

# Perfil de bacterias y hongos aerotransportados por la lluvia horizontal de la región del Salto del Tequendama (Colombia)

*Profile of Bacteria and Fungi Airborne by the Horizontal Rain of the Region of Salto del Tequendama (Colombia)*

Cindy Krystle Ruiz-Fonseca<sup>a</sup>, Carolina Rubiano-Labrador<sup>b, c</sup>

## RESUMEN

La contaminación del aire en ambientes externos puede ser considerada una vía de transmisión de agentes infecciosos que inducen enfermedades en animales, plantas y humanos. Por lo tanto, la evaluación de bioaerosoles en ambientes externos es importante para evaluar su impacto en el ambiente y en la salud humana. En este estudio se identificaron las bacterias y hongos aerotransportados presentes en el área del salto hidráulico de la región del Salto de Tequendama, con el fin de establecer la posibilidad de riesgo para la salud de los habitantes de esta zona por la exposición a estos microorganismos. Las muestras fueron tomadas en 8 puntos ubicados a lo largo de esta zona empleando la técnica de sedimentación en placa, luego se realizó recuento e identificación de las bacterias y hongos presentes en estas muestras. Los resultados obtenidos en este estudio permitieron determinar que la mayor carga microbiana fue encontrada en los puntos en donde se presentan fenómenos de lluvia horizontal y cercanía a la fuente de contaminación (río Bogotá). *Stenotrophomonas maltophilia*, *Brevundimonas versicularis*, *Staphylococcus* sp. y *Bacillus* sp. fueron las especies bacterianas dominantes, mientras que los géneros fúngicos dominantes fueron *Bipolaris* y *Varicosporium*. Los microorganismos identificados en este estudio han sido reportados como causantes de enfermedades respiratorias, infecciosas y dérmicas, por lo tanto, estos resultados representan una base que proporciona información para iniciar el desarrollo de políticas de salud pública con respecto al monitoreo y la gestión de la calidad del aire en la región del Salto del Tequendama.

**PALABRAS CLAVE:** bioaerosoles; calidad del aire exterior; contaminación del aire; microbiota del aire; río Bogotá.

## ABSTRACT

Air pollution in external environments can be considered a route of transmission of infectious agents that induce diseases in animals, plants, and humans. Therefore, the evaluation of bioaerosols in external environments is important to evaluate their impact on the environment and on human health. This study identifies the airborne bacteria and fungi present in the hydraulic jump of the Salto de Tequendama region, to establish the possibility of risk to the health of the inhabitants of this area by exposure to these microorganisms. Samples were taken at 8 points along this area using the plate sedimentation technique, and then the counting and identification of the bacteria and fungi present in these samples was carried out. The results obtained in this study allowed us to determine that the highest microbial concentration was found in the points where horizontal rain phenomena and proximity to the source of contamination (Bogotá River). *Stenotrophomonas maltophilia*, *Brevundimonas versicularis*, *Staphylococcus* sp. and *Bacillus* sp. were the dominant bacterial species, while the dominant fungal genera were *Bipolaris* and *Varicosporium*. The microorganisms identified in this study have been reported as causing respiratory, infectious, and dermal diseases, therefore, these results represent a basis that provides information to initiate the development of public health policies with respect to monitoring and quality management air in the Salto del Tequendama region.

**KEYWORDS:** bioaerosols; outdoor air quality; air pollution; air microbiota; Bogotá river.

<sup>a</sup> Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia. ORCID Ruiz-Fonseca, C.K.: 0000-0002-9965-8587

<sup>b</sup> Universidad Tecnológica de Bolívar, Facultad de Ciencias Básicas. Cartagena de Indias, Colombia. ORCID Rubiano-Labrador, C.: 0000-0001-9064-3680

<sup>c</sup> Autor para correspondencia: drubiano@utb.edu.co

## Introducción

Los bioaerosoles son partículas aerotransportables producidas por organismos vivos, que incluyen polen, semillas, bacterias, endotoxinas, hongos, algas, protozoos, harina, látex y productos de desechos animales (Pagalilauan et al., 2018). Algunos bioaerosoles pueden influir en la salud humana y la calidad de vida, ya que producen procesos infecciosos y alérgicos (Curtis et al., 2006). Por ejemplo, se ha reportado que los bioaerosoles bacterianos están relacionados con enfermedades humanas como neumonía, tuberculosis, brucelosis, ántrax y fiebre Q (Kim et al., 2018). Por su parte, es conocido que los bioaerosoles fúngicos son agentes etiológicos de enfermedades respiratorias, tales como rinitis alérgica, asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (Negrin et al., 2007; Lee et al., 2016). Por lo tanto, la concentración de los bioaerosoles presentes en un ambiente puede ser un parámetro importante para predecir la aparición de dichas enfermedades (Kim et al., 2018).

Hasta la fecha, los bioaerosoles se han estudiado principalmente, en ambientes interiores como hospitales públicos (Li y Hou, 2003; Cabo et al., 2015; Gao et al., 2018), baños públicos (Lee et al., 2012b), casas y escuelas (Jo y Seo, 2005; Jeon et al., 2010; Moon et al., 2014; Canha et al., 2015; Faridi et al., 2015), y sitios de trabajo (Kim et al., 2007; Gołofit-Szymczak y Górny 2010; Brągoszewska et al., 2018; Hamoda y Mahmoud, 2018). Igualmente, existen algunos reportes de bioaerosoles en ambientes exteriores como zonas costeras (Li et al., 2011), centros urbanos (Cho et al., 2019; Liu et al., 2019), vertederos (Madhwal et al., 2020) y espacios abiertos en centros educativos (Shin et al., 2015). Sin embargo, los estudios relacionados con bioaerosoles en ambientes externos aún son escasos, a pesar de su importancia en la predicción y el análisis de enfermedades humanas (Shelton et al., 2002; Jiřík et al., 2016; Fatahinia et al., 2018; Pagalilauan et al., 2018).

En el caso de Colombia, se han realizado solo algunos estudios en ambientes extramurales como rellenos sanitarios (Morgado, 2017), zonas urbanas (Suárez, 2017; Acosta y Zambrano, 2019; Reyes y Sánchez, 2019), y zonas costeras (Huertas et al., 2018). Sin embargo, es necesario continuar

ampliando la información disponible sobre la presencia de bioaerosoles en ambientes externos en el país debido a los posibles impactos en el ambiente y en la salud humana que estos puedan generar. Una de las estructuras económicas más importantes de Colombia se encuentra situada sobre la cuenca del río Bogotá, debido a la gran producción industrial y al crecimiento poblacional (Mantilla et al., 2016). Sin embargo, las malas prácticas han conllevado a problemas en la calidad del agua y su caudal, que han generado grandes impactos ambientales y diversas afectaciones en el territorio y sus pobladores. Además, la presencia de la hidroeléctrica de la empresa EMGESA ha generado un cambio en el caudal del río Bogotá, y la apertura de sus compuertas ocasiona que el resalto hidráulico genere una lluvia horizontal, la cual entra en contacto con el aire tras la caída generado el desplazamiento de bioaerosoles contaminados, cargados de fuertes olores y vectores que posiblemente afectan a los pobladores. Debido a esta problemática, el objetivo de este estudio fue determinar el perfil microbiológico de la región del Salto del Tequendama y su posible relación con la contaminación ambiental local, en las áreas rurales cercanas a la fuente, ubicadas en los municipios de San Antonio del Tequendama y Soacha.

## Materiales y métodos

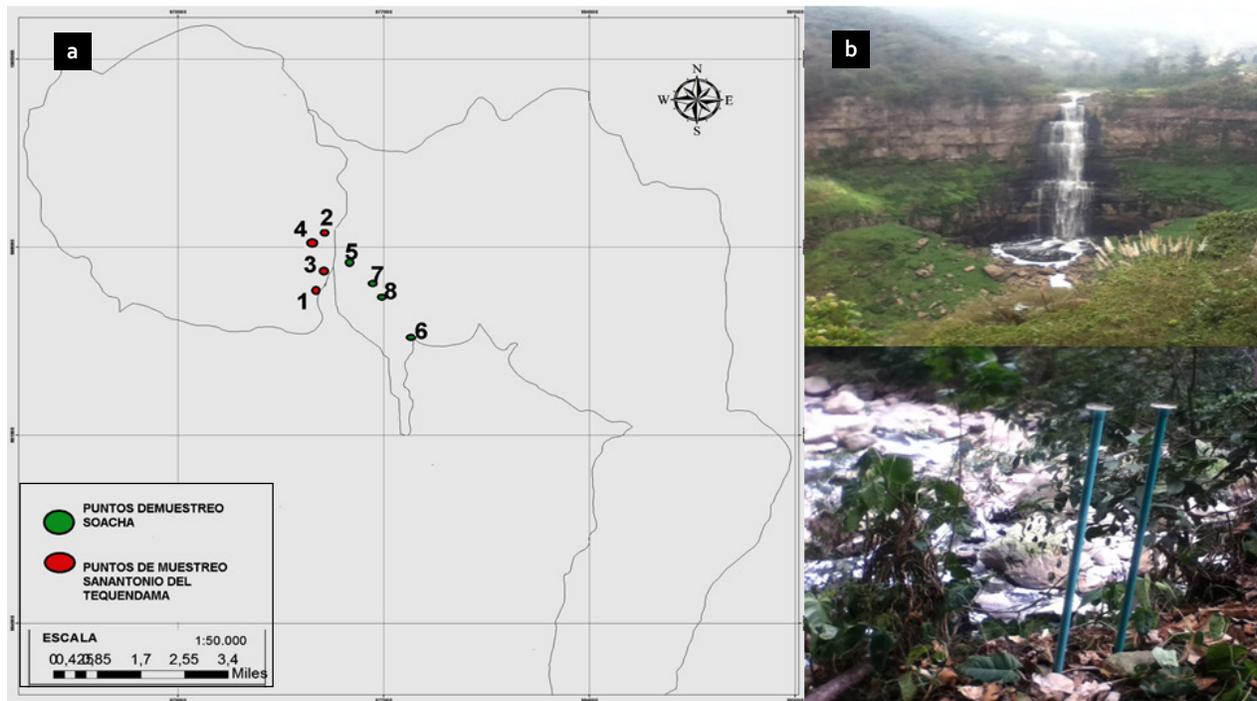
### Descripción del sitio y recolección de las muestras

En el siglo XX se construyó el Embalse del Muña para almacenar las aguas de la microcuenca del río Bogotá y generar energía aprovechando la caída de agua de más 130 metros de altura del Salto del Tequendama por parte de la empresa EMGESA. La construcción de la hidroeléctrica trajo consigo un cambio en el caudal ecológico del río Bogotá, ya que dependiendo de la demanda energética se abren las compuertas que permiten el descenso del agua contaminada a lo largo del río, en donde el resalto hidráulico genera una lluvia horizontal.

El área de estudio se localizó en las veredas del Charquito y Cubsio de los municipios de Soacha y San Antonio de Tequendama, respectivamente. Estas dos veredas hacen parte de la cuenca del río

Bogotá en el área de influencia directa con proximidad al Salto del Tequendama. Para esta investigación se seleccionaron ocho puntos de muestreo que están ubicados a lo largo de la riera del Río Bogotá: cuatro puntos aguas abajo (luego del resalto hidráulico) ubicados en la vereda el Charquito del Municipio de Soacha, y cuatro puntos localizados en la vereda Cub시오 de San Antonio del Tequendama (Figura 1). Los puntos de muestreo fueron seleccionados teniendo en cuenta su cercanía con

asentamientos humanos y tránsito permanente de personas con el fin de evaluar el contacto directo con los microorganismos. Adicionalmente, se tuvo en cuenta un Punto Control, que correspondía a un punto de toma de muestra alejado del área de influencia de la fuente contaminada ubicado en el Bosque Renace jurisdicción de EMGESA (vereda El Charquito). En la Tabla 1 se presenta la descripción de los puntos de muestreo evaluados en este estudio.



**Figura 1.** (a) Localización geográfica de los puntos de muestreo sobre el área de influencia del Salto del Tequendama (Bogotá, Colombia). Los círculos rojos indican los puntos de muestreo ubicados en el municipio de San Antonio de Tequendama y los círculos verdes indican los puntos de muestreo ubicados en el municipio de Soacha. (b) Fotografías de la técnica de muestreo empleada. *Fuente:* elaboración propia

**Tabla 1.** Descripción de los puntos de muestreo

Municipio	Código	Punto de muestreo	Coordenadas geográficas	
			Norte	Sur
San Antonio del Tequendama	Punto 1	Frente a instalaciones de EMGESA	4°34'55.01"	74°18'24.02"
	Punto 2	Cueca riera río Bogotá	4°35'0.39"	74°18'14.89"
	Punto 3	Puente vehicular EMGESA	4°34'56.87"	74°18'24.07"
	Punto 4	Casa frente al pulmón	4°34'49.21"	74°18'42.30"
Soacha	Punto 5	Museo Salto del Tequendama	4°34'34.44"	74°17'48.03"
	Punto 6	Punto blanco Bosque Renacer	4°33'48.22"	74°17'10.24"
	Punto 7	Casa Entrada Bosque Renacer	4°33'56.95"	74°17'23.52"
	Punto 8	Colegio Charquito	4°32'48.69"	74°16'36.47"

*Fuente:* elaboración propia

La recolección de muestras se realizó de forma puntual en los 8 puntos de muestreo, bajo condiciones atmosféricas favorables, teniendo en cuenta que los puntos no tuviesen una fuente de contaminación atmosférica fija o móvil, así como obstáculos físicos que pudiera cambiar las condiciones del viento habituales de la zona. En este estudio se realizó un muestreo puntual, ya que se debía coordinar con la empresa EMGESA la apertura de la compuerta de la hidroeléctrica, ya que de esta manera se aseguraba que el caudal del agua corría por el lecho del río Bogotá generando bioaerosoles derivados de la lluvia horizontal del salto del Tequendama, reflejándose de esta forma las condiciones del medio en un momento concreto.

Las condiciones meteorológicas durante el muestreo fueron: día seco, temperatura de 16 °C, y humedad relativa de 60%. Las cajas de Petri se ubicaron a una altura aproximada de 2,0 m del suelo y los muestreos se realizaron entre las 10h30 – 13h30 (Romero et al., 2016). El muestreo se realizó el día 15 de octubre de 2015, fecha en la cual las compuertas del salto hidráulico del Río Bogotá estaban abiertas, lo que permitió evaluar de forma directa la incidencia de la lluvia horizontal generada por la caída del agua sobre los puntos de muestreo. Los datos de temperatura, humedad relativa y precipitaciones se tomaron de los datos históricos de las estaciones meteorológicas cercanas de la Corporación Autónoma Regional (CAR).

## Recuperación y recuentos de bacterias y hongos

La recuperación y recuento de bacterias y hongos viables en el aire se llevó a cabo utilizando la técnica de sedimentación por gravedad (De la Rosa et al., 2002), exponiendo cajas de Petri (90 mm de diámetro) con agar nutritivo (bacterias) o agar Sabouraud (hongos) abiertas por 15 minutos. Las cajas de agar nutritivo se incubaron a  $37 \pm 2$  °C, entre 24 a 48 horas, y las de agar Sabouraud, a  $28 \pm 2$  °C, entre 5 y 7 días. Finalizado el periodo de incubación, se realizó el conteo de unidades formadoras de colonia (UFC/m<sup>3</sup>) de colonias de bacterias y hongos por m<sup>3</sup> de aire, de acuerdo a la fórmula propuesta por Omeliansky (Bogomolova y Kirtsideli, 2009):

$$N = 5a \cdot 10^4 (b_i)^{-1} \quad (1)$$

donde,  $N$  es el número de microorganismos en el aire interno,  $a$  número de colonias en la caja de Petri,  $b$  superficie de la caja (cm<sup>2</sup>) y  $t$  tiempo de exposición (minutos). Los recuentos se realizaron por duplicado y se calculó el promedio para cada muestra analizada.

## Caracterización e identificación de bacterias y hongos

Las colonias de bacterias y hongos recuperados por la técnica de sedimentación se purificaron mediante siembras sucesivas por agotamiento en agar nutritivo para bacterias (37 °C, 48 h) y agar Sabouraud para hongos (28°C, 5 días). Las cepas bacterianas puras obtenidas se caracterizaron macroscópica y microscópicamente (morfología, coloración de Gram, presencia de esporas y motilidad) siguiendo el protocolo descrito por Rubiano-Labrador *et al.* (2018), y la identificación se realizó utilizando el *kit BBL Crystal* (B&D) siguiendo las indicaciones del fabricante. Las pruebas bioquímicas se realizaron con un porcentaje de confiabilidad del 98%. En el caso de los hongos aislados se describieron microscópicamente realizando montajes con azul de lactofenol mediante la técnica de impronta (González et al. 2011), y para su identificación se utilizaron las claves taxonómicas de Domsch et al. (1980a; 1980b).

## Resultados

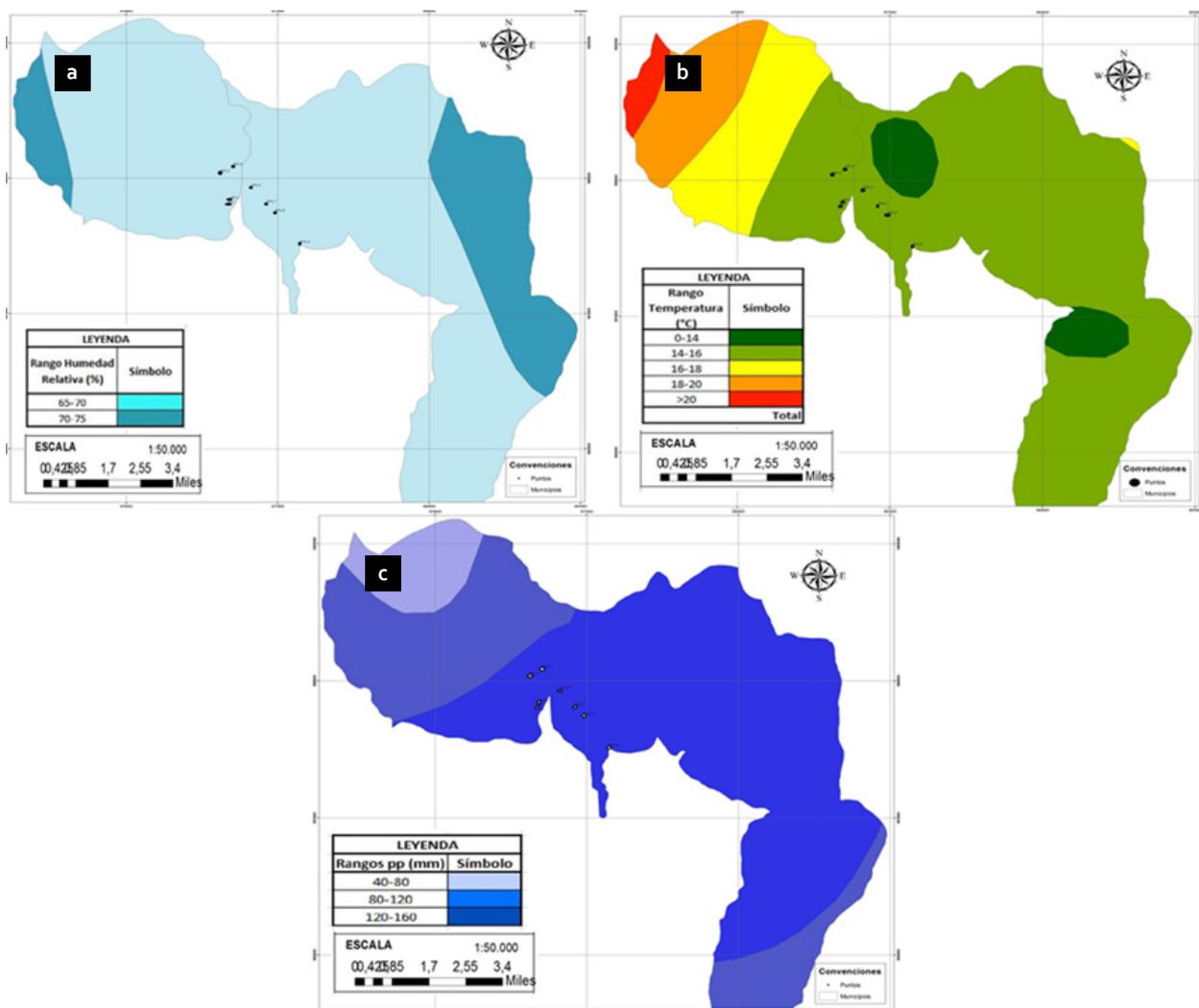
### Humedad relativa, temperatura del ambiente y precipitación

En una gran porción del territorio de la zona de estudio (veredas Cubsio y Charquito) se presentan valores de humedad relativa por encima del 65% como se puede evidenciar en la cartografía realizada con los datos históricos de los últimos 10 años de las estaciones meteorológicas cercanas de la Corporación Autónoma Regional (CAR), donde se presentan registros porcentuales de 60 y 70 en el 90 % del territorio, y en las partes altas del municipio de Soacha y en las bajas de San Antonio del Tequendama (10% del área) se registran valores porcentuales

entre 70-75 (Figura 2a). Por otra parte, los municipios de Soacha y San Antonio del Tequendama presentan temperaturas promedio de 14 °C a 20 °C, donde la mayor parte de Soacha presenta temperaturas entre 14 a 16 °C, temperatura compartida con las veredas de las partes alta del Municipio de San Antonio como Cub시오 (Figura 2b). En relación con la precipitación histórica del área de influencia de este estudio, se encuentra en mayor proporción entre los 90 y 120 mm diarios (Figura 2c), esta condición ubica esta zona en la clasificación de Holdrydge (bh- MB) como Bosque Húmedo Montano Bajo (Holdridge 1962), con precipitaciones intensas desde el mes de abril a noviembre.

## Recuento de bacterias y hongos

Los recuentos obtenidos en los puntos de muestreo analizados mostraron mayor proporción de bacterias en los puntos P5 (1163 UFC/m<sup>3</sup>) y P2 (176 UFC/m<sup>3</sup>), mientras que se evidenció una mayor concentración de hongos en los puntos P5 (344 UFC/m<sup>3</sup>) y P3 (302 UFC/m<sup>3</sup>). Los puntos donde se obtuvo mayores recuentos tanto de bacterias mesófilas como de hongos corresponden a los puntos más cercanos al río Bogotá y donde hay presencia de lluvia horizontal. En la Tabla 2 se presentan los recuentos obtenidos para hongos y bacterias en cada punto de muestreo evaluado.



**Figura 2.** Mapa de a) humedad relativa, b) temperatura promedio y c) precipitación promedio de los municipios de Soacha y San Antonio del Tequendama (Bogotá, Colombia). Fuente: elaboración propia a partir de datos históricos de los últimos 10 años de las estaciones meteorológicas cercanas de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR.

**Tabla 2.** Concentración de bacterias y hongos en el aire por punto de muestreo (UFC/m<sup>3</sup>)

Municipio	Punto de muestreo	UFC/m <sup>3</sup>	
		Mesófilos aerobios	Hongos
San Antonio del Tequendama	Punto 1	118	189
	Punto 2	176	88
	Punto 3	84	302
	Punto 4	101	97
Soacha	Punto 5	1163	344
	Punto 6	4	0
	Punto 7	67	101
	Punto 8	50	13

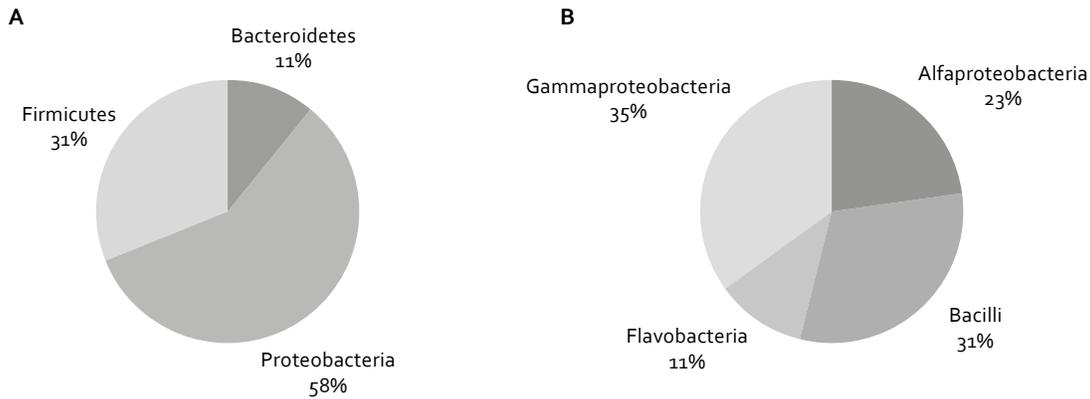
Fuente: elaboración propia

### Identificación de las bacterias aisladas

Para determinar el perfil microbiológico de la lluvia horizontal del Salto del Tequendama, se

identificaron 26 cepas bacterianas a partir de los puntos de muestreo analizados. En la Tabla 3 se presenta la caracterización fenotípica e identificación de las bacterias aisladas.

La caracterización microscópica por la tinción de Gram de las bacterias aisladas mostró una mayor cantidad de bacterias Gram negativas (69%); y se evidenció que ocho de las bacterias aisladas presentaron presencia de esporas. En cuanto a la identificación taxonómica, se determinó que *Proteobacteria* fue el Filo predominante con un 58%, seguido de *Firmicutes* con un 31% y *Bacteroidetes* con un 11% (Figura 3a). Mientras que a nivel de clase se evidenció una dominancia de las clases *Gamma*proteobacteria (35%) y *Bacilli* (31%) (Figura 3b). Las especies bacterianas identificadas en este estudio fueron *Shewanella putrefaciens*, *Staphylococcus* sp., *Brevundimonas vesicularis*, *Weeksella virosa*, *Bacillus* sp., *Empedobacter brevis*, *Stenotrophomonas maltophilia* y *Acinetobacter lwoffii*.



**Figura 3.** Distribución de las bacterias aisladas según el nivel taxonómico: a, filo; b, clase. Fuente: elaboración propia

**Tabla 3.** Caracterización fenotípica de las bacterias recuperadas del aire de la lluvia horizontal en la subregión del Salto del Tequendama

Municipio	Muestreo	Cepa	Descripción macroscópica	Morfología	Tinción	Esporas	Especie	Valor confianza
San Antonio del Tequendama	Punto 1	P1-2	Colonia blanca, circular, convexa y redonda. 2 mm	Bacilos no móviles	Gram (-)	-	<i>Shewanella putrefaciens</i>	92%
		P1-3	Colonia amarilla, circular, plana, redonda. 1mm	Cocos no móviles, se agrupan en racimos.	Gram (+)	+	<i>Staphylococcus</i> sp.	98%
		P1-4	Colonia salmón, circular, plana y redonda. 3mm	Bacilos largos, móviles	Gram (-)	-	<i>Brevundimonas vesicularis</i>	91%

Continúa

Municipio	Muestreo	Cepa	Descripción macroscópica	Morfología	Tinción	Esporas	Especie	Valor confianza
San Antonio del Tequendama	Punto 2	P2-1	Colonia rosada, circular, plana y redonda. 1 cm	Bacilos no móviles	Gram (-)	-	<i>Weeksella virosa</i>	97%
		P2-2	Colonia beige, irregular, plana y ondulada. 4mm	Bacilos móviles	Gram (+)	+	<i>Bacillus</i> sp.	99%
		P2-4	Colonia salmón, circular, plana y redonda. 2 mm	Bacilos largos, móviles	Gram (-)	-	<i>Brevundimonas vesicularis</i>	90%
	Punto 3	P3-1	Colonia amarilla, circular, plana y redonda. 1 cm	Bacilos no móviles	Gram (-)	-	<i>Empedobacter brevis</i>	91%
		P3-2	Colonia amarilla, circular, plana, redonda. 1mm	Cocos no móviles, se agrupan en racimos	Gram (+)	+	<i>Staphylococcus</i> sp.	98%
		P3-3	Colonia amarilla, circular, plana y redonda. 1 mm	Bacilos no móviles	Gram (-)	-	<i>Empedobacter brevis</i>	87%
		P3-4	Colonia blanca, circular, plana y redonda. 1 mm	Bacilos móviles	Gram (-)	-	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	99%
		P3-5	Colonia salmón, circular, plana y redonda. 2 mm	Bacilos largos, móviles	Gram (-)	-	<i>Brevundimonas vesicularis</i>	96%
	Punto 4	P4-1	Colonia naranja, circular, plana y redonda. 2 mm	Bacilos largos, móviles	Gram (-)	-	<i>Brevundimonas vesicularis</i>	92%
		P4-2	Colonia blanca, circular, plana y redonda. 1 mm	Bacilos móviles	Gram (-)	-	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	99%
		P4-3	Colonia amarilla, circular, plana, redonda. 2 mm	Cocos no móviles, se agrupan en racimos	Gram (+)	+	<i>Staphylococcus</i> sp.	98%
	Soacha	Punto 5	P5-1	Colonia amarilla, circular, plana, redonda. 1.5 mm	Bacilos móviles	Gram (-)	-	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>
P5-2			Colonia blanca, circular, plana y redonda. 1 mm	Bacilos móviles	Gram (-)	-	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	99%
P5-3			Colonia amarilla, irregular, plana y ondulada. 2 mm	Bacilos móviles	Gram (+)	+	<i>Bacillus</i> sp.	99%
P5-4			Colonia salmón, circular, plana y redonda. 1.2 mm	Bacilos largos, móviles	Gram (-)	-	<i>Brevundimonas vesicularis</i>	91%
P5-5			Colonia salmón, circular, plana y redonda. 2 mm	Bacilos cortos no móviles	Gram (-)	-	<i>Acinetobacter lwoffii</i>	97%
Punto 6		P6-1	Colonia blanca, irregular, acuminada y ondulada. 4 mm	Bacilos móviles	Gram (+)	+	<i>Bacillus cereus</i>	97%
		P6-2	Colonia blanca, circular, plana y redonda. 1 mm	Bacilos móviles	Gram (-)	-	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	99%
		P6-3	Colonia amarilla, irregular, plana y ondulada. 2 mm	Bacilos móviles	Gram (+)	+	<i>Bacillus</i> sp.	99%
Punto 7		P7-1	Colonia blanca, circular, plana y redonda. 1 mm	Bacilos móviles	Gram (-)	-	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	99%
		P7-2	Colonia blanca, circular, plana y redonda. 1 mm	Bacilos móviles	Gram (-)	-	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	99%
		P7-3	Colonia amarilla, circular, plana y redonda. 2mm	Cocos no móviles, se agrupan en racimos	Gram (+)	+	<i>Staphylococcus</i> sp.	98%
Punto 8		P8-2	Colonia blanca, circular, plana y redonda. 1 mm	Bacilos no móviles	Gram (-)	-	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	99%

Fuente: elaboración propia

## Identificación de los hongos aislados

A partir de los puntos de muestreo analizados en este estudio se identificaron 14 cepas de hongos. En la Tabla 4 se muestra la caracterización fenotípica e identificación de los hongos aislados. Con respecto a la identificación taxonómica se determinó que los géneros predominantes fueron *Bipolaris* sp. y *Varicosporium* sp. (Figura 4). Es importante destacar que el Punto 5 registró el mayor número de hongos aislados y la mayor variedad de géneros identificados en comparación con otros puntos, lo cual está probablemente relacionado con su ubicación cercana al río Bogotá.

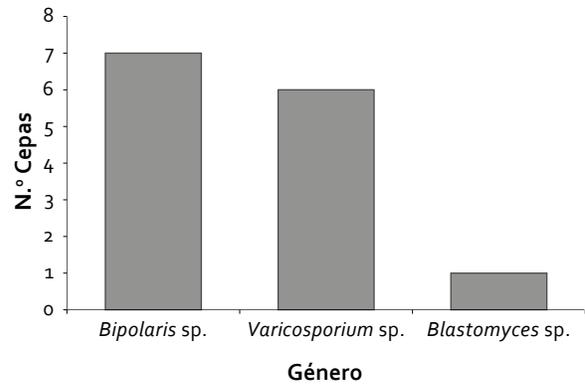


Figura 4. Distribución de los hongos aislados a nivel de género. Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Caracterización fenotípica de los hongos recuperados del aire de la lluvia horizontal en la subregión del Salto del Tequendama

Municipio	Muestreo	Cepa	Descripción	Morfología	Género
San Antonio del Tequendama	Punto 1	P1-H1	Colonia blanca, algodonosa y ondulada. 1 cm	Hifas ramificadas, tabicadas, hialinas, con conidios ovoides, que miden de 2 a 10 µm de diámetro, desarrollados sobre conidióforos cortos	<i>Varicosporium</i> sp.
		P1-H2	Colonia café oscuro, circular y redonda. 2 mm	Conidios fusiformes-elipsoidal, las células centrales no mucho más oscuras y amplias que las distales, hilio no protuberante, germinación bipolar	<i>Bipolaris</i> sp.
	Punto 2	P2-H1	Colonia café oscuro, circular y redonda. 7 mm	Conidios fusiformes-elipsoidal, las células centrales no mucho más oscuras y amplias que las distales, hilio no protuberante, germinación bipolar	<i>Bipolaris</i> sp.
	Punto 3	P3-H1	Colonia blanca, algodonosa y circular. 1 cm	Hifas ramificadas, tabicadas, hialinas, con conidios ovoides, que miden de 2 a 10 µm de diámetro, desarrollados sobre conidióforos cortos	<i>Varicosporium</i> sp.
	Punto 4	P4-H1	Colonia café oscuro, circular y redonda. 1 cm	Conidios fusiformes-elipsoidal, las células centrales no mucho más oscuras y amplias que las distales, hilio no protuberante, germinación bipolar	<i>Bipolaris</i> sp.
Soacha	Punto 5	P5-H1	Colonia blanca, algodonosa y ondulada. 1 cm	Hifas ramificadas, tabicadas, hialinas, con conidios ovoides, que miden de 2 a 10 µm de diámetro, desarrollados sobre conidióforos cortos	<i>Varicosporium</i> sp.
		P5-2	Colonia café oscuro, circular y redonda. 1 cm	Conidios fusiformes-elipsoidal, las células centrales no mucho más oscuras y amplias que las distales, hilio no protuberante, germinación bipolar.	<i>Bipolaris</i> sp.
		P5-3	Colonia blanca, algodonosa y ondulada. 1 cm	Hifas ramificadas, tabicadas, hialinas, con conidios ovoides, que miden de 2 a 10 µm de diámetro, desarrollados sobre conidióforos cortos	<i>Varicosporium</i> sp.
		P5-4	Colonia blanca, algodonosa y ondulada. 1 cm	Hifas ramificadas, tabicadas, hialinas, con conidios ovoides, que miden de 2 a 10 µm de diámetro, desarrollados sobre conidióforos cortos	<i>Blastomyces</i> sp.
		P5-5	Colonia café oscuro, circular y redonda. 1 cm	Conidios fusiformes-elipsoidal, las células centrales no mucho más oscuras y amplias que las distales, hilio no protuberante, germinación bipolar	<i>Bipolaris</i> sp.

Continúa

Municipio	Muestreo	Cepa	Descripción	Morfología	Género
Soacha	Punto 6	P6-2	Colonia café oscuro, circular y redonda. 1 cm	Conidios fusiformes-elipsoidal, las células centrales no mucho más oscuras y amplias que las distales, hilio no protuberante, germinación bipolar.	<i>Bipolaris</i> sp.
		P6-3	Colonia blanca, algodonosa y ondulada. 2 cm	Hifas ramificadas, tabicadas, hialinas, con conidios ovoides, que miden de 2 a 10 µm de diámetro, desarrollados sobre conidióforos cortos	<i>Varicosporium</i> sp.
	Punto 7	P7-3	Colonia café oscuro, circular y redonda. 1 cm	Conidios fusiformes-elipsoidal, las células centrales no mucho más oscuras y amplias que las distales, hilio no protuberante, germinación bipolar	<i>Bipolaris</i> sp.
	Punto 8	P8-1	Colonia blanca, algodonosa y ondulada. 1 cm	Hifas ramificadas, tabicadas, hialinas, con conidios ovoides, que miden de 2 a 10 µm de diámetro, desarrollados sobre conidióforos cortos	<i>Varicosporium</i> sp.

Fuente: elaboración propia

## Discusión

El Salto del Tequendama, es un punto de importancia económica en Cundinamarca, ya que esta área genera 4.000 GW/H al año, que benefician a 2,5 millones de bogotanos (Fedesarrollo, 2013). Sin embargo, se ha convertido en un foco de aspersión de contaminantes por las características fisicoquímicas y biológicas del río Bogotá (Castro et al., 2015; Venegas et al., 2015), ya que los comportamientos hidrológicos y microbiológicos están relacionados con el resalto hidráulico del Salto, el cual crea un fenómeno de lluvia horizontal, que se extiende por acción del viento y genera un fenómeno de dispersión de hongos y bacterias por un sector que contempla viviendas, cultivos y establecimientos de comercialización de alimentos, que podrían estar alterados y afectados por la carga contaminante contenida en el ambiente atmosférico. En este estudio se determinó el grupo de bacterias y hongos aerotransportados presentes en el aire de la lluvia horizontal en la subregión del Salto del Tequendama y su posible relación con la contaminación ambiental local.

Un gran número de factores ambientales y meteorológicos pueden influir en la supervivencia microbiana durante el transporte del aerosol, los cuales incluyen temperatura, humedad, precipitaciones, velocidad del viento y entorno geográfico, por lo tanto, la variación de la actividad microbiana debe ser el resultado de su influencia combinada (Zhong et al., 2016; Haddrell y Thomas, 2017). En el caso de este estudio, las condiciones ambientales de la zona fueron favorables para el crecimiento y distribución de los microorganismos, ya que la humedad relativa

(65%) y la temperatura promedio (14-20°C) que se registran en esta zona favorecen la activación de hongos y bacterias (Harrison et al., 2005; Joon-Heo et al., 2014; Canha et al., 2015; Zhong et al., 2016). De otra parte, la presencia de factores geográficos como la presencia de cuerpos de agua contribuye a la formación de bioaerosoles y a su difusión en la atmósfera (Seoáñez et al., 2002). En el área de estudio el agua cae con gran fuerza y proyección por el resalto hidráulico del Salto del Tequendama cuyas partículas finas chocan y salpican de agua contaminada, intensificando la formación de las nieblas y brumas alcanzando un punto de rocío que por acción del viento se dispersan hacia los puntos más lejanos del punto de emisión.

Con respecto a la concentración de microorganismos los resultados revelaron un alto nivel de contaminación microbiana del área de estudio analizada, especialmente en el Punto 5 (municipio de Soacha), donde se registraron valores de 1163 y 344 UFC/m<sup>3</sup> para bacterias y hongos, respectivamente, esto debido probablemente a su cercanía al río Bogotá y a la presencia de lluvia horizontal, factores que permiten condiciones favorables para la multiplicación de microorganismos y, además se presentan condiciones óptimas en la dispersión ya que las compuertas del salto se encontraban abiertas en el momento de la toma de las muestras. Resultados similares han sido reportados en previos estudios donde la concentración de microorganismos (bacterias y hongos) encontradas variaba entre 137 a 1128UFC/m<sup>3</sup> (Soto et al., 2009; Li et al., 2011; Chen et al., 2012; Hurtado et al., 2014; Joon-Heo et al., 2014). Igualmente, en

el municipio de Soacha se evidenció una alta concentración de microorganismos en los Puntos 2, 3 y 4, esto se pueden deber a la cercanía de estos puntos al río y a que no se presentaban barrenas naturales ni artificiales que interfirieran con la dispersión de los contaminantes. Caso contrario ocurrió con el Punto 8, donde los recuentos de hongos y bacterias fueron bajos, probablemente porque este punto de muestreo se encontraba a una mayor distancia de la fuente y presentaba barreras naturales como árboles y estructuras antrópicas como casas que hacen que choque el viento y no permita la dispersión con facilidad.

En el área de estudio evaluada se identificaron un total de 26 cepas bacterianas, donde las bacterias Gram negativas predominaron. Una mayor prevalencia de bacterias Gram negativas ha sido reportada por Flores-Tena et al. (2007), Khan et al. (2018) y Pagalilauan et al. (2018). Las bacterias Gram negativas pueden ejercer efectos adversos debido a su capacidad de producción de endotoxinas, por ende, su alta proporción en la región del Salto del Tequendama podría representar un riesgo potencial de enfermedades respiratorias para los habitantes de esta zona (Hamoda y Mahmoud, 2018).

Por otro lado, en este estudio se identificó que un alto porcentaje (61%) de cepas que presentaron pigmentación de sus colonias en medio de cultivo sólido, este resultado coincide con lo reportado en previos estudios (Fahlgren et al., 2010; Cho y Hwang, 2011; Temkiv et al., 2012; Väitilingom et al., 2012). En la atmósfera prevalecen condiciones cambiantes y adversas, por lo tanto, generan una presión selectiva para algunos fenotipos, tal es el caso de la producción de pigmentos, característica común de la mayoría de los microorganismos cultivables recuperados de la atmósfera y ambientes fríos (Väitilingom et al., 2012). La pigmentación es una característica muy común en los microorganismos transportados por el aire, probablemente porque protege a las células de la exposición atmosférica a los rayos UV y contribuye a la supervivencia a bajas temperaturas (Gandolfi et al., 2013).

Las cepas bacterianas aisladas de la zona de muestreo estuvieron relacionadas con los filos *Proteobacteria*, *Firmicutes* y *Bacteroidetes*. Estos resultados son comparables con otros estudios de bioaerosoles que

han encontrado que estos filos son abundantes en este tipo de muestras (Bowers et al., 2011; Arfken et al., 2015; Shin et al., 2015; Cha et al., 2017). Asimismo, los grupos bacterianos prevalentes fueron *Stenotrophomonas maltophilia*, *Brevundimonas vesicularis*, *Staphylococcus* sp. y *Bacillus* sp. *Stenotrophomonas maltophilia* es una bacteria que se propaga en ambientes húmedos (agua, equipo médico, suelo y aguas residuales) y coloniza dispositivos médicos (De Mauri et al., 2014; Qi et al., 2018; Han et al., 2019). La presencia de esta bacteria en muestras de bioaerosol ha sido reportada en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales (Prazmo et al., 2003) y en la cima del puy de Dôme (Francia) (Väitilingom et al., 2012). *S. maltophilia* es un patógeno nosocomial emergente que causa bacteriemia, neumonía e infecciones intraabdominales y mucocutáneas que afecta principalmente personas inmunodeprimidas o que padecen fibrosis quística (Abbott et al., 2011; De Mauri et al., 2014). *Brevundimonas vesicularis* es una bacteria aerobia que se ha aislado de orina, muestras cervicales y también se ha encontrado en el esputo pulmonar de pacientes con fibrosis quística (Ryan y Pembroke, 2018). *B. vesicularis* ha sido reportada en previos estudios como bacteria aerotransportable (Fang et al., 2007; Lee et al., 2012a; Liang et al., 2013; Fang et al., 2016). Esta bacteria ha sido reportada como causante de diferentes infecciones humanas como cervicitis, bacteriemia, neumonía y endocarditis (Shang et al., 2012; Ryan y Pembroke, 2018). *Staphylococcus* sp. incluye un grupo de especies patógenas humanas oportunistas y resistentes que colonizan las superficies mucosas y son el agente causal de muchas infecciones agudas y crónicas graves (Nair et al., 2014). Diferentes estudios han reportado que la mayoría de especies de este género son ubicuas en muestras de bioaerosol (Harrison et al., 2005; Fang et al., 2007; Soto et al., 2009; Chen et al., 2012; Liang et al., 2013; Hurtado et al., 2014; Arfken et al., 2015). Las especies del género *Bacillus* tienen la capacidad de formar esporas, característica que les permite sobrevivir en las condiciones desfavorables presentes en la atmósfera, ya que mediante la formación de esporas resistentes a la desecación este género es capaz de sobrevivir en un ambiente hostil (Fang et al., 2007). Estudios previos han reportado este como un género dominante

en áreas urbanas, rurales, forestales y costeras (Fang et al., 2007; Chen et al., 2012; Liang et al., 2013; Hurtado et al., 2014; Shin et al., 2015).

En cuanto a los hongos identificados se evidencio una dominancia del filo *Ascomycota*, resultados que son consistentes con lo reportado en estudios previos (Shelton et al., 2002; Shin et al., 2015). *Bipolaris* y *Varicosporium* fueron los géneros fúngicos más representativos en el área de estudio analizada. Las especies del género *Bipolaris* son hongos dematiaceos, filamentosos, de naturaleza cosmopolita y generalmente están presentes en residuos vegetales y en el suelo (Manamgoda et al., 2014), y han sido también aislados de muestras de bioaerosoles en ambientes externos (Shelton et al., 2002; Negrin et al., 2007; Fatahinia et al., 2018). Aunque las especies del género *Bipolaris* son conocidos por causar enfermedades en las plantas, en los últimos años se han reportado algunas especies (*B. australiensis*, *B. hawaiiensis* y *B. spicifera*) causantes de infecciones en humanos y animales como sinusitis fúngica, queratitis micótica, úlceras corneales y celulitis orbitaria (El Khizzi et al., 2010). Por su parte, el género *Varicosporium* sp. incluye hongos saprofitos de suelo (Campbell et al., 2019) y se ha reportado la presencia de este hongo en muestras de bioaerosoles en viviendas (Rocchi et al., 2017).

De acuerdo con las estadísticas realizadas por la Secretaria de Salud de Soacha la morbilidad en este municipio se presenta por condiciones transmisibles y nutricionales, y dentro de las principales causas se encuentran las infecciones respiratorias y parasitarias. Asimismo, se ha reportado que el agua, el aire y los alimentos contaminados son considerados los principales vehículos involucrados en la transmisión de bacterias y hongos asociados a estas enfermedades. La situación de salud pública en el municipio de Soacha posiblemente puede estar relacionada con la exposición de la población a bioaerosoles microbiológicos, y su cercanía a fuentes contaminadas, ya que la exposición a fenómenos medioambientales fueron una de las causas más frecuentes de visita a los servicios médicos en relación con problemas respiratorios y enfermedades gástricas se refiere (Rodríguez, 2019).

Las bacterias y hongos aerotransportables cultivables identificadas en este estudio podrían tener una

implicación importante en los casos de infecciones respiratorias, enfermedades infecciosas y dermatitis reportados en las veredas de Cubsio y El Charquito. Por lo tanto, es necesario realizar futuros estudios para determinar la relación entre estos bioaerosoles y la incidencia de estas enfermedades en los habitantes de esta región.

## Conclusiones

El análisis del perfil microbiológico de la lluvia horizontal en la región del Salto del Tequendama reveló la presencia de bacterias y hongos aerotransportables en las veredas de Cubsio y El Charquito, probablemente asociada a la existencia de lluvia horizontal y a la cercanía de estas veredas con el río Bogotá. Igualmente, se encontró que las especies bacterianas más abundantes en esta zona fueron *Stenotrophomonas maltophilia*, *Brevundimonas versicularis*, *Staphylococcus* sp. y *Bacillus* sp, y en una menor proporción estuvieron presentes *Acinetobacter lwoffii*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Empedobacter brevis*, *Shewanella putrefaciens* y *Weeksella virosa*. En el caso de los hongos los géneros detectados fueron *Varicosporium* y *Bipolaris*. Este estudio representa una línea base para futuros estudios relacionados con la medición de bioaerosoles en la región del Salto del Tequendama, que permitan determinar su posible impacto en la población.

## Referencias

- Abbott, I., Slavin, M., Turnidge, J., Thursky, K., Worth, L., 2011. *Stenotrophomonas maltophilia*: emerging disease patterns and challenges for treatment. *Expert Rev Anti Infect Ther* 9(4), 471-488. DOI: 10.1586/eri.11.24
- Acosta Mercado, P., Zambrano Feo, I., 2019. Evaluación del comportamiento de los bioaerosoles fúngicos en el área de influencia de la estación de calidad del aire ubicada en el parque Tres Ave María de Barranquilla, Atlántico. Tesis de doctoral. Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia.
- Arfken, A., Song, B., Sung, J., 2015. Comparison of airborne bacterial communities from a hog farm and spray field. *J. Microbiol. Biotechnol.* 25, 709-717. DOI: 10.4014/jmb.1408.08005
- Bogomolova, E., Kirtsideli, I., 2009. Airborne fungi in four stations of the St. Petersburg Underground

- railway system. *Int. Biodeterior. Biodegradation* 63(2), 156-160. DOI: 10.1016/j.ibiod.2008.05.008
- Bowers, R., McLetchie, S., Knight R., Fierer, N., 2011. Spatial variability in airborne bacterial communities across land-use types and their relationship to the bacterial communities of potential source environments. *ISME J.* 5, 601-612. DOI: 10.1038/ismej.2010.167
- Bragoszewska, E., Biedroń, I., Kozielska, B., Pastuszka, J., 2018. Microbiological indoor air quality in an office building in Gliwice, Poland: analysis of the case study. *Air Qual. Atmos. Health* 11, 729-740. DOI: 10.1007/s11869-018-0579-z
- Cabo Verde, S., Almeida, S., Matos, J., Guerreiro, D., Meneses, M., Faria, T., Botelho, D., Santos, M., Viégas, C., 2015. Microbiological assessment of indoor air quality at different hospital sites. *Res. Microbiol.* 166(7), 557-563. DOI: 10.1016/j.resmic.2015.03.004
- Campbell, J., Marvanová, L., Gulis, V., 2009. Evolutionary relationships between aquatic anamorphs and teleomorphs: *Tricladium* and *Varicosporium*. *Mycol. Res.* 113(11), 1322-1334. DOI: 10.1016/j.mycres.2009.09.003
- Canha, N., Almeida, S., Freitas, M., Wolterbeek, H., 2015. Assessment of bioaerosols in urban and rural primary schools using passive and active sampling methodologies. *Arch. Environ. Prot.* 41(4), 11-22. DOI: 10.1515/aep-2015-0034
- Castro Fernández, M., Díaz Casallas, D., Montenegro Marín, C., 2015. Análisis de la calidad del agua del río Bogotá durante el periodo 2008-2015 a partir de herramientas de minería de datos. *Public. Invest.* 9, 37. DOI: 10.22490/25394088.1432
- Cha, S., Srinivasan, S., Jang, J., Lee, D., Lim, S., Kim, K., Jheong, W., Lee D.-W., Park, E.-R., Chung, H.-M., Choe, J., Kim, M., Seo, T., 2017. Metagenomic analysis of airborne bacterial community and diversity in Seoul, Korea, during december 2014, Asian dust event. *PLoS ONE* 12(1), e0170693. DOI: 10.1371/journal.pone.0170693
- Chen, X., Ran, P., Ho, K., Lu, W., Li, B., Gu, Z., Song, C., Wang, J., 2012. Concentrations and size distributions of airborne microorganisms in Guangzhou during summer. *Aerosol Air Qual. Res.* 12(6), 1336-1344. DOI: 10.4209/aaqr.2012.03.0066
- Cho, E.-M., Hong, H., Park, S., Yoon, D., Goung, S., Lee, C., 2019. Distribution and influencing factors of airborne bacteria in public facilities used by pollution-sensitive population: a meta-analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16(9), 1483. DOI: 10.3390/ijerph16091483
- Cho, B., Hwang, C., 2011. Prokaryotic abundance and 16S rRNA gene sequences detected in marine aerosols on the East Sea (Korea). *FEMS Microbiol. Ecol.* 76(2), 327-341. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2011.01053.x
- Curtis, L., Rea, W., Smith-Willis, P., Fenyves, E., Pan, Y., 2006. Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environ. Int.* 32(6), 815-830. DOI: 10.1016/j.envint.2006.03.012
- De la Rosa, M., Mosso, M., Ullán, C., 2002. El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Obs. Medioambient.* 5, 375-402.
- De Mauri, A., Torreggiani, M., Chiarinotti, D., Andreoni, S., Molinari, G., De Leo, M., 2014. *Stenotrophomonas maltophilia*: an emerging pathogen in dialysis units. *J. Med. Microbiol.* 63(11), 1407-1410. DOI: 10.1099/jmm.0.076513-0
- Domsch, K., Gams, W., Anderson, T., 1980a. Compendium of soil fungi. Vol. 1. Academic Press, Londres.
- Domsch, K., Gams, W., Anderson, T., 1980b. Compendium of soil fungi. Vol. 2. Academic Press, Londres.
- El Khizzi, N., Bakheshwain, S., Parvez, S., 2010. *Bipolaris*: a plant pathogen causing human infections: an emerging problem in Saudi Arabia. *Res. J. Microbiol.* 5(3), 212-217. DOI: 10.3923/jm.2010.212.217
- Fahlgren, C., Hagström, Å., Nilsson, D., Zweifel, U., 2010. Annual variations in the diversity, viability, and origin of airborne bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 76(9), 3015-3025. DOI: 10.1128/AEM.02092-09
- Fang, Z., Ouyang, Z., Zheng, H., Wang, X., Hu, L., 2007. Culturable airborne bacteria in outdoor environments in Beijing, China. *Microb. Ecol.* 54(3), 487-496. DOI: 10.1007/s00248-007-9216-3
- Fang, Z., Yao, W., Lou, X., Hao, C., Gong, C., Ouyang, Z., 2016. Profile and characteristics of culturable airborne bacteria in Hangzhou, Southeast of China. *Aerosol Air Qual. Res.* 16, 1690-1700. DOI: 10.4209/aaqr.2014.11.0274
- Faridi, S., Hassanvand, M., Naddafi, K., Yunesian, M., Nabizadeh, R., Sowlat, M., Kashani, H., Gholampour, A., Niazi, S., Zare, A., Nazmara, S., Alimohammadi, M., 2015. Indoor/outdoor relationships of bioaerosol concentrations in a retirement home and a school dormitory. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 8190-8200. DOI: 10.1007/s11356-014-3944-y
- Fatahinia, M., Zarei-Mahmoudabadi, A., Shokri, H., Ghaymi, H., 2018. Monitoring of mycoflora in outdoor air of different localities of Ahvaz, Iran. *J. Mycol. Med.* 28(1), 87-93. DOI: 10.1016/j.mycmed.2017.12.002
- Fedesarrollo, 2013. Análisis de la situación energética de Bogotá y Cundinamarca. Bogotá, DC.
- Flores-Tena, F., Guerrero-Barrera, A., Avelar-González, F., Ramírez-López, E., Martínez-Saldaña, M., 2007. Pathogenic and opportunistic Gram-negative bacteria in soil, leachate and air in San Nicolás landfill at Aguascalientes, Mexico. *Rev. Latinoam. Microbiol.* 49(1-2), 25-30.
- Gandolfi, I., Bertolini, V., Ambrosini, R., Bestetti, G., Franzetti, A., 2013. Unravelling the bacterial diversity

- in the atmosphere. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 97, 4727-4736. DOI: 10.1007/s00253-013-4901-2
- Gao, X.-L., Shao, M.-F., Wang, Q., Wang, L.-T., Fang, W.-Y., Ouyang, F., Li, J., 2018. Airborne microbial communities in the atmospheric environment of urban hospitals in China. *J. Hazard. Mater.* 349, 10-17. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2018.01.043
- González, M., Diamont P., D., Gutiérrez, B., 2011. Técnica de tinción de estructuras fúngicas con colorantes vegetales como una alternativa no contaminante. *Bioagro* 23(1), 65-68.
- Gołofit-Szymczak, M., Górny, R., 2010. Bacterial and fungal aerosols in air-conditioned office buildings in Warsaw, Poland - The winter season. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 16(4), 465-476. DOI: 10.1080/10803548.2010.11076861
- Haddrell, A., Thomas, R., 2017. Aerobiology: experimental considerations, observations, and future tools. *Appl. Environ. Microbiol.* 83(17), e00809-17. DOI: 10.1128/AEM.00809-17
- Hamoda, M., Mahmoud, H., 2018. Microbiological characteristics of indoor air bioaerosols in a waste paper recycling factory. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 16, 2601-26-10. DOI: 10.1007/s13762-018-1694-y
- Han, Y., Yang, K., Yang, T., Zhang, M., Li, L., 2019. Bioaerosols emission and exposure risk of a wastewater treatment plant with A<sup>2</sup>O treatment process. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 169, 161-168. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.11.018
- Harrison, R., Jones, A., Biggins, P., Pomeroy, N., Cox, C., Kidd, S., Hobman, J., Brown, N., Beswick, A., 2005. Climate factors influencing bacterial count in background air samples. *Int. J. Biometeorol.* 49, 167-178. DOI: 10.1007/s00484-004-0225-3
- Holdridge, L., 1962. The determination of atmospheric water movements. *Ecology* 43(1), 1-9. DOI: 10.2307/1932033
- Huertas, M., Acevedo-Barrios, R., Rodríguez, M., Gaviña, J., Arana, R., Arciniegas, C., 2018. Identification and quantification of bioaerosols in a tropical coastal region: Cartagena de Indias, Colombia. *Aerosol Sci. Eng.* 2(4), 206-215. DOI: 10.1007/s41810-018-0037-1
- Hurtado, L., Rodríguez, G., López, J., Castillo, J., Molina, L., Zavala, M., Quintana, P., 2014. Characterization of atmospheric bioaerosols at 9 sites in Tijuana, Mexico. *Atmos. Environ.* 96, 430-436. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.07.018
- Jeon, H., Kim, J., Cho, T., Ji, D., Hong, E., Son, B., 2010. Assessment of airborne bioaerosols in Korean apartment houses. *Toxicol. Environ. Health Sci.* 2, 268-273. DOI: 10.1007/BF03217493
- Jiřík, V., Machaczka, O., Ovesná, V., Miturová, H., Holendová, E., Janoutová, J., Janout, V., 2016. Bioaerosols in the suburbs of Ostrava during a one year period. *Cent. Eur. J. Public Health* 24(Suppl.), 55-60. DOI: 10.21101/cejph.a4534
- Jo, W.-K., Seo, Y.-J., 2005. Indoor and outdoor bioaerosol levels at recreation facilities, elementary schools, and homes. *Chemosphere* 61(11), 1570-1579. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.04.103
- Joon-Heo, K., Bae-Kim, H., Lee, B., 2014. Concentration of environmental fungal and bacterial bioaerosols during the monsoon season. *J. Aerosol. Sci.* 77, 31-37. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2014.07.001
- Khan, M., Coulibaly, S., Abe, M., Furukawa, N., Kubo, Y., Nakaoji, Y., Kawase, Y., Matsumoto, T., Hasei, T., Deguchi, Y., Nagaoka, H., Yamagishi, N., Watanabe, M., Honda, N., Wakabayashi, K., Watanabe, T., 2018. Seasonal fluctuation of endotoxin and protein concentrations in outdoor air in Sasebo, Japan. *Biol. Pharm. Bull.* 41(1), 115-122. DOI: 10.1248/bpb.b17-00745
- Kim, K.-H., Kabir, E., Jahan, S., 2018. Airborne bioaerosols and their impact on human health. *J. Environ. Sci.* 67, 23-35. DOI: 10.1016/j.jes.2017.08.027
- Kim, K.-H., Park, J.-B., Jang, G.-Y., Kim, C.-N., Lee, K.-J., 2007. Assessment of bioaerosols in the public buildings of Korea. *Indoor Built Environ.* 16(5), 465-471 DOI: 10.1177/1420326X07082534
- Lee, B.-R., Cha, M.-J., Jeong, C.-S., Kim, J.-S., 2012a. Distribution and characteristics of culturable airborne microorganisms in composting facility and landfill. *Korean J. Microbiol.* 48(1), 8-15. DOI: 10.7845/kjm.2012.48.1.008
- Lee, B., Hong, I., Hee Lee, D., Chong, E.-S., Jung, J., Lee, J., Kim, H., Lee, I., 2012b. Bacterial bioaerosol concentrations in public restroom environments. *Aerosol Air Qual. Res.* 12, 251-255. DOI: 10.4209/aaqr.2011.07.0097
- Lee, B., Lee, G., Heo, K., 2016. Concentration of culturable bioaerosols during winter. *J. Aerosol Sci.* 94, 1-8. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2015.12.002
- Li, C., Hou, P., 2003. Bioaerosol characteristics in hospital clean rooms. *Sci. Total Environ.* 305(1-3), 169-176. DOI: 10.1016/S0048-9697(02)00500-4
- Li, M., Qi, J., Zhang, H., Huang, S., Li, L., Gao, D., 2011. Concentration and size distribution of bioaerosols in an outdoor environment in the Qingdao coastal region. *Sci. Total Environ.* 409(19), 3812-3819. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.06.001
- Liang, R., Xiao, P., She, R., Han, S., Chang, L., Zheng, L., 2013. Culturable airborne bacteria in outdoor poultry-slaughtering facility. *Microbes. Environ.* 28(2), 251-256. DOI: 10.1264/jsme2.ME12178
- Liu, T., Chen, L.-W., Zhang, M., Watson, J., Chow, J., Cao, J., Chen, H., Wang, W., Zhang, J., Zhan, C., Liu, H., Zheng, J., Chen, N., Yao, R., Xiao, W., 2019. Bioaerosol concentrations and size distributions during

- the autumn and winter seasons in an industrial city of central China. *Aerosol Air Qual. Res.* 19(5), 1095-1104. DOI: 10.4209/aaqr.2018.11.0422
- Madhwal, S., Prabhu, V., Sundriyal, S., Shridhar, V., 2020. Distribution, characterization and health risk assessment of size fractionated bioaerosols at an open landfill site in Dehradun, India. *Atmos. Pollut. Res.* 11(1), 156-169. DOI: 10.1016/j.apr.2019.10.002
- Manamgoda, D., Rossman, A., Castlebury, L., Crous, P., Madrid, H., Chukeatirote, E., Hyde, K., 2014. The genus *Bipolaris*. *Stud. Mycol.* 79, 221-288. DOI: 10.1016/j.simyco.2014.10.002
- Mantilla, I., Ochoa, F., Martínez, R., 2016. Consideraciones históricas y físicas sobre la altura del salto del Tequendama con los datos de Humboldt. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exac. Fís. Nat.* 40(157), 580-584. DOI: 10.18257/raccefyn.392
- Moon, K., Huh, E., Jeong, H., 2014. Seasonal evaluation of bioaerosols from indoor air of residential apartments within the metropolitan area in South Korea. *Environ. Monit. Assess.* 186, 2111-2120. DOI: 10.1007/s10661-013-3521-8
- Morgado, W., 2017. Evaluación de bioaerosoles fungí asociados a un relleno sanitario ubicado en el municipio de Tubara, departamento del Atlántico. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas, Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.
- Nair, N., Biswas, R., Götz, F., Biswas, L., 2014. Impact of *Staphylococcus aureus* on pathogenesis in polymicrobial infections. *Infect. Immun.* 82(6), 2162-2169. DOI: 10.1128/IAI.00059-14
- Negrin, M., Del Panno, M., Ronco, A., 2007. Study of bioaerosols and site influence in the La Plata area (Argentina) using conventional and DNA (fingerprint) based methods. *Aerobiologia* 23, 249. DOI: 10.1007/s10453-007-9069-8
- Pagalilauan, H., Paraoan, C., Vital, P., 2018. Detection of pathogenic bioaerosols and occupational risk in a Philippine landfill site. *Arch. Environ. Occup. Health* 73(2), 107-114. DOI: 10.1080/19338244.2017.1299087
- Prazmo, Z., Krysińska-Traczyk E., Skórska, C., Sitkowska, J., Cholewa, G., Dutkiewicz, J., 2003. Exposure to bioaerosols in a municipal sewage treatment plant. *Ann. Agric. Environ. Med.* 10, 241-248.
- Qi, J., Li, M., Zhen, Y., Wu, L., 2018. Characterization of bioaerosol bacterial communities during hazy and foggy weather in Qingdao, China. *J. Ocean Univ. China* 17(3), 516-526. DOI: 10.1007/s11802-018-3307-2
- Rocchi, S., Valot, B., Reboux, G., Millon, L., 2017. DNA metabarcoding to assess indoor fungal communities: Electrostatic dust collectors and Illumina sequencing. *J. Microbiol. Methods* 139, 107-112. DOI: 10.1016/j.mimet.2017.05.014
- Rodríguez Gutiérrez, L., 2019. Análisis de situación de salud (ASIS) Colombia, 2020. Ministerio de Salud y Protección Social, Bogotá, DC.
- Romero Bohórquez, C., Castañeda Alvarado, D., Acosta Peñaloza, G., 2016. Determinación de la calidad bacteriológica del aire en un laboratorio de microbiología en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Bogotá, Colombia. *Nova* 14(26), 129-137. DOI: 10.22490/24629448.1756
- Rubiano-Labrador, C., Hurtado Hurtado, A., Salamanca, J., 2018. Búsqueda de bacterias oxidadoras de azufre para su potencial uso en la producción de biogás de alta pureza. *Rev. Investig. Agrar. Ambient.* 9(2), 295-304.
- Ryan, M., Pembroke, J., 2018. *Brevundimonas* spp: Emerging global opportunistic pathogens. *Virulence* 9(1), 480-493. DOI: 10.1080/21505594.2017.1419116
- Seoáñez Calvo, M., Bellas Velasco, E., Seoanez Oliet, P., 2002. Tratado de la contaminación atmosférica: problemas, tratamiento y gestión. Mundi-Prensa, Madrid.
- Shang, S.-T., Chiu S., Chan, M.-C., Wang, N.-C., Yang, Y.-S., Lin, J.-C., Chang, F.-Y., 2012. Invasive *Brevundimonas vesicularis* bacteremia: Two case reports and review of the literature. *J. Microbiol. Immunol. Infect.* 45(6), 468-472. DOI: 10.1016/j.jmii.2011.12.021
- Shelton, B., Kirkland, K., Flanders, W., Morris, G., 2002. Profiles of airborne fungi in buildings and outdoor environments in the United States. *Appl. Environ. Microbiol.* 68(4), 1743-1753. DOI: 10.1128/AEM.68.4.1743-1753.2002
- Shin, S.-K., Kim, J., Ha, S.-M., Oh, H.-S., Chun, J., Sohn, J., Yi, H., 2015. Metagenomic insights into the bioaerosols in the indoor and outdoor environments of childcare facilities. *PLoS ONE* 10, e0126960. DOI: 10.1371/journal.pone.0126960
- Soto, T., Lozano, M., Vicente-Soler, J., Cansado, J., Gaceto, M., 2009. Microbiological survey of the aerial contamination in urban areas of the city of Murcia, Spain. *Anal. Biol.* 31, 7-13.
- Suárez Roldán, M., 2017. Estudio de bioaerosoles fúngicos captados de filtros PM10 de tres estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire del Valle de Aburrá. Tesis de maestría. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Temkiv, T., Finster, K., Hansen, B., Nielsen, N., Karlson, U., 2012. The microbial diversity of a storm cloud as assessed by hailstones. *FEMS Microbiol. Ecol.* 81(3), 684-695. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2012.01402.x
- Reyes Delgado, J., Sánchez Gutiérrez, J., 2019. Determinación de las concentraciones de cromo contenidos en el material particulado respirable y determinación de las concentraciones de bioaerosoles en las localidades de los Mártires y Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá D.C. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Bogotá, DC.

- Väitilingom, M., Attard, E., Gaiani, N., Sancelme, M., Deguillaume, L., Flossmann, A., Amato, P., Delort, A.-M., 2012. Long-term features of cloud microbiology at the puy de Dôme (France). *Atmos. Environ.* 56, 88-100. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2012.03.072
- Venegas, C., Diez, H., Blanch, A., Jofre, J., Campos, C., 2015. Microbial source markers assessment in the Bogotá River basin (Colombia). *J. Water Health* 13, 801-810. DOI: 10.2166/wh.2015.240
- Zhong, X., Qi, J., Li, H., Dong, L., Gao, D., 2016. Seasonal distribution of microbial activity in bioaerosols in the outdoor environment of the Qingdao coastal region. *Atmos. Environ.* 140, 506-513. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.06.034