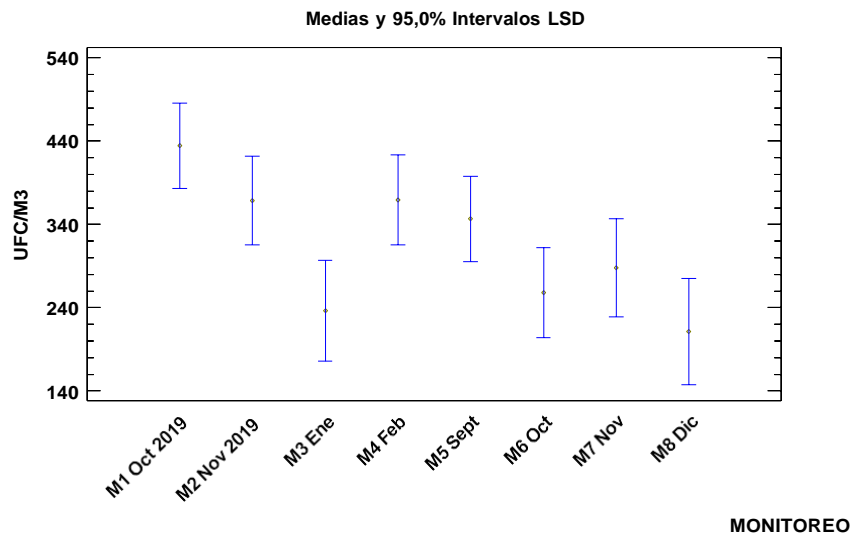


Figura 35. Concentraciones de Bioaerosoles Fungí con relación a los 8 meses de monitoreo de aire.

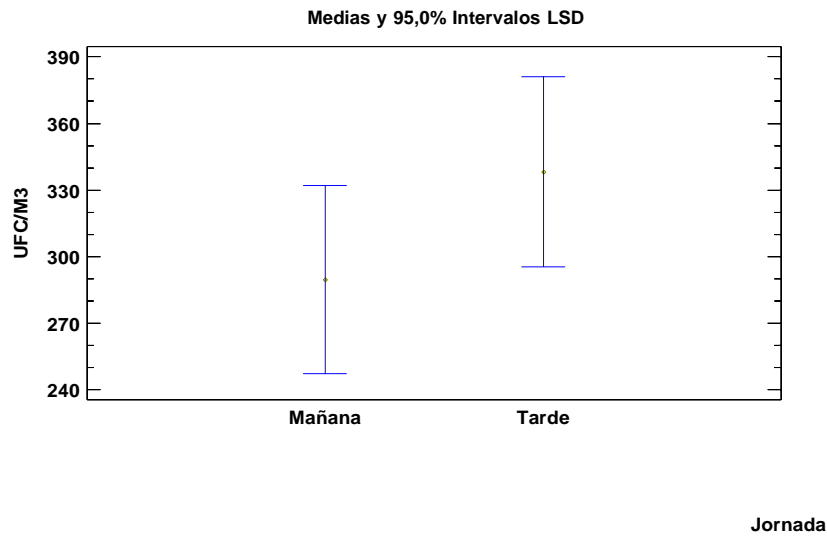


Figura 36. Expresión de concentraciones de Bioaerosoles Fungi con relación a jornadas día luz.

La figura 36 establece una comparación entre las concentraciones de Bioaerosoles fungí de la mañana y la tarde. Se evidencia que las concentraciones en la mañana las UFC/M³ alcanza un tope de 330 UFC/M³. En cuanto la jornada de la tarde se cuantificaron 385 UFC/M³.

En cuanto las concentraciones de Bioaerosoles Fungí por estaciones (figura 37), se observa un comportamiento relativamente similar para tres estaciones (S1 Plaza de la Paz, S2 Malecón, S4 Megua) entre 330 UFC/M³ y 360 UFC/M³ y S3 (Uninorte) presenta el mayor grado de concentraciones de bioaerosoles fungí. (410 UFC/M³).

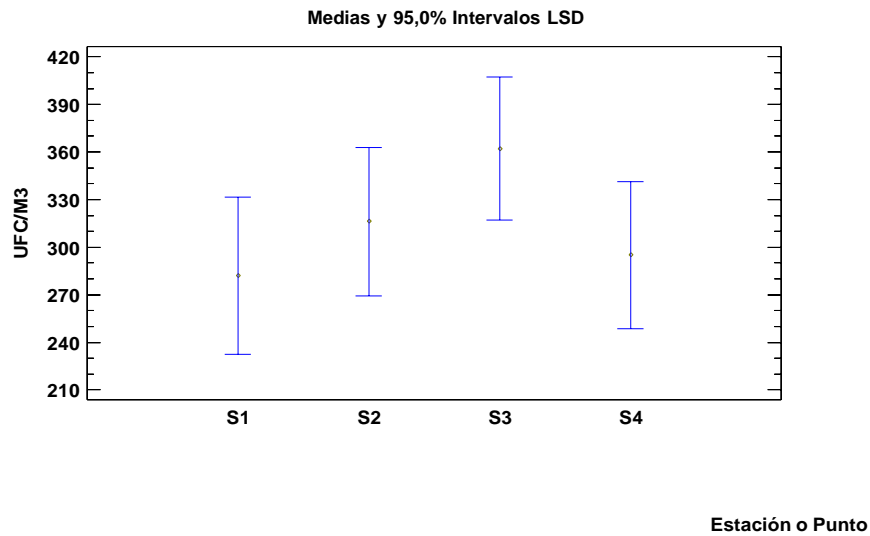


Figura 37. Concentraciones de Bioaerosoles Fungi por estaciones de monitoreo.(S1Plaza de la Paz, S2: Malecon, S3: Uninorte, S4: Megua)

De acuerdo con las concentraciones por etapas(figura 38) del impactador por cascada viable muestra que los bioaerosoles fungí presentan concentraciones mayores a 200UFC/M³ y una concentración mayor en la etapa 1 correspondiente a nariz (450 UFC/M³), seguido de la etapa 4 correspondiente a bronquios secundarios (370UFC/M³) y de la etapa 5 correspondiente a bronquios terminales(360 UFC/M³). En la etapa 2 correspondiente a faringe y etapa 6 correspondiente a alveolos se encontraron (330 UFC/M³), concentraciones que se encuentran proporcionalmente asociados al diámetro de la etapa a impactar y al tamaño de la partícula.

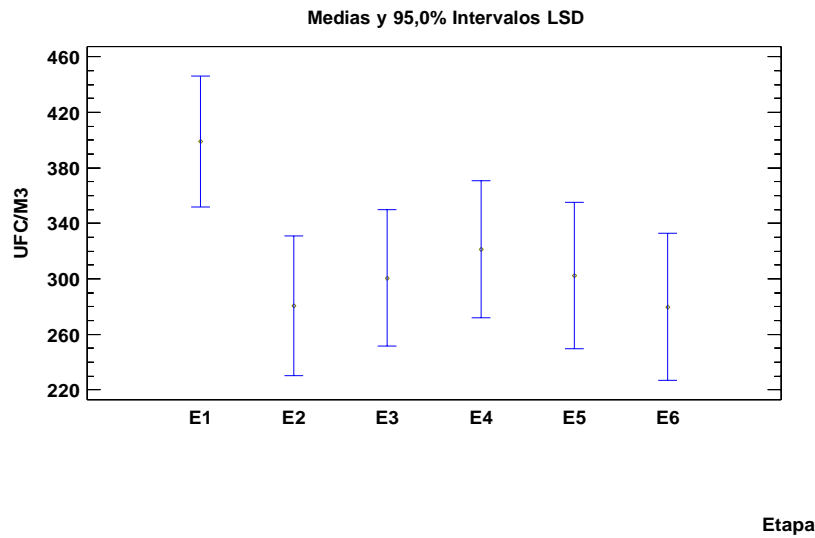


Figura 38. Concentraciones de Bioaerosoles Fungi con relación a las etapas del impactador.

La figura 39 describe los taxones hallados e identificados en el aire de la ciudad de Barranquilla-Colombia. Se encontraron concentraciones de Bioaerosol fungí genero *Aspergillus* (*Aspergillus Terreus*, *Aspergillus Flavus*, *Aspergillus Versicolor*), *Penicillium* y *Fusarium*. Se destaca la alta concentración de Bioaerosol Fungí genero *Aspergillus Terreus*(de 1000 UFC/M³ a 1400 UFC/M³). Los otros Bioaerosoles Fungi hallados presentan una concentración entre los 100UFC/M³ y 400UFC/M³. Las tasas de morbilidad y mortalidad causadas normalmente por las inofensivas especies fungi (e.g. *Candida*, *Aspergillus*, *Fusarium* y *Tricosporum*) son relativamente altas.(Crameri & Blaser, 2002). Además de la micosis sistémica y oportunista, varios fungi están asociados a un gran número de desórdenes alérgicos en humanos que ocurren prevalencia aumentada.(Crameri & Blaser, 2002). *Aspergillus Fumigatus* es responsable de la mayoría de los casos de aspergilosis invasiva y crónica, especialmente pulmonar, sinus, e infección del sistema nervioso central.(Steinbach, 2018b).

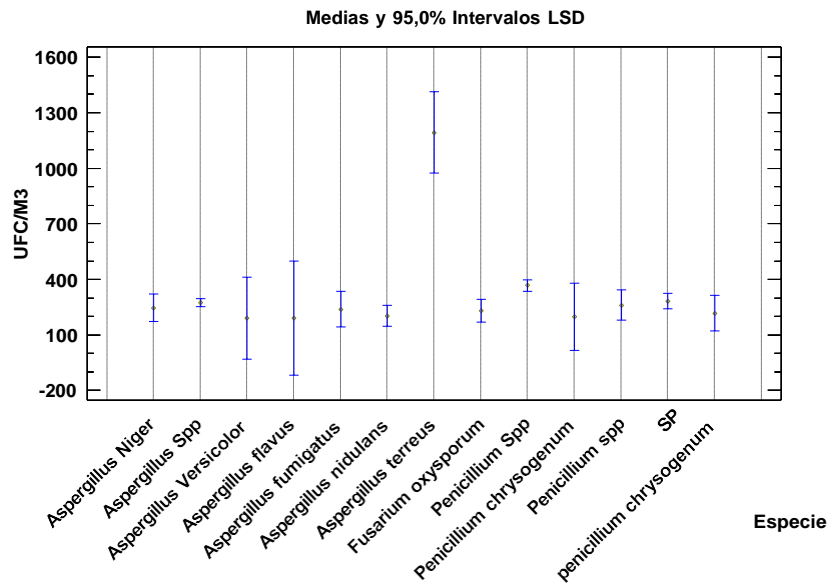


Figura 39. Concentraciones de Bioaerosoles Fungi con relacion a los taxones encontrados.

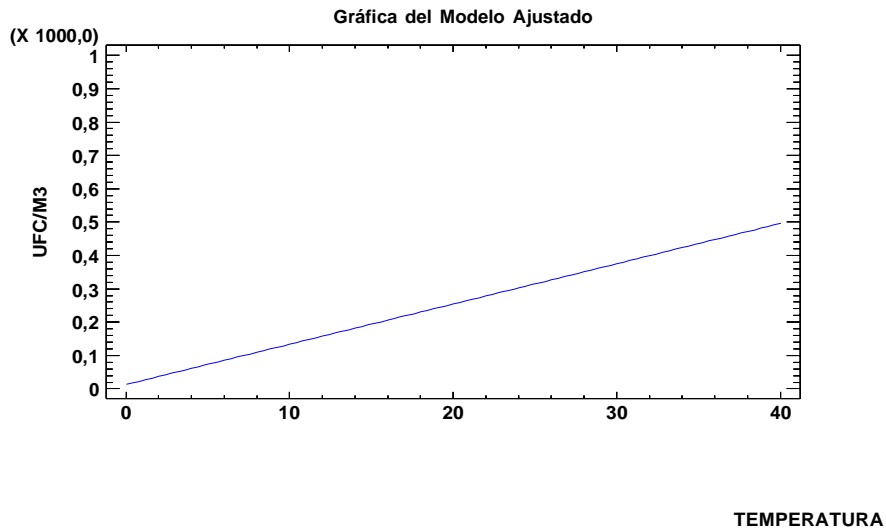


Figura 40. Concentraciones de Bioaerosoles Fungi con relacion a las condiciones de temperatura.

La grafica 40 demuestra que las concentraciones de Bioaerosoles Fungí fueron proporcinales al aumento de temperatura. La figura expresa una pendiente ascendente en la medida que hay mayor calor.

La figura 41 presenta el instrumento llamado la Rosa de los vientos o Rosa náutica, el cual nos indica la dirección de los vientos y los puntos cardinales. Analizando la rosa de vientos de la **Figura 41**, se observa que ésta presentó una tendencia predominante desde donde sopla en el Noreste, hacia el Suroeste. Lo que indica una fuerte tendencia de bioaerosoles fúngicos provenientes del río Magdalena, Isla Salamanca y actividad industrial en el corredor vía 40.

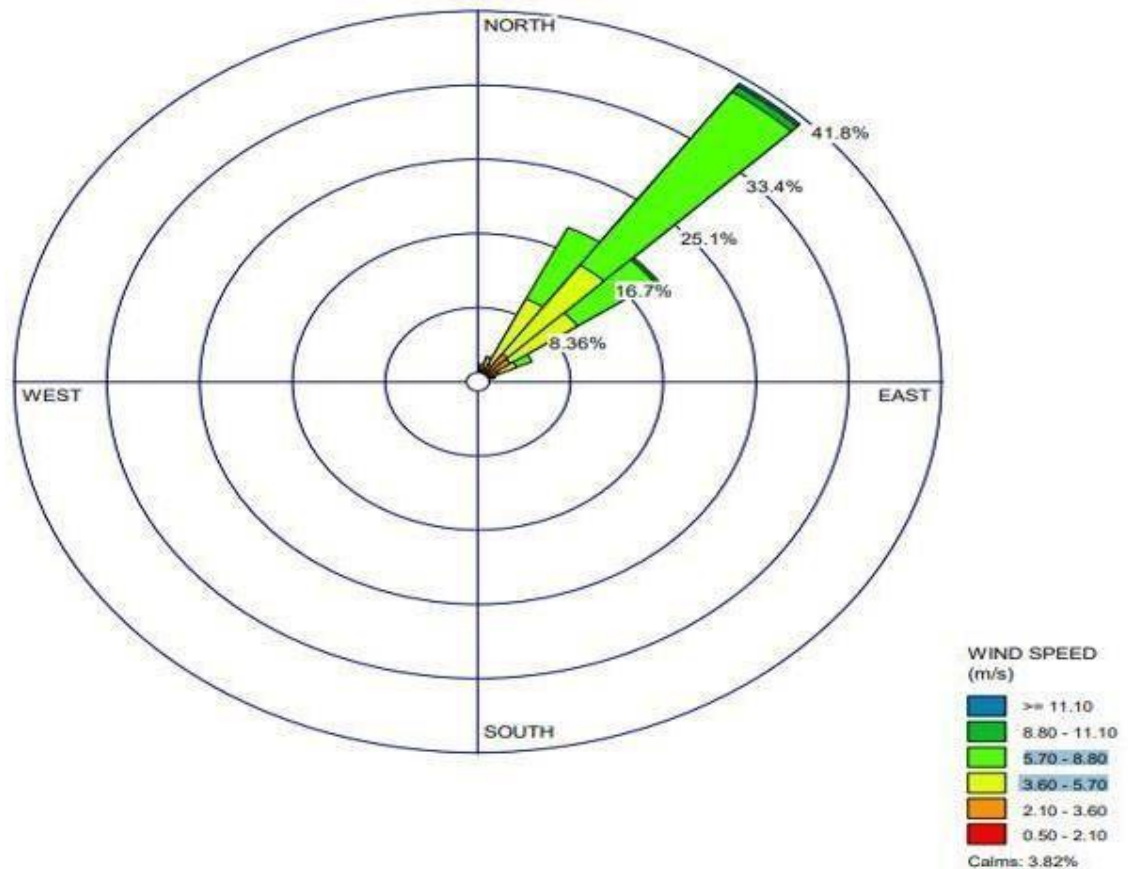


Figura 41. Rosa de los vientos de los meses de monitoreo en la ciudad de Barranquilla-Colombia comprendido entre octubre de 2019 hasta diciembre de 2020.

CONCLUSIONES

Este estudio permitió evaluar las concentraciones de bioaerosoles fungí en las diferentes zonas de Barranquilla y su área metropolitana. Estas concentraciones se encontraron por debajo de los valores máximos reportados por otras investigaciones. Sin embargo, este estudio es apenas un punto de referencia por ser el muestreo solo en ocho campañas y no en un monitoreo permanente durante todo el año.

Las diferencias halladas en las mediciones en las diferentes estaciones permitieron establecer que las condiciones ambientales y meteorológicas fueron un factor decisivo en producción y dispersión de los bioaerosoles fungí. Por ejemplo, (octubre 2019) 38692,5795UFC/m³ época seca, y la estación que presenta mayores concentraciones de bioaerosoles S3 (Uninorte).

La distribución espaciotemporal presentada a través de los planos de isoconcentraciones cinética de aerosoles fungí en las diferentes zonas de la ciudad de Barranquilla y su área metropolitana pueden verse influenciada por las condiciones meteorológicas y a las actividades antropogénicas de la zona industrial.

Por otra parte, las concentraciones en función a las estaciones, se pudo observar un comportamiento similar en 3 estaciones de monitoreo S1 (Plaza de La Paz), S2 (Malecón Puerta De Oro) y S4(Megua), y en mayor grado de concentración la estación S3 (Uninorte). Teniendo en cuenta las concentraciones por etapa del impactador de cascada, los bioaerosoles fungí presentan mayor concentración en las etapas: E (1) cavidad nasal, E (4) bronquios secundarios y E (5) bronquios terminales, lo cual está muy asociado al diámetro de la partícula y el tamaño de las esporas fungí (1-30 μm). (Kathiriya et al., 2021a). (Ghosh et al., 2015)

Es muy significativo destacar que los géneros hallados e identificados durante los 8 monitoreos fueron: *Fusarium*, *Penicillium Sp*, *Aspergillus*. En el bioaerosol fungí *Aspergillus* se identificaron las siguientes especies: *Aspergillus Terreus*, *Aspergillus Fumigatus*, *Aspergillus Flavus*, *Aspergillus Nidulans*, *Aspergillus Versicolor*,

Aspergillus Niger. Esto indica que los habitantes de la ciudad de Barranquilla están expuestos a contraer problemas de salud. Esto significa que existen factores de riesgo evidenciados en las tasas de mortalidad y morbilidad por IRA, enfermedades pulmonares, aspergilosis, penicilosis endobronquial, y enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores entre otras, ya que estos bioaerosoles fungí producen infecciones y alergias.

También se evidencia que los pacientes con VIH y los inmunosuprimidos corren alto riesgo al inhalar cualquiera de los fungi presentes en el aire de la ciudad de Barranquilla-Colombia.

Por la razón anterior se realizó un análisis de la retención de los bioaerosoles fungí respirables en cada etapa del equipo impactador de cascada viable, lo cual pudo evidenciar que las Barranquilleros y habitantes de los puntos seleccionados en el estudio del área metropolitana están expuestos debido a que en las etapas 1 y 4, es decir, cavidad nasal y bronquios secundarios fueron las que más retuvieron bioaerosoles fungí durante las ocho campañas del monitoreo.

Recomendaciones

Debido a que no existen antecedentes de investigaciones desarrolladas de Bioaerosoles fungi en la ciudad de Barranquilla y su área metropolitana, se recomienda continuar campañas de monitoreos para evaluar las concentraciones de bioaerosoles fungí, sin descartar factores Meteorológicos los cuales juegan un papel importante en la concentración, dispersión y el ciclo de bioaerosoles fungi como temperatura, humedad, radiación solar, punto de rocío, dirección del viento, precipitaciones, presión barométrica, altitud, etc., con el fin de que dichos datos sean útiles al momento de implementar medidas mitigación en salud de los barranquillero y pueda desarrollarse un modelo estadístico de predicción de dispersión y crecimiento en el área de influencia. Por tanto, se hace necesario crear mecanismos que permitan una información permanente a la comunidad científica y a las autoridades de salud con el objeto de que estas divulguen los posibles riesgos a las exposiciones a bioaerosoles fungí.

Ampliar el número de estaciones meteorológico de monitoreo móviles y estacionarias de la ciudad de Barranquilla y área metropolitana.

Realizar campaña de sensibilización por parte de las entidades encargadas de la calidad de aire de la ciudad de Barranquilla y su área Metropolitana (Barranquilla verde y C.R.A) sobre el impacto de los bioaerosoles fungí en la salud humana de los Barranquilleros.

Referencias

- Abdel Hameed, A. A., Khoder, M. I., Yuosra, S., Osman, A. M., & Ghanem, S. (2009). Diurnal distribution of airborne bacteria and fungi in the atmosphere of Helwan area, Egypt. *Science of the Total Environment*, 407(24), 6217-6222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.08.028>
- Al-Doory, Y., Domson, J. F., Howard, W. A., & Sly, R. M. (1980). Airborne fungi and pollens of the Washington, D.C., Metropolitan area. *Annals of Allergy*, 45(6).
- Ambiental, M. D. la R.-O. M., & 2005, undefined. (n.d.). *El aire: hábitat y medio de transmisión (Vol. 5)*.
- ANEXO I: Clasificación de microorganismos según Grupos de Riesgo (OMS, Manual de. (n.d.).
- Arturo, C., Álvarez, M., Surcolombiana, U., De, F., Sociales, C., Humanas, Y., de Comunicación Social, P., Periodismo, Y., & Monje Álvarez, C. A. (2011). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA Guía didáctica*.
- Asis, B. (2013). Diferencias relativas en la búsqueda de desigualdades en salud). In *Boletín Epidemiológico / MSPS (Vol. 1, Issue 3)*.
- B B BA A AR R RR R RA A AN N NQ Q QU U UI I IL L LL L LA A A. (n.d.). www.dimar.mil.co
- Babatola, S. S. (2018). Globalattributableburden ofairdiseasespollution. *Journal of Public Health in Africa*, 9(3). <https://doi.org/10.4081/jphia.2018.813>
- Blanco, L. (2005a). Caracterización microbiológica del material particulado como factor de riesgo sobre la salud en la localidad de Puente Aranda. *Revista Épsilon*, 3, 49-59.

- Blanco, L. (2005b). Caracterización microbiológica del material particulado como factor de riesgo sobre la salud en la localidad de Puente Aranda. In *Revista Épsilon* (pp. 49-59).
- Boonsarngsuk, V., Eksombatchai, D., Kanoksil, W., & Tantrakul, V. (2015). Peniciliosis endobronquial: presentación de un caso y revisión de la literatura. *Archivos de Bronconeumología*, 51(5), e25-e28. <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2014.04.015>
- Brandl, H. (2011). Bioaerosols in Indoor Environment - A Review with Special Reference to Residential and Occupational Locations. *The Open Environmental & Biological Monitoring Journal*, 4(1), 83-96. <https://doi.org/10.2174/1875040001104010083>
- Breza-Boruta, B. (2016a). The assessment of airborne bacterial and fungal contamination emitted by a municipal landfill site in Northern Poland. *Atmospheric Pollution Research*, 7(6), 1043-1052. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2016.06.011>
- Breza-Boruta, B. (2016b). The assessment of airborne bacterial and fungal contamination emitted by a municipal landfill site in Northern Poland. *Atmospheric Pollution Research*, 7(6), 1043-1052. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2016.06.011>
- Burdsall, A. C., Xing, Y., Cooper, C. W., & Harper, W. F. (2021). Bioaerosol emissions from activated sludge basins: Characterization, release, and attenuation. *Science of the Total Environment*, 753, 141852. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141852>
- Carvajal Tatis, C. A. (2016). Evaluación del comportamiento de aerobacterias en el corregimiento de Cuatro Bocas. Tubará, Atlántico. *Universidad de La Costa*, 2-109.

- Chen, Q., & Hildemann, L. M. (2009). The effects of human activities on exposure to particulate matter and bioaerosols in residential homes. *Environmental Science and Technology*, 43(13), 4641-4646. <https://doi.org/10.1021/es802296j>
- Cox, C. S., & Wathes, C. M. (1995a). *Bioaerosol Handbook*. CRC Lewis Publishers.
- Cox, C. S., & Wathes, C. M. (1995b). *Bioaerosol Handbook*. CRC Lewis Publishers.
- Cramer, R., & Blaser, K. (2002). Allergy and immunity to fungal infections and colonization. *European Respiratory Journal*, 19(1), 151-157. <https://doi.org/10.1183/09031936.02.00229102>
- Cyprowski, M., Anna, Ł., Fr, K., Kozdrój, J., & Górny, L. (2019). *Science of the Total Environment Bacterial aerosols in a municipal landfill environment LANDFILL*. 660, 288-296.
- D'Amato, G., Chatzigeorgiou, G., Corsico, R., Gioulekas, D., Jäger, L., Jäger, S., Kontou-Fili, K., Kouridakis, S., Liccardi, G., Meriggi, A., Palma-Carlos, A., Palma-Carlos, M. L., Pagan Aleman, A., Parmiani, S., Puccinelli, P., Russo, M., Spieksma, F. T. M., Torricelli, R., & Wüthrich, B. (1997). Evaluation of the prevalence of skin prick test positivity to *Alternaria* and *Cladosporium* in patients with suspected respiratory allergy. A European multicenter study promoted by the subcommittee on Aerobiology and environmental aspects of inhalant allerg. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 52(7), 711-716. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.1997.tb01227.x>
- DeLeon-Rodriguez, N., Lathem, T. L., Rodriguez-R, L. M., Barazesh, J. M., Anderson, B. E., Beyersdorf, A. J., Ziemba, L. D., Bergin, M., Nenes, A., & Konstantinidis, K. T. (2013). Microbiome of the upper troposphere: Species composition and prevalence, effects of tropical storms, and atmospheric implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(7). <https://doi.org/10.1073/pnas.1212089110>

- Díaz Nieto, C. H., Granero, A. M., Zon, M. A., & Fernández, H. (2018). Sterigmatocystin: A mycotoxin to be seriously considered. In *Food and Chemical Toxicology* (Vol. 118, pp. 460-470). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.05.057>
- Douwes, J., Thorne, P., Pearce, N., & Heederik, D. (2003). Bioaerosol health effects and exposure assessment: Progress and prospects. *Annals of Occupational Hygiene*, 47(3), 187-200. <https://doi.org/10.1093/annhyg/meg032>
- Droffner, M. L., Brinton, W. F., & Evans, E. (1995). *EVIDENCE FOR THE PROMINENCE OF WELL CHARACTERIZED MESOPHILIC BACTERIA IN THERMOPHILIC (50-70°C) COMPOSTING ENVIRONMENTS* (Vol. 8, Issue 3).
- Duquenne, P., Simon, X., Koehler, V., Goncalves-Machado, S., Greff, G., Nicot, T., & Poirot, P. (2012). Documentation of bioaerosol concentrations in an indoor composting facility in France. *Journal of Environmental Monitoring*, 14(2), 409-419. <https://doi.org/10.1039/c2em10714g>
- Esposito, V., Lucariello, A., Savarese, L., Cinelli, M. P., Ferraraccio, F., Bianco, A., De Luca, A., & Mazzarella, G. (2012). Morphology changes in human lung epithelial cells after exposure to diesel exhaust micron sub particles (PM1.0) and pollen allergens. *Environmental Pollution*, 171, 162-167. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.07.006>
- Fang, Z., Tang, Q., Gong, C., Ouyang, Z., Liu, P., Sun, L., & Wang, X. (2017a). Profile and distribution characteristics of culturable airborne fungi in residential homes with children in Beijing, China. *Indoor and Built Environment*, 26(9), 1232-1242. <https://doi.org/10.1177/1420326X15610178>
- Fang, Z., Tang, Q., Gong, C., Ouyang, Z., Liu, P., Sun, L., & Wang, X. (2017b). Profile and distribution characteristics of culturable airborne fungi in residential homes with children in Beijing, China. *Indoor and Built Environment*, 26(9), 1232-1242. <https://doi.org/10.1177/1420326X15610178>

- Fernández-Rodríguez, S., Tormo-Molina, R., Lemonis, N., Clot, B., O'Connor, D. J., & Sodeau, J. R. (2018). Comparison of fungal spores concentrations measured with wideband integrated bioaerosol sensor and Hirst methodology. *Atmospheric Environment*, *175*, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.11.038>
- Fröhlich-Nowoisky, J., Kampf, C. J., Weber, B., Huffman, J. A., Pöhlker, C., Andreae, M. O., Lang-Yona, N., Burrows, S. M., Gunthe, S. S., Elbert, W., Su, H., Hoor, P., Thines, E., Hoffmann, T., Després, V. R., & Pöschl, U. (2016). Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions. *Atmospheric Research*, *182*, 346-376. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.07.018>
- Gamero, W. M., & Barraza, Y. (2017). *EVALUATION OF THE FUNGI BIOAEROSOLS IN A LANDFILL AND ITS AREA OF INFLUENCE , LOCATED IN DEPARTAMENTO DEL ATLANTICO. May 2018.*
- Georgakopoulos, D. G., Després, V., Fröhlich-Nowoisky, J., Psenner, R., Ariya, P. A., Pósfai, M., Ahern, H. E., Moffett, B. F., & Hill, T. C. J. (2009). Microbiology and atmospheric processes: biological, physical and chemical characterization of aerosol particles. *Biogeosciences*, *6*(4), 721-737. <https://doi.org/10.5194/bg-6-721-2009>
- Ghosh, B., Lal, H., & Srivastava, A. (2015). Review of bioaerosols in indoor environment with special reference to sampling, analysis and control mechanisms. *Environment International*, *85*, 254-272. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.018>
- Gil, J. E. R., Monterrubio, R. L. F., & Martínez, A. C. (2014). HONGOS DEL AIRE DE UNA ZONA SUBURBANA DE LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TABASCO. *Kuxulkab*, *19*(37). <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a19n37.346>
- Gollakota, A. R. K., Gautam, S., Santosh, M., Sudan, H. A., Gandhi, R., Sam Jebadurai, V., & Shu, C. M. (2021). Bioaerosols: Characterization, pathways,

- sampling strategies, and challenges to geo-environment and health. *Gondwana Research*, 99, 178-203. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.07.003>
- Grinn-Gofroń, A., & Bosiacka, B. (2015). Effects of meteorological factors on the composition of selected fungal spores in the air. *Aerobiologia*, 31(1), 63-72. <https://doi.org/10.1007/s10453-014-9347-1>
- Grinn-Gofroń, A., Strzelczak, A., & Wolski, T. (2011). The relationships between air pollutants, meteorological parameters and concentration of airborne fungal spores. *Environmental Pollution*, 159(2), 602-608. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.002>
- Grisoli, P., Rodolfi, M., Villani, S., Grignani, E., Cottica, D., Berri, A., Maria Picco, A., & Dacarro, C. (2009). Assessment of airborne microorganism contamination in an industrial area characterized by an open composting facility and a wastewater treatment plant. *Environmental Research*, 109(2), 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.11.001>
- Guo, X., Wu, P., Ding, W., Zhang, W., & Li, L. (2014). Reduction and characterization of bioaerosols in a wastewater treatment station via ventilation. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 26(8), 1575-1583. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.06.001>
- Han, Y., Li, L., & Liu, J. (2013). Characterization of the airborne bacteria community at different distances from the rotating brushes in a wastewater treatment plant by 16S rRNA gene clone libraries. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 25(1), 5-15. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(12\)60018-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(12)60018-7)
- Han, Y., Yang, T., Xu, G., Li, L., & Liu, J. (2020). Characteristics and interactions of bioaerosol microorganisms from wastewater treatment plants. *Journal of Hazardous Materials*, 391(January), 122256. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122256>

- Heo, K. J., Kim, H. B., & Lee, B. U. (2014a). Concentration of environmental fungal and bacterial bioaerosols during the monsoon season. *Journal of Aerosol Science*, 77, 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2014.07.001>
- Heo, K. J., Kim, H. B., & Lee, B. U. (2014b). Concentration of environmental fungal and bacterial bioaerosols during the monsoon season. *Journal of Aerosol Science*, 77, 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2014.07.001>
- Huffman, J. A., Prenni, A. J., Demott, P. J., Pöhlker, C., Mason, R. H., Robinson, N. H., Fröhlich-Nowoisky, J., Tobo, Y., Després, V. R., Garcia, E., Gochis, D. J., Harris, E., Müller-Germann, I., Ruzene, C., Schmer, B., Sinha, B., Day, D. A., Andreae, M. O., Jimenez, J. L., ... Pöschl, U. (2013a). High concentrations of biological aerosol particles and ice nuclei during and after rain. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(13), 6151-6164. <https://doi.org/10.5194/acp-13-6151-2013>
- Huffman, J. A., Prenni, A. J., Demott, P. J., Pöhlker, C., Mason, R. H., Robinson, N. H., Fröhlich-Nowoisky, J., Tobo, Y., Després, V. R., Garcia, E., Gochis, D. J., Harris, E., Müller-Germann, I., Ruzene, C., Schmer, B., Sinha, B., Day, D. A., Andreae, M. O., Jimenez, J. L., ... Pöschl, U. (2013b). High concentrations of biological aerosol particles and ice nuclei during and after rain. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(13), 6151-6164. <https://doi.org/10.5194/acp-13-6151-2013>
- Jokar, E., Chien, C. H., Tsai, C. M., Fathi, A., & Diau, E. W. G. (2019). Robust Tin-Based Perovskite Solar Cells with Hybrid Organic Cations to Attain Efficiency Approaching 10%. *Advanced Materials*, 31(2), 1-7. <https://doi.org/10.1002/adma.201804835>
- Jones, A. M., & Harrison, R. M. (2004a). The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations - A review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 326, Issues 1-3, pp. 151-180). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.11.021>

- Jones, A. M., & Harrison, R. M. (2004b). The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations - A review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 326, Issues 1-3, pp. 151-180). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.11.021>
- Kathiriya, T., Gupta, A., & Singh, N. K. (2021a). An opinion review on sampling strategies, enumeration techniques, and critical environmental factors for bioaerosols: An emerging sustainability indicator for society and cities. *Environmental Technology and Innovation*, 21, 101287. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101287>
- Kathiriya, T., Gupta, A., & Singh, N. K. (2021b). An opinion review on sampling strategies, enumeration techniques, and critical environmental factors for bioaerosols: An emerging sustainability indicator for society and cities. *Environmental Technology and Innovation*, 21, 101287. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101287>
- Kermani, F., Shams-Ghahfarokhi, M., Gholami-Shabani, M., & Razzaghi-Abyaneh, M. (2016). Diversity, molecular phylogeny and fingerprint profiles of airborne *Aspergillus* species using random amplified polymorphic DNA. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(6). <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2052-1>
- Kim, K. H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2018a). Airborne bioaerosols and their impact on human health. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 67, 23-35. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.08.027>
- Kim, K. H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2018b). Airborne bioaerosols and their impact on human health. In *Journal of Environmental Sciences (China)* (Vol. 67, pp. 23-35). Chinese Academy of Sciences. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.08.027>
- Kowalski, M., Wolany, J., Pastuszka, J. S., Płaza, G., Wlazło, A., Ulfig, K., & Malina, A. (2017). Characteristics of airborne bacteria and fungi in some Polish

wastewater treatment plants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(10), 2181-2192. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1314-2>

Kummer, V., & Thiel, W. R. (2008). Bioaerosols - Sources and control measures. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 211(3-4), 299-307. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2007.06.006>

Kümmerer, K. (2003). Promoting resistance by the emission of antibiotics from hospitals and households into effluent. *Clinical Microbiology and Infection*, 9(12), 1203-1214. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2003.00739.x>

Lainhart, W. (2018). *Fusarium* spp., a Genus of Common Plant Pathogens That Can Cause Devastating, Opportunistic Human Disease. *Clinical Microbiology Newsletter*, 40(1), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.clinmicnews.2017.12.001>

Lavoie, J., & Dunkerley, C. J. (2002). Assessing waste collectors' exposure to bioaerosols. *Aerobiologia*. <https://doi.org/10.1023/A:1021381826042>

Lecanu, J.-B., Erminy, M., Faulcon, P., & Théoleyre, B. (2009). Otomycosis. *EMC - Otorrinolaringología*, 38(1), 1-9. [https://doi.org/10.1016/S1632-3475\(09\)70292-9](https://doi.org/10.1016/S1632-3475(09)70292-9)

Li, D.-W., & Kendrick, B. (1995). A year-round study on functional relationships of airborne fungi with meteorological factors. In *Int J Biometeorol* (Vol. 39).

Lighthart, B. (2000). Mini-review of the concentration variations found in the al fresco atmospheric bacterial populations. *Aerobiologia*, 16(1), 7-16. <https://doi.org/10.1023/A:1007694618888>

Mantzouranis, E. C. (2008). Taking your child's breath away - The extension of asthma's global reach. *New England Journal of Medicine*, 358(12), 1211-1213. <https://doi.org/10.1056/NEJMp0708621>

- Marchand, G., Lavoie, J., & Lazure, L. (1995). Evaluation of bioaerosols in a municipal solid waste recycling and composting plant. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 45(10), 778-781. <https://doi.org/10.1080/10473289.1995.10467406>
- Masclaux, F. G., Hotz, P., Gashi, D., Savova-Bianchi, D., & Oppliger, A. (2014). Assessment of airborne virus contamination in wastewater treatment plants. *Environmental Research*, 133, 260-265. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.06.002>
- Monzón, A., & Rodríguez, J. L. (2013a). Infecciones causadas por el genero *Fusarium*. *Control de Calidad SEIMC*, 3, 1-6.
- Monzón, A., & Rodríguez, J. L. (2013b). Infecciones causadas por el genero *Fusarium*. *Control de Calidad SEIMC*, 3, 1-6.
- Morgado Gamero, W. B., Ramírez, M. C., Parody, A., Vilorio, A., López, M. H. A., & Kamatkar, S. J. (2018). Concentrations and size distributions of fungal bioaerosols in a municipal landfill. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10943 LNCS, 244-253. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93803-5_23
- Morgado-Gamero, W. B., Hernandez, M. M., Ramirez, M. C., Medina-Altahona, J., de La Hoz, S., Mendoza, H. P., Parody, A., Teixeira, E. C., & Agudelo-Castañeda, D. M. (2019). Antibiotic resistance of airborne viable bacteria and size distribution in neonatal intensive care units. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph16183340>
- Niazi, S., Hassanvand, M. S., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Alimohammadi, M., Nabavi, S., Faridi, S., Dehghani, A., Hoseini, M., Moradi-Joo, M., Mokamel, A., Kashani, H., Yarali, N., & Yunesian, M. (2015). Assessment of bioaerosol contamination (bacteria and fungi) in the largest urban wastewater treatment

- plant in the Middle East. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(20), 16014-16021. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4793-z>
- Pasanen', P., Pasanen', A.-L., & Jantunen², M. (1993). Water Condensation promotes Fungal Growth in Ventilation Ducts. In *Indoor Air* (Vol. 3).
- Pearson, C., Littlewood, E., Douglas, P., Robertson, S., Gant, T. W., & Hansell, A. L. (2015). Exposures and health outcomes in relation to bioaerosol emissions from composting facilities: A systematic review of occupational and community studies. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B: Critical Reviews*, 18(1), 43-69. <https://doi.org/10.1080/10937404.2015.1009961>
- Pemán, J., & Salavert, M. (2013). Epidemiología y prevención de las infecciones nosocomiales causadas por especies de hongos filamentosos y levaduras. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 31(5), 328-341. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2013.02.002>
- Pepeljnjak, S., & Šegvi, M. (2003). Occurrence of fungi in air and on plants in vegetation of different climatic regions in Croatia. In *Aerobiologia* (Vol. 19).
- Pitt, J. I., & Hocking, A. D. (2009). Aspergillus and Related Teleomorphs. In *Fungi and Food Spoilage* (pp. 275-337). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-92207-2_8
- Reanprayoon, P., & Yoonaiwong, W. (2012). Airborne concentrations of bacteria and fungi in Thailand border market. *Aerobiologia*, 28(1), 49-60. <https://doi.org/10.1007/s10453-011-9210-6>
- Romero-Bohórquez, C., Castañeda-Alvarado, D., & Acosta-Peñaloza, G. (2016). Artículo original producto de La investigación Determinación de la calidad bacteriológica del aire en un laboratorio de microbiología en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Bogotá, Colombia Bacteriological air quality in a microbiology la. *Nova*, 13(26), 129-137.

- Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Cayuela, M. L., & Stentiford, E. I. (2006). Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos orgánicos. In *Ingeniería* (Vol. 10, Issue 1).
- SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD BARRAQUILLA *Análisis de Situación de Salud con el Modelo de los Determinantes Sociales de Salud 2019*. (n.d.).
- Singh, N. K., Sanghvi, G., Yadav, M., Padhiyar, H., & Thanki, A. (2021a). A state-of-the-art review on WWTP associated bioaerosols: Microbial diversity, potential emission stages, dispersion factors, and control strategies. *Journal of Hazardous Materials*, *410*, 124686. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124686>
- Singh, N. K., Sanghvi, G., Yadav, M., Padhiyar, H., & Thanki, A. (2021b). A state-of-the-art review on WWTP associated bioaerosols: Microbial diversity, potential emission stages, dispersion factors, and control strategies. *Journal of Hazardous Materials*, *410*, 124686. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124686>
- Steinbach, W. J. (2018a). Aspergillus Species. In *Principles and Practice of Pediatric Infectious Diseases* (Fifth Edit). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-40181-4.00244-9>
- Steinbach, W. J. (2018b). Aspergillus Species. In *Principles and Practice of Pediatric Infectious Diseases* (Fifth Edit). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-40181-4.00244-9>
- Taha, M. P. M., Drew, G. H., Tamer, A., Hewings, G., Jordinson, G. M., Longhurst, P. J., & Pollard, S. J. T. (2007). Improving bioaerosol exposure assessments of composting facilities - Comparative modelling of emissions from different compost ages and processing activities. *Atmospheric Environment*, *41*(21), 4504-4519. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.12.056>

The Dictionary of Environmental Microbiology - Linda D. Stezenbach, Marylynn V. Yates - Google Libros. (n.d.-a). Retrieved November 6, 2019, from [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=LiRwFGr3Q3kC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Stetzenbach,+L.+D.+\(2003\).+The+dictionary+of+environmental+microbiology.+Gulf+Professional+Publishing.&ots=Ad1yWw2ZLy&sig=v9MKasmB3z8cFOnmz5WY_tbWwWg#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=LiRwFGr3Q3kC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Stetzenbach,+L.+D.+(2003).+The+dictionary+of+environmental+microbiology.+Gulf+Professional+Publishing.&ots=Ad1yWw2ZLy&sig=v9MKasmB3z8cFOnmz5WY_tbWwWg#v=onepage&q&f=false)

The Dictionary of Environmental Microbiology - Linda D. Stezenbach, Marylynn V. Yates - Google Libros. (n.d.-b). Retrieved November 5, 2019, from [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=LiRwFGr3Q3kC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Stetzenbach,+L.+D.+\(2003\).+The+dictionary+of+environmental+microbiology.+Gulf+Professional+Publishing.&ots=Ad1yWw2ZLy&sig=v9MKasmB3z8cFOnmz5WY_tbWwWg#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=LiRwFGr3Q3kC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Stetzenbach,+L.+D.+(2003).+The+dictionary+of+environmental+microbiology.+Gulf+Professional+Publishing.&ots=Ad1yWw2ZLy&sig=v9MKasmB3z8cFOnmz5WY_tbWwWg#v=onepage&q&f=false)

Turner, A., Brokamp, C., Wolfe, C., Reponen, T., & Ryan, P. (2021a). Personal exposure to average weekly ultrafine particles, lung function, and respiratory symptoms in asthmatic and non-asthmatic adolescents. *Environment International*, 156, 106740. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106740>

Turner, A., Brokamp, C., Wolfe, C., Reponen, T., & Ryan, P. (2021b). Personal exposure to average weekly ultrafine particles, lung function, and respiratory symptoms in asthmatic and non-asthmatic adolescents. *Environment International*, 156, 106740. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106740>

Vélez-Pereira, A. M., & Caicedo, Y. C. (n.d.). *SANTA MARTA-COLOMBIA ANALYSIS OF OCCUPATIONAL AND ENVIRONMENTAL FACTORS IN THE CONCENTRATION OF AEROBACTERS IN INTENSIVE CARE UNITS OF THE FERNANDO TROCONIS UNIVERSITARY HOSPITAL, 2009 SANTA MARTA-COLOMBIA*.

Vilavert, L., Nadal, M., Figueras, M. J., & Domingo, J. L. (2012). Volatile organic compounds and bioaerosols in the vicinity of a municipal waste organic fraction

treatment plant. Human health risks. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(1), 96-104. <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0547-8>

Wang, W., Ma, Y., Ma, X., Wu, F., Ma, X., An, L., & Feng, H. (2010). Seasonal variations of airborne bacteria in the Mogao Grottoes, Dunhuang, China. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 64(4), 309-315. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.03.004>

Anexos

Registro fotográfico

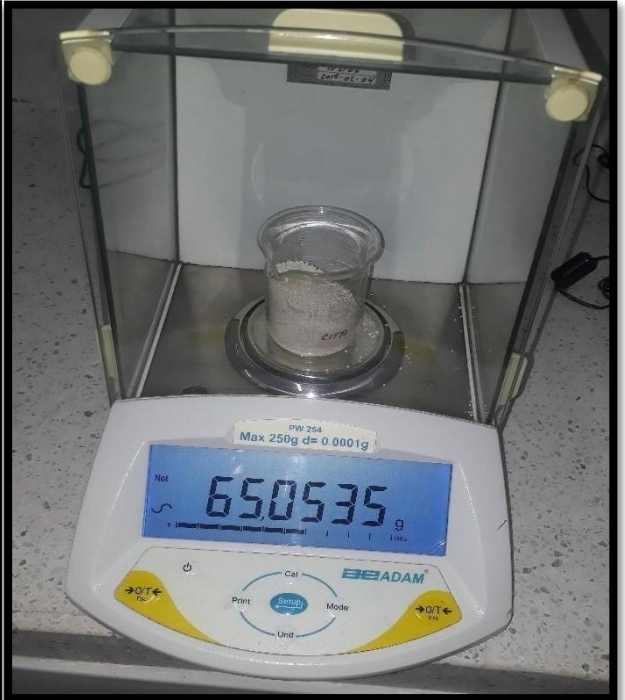
Laboratorio



Anexo 1: Preparación de cajas Petri en laboratorio.



Anexo 2:Empaques cajas Petri.



Anexo 3:Pesaje del Agar Sabouraud con dextrosa 2%



Anexo 4: Preparación del medio de cultivo Agar Sabouraud con dextrosa 2%.



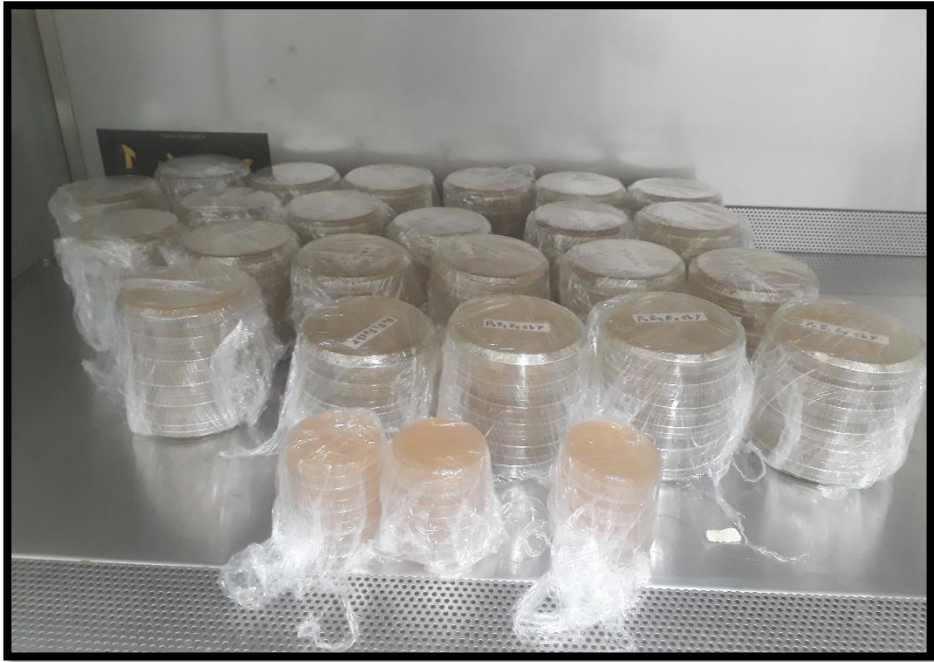
Anexo 5:Secado de cajas Petri en el horno después de esterilizar.



Anexo 6: Esterilización de Agar Sabouraud con dextrosa 2% en Autoclave.



Anexo 7: Sirviendo medio de cultivo Agar Sabouraud.



Anexo 8:Embalaje y rotulación de medios de cultivos.



Anexo 9: Medio listo para ir a monitorear.



Anexo 10: Identificación microscópica de especies.

Estaciones de monitoreo de aire.



Anexo 11: Estación de monitoreo de aire S1: Plaza de la Paz.



Anexo 12: Estacion de monitoreo de aire S2: Malecón Puerta de Oro.



Anexo 13: Estación de monitoreo de aire S3: Universidad del Norte (Uninorte)



Anexo 14: Estación de monitoreo de aire S4: Parque Biotemático Megua (Galapa).



Anexo 15: Impactador de Cascada de seis etapas. Andersen. Fuente: (De Moya.H.I. 2019)

Equipos



Anexo 16:Kestrel 4500.



Anexo 17: Bomba de vacío.



Anexo 18: Cambio de replicas de medio de cultivo Agar Sabouraud



Anexo 19: Evidencia monitoreo de aire en Parque Biotemático Megua(Galapa).



Anexo 20: Evidencia monitoreo de aire estación Malecón Puerta de Oro.