

Microorganismos potencialmente fitopatógenos en aguas de riego proveniente de la cuenca media del río Bogotá

Potentially phytopathogenic microorganisms irrigation water from the media Bogota river basin

Título abreviado: *Fitopatógenos y aguas de riego*

Lucía Constanza Corrales Ramírez, Ligia Consuelo Sánchez Leal, Melco Esteban Quimbayo Salamanca

Resumen

Objetivo. Identificar microorganismos fitopatógenos presentes en las aguas utilizadas para riego en la cuenca media del río Bogotá. **Métodos.** Las muestras fueron tomadas en doce fincas de la cuenca media y analizadas con la técnica de filtración por membrana. Las bacterias se identificaron por bioquímica y los hongos por claves dicotomas. **Resultados.** El agua de riego analizada contenía bacterias como: *E.coli*, *P. vulgaris*, *A. urinae*, *E. cloacae*, *B.cereus*, *S. marcescens*, *B. brevis*, y en cuanto a los hongos se encontraron: *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus.*, *Mucor sp.*, *Rhizopus sp.*, *Penicillium sp.* y *Fusarium sp.* La presencia de estos potenciales fitopatógenos en el agua indican un alto riesgo de contaminación y dispersión de éstos en los cultivos.

Palabras claves: agua de riego, agua residual, fitopatógenos, cuenca media.

Abstract

Objective. Identify phytopathogenic microorganisms present in the water used for irrigation in the middle basin of the river Bogota. **Methods.** Samples were taken at 12 farms of the middle basin and analyzed by the membrane filtration technique. The bacteria were identified by biochemical and fungi by dichotomies keys. **Results.** The irrigation water contained bacteria analyzed as *E. coli*, *P. vulgaris*, *A. urinae*, *E. cloacae*, *B. cereus*, *S. marcescens*, *B. brevis*, and as for the mushrooms found: *A. fumigatus*, *A. flavus.*, *Mucor sp.*, *Rhizopus sp.*, *Penicillium sp.* and *Fusarium sp.* The presence of these potential pathogens in water indicate a high risk of contamination and dispersion thereof in crops.

Keywords: Irrigation water, wastewater, plant pathogens, middle basin.

Introducción

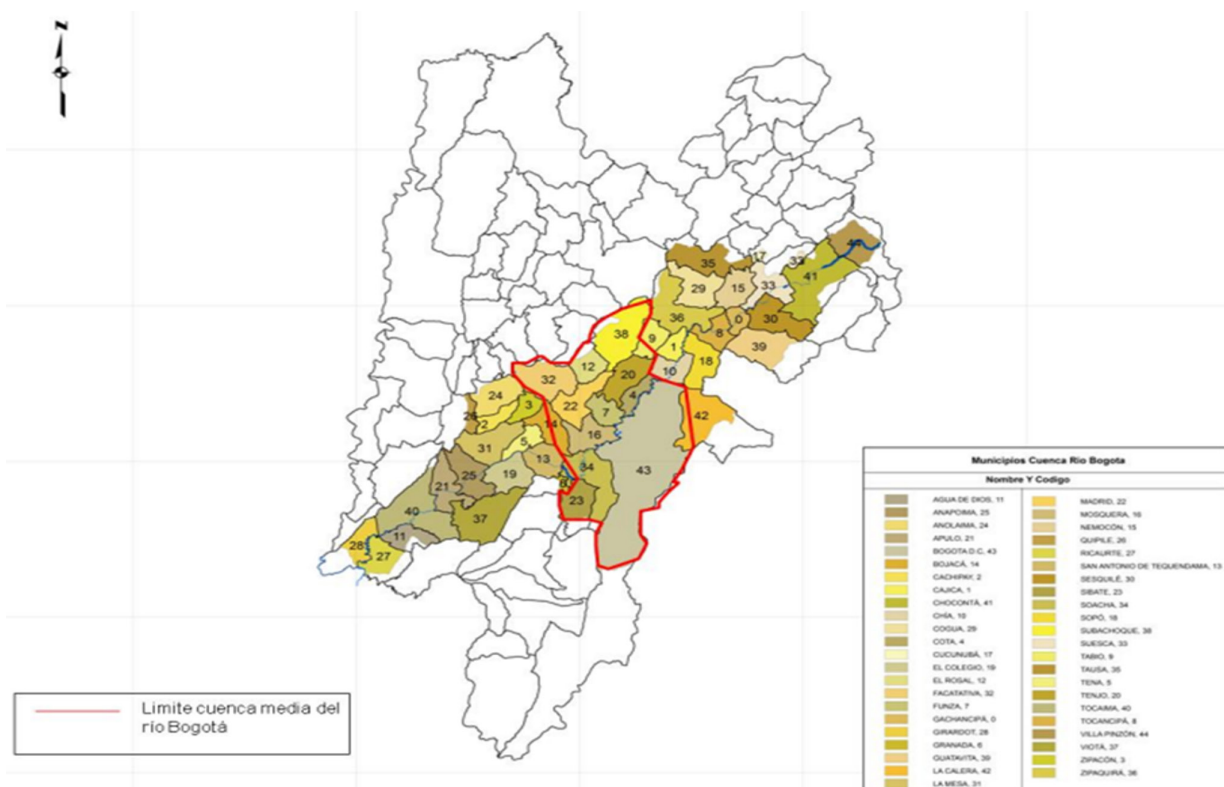
La producción agrícola y el agua siempre han estado incondicionalmente relacionadas. Al ser una fuente natural renovable, los recursos hídricos pueden agotarse por el uso inadecuado y la demanda en la producción agrícola. En muchas regiones del planeta la disponibilidad del agua se limita por los cambios climáticos que conllevan a largas temporadas de sequía (1).

La agricultura en Colombia es una fuente de la economía muy importante, con una contribución anual de alrededor del 12 % al Producto Interno Bruto (PIB) del país, como lo reporta en los últimos años el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) (2). La diversidad climática colombiana, la ubicación intertropical y ecuatorial, la variabilidad de pisos térmicos que incluye, entre otros, nevados, montañas, sabanas, valles y caribe, y sus diferentes fuentes hídricas, permiten el desarrollo de una gran variedad de cultivos agrícolas.

Según la FAO, a nivel mundial, Colombia está ubicada en el puesto 23 entre 223 países que tienen la mayor cantidad de suelos que pueden ser utilizados con fines agrícolas sin afectar el área de bosque, lo que hace de la agricultura un gran potencial económico para el país, característica que contribuye al cumplimiento de uno de los ocho objetivos del milenio relacionados con el tema de “erradicar la pobreza extrema y el hambre” (3, 4). A pesar de la capacidad agrícola que tiene Colombia, sólo se aprovecha el 8 % del área que está disponible y es utilizable para este fin, esto debido a que no se han tomado las precauciones adecuadas para que las prácticas agrícolas sean más seguras y rentables para los agricultores. Los planes de mejoramiento no cumplen a cabalidad con su objetivo, tampoco hay capacitaciones con la suficiente difusión que ayuden a reorientar el manejo agrícola tradicionalista que, en algunos casos, lleva a prácticas con consecuencias negativas sobre los cultivos y el suelo (3).

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) (5) basa la normativa para el uso del agua para fines agrícolas y de consumo humano, en el Decreto 1594/84 (6) y el Acuerdo CAR 43 de 2006 (7). Realizan dos campañas anuales, una en verano y la otra en invierno, en las cuales se analizan aspectos físicoquímicos y bacteriológicos del agua, en los que se limitan al estudio de coliformes totales, coliformes fecales, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos totales, dejando de lado las enfermedades que se pueden causar en las plantas; por cuanto esta situación no solo impacta sobre la producción y oferta de alimentos, también puede tener repercusión en la salud de las personas que consumen el producto agrícola (8).

La riqueza hídrica de Colombia es una de las más grandes del mundo con una disponibilidad per cápita de 45.402 metros cúbicos anuales de acuerdo al reporte para el año 2012. Sin embargo, las cuencas media y alta del río Bogotá cuentan con una población de alrededor de 1.630.187 habitantes, de los cuales el 77.67 % están ubicados en zonas urbanas y el 22.33 % están ubicados en zonas rurales, lo que indica que hay una gran demanda del recurso hídrico en la zona urbana que supera los 11.9 m³/s para el consumo doméstico. Adicionalmente, se observa deterioro de los recursos hídricos y del medio ambiente en general, producto del incremento de la población y los desechos que ella genera, los cuales, en muchos casos, son descargados en los ríos y afluentes al paso por la zona urbana (9).

Figura 1. Distribución de la cuenca media del río Bogotá.

Fuente. Tomado de Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental Río Bogotá (5).

De otro lado, debido a los altos costos del agua de acueducto y en algunos casos a la ubicación del cultivo que dificulta el suministro de agua para el riego, los agricultores de la cuenca media utilizan como recurso hídrico el agua del río Bogotá, sin importar los altos índices de contaminación que posea y las consecuencias que su uso puede generar a la salud de quienes tienen contacto directo con ésta, la dispersión de patógenos para las plantas y el deterioro del suelo, entre otras, (1,9).

La calidad del agua de riego incide sobre la productividad de los cultivos, la presencia de microorganismos en ella puede significar un efecto benéfico o uno perjudicial. Un sistema de recuperación biológico natural, para la contaminación de las aguas, se da a través de las microalgas, éstas son microorganismos benéficos en el agua, y cuando los ríos o las lagunas tienen grandes cantidades, éstas se alimentan generalmente de bacterias y utilizan la

energía solar para fijar CO₂, proceso que oxigena el agua y ayuda a la eliminación de microorganismos contaminantes (6).

También existen plantas como las macrofitas que ayudan en la depuración de contaminantes de aguas residuales (10). En otros casos hay bacterias, hongos y parásitos que están contaminando estas aguas y pasan a los cultivos, de tal forma que pueden generar algún tipo de fitopatología dependiendo de la susceptibilidad del mismo a la acción del patógeno.

En la cuenca media, los microorganismos que pueden ser fitopatógenos provienen de la contaminación del agua que al pasar por la zona urbana se contamina con los desechos de aguas negras, aguas industriales, residuos agrícolas y materia fecal de los criaderos de animales. Sin embargo, hay otros tipos de contaminación relacionados con los de-

sechos del proceso de la agricultura como: fertilizantes, herbicidas, plaguicidas y demás residuos, lo que deja al agua en un estado crítico, por lo que no es apta para el riego de cultivos y mucho menos para el consumo de animales y humanos (11).

Los cultivos característicos de la cuenca media son papa, zanahoria, fresas lechuga, arveja, repollo y hortalizas (5), los cuales son atacados en su mayoría por hongos, bacterias y algunos nemátodos. Estas fitopatologías pueden deberse al uso del agua de riego contaminada, la cual podría actuar como vehículo de los microorganismos fitopatógenos (3). Es así como la falta de control microbiológico del agua de riego tiene como consecuencia la disminución en la producción de los cultivos, baja calidad de los productos, menor remuneración económica para los agricultores al tener productos de calidad media o baja, pérdida en la exportación de productos, debido a que no se cumple con los estándares de calidad para este fin y además, porque se genera un mayor gasto de tiempo y dinero en el control de las enfermedades y en algunos casos en la recuperación del suelo.

El análisis de esta problemática es importante, actualmente el Estado ha visto la necesidad de hacer planes de mejora para tener recursos hídricos limpios o por lo menos con niveles bajos de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos. Con estas estrategias, los agricultores tendrán la oportunidad de tener cultivos de mejor calidad y, de esta forma, una economía más estable lo cual es rentable para el país por el incremento de las exportaciones y disminución de las importaciones (3).

Estos planes de mejoramiento deben involucrar a los diferentes actores que intervienen en la contaminación, como los agricultores, quienes son los más perjudicados o beneficiados, pasando por las personas que están en contacto con los recursos hídricos en las zonas urbanas, las industrias que derraman sus desechos en el agua de manera insensata, entre otros. Debe haber un direccionamiento distinto de los desechos sanitario-domésticos, los

cuales podrían contener algunos microorganismos que causan enfermedades a las plantas, estas medidas redundan en el bienestar de la sociedad en general al tener alimentos más limpios y de mejor calidad y desde luego con el sostenimiento de recursos no renovables, como es el agua y, en algunos casos, con el suelo. De esta forma se estará contribuyendo con otro de los objetivos del milenio “garantizar la sostenibilidad del medio ambiente” (4, 10).

Materiales y métodos

Ubicación de zonas de muestreo

Se realizó el reconocimiento de los lugares geográficos pertenecientes a la cuenca media del río Bogotá, donde se escogieron de manera aleatoria los lugares en los cuales se realizaron las tomas de muestra para el estudio, los datos de la ubicación geográfica fueron extraídos de documentos de la seccional Bogotá (5).

Los criterios de inclusión contemplados para la selección de la muestra fueron:

- Los sitios de recolección de muestras forman parte de la cuenca media del río Bogotá.
- El agua es utilizada para riego de cultivos agrícolas.

Los criterios de exclusión contemplados para la selección de la muestra fueron:

- La fuente hídrica no debía provenir de alguna planta de tratamiento de agua.
- El agua de riego no debía tener ningún tipo de tratamiento previo.
- La fuente hídrica para el riego no debía ser agua potable.

De acuerdo con el cumplimiento de criterios y la aceptación de los agricultores para participar en el estudio, se escogieron doce fincas agrícolas ubicadas en los municipios Sibaté, Soacha, Mosquera, Bojacá y Facatativá.

Sensibilización de agricultores

Se realizó un trabajo de sensibilización con los agricultores mediante un folleto, en éste se indicaba el objetivo del estudio, también se daban a conocer los riesgos a los que se podían ver expuestos los cultivos, la tierra y las personas que tenían algún contacto con aguas de mala calidad, contaminadas o de un origen no adecuado para estos procesos. También se realizó una encuesta en la cual los agricultores suministraron datos relacionados con la finca y la actividad agrícola, como: el tipo de riego que se utiliza en el lugar, de dónde proviene la fuente hídrica, consumo aproximado de agua al día, profundidad a la cual se toma el agua y el flujo

aproximado de agua, el tamaño de sus predios, el tipo de cultivo, el tipo de riego que utilizaban en sus cultivos, el nombre del predio y datos personales para establecer contacto.

Protocolo para la toma de muestra del agua utilizada para riego

El protocolo utilizado para la recolección de las muestras de agua de riego es tomado de la guía de toma de muestras de aguas del acueducto de Bogotá, y de muestras de aguas superficiales de hidrología. En la toma de muestra se utilizaron envases con capacidad de 5 litros, los cuales pasaron por un proceso de esterilización previo a la toma de muestra, los frascos se sumergieron entre 20 y 30 centímetros de profundidad de la superficie, de manera vertical en contra del flujo hídrico para obtener el agua; y para las muestras extraídas de aguas estancadas se introdujo el envase a una profundidad de 50 cm para recolectar la muestra (9).

Imagen 1. Muestras de agua de uso agrícola de la cuenca media Rio Bogotá.



Fuente. Elaboración propia.

Tabla 1. Nombre y ubicación de los predios donde se recolectaron las muestras.

| No de muestra | Nombre del predio | Ubicación del predio | Cultivo |
|---------------|--------------------|------------------------|-----------------------|
| 1 | Cascajas | Alto charco Sibaté | Fresas |
| 2 | Santa Ana | San Rafael – Sibaté | Fresas |
| 3 | El cerezo | Alto charco – Sibaté | Arracacha – Alcachofa |
| 4 | El Retiro | Alto charco – Sibaté | Fresas |
| 5 | El Verbenal | Soacha | Papa criolla |
| 6 | Villa nueva | Mosquera | Arvejas |
| 7 | Juanita | Bojacá | Papa – lechuga |
| 8 | Piedras de véngala | Facatativá | Maíz |
| 9 | Santa Teresita | La cancha – Facatativá | Zanahoria |
| 10 | La Esmeralda | Facatativá | Fresas |
| 11 | San José | Facatativá | Fresas |
| 12 | La Laguna | Facatativá | Hierbas aromáticas |

Fuente. Elaboración propia.

Aislamiento e identificación de los microorganismos fitopatógenos presentes en el agua de riego

Filtración por membrana

1. Se realizó homogenización de las muestras, de las cuales se tomó una alícuota de 100 ml, para ser filtrada a través de las membranas.

2. Se colocaron las membranas en el equipo de filtrado, luego se depositó la alícuota de la muestra para ser filtrada por medio de vacío.

Imagen 2. Filtración por membrana al vacío.



Fuente. Elaboración propia.

Inoculación de cultivos

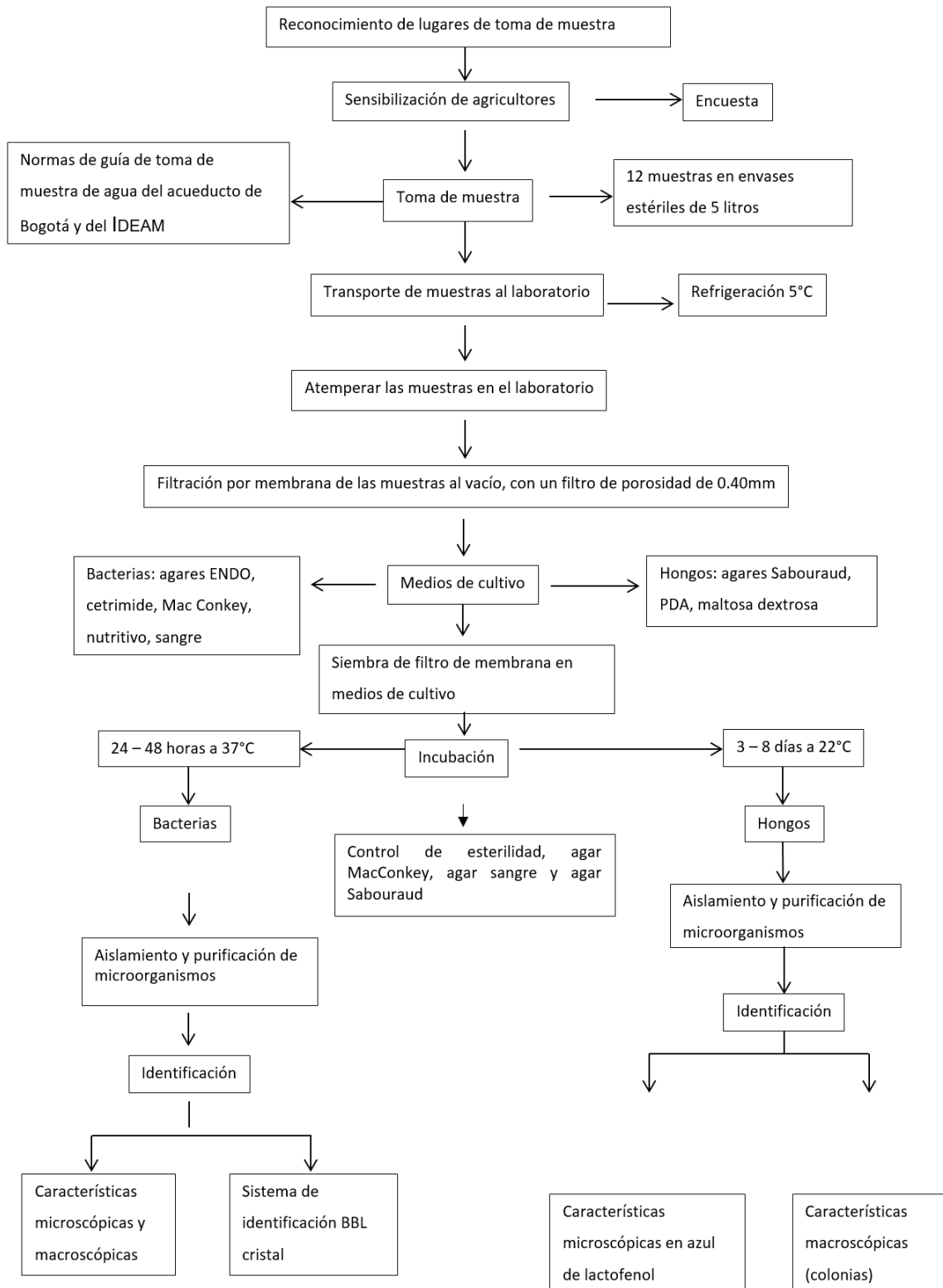
Posterior al filtrado, las membranas se depositaron en condiciones de esterilidad en las cajas con agar ENDO y agar nutritivo que se incubaron a 37°C por un tiempo de 24 a 48 horas, y en el agar Sabouraud que se incubó a 22°C por un tiempo de hasta 5 días, todos en condición de aerobiosis.

Identificación de microorganismos

Se realizó diferenciación microscópica mediante la coloración de Gram para las bacterias y azul de lactofenol en el caso de los hongos, con el objetivo de observar la morfología de los microorganismos para su posterior aislamiento y purificación.

A las bacterias Gram negativas se les realizó un pase en los medios: agar MacConkey, agar cetrimide y agar ENDO, y se incubaron de 24 a 48 horas a una temperatura de 37°C en condición de aerobiosis. A las bacterias Gram positivas se les realizó un pase en el agar sangre y se incubó de 24 a 48 horas a una temperatura de 37°C en condición de aerobiosis, y a los hongos se les hizo un pase en los medios agar maltosa dextrosa, agar Sabouraud y agar PDA, se incubaron a una temperatura de 22°C por un tiempo de 3 a 5 días y hasta 8 días según el caso, y en condiciones de aerobiosis.

Una vez purificados los microorganismos se realizó una identificación por medio del kit de identificación BD BBL Crystal Identification System siguiendo las indicaciones del fabricante, en el caso de las bacterias; y para los hongos se identificaron mediante las características macroscópicas de las colonias y las características microscópicas en la coloración de azul de lactofenol, las cuales fueron confirmadas mediante las claves dicotómicas.

Figura 2. Esquema de procesamiento de las muestras e identificación.

Fuente. Elaboración propia.

Resultados

Datos a partir de la sensibilización a los agricultores

La sensibilización a los agricultores permitió obtener información general de los predios y de las muestras que se analizaron.

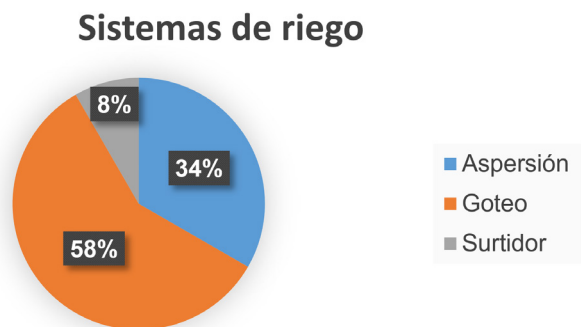
Los sistemas de riego de las doce fincas que se muestrearon presentaron la distribución estandarizada en la tabla 2.

Tabla 2. Tipos de riego y origen de las fincas muestreadas.

| Muestra | Sistema de riego | Origen de la fuente hídrica |
|--------------------------------|------------------|-----------------------------|
| Cascajas (Muestra 1) | Aspersión | Nacedero |
| Santa Ana (Muestra 2) | Aspersión | Estanque |
| El Cerezo (Muestra 3) | Goteo | Nacedero |
| El Retiro (Muestra 4) | Goteo | Nacedero |
| El Verbenal (Muestra 5) | Aspersión | Riachuelo |
| Villa Nueva (Muestra 6) | Goteo | Riachuelo |
| Juanita (Muestra 7) | aspersión | Rio Bojacá |
| Piedras de Véngala (Muestra 8) | Surtidor | Nacedero |
| Santa Teresita (Muestra 9) | Goteo | Nacedero |
| La Esmeralda (Muestra 10) | Goteo | Nacedero |
| San José (Muestra 11) | Goteo | Riachuelo |
| La laguna (Muestra 12) | Goteo | Riachuelo |

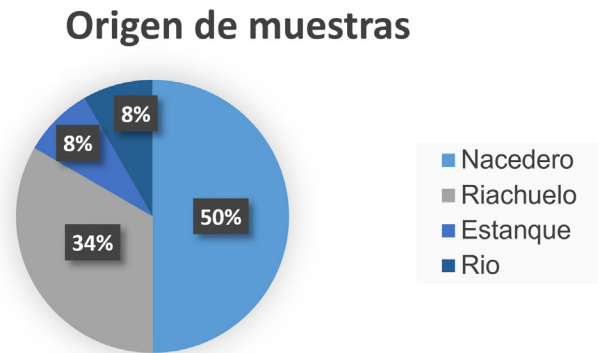
Fuente. Elaboración propia.

Figura 3. Distribución de los sistemas de riego en los lugares de muestreo.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 4. Sitios de origen de las muestras recolectadas.



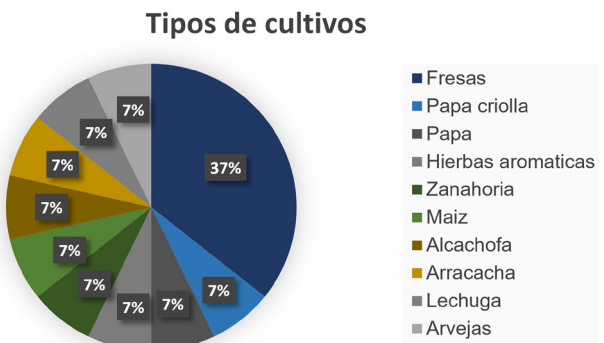
Fuente. Elaboración propia.

Tabla 3. Cultivos en las fincas muestreadas.

| Muestra | Cultivo |
|--------------------|---|
| Cascajas | Fresas |
| Santa Ana | Fresas |
| El Cerezo | Arracacha– Alcachofa |
| El Retiro | Fresas |
| El Verbenal | Papa criolla |
| Villa Nueva | Arvejas |
| Juanita | Papa– lechuga |
| Piedras de Véngala | Maíz |
| Santa Teresita | Zanahoria |
| La Esmeralda | Fresas |
| San José | Fresas |
| La laguna | Hierbas aromáticas: yerbabuena (<i>Mentha viridis</i>) y menta (<i>Mintostachys verticillata</i>) |

Fuente. Elaboración propia.

Figura 5. Distribución de los sistemas de riego en los lugares de muestreo.



Fuente. Elaboración propia.

Microorganismos identificados

Bacterias

En la identificación mediante el kit BD BBL Crystal Identification System se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 4.

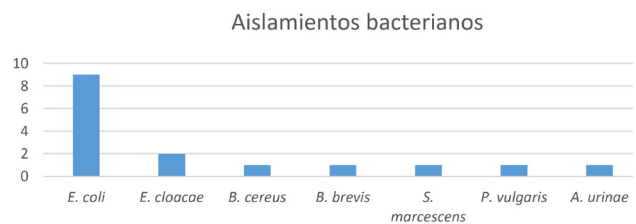
Tabla 4. Identificación de aislamientos bacterianos.

| Toma de muestra | Microorganismo identificado | % de Confiabilidad |
|--------------------|-----------------------------|--------------------|
| Cascajas | <i>Escherichia coli</i> | 98.6 % |
| | <i>Enterobacter cloacae</i> | 89.35 % |
| Santa Ana | <i>Escherichia coli</i> | 98.6 % |
| El Cerezo | <i>Escherichia coli</i> | 98.6 % |
| El Retiro | <i>Escherichia coli</i> | 98.6 % |
| El Verbenal | <i>Escherichia coli</i> | 98.6 % |
| | <i>Enterobacter cloacae</i> | 99.3 % |
| Juanita | <i>Escherichia coli</i> | 98.6 % |
| Piedras de Véngala | <i>Escherichia coli</i> | 98.6 % |
| | <i>Aerococcus urinae</i> | 95.1 % |
| Santa Teresita | <i>Proteus vulgaris</i> | 99.9 % |
| La Esmeralda | <i>Escherichia coli</i> | 98.6 % |
| | <i>Bacillus brevis</i> | 99.98 % |
| San José | <i>Serratia marcescens</i> | 99.9 % |
| | <i>Bacillus cereus</i> | 99.9 % |
| La laguna | <i>Escherichia coli</i> | 98.6 % |

Fuente. Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 4, *E coli* se encontró en 9 de las muestras analizadas correspondiendo al 56.2 %; seguida de *Enterobacter cloacae*, el cual se encontró en 2 de las muestras y correspondió al 12.5 %; el resto de microorganismos se encontró en un porcentaje de 6.25 % cada uno.

Figura 6. Bacterias identificadas en el agua de riego analizada.

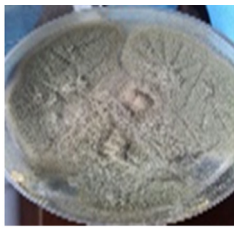
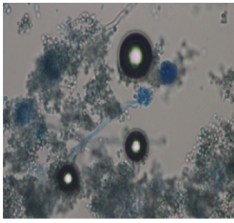


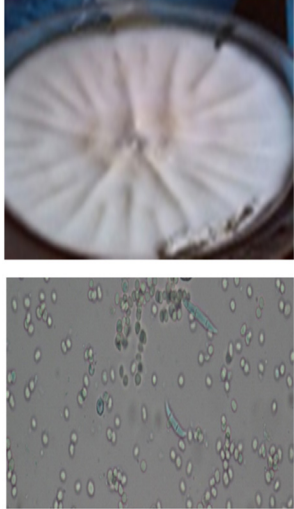
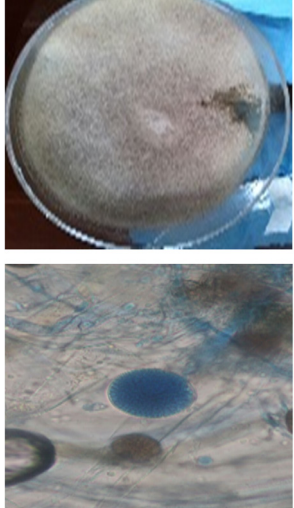
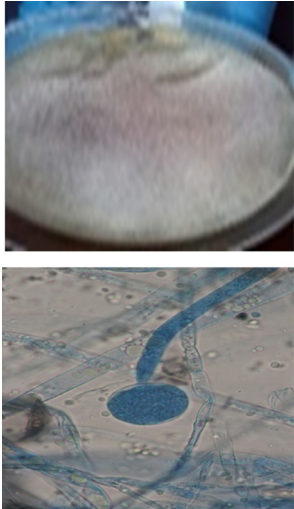
Fuente. Elaboración propia.

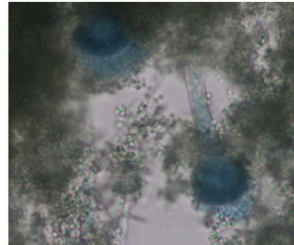
Hongos

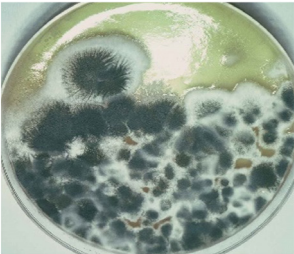
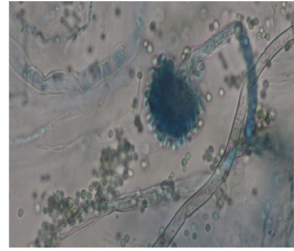
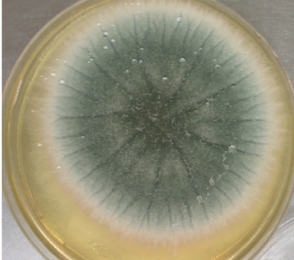
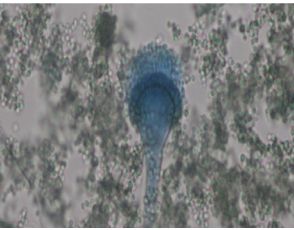

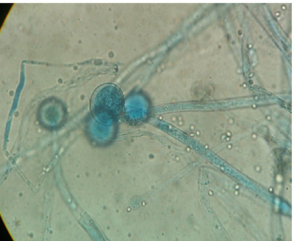
Los hongos se identificaron mediante la observación en fresco con azul de lactofenol, las características macroscópicas del cultivo y las claves dicótomas, como se describe en la tabla 5.

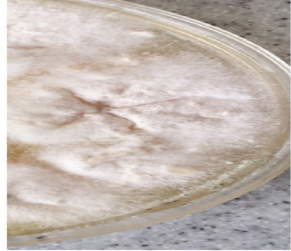

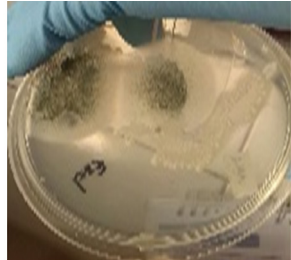
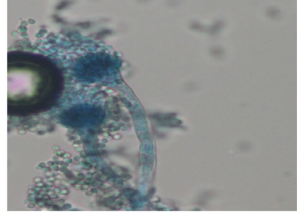
Tabla 5. Características macroscópicas y microscópicas de los hongos identificados en las muestras.

| Número de muestra | Microorganismo | Características macroscópicas | Características microscópicas | Fotos de microorganismo |
|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|---|---|
| Cascajas | <i>Aspergillus fumigatus</i> | Colonias verdes, planas, limitadas. | Conidióforo de pared delgada, hialino. Cabezuelas columnares, uniseriadas. Vesículas en forma de clava. Conidias verrugosas, esféricas. |   |

| Número de muestra | Microorganismo | Características macroscópicas | Características microscópicas | Fotos de microorganismo |
|-------------------|----------------|---|--|---|
| El Retiro | Fusarium sp. | Hifas hialinas septadas y delgadas. Macroconidias en acúmulos. | Colonias algodonosas de color morado que pueden cubrir todo el agar y adherirse a las paredes. |  |
| El Verbenal | Mucor sp. | Colonias algodonosas laxas de inicio blanco que se tornan grises o amarillas con el tiempo y alcanzan la superficie del agar. | Hifas gruesas y aseptadas. Esporangias con esporangiosporas redondas, hialinas o café en su interior. Esporangióforos ramificados, sin rizoides. Columela ovoide que no se observa fácilmente. |  |
| Villa Nueva | Mucor sp. | Colonias algodonosas laxas de inicio blanco que se tornan grises o amarillas con el tiempo y alcanzan la superficie del agar. | Hifas gruesas y aseptadas. Esporangias con esporangiosporas redondas, hialinas o café en su interior. Esporangióforos ramificados, sin rizoides. Columela ovoide que no se observa fácilmente. |  |

| Número de muestra | Microorganismo | Características macroscópicas | Características microscópicas | Fotos de microorganismo |
|-------------------|------------------------------|--|---|---|
| Villa Nueva | <i>Aspergillus fumigatus</i> | Colonias verdes, planas, limitadas. | Conidióforo de pared delgada, hialino. Cabezuelas columnares, uniseriadas. Vesículas en forma de clava. Conidias verrugosas, esféricas. |   |
| Juanita | <i>Rhizopus sp.</i> | Colonias algodonosas laxas, que alcanza la tapa del agar. Inicia de color blanco y se torna gris con puntos negros que corresponden a las esporangias. | Hifas gruesas y aseptadas, esporangia café, columela ovoide, con apófisis no prominente al final del esporangióforo. |   |
| Piedras de Végala | <i>Penicillium sp.</i> | Colonias aterciopeladas, levantadas, plegadas de inicio blanco que se tornan de color verde a gris | Conidióforos rectos, hialinos, con fialides que nacen sobre métulas. Conidias producidas en cadena, de forma esférica y hialina. |   |

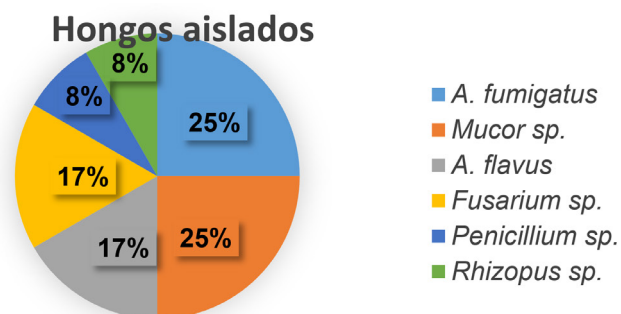
| Número de muestra | Microorganismo | Características macroscópicas | Características microscópicas | Fotos de microorganismo |
|-------------------|------------------------------|---|---|---|
| Santa Teresita | <i>Aspergillus flavus</i> | Colonias verdosas, limitadas y pulverulentas. | Conidioforos hialinos de pared rugosa. Cabezuela radiada, uniseriada, vesículas esféricas. Conidias esféricas. |   |
| La Esmeralda | <i>Aspergillus fumigatus</i> | Colonias verdes, planas, limitadas. | Conidióforo de pared delgada, hialino. Cabezuelas columnares, uniseriadas. Vesículas en forma de clava. Conidias verrugosas, esféricas. |   |
| San José | <i>Mucor</i> sp. | Colonias algodonosas laxas de inicio blanco que se tornan grises o amarillas con el tiempo y alcanzan la superficie del agar. | Hifas gruesas y aseptadas. Esporangias con esporangiosporas redondas, hialinas o cafés en su interior. Esporangióforos ramificados, sin rizoides. Columela ovoide que no se observa fácilmente. |   |

| Número de muestra | Microorganismo | Características macroscópicas | Características microscópicas | Fotos de microorganismo |
|-------------------|---------------------------|--|--|---|
| San José | <i>Fusarium</i> sp. | Hifas hialinas septadas y delgadas. Macroconidias en acúmulos. | Colonias algodonosas de color morado que pueden cubrir todo el agar y adherirse a las paredes. |   |
| La laguna | <i>Aspergillus flavus</i> | Colonias verdosas, limitadas y pulverulentas. | Conidioforos hialinos de pared rugosa. Cabezuela radiada, uniseriada, vesículas esféricas. Conidias esféricas. |   |

*Las imágenes de los cultivos fueron tomadas en el agar Sabouraud y los montajes directos en azul de lactofenol.

Fuente. Elaboración propia.

Figura 7. Aislamientos de hongos en el agua de riego de la cuenca media del río Bogotá.



Fuente. Elaboración propia.

Discusión

La contaminación de las cuencas hidrográficas con agua residual es una de las causas más significativas de enfermedad en las plantas debido al alto contenido de microorganismos, elementos químicos y residuos sólidos que contienen. Las cuencas hidrográficas generalmente cuentan con asentamientos urbanos alrededor, los cuales tienen una cantidad elevada de población que con frecuencia no ha sido planificada, y realizan actividades económicas que causan desequilibrios ambientales, producto del uso desordenado de los recursos naturales, como el agua (3). La principal repercusión en este caso es que el agua pierde sus propiedades naturales y esto limita el uso de la misma (3).

En Colombia la problemática de la distribución etnográfica es uno de los temas más importantes en la agricultura debido a la cantidad de personas asentadas en las zonas urbanas en comparación con las que están situadas en la zona rural. La demanda de alimentos que genera la población urbana del país ha desencadenado, en los agricultores, un afán por abastecer en cantidad y variedad estas necesidades.

De otro lado, el costo de utilizar el agua de acueducto para la agricultura y en otros casos la no existencia de sistemas hídricos aptos para riego, lleva a los agricultores a hacer uso de recursos hídricos no óptimos, lo que genera riesgo de un lado para los cultivos ya que pueden adquirir algún tipo de fitopatógeno y perjudicar la producción y de otro lado para quienes consumen el producto vegetal directamente (11).

Además, no se debe olvidar que las ciudades son cada vez más grandes y albergan una cantidad mayor de personas, lo cual genera aumento en la demanda de agua. Por esta razón, los recursos hídricos asignados a las zonas urbanas demandan una gran parte de los recursos hídricos que deberían ser destinados para la agricultura (12).

El agua residual en las ciudades es abundante, existe fácil acceso a ellas y no tienen ningún costo. En Colombia no se hace ningún tipo de tratamiento al agua residual, por lo que se debería limitar su uso a procesos industriales donde no se tenga contacto con organismos vivos. En países desarrollados como Israel, Australia, Estados Unidos y Alemania, entre otros, este tipo de agua se somete a tratamientos con el fin de bajar la carga de contaminantes químicos y biológicos, para poder aprovecharla en usos como: riego de cultivos agrícolas, jardines, campos deportivos, lagos recreativos, acuíferos subterráneos, torres de enfriamiento industrial y aire acondicionado, entre otros, de tal forma que no genere consecuencias en la salud y al suelo (13).

En países como Cuba, el agua residual que ha sido tratada no es usada para riego agrícola, sólo tiene uso industrial, pues el tratamiento no devuelve completamente las características al agua y se considera que no cumple con las condiciones óptimas para este uso (13).

No todas las plantas son susceptibles a los mismos patógenos, la afectación depende de múltiples factores asociados al suelo, agua, ambiente y a las condiciones específicas de los cultivos, entre otras.

La literatura reporta gran variedad de fitopatógenos, los que se pueden encontrar comúnmente asociados a los cultivos de las fincas del presente estudio como:

- Alcachofa (*Cynara scolimus l.*), en ésta se reportan infecciones por *Fusarium spp.*, causando marchitez, *Botrytis cinerea* con la pudrición gris y *Erwinia spp.*, causando necrosis y podredumbre blanda (14-16).
- Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), a esta se asocian *Alternaria spp.*, que produce alternariosis caracterizada por presentarse en la parte aérea de la planta y *Pseudomonas spp.*, que ocasiona pudrición (17,18).

- Arveja (*Pisum sativum*), *Colletotrichum gloeosporioides*, reconocido por causar la antracnosis y *Pseudomonas spp.*, por causar pudrición (19, 20).
- Fresa (*Fragaria vesca*), *Botrytis cinérea*, *Phytophthora cactorum*, *Mucor spp.* y *Xanthomonas spp.*, relacionados con pudrición sobre todo en frutos (19, 21-23).
- Lechuga (*Lactuca sativa*) *Botrytis cinérea*, que produce ablandamiento de todas las partes de la planta y *Pseudomonas spp.*, con necrosis (24).
- Maíz (*Zea mays*) a esta planta se asocia el complejo de mancha de asfalto conformado por *Phyllachora maydis*, *Monographella maydis* y *Coniothyrium phyllachorae* que causan la mancha de asfalto, la cual se caracteriza por presentar puntos negros levemente elevados distribuidos en toda la superficie de las hojas. También se encuentra el complejo mancha gris, producido por *Cercospora zea maydis* y *Cercospora sorghi*, que conlleva a necrosis y *Erwinia spp.*, que genera pudrición acuosa (25).
- Papa (*Solanum tuberosum*), con frecuencia se encuentra *Phytophthora infestans* que produce el tizón tardío, *Fusarium spp.*, con la pudrición seca y *Erwinia spp.*, con la pudrición blanda (26).
- Zanahoria (*Daucus carota l.*) con *Alternaria sp.*, que produce tizón de hoja, *Pythium sp.*, enfermedad del picado y *Erwinia sp.*, con la pudrición blanda (27,28)

Los microorganismos contaminantes encontrados en el estudio correspondieron a bacterias como: *E.coli*, *P. vulgaris*, *A. urinae*, *E. cloacae*, *B.cereus*, *S. marcescens*, *B. brevis*, los cuales son bacterias oportunistas, capaces de generar patologías en los seres humanos. Debido a lo anterior, el agua de la cuenca media del río Bogotá que es utilizada para riego

de cultivos es un problema para la salud pública (29,30).

De éstas, *E. coli* es la que se encuentra con mayor frecuencia (9 muestras), se asocia con contaminación de heces humanas y animales, no es reportada como fitopatógeno, solamente con patogenicidad para el humano dependiendo del virotipo al que pertenezca y al estado de inmunidad del hospedero.

E. cloacae se encontró en dos de las muestras analizadas y es una de las que se reporta como fitopatógeno, especialmente en cultivos de cebolla y maíz (31). Produce pudrición de raíces en plantas, lo que deja en duda si el microorganismo que se identificó en el agua de riego es un microorganismo fitopatógeno o endófito en las plantas con las que tiene contacto, ya que no se observó enfermedad en el cultivo. La verdadera acción de este microorganismo sobre las plantas debe ser confirmado con pruebas de patogenicidad (32).

S. marcescens es un patógeno oportunista para el humano, lo cual representa un riesgo para la salud de los agricultores y para quienes consumen los vegetales crudos o sin pelar, sin embargo, también se reporta como biocontrolador sobre insectos que pueden afectar los cultivos agrícolas (33) y en este caso sería un factor de protección.

El género *Bacillus*, en especial *B. brevis*, también se reporta como un microorganismo con potencial efecto biocontrolador o antagonista frente a hongos patógenos para el humano y plantas como *Fusarium spp.*, (34,35). Por lo tanto la presencia de *Bacillus* en el agua de riego agrícola puede tener efectos positivos para el cultivo ya que inhibe la acción de microorganismos fitopatógenos y además promueve el crecimiento vegetal.

Con relación a los hongos que se encontraron en el estudio están: *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Mucor spp.*, *Rhizopus spp.*, *Penicillium spp.*, y *Fusarium spp.*, los cuales han sido reportados como

posibles fitopatógenos, esto indica que los cultivos que son regados con este tipo de aguas están expuestos a enfermar a causa de alguno de éstos (36).

Fusarium spp. fue identificado en las aguas de riego de dos fincas de las doce del estudio, este es uno de los microorganismos que más se relaciona con fitopatologías en diversas plantas como marchitez, y puede ser diseminado mediante la semilla del cultivo; posteriormente, afecta las raíces de las plantas, continuando con la parte del tallo, hojas y frutos del cultivo. La predisposición a la susceptibilidad se debe a la degradación que puede hacer de geles y calosas, como también a la inhibición de la producción de las tilosas por su acción proteolítica (14).

La cuenca media del río Bogotá está ubicada en la región geográfica con mayor cantidad de hectáreas sembradas y mayor producción de hortalizas y plantas aromáticas en Colombia según el Plan Hortícola Nacional (PHN) (37). La cantidad de cultivos que se encuentran en esta zona hacen que el manejo de las enfermedades en los cultivos sea un tema neurálgico y de gran importancia debido a la demanda en las ciudades por estos productos agrícolas.

Otra forma en la que afecta la presencia de microorganismos que pueden ser fitopatógenos en las aguas de riego es la calidad de las cosechas obtenidas para su exportación, ya que los requisitos en otros países son rigurosos (38). Cuando se detecta la presencia de algún microorganismo que esté causando alguna infección o existe el rastro de que el producto ha sido infectado no podrá exportarse, lo cual disminuye los ingresos económicos que podría tener el agricultor y el país (37).

Sin embargo, los resultados obtenidos permiten inferir que la calidad del agua con la que se riegan los cultivos en los sitios muestreados no tiene microorganismos fitopatógenos de gran importancia, esto podría indicar que en el agua no se encuentran las condiciones de crecimiento y desarrollo para

los microorganismos fitopatógenos y por lo tanto que pueden desarrollar infección en los cultivos (37,39).

Para evitar o disminuir la diseminación de microorganismos contaminantes del agua de riego se tienen que tener varias precauciones como: utilizar el método de riego más apropiado para no ayudar a la proliferación de los microorganismos, esto hace referencia al riego por aspersión que ayuda a la diseminación de microorganismos, debido a que la fuerza con la que sale el agua ayuda a que los contaminantes se diseminen por todo el cultivo en forma de esporas que luego maduran en otra zona del cultivo extendiendo así la enfermedad (38).

El agua de riego utilizada en la cuenca media del río Bogotá tiene características microbiológicas que no son las adecuadas para el óptimo desarrollo de los cultivos, a pesar de que los microorganismos encontrados no son los más patógenos para las plantas, sí pueden pasar al humano por consumo directo del vegetal crudo o sin pelar, sobre todo en aquellos casos en que el riego es por aspersión (40-44). Con la información encontrada en este trabajo, los agricultores pueden prevenir la contaminación de sus cultivos y lograr un mejor desarrollo de las cosechas, produciendo mayor rentabilidad y un mejor producto para el consumidor.

Conocer los microorganismos que están presentes en el agua de riego de la cuenca media del río Bogotá, genera un aporte a los organismos que hacen el control del agua que es utilizada con fines agrícolas, ya que la normatividad únicamente habla de la concentración de microorganismos coliformes totales y coliformes fecales y de niveles de contaminación físico-química, por lo tanto la generación de nuevas normas de uso del agua con fines agrícolas que incluyan la restricción de uso de aguas contaminadas con microorganismos fitopatógenos podrían disminuir las consecuencias que traen las infecciones por estos microorganismos en las plantas y en los agricultores. (13,39)

Conclusiones

El agua de riego de la cuenca media del río Bogotá tiene contaminantes microbiológicos que podrían afectar el desarrollo de los cultivos agrícolas y, en consecuencia, disminuir la calidad de los productos, lo cual afecta la rentabilidad para los agricultores.

Las técnicas de manejo de los cultivos por parte de los agricultores, así como los tipos de riego que utilizan y el agua empleada para el riego son uno de los factores más importantes en la diseminación de microorganismos fitopatógenos.

Microorganismos como: *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Mucor spp.*, *Rhizopus spp.*, *Penicillium spp.*, *Fusarium spp.*, *E. cloacae* y *B.cereus*, los cuales se aislaron en las doce muestras de las fincas de la cuenca media, se relacionan en la literatura como posibles productores de enfermedades en las plantas como pudrición de tallos, marchitez de las hojas, pudrición de los frutos y deformación en los frutos, entre otras. Para confirmar el poder patógeno de estos microorganismos se deben realizar pruebas de patogenicidad y evidenciar sus efectos en los diferentes cultivos.

Es importante hacer campañas educativas con los agricultores para evitar situaciones de salud pública ya que algunos de los microorganismos aislados en la cuenca media del río Bogotá son patógenos oportunistas para los humanos y pueden llegar a producir enfermedad por contacto directo o indirecto.

Es necesario generar normativas para el uso de agua con fines agrícolas en las que se contemplen la contaminación por microorganismos fitopatógenos, se propenda por la salud de los humanos que tienen contacto con ella y hacer vigilancia y control al cumplimiento de las mismas.

Referencias

1. Condori D. Uso agrícola del agua del río Bogotá y fragmentación socioespacial heredada del municipio de Mosquera. Perspectiva geográfica. Bogotá; 2007.
2. DANE. Resultados PIB Departamental año 2013 definitivo y 2014 provisional; [base 2005] [citado diciembre de 2015]. Recuperado de: <http://www.dane.gov.co/index.php/cuentas-economicas/cuentas-departamentales>
3. Perfetti JJ, Hernández A, Leibovich J, Balcázar Á. Políticas para el Desarrollo de la Agricultura en Colombia; 2013.
4. Salud Omdl. Objetivos de desarrollo del milenio 2015. Recuperado de: http://www.who.int/topics/millennium_development_goals/about/es/.
5. Corporación Autónoma Regional (CAR). Río Bogotá adecuación hidráulica y recuperación ambiental. Volumen I estrategia regional. Evaluación ambiental y plan de gestión ambiental. Colombia; 2014.
6. Medeiros AO, Missagia BS, Brandão LR, Callisto M, Barbosa FA, Rosa CA. Water quality and diversity of yeasts from tropical lakes and rivers from the Rio Doce basin in Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2012; 43(4): 1582-94.
7. Bogotá Ad. Decreto 1594 de 1984; 1984.
8. Bogotá Ad. Acuerdo 043 de 2006. Bogotá, Colombia; 2006.
9. IDEAM. Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. Bogotá, Colombia; 2002.
10. Martelo J, Borrero JAL. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y ciencia*. 2012; 8(15): 221-43.
11. Cundinamarca Cd. Estado de los recursos naturales y del ambiente de Cundinamarca. Bogotá, Colombia; 2010.
12. Sastriques FO, Gallego RO. El riego con aguas de mala calidad en la agricultura urbana. Aspectos a considerar. II. Aguas residuales urbanas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2007; 16(3): 25-7.
13. Güiza Suárez L, Londoño Toro B, Rodríguez Barajas CD. La judicialización de los conflictos ambientales: un estudio del caso de la cuenca hidrográfica del Río Bogotá (CHRB), Colombia. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 2015; 31(2): 195-209.
14. Rodríguez DA, Montilla JO. Disminución de la marchitez causada por *Fusarium* en tomate con extracto de *Citrus paradisi*. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)*. 2002; 63: 46-50.
15. Kimati H, Amorim L. *Manual de Fitopatología: principios e conceitos*. São Paulo: Agronômica Ceres. 1995: 417-54.
16. Kunstmann JP, Ciampi L, Böhm L, Barrera S, Collado L. Determinación de Especies de *Erwinia* (grupo carotovora) como Agentes Causales de Pudrición Blanda en *Cala* (*Zantedeschia spp.*). *Agricultura Técnica*. 2006; 66(3): 247-55.
17. Peñalver R, Llop P, Marco-Noales E, López MM. Bacterio-

- logía E. Bacterias fitopatógenas: ¿es posible su prevención?; 2009.
18. Henz Gilmar P. Present situation of arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) diseases in Brazil. *Horticultura Brasileira* (2002): 135-144.
 19. Madigan MT, Martinko JM, Parker J, Brock TD. *Biología de los microorganismos*. Barcelona: Pearson Education/Prentice Hall; 2000. 701 p.
 20. Galdames R. Diagnostico y control de enfermedades en arveja y lenteja. *Centro regional de investigación INIA-Carillanca*; 2000; 35-47p.
 21. De Icochea TA. *Enfermedades fungosas y bacterianas de raíces y tubérculos andinos*: International Potato Center; 1997.
 22. Guereña M, Ames G, Born H. *Fresas orgánicas y opciones para el manejo integrado de plagas: Guía de producción hortícola*. Centro Nacional de Tecnología Apropiada (NCAT). *Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA)*; 2003.
 23. Martínez G and others. *Phytophthora sp. es el responsable de las lesiones iniciales de la Pudrición del cogollo (PC) de la Palma de aceite en Colombia*. *Revista Palmas*. 2008; 29(3): 31-41.
 24. Almodóvar W. *Enfermedades de la lechuga*. Colegio de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico; 2001.
 25. Agudelo FV, Sarria Villa GA. *Enfermedades del maíz y su manejo*. Fenalce-ICA. Colombia; 2007.
 26. Torres, H. *Manual de las enfermedades mas importantes de la papa en el Peru*. International Potato Center; 2002.
 27. Hernández-Castillo FD y otros. *Bioeficacia de productos orgánicos, biológicos y químicos contra Alternaria dauci Kühn y su efecto en el cultivo de zanahoria*. *Phyton (Buenos Aires)*. 2006; 75: 91-101.
 28. Pardo, JA. *Principales plagas y enfermedades que afectan al cultivo de zanahoria*. *Vida rural*. 2000; 109: 48-50.
 29. Hernandez J, Espinoza Y, Malpica L, De Jesus M. *Calidad del agua de riego y parámetros microbiológicos y químicos del suelo de la zona agrícola de Barbacoas, estado Aragua*. *Revista Facultad Agronomía*. 2011; 37 (1): 1-10.
 30. Meléndez IFS, Almazán RC, De Alba JA, García HMD, Larragoitia JC. *Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 2011; 27(2): 103-13.
 31. Fiol C. *Análisis de proteómica comparativa en la variedad resistente de manihot esculenta crantz bajo la infección de enterobacter cloacae*. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela; 2011.
 32. Santana MA, and others. *A New Bacterial Disease of Cassava in Venezuela Caused by Enterobacter cloacae*. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2012: 183-189.
 33. Corona JEB. *Serratia marcescens: De patógeno oportunista al control de insectos que afectan cultivos agrícolas*. *BioTecnología*. 2003; 8.
 34. Corrales LC. *Evaluación del efecto biocontrolador de Bacillus spp., frente a Fusarium spp., bajo condiciones de invernadero en Rosmarinus officinalis L*. *NOVA*. 2010; 8(13).
 35. Tejera B, Heydrich M, Rojas MM. *Antagonismo de Bacillus spp. frente a hongos fitopatógenos del cultivo del arroz (Oryza sativa L.)*. *Revista de Protección Vegetal*. 2012; 27(2): 117-22.
 36. Suárez ML, Mendoza I, Monroy JA, de la Cruz J, Angulo O, González O. *Aislamiento, identificación y sensibilidad a antifúngicos de hongos fitopatógenos de papaya cv. maradol (Carica papaya L.)*. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 2013.
 37. Portilla, A. *Entorno de la cadena productiva de las plantas aromáticas, medicinales y condimentarias en Colombia*. *Plan hortícola nacional*. En: Zurita, J., JC Barrientos y L. Chaparro. *Perspectivas del agronegocio de hierbas aromáticas culinarias y medicinales*. Proyecto hierbas aromáticas. Bogotá, Colombia: Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia; 2007. 11-26 p.
 38. Lopera M. *Ministerio de agricultura y desarrollo rural, reporte nacional república de Colombia*. En: rural Mdayd, editor. Bogotá, Colombia; 2011.
 39. Silva Jaramillo M. *Caracterización genética de aislamientos de Phytophthora infestans en las zonas productoras de papa de los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Norte de Santander (Colombia)*. *Actualidades Biológicas*. 2009; 31(90): 5-20.
 40. Achicanoy López H. *Estrategias integradas para el control de enfermedades de las plantas*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 2001; 54 (1-2): 1251-1273, 2248-7026, 0304-2847.
 41. Lopera M. *Ministerio de agricultura y desarrollo rural, reporte nacional república de Colombia*. En: rural Mdayd, editor. Bogotá, Colombia; 2011.
 42. Pinilla B Gladys, Chavarro P Bibiana, Moreno A Natalia, Navarrete O Jeannette, Muñoz M Lilibiana. *Determinación de los genes, 16S ADNr, polA, y TpN47, en la detección de Treponema pallidum subsp. pallidum para el diagnóstico de sífilis congénita*. *Nova*. 2015; 13(24): 17-25.
 43. Corrales Lucia Constanza, Antolinez Romero Diana Marcela, Bohórquez Macías Johanna Azucena, Corredor Vargas Aura Marcela. *Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta*. *Nova*. 2015; 13(24): 55-81.
 44. Carrero Sandra Helena Suescún, HerediaMontoya Dina Paola, Bolaños Yoryany Mulato, Medellín Martín Orlando Pulido. *Seroprevalencia de infección por Leptospira y factores de riesgo en estudiantes de una universidad de Colombia*. *Nova*. 2017; 15(27): 131-138.
 45. Zuluaga Martha, Robledo Sebastian, Osorio-Zuluaga German A, Yathe Laura, Gonzalez Diana, Tabora Gonzalo. *Metabolomics and pesticides: systematic literature review using graph theory for analysis of references*. *Nova*. 2016; 14(25): 121-138.
 46. Ávila de Navia Sara Lilia, Estupiñán-Torres Sandra Mónica,

Díaz González Liliana. Calidad bacteriológica del agua Vereda El Charco, San Miguel de Sema, Boyacá- Colombia. Nova. 2016; 14(25): 139-145.