



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**ESTRUCTURA Y PATRONES DE COLONIZACIÓN DEL  
ENSAMBLE MICROBIANO EN FUENTES ORNAMENTALES  
URBANAS (MEDELLÍN - COLOMBIA) Y SUS POTENCIALES  
AFECTACIONES EN LA SALUD PÚBLICA**

**Karen Jhoana Palacio Gómez**

**Universidad de Antioquia**

**Facultad de Ingeniería**

**Maestría en Ingeniería Ambiental**

**Medellín, Colombia**

**2020**



Estructura y patrones de colonización del ensamble microbiano en fuentes ornamentales urbanas (Medellín - Colombia) y sus potenciales afectaciones en la salud pública

Karen Jhoana Palacio Gómez

Trabajo de Investigación presentado como requisito para optar al título de Magíster en Ingeniería Ambiental

Directora

Esnedy Hernández Atilano

Asesores

Dr. rer. nat. Néstor Jaime Aguirre Ramírez

PhD. Ricardo Omar Echenique

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería Ambiental

Medellín

2019

## Agradecimientos

Gracias principalmente a mi familia por creer en mí y su paciencia en mis momentos de ausencia.

Agradezco a mis amigos: Daniela Álvarez, por tantos años de amistad y apoyo incondicional. Maikol Córdoba, por sus palabras positivas y consejos. Elizabeth Flórez, gracias por hacer parte fundamental en todo este proceso, definitivamente es un logro compartido.

Gracias a Camilo Álvarez por toda su ayuda.

Gracias al grupo de investigación GeoLimna. De forma muy especial a Ana Zabala y Mateo Parra, por regalarme siempre su perspectiva y apoyo. Agradezco a todos los que de una u otra forma me acompañaron en este trabajo: Juan Carlos Guzmán, Cristian Botero, César Olmos, Juan Pablo Serna, Julián Ruíz y Benjamín Atehortúa.

Gracias a Diana Agudelo, Rubén Molina y Yamilet Arcos por brindarme su tiempo y ser una guía en diferentes etapas de la maestría.

Finalmente, infinitas gracias a la profesora Esnedy Hernández. Gracias por confiar en mí, por brindarme tantas oportunidades en estos años y por ser un referente en mi camino como persona y como profesional.

Hay una parte de cada uno de ustedes en este trabajo.

## Contenido

Agradecimientos .....	2
Contenido .....	4
Lista de tablas .....	5
Lista de figuras .....	6
Lista de anexos.....	7
Resumen .....	8
Introducción.....	9
Problema de investigación.....	12
Objetivos .....	14
Objetivo general .....	14
Objetivos específicos .....	14
Metodología.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Área de estudio .....	15
Diseño de muestreo .....	17
Premuestreo.....	17
Muestreo .....	18
Capítulo 1: Clasificación de la estructura y patrones de colonización del ensamble microbiano según las características del sustrato y variables químicas de las fuentes ornamentales .....	24
Introducción.....	24
Metodología.....	26
Resultados y discusión .....	29
Variables fisicoquímicas.....	29
Bacterias .....	33
Hongos.....	36
Algas .....	39
Protozoos y metazoarios .....	41
Patrones de colonización del ensamble microbiano, características del sustrato y variables fisicoquímicas.....	43

Conclusiones .....	48
Capítulo II: Implicaciones y afectaciones potenciales del ensamble microbiano en la salud pública según las características de las fuentes .....	51
Introducción.....	51
Metodología.....	53
Resultados y discusión .....	54
Ensamble microbiano .....	55
Factores que favorecen las afectaciones a la salud pública asociada a la presencia de fuentes ornamentales .....	59
Clasificación de las fuentes estudiadas según el riesgo a la salud pública.....	61
Conclusiones .....	65
Conclusiones generales .....	67
Recomendaciones .....	69
Bibliografía .....	71
Anexos .....	82

## Lista de tablas

Tabla 1. Fuentes ornamentales ubicadas en la ciudad de Medellín y el Valle de Aburrá incluidas en el premuestreo .....	17
Tabla 2. Fuentes ornamentales seleccionadas para el estudio .....	18
Tabla 3. Fuentes seleccionadas para el estudio.....	20
Tabla 4. Variables fisicoquímicas para las 5 fuentes estudiadas y estadísticos descriptivos de las variables.....	30
Tabla 5. Grupos bacterianos registrados en las 5 fuentes de estudio.....	34
Tabla 6. Hongos presentes en las 5 fuentes estudiadas.....	37
Tabla 7. Clasificación de grupos funcionales aplicada a los morfotipos algales identificadao en las fuentes. Tomado de Kruk et al. (2010).....	39

Tabla 8. Algas perifíticas según la clasificación de grupos funcionales en las 5 fuentes estudiadas.....	40
Tabla 9. Protozoos y metazoarios presentes en las 5 fuentes estudiadas .....	41
Tabla 10. Elementos estructurales, de diseño, contaminación, presencia de microorganismos, tipo de contacto con la comunidad y protocolos de limpieza que pueden favorecer afectaciones a la salud humana relacionadas con las fuentes ornamentales estudiadas .....	63
Tabla 11. Clasificación de riesgo para las 5 fuentes ornamentales según los elementos estructurales que pueden favorecer afectaciones a la salud humana .....	64

## Lista de figuras

Figura 1. Inventario de algunas fuentes ornamentales ubicadas en la ciudad de Medellín y el Valle de Aburrá.....	16
Figura 2. Distribución espacial en la ciudad de Medellín de las cinco fuentes ornamentales seleccionadas para el estudio.....	19
Figura 3. Esquema metodológico.....	22
Figura 4. Esquema metodológico Capítulo I.....	28
Figura 5. Tendencias de dispersión y tendencia central de las variables fisicoquímicas en las 5 fuentes estudiadas para las 3 réplicas.....	33
Figura 6. Análisis de componentes principales (PCA) para el complejo microbiano y las variables ambientales.....	44
Figura 7. Análisis de conglomerados con la comunidad algal para las 5 fuentes estudiadas.....	45
Figura 8. Esquema metodológico Capítulo II .....	54

## Lista de anexos

Anexo 1. Fotografías de la toma de muestras en las 5 fuentes ornamentales estudiadas.....	82
Anexo 2. Fotografías de cultivos de bacterias para las 5 fuentes estudiadas. (A) Escherichia coli (B) Pseudomonas aeruginosa (C) Acinetobacter baumannii (D) Bacillus subtilis. Tomadas por Camila Garcés .....	83
Anexo 3. Fotografía del cultivo de Fusarium sp. Tomadas por Camila Garcés.....	84
Anexo 4. Fotografía de algunos organismos algales identificados en las fuentes. tomada en magnificación de 400X (A) Chlorella sp. (B) Cyanophyceae filamentosas. Fotografías propias .....	85
Anexo 5. Fotografía de ameba (A) y nemátodo (B) identificados en la investigación. Fotografías propias.....	86
Anexo 6. Fotografías de las fuentes durante los muestreos realizados. Fotografía propia ..	87
Anexo 7. Inventario de fuentes de la ciudad de Medellín.....	88
Anexo 8. Resultados Análisis de Componentes Principales.....	90
Anexo 9. Resultados ANOVA .....	91
Anexo 10. Verificación de supuestos ANOVA .....	92

## Resumen

En zonas de espacio público es común encontrar estructuras como fuentes ornamentales de agua, que, al integrarse con la dinámica de las zonas urbanas, proporcionan beneficios tanto ambientales como sociales en las zonas circundantes. Sin embargo, al ser compartimentos acuosos las fuentes ornamentales se asemejan a un ecosistema acuático, con alta disponibilidad de luz, nutrientes, materia orgánica, etc., propiciando hábitats ideales para la inoculación, incubación, proliferación y dispersión de microorganismos con potencial patógeno. De igual forma, la presencia de diversos organismos puede verse propiciada por el material de construcción, ubicación y falta de normativa orientada a la reglamentación de los protocolos de limpieza y manejo adecuado.

Considerando lo anterior, se seleccionaron 5 fuentes ornamentales ubicadas en la ciudad de Medellín, Colombia, con características contrastantes en su ubicación, material de construcción, contaminación incidente y protocolos de manejo. Posteriormente se tomaron muestras del biofilm de estas estructuras, con el fin de identificar el ensamble microbiano presente en la fuente, así como su relación con características fisicoquímicas y sus posibles afectaciones en la salud pública.

En general, las fuentes estudiadas presentaron características diferenciales con relación al ensamble microbiano estudiado, conformado por bacterias, hongos, algas, protozoos y metazoarios. Estas diferencias pueden estar asociadas principalmente al tipo de sustrato, al presentarse una clara separación entre las fuentes fabricadas entre sustrato liso y rugoso. Además, se identificaron diversos organismos con características patógenas que pueden afectar la salud del ser humano, por lo que las fuentes ornamentales pueden considerarse importantes reservorios de infecciones, al presentar además una alta posibilidad de contacto con la comunidad y evidenciar escasos protocolos de limpieza y desinfección.



## Introducción

Las zonas urbanas son los principales centros de concentración poblacional en el mundo. Sus procesos económicos y políticos determinan en gran medida las transformaciones sociales, impactando directamente los estudios científicos de la ciudad y del espacio urbano. La dinámica compleja de los centros urbanos requiere cada vez más de la participación interdisciplinaria, con diversas perspectivas y metodologías, que permitan lograr una mayor comprensión de las urbes (Márquez Pulido, 2014). El impacto generalizado del desarrollo urbano ha dejado altos niveles de perturbaciones en los ecosistemas acuáticos, por lo que se han realizado diversos estudios limnológicos orientados a comprender la dinámica de los cuerpos de agua en este contexto específico, y a proponer diversas medidas de manejo que permitan el desarrollo de las grandes urbes paralelamente a la conservación de sus ecosistemas (Burkowska-But *et al.*, 2013; Fazi *et al.*, 2016; He *et al.*, 2016; Henny & Meutia, 2014; Hu *et al.*, 2018; Koperski, 2010; Lorenz *et al.*, 2017; Šebo *et al.*, 2019; Szczepocka *et al.*, 2019; Tato-Rodríguez *et al.*, 2016; Torres-Franco *et al.*, 2019; Walker, Christopher & Lucke, 2019; Weerasinghe & Handapangoda, 2019; Zarringhalam *et al.*, 2019).

Los ecosistemas urbanos suelen estar integrados por árboles de las vías, bosques urbanos, parques, entre otros. Dentro de la configuración de los parques es común encontrar estructuras como fuentes ornamentales de agua, que, al integrarse con la dinámica de las zonas urbanas, proporcionan beneficios tanto ambientales como sociales en las zonas circundantes (Axelsson *et al.*, 2014; Bolund & Hunhammar, 1999; Faeth *et al.*, 2005; He *et al.*, 2016; Ibes, 2016; Nowak & Heisler, 2010; Perkins, 1973; Rådsten Ekman *et al.*, 2015; Shochat *et al.*, 2006; Silva & Wheeler, 2017). Por ejemplo, en el Plan Cívico vigente de la ciudad de Medellín se incluye como criterio de manejo para estas zonas “Dotarlas con amoblamiento urbano de ornamentación con énfasis en esculturas, fuentes y jardines dentro de su diseño, estableciendo una nueva relación activa con la naturaleza y la cultura e introduciendo elementos contrastantes con gran contenido expresivo, tanto en la arquitectura como en los espacios públicos” (Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín, 2014).

Las fuentes ornamentales funcionan a través de un sistema en el que el agua se extrae de una fuente, llena un recipiente y se drena nuevamente, manteniendo una dinámica de recirculación (A. J. Hynynen *et al.*, 2012). Aunque el objetivo fundamental de las fuentes en zonas urbanas era el abastecimiento, actualmente su función es principalmente ornamental (Baeza *et al.*, 2017; Bulut & Atabeyoğlu, 2007; Faeth *et al.*, 2005) teniendo incluso fines recreativos y de dispersión social, como sucede en la ciudad de Medellín.

Al ser compartimentos acuosos las fuentes ornamentales simulan un ecosistema acuático, con alta disponibilidad de luz, nutrientes, materia orgánica, etc., propiciando hábitats ideales para la inoculación, incubación, proliferación y dispersión de microorganismos (Biedunkiewicz *et al.*, 2016; Cuzman *et al.*, 2010; Eisenstein *et al.*, 2008; Fleming *et al.*, 2000; Hlady *et al.*, 1993; M. Jones *et al.*, 2006; T. F. Jones *et al.*, 2003; Keshari & Adhikary, 2014; Lau & Harte, 2007; Peraza Zurita *et al.*, 2005a; Pietrini & Ricci, 2005; Sarró *et al.*, 2006; Sorlini *et al.*, 1994) Esto a su vez puede ser potencializado por el sustrato inherente a las fuentes, ubicación y falta de normativa orientada a la reglamentación de los protocolos de limpieza y manejo adecuado. Si bien en el país existe normativa que reglamente el agua contenida en estanques de piscinas y estructuras similares de recirculación, no se precisa en la norma de estructuras.

En las fuentes ornamentales al presentarse condiciones de manejo cambiantes, posiblemente no ocurre la misma dinámica de ambientes leníticos como lagos y embalses. Pueden no darse factores condicionantes del crecimiento de las comunidades presentes, no se da una entrada y salida de materia recurrente, no se presentan ciclos definidos de compuestos de nitrógeno y fósforo, no hay una descomposición de materia orgánica eficiente, no suceden procesos de mezcla, entre otros. Aunque estos factores pueden verse también alterados en aquellos sistemas leníticos, las fuentes al ser estructuras de menor tamaño, de las cuales se conoce poco de su dinámica microbiana y considerando su amplia incorporación en el desarrollo urbano, requieren de un manejo constante mediante filtración de agua - para eliminar endotoxinas y agentes patógenos - y desinfección - para inactivar agentes patógenos - (de Man *et al.*, 2014) que al no ser adecuado puede llevar a diversos procesos de colmatación de

sedimentos y materia orgánica, y por tanto, a la proliferación de diversas comunidades microbianas.

De este modo, empleando la limnología como herramienta base para el estudio de sistemas acuáticos urbanos, en esta investigación se estudió la asociación entre la estructura y patrones de colonización de la microbiota asociada a estos sistemas y sus posibles implicaciones relacionadas con la salud pública.

## Problema de investigación

En gran parte de los municipios y ciudades del país se localizan comúnmente diversas fuentes ornamentales que hacen parte del espacio público y que pueden constituirse en focos de contaminación, ya sea por el mismo uso que la comunidad hace de estas o por aportes de contaminantes de origen externo como la presencia de aves y otros animales, productos derivados de la combustión vehicular, vertimiento de residuos, entre otros, o bien, por la presencia de microorganismos con potencial patógeno.

Las fuentes ornamentales funcionan a través de una dinámica de recirculación que garantiza la presencia constante de un medio acuoso y zonas de aguas estancadas, creando un ambiente propicio para el desarrollo de un complejo microbiano de bacterias, hongos, algas y protozoos. Las condiciones y dinámica de las fuentes urbanas en combinación con sus características de manejo y la escasez de protocolos claros de limpieza y desinfección promueven la presencia de microorganismos que pueden, incluso, presentar características patogénicas y ocasionar diferentes enfermedades, principalmente respiratorias, gastrointestinales y dermatológicas, lo que en consecuencia puede ser considerado un riesgo importante en la salud pública.

Aunque en Colombia se cuenta con una normativa que reglamenta el agua contenida en estanques de piscinas y estructuras similares de recirculación (Resolución 1618 de 2010), no se hace referencia específica a este tipo de estructuras ornamentales, por lo que no existe un control de los procesos de limpieza y desinfección u otras consideraciones importantes relacionadas con su construcción y operación, relegándose su mantenimiento y dejando la decisión del manejo al responsable o a la autoridad sanitaria. Por tal motivo, se realiza el estudio de la dinámica de estas estructuras, con el fin no solo de caracterizar la presencia de la microbiota asociada y su potencial riesgo a la salud de la población, sino para identificar posibles medidas de gestión que incluyan tanto la elección de materiales como los protocolos de manejo continuo de limpieza y desinfección.

En esta investigación se estudiaron cinco fuentes ornamentales de la ciudad de Medellín, con el fin de resolver la pregunta ¿Por qué las características estructurales y los protocolos de manejo de algunas fuentes ornamentales de la ciudad de Medellín son un ambiente propicio para el desarrollo de microorganismos con implicaciones en la salud pública? Sosteniendo como hipótesis que los escasos protocolos de manejo, limpieza y desinfección de este tipo de estructuras, además de una errónea elección de materiales para su construcción, favorecen la inoculación, incubación y proliferación de microorganismos como bacterias, hongos, algas y protozoos, con posibles implicaciones en la salud de las personas.

## Objetivos

### Objetivo general

Asociar la estructura y patrones de colonización del ensamble microbiano (bacterias, hongos, protozoos y algas), con factores físicos y químicos en diferentes fuentes ornamentales urbanas en Medellín-Colombia y su incidencia en afectaciones a la salud pública.

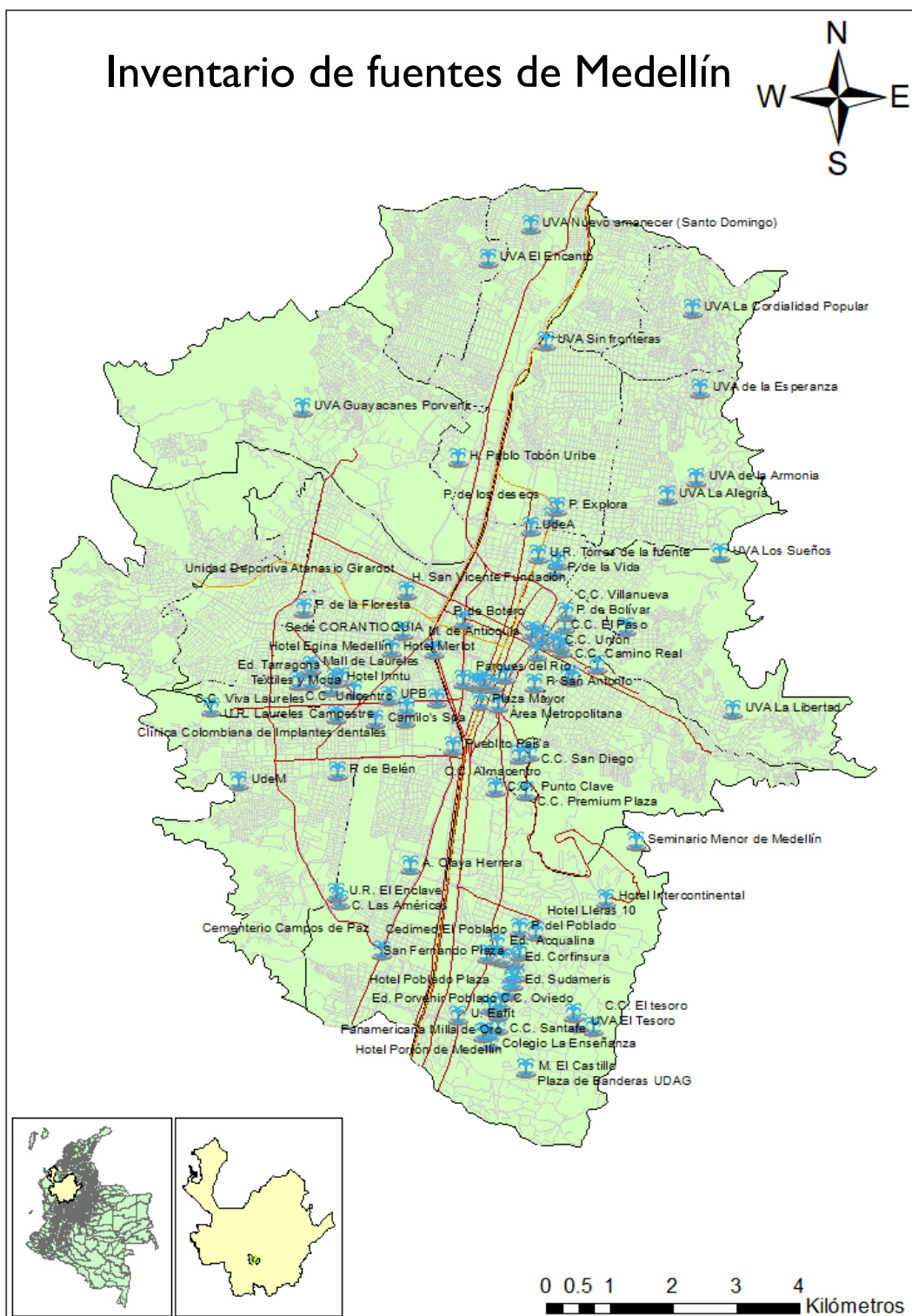
### Objetivos específicos

- I. Determinar la distribución del ensamble microbiano y sus patrones de colonización en diferentes fuentes ornamentales urbanas.
- II. Clasificar la estructura y patrones de colonización del ensamble microbiano con las características del sustrato y variables fisicoquímicas.
- III. Identificar las posibles implicaciones y afectaciones potenciales del ensamble microbiano a la salud pública según el ordenamiento de las características de las fuentes.

## Área de estudio

Las fuentes ornamentales seleccionadas para el estudio se encuentran ubicadas en la ciudad de Medellín, Antioquia. La ciudad tiene una temperatura promedio de 21,5°C y una altura de 1495 metros sobre el nivel del mar. Medellín es el eje de una región metropolitana que se extiende en el Valle de Aburrá y su área de influencia; además, es la capital de Antioquia y como tal ejerce su influencia en la región antioqueña y hace parte del sistema urbano-regional nacional, dentro del cual ocupa un lugar importante (Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín, 2014).

En la ciudad de Medellín se localizan diversas fuentes ornamentales ubicadas en centros comerciales, parques y glorietas **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) con características variables en su morfología y condiciones fisicoquímicas, que además se encuentran sometidas a diferentes tipos de contaminación asociados a aportes directos de materia orgánica o productos derivados del alto tráfico vehicular.



*Figura 1. Inventario de algunas fuentes ornamentales ubicadas en la ciudad de Medellín y el Valle de Aburrá*



## Metodología general

### Diseño de muestreo

#### Premuestreo

Para la selección de las fuentes estudiadas inicialmente se realizó un premuestreo de 10 fuentes ornamentales en la ciudad de Medellín, que, por su ubicación, características de manejo y funcionamiento, pudieran ser de interés dentro del estudio. Además, se tomaron muestras del biofilm, analizadas posteriormente para constatar la presencia de microbiota asociada a estas estructuras (Tabla 1).

*Tabla 1. Fuentes ornamentales ubicadas en la ciudad de Medellín y el Valle de Aburrá incluidas en el premuestreo*

FUENTE ORNAMENTAL	COORDENADAS		CARACTERÍSTICAS
	N	O	
Las Américas	6°12'51,15"	75°35'46,64"	Pública – Sustrato liso
Pablo Tobón	6°14'52,07"	75°33'32,81"	Pública – Sustrato liso
Parque de las Banderas	6°15'18,67"	75°35'22,37"	Pública – Sustrato rugoso
Parque de las Luces	6°14'47,19"	75°34'21,04"	Pública – Sustrato liso
Fuente ENKA	6°13'39,58"	75°34'09,29"	Pública – Sustrato liso
San Diego	6°14'13,85"	75°34'12,41"	Pública – Sustrato rugoso
San Vicente	6°12'51,15"		Privada – Sustrato rugoso
Suramericana	6°15'19,83"	75°34'43,77"	Privada – Sustrato rugoso
Universidad de Antioquia	6°16'02,50"	75°34'08,46"	Pública – Sustrato rugoso
Zona El Poblado	6°11'43,87"	75°34'31,89"	Privada – Sustrato liso

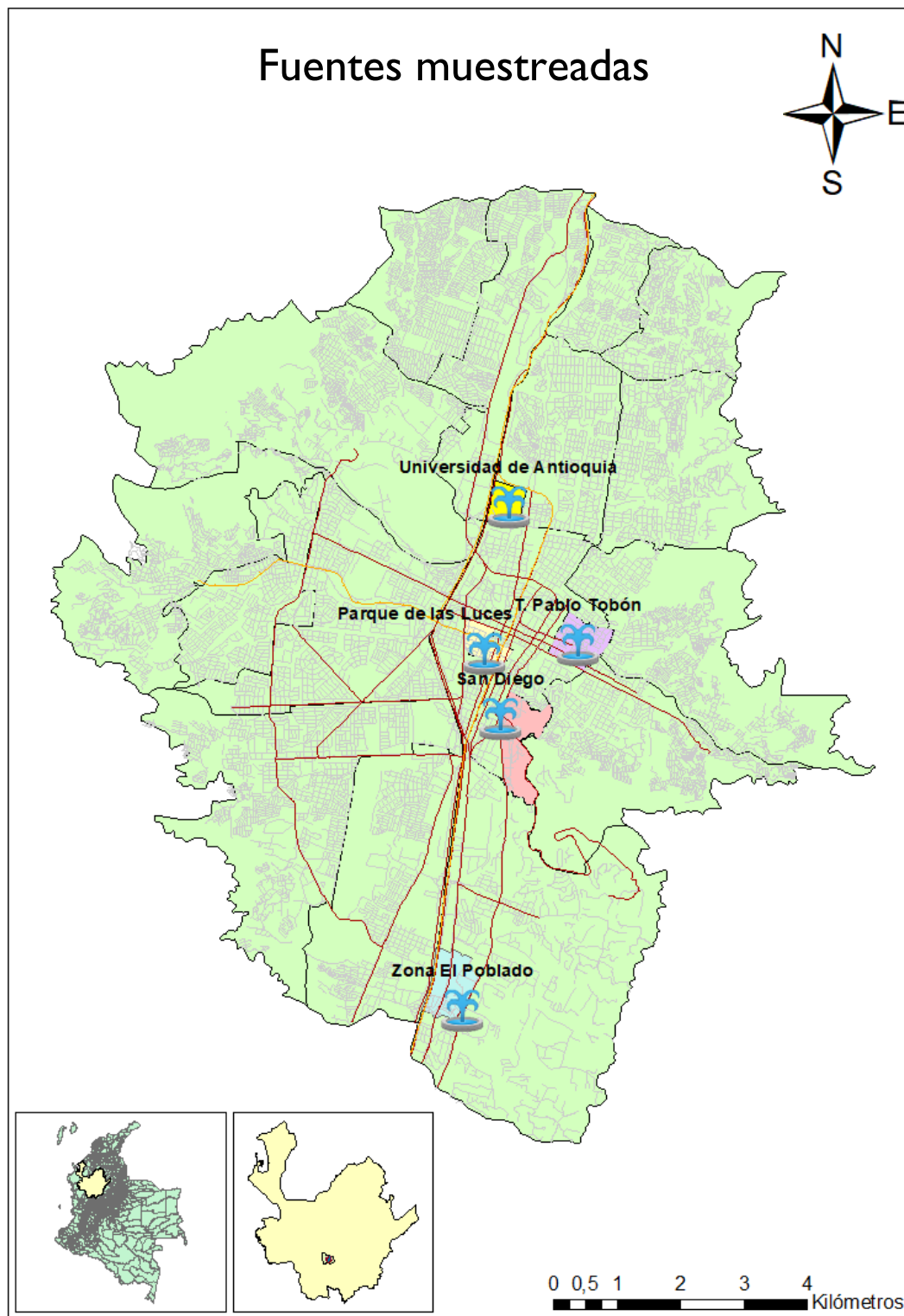
## Muestreo

Con base en el premuestreo se seleccionaron cinco fuentes ornamentales (Tabla 2) con condiciones contrastantes con respecto al sustrato, clasificado en dos tipos: un sustrato tapizado con baldosa de cerámica o gres (sustrato liso), caracterizado principalmente por ser poco poroso y un segundo sustrato elaborado con una combinación de cemento y arenas (sustrato rugoso) con mayor porosidad. Adicionalmente, se tuvo en cuenta la ubicación de las fuentes en la ciudad, los protocolos de manejo y limpieza y los factores contaminantes de exposición: incidencia de alto flujo vehicular, presencia de habitantes de calle que hacen uso de las mismas y permanencia constante de aves que emplean las estructuras como bebederos. Además, se tomaron en cuenta los resultados de la microbiota presente identificada en el premuestreo, como fueron las bacterias y algas, considerando las fuentes con mayor presencia de ambas comunidades.

*Tabla 2. Fuentes ornamentales seleccionadas para el estudio*

FUENTE ORNAMENTAL	ABREVIATURA	COORDENADAS		ENTIDAD RESPONSABLE
		N	O	
<b>Zona Poblado</b>	ZP	6°11'43,87"	75°34'31,89"	Privada
<b>Pablo Tobón</b>	PB	6°14'52,07"	75°33'32,81"	Pública
<b>Parque de las Luces</b>	PL	6°14'47,19"	75°34'21,04"	Pública
<b>San Diego</b>	SD	6°14'13,85"	75°34'12,41"	Pública
<b>Universidad de Antioquia</b>	UA	6°16'02,50"	75°34'08,46"	Pública

Las fuentes seleccionadas están ubicadas en la zona centro y sur de la ciudad de Medellín (Figura 2). Para su elección se identificaron diferentes elementos descriptivos con el fin de establecer criterios diferenciales en las estructuras a estudiar, pero que a la vez sean afines a las características habituales su entorno como elementos del espacio público, como zonas con fácil acceso de transeúntes, alto tráfico vehicular, presencia de aves y aportes eventuales de materia orgánica, como se mencionó anteriormente.



*Figura 2. Distribución especial en la ciudad de Medellín de las cinco fuentes ornamentales seleccionadas para el estudio*

En la Tabla 3 se presentan las fotografías de las cinco fuentes seleccionadas, así como una breve descripción de cada una.

*Tabla 3. Fuentes seleccionadas para el estudio*

CÓDIGO	FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
ZP		<p>Fuente ornamental ubicada en la zona sur de la ciudad. en el área comercial y hotelera del sector.</p>
PB		<p>Fuente ubicada en un reconocido teatro de la ciudad, en un sector con alto flujo vehicular y presencia constante de habitantes de calle.</p>
PL		<p>Fuente ubicada en la Plaza de Cisneros o Parque de las Luces. Un sector de gran incidencia turística, cercana a entidades gubernamentales y bibliotecas de la ciudad. Presencia de habitantes de calle en la zona.</p>

SD



Fuente ubicada en la glorieta de intercambio San Diego, en la zona sur de la ciudad y con presencia de alto flujo vehicular y de habitantes de calle.

UA



Fuente ubicada en la Universidad de Antioquia. Ambiente con menor incidencia de contaminación urbana a excepción de una abundante presencia de palomas.

En las 5 fuentes seleccionadas se realizó una toma de muestras con tres réplicas entre junio y julio de 2019, realizando un raspado del biofilm adherido al sustrato de la estructura, con el fin de analizar el ensamble microbiano conformado por cuatro comunidades: bacterias, hongos, algas y protozoos.

La toma de muestras del ensamble microbiano se realizó a una profundidad de 10 cm por debajo del nivel del agua, en sitios donde la luz del sol fuera constante, garantizando un ambiente lumínico homogéneo y alejado de algún sistema de aireación que afectara el desarrollo de la microbiota en la estructura. Para la toma de muestras se empleó un cuadrante de acetato de 10x10 cm, a través del cual se tomó el material adherido al sustrato utilizando una gasa estéril. Para las bacterias, hongos y protozoos se emplearon recipientes de vidrio con 40 ml de agua destilada estéril. Para las muestras de algas perifíticas se usó una solución Transeau 1:1 para su preservación.

Por otro lado, se realizó la medición in situ de las variables fisicoquímicas: temperatura ambiente, oxígeno disuelto (OD), porcentaje de saturación de oxígeno (%Sat), pH, conductividad y turbidez. Además, se realizó la medición de nitrógeno total Kjeldahl (NTK) por titulometría (límite de cuantificación 1.00 mg/L N), fósforo total (Ptotal) y cloro residual (ClRes) por método espectrofotométrico (límite de cuantificación de 0.1 mg/L P y 0.050 mg/L Cl, respectivamente) y carbono orgánico total (COT) a través de oxidación. (límite de cuantificación de 1.00 mg/L C). En la Figura 3 se presenta la síntesis de la metodología empleada en el estudio.



*Figura 3. Esquema metodológico*

Este trabajo de investigación se estructuró en dos secciones, desarrolladas a manera de capítulo, donde el primero plasma lo correspondiente a los dos objetivos específicos iniciales y el segundo da cuenta del desarrollo del tercer objetivo. En estos se explica la metodología

utilizada, la generación de datos y el análisis de resultados, dando respuesta a la pregunta de investigación planteada y corroborando la hipótesis del trabajo.

# Capítulo I: Clasificación de la estructura y patrones de colonización del ensamble microbiano según las características del sustrato y variables fisicoquímicas de las fuentes ornamentales

## Introducción

Las fuentes ornamentales urbanas forman parte importante del desarrollo del espacio público y construcción colectiva de ciudad, al ser medios propicios para el encuentro y la recreación (A. Hynynen *et al.*, 2012; Vinnari, 2011). Sin embargo, por ser estructuras con recirculación de agua o, en ocasiones, con aguas estancadas, y estar en contacto permanente con diversos tipos de contaminación urbana – flujo vehicular o materia orgánica de diversa procedencia – las fuentes pueden llegar a ser focos de inoculación, incubación, proliferación y dispersión de microorganismos. Estas estructuras se ven particularmente afectadas por la colonización microbiana debido a la presencia constante de agua, lo que permite un crecimiento rápido e intenso en presencia de luz, causando procesos de biodegradación combinados con alteraciones de aspecto visual (Cuzman et al., 2010).

Dado que el acceso público a las fuentes generalmente no tiene restricciones o el control sobre esto es escaso, con frecuencia ocurre que las personas ingresan a las fuentes con fines de aseo personal e, incluso, para consumir el agua. También existen diferentes animales propios de las zonas urbanas (principalmente aves) que, a menudo, usan las fuentes para suplir sus necesidades de consumo y baño, y como depósito del excremento. El uso común de los reservorios de agua por parte de seres humanos y animales puede contribuir a la transmisión de especies patógenas de microorganismos, siendo elementos importantes en la cadena epidemiológica (Burkowska-But et al., 2013). Al no ser un medio natural, no presentan procesos de autodepuración establecidos, por lo que requieren de un manejo constante mediante filtración de agua - para eliminar endotoxinas - y desinfección - para inactivar agentes patógenos - (de Man et al., 2014).



Diferentes estudios se han enfocado en analizar la microbiota asociada a fuentes ornamentales orientados a los eventos potenciales de contaminación, así como a las implicaciones en el biodeterioro de las estructuras y afectaciones estéticas de las mismas (Peraza Zurita et al., 2005; Sarró et al., 2006; Cuzman et al., 2010). Las diferentes condiciones microambientales con áreas constantemente contacto con el agua, o solo húmedas esporádicamente y otras siempre secas, ofrecen un sustrato de crecimiento ideal para una biocenosis compleja, que incluso puede dispersarse hacia otros ambientes (Pietrini & Ricci, 2005). Según Gonzalez-Martin (2017), cuando el material biológico se dispersa desde fuentes de agua – incluyendo fuentes ornamentales – se rodea de una capa delgada de agua, lo que altera sus propiedades aerodinámicas, aumenta la supervivencia de los microorganismos en el aire y facilita su intercambio entre los diferentes sistemas acuáticos urbanos.

Tanto la recirculación constante de agua, la falta de procesos de cloración y mantenimiento, como la presencia de aguas estancadas, puede establecer una relación entre las fuentes ornamentales y la presencia de diferentes microorganismos como bacterias, hongos, algas y protozoos, puesto que el ambiente acuoso propicia que permanezcan metabólicamente activos (Ross & Nichols, 2014). En la literatura se reportan diversos estudios que relacionan la microbiota asociada a las fuentes, reconociendo la presencia de bacterias (Eisenstein et al., 2008; Fleming et al., 2000; Hlady et al., 1993; T. F. Jones et al., 2003; Lau & Harte, 2007); hongos (Biedunkiewicz et al., 2016; Cuzman et al., 2010; Sarró et al., 2006; Sorlini et al., 1994); algas (Cuzman et al., 2010; Keshari & Adhikary, 2014; Peraza Zurita et al., 2005b) y protozoos (Eisenstein et al., 2008; M. Jones et al., 2006).

De acuerdo con lo anterior y considerando la importancia de las fuentes ornamentales en la construcción de espacios públicos y zonas de dispersión en las grandes urbes, así como las principales problemáticas asociados a estas estructuras, este capítulo presenta la distribución del ensamble microbiano y sus patrones de colonización, de acuerdo a las características físicoquímicas y ambientales de 5 fuentes ornamentales localizadas en la zona sur y centro de la ciudad de Medellín, Colombia.

## Metodología

Se realizó la toma de muestras con 3 réplicas del biofilm de 5 fuentes ornamentales ubicadas en la ciudad de Medellín. El método de colecta para todas las comunidades microbiológicas consistió en el raspado del biofilm con una gasa estéril en un área controlada. Las muestras de algas perifíticas fueron preservadas en solución Transeau, mientras que las muestras de hongos, bacterias y protozoos no fueron preservadas al momento de la toma (Figura 4).

La identificación y conteo de las comunidades de protozoos y algas perifíticas fue realizado en un microscopio invertido de la Marca Boeco (Modelo BIB-100). Para la identificación y cuantificación de fitoplancton se empleó la cámara Sedgwick Rafter siguiendo la metodología de Standard Methods Examination of Water and Wastewater (Baird et al., 2017). Para el estudio de bacterias y hongos se emplearon medios de cultivo diferenciales con el objetivo de identificar los microorganismos aislados. Los medios utilizados fueron MacConkey, Cetrimide y EMB. Asimismo, se realizaron pruebas bioquímicas primarias, (oxidasa y catalasa) y se observaron las muestras al microscopio, utilizando la tinción de gram con el fin de clasificar los aislamientos según sus variaciones metabólicas y morfológicas. Adicional, a los microorganismos metabólica y morfológicamente diferentes se les realizó la identificación utilizando el sistema VITEK y Maldi-Tof, que permitían identificar los microorganismos Gram positivos y Gram negativos. El sistema automatizado VITEK combina las lecturas de fluorímetro multicanal y fotómetro para registrar fluorescencia, turbidez y señales colorimétricas, proporcionando una identificación rápida y precisa de estos organismos (Ligozzi *et al.*, 2002).

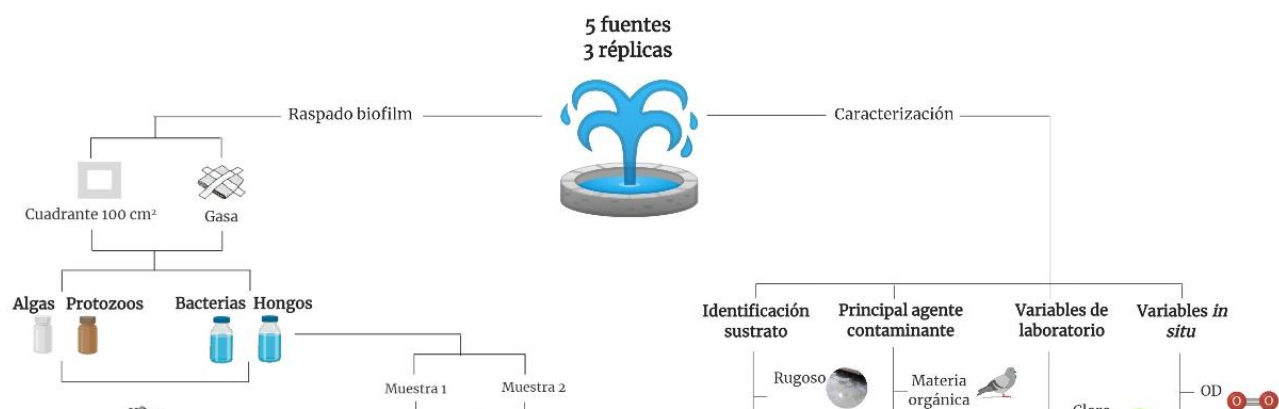
Para el aislamiento e identificación de los hongos, se realizaron siembras en el agar papa dextrosa (PDA) y una vez obtenidos los aislados, se realizaron las identificaciones, basados en la morfología macroscópica de los hongos, obteniendo una aproximación hasta el género de dichos organismos.

De acuerdo con las observaciones en campo, se realizó una clasificación de los diferentes tipos de sustratos frecuentes en las fuentes ornamentales de Medellín, específicamente en las

5 fuentes estudiadas, reconociendo los patrones estructurales comunes y el uso de materiales para su elaboración. Además, se realizó una toma de muestras de variables fisicoquímicas para el análisis en laboratorio (ClRes, COT, NTK, Ptotal), sumado a la toma de muestras de variables *in situ* en las 3 réplicas realizadas (temperatura ambiente, OD, %Sat, pH, conductividad, turbidez)

Con el fin de establecer tendencias que discriminen el ensamble microbiano y las características de las fuentes estudiadas se realizó un análisis de componentes principales (PCA) con las variables previamente estandarizadas ( $\bar{x}$ -min/max-min). Este análisis se ejecutó en el programa CANOCO 4.5. Las nuevas variables o componentes representan una combinación de las variables originales y un número relativamente pequeño de componentes explica la mayor parte de la variación total. De este modo, usando las nuevas componentes creadas, se realizó un ANOVA simple con el fin de identificar diferencias estadísticamente significativas entre las fuentes.

Adicionalmente, se realizó un análisis de conglomerados (Cluster) con cada uno de los grupos microbianos identificados (bacterias, hongos, algas y protozoos) con el fin de determinar patrones de agrupación entre las 5 fuentes estudiadas.



*Figura 4. Esquema metodológico Capítulo I.*

## Resultados y discusión

En el estudio del ensamble microbiano de las 5 fuentes ornamentales seleccionadas se obtuvieron resultados de 4 variables analizadas en laboratorio (Cloro Residual: ClRes, Carbono orgánico total: COT, Fósforo total: Ptotal y Nitrógeno total Kjeldahl: NTK); además de datos de variables fisicoquímicas *in situ*. En relación con el complejo microbiano, se identificó la presencia de las cuatro comunidades objetivo (bacterias, hongos, algas y protozoos), con una composición y estructura diferente en cada sistema estudiado.

### Variables fisicoquímicas

Los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas *in situ* y de laboratorio de las 5 fuentes estudiadas son descritos mediante la media aritmética, el coeficiente de variación y los valores máximos y mínimos (Tabla 4). Si bien en las fuentes ornamentales estudiadas no se reportó la aplicación de normativa para su tratamiento, las disposiciones de la Resolución 1618 de 2010 se aplican al “agua contenida en estanques de piscinas y estructuras similares de recirculación” característica principal de estas estructuras. Debido a esto, se toman como valores guía para algunas variables lo dispuesto en dicha resolución.

De acuerdo con lo expuesto en la (Tabla 4), el pH de las fuentes registró valores en un rango de 7 - 8, valores acordes a los permitidos dentro de la Resolución 2618 (Rango entre 7 – 8 unidades de pH). En relación con la turbidez, la resolución presenta como valor aceptable 2 NTU, encontrándose que este valor fue sobrepasado por las fuentes Pablo Tobón (2,29 NTU), San Diego (2,17 NTU) y Universidad de Antioquia (2,70 NTU), en estas últimas puede relacionarse con el material del sustrato (rugoso del tipo concreto) y el desprendimiento de partículas de concreto en el agua, mientras que en Pablo Tobón el valor de turbidez puede deberse al estancamiento de aguas y el encendido irregular de la fuente evidenciado durante la toma de muestras.

La variable conductividad presentó valores por debajo del valor guía de la resolución (2400  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ). Las fuentes Universidad de Antioquia (303,00  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) y San Diego (278,50  $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

presentaron los valores más altos de las 5 fuentes en estudio, posiblemente relacionado también con su sustrato rugoso, sin embargo, ambos valores se encontraron por debajo del valor aceptado como guía.

Los valores de cloro residual deben encontrarse entre 1 – 3 mg/L Cl según lo establecido en la resolución, sin embargo, únicamente la Fuente Zona Poblado (ZP) presentó un valor cercano a este rango (3,80 mg/L Cl). En comparación, los valores de cloro residual para las otras fuentes fueron bajos (entre 0,2 y 0,1 mg/L Cl) tomando la Resolución 2618/2010 como guía. Durante la toma de muestras no se evidenció la desinfección o limpieza de la fuente Pablo Tobón (PB), en la cual se identificaron aguas constantemente estancadas, con presencia de residuos sólidos y uso habitual por parte de habitantes de calle. En la fuente San Diego (SD) se evidenció inicialmente la presencia del encargado de mantenimiento, el cual realizaba procesos periódicos de desinfección y limpieza de sólidos suspendidos, sin embargo, posteriormente se observó una disminución en la ejecución de estos protocolos, por lo que la fuente acumuló residuos y se redujo significativamente la cloración. Finalmente, en la fuente Universidad de Antioquia (UA) se realizan constantes protocolos de limpieza y desinfección (hasta con 8 kg de cloro), sin embargo, en laboratorio se obtuvieron bajos valores de cloro residual, esto puede deberse al momento de la toma de muestra, a la rápida evaporación del cloro (Pérez López & Espigares García, 1995) o a concentraciones de materia orgánica producto de la presencia constante de palomas, pues se conoce que la materia orgánica tiende a inactivar la acción desinfectante del cloro (Diomedi *et al.*, 2017).

*Tabla 4. Variables fisicoquímicas para las 5 fuentes estudiadas y estadísticos descriptivos de las variables*

FUENTES	VARIABLES <i>IN SITU</i>						VARIABLES DE LABORATORIO			
	%SAT (%)	OD (mg/L)	COND ( $\mu$ S/cm)	PH	TEMP (°C)	TURB (NTU)	ClRes (mg/L Cl <sub>2</sub> )	COT (mg/L C)	Ptotal (mg/L P)	NTK (mg/L N)
<b>ZP</b>	98,10	7,28	199,13	7,37	26,33	1,92	3,80	0,00	0,00	3,21
<b>PB</b>	84,93	6,40	163,90	7,41	26,33	2,29	0,20	1,51	0,00	3,21
<b>PL</b>	90,47	6,66	250,73	7,33	26,00	1,37	0,10	3,15	0,06	2,99
<b>SD</b>	100,97	7,50	278,50	7,63	27,33	2,17	0,10	3,56	0,00	3,31
<b>UA</b>	100,23	7,42	303,00	7,36	25,33	2,70	0,10	5,71	0,00	7,92
<b>Media</b>	94,94	7,05	239,05	7,42	26,26	2,09	0,86	2,79	0,65	4,13
<b>CV (%)</b>	7,35	6,97	<b>23,87</b>	1,63	2,75	<b>23,51</b>	<b>191,17</b>	77,55	<b>218,51</b>	51,43
<b>Mínimo</b>	84,93	6,40	163,90	7,33	25,33	1,37	0,01	0,00	0,00	2,99
<b>Máximo</b>	100,97	7,50	303,00	7,63	27,33	2,70	3,80	5,71	3,21	7,92

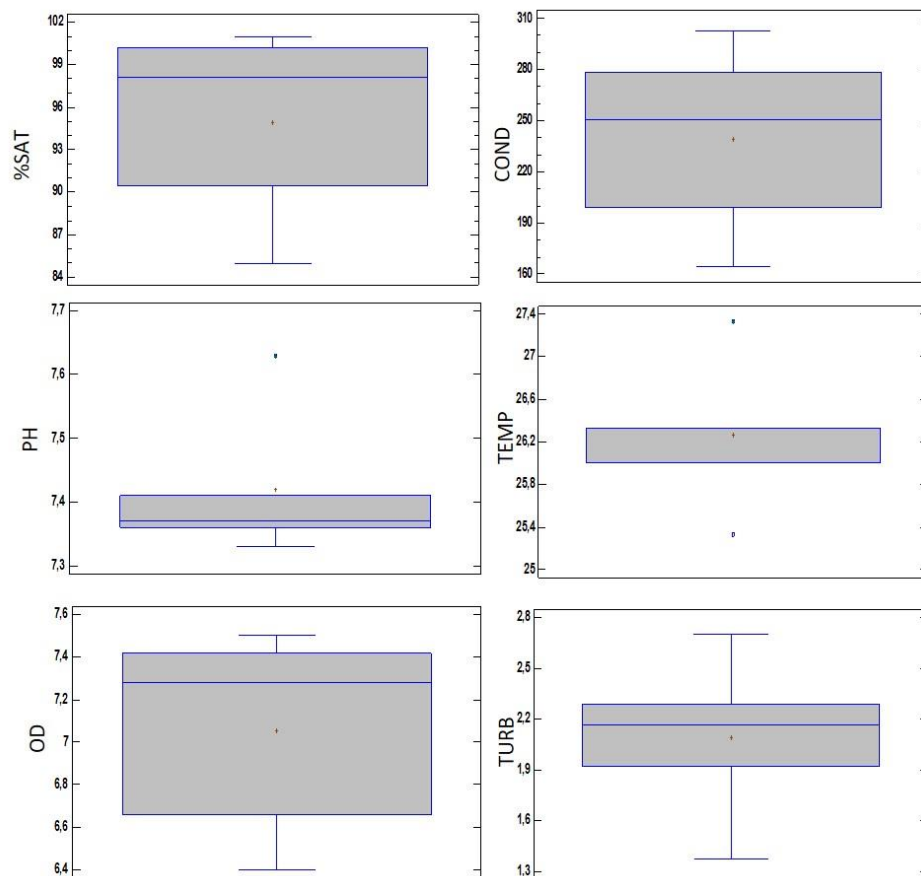
**ZP: Zona Poblado; PB: Pablo Tobón; PL: Parque de las Luces; SD: San Diego; UA: Universidad de Antioquia. Porcentaje de saturación: %SAT; Oxígeno Disuelto: OD; Conductividad: COND; Temperatura: TEMP; Turbiedad: TURB; Cloro residual: ClRes; Carbono orgánico total: COT; Fósforo total: Ptotal; Nitrógeno total Kjeldahl. Coeficiente de variación: CV**

De acuerdo con los valores del CV y las cajas esquemáticas (Figura 5), las variables *in situ* presentaron una menor dispersión en comparación con las variables analizadas en laboratorio. La conductividad y la turbidez presentaron las variaciones más altas de este conjunto de variables, como ya se mencionó. El fósforo total y el cloro residual presentaron una mayor dispersión de los datos, debido a la presencia de valores atípicos, ambos atribuidos a la fuente Zona Poblado (ZP), posiblemente sometida a desinfección con cloro previo al muestreo.

De las 5 fuentes estudiadas, la fuente Zona Poblado (ZP) presentó el mayor valor para la variable fósforo total (3,21 mg/L P), de acuerdo con las características descriptivas del entorno no se evidenció una posible razón para la presencia de este, podría relacionarse con la composición del material de construcción de la fuente, sin embargo, se requiere de un estudio especializado para validar dicha afirmación. Por otro lado, en las fuentes se reportaron valores de nitrógeno total Kjeldahl, encontrándose valores cercanos a 3 mg/L N,

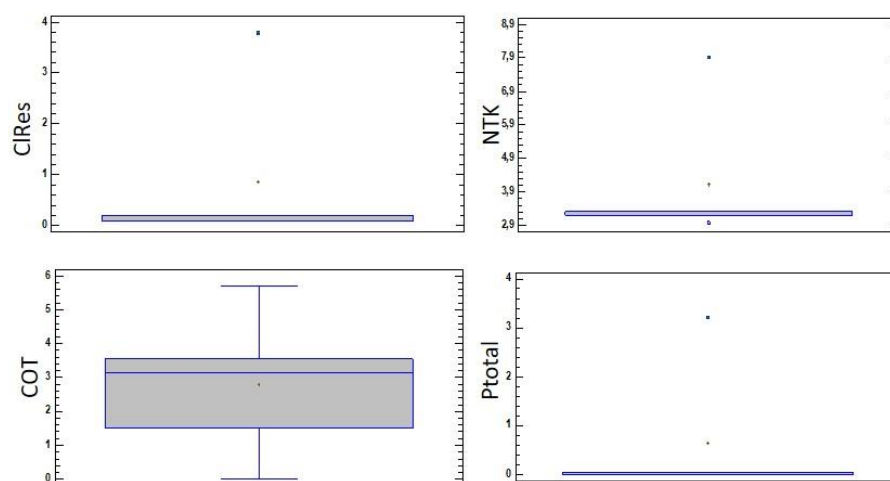
a excepción de la fuente Universidad de Antioquia (UA) donde el valor reportado fue de 7,92 mg/L N, resultado que puede asociarse con la abundante presencia de palomas en la fuente, cuyo excremento tiene contenido de nitrógeno (Arias *et al.*, 2017).

## VARIABLES IN SITU





VARIABLES DE LABORATORIO



*Figura 5. Tendencias de dispersión y tendencia central de las variables fisicoquímicas en las 5 fuentes estudiadas para las 3 réplicas.* En la gráfica se puede observar para cada variable la media (determinada por la línea central de la caja), la mediana (marcada con una cruz) y finalmente, los percentiles extremos (prolongaciones de la caja)

## Bacterias

La presencia de bacterias en sistemas permanentemente húmedos, como las fuentes ornamentales, es común y ha sido documentado en diferentes estudios (Costa et al., 2015; Fleming et al., 2000; Hlady et al., 1993; T. F. Jones et al., 2003; Lau & Harte, 2007; Palmore et al., 2009), esto se debe básicamente a que las bacterias requieren un medio acuoso para desarrollar sus actividades metabólicas y de crecimiento (Fenchel, 2011). Para este estudio se realizó una caracterización dividiendo dos grandes grupos: bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, siendo una clasificación útil observable a través de la tinción de Gram (Gram, 1884). La diferencia fundamental entre estas bacterias está en la estructura de la pared celular, las Gram-negativas no retienen el colorante durante el proceso de tinción ya que presentan una capa muy delgada de peptidoglucano en su pared celular y su capa más externa está cubierta por una membrana de lipoproteínas (Berríos & Ilabaca, 2019); por otro lado, las bacterias Gram-positivas están constituidas por una gruesa capa de peptidoglucano y

contienen grandes cantidades de ácido teicoico, cuya función es estabilizar la pared celular, adicionalmente, los ácidos teicoicos tienen un rol en la virulencia de estos microorganismos, al actuar como antígenos de superficie que se unen a receptores específicos en las células del huésped (De Los Ángeles *et al.*, 2017; Pérez & Mota, 2006).

En las 5 fuentes estudiadas se identificó la presencia de bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, siendo este último el grupo más diverso con la representación de 8 taxones, mientras que las Gram-positivas solamente registraron 2 (Tabla 5).

*Tabla 5. Grupos bacterianos registrados en las 5 fuentes de estudio*

CLASIFICACIÓN	TAXONES	PRESENCIA EN EL ESTUDIO*	FUENTE				
			ZP	PB	PL	SD	UA
Gram-negativa	<i>Acinetobacter haemolyticus</i>	3				X	X
	<i>Aeromonas hydrophila</i>	2				X	X
	<i>Enterobacter cloacae complex</i>	1		X			
	<i>Escherichia coli</i>	6		X	X	X	X
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	6	X	X	X	X	X
	<i>Kluyvera sp.</i>	2		X			
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	8	X	X		X	X
	<i>Pseudomonas putida</i>	4	X			X	X
Gram-positiva	<i>Bacillus subtilis</i>	2		X	X		
	Coco Gram-positivo	1		X			
N.I.							
<b>Número de especies o géneros reportados por fuente</b>			3	7	3	6	6
<b>Promedio Unidades Formadoras de Colonia (UFC)</b>			109	128	101	77	80

**\*Presencia en el estudio hace referencia al número de veces que se identificó el organismo considerando las réplicas y duplicados en las 5 fuentes. ZP: Zona Poblado; PB: Pablo Tobón; PL: Parque de las Luces; SD: San Diego; UA: Universidad de Antioquia. Porcentaje**

Las especies *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia coli*, con presencia importante en el estudio, son comunes en ambientes con diversas características, especialmente asociados a ambientes húmedos (Costa et al., 2015), además de estar vinculadas a afectaciones en la salud humana (Tortora et al., 2004) también se han relacionado con la degradación de materiales de construcción (Sarró et al., 2006). Según lo

reportado en el estudio y teniendo en cuenta la presencia de la especie *Klebsiella pneumoniae* en las 5 fuentes estudiadas, podría inferirse que esta bacteria posee una alta capacidad para colonizar sustratos y ambientes con características diversas, de acuerdo a las condiciones específicas de la investigación. En cuanto a la especie *Pseudomonas aeruginosa* se conoce que puede inhibir el crecimiento de otras bacterias, al poseer catabolitos, como la pirocianina, que tienen un efecto bactericida sobre coliformes (Vaconcelos et al., 2010). Por tanto, ambas especies pueden presentar ventajas importantes para la colonización de las fuentes estudiadas. Por su parte, *Escherichia coli* puede incluir no solo cepas comensales sino también patógenas, causantes de una gran variedad de enfermedades humanas, además de presentar una amplia distribución en ambientes acuáticos, usados tanto para recreación como para el consumo (Jang et al., 2017).

En las fuentes de sustrato rugoso: San Diego (SD) y Universidad de Antioquia (UA), se identificó un mayor número de taxones de la comunidad bacteriana (6 taxones en ambas), a excepción de la fuente Pablo Tobón (7 taxones), en comparación con las fuentes de sustrato liso. La presencia de un mayor número de taxones en sustratos rugosos puede estar relacionado con una mayor disponibilidad de hábitats debido a la estructura porosa y una menor eficiencia en el proceso de limpieza y desinfección relacionado precisamente con la naturaleza del material, contrario a los sustratos lisos en los cuales los protocolos de limpieza de paredes y remoción de sólidos pueden realizarse con mayor facilidad.

En contraste, las fuentes asociadas a tipos de sustratos lisos: Zona Poblado (ZP) y Parque de las Luces (PL) presentaron mayores valores para la variable Unidades Formadoras de Colonia (UFC) que las fuentes de sustrato rugoso: Universidad de Antioquia (UA) y San Diego (SD).

Contrario a lo antes expuesto, la fuente Pablo Tobón (PB) presentó mayores valores tanto de número de taxones (7) como de UFC (128 UFC) que las otras 4 fuentes estudiadas. Esta estructura está caracterizada por tener varias piletas construidas en baldosa y múltiples mecanismos de expulsión de agua, que no se encontraban encendidos durante la toma de muestras, presentando aguas constantemente estancadas que pueden favorecer el

crecimiento bacteriano, lo que podría explicar valores más altos de UFC y un mayor número de taxones de bacterias, en comparación con las otras fuentes (Diputación de Granada, 2016; Kim et al., 2013; Lindström et al., 2005; Medina & Neis, 2007). Adicionalmente no se identificó ningún protocolo de limpieza o desinfección en la fuente, lo que sumado a las aguas estancadas y la contaminación orgánica producto del uso de la pileta por parte de habitantes de calle, puede propiciar un hábitat favorable para la presencia y proliferación de la comunidad bacteriana. Lo anterior evidencia que independientemente del tipo de sustrato, un protocolo insuficiente o nulo de estas estructuras puede significar un reservorio para inoculación, incubación y proliferación de estos microorganismos.

Realizando un comparativo entre fuentes de materiales rugosos y lisos, las fuentes de material rugoso (UA y SD) presentaron más taxones, pero menos UFC. Como se mencionó antes, esto podría deberse a la naturaleza del sustrato rugoso y una mayor disposición de hábitat debida a la porosidad. Por el contrario, el sustrato liso (ZP y PL) al tener una estructura homogénea con menor porosidad, permitió la proliferación de un menor número de taxones según lo identificado pero mayores valores de UFC en comparación con el sustrato rugoso, esto puede estar relacionado con características específicas de las bacterias encontradas, un desarrollo más amplio al encontrar menor competencia y una mayor capacidad de adherirse a sustratos poco porosos y proliferar. Según lo identificado, algunas bacterias tienen preferencia por el tipo de sustrato rugoso, como *Acinetobacter haemolyticus* y *Aeromonas hydrophila*, las cuales no fueron identificadas en las fuentes de sustratos lisos.

## Hongos

Dentro de los procesos naturales de los sistemas acuáticos, los hongos, al igual que las bacterias, cumplen funciones de descomposición de la materia orgánica, adaptándose generalmente a ambientes que serían hostiles para las bacterias, resistiendo incluso altos contenidos de sales y azúcares, baja humedad y presencia de carbohidratos complejos, que contrario a las bacterias pueden metabolizar, otorgándoles una importante ventaja ecológica para colonizar una amplia variedad de ambientes (Tortora et al., 2004).

Los resultados cualitativos de hongos en las 5 fuentes de estudio indicaron la presencia de tres tipos de hongos: hongos levaduriformes, hongos compatibles con *Aspergillus* sp. y hongos compatibles con *Fusarium* sp. (Tabla 6). A pesar de no ser abundantes los estudios relacionados con hongos, su presencia en ambientes urbanos ha sido reportada en la literatura (Newbound et al., 2010; Sephton-Clark & Voelz, 2018), además están intrínsecamente asociados con el agua al tener un amplio rango de distribución (Ekowati et al., 2017; Gonçalves et al., 2006).

**Tabla 6. Hongos presentes en las 5 fuentes estudiadas**

CLASIFICACIÓN	PRESENCIA EN EL ESTUDIO*	FUENTE				
		ZP	PB	PL	SD	UA
Levaduriforme	5	X	X	X	X	X
Compatible con <i>Aspergillus</i>	8	X		X	X	X
Compatible con <i>Fusarium</i>	1	X				

**\*Presencia en el estudio hace referencia al número de veces que se identificó el organismo considerando las réplicas y duplicados del análisis de hongos. ZP: Zona Poblado; PB: Pablo Tobón; PL: Parque de las Luces; SD: San Diego; UA: Universidad de Antioquia.**

Los hongos de tipo levaduriforme se presentaron de manera consistente en las 5 fuentes estudiadas, lo que concuerda con su clasificación en la literatura como un organismo ubicuo (Ponton & Cabanes, 2000; Pulido Cortijo et al., 2006). La presencia de hongos levaduriformes en todas las fuentes estudiadas puede estar relacionada con una alta competitividad de los recursos, específicamente nutrientes, por parte de este organismo, característica ya reportada en la literatura (Gonçalves et al., 2006). Adicionalmente, se ha encontrado que un rango de concentración entre 1-3 mg/L Cl no tuvo efectos fungicidas en las células de levadura (Grabińska-Łoniewska et al., 2007).

El género *Aspergillus* se identificó en las fuentes ornamentales, a excepción de la fuente Pablo Tobón (PB). Este género es igualmente común por lo que es probable que se encuentre en suministros de agua y sistemas acuáticos naturales y artificiales; además de estar asociado a la producción de micotoxinas, algunas especies de *Aspergillus* pueden producir estructuras resistentes especializadas llamadas esclerocios, para sobrevivir a condiciones desfavorables

(Abarca, 2000; Palacio, 2016; Ponton & Cabanes, 2000), lo que en consecuencia representa una amenaza en sistemas de agua para consumo o recreación (Gonçalves *et al.*, 2006; Sotero-Martins *et al.*, 2017).

La microbiota compatible con el género *Fusarium* no fue común en las fuentes estudiadas, presentándose únicamente en Zona Poblado (ZP). El género *Fusarium* tiene una amplia presencia en aguas con altos contenidos de nutrientes (Tortora *et al.*, 2004), por lo que su desarrollo podría vincularse con la presencia de fósforo en esta estructura (3,21 mg/L P) contrario a las demás fuentes en estudio.

En la fuente ZP (Zona Poblado) se evidenció la presencia de los 3 hongos clasificados. Esta fuente presentó los valores más altos de cloro residual y fósforo total en el estudio (Tabla 4). Aunque el contenido de fósforo de la pared celular de los hongos es muy variable, el agotamiento de la mayoría de compuestos de fósforo puede afectar el crecimiento continuo de estos organismos (Beever & Burns, 1981; Tortora *et al.*, 2004), lo que podría asociarse con la mayor presencia de hongos en comparación con las demás fuentes estudiadas, como se mencionó anteriormente.

Contrario a lo identificado para la comunidad bacteriana, no se encontró un patrón establecido en la presencia de hongos en las fuentes ornamentales, sin identificar resultados diferenciales entre la presencia de hongos en sustratos lisos o sustratos rugosos. Su presencia puede estar más relacionada con las características del agua de las fuentes, e incluso, con el sistema de distribución de agua usado para el llenado de la pileta, donde también se ha reportado presencia de estos organismos (Gonçalves *et al.*, 2006).

Las diferentes especies de hongos muestran resistencia variable a la cloración, algunos estudios en agua potable demostraron que ciertas especies de hongos eran resistentes a los niveles de cloración comúnmente aplicados (Hageskal *et al.*, 2012; V. J. Pereira *et al.*, 2013; Rosenzweig & Pipes, 1988). Sin embargo, la susceptibilidad de las especies de hongos patógenos a la desinfección no se ha explorado tanto como se ha hecho para otros

organismos, por lo cual se necesitan más estudios para abordar la efectividad del cloro para inactivar hongos en matrices de agua. (V. J. Pereira *et al.*, 2013).






## Algas

En el análisis de algas perifíticas se encontraron 51 morfotipos, con una mayor presencia de Cyanophyceae filamentosas, Chlorophyceae de talla media (dimensión lineal axial entre 0 y 10µm) como el género *Chlorella*, y diatomeas del género *Achnanthes*. Los organismos algales fueron clasificados en grupos funcionales de acuerdo a Kruk *et al.* (2010), identificando 5 grupos funcionales (Tabla 7).

Los géneros algales dominantes son comunes en ambientes acuáticos de agua dulce. Algunas especies del género *Chlorella* sobreviven bajo ciertos factores estresantes, como diferentes contaminantes, así como a la presencia de virus, bacterias y hongos (Lin, 2005). Además, posee una alta capacidad de fotosíntesis a través de la cual puede reproducirse en varias horas, básicamente solo con requerimientos de luz solar, dióxido de carbono, agua y una baja cantidad de nutrientes (Liu & Chen, 2014). Por su parte, el género *Achnanthes* es una diatomea frecuente en muestras de agua dulce a nivel mundial, presente en ambientes con diversas características (Patrick & Reimer, 1966; Round, 2004; Szczepocka *et al.*, 2019).

*Tabla 7. Clasificación de grupos funcionales aplicada a los morfotipos algales identificadas en las fuentes. Tomado de Kruk *et al.* (2010)*

GRUPO	CARACTERÍSTICA	PRINCIPALES MORFOTIPOS IDENTIFICADOS
-------	----------------	--------------------------------------

<b>III</b> 	Filamentos grandes de Cyanobacteria con aerótopos y heterocistos	Filamento Cyanophyceae, <i>Oscillatoria</i> , <i>Pseudanabaena cf.</i>
<b>IV</b> 	Organismos de tamaño mediano sin rasgos especializados	<i>Chlorella</i> , <i>Scenedesmus</i> , <i>Cosmarium</i>
<b>V</b> 	Flagelados unicelulares	<i>Parvodinium</i>
<b>VI</b> 	Diatomeas no flageladas, con exoesqueleto de sílice	<i>Achnanthydium</i> , <i>Cocconeis</i> , <i>Cyclotella</i>
<b>VII</b> 	Colonias, algunas de gran tamaño con mucílago o lípidos	<i>Coelastrum</i> , <i>Aphanocapsa</i> , <i>Coenochloris</i>

De acuerdo a la clasificación de grupos funcionales se reportaron las densidades totales de algas perifíticas para cada una de las fuentes estudiadas (Tabla 8). El Grupo VII presentó la mayor densidad de organismos (11856 Org/cm<sup>2</sup>), representando más del 40% de la densidad total reportada en las fuentes. Este grupo se asocia a morfotipos sensibles a un bajo suplemento de recursos (Kruk et al., 2010), en el que fueron clasificados 18 morfotipos; el mayor número de morfotipos clasificados en los 5 grupos funcionales. El grupo V presentó la menor densidad y número de morfotipos. Según Kruk (2010) Este grupo, que está constituido por flagelados unicelulares de mediano a gran tamaño, presenta tolerancia moderada a la limitación de recursos, lo que favorece su permanencia en ambientes con moderada concentración de nutrientes, pudiendo explicar su presencia mayoritaria en la fuente PL, en la cual se reportaron valores para Ptotal y NTK, y su escasa permanencia en las demás fuentes.

*Tabla 8. Algas perifíticas según la clasificación de grupos funcionales en las 5 fuentes estudiadas*

FUENTE	GRUPO III	GRUPO IV	GRUPO V	GRUPO VI	GRUPO VII	DENSIDAD TOTAL (Org./cm <sup>2</sup> )
--------	-----------	----------	---------	----------	-----------	--



<b>ZP</b>	247	740	21	1192	2712	4911
<b>PB</b>	493	637	0	575	1397	3103
<b>PL</b>	0	205	719	267	1233	2425
<b>SD</b>	21	1829	0	2342	4952	9144
<b>UA</b>	2794	3349	0	82	1562	7788
<b>Densidad total (Org./cm<sup>2</sup>)</b>	3555	6760	740	4459	11856	
<b>Número de morfotipos por grupo</b>	7	15	2	10	18	

**ZP: Zona Poblado; PB: Pablo Tobón; PL: Parque de las Luces; SD: San Diego; UA: Universidad de Antioquia.**

La menor densidad algal se encontró en la fuente PL (Parque de las Luces), caracterizada por presentar un sustrato liso, una estructura de color clara y aguas estancadas, lo que facilita su limpieza y, por tanto, la remoción de biofilm por su coloración. Por el contrario, la fuente SD presentó la mayor densidad de algas, una fuente caracterizada por un sustrato altamente rugoso, en comparación con las otras fuentes estudiadas, que puede facilitar el desarrollo de grupos algales debido a la alta porosidad, así como dificultar los procesos de limpieza del biofilm.

## Protozoos y metazoarios

Se identificaron 2 morfotipos de protozoos: amebas y ciliados y 2 morfotipos de metazoarios: nemátodos y rotíferos. En general, la presencia de protozoos en las fuentes fue baja, tanto en número de morfotipos como en abundancia (Tabla 9).

*Tabla 9. Protozoos y metazoarios presentes en las 5 fuentes estudiadas*

CLASIFICACIÓN	MORFOTIPO	PRESENCIA EN EL ESTUDIO*	FUENTE				
			ZP	PB	PL	SD	UA
<b>Protozoarios</b>	Ameba	9	X				X
	Ciliado	3					X
<b>Metazoarios</b>	Nemátodo	11	X		X		X
	Rotífero	1					X
<b>Número de morfotipos reportados por fuente</b>			2	0	1	0	4

---

**\*Presencia en el estudio hace referencia al número de veces que se identificó el organismo considerando las 3 réplicas realizadas. ZP: Zona Poblado; PB: Pablo Tobón; PL: Parque de las Luces; SD: San Diego; UA: Universidad de Antioquia.**

En los análisis de protozoos se identificaron principalmente amebas, dichos organismos están ampliamente distribuidos en ambientes acuáticos y han sido asociados con importantes implicaciones en la salud de los seres humanos (de Estrada & Uyema, 2013; Hoffmann & Michel, 2001). La exposición a estos protozoos puede darse a través de diferentes vías, entre esas el contacto directo con el agua (Colson et al., 2017) o, incluso, por vía aérea, ya que se ha reportado la presencia de quistes de algunas amebas en el aire (Oddó B., 2006; Á Pereira & Pérez, 2003). Lo anterior puede estar relacionado con la presencia de amebas en las fuentes, debido a los posibles intercambios entre el aire y el agua, especialmente en estructuras con mecanismos de expulsión de agua, como la fuente UA, la cual presenta periodos de encendido más recurrentes, en comparación con las otras fuentes. Además, la presencia de amebas puede estar asociada a la existencia abundante de palomas en la fuente UA (Universidad de Antioquia) relación que ya ha sido reportada en la literatura (Haag-Wackernagel, 2006; Haag-Wackernagel & Bircher, 2010; Haag-Wackernagel & Geigenfeind, 2008; Pirestani et al., 2013; Rosas Arango et al., 2018; Seppo et al., 2019). Pese a que en esta fuente se realizan frecuentes protocolos de limpieza y desinfección, estos pueden no ser suficientes, pues algunas amebas pueden seguir con vida incluso en aguas cloradas (Á Pereira & Pérez, 2003).

Además, en estos sistemas pueden desarrollarse diversas interacciones ecológicas entre el ensamble microbiano, por ejemplo, las amebas tienen la capacidad de establecer y estimular la productividad del biofilm (Khan *et al.*, 2000) contribuyendo al incremento de la microbiota y creando una biocenosis compleja en los sistemas acuosos.

Adicionalmente, se identificó la presencia de nemátodos en las fuentes ZP (Zona Poblado), PL (Parque de las Luces) y UA (Universidad de Antioquia), siendo el organismo más abundante del análisis de protozoarios y metazoarios, especialmente en la fuente UA, donde también se encontró la mayor presencia de grupos algales y protozoos. En algunos casos, los nemátodos pueden pasar los sistemas de filtración y desinfección, sobreviviendo por lo tanto

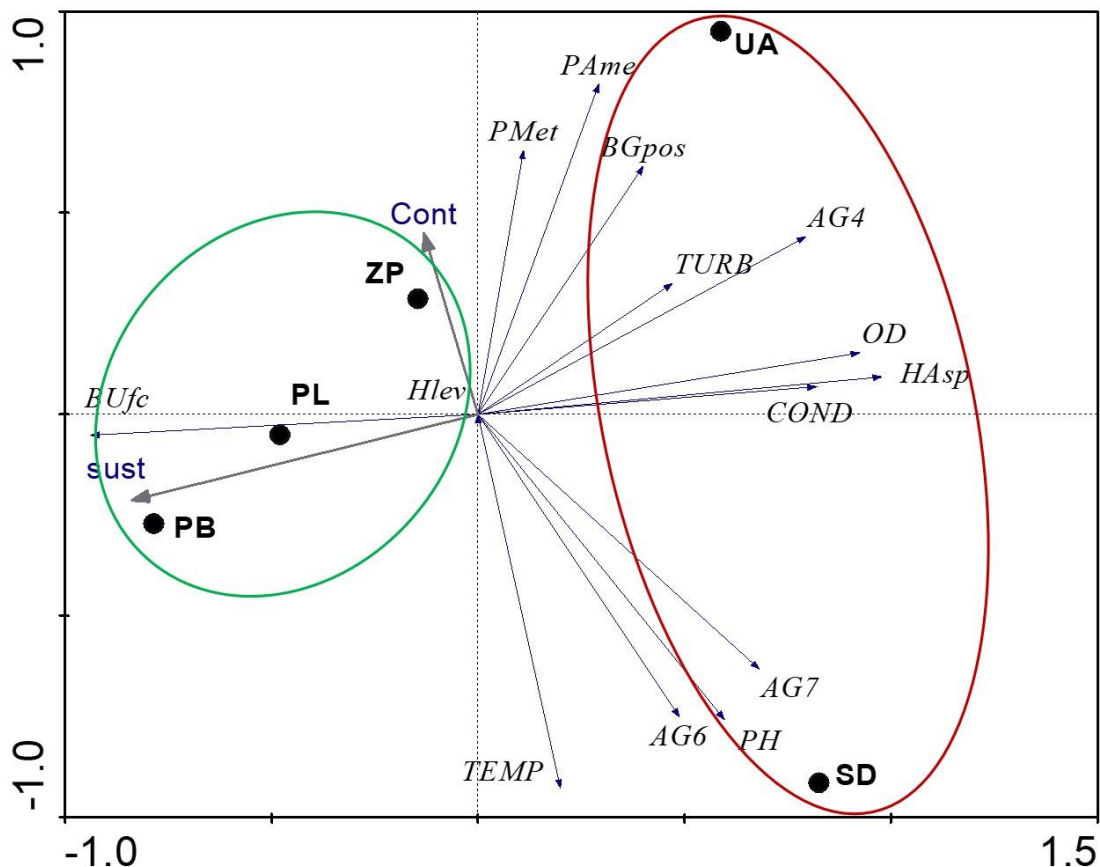
a los procesos de cloración (Klug & Kotarski, 1980; Peinador & Quirós, 2000). Muchas de las especies de nemátodos acuáticos incluyen en su alimentación bacterias patógenas para el hombre, lo que implica la supervivencia de estos otros microorganismos a los sistemas de desinfección (Peinador & Quirós, 2000; Tortora *et al.*, 2004), otorgándoles una mayor ventaja ecológica para colonizar diferentes ambientes y permanecer en ellos.

## Patrones de colonización del ensamble microbiano, características del sustrato y variables fisicoquímicas

El análisis de componentes principales (Figura 6) realizado para las 5 fuentes estudiadas y las variables fisicoquímicas incorporadas (oxígeno disuelto, temperatura, conductividad y turbidez) indicó que el primer componente respondió por el 69,4%, mientras que el segundo componente respondió por el 15,3%, para un porcentaje acumulado del 84,7% con ambas componentes. Este análisis presentó una clara separación entre dos grupos de fuentes: aquellas construidas con sustratos lisos como Zona Poblado (ZP), Pablo Tobón (PB) y Parque de las Luces (PL), marcadas en color verde y las fuentes fabricadas en sustratos rugosos como San Diego (SD) y Universidad de Antioquia (UA), marcadas en color rojo. En congruencia con los análisis descriptivos, las fuentes Zona Poblado (ZP), Pablo Tobón (PB) y Parque de las Luces (PL) presentaron una mayor tendencia a la presencia de diferentes especies bacterianas, descrita a través de la variable UFC, mientras que las fuentes San Diego (SD) y Universidad de Antioquia (UA), presentaron una mayor tendencia de agrupación en asociación con los grupos funcionales algales. En relación con los hongos y los protozoarios y metazoarios, no se identificó un patrón de colonización diferencial entre sustratos lisos o sustratos rugosos, sugiriendo un análisis más profundo de cada una de estas comunidades.

El análisis de componentes principales muestra de igual forma que las variables turbidez, oxígeno disuelto, conductividad y pH están relacionadas con el aumento en la abundancia de los grupos algales, lo cual ocurre principalmente en las fuentes Universidad de Antioquia (UA) y San Diego (SD), mientras que las demás fuentes se relacionan con valores bajos de

estas variables fisicoquímicas e incluso para el caso de Zona Poblado (ZP) no se evidencia una relación importante con el comportamiento fisicoquímico.

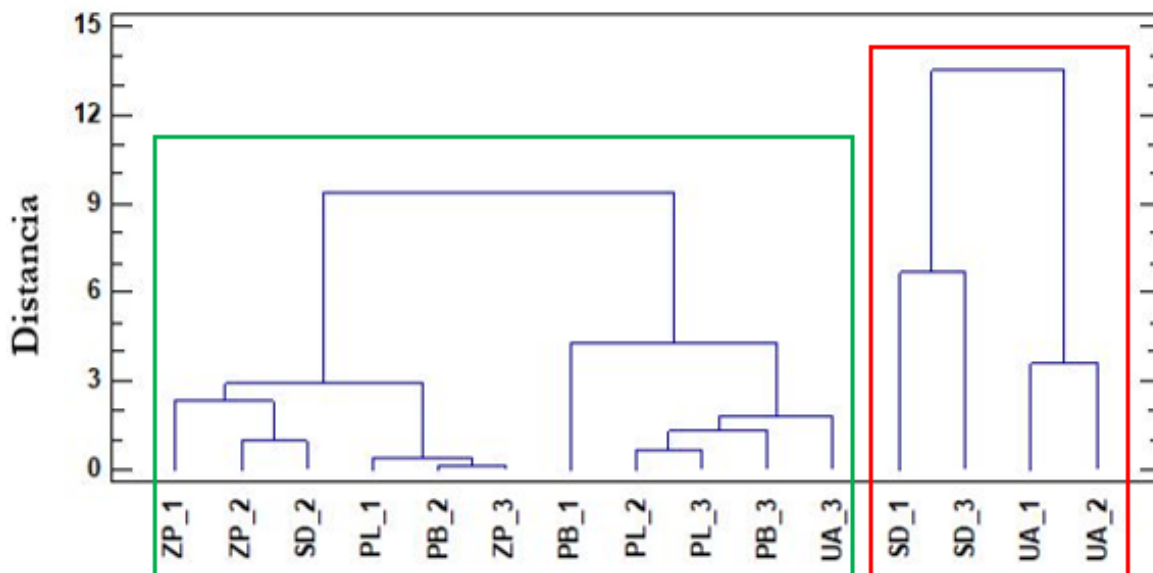


**Figura 6. Análisis de componentes principales (PCA) para el complejo microbiano y las variables ambientales.** ZP: Zona Poblado; PB: Pablo Tobón; PL: Parque de las Luces; SD: San Diego; UA: Universidad de Antioquia. OD: Oxígeno disuelto; TURB: Turbidez; COND: Conductividad Sust: Sustrato; Cont: Contaminación. BUfc: Unidades formadoras de colonias bacterianas; BG: Bacterias Gram-positivas; Hlev: Hongos levaduriformes; HAsp: Hongos compatibles con Aspergillus; AG4: Grupo algal IV; AG6: Grupo algal VI; AG7: Grupo algal VII; PAmc: Amebas; PMet: Metazoarios.

El análisis de varianza ANOVA mostró diferencias estadísticamente significativas entre las fuentes ( $p=0,0087$ ) con un nivel de confianza del 95%. Este resultado va en consonancia con los análisis anteriores, que presentaron una diferenciación entre las fuentes, específicamente las fuentes construidas en sustrato liso y aquellas de sustrato rugoso.

Finalmente, se realizó un análisis de conglomerados con todas las comunidades microbianas estudiadas, sin embargo, solo se obtuvieron resultados con los grupos de bacterias y algas, debido a la baja densidad de datos para hongos y protozoos. El clúster con bacterias mostró una distancia de **0,00**, mientras que para las algas se encontró una distancia de **0,13**, encontrándose una mejor separación para las fuentes.

En el análisis de conglomerados se identificaron dos grupos, uno conformado en su mayoría por las fuentes fabricadas en sustratos lisos: Zona Poblado (ZP), Pablo Tobón (PB) y Parque de las Luces (PL) y el segundo, conformado únicamente por fuentes de sustrato rugoso o concreto: San Diego (SD) y Universidad de Antioquia (UA). Resultados de nuevo congruentes con lo planteado anteriormente, que además exhiben la posibilidad de realizar una caracterización y clasificación de las fuentes a través del estudio de los grupos algales (Figura 7).



*Figura 7. Análisis de conglomerados con la comunidad algal para las 5 fuentes estudiadas. ZP: Zona Poblado; PB: Pablo Tobón; PL: Parque de las Luces; SD: San Diego; UA: Universidad de Antioquia. Los números 1, 2 y 3 hacen referencia a las 3 réplicas tomadas en las fuentes*

Una clasificación más clara con los grupos algales puede estar asociada a la metodología empleada para el análisis de las comunidades microbiológicas, debido a que la mayor

robustez la presentaron las algas. Por lo tanto, la agrupación de la similaridad de fuentes se basó en la abundancia de esta comunidad.

La clasificación y separación de las fuentes a través de los sustratos inherentes también está ligada a la composición del ensamble microbiano, especialmente la presencia de bacterias y algas, a través de las cuales se observó una estructura microbiana diferente asociada al material de construcción de las fuentes. La mayor presencia de UFC se dio en fuentes de sustrato liso (Zona Poblado y Parque de las Luces), mientras que en general un mayor número de taxones fueron identificados en los sustratos rugosos (San Diego y Universidad de Antioquia), lo anterior posiblemente relacionado con la mayor disposición de hábitat propiciado por este tipo de material, así como un mayor esfuerzo de limpieza debido a la porosidad y la posible ineficacia de acción en el proceso de cloración debido a los múltiples intersticios que conforman la estructura. Este tipo de sustratos evidenciaron una mayor riqueza de esta comunidad, más no una mayor abundancia, quizás relacionado con las interacciones propias de la ecología microbiana, lo que requiere la profundización de estos estudios.

Es importante resaltar que el ensamble microbiano de la fuente Pablo Tobón (PB) tuvo un comportamiento diferencial, a pesar de estar conformado por las cuatro comunidades microbianas, a excepción de protozoarios y metazoarios, se evidenció una marcada presencia de la comunidad bacteriana, encontrándose los mayores valores de UFC y número de taxones, en comparación con las otras 4 fuentes. En contraste, en esta fuente se reportó únicamente hongos del tipo levaduriformes, también comunes en las otras fuentes. Posiblemente la presencia dominante de la comunidad bacteriana en la fuente Pablo Tobón (PB) se debe a la competencia implícita de recursos con la micobiota, limitando el crecimiento de esta. Adicionalmente, la fuente presenta características contaminantes evidentes en la toma de muestras, como aguas constantemente estancadas, presencia de residuos sólidos, uso de habitantes de calle y escaso o nulo protocolo de limpieza y desinfección. Esto ocasiona un ambiente acuático de mayor estrés que puede propiciar el desarrollo de organismos resistentes como las bacterias y limitar la presencia de otras comunidades microbianas que podrían interactuar con las bacterias para limitar su

crecimiento, por ejemplo, la presencia de hongos y su producción de sustancias antibióticas (Gonçalves *et al.*, 2006).

Aunque el valor de cloro residual (3,80 mg/L Cl) en la fuente de Zona Poblado (ZP) fue mayor que en las otras fuentes, en esta se identificaron más hongos que en las otras estructuras. Si bien el cloro ha sido usado comúnmente como agente de desinfección en matrices de agua, el estudio de los procesos de desinfección del agua se ha enfocado en su mayoría en bacterias y protozoos, por lo que algunos estudios argumentan la ineficacia de la cloración para la eliminación de la microbiota e incluso una resistencia a la desinfección, sugiriendo la necesidad de más estudios para abordar la efectividad del cloro para inactivar hongos en matrices de agua (V. J. Pereira *et al.*, 2013; Ramírez Toro, 2002). Adicionalmente, el crecimiento de hongos puede interferir con la desinfección al proporcionar un sustrato (biofilm) para el desarrollo de otros organismos y actuar como una barrera entre el desinfectante y la microbiota.

La fuente San Diego (SD) y la fuente Universidad de Antioquia (UA), caracterizadas por un sustrato rugoso, presentaron patrones de colonización microbiano similares, a excepción de la presencia de protozoarios y metazoarios y la dominancia del grupo algal evidenciado en Universidad de Antioquia. En esta fuente se identificó una mayor presencia de organismos algales, protozoarios y metazoarios, sistema en el cual se encontraron los valores más altos de COT y NTK, además de la presencia abundante de aves, principalmente palomas. Los altos valores de ambas variables, en comparación con las otras fuentes, pueden relacionarse con el desarrollo de los grupos microbianos mencionados; una mayor disponibilidad de nutrientes y materia orgánica, ligado a la alta disponibilidad de luz puede propiciar y fomentar el desarrollo de las algas (Hussain *et al.*, 2017; Roque *et al.*, 2018), por tanto, significar una mayor fuente de alimentación para algunos protozoos consumidores de organismos algales (Pepper & Gentry, 2014; Seppo *et al.*, 2019; Tortora *et al.*, 2004). La estructura microbiana de esta presenta una mayor complejidad al estar conformada por todos los organismos en estudio y, por tanto, propiciar una mayor interacción ecológica entre ellos.

La fuente Parque de las Luces (PL) no presentó una dominancia marcada de un grupo microbiano específico comparado con otras fuentes, evidenciando también una menor presencia de bacterias y algas. Además, no se identificaron valores de interés en la composición fisicoquímica de la fuente y si bien no fue posible establecer con exactitud el protocolo de limpieza y desinfección, sí se identificó la remoción de sólidos, la limpieza de la fuente y la cloración. Esta fuente está compuesta por material liso de color claro, razón por la cual su mantenimiento es más simple para los encargados y por tanto se evita la formación de biofilm, determinante para la proliferación de la microbiota, puesto que cuando los microorganismos están atrapados en partículas o adheridos a superficies, pueden estar protegidos de los procesos de desinfección (Ramírez Ramos *et al.*, 2004)

Una biocenosis compleja entre los organismos puede facilitar su desarrollo en ambientes acuáticos y permitir la presencia de patógenos en ambientes de fácil contacto con la población. Deben identificarse además factores importantes asociados al entorno de las fuentes así como los principales parámetros que afectan la eficiencia de la desinfección, como son las concentraciones de desinfectante, la operación parámetros tales como temperatura y pH y contenido de materia orgánica (V. J. Pereira *et al.*, 2013).

## Conclusiones

En general, las fuentes estudiadas presentaron diferencias significativas con relación al ensamble microbiano estudiado. Estas diferencias pueden estar asociadas principalmente al tipo de sustrato, al presentarse una clara separación entre las fuentes fabricadas entre sustrato liso y rugoso, es decir, aquellas fuentes que son tapizadas con baldosa de cerámica o gres (sustrato liso) y aquellas hechas con una combinación de cemento y arenas (sustrato rugoso) lo cual motiva la realización de estudios futuros que puedan corroborarlo. El sustrato de tipo rugoso puede promover un desarrollo complejo de la microbiota, al presentar una mayor disponibilidad de hábitat debido a los intersticios formados y la dificultad para remover el biofilm, permitiendo la proliferación y la conformación de una biocenosis microbiana, lo que se traduce en una mayor interacción entre las comunidades y por tanto, relaciones ecológicas más complejas.



La presencia de biofilm en estas estructuras y las interacciones complejas entre los organismos que lo componen están influenciadas por las condiciones ambientales, las variables fisicoquímicas, la dinámica de las fuentes, las características del sustrato y los diferentes protocolos de limpieza y desinfección, siendo esta última una importante variable para controlar. La presencia de biofilm está condicionada directamente a los protocolos de limpieza de la fuente, especialmente al lavado de las paredes. En las fuentes fabricadas con tonalidades claras los protocolos de limpieza pueden ser más efectivos, al eliminarse de forma recurrente el biofilm que es más perceptible para los encargados del manejo de las fuentes.

Aunque en Colombia no se considera una normativa clara que reglamente las fuentes ornamentales, la Resolución 1618 de 2010 establece diferentes características fisicoquímicas y microbiológicas que deben cumplir las piscinas y estructuras similares de recirculación, pudiendo hacer referencia al tipo de estructuras estudiadas. Los protocolos de manejo de los encargados de estos sistemas básicamente se limitan a la cloración y que como se mencionó anteriormente, no siempre es efectivo en los procesos de desinfección, ya sea por la resistencia y estrategias de evasión de algunos microorganismos patógenos o por las características químicas del cloro.

La composición microbiana, especialmente la presencia diferencial de bacterias y hongos en las fuentes, puede indicar una importante relación inhibitoria en la proliferación de una u otra, ya sea favorecida por las mismas condiciones del sustrato, del entorno o de la disposición de recursos, por lo que conocer su composición es determinante para comprender la dinámica de estas estructuras. La agrupación de las fuentes especialmente a través de la información obtenida para los grupos algales, estableció diferencias importantes entre estos sistemas y su comportamiento, así como la dinámica ecológica de los mismos. El estudio de esta comunidad puede ser, a grandes rasgos, más factible que el de otras comunidades microbianas, debido a que la metodología general para su análisis podría implicar menos costos de monitoreo y, por tanto, facilitar el estudio de estos ambientes.

Las fuentes ornamentales pueden considerarse compartimentos acuáticos que simulan un ecosistema a pequeña escala, sin embargo, los procesos que naturalmente se dan en medios

acuosos podrían no desarrollarse igualmente en estas estructuras, al estar sometidas a diferentes forzantes externos como la adición constante de productos químicos, cambios en la temperatura del agua, diferentes suministros de materia orgánica, presencia de aguas estancadas, fuentes de contaminación diferidas, entre otros, que afectan la composición microbiana y por tanto, perturban la autodepuración del sistema pudiéndolo llevar a condiciones aceleradas de polución y la presencia de organismos patógenos con riesgo potencial.

## Capítulo II: Implicaciones y afectaciones potenciales del ensamble microbiano en la salud pública según las características de las fuentes

### Introducción

Las fuentes ornamentales urbanas se encuentran en ambientes públicos y el acceso para los habitantes es directo, por lo que generalmente no se restringe su contacto. A pesar de que la finalidad principal de la incorporación de fuentes en el diseño del espacio público es ornamental, es indudable que el uso es inadecuado. No se tiene consideración de los diferentes agentes contaminantes a los que la fuente puede estar sometida, además de la carencia de protocolos de manejo y limpieza y la falta de estudios con relación a sus características estructurales y arquitectónicas. Es por esto que el agua de las fuentes, incluso el agua de dispersión (de Man et al., 2014). constituye un ambiente ideal para el desarrollo de una biocenosis compleja de microorganismos que pueden incluso tener implicaciones en la salud de seres humanos (Burkowska-But et al., 2013).

En diferentes estudios a nivel mundial se ha identificado la presencia de organismos patógenos en fuentes de agua. Se han reportado casos de Criptosporidiosis con síntomas gastrointestinales como diarrea, sangre en las heces, vómitos, náuseas o dolor abdominal provocado por el parásito *Cryptosporidium* (Hoebe et al., 2004; Jones, M. et al., 2006). Además, diferentes estudios presentan la ocurrencia de hongos, en los que ha dominado la especie *Candida*, reflejando la mala condición sanitaria que presentan las fuentes y representando una amenaza epidemiológica potencial (Sorlini et al., 1994; Sarró et al., 2006; Biedunkiewicz et al., 2016).

Por otro lado, se ha reconocido la presencia de diferentes bacterias que pueden presentar afectaciones en la salud de los seres humanos. Diversos estudios han demostrado que las características del agua contaminada con *Legionella*, en fuentes decorativas puede contribuir al brote de legionelosis en la comunidad, enfermedad respiratoria potencialmente mortal (Hlady, W. G. et al., 1993; Heng B.H. et al., 1995; Jones et al., 2003; Kirrage et al., 2007; Lau

de Harte, 2007; Palmore et al., 2009); también existen reportes de casos de shigelosis, ocasionada probablemente por la ingesta de agua contaminada con heces de una fuente con presencia de *Escherichia coli*, que evidencia malas condiciones sanitarias de estos depósitos de agua (Burkowska-But et al., 2013; de Man et al., 2014; Fleming et al., 2000).

Además del contacto directo, el contacto con aguas contaminadas provenientes de fuentes puede darse a través de aerosoles a los que las personas pueden estar expuestas por inhalación o ingestión. Una fuente rocía agua en el aire en forma de gotas y aerosoles, los cuales pueden incluir una variedad de contaminantes químicos y biológicos, incluyendo patógenos y restos de células microbianas, como las endotoxinas (de Man et al., 2014). La exposición a través de la ingestión de aerosoles con patógenos fecales puede causar enfermedades gastrointestinales (Uhrbrand et al., 2011), sin embargo, los riesgos de infección por ingestión pueden ser mayores que los riesgos por inhalación (de Man et al., 2014).

Al no ser estructuras acuáticas destinadas al contacto directo con el ser humano, existen en el país escasos estudios que reflejen las posibles problemáticas de las fuentes ornamentales en espacios públicos, razón por la cual generalmente se realizan pocas inspecciones de las condiciones sanitarias del agua en las fuentes, además de no contarse con normatividad o guías específicas que puedan reglamentar su instalación y manejo, ni mucho menos la calidad sanitaria adecuada para garantizar la salud humana. Aunque en la normativa colombiana se establece las características físicas, químicas y microbiológicas que debe cumplir el agua contenida en estanques de piscinas y estructuras similares de recirculación (Resolución 1618 de 2010), al no hacer referencia específicamente a las fuentes ornamentales, estas estructuras no se conciben como parte de la resolución y los valores que allí recomiendan no se incorporan dentro de los protocolos de las mismas.

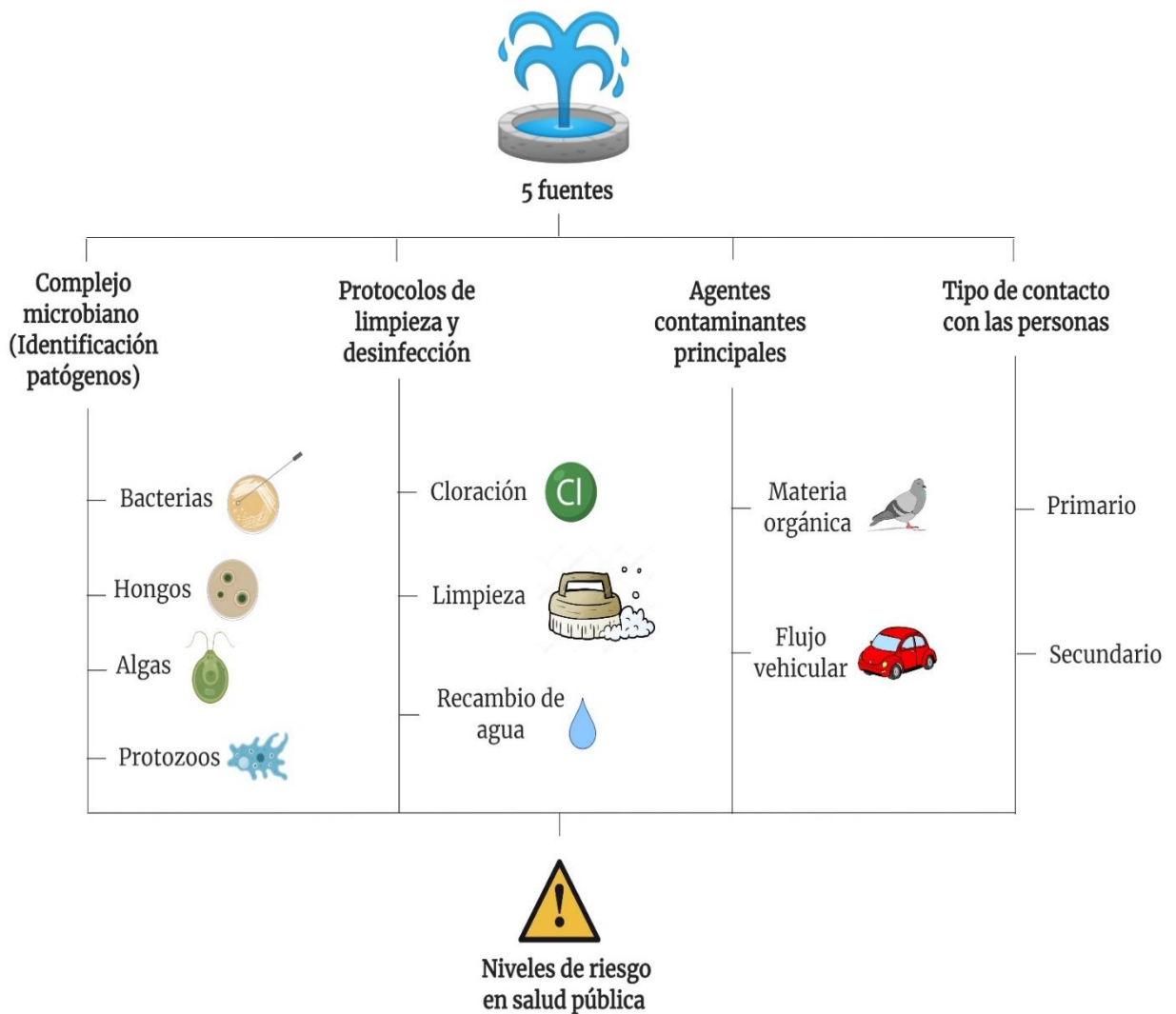
La insuficiente identificación de las fuentes como posibles focos de contaminación, la escasez de estudios relacionados con su construcción, manejo y tratamiento, así como la construcción habitual de estas sin considerar las implicaciones futuras que garanticen su buen funcionamiento, hacen de las fuentes un ambiente propicio para el desarrollo potencial de organismos patogénicos. Por esto, en este capítulo se identifican las posibles implicaciones

y afectaciones potenciales en la salud pública del ensamble microbiano encontrado en cinco fuentes ornamentales de la ciudad de Medellín.

## Metodología

Para el desarrollo del Capítulo II fueron identificados los organismos con implicaciones patogénicas o afectaciones a la salud de seres humanos, realizando una clasificación de las fuentes según la presencia de los mismos y los factores inherentes a estas que puedan promover aún más el riesgo ambiental y de salud pública. De manera descriptiva, se identificaron algunos de los protocolos de manejo, limpieza y desinfección empleados en la ciudad, las posibles fuentes de contaminación que puedan ayudar a propiciar el desarrollo de la microbiota y el tipo de contacto que pueden llegar a tener los ciudadanos con estas estructuras.

Posteriormente, se estableció un nivel de riesgo asociado a la salud pública para las fuentes estudiadas, considerando sus principales vías de contaminación, los procedimientos de limpieza y desinfección de la fuente, el tipo de sustrato de la estructura, su ubicación en la ciudad y la posibilidad de contacto directo con la comunidad, así como el complejo microbiano identificado en el estudio.



*Figura 8. Esquema metodológico Capítulo II*

## Resultados y discusión

Se identificó la presencia de un ensamble microbiano con potencial patógeno asociado al biofilm de algunas fuentes ornamentales de la ciudad de Medellín. Además, se reconocieron características relacionadas con los protocolos de manejo de las fuentes, su ubicación en la ciudad y las diferentes interacciones con los ciudadanos, que pueden promover o potenciar el riesgo a la salud asociado a la presencia de microorganismos en estas estructuras.

## Ensamble microbiano

El ensamble microbiano estudiado en algunas fuentes ornamentales de la ciudad de Medellín estuvo compuesto por bacterias, hongos, algas y protozoos, algunos de estos organismos con importantes implicaciones en la salud pública.

### I. Bacterias

La comunidad bacteriana de las fuentes ornamentales estudiadas estuvo representada por 10 taxones, la mayoría de estos con características patógenas que afectan seres humanos y animales. La especie *Klebsiella pneumoniae*, identificada en las 5 fuentes estudiadas, tiene la capacidad de adherirse al tracto respiratorio de seres humanos y proliferar en él, siendo además resistente a los antibióticos, por lo que ha sido relacionada con el desarrollo de fuertes neumonías bacterianas (Tortora et al., 2004).

Por su parte, la especie *Pseudomonas aeruginosa* ha presentado resistencia a los biocidas e incluso puede llegar a crecer en algunos desinfectantes y antisépticos, siendo además responsable de infecciones del tracto urinario, neumonía, otitis e infecciones en la piel como dermatitis (Costa et al., 2015; Decraene et al., 2018; Loveday et al., 2014; Tortora et al., 2004).

Las bacterias mencionadas anteriormente, así como las especies *Enterobacter cloacae* y el género *Kluyvera* sp., fueron reportadas en la fuente Pablo Tobón (PB), estructura que presentó la mayor cantidad de taxones y los valores más altos de Unidades Formadoras de Colonia (UFC). La alta presencia de bacterias en esta fuente podría estar asociada al escaso mantenimiento evidenciado durante la toma de muestras, sumado a una alta presencia de habitantes de calle que hacen uso del agua de la pileta para diferentes fines. Además, está caracterizada por poseer varias piletas construidas en baldosa y múltiples mecanismos de expulsión de agua que no se encontraron encendidos en ninguna de las ocasiones en que fueron tomadas las muestras, por lo que se identificó la presencia constante de aguas estancadas con residuos orgánicos e inorgánicos y por tanto una mayor predisposición al desarrollo de estos organismos.

A pesar de identificarse la presencia de bacterias en las otras fuentes, las condiciones mencionadas de la fuente Pablo Tobón (PB) sumado a la mayor presencia de bacterias en el estudio, pueden determinar un riesgo para el contacto con la comunidad. Aunque la fuente esté fabricada en un sustrato liso y su limpieza pueda ser mas simple que aquellas construidas en sustrato rugoso, la falta de aireación, los posibles aportes de materia orgánica y la falta de cloración constituyen un reservorio amplio para el desarrollo de bacterias. Sumado a esto, la fuente se encuentra localizada en un parque con transeúntes habituales, al ser cercano a un sitio de esparcimiento como lo es el Teatro Pablo Tobón Uribe, por lo cual no representa un riesgo solo para habitantes de calle que hacen uso de la pileta, sino también para visitantes del parque o del teatro.

## 2. Hongos

La presencia de hongos en las 5 fuentes ornamentales de la ciudad de Medellín fue en general baja, en comparación con lo determinado para el grupo bacteriano. Sin embargo, al igual que con las bacterias, en las 5 fuentes estudiadas se identificaron especies fúngicas, con una presencia especial del género *Aspergillus* sp. Este hongo colonizador es causante de enfermedades alérgicas y múltiples infecciones como onicomicosis, otomicosis, sinusitis y aspergilosis (Ponton & Cabanes, 2000; Ramanan et al., 2016; Tortora et al., 2004).

Los hongos levaduriformes también tuvieron gran relevancia en el estudio, al estar presentes en todas las fuentes estudiadas. Algunos hongos levaduriformes como el género *Candida*, patógeno oportunista responsable de abundantes casos de infecciones a nivel mundial (Tortora et al., 2004). Adicionalmente, se reportan en la literatura otros géneros de levaduras (*Cryptococcus*, *Malassezia*, *Rhodotorula*, *Saprochaete* y *Trichosporon*) responsables de infecciones, con tendencia a incrementar tanto en frecuencia como en gravedad, debido principalmente a la alta resistencia fúngica a los tratamientos (Pulido Cortijo et al., 2006; Ruiz Camps & Jarque, 2016).

La fuente Zona Poblado (ZP) tuvo especial importancia en el estudio de la comunidad fúngica, al presentar los 3 tipos de hongos caracterizados. Esta fuente se encuentra ubicada



en una zona de importancia comercial y hotelera para la ciudad, con importante afluencia de transeúntes y tráfico vehicular. La fuente Zona Poblado (ZP) está fabricada en sustrato liso tapizado en gres, que aunque presenta mecanismos de expulsión de agua no siempre fueron identificados en funcionamiento durante la toma de muestras. No se conoce exactamente el protocolo de limpieza y desinfección, pero sí se observaron cambios en la presencia del biofilm entre las réplicas realizadas, lo que sugiere la limpieza de la pared de esta. Aun así, las diferentes estrategias de colonización de estos organismos pueden favorecer su permanencia en este sustrato específico, en el cual se recomienda realizar nuevos estudios, por ejemplo, orientados a la composición del mismo y la posibilidad de incidir en la proliferación de los hongos, que además presentan una resistencia a la cloración (Hageskal *et al.*, 2012; V. J. Pereira *et al.*, 2013; Rosenzweig & Pipes, 1988).

### 3. Algas

La comunidad algal presentó una alta abundancia y riqueza dentro del estudio, identificando 3 morfotipos de especial importancia: *Chlorella*, Cyanophyceae filamentosa y *Achnanthydium*. Para los géneros *Chlorella* y *Achnanthydium*, no se reporta en la literatura afectaciones negativas a la salud de los seres humanos. Por el contrario, para el género *Chlorella*, se presentan estudios argumentando beneficios importantes en la salud y prevención de enfermedades, se ha investigado su papel en el aumento de funciones inmunes y disminución de la presión arterial, entre otros (Lin, 2005; Liu & Chen, 2014; Merchant & Andre, 2001; Morimoto *et al.*, 1995; Sheng *et al.*, 2007). Sin embargo, debido a su rápido crecimiento y capacidad fotosintética, puede causar afectaciones visuales a las estructuras acuáticas.

Con relación a las Cyanophyceae o cianobacterias, estas son de especial interés en estudios ambientales y de investigación, debido a su potencial producción de toxinas, identificadas como cianotoxinas. No obstante, estas son de especial interés para la salud pública y la gestión ambiental en eventos de desarrollo masivo (bloom) o en sistemas de abastecimiento de agua potable (Bonilla *et al.*, 2015). En estructuras de almacenamiento y recirculación como las fuentes ornamentales, es necesario realizar controles frecuentes que impidan la proliferación intensiva de estos organismos.

Las fuentes de concreto como San Diego (SD) y Universidad de Antioquia (UA), tuvieron un mayor desarrollo de los grupos algales, posiblemente debido a la presencia de poros en la estructura, que posibiliten el hábitat de estos microorganismos. De igual manera, al ser estructuras de coloración oscura y por las características mismas del material, los protocolos de limpieza de estas fuentes requieren de una limpieza rigurosa de las paredes si se desea eliminar el biofilm, conformado en este caso especialmente por algas. Al respecto, en ambas fuentes se realizan procesos de limpieza y desinfección, sin embargo, en la fuente Universidad de Antioquia (UA) se realiza limpieza y desinfección diaria; mientras que en la fuente San Diego (SD) no se hace una cloración periódica, sólo se acompaña con un proceso de limpieza manual como la extracción de residuos dispuestos en la fuente o remoción del material suspendido, el cual tampoco cuenta con una periodicidad rigurosa.

#### 4. Protozoos y metazoarios

En general, la presencia de protozoos en las 5 fuentes ornamentales fue baja, encontrándose únicamente 4 morfotipos en total y la presencia únicamente en 3 fuentes: ZP (Zona Poblado), PL (Parque de las Luces) y UA (Universidad de Antioquia), siendo más abundantes en esta última.

Dentro de los protozoos, las amebas presentaron una mayor recurrencia en las fuentes, estas pueden producir en los humanos enfermedades con diferentes implicaciones y gravedad, como la conocida amebiasis gastrointestinal o afectaciones en el sistema nervioso central como encefalitis amebiana, estas ocasionadas principalmente por los géneros: *Naegleriae*, *Acanthamoeba* y *Balamuthia*. Por ejemplo, especie *Naegleria fowleri* presenta una gran virulencia y puede adquirirse por vía nasal al aspirar aguas contaminadas (Ávila et al., 2006; de Estrada & Uyema, 2013; Oddó B., 2006).

Si bien una de las principales preocupaciones con relación a la presencia de nemátodos en los cuerpos de agua, especialmente aquellos de contacto directo con el ser humano, está asociada a las bacterias patógenas y su capacidad para sobrevivir al interior de estos organismos (Peinador & Quirós, 2000), en la literatura se reportan afecciones en la salud

humana, incluso donde el ser humano es el único hospedador de estos organismos parasitarios. Las infecciones por nemátodos pueden clasificarse principalmente en aquellas en las que el huevo es infeccioso o en las que la larva es infecciosa (Peinador & Quirós, 2000; Tortora et al., 2004), todas transmitidas de persona a persona, por alimentos contaminados o por el contacto directo con alimentos o agua contaminada con heces fecales, causando infecciones intestinales como la enterobiosis, la ascariosis y la tricurosis (Habbari et al., 2000; Áurea Pereira & Pérez, 2001; Phiri et al., 2000)

En el estudio de metazoarios y protozoarios, la fuente UA (Universidad de Antioquia) reportó la presencia de los 4 organismos identificados para estas dos comunidades. Teniendo en cuenta las 5 fuentes estudiadas, en UA se realizan protocolos de limpieza y desinfección con mayor frecuencia, además de adicionar cantidades elevadas de cloro sólido (Hasta 8 kg en algunos días, según reportes del encargado); sin embargo, algunos nemátodos pueden resistir procesos fuertes de desinfección, sobreviviendo a los métodos de cloración (Klug & Kotarski, 1980; Peinador & Quirós, 2000). La presencia de estos organismos en esta fuente puede estar también asociado al sustrato inherente de esta estructura, un sustrato rugoso con alta porosidad y formación de grietas, que puede impedir los procesos de limpieza y, por tanto, favorecer su proliferación. Adicionalmente, la fuente UA se encuentra en una zona de gran relevancia dentro del ámbito académico de la ciudad, con presencia constante de un alto número de personas, que, en ocasiones, ingresan incluso a la pileta, teniendo contacto primario con aguas potencialmente contaminadas.

## **Factores que favorecen las afectaciones a la salud pública asociada a la presencia de fuentes ornamentales**

Al ser consideradas exclusivamente con propósitos de ornamentación, las fuentes ubicadas en zonas urbanas, especialmente en espacio público, son constantemente descuidadas, ignorando el hecho de que al ser un medio acuoso pueden propiciar la presencia y desarrollo de una biocenosis compleja de microorganismos, incluso con afectaciones a la salud pública.

Algunas características vinculadas a la dinámica de las zonas urbanas, pueden propiciar y promover la presencia de microorganismos en las fuentes ornamentales. Por ejemplo, productos químicos derivados de contaminantes urbanos recurrentes o la presencia de material particulado, que posteriormente puede disponerse en el fondo de estas estructuras, facilitando la formación de floc y, por tanto, la colonización de organismos microbianos (Higgins & Hohn, 2008; Monroy-Dosta et al., 2013; Pepper & Gentry, 2014).

Adicionalmente, las áreas urbanas con frecuencia albergan elevadas densidades de aves, como las palomas, las cuales han sido consideradas vectores de bacterias, hongos y protozoos de importancia médica y veterinaria (Ebani et al., 2016; Haag-Wackernagel, 2006; Haag-Wackernagel & Bircher, 2010), por lo que diferentes microorganismos estudiados, se considera son diseminados a través de excrementos de estas aves (de Man et al., 2014; Pulido Cortijo et al., 2006; Schets et al., 2008). Las fuentes ornamentales son comúnmente lugares de baño y de bebida para las palomas, agente determinante en la presencia de estos organismos en el agua.

De igual forma, al estar comúnmente ubicadas en zonas de espacio público, el acceso a las fuentes no suele ser reglamentado o limitado, por lo que la comunidad puede tener contacto frecuente con estas, en ocasiones diseminando incluso microorganismos patógenos a través del calzado o el contacto directo (de Man et al., 2014), como es el uso constante por parte de habitantes de calle.

Se identifican, además, otras características determinantes para considerar las fuentes ornamentales como estructuras urbanas de importancia para la salud pública. El tipo de contacto con las personas también determina las posibles afectaciones a las que pueden someterse. Una fuente rocía agua, incluidos sus contaminantes, en el aire en forma de gotas y aerosoles más pequeños a base de agua que pueden estar contaminados y ocasionar efectos negativos en la salud de las personas que están expuestas por contacto, ingestión o inhalación (Carducci et al., 2000; de Man et al., 2014; T. F. Jones et al., 2003), razón por la cual, los mecanismos de expulsión de agua en las fuentes y la arquitectura de la misma, también tiene implicaciones en el potencial ingreso de organismos patógenos a los seres humanos.

Por otro lado, los mecanismos de manejo y protocolos de limpieza y desinfección de las fuentes básicamente condicionan la presencia del ensamble microbiano en estas estructuras. Si bien ya se ha planteado que algunos microorganismos pueden resistir los procesos de desinfección, un adecuado proceso de cloración y la limpieza constante de las paredes de la pileta, así como el recambio del agua en recirculación, pueden impedir la proliferación bacterias, hongos, algas y protozoos en las fuentes (Hlady et al., 1993; Lau & Harte, 2007; Weithoff et al., 2016).

Por lo tanto, al ser reservorios de infección y su cercanía a la comunidad, se consideran 4 factores determinantes a través de los cuales puede identificarse o establecerse un riesgo a la salud pública asociado a la presencia de fuentes ornamentales urbanas: **1.** Presencia de microorganismos con implicaciones patógenas; **2.** Contaminación incidente sobre las fuentes ornamentales; **3.** Posibilidad de contacto con la comunidad y **4.** Protocolos de manejo, limpieza y desinfección de las fuentes.

## **Clasificación de las fuentes estudiadas según el riesgo a la salud pública**

De acuerdo con los factores previamente enunciados e incorporando las características estructurales y de diseño de las 5 fuentes ornamentales, se establece para cada una de estas un grupo de elementos que pueden ayudar a determinar un posible riesgo a la salud pública asociado a estas estructuras (Tabla 10).

Posteriormente, según los factores identificados (microorganismos patógenos, contaminación incidente, posibilidad de contacto humano y protocolo de limpieza y desinfección) se dio una valoración cualitativa de alto, medio y bajo, con el fin de establecer un nivel de riesgo para cada una de las fuentes estudiadas. Los valores asignados corresponden a 2 para la evaluación de alto, 1 para la evaluación de medio y 0 para la evaluación bajo.

Para la valoración de microorganismos patógenos se dio un valor de alto para aquellas fuentes con presencia dominante de algunos microorganismos, en este caso bacterias en la fuente Pablo Tobón (PB) y hongos en la fuente Zona Poblado (ZP). Con relación a la contaminación incidente, ninguna fue valorada como bajo, debido a que todas las fuentes ornamentales están en entornos accesibles para la comunidad o en zonas estratégicas de flujo vehicular en la ciudad, la calificación de alta se dio para aquellas fuentes que presentaron más de una fuente de contaminación significativa. Para valorar la posibilidad de contacto, se identificó aquellas fuentes con mayor facilidad de acceso o en zona habitual de transeúntes, como lo es la fuente Universidad de Antioquia (UA) y la manera en que puede tener contacto con ellos, ya sea a través de la dispersión por aerosoles, el contacto directo e incluso la ingesta, principalmente por parte de habitantes de calle. Finalmente, para valorar el protocolo de limpieza se identificaron fuentes en las cuales se haya tenido información por parte de encargado de mantenimiento o que se haya evidenciado o no algún tipo de mantenimiento durante la toma de muestras (Tabla 11).

*Tabla 10. Elementos estructurales, de diseño, contaminación, presencia de microorganismos, tipo de contacto con la comunidad y protocolos de limpieza que pueden favorecer afectaciones a la salud humana relacionadas con las fuentes ornamentales estudiadas*

<b>FUENTE</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE</b>	<b>MICROORGANISMOS PATÓGENOS</b>	<b>CONTAMINACIÓN INCIDENTE</b>	<b>POSIBILIDAD DE CONTACTO</b>	<b>PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO</b>
<b>Zona Poblado</b>	ZP	Sustrato liso de color café principalmente - Mecanismos de expulsión con encendido intermitente	Mayor presencia de hongos	Alto flujo vehicular	Aerosoles	Limpieza - Desinfección no comprobada
<b>Pablo Tobón</b>	PB	Sustrato liso de tonalidades azules y verdes - Mecanismos de expulsión comúnmente apagados - Presencia de aguas estancadas	Presencia de mayores valores de UFC y número de especies bacterianas	Flujo Vehicular - Presencia de habitantes de calle	Ingesta - Aerosoles - Dermal	Nulo – Acumulación de basuras y escombros en las piletas
<b>Parque de las Luces</b>	PL	Sustrato liso de color claro - Agua estancada	Baja presencia de los microorganismos estudiados	Presencia de habitantes de calle y perros	Dermal	Limpieza - Desinfección
<b>San Diego</b>	SD	Sustrato rugoso de color oscuro - Mecanismos de expulsión frecuentemente encendidos	Predominio de grupos algales	Presencia de habitantes de calle	Dermal - Aerosoles	Escaso - Limpieza manual
<b>Universidad de Antioquia</b>	UA	Sustrato rugoso de color oscuro - Mecanismos de expulsión encendidos la mayor parte del día	Mayor presencia de protozoarios y metazoarios - Presencia significativa de algas	Alta densidad de palomas	Aerosoles - Dermal	Alto - Limpieza manual y desinfección constante

*Tabla 11. Clasificación de riesgo para las 5 fuentes ornamentales según los elementos estructurales que pueden favorecer afectaciones a la salud humana*

<b>CÓDIGO FUENTE</b>	<b>PATÓGENOS</b>	<b>CONTAMINACIÓN</b>	<b>CONTACTO</b>	<b>MANTENIMIENTO INADECUADO</b>	<b>VALORACIÓN DEL RIESGO</b>
<b>ZP</b>	2	1	0	1	4
<b>PB</b>	2	2	2	2	8
<b>PL</b>	0	1	0	1	2
<b>SD</b>	1	1	1	1	4
<b>UA</b>	1	1	1	0	3

ZP: Zona Poblado, PB: Pablo Tobón, PL: Parque de las Luces, SD: San Diego, UA: Universidad de Antioquia. Alto=2, Medio=1, Bajo=0

Sin lugar a duda, la fuente Pablo Tobón (PB) presentó un grupo de características alarmantes con relación a los elementos que establecen un posible riesgo a la salud pública, principalmente, al encontrarse un mayor número de bacterias patógenas sumado al nulo mantenimiento que se realiza de la fuente, evidenciado en el momento de la toma de muestras y épocas previas y posteriores. Esta fuente puede identificarse como un reservorio importante de infecciones, al presentar además una alta posibilidad de contacto con la comunidad.

Si bien en otras fuentes fueron identificados también organismos patógenos de diferentes grupos microbiológicos, estas estructuras mantienen mecanismos más eficientes de limpieza y desinfección, como es el caso de la fuente Universidad de Antioquia (UA), que, aunque haya presentado organismos protozoarios y metazoarios, recibe constantemente cantidades importantes de cloro (hasta 8kg/día según reporte del encargado de mantenimiento), además de la limpieza recurrente de la pileta. De igual forma, es importante continuar con protocolos consistentes, pues debido al sustrato rugoso de la fuente y una mayor disponibilidad de hábitats, en esta pueden proliferar exitosamente diferentes organismos del ensamble microbiano.

De acuerdo con la clasificación establecida, la fuente Parque de las Luces (PL) presenta un menor riesgo relacionada con la salud pública, a pesar de encontrarse en una zona alta de transeúntes y cercana a vías con afluencia vehicular alta. En esta fuente se aplican protocolos de limpieza (limpieza de las paredes y remoción de sólidos) y desinfección (cloración), aunque no se conoce su periodicidad ni las concentraciones de desinfectante. Una posible



razón al menor riesgo asociado a esta estructura puede estar relacionado con las características inherentes al sustrato, puesto que fue elaborada con sustrato liso de tipo baldosa de coloración clara, el cual al tener menor porosidad que el sustrato rugoso implica un menor esfuerzo en el protocolo de limpieza y puede hacer más eficientes los procesos de desinfección al propiciar menos hábitats para la conformación de biofilm y el desarrollo de microorganismos.

## Conclusiones

Los diferentes tipos de sustrato y características inherentes a las fuentes pueden tener implicaciones determinantes en la colonización de microorganismos. Se podría pensar que las fuentes fabricadas en sustratos lisos podrían favorecer en menor medida el desarrollo de los mismos, contrario a lo evidenciado en la fuente Pablo Tobón (PB), que a pesar de tener un sustrato liso que puede facilitar su mantenimiento, presenta las mayores características de riesgo, no obstante, los resultados obtenidos son producto de la combinación de diferentes factores agravantes de contaminación y manejo en esta estructura. Contrario a esto, una fuente con sustrato rugoso se planteó que puede favorecer el desarrollo de un complejo microbiano, no solo por las características propias de la estructura, sino también por requerir un mayor esfuerzo en los protocolos de limpieza y desinfección.

Por otro lado, aunque estas fuentes tienen una finalidad principalmente decorativa en espacios públicos, el ingreso a estas debe ser controlado o reducido, para evitar la propagación de la microbiota y, por tanto, reducir el contacto de seres humanos con organismos patógenos provenientes del agua de las piletas. De igual forma, restringir el acceso a las fuentes ornamentales por parte de diferentes animales también podría reducir la diseminación de estos organismos.

Los resultados obtenidos, especialmente con relación a las posibles afectaciones en la salud pública, resaltan la necesidad de regular y monitorear el diseño y la operación de las fuentes ornamentales, así como la importancia de la vigilancia oportuna y precisa de las enfermedades transmitidas por el agua.



## Conclusiones generales

La presencia de fuentes ornamentales es común en zonas urbanas y al estar inmersas en la dinámica acelerada y cambiante propia de la ciudad, también pueden presentar cambios en las características del agua y las comunidades microbianas que habitan. A pesar de su uso común como parte de la decoración de jardines, edificaciones, parques, entre otros, su manejo es negligente, propiciando el deterioro de la calidad del agua y aún más importante en temas de salud pública, el desarrollo de un ensamble microbiano con potencial patógeno.

De acuerdo con lo evidenciado en el estudio, las fuentes ornamentales localizadas en zonas urbanas pueden relacionarse directamente con la presencia de un complejo microbiano, incluso con características patógenas y alta virulencia, sirviendo como reservorio y hábitat, así como lugares de paso para la permanencia de organismos y posiblemente, su posterior paso a otros sistemas acuáticos localizados en zonas urbanas. Sin embargo, aunque puedan presentar características visuales que indiquen contaminación y sea evidente en algunos casos la falta de protocolos de limpieza, las fuentes no suelen considerarse focos de contaminación urbana, razón por la cual el acercamiento de la comunidad a estas no se ve limitado y suele hacerse un uso desmedido, incluso en aquellas estructuras que no son destinadas para la recreación. Precisamente por no considerarse un riesgo a la salud, se ven potenciadas aún más las posibles afectaciones en seres humanos.

Diferentes factores potencian el desarrollo del ensamble microbiano en las fuentes ornamentales, resaltando la importancia de la elección del sustrato para su fabricación, al ser un elemento más fácilmente controlable, contrario a factores ligados a la contaminación. Un sustrato liso (por ejemplo, tapizado en baldosas) puede facilitar la limpieza al dificultar la adherencia del biofilm; de igual forma, en estructuras diseñadas en colores claros los protocolos pueden ser más efectivos, al ser visible la presencia de esta capa delgada de microorganismos. Al contrario, en estructuras fabricadas con materiales rugosos (por ejemplo, concreto) se propicia el desarrollo de una biocenosis compleja de microorganismos, por lo que los protocolos de limpieza en estos tipos de estructuras deben tener alta rigurosidad. Adicionalmente, un sustrato rugoso, al tener características más similares a un

sustrato natural, puede facilitar el desarrollo de relaciones entre la microbiota asociada, permitiendo el desarrollo de una estructura ecológica consolidada y por tanto, interacciones de mayor complejidad entre las comunidades microbiológicas.

Es necesario incorporar estudios rigurosos de las características patogénicas de los microorganismos presentes en las fuentes, así como sus posibles variaciones temporales de acuerdo con la dinámica de la ciudad. Entender el comportamiento microbiano de estas estructuras y su relación con las variables del entorno, puede llevar a determinar un protocolo adecuado para su manejo y, por tanto, evitar una problemática latente común en zonas urbanas.

La frecuencia y constancia de protocolos de limpieza y desinfección bien establecidos son determinantes para garantizar una dinámica de las fuentes ornamentales que propicie un contacto adecuado con los entornos urbanos. La presencia de una fuente en zonas públicas o privadas debe estar ligada a la responsabilidad de su mantenimiento, pues la escases o nula aplicación de protocolos puede desencadenar la presencia de comunidades bacterianas, hongos o protozoos causantes de enfermedades en seres humanos. De igual forma, las características del agua como resultado del abandono de las fuentes permiten un ambiente apropiado para el desarrollo de algunos organismos oportunistas, facilitando su proliferación masiva, aumentando la posibilidad de contacto directo o indirecto con la comunidad y por tanto, incrementando los niveles de riesgo.

Finalmente, el monitoreo constante de la microbiota asociada a las fuentes ornamentales puede no solo ayudar a identificar la presencia de organismos con implicaciones en la salud humana, sino también ayudar a establecer relaciones ecológicas entre los grupos y las variables, permitiendo determinar diferencias entre estas estructuras, condicionantes urbanos que promuevan la contaminación y protocolos de manejo que en conjunto constituyan un ambiente propicio para la inoculación, incubación y proliferación de un ensamble microbiano con afectaciones a la salud pública.

## Recomendaciones

Principalmente, se recomienda incluir dentro de los protocolos de manejo de las fuentes ornamentales el estudio de microorganismos, especialmente aquellos con implicaciones a la salud pública por sus características patógenas. Adicionalmente, el estudio de las algas, si bien no tienen implicaciones directas en la salud humana, su estudio puede llevar a estructurar o esclarecer relaciones entre el ensamble microbiano, pudiendo clasificarlas de acuerdo con sus características y las particularidades de su estructura ecológica.

Además, se deben establecer protocolos de limpieza y desinfección frecuentes, en los que se adicionen cantidades de cloro suficientes (manteniendo una concentración entre 1 – 3 mg/L Cl de acuerdo a la resolución 1618 de 2010), que aunque no esté comprobado la eficacia del cloro ante algunos microorganismos, si puede reducir la propagación de estos, además de mantener un control en la proliferación masiva de la microbiota. Igualmente, deben realizarse limpiezas periódicas de las paredes de la pileta para eliminar el biofilm (definidas de acuerdo con la respuesta de las fuentes a las condiciones de su entorno), el cual facilita el desarrollo de los organismos al ser más resistente a la cloración, así como evitar el estancamiento continuo de las fuentes.

Los protocolos de limpieza de las fuentes pueden facilitarse en aquellas fabricadas en sustratos liso, como las tapizadas en baldosa, puesto que la remoción del biofilm puede ser más eficiente que en sustratos rugosos, debido a la alta porosidad de estos últimos. Por esto, se recomienda implementar este tipo de estructuras teniendo en cuenta que los protocolos de limpieza deben ser constantes, puesto que, al ser un material con baja similitud a sustratos naturales el desarrollo de algunos microorganismos puede aumentar de forma acelerada, al no establecerse una estructura ecológica que regule la dinámica de la microbiota.

Aunque no se establezca en Colombia una normativa directamente relacionada con el manejo de las fuentes ornamentales, se recomienda al menos implementar lo planteado en la Resolución 1618 de 2010, con el fin de evitar la proliferación de microorganismos que puedan presentar afectaciones a la salud de seres humanos.

- **Protocolo de limpieza y desinfección**

Adicionalmente, se plantea un protocolo de limpieza y desinfección para las fuentes ornamentales, el cual debe complementarse con lo ya planteado anteriormente en relación con el tipo de sustrato y el complejo microbiano presente en la estructura.

El protocolo consta de las siguientes actividades:

1. Limpieza diaria del espejo de agua con red nasa con el fin de retirar de la pileta hojas, basura y sólidos en general.
2. Limpieza del piso y las paredes de la pileta con el fin de remover biofilm. La frecuencia depende de las características de la fuente, especialmente del tipo de sustrato, sin embargo, se recomienda realizar este procedimiento con una frecuencia semanal.
3. Limpieza del filtro trampa de succión y boquillas de expulsión de agua, la cual debe realizarse al menos dos veces a la semana, sin embargo, debe tenerse en cuenta el tipo de contaminación predominante en la pileta para determinar la frecuencia de limpieza necesaria.
4. Dosificación diaria de desinfectante (Cloro granulado preferiblemente) de forma manual a la pileta con el fin de obtener un valor de cloro residual entre 1 y 3 mg/L.
5. Se recomienda realizar un lavado completo al menos una vez semestralmente o cuando sea necesario debido a eventos atípicos que puedan presentarse en la fuente.
6. Revisión por parte de técnicos profesionales del sistema de recirculación y funcionamiento general de la pileta.

El protocolo propuesto está sujeto a una periodicidad y su efectividad depende de un adecuado desempeño por parte de los encargados de mantenimiento. Se recomienda principalmente una vigilancia constante de la calidad del agua de las fuentes, para entender la dinámica de limpieza y desinfección necesaria para cada estructura.

## Bibliografía

- Abarca, M. L. (2000). Taxonomía e identificación de especies implicadas en la aspergilosis nosocomial. *Revista Iberoamericana de Micología*, 17(3), 79–84.
- Arias, Y., Morales, S., & Villacaqui, E. (2017). Presencia de *Histoplasma capsulatum* en Heces de Palomas Mensajeras y de Castilla en la Ciudad de Lima, Per. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 28(3), 636–641. <https://doi.org/10.15381/rivep.v28i3.13348>
- Ávila, D. I., G, D. M. R. De, Infante, D. D., Llovera, D. V., & Álvarez, T. O. (2006). *Amibas de vida libre potencialmente patógenas en aguas del parque “Las Cocuizas”, Maracay, Venezuela*. 58(1), 19–24.
- Axelsson, Ö., Nilsson, M. E., Hellström, B., & Lundén, P. (2014). A field experiment on the impact of sounds from a jet-and-basin fountain on soundscape quality in an urban park. *Landscape and Urban Planning*, 123, 49–60. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.005>
- Baeza, F. J., Ivorra, S., Bru, D., & Varona, F. B. (2017). Dynamic evaluation of a historic fountain under blast loading. *Procedia Engineering*, 199, 3308–3313. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.435>
- Beever, R. E., & Burns, D. J. W. (1981). Phosphorus Uptake, Storage and Utilization by Fungi. *Advances in Botanical Research*, 8(C), 127–219. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(08\)60034-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(08)60034-8)
- Berriós, C. S., & Ilabaca, R. G. (2019). Bacterias Gram Negativas. *Manual De Microbiología*, 113–134. <https://doi.org/10.2307/j.ctvkjb56f.8>
- Biedunkiewicz, A., Fontann, M., Monitoring, M. W., An, M., & Threat, E. (2016). *Microfungi fountains urban environmental monitoring - epidemiological risk*. (January 2009).
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29(2), 293–301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)
- Bonilla, S., Haakonsson, S., Somma, A., Gravier, A., Britos, A., Vidal, L., ... Aubriot, L. (2015). Cianobacterias y cianotoxinas en ecosistemas límnicos de Uruguay. *Innotec*, 10, 9–22.
- Bulut, Y., & Atabeyoğlu, Ö. (2007). Fountains as urban furniture in historical urban structure and usage culture: Erzurum city case. *Building and Environment*, 42(6), 2432–2438. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.08.022>
- Burkowska-But, A., Swiontek Brzezinska, M., & Walczak, M. (2013). Microbiological

- contamination of water in fountains located in the city of Toruń, Poland. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 20(4), 645–648.
- Carducci, A., Tozzi, E., Rubulotta, E., Casini, B., Cantiani, L., Rovini, E., ... Pacini, R. (2000). Assessing airborne biological hazard from urban wastewater treatment. *Water Research*, 34(4), 1173–1178. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00264-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00264-X)
- Colson, P., Aherfi, S., & La Scola, B. (2017). Evidence of giant viruses of amoebae in the human gut. *Human Microbiome Journal*, 5–6(November), 14–19. <https://doi.org/10.1016/j.humic.2017.11.001>
- Costa, D., Bousseau, A., Thevenot, S., Dufour, X., Laland, C., Burucoa, C., & Castel, O. (2015). Nosocomial outbreak of *Pseudomonas aeruginosa* associated with a drinking water fountain. *Journal of Hospital Infection*, 91(3), 271–274. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2015.07.010>
- Cuzman, O. A., Ventura, S., Sili, C., Mascalchi, C., Turchetti, T., D'Acqui, L. P., & Tiano, P. (2010). Biodiversity of phototrophic biofilms dwelling on monumental fountains. *Microbial Ecology*, 60(1), 81–95. <https://doi.org/10.1007/s00248-010-9672-z>
- de Estrada, M. B., & Uyema, N. (2013). Amebas de vida libre en muestras de agua de piscinas del departamento de Lima. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 14(1).
- De Los Ángeles, M., Contreras, S., Flores, T. G., Del Rosario, T., Talavera, A., Evangelista Martínez, Z., ... López, P. (2017). ¿Que son los microbios? *Ciencia*, 68(2), 10–17.
- de Man, H., Heederik, D. D. J., Leenen, E. J. T. M., de Roda Husman, A. M., Spithoven, J. J. G., & van Knapen, F. (2014). Human exposure to endotoxins and fecal indicators originating from water features. *Water Research*, 51, 198–205. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.057>
- Decraene, V., Ghebrehewet, S., Dardamissis, E., Huyton, R., Mortimer, K., Wilkinson, D., & Hoffman, P. (2018). An outbreak of multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* in a burns service in the North of England: challenges of infection prevention and control in a complex setting. *Journal of Hospital Infection*, 100(4), 239–245.
- Diomedi, A., Chacón, E., Delpiano, L., Hervé, B., Jemenao, M. I., Medel, M., ... Cifuentes, M. (2017). Antisépticos y desinfectantes: apuntando al uso racional. Recomendaciones del Comité Consultivo de Infecciones Asociadas a la Atención de Salud, Sociedad Chilena de Infectología. *Revista Chilena de Infectología*, 34(2), 156–174. <https://doi.org/10.4067/s0716-10182017000200010>
- Diputación de Granada. *Guía resumen sobre control de legionella en instalaciones deportivas y fuentes ornamentales.*, (2016).



- Ebani, V. V., Bertelloni, F., & Mani, P. (2016). Molecular survey on zoonotic tick-borne bacteria and chlamydiae in feral pigeons (*Columba livia domestica*). *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 9(4), 324–327. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2016.03.005>
- Eisenstein, L., Bodager, D., & Ginzl, D. (2008). Outbreak of giardiasis and cryptosporidiosis associated with a neighborhood interactive water fountain—Florida. *J Environ Health*, 71, 18–22.
- Ekowati, Y., van Diepeningen, A. D., Ferrero, G., Kennedy, M. D., de Roda Husman, A. M., & Schets, F. M. (2017). Clinically relevant fungi in water and on surfaces in an indoor swimming pool facility. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220(7), 1152–1160. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.07.002>
- Faeth, S., Warren, H., S., P., Shochat, Marussich, E., & A., W. (2005). Trophic Dynamics in Urban Communities. *BioScience*, 55(5), 399. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0399:tdiuc\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0399:tdiuc]2.0.co;2)
- Fazi, S., Bandla, A., Pizzetti, I., & Swarup, S. (2016). Microbial biofilms as one of the key elements in modulating ecohydrological processes in both natural and urban water corridors. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 16(1), 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2015.08.002>
- Fenchel, T. (2011). Bacterial Ecology. *BioScience*, 37(9), 686–688. <https://doi.org/10.1093/bioscience/37.9.686-a>
- Fleming, C. A., Caron, D., Gunn, J. E., Horine, M. S., Matyas, B. T., & Barry, M. A. (2000). An outbreak of *Shigella sonnei* associated with a recreational spray fountain. *American Journal of Public Health*, 90(10), 1641–1642. <https://doi.org/10.2105/AJPH.90.10.1641>
- Gonçalves, A. B., Paterson, R. R. M., & Lima, N. (2006). Survey and significance of filamentous fungi from tap water. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 209(3), 257–264. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2005.12.001>
- Gonzalez-Martin, C. (2017). Airborne infectious microorganisms.
- Grabińska-Loniewska, A., Konilłowicz-Kowalska, T., Wardzyńska, G., & Boryn, K. (2007). Occurrence of fungi in water distribution system. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(4), 539–547.
- Gram, H. (1884). Über die isolierte Färbung der Schizomyceten en Schnitt- und Trockenpräparaten. *Fortschritte Der Medizin*, 2, 185–189.
- Haag-Wackernagel, D. (2006). *Human diseases caused by feral pigeons*. 4, 31–58.

- Haag-Wackernagel, D., & Bircher, A. J. (2010). Ectoparasites from feral pigeons affecting humans. *Dermatology*, 220(1), 82–92. <https://doi.org/10.1159/000266039>
- Haag-Wackernagel, D., & Geigenfeind, I. (2008). Protecting buildings against feral pigeons. *European Journal of Wildlife Research*, 54(4), 715–721. <https://doi.org/10.1007/s10344-008-0201-z>
- Habbari, K., Tifnouti, A., & Bitton, G. (2000). Helminthic infections associated with the use of raw wastewater for agricultural purposes in Bene Mellal, Morocco. *East Mediterr Health J*, 5(5), 912–921.
- Hageskal, G., Tryland, I., Liltved, H., & Skaar, I. (2012). No simple solution to waterborne fungi: Various responses to water disinfection methods. *Water Science and Technology: Water Supply*, 12(2), 220–226. <https://doi.org/10.2166/ws.2012.131>
- He, J., Yi, H., & Liu, J. (2016). Urban green space recreational service assessment and management: A conceptual model based on the service generation process. *Ecological Economics*, 124, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.01.023>
- Henny, C., & Meutia, A. A. (2014). Urban Lakes in Megacity Jakarta: Risk and Management Plan for Future Sustainability. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 737–746. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.088>
- Higgins, J., & Hohn, C. (2008). Effects of prevalent freshwater chemical contaminants on in vitro growth of *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae*. *Environmental Pollution*, 152(2), 259–266. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.049>
- Hlady, W. G., Mullen, R. C., Mintz, C. S., Shelton, B. G., Hopkins, R. S., & Daikos, G. L. (1993). Outbreak of legionnaire's disease linked to a decorative fountain by molecular epidemiology. *American Journal of Epidemiology*, 138(8), 555–562. <https://doi.org/10.1002/9781118660584.ese0114>
- Hoebe, C. J. P. A., Vennema, H., de Roda Husman, A. M., & van Duynhoven, Y. T. H. P. (2004). Norovirus Outbreak among Primary Schoolchildren Who Had Played in a Recreational Water Fountain. *The Journal of Infectious Diseases*, 189(4), 699–705. <https://doi.org/10.1086/381534>
- Hoffmann, R., & Michel, R. (2001). Distribution of free-living amoebae (FLA) during preparation and supply of drinking water. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 203(3), 215–219. [https://doi.org/10.1078/S1438-4639\(04\)70031-0](https://doi.org/10.1078/S1438-4639(04)70031-0)
- Hu, A., Li, S., Zhang, L., Wang, H., Yang, J., Luo, Z., ... Yu, C. P. (2018). Prokaryotic footprints in urban water ecosystems: A case study of urban landscape ponds in a coastal city, China. *Environmental Pollution*, 242, 1729–1739. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.097>

- Hussain, F., Shah, S. Z., Zhou, W., & Iqbal, M. (2017). Microalgae screening under CO<sub>2</sub> stress: Growth and micro-nutrients removal efficiency. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *170*, 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.03.021>
- Hynynen, A. J., Juuti, P., & Katko, T. S. (2012). *Water fountains in the worldscape*.
- Hynynen, A., Juuti, P. S., & Katko, T. (2012). *Comparative analysis of the omnipresent water fountains*. (January).
- Ibes, D. (2016). Integrating Ecosystem Services Into Urban Park Planning & Design. *Cities and the Environment*, *9*(1), 1.
- Jang, J., Hur, H. G., Sadowsky, M. J., Byappanahalli, M. N., Yan, T., & Ishii, S. (2017). Environmental Escherichia coli: ecology and public health implications—a review. *Journal of Applied Microbiology*, *123*(3), 570–581. <https://doi.org/10.1111/jam.13468>
- Jones, M., Boccia, D., Kealy, M., Salkin, B., Ferrero, A., Nichols, G., & Stuart, J. M. (2006). Cryptosporidium outbreak linked to interactive water feature. *Euro Surveillance*, (May 2014), 5–8. <https://doi.org/10.2807/esm.11.04.00612-en>
- Jones, T. F., Benson, R. F., Brown, E. W., Rowland, J. R., Crosier, S. C., & Schaffner, W. (2003). Epidemiologic Investigation of a Restaurant-Associated Outbreak of Pontiac Fever. *Clinical Infectious Diseases*, *37*(10), 1292–1297. <https://doi.org/10.1086/379017>
- Keshari, N., & Adhikary, S. P. (2014). Diversity of cyanobacteria on stone monuments and building facades of India and their phylogenetic analysis. *International Biodeterioration and Biodegradation*, *90*, 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.01.014>
- Khan, N. A., Greenman, J., Topping, K. P., Hough, V. C., Temple, G. S., & Pager, T. A. (2000). Isolation of Acanthamoeba-specific antibodies from a bacteriophage display library. *J Clin Microbiol*, *38*.
- Kim, M. S., Cha, J., & Kim, D. H. (2013). Fermentative Biohydrogen Production from Solid Wastes. In *Biohydrogen* (1st ed.). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59555-3.00011-8>
- Kirrage, D., Reynolds, G., Smith, G. E., & Olowokure, B. (2007). Investigation of an outbreak of Legionnaires' disease: Hereford, UK 2003. *Respiratory Medicine*, *101*(8), 1639–1644. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2006.11.026>
- Klug, M. J., & Kotarski, S. (1980). Bacteria Associated with the Gut Tract of Larval Stages of the Aquatic Crane fly *Tipula abdominalis* (Diptera; Tipulidae). *Applied and Environmental Microbiology*, *40*(2), 408–416. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16345618> <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC291589>

- Koperski, P. (2010). Urban environments as habitats for rare aquatic species: The case of leeches (Euhirudinea, Clitellata) in Warsaw freshwaters. *Limnologica*, 40(3), 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.05.001>
- Kruk, C., Huszar, V. L. M., Peeters, E. T. H. M., Bonilla, S., Costa, L., LüRling, M., ... Scheffer, M. (2010). A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*, 55(3), 614–627. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x>
- Lau, R., & Harte, D. (2007). The Presence of Legionella Bacteria in Public Water Features. *Environmental Health*, 7(2), 45–51.
- Ligozzi, M., Bernini, C., Bonora, M. G., De Fatima, M., Zuliani, J., & Fontana, R. (2002). Rapid identification and antimicrobial susceptibility profiling of Gram-positive cocci in blood cultures with the Vitek 2 system. *European Journal of Clinical Microbiology Infectious Diseases*, 40(1), 89–95. <https://doi.org/10.1128/JCM.40.5.1681>
- Lin, L. P. (2005). *Chlorella: its ecology, structure, cultivation, bioprocess and application*. Yi Hsien Publishing Compan.
- Lindström, E. S., Kamst-Van Agterveld, M. P., & Zwart, G. (2005). Distribution of typical freshwater bacterial groups is associated with pH, temperature, and lake water retention time. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(12), 8201–8206. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.12.8201-8206.2005>
- Liu, J., & Chen, F. (2014). Biology and industrial applications of Chlorella: advances and prospects. *Microalgae Biotechnology*, 1–135.
- Lorenz, S., Pusch, M. T., Miler, O., & Blaschke, U. (2017). How much ecological integrity does a lake need? Managing the shores of a peri-urban lake. *Landscape and Urban Planning*, 164(April), 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.04.007>
- Loveday, H. P., Wilson, J. A., Kerr, K., Pitchers, R., Walker, J. T., & Browne, J. (2014). Association between healthcare water systems and Pseudomonas aeruginosa infections: a rapid systematic review. *Journal of Hospital Infection*, 86(1), 7-15.
- Márquez Pulido, U. B. (2014). Use value and urban space: The city as a hub of political, cultural and symbolic shaping of societies. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 59(222), 187–208. [https://doi.org/10.1016/S0185-1918\(14\)70215-6](https://doi.org/10.1016/S0185-1918(14)70215-6)
- Medina, M., & Neis, U. (2007). Symbiotic algal bacterial wastewater treatment: Effect of food to microorganism ratio and hydraulic retention time on the process performance. *Water Science and Technology*, 55(11), 165–171. <https://doi.org/10.2166/wst.2007.351>
- Merchant, R., & Andre, C. (2001). A review of recent clinical trials of the nutritional 890

supplement *Chlorella pyrenoidosa* in the treatment of fibromyalgia, hypertension, and ulcerative colitis. *Altern Ther Health Med*, 7, 79–91.

- Monroy-Dosta, M. del C., de Lara, R. A., Castro-Mejía, J., Castro-Mejía, G., & Coelho-Emerenciano, M. G. (2013). Composición y abundancia de comunidades microbianas asociados al biofloc en un cultivo de tilapia. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48(3), 511–520. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572013000300009>
- Morimoto, T., Nagatsu, A., Murakami, N., Sakakibara, J., Tokuda, H., Nishino, H., & Iwashima, A. (1995). Anti-tumour-promoting glyceroglycolipids from the green alga, *Chlorella vulgaris*. *Phytochem*, 40, 1433–1437.
- Newbound, M., McCarthy, M. A., & Lebel, T. (2010). Fungi and the urban environment: A review. *Landscape and Urban Planning*, 96(3), 138–145. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.04.005>
- Nowak, D., & Heisler, G. M. (2010). Air Quality Effects of Urban Trees and Parks. *National Recreation and Park Association Research Series*.
- Oddó B., D. (2006). Infecciones por amebas de vida libre. Comentarios históricos, taxonomía y nomenclatura, protozoología y cuadros anátomo-clínicos. *Revista Chilena de Infectología*, 23(3), 200–214. <https://doi.org/10.4067/s0716-10182006000300002>
- Palacio, A. (2016). *Caracterización de las poblaciones de Aspergillus sección flavi presentes en trigo y sorgo* .
- Palmore, T. N., Stock, F., White, M., Bordner, M., Michelin, A., Bennett, J. E., ... Henderson, D. K. (2009). A Cluster of Cases of Nosocomial Legionnaires Disease Linked to a Contaminated Hospital Decorative Water Fountain. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 30(8), 764–768. <https://doi.org/10.1086/598855>
- Patrick, R., & Reimer, C. W. (1966). The Diatoms of the United States Natural, Exclusive of Alaska and Hawaii. *Academy of Sciences of Philadelphia*.
- Peinador, M., & Quirós, J. (2000). Nematodos en las plantas de tratamiento de agua para consumo humano en Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 9(17), 33–44.
- Pepper, I. L., & Gentry, T. J. (2014). Earth Environments. In *Environmental Microbiology: Third Edition*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394626-3.00004-1>
- Peraza Zurita, Y., Cultrone, G., Sánchez Castillo, P., Sebastián, E., & Bolívar, F. C. (2005a). Microalgae associated with deteriorated stonework of the fountain of Bibatauín in Granada, Spain. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 55(1), 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2004.05.006>

- Peraza Zurita, Y., Cultrone, G., Sánchez Castillo, P., Sebastián, E., & Bolívar, F. C. (2005b). Microalgae associated with deteriorated stonework of the fountain of Bibatauín in Granada, Spain. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 55(1), 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2004.05.006>
- Pereira, Á, & Pérez, M. (2003). Amebas de vida libre. *Offarm: Farmacia y Sociedad*, 22, 8–11. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182007000600010>
- Pereira, Áurea, & Pérez, M. (2001). Nematodosis intestinales. *Offarm*, 137–146. Retrieved from [http://apps.elsevier.es/watermark/ctl\\_servlet?\\_f=10&pidet\\_articulo=13015494&pidet\\_usuario=0&pidet\\_revista=4&fichero=4v20n06a13015494pdf001.pdf&ty=0&accion=L&origen=doymafarma&web=www.doymafarma.com&lan=es](http://apps.elsevier.es/watermark/ctl_servlet?_f=10&pidet_articulo=13015494&pidet_usuario=0&pidet_revista=4&fichero=4v20n06a13015494pdf001.pdf&ty=0&accion=L&origen=doymafarma&web=www.doymafarma.com&lan=es)
- Pereira, V. J., Marques, R., Marques, M., Benoliel, M. J., & Barreto Crespo, M. T. (2013). Free chlorine inactivation of fungi in drinking water sources. *Water Research*, 47(2), 517–523. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.052>
- Pérez López, J. A., & Espigares García, M. (1995). Desinfección del agua. Cloración. *Universidad de Granada. Estudio Sanitario Del Agua*, 0, 0–2.
- Perkins. (1973). The delight of a city: Water. *Concrete Quality*, 99(33).
- Phiri, K., Whitti, C., & Graham, S. (2000). Urban/rural differences in prevalence and risk factors for intestinal helminth infection in southern Malawi. *Ann Trop Med Parasitol*, 94(4), 381–387.
- Pietrini, A. M. ., & Ricci, S. (2005). *Fontane e Nimfee*. 189–201.
- Pirestani, M., Sadraei, J., & Forouzandeh, M. (2013). Molecular characterization and genotyping of human related microsporidia in free-ranging and captive pigeons of Tehran, Iran. *Infection, Genetics and Evolution*, 20, 495–499. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2013.10.007>
- Pírez, M., & Mota, M. (2006). Morfología y estructura bacteriana. In *Temas de bacteriología y virología médica*.
- Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín. (2014). *Alcaldía de Medellín*.
- Ponton, J., & Cabanes, F. J. (2000). Aspergillus y aspergilosis nosocomial. *Revista Iberoamericana de Micología*, 17(3).
- Pulido Cortijo, G., Camacho Espejo, A., Criado, J., & Rivero Romn, A. (2006). Infecciones por hongos levaduriformes: Candida sp. y Cryptococcus sp. *Medicine - Programa de Formación M?Dica Continuada Acreditado*, 9(57), 3693–3701. [https://doi.org/10.1016/s0211-3449\(06\)74245-x](https://doi.org/10.1016/s0211-3449(06)74245-x)

- Rådsten Ekman, M., Lundén, P., & Nilsson, M. E. (2015). Similarity and pleasantness assessments of water-fountain sounds recorded in urban public spaces. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *138*(5), 3043–3052. <https://doi.org/10.1121/1.4934956>
- Ramanan, R., Kim, B. H., Cho, D. H., Oh, H. M., & Kim, H. S. (2016). Algae-bacteria interactions: Evolution, ecology and emerging applications. *Biotechnology Advances*, *34*(1), 14–29. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.12.003>
- Ramírez Ramos, A., Chinga Alayo, E., & Mendoza Requena, D. (2004). Variación de la prevalencia del *H. pylori* y su relación con los niveles de cloro en el agua de la Atarjea, Lima, Perú: Período 1985-2002. *Rev. Gastroenterol. Perú*, 1985–2002.
- Ramírez Toro, G. (2002). Attachment and Colonization of Fungi in Potable Water. *Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*.
- Resolución 1618 de 2010. (n.d.). *Ministerio de la Protección Social. República de Colombia*.
- Roque, Y. S., Pérez-Luna, Y. del C., Acosta, J. M., Vázquez, N. F., Hernández, R. B., Trinidad, S. S., & Pathiyamattom, J. S. (2018). Evaluation of the population dynamics of microalgae isolated from the state of Chiapas, Mexico with respect to the nutritional quality of water. *Biodiversity Data Journal*, *6*. <https://doi.org/10.3897/BDJ.6.e28496>
- Rosas Arango, S. M., Caycedo Lozano, L., Segura Alba, M. L., & Nataly, G. (2018). Detección de bacterias intracelulares en amebas de vida libre en Bogotá, Colombia. *Sociedad Iberoamericana de Información Científica*, (August). <https://doi.org/10.21840/siic/153010.CITATIONS>
- Rosenzweig, W. D., & Pipes, W. O. (1988). Fungi from potable water: Interaction with chlorine and engineering effects. *Water Science and Technology*, *20*(11–12), 153–159. <https://doi.org/10.2166/wst.1988.0278>
- Ross, T., & Nichols, D. S. (2014). Ecology of Bacteria and Fungi in Foods: Influence of Available Water. In *Encyclopedia of Food Microbiology: Second Edition* (Second Edi, Vol. 1). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00086-0>
- Round, F. E. (2004). pH scaling and diatom distribution. *Diatom*, *20*, 9–12.
- Ruiz Camps, I., & Jarque, I. (2016). Enfermedades invasoras por hongos levaduriformes en pacientes neutropénicos. *Revista Iberoamericana de Micología*, *33*(3), 170–175. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2015.11.001>
- Sarró, M. I., García, A. M., Rivalta, V. M., Moreno, D. A., & Arroyo, I. (2006). Biodeterioration of the Lions Fountain at the Alhambra Palace, Granada (Spain). *Building and Environment*, *41*(12), 1811–1820. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.029>

- Schets, F. M., Van Wijnen, J. H., Schijven, J. F., Schoon, H., & De Roda Husman, A. M. (2008). Monitoring of waterborne pathogens in surface waters in Amsterdam, the Netherlands, and the potential health risk associated with exposure to *Cryptosporidium* and *Giardia* in these waters. *Appl. Environ. Microbiol.*, *74*(7), 2069–2078.
- Šebo, J., Gróf, M., & Šebová, M. (2019). A contingent valuation study of a polluted urban lake in Košice, Slovakia: The case of the positive distance effect. *Journal of Environmental Management*, *243*(May), 331–339. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.051>
- Sephton-Clark, P. C. S., & Voelz, K. (2018). Spore Germination of Pathogenic Filamentous Fungi. In *Advances in Applied Microbiology* (1st ed., Vol. 102). <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2017.10.002>
- Seppo, S., Anu, N., & Sven, N. (2019). Chapter 2 - Protozoa. In *Canine Parasites and Parasitic Diseases* (pp. 5–34).
- Sheng, J., Yu, F., Xin, Z., Zhao, L., Zhu, X., & Hu, Q. (2007). Preparation, identification and their antitumor activities in vitro of polysaccharides from *Chlorella pyrenoidosa*. *Food Chem*, *105*, 533–539.
- Shochat, E., Warren, P. S., Faeth, S. H., McIntyre, N. E., & Hope, D. (2006). From patterns to emerging processes in mechanistic urban ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, *21*(4), 186–191. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.11.019>
- Silva, J. M. C. da, & Wheeler, E. (2017). Ecosystems as infrastructure. *Perspectives in Ecology and Conservation*, *15*(1), 32–35. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2016.11.005>
- Sorlini, C., Zanardini, E., Albo, S., Praderio, G., Cariati, F., & Bruni, S. (1994). Research on chromatic alterations of marbles from the fountain of Villa Litta (Lainate, Milan). *International Biodeterioration and Biodegradation*, *33*(2), 153–164. [https://doi.org/10.1016/0964-8305\(94\)90034-5](https://doi.org/10.1016/0964-8305(94)90034-5)
- Sotero-Martins, A., Handam, N. B., Moura, P. G., Santos Amaral, L., Vilela, L., Caldas, L., & Carvajal, E. (2017). Methods for Sanitary Inspection of Microbiological and Parasitary Quality of Water and Sand of Recreation Areas. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, (6), 56–62. Retrieved from [www.ajer.org](http://www.ajer.org)
- Szczepocka, E., Żelazna-Wieczorek, J., & Nowicka-Krawczyk, P. (2019). Critical approach to diatom-based bioassessment of the regulated sections of urban flowing water ecosystems. *Ecological Indicators*, *104*(May), 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.078>
- Tato-Rodríguez, R., Oteo-Iglesias, J., Álvarez-García, P., Zamora-López, M. J., Martínez-López, J., Pallarés-González, Á., ... García-Campello, M. (2016). Brote de *Enterobacter cloacae* complex multirresistente productor de CTX-M-9 en una unidad de cuidados intensivos.



*Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 34(4), 237–242.  
<https://doi.org/10.1016/j.eimc.2015.05.009>

Torres-Franco, A. F., Alatrística-Góngora, G. R., Guzmán-Rodríguez, N. P., Calizaya-Anco, J. A., Mota, C. R., & Figueredo, C. C. (2019). Physicochemical and diatom trophic state indexes: A complementary approach for improving water sustainability in a high Andean urban stream. *Ecology and Hydrobiology*, (2018), 1–11.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.01.007>

Tortora, G. J. ., Funke, B. R. ., & Case, C. L. (2004). *Microbiology: an introduction*.

Vaconcelos, U., Gomes, M., & Torres, G. (2010). Pseudomonas aeruginosa associated with negative interactions on coliform bacteria growth. *Canadian Journal of Pure & Applied Sciences*, 4, 1133–1139.

Vinnari. (2011). *Peterhof: Water Fountains as Devices of Royal Impression Management*. 34–38.

Walker, Christopher & Lucke, T. (2019). Urban Lakes as a WSUD System. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812843-5.00013-7>

Weerasinghe, V. P. A., & Handapangoda, K. (2019). Surface water quality analysis of an urban lake; East Beira, Colombo, Sri Lanka. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 12(March), 100249. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100249>

Weithoff, G., Laakmann, S., Auel, H., Kochzius, M., Salmaso, N., Naselli-Flores, L., ... Ebert, D. (2016). Global patterns and drivers of species and trait composition in diatoms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 16(1), 217–227.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.033>

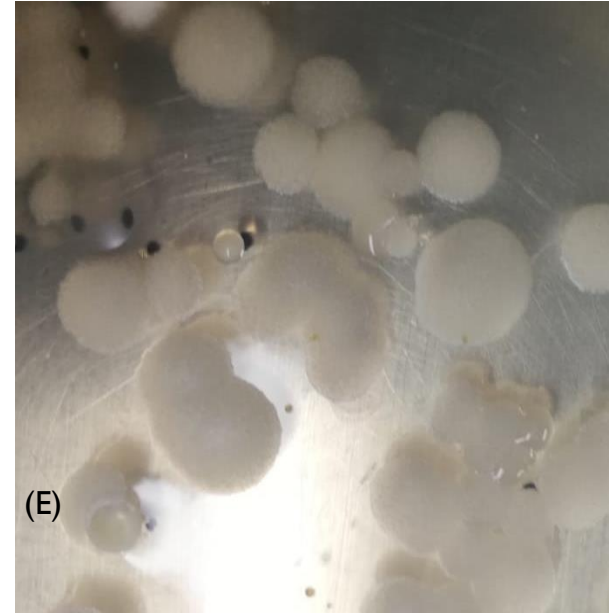
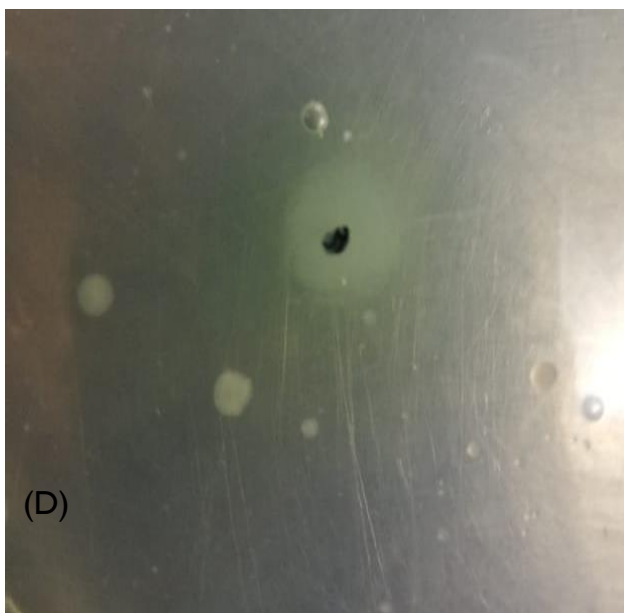
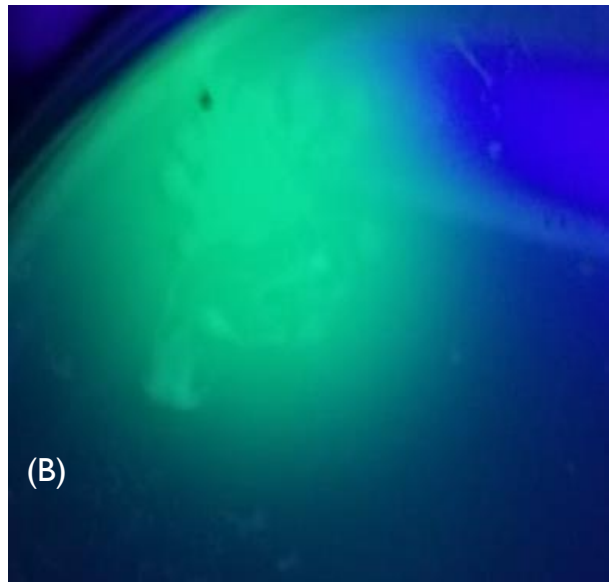
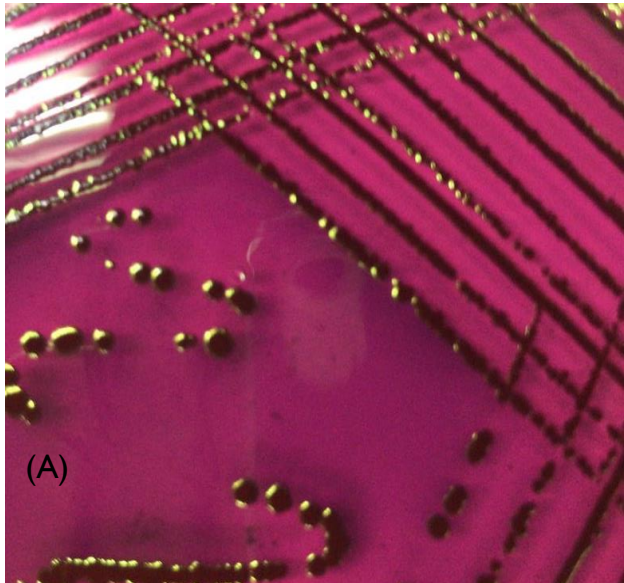
Zarringhalam, P. F., Yule, C. M., & Tindale, N. W. (2019). Rapid plant responses following relocation of a constructed floating wetland from a construction site into an urban stormwater retention pond. *Science of the Total Environment*, 111474.  
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111474>

## Anexos

*Anexo 1. Fotografías de la toma de muestras en las 5 fuentes ornamentales estudiadas*



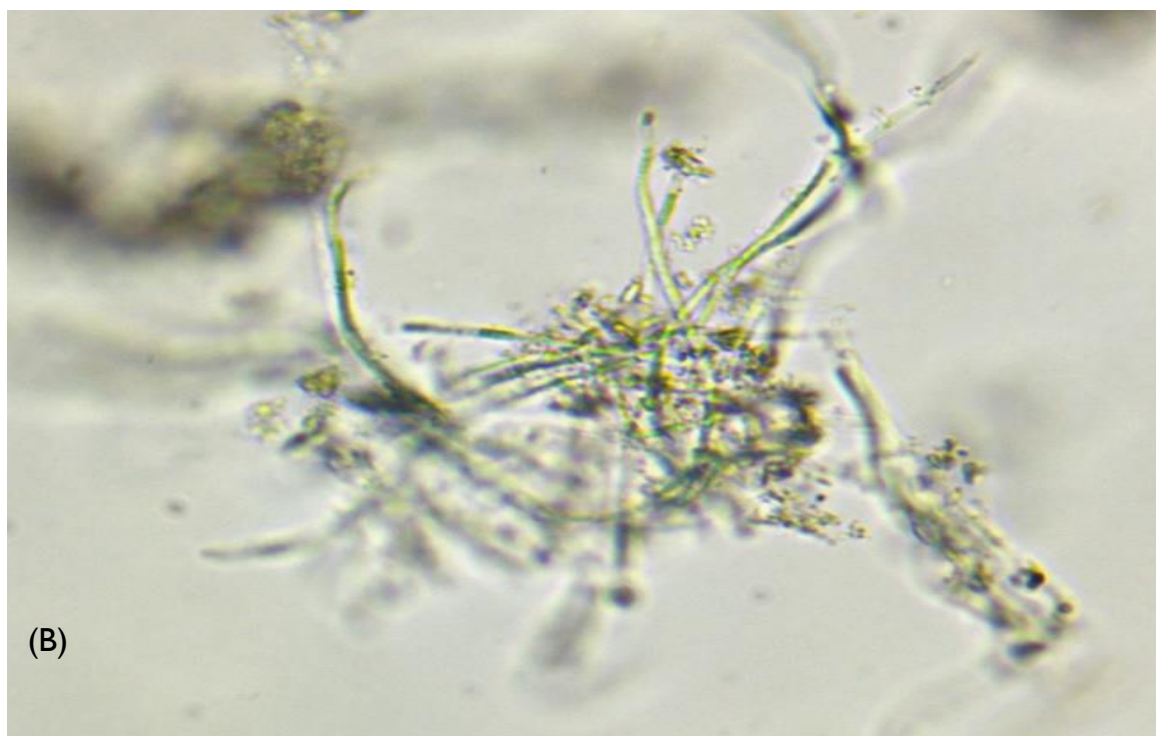
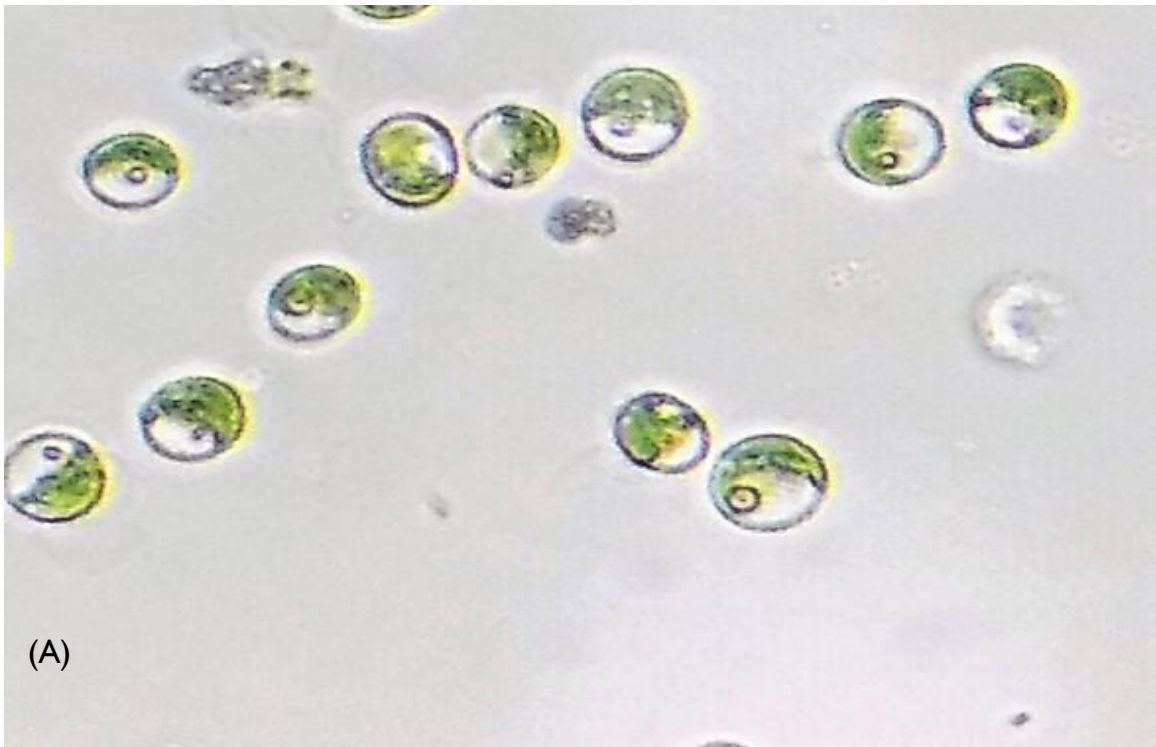
Anexo 2. Fotografías de cultivos de bacterias para las 5 fuentes estudiadas. (A) *Escherichia coli* (B) *Pseudomonas aeruginosa* (C) *Acinetobacter baumannii* (D) *Bacillus subtilis*. Tomadas por Camila Garcés



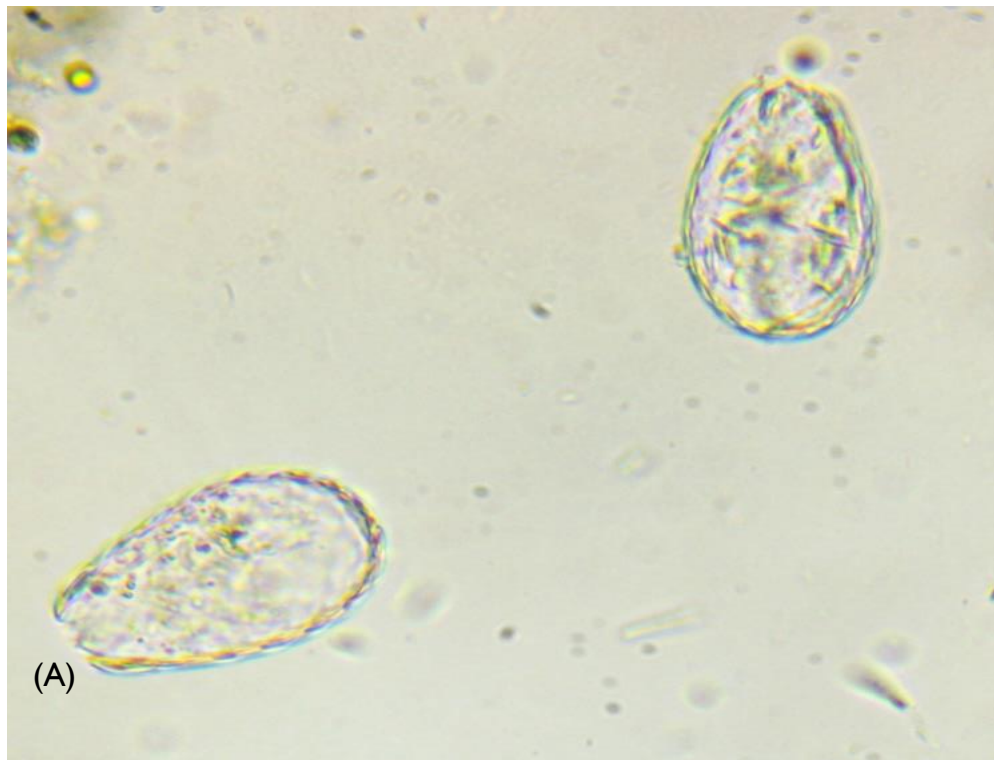
*Anexo 3. Fotografía del cultivo de Fusarium sp. Tomadas por Camila Garcés*



Anexo 4. Fotografía de algunos organismos algales identificados en las fuentes, tomada en magnificación de 400X (A) *Chlorella* sp. (B) *Cyanophyceae* filamentosa. Fotografías propias



*Anexo 5. Fotografía de ameba (A) y nemátodo (B) identificados en la investigación.  
Fotografías propias*



*Anexo 6. Fotografías de las fuentes durante los muestreos realizados. Fotografía propia*



*Anexo 7. Inventario de fuentes de la ciudad de Medellín*

LUGAR	PÚBLICA	PRIVADA
Parque de los deseos	X	
Universidad de Antioquia	X	
Universidad Pontificia Bolivariana		X
Universidad de Medellín		X
Parque explora	X	
Hospital Pablo Tobón Uribe		X
Hospital San Vicente Fundación		X
Parque de la Vida	X	
Centro comercial San Diego		X
Centro comercial Premium Plaza	X	
Centro comercial Punto Clave	X	
Parque del Poblado	X	
Centro comercial Santafe	X	
Centro comercial El tesoro	X	
Parque de las luces	X	
Plaza de la Libertad	X	
Parque de los pies descalzos	X	
Puerta de la ciudad	X	
Plaza Mayor	X	
Parque de Botero	X	
Palacio de la cultura		X
Museo de Antioquia		X
Plazuela Nutibara	X	
Plaza de Bolívar	X	
Museo El Castillo		X
Unidad Deportiva Atanasio Girardot	X	
Universidad EAFIT		X
Hotel Intercontinental		X
Hotel Portón de Medellín	X	
Centro comercial Unicentro	X	
Centro comercial Unión	X	
Centro comercial Camino Real	X	
Centro comercial El Paso	X	
Centro comercial Oviedo	X	
Centro comercial Viva Laureles	X	
Mall de Laureles	X	
Vivero tierra negra Puerta del Norte		X
Teatro Pablo Tobón Uribe	X	
Banco de la República	X	
Unidades de Vida Articulada Popular	X	



<b>LUGAR</b>	<b>PÚBLICA</b>	<b>PRIVADA</b>
Unidades de Vida Articulada San Cristobal	X	
Unidades de Vida Articulada San Fernando	X	
Unidades de Vida Articulada Porvenir	X	
Unidades de Vida Articulada Nuevo occidente	X	
Unidades de Vida Articulada La Libertad (Santa Elena)	X	
Unidades de Vida Articulada La Alegría	X	
Unidades de Vida Articulada de las Esperanza	X	
Unidades de Vida Articulada de la Armonía	X	
Unidades de Vida Articulada La Imaginación (Orfelinato)	X	
Unidades de Vida Articulada Nuevo amanecer (Santo Domingo)	X	
Torres de la fuente		X
Laureles Campestre		X
Ciudadela Laureles		X
Clínica Las Américas	X	
Parque de Belén	X	
Parque de la Floresta	X	
Edificio 35	X	
Pueblito Paisa	X	
Hotel Lleras 10	X	
San Fernando Plaza	X	
Edificio Corfinsura	X	
San fernando Casino	X	
Edificio Sudameris	X	
Edificio Porvenir Poblado	X	
NIrva Spa - Hotel Estelar Milla de Oro	X	
Panamericana Milla de Oro	X	
Laboratorio Clínico Hematológico	X	
Aeropuerto Olaya Herrera	X	
Cementerio Campos de Paz	X	
Unidad residencial El Enclave		X
Suramericana Fuente La Vida	X	

*Anexo 8. Resultados Análisis de Componentes Principales*

<b>EJES</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>VARIANZA TOTAL</b>
<b>Correlaciones especies - ambiente</b>	0,84	0,54	0,62	0,79	
<b>Porcentaje acumulado de varianza de la relación especies-ambiente</b>	69,40	84,70	95,80	100,00	
<b>Suma de todos los valores propios</b>					1,00
<b>Suma de todos los valores propios canónicos</b>					0,53

*Anexo 9. Resultados ANOVA*

<b>FUENTE</b>	<b>SUMA DE CUADRADOS</b>	<b>GI</b>	<b>CUADRADO MEDIO</b>	<b>RAZÓN- F</b>	<b>VALOR P</b>
Entre grupos	44,95	4	11,24	6,25	0,0087
Intra grupos	17,99	10	1,79		
<b>Total (Correlación)</b>	<b>62,93</b>	<b>14</b>			

*Anexo 10. Verificación de supuestos ANOVA*

<b>ANÁLISIS</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Valor - P</b>
<b>Homocedasticidad (Prueba de Bartlett)</b>	2,0210	0,2096
<b>Normalidad (Test de Shapiro-Wilk)</b>	0,9532	0,5525