

IMPACTOS DE LAS CONDICIONES HIDRÁULICAS EN LA PROLIFERACION DE
BIOFILMS BACTERIANOS EN TUBERÍAS DE AGUA POTABLE.

MONOGRAFÍA

PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

ELBAR JHOVANY TORRES RESTREPO

COD. 1120565082

DIRECTOR

Ms.C JORGE LUIS ORTIZ CARRILLO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

PAMPLONA

2022

Dedico este escrito monográfico principalmente a Dios y a mis Padres que son el motor para seguir luchando por mis sueños, a ellos les debo todo lo que soy.

INDICE

PRÓLOGO	6
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
II. OBJETIVOS.....	8
<i>Objetivo General.....</i>	<i>8</i>
<i>Objetivo Específicos.....</i>	<i>8</i>
INTRODUCCIÓN	9
I. RESUMEN.....	11
II. JUSTIFICACIÓN.....	13
CAPITULO 1. BIOPELICULAS GENERALIDADES.....	15
<i>1.1. Concepto de Biopelículas.....</i>	<i>15</i>
<i>1.1.1. Estructura de los Biofilms Bacterianos.....</i>	<i>16</i>
<i>1.1.1.2. Invasión en las tuberías.</i>	<i>16</i>
<i>1.1.2. Técnicas de Distribución.</i>	<i>17</i>
<i>1.1.2.1. Turbidez</i>	<i>18</i>
<i>1.1.2.2. Sistemas adhesión a las superficies.</i>	<i>19</i>
<i>1.1.2.3. Variables que benefician a la proliferación de los Biofilms.</i>	<i>21</i>
CAPITULO 2. BIOFILMS Y SU PRESENCIA EN TUBERIAS.....	23
<i>2.1. Calidad microbiológica</i>	<i>23</i>
<i>2.2.1 Elementos que contribuyen al desmejoramiento.....</i>	<i>23</i>
<i>2.2. Microbiología en la red de tuberías.</i>	<i>25</i>
<i>2.3. Bacterias en los biofilms en tuberías de transporte de agua potable</i>	<i>25</i>
<i>2.3.1. Inconvenientes coligados a la presencia de bacterias en los Biofilms.</i>	<i>31</i>
CAPITULO 3. CONDICIONES HIDRAULICAS EN LAS BIOPELICULAS	32
<i>3.1.1. Efectos del Material de las Tuberías</i>	<i>33</i>
<i>3.1.1.1. Área y Rugosidad.....</i>	<i>34</i>
CAPITULO 4. CONTROL DEL CRECIMIENTO DE BIOFILMS	35
<i>4.1. herramientas para establecer la proliferación de Biofilms.</i>	<i>35</i>
CONCLUSIONES.....	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Etapas de Formación de Biofilms.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2 Bacterias aisladas en sistemas de distribución con cloro residual con Tratamiento convencional, Material de la tubería cPVC.....	3
Figura 3 Bacterias aisladas en sistemas de distribución con cloro residual, con Tratamiento Biológico, Material de la tubería cPVC.....	¡Error! Marcador no definido.

PRÓLOGO

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La temática principal de la siguiente monografía es dar conocer las condiciones de tipo hidráulico que ayudan en el desarrollo de biofilms bacterianos en la red destinadas al transporte de agua potable con las prácticas de la salud ambiental orientadas a la calidad de la misma.

Este es un argumento en el cual se sitúan los “esfuerzos que se vienen realizando a nivel mundial para combatir las causas básicas de los problemas de salud, mediante estrategias de prevención más eficaces, en las que se utilizan todas conjunto de técnicas que accedan ofrecer una excelente calidad de vida.” La organización Internacional de la Salud en su informe “Ambientes saludables y prevención de enfermedades: hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente”(Viguri Perea & Chiara Marullo, 2017) el cual examina La carga de morbilidad y las estimaciones del número de muertes y enfermedades a causa de los riesgos ambientales mundiales y regionales más importantes, como el uso inseguro del agua y el saneamiento deficiente, o la contaminación del aire interior y exterior , La OMS, estableció que un 24% de la carga de morbilidad y 23% de los fallecimientos a nivel mundial son provocados por factores ambientales, con una mayor tasa en países en desarrollo (OMS, 2006)

El componente prioritario de todos los organismos vivos más impórtate es el agua, ya que dadas sus especiales propiedades fisicoquímicas actúa en el organismo como soporte biológico, metabólico y regulador. Además, el agua es un elemento necesario desde el punto de vista higiénico-sanitario, ya que tiene una enorme importancia en la salubridad y es necesaria para el riego de los cultivos. El principal problema radica en el abastecimiento de agua de calidad que no sea dañina para la salud. Un suministro de agua bien pensado debe ser aceptable en términos de calidad y cantidad. Descuidar el suministro público de agua y el saneamiento lo pone en riesgo de desarrollar enfermedades microbianas intestinales (Castiñeira, 1997).

“En Colombia se motiva en el hecho de que pese a que el agua ha sido declarada como eje de la gestión ambiental y a que de hecho existen instituciones para su manejo y regulación, la condición del recurso hídrico continúa deteriorándose en la mayor parte del territorio colombiano y por ende su disponibilidad”.

La descripción contenida en este trabajo está contemplada en la búsqueda exhaustiva de diferentes referentes bibliográficos, donde se exponen algunas investigaciones sobre las actividades más importantes en relación a las condiciones necesarias que se necesitan para en tuberías de transporte de agua potable se dé lugar al desarrollo de Biopelículas bacterianas

II. OBJETIVOS

Objetivo General

- Identificar los factores que inciden en la propagación de biopelículas en las tuberías de agua potable de Colombia, así como los efectos colaterales que ocasionan en el deterioro del agua, a partir de una revisión documental.

Objetivo Específicos

- Describir el proceso de formación y crecimiento de una biopelícula en tuberías de agua potable.
- Categorizar los factores que inciden en el desarrollo de biopelículas en tuberías de agua potable, por medio de una revisión documental.
- Especificar el efecto de las biopelículas en el deterioro del agua potable de Colombia a partir de la citación de investigaciones y artículos ya publicados sobre el tema.
- Plantear la importancia del manejo de nutrientes y condiciones ambientales en el crecimiento y control de la propagación de biopelículas.

INTRODUCCIÓN

Las biopelículas son conjuntos de microorganismos que habitan en consorcios y se adhieren a las superficies secretando sustancias poliméricas extracelulares (EPS) (Srivastava & Bhargava, 2016). Los biofilms son una estrategia de supervivencia exitosa gracias a la presencia de EPS que protegen las células de los oxidantes y mejoran la disponibilidad de nutrientes a través de la retención de materia orgánica. En las tuberías de agua potable (DWDN), las biopelículas crecen en todas las superficies, incluidas tuberías, válvulas, tanques, bombas y todos los accesorios del sistema. Las biopelículas son un problema importante para las empresas de agua. Pueden causar corrosión(Wang et al., 2011)y decoloración del agua(Douterelo et al., 2014), y los patógenos pueden ingresar al agua en grandes cantidades o ser expulsados y repoblarse en superficies limpias(OMS, 2008). También actúan como precursores de la elaboración de productos derivados del tratamiento y contribuyen a la degradación del desinfectante (J. J. Wang et al., 2013).

Las redes de tubería de agua potable son ecosistemas artificiales en los que los microbios forman comunidades complejas y metabólicamente activas. Los recubrimientos biológicos en las superficies de los dispositivos pueden afectar significativamente la calidad del agua potable y provocar contaminación microbiana(Rožej et al., 2015) . Las células microbianas del biofilm están incrustadas en una matriz extracelular viscosa compuesta por sustancias poliméricas que protegen a las células de los oxidantes y mejoran la retención de materia orgánica, lo que aumenta la disponibilidad de nutrientes para la comunidad microbiana del tubo(Montoya-Pachongo et al., 2018). La formación de biopelículas depende no solo de las propiedades químicas y físicas del suministro de agua (Bai et al., 2010), sino también del material de las tuberías (Liu et al., 2017; Proctor et al., 2017; Shelton et al., 2013).

La calidad del agua suele deteriorarse durante el transporte a través del sistema de distribución (Waller et al., 2018). Con cada año que pasa, se reconoce cada vez más que los microbios presentes en las biopelículas juegan un papel importante en estos procesos. Es esencial garantizar que el agua segura y de alta calidad llegue a los consumidores después de su paso. Hasta la fecha, el método estándar para determinar la identidad microbiana o la cuantificación de células de biopelícula con DWDS es No hay ninguna. Es importante tener en cuenta que los métodos

aceptados mundialmente para monitorear la prevalencia de bacterias en el agua tratada todavía se basan únicamente en técnicas de cultivo convencionales.

Dicho anteriormente, una de las variables más importantes que controlan la composición del biofilm es el material de construcción de la tubería. A pesar de la creciente evidencia de que altera las propiedades del agua, todavía estamos lejos de comprender las fuerzas impulsoras que determinan la biogeoquímica interna de los “sistemas de distribución” de aguas.

I. RESUMEN

La calidad del “agua” consumida por los seres humanos es un factor importante en la salud humana. Sus propiedades ayudan a prevenir enfermedades como: Aparición de infecciones con los patógenos que las causan Enfermedad diarreica aguda EDA. La diferencia entre la prevención y la transmisión de este tipo de enfermedades transmitidas por el agua depende de varios factores. Lo más importante es la calidad y continuidad del suministro de agua. Las biopelículas son una fuente de contaminación del agua potable, pero su impacto general en la inocuidad del agua, especialmente cuando hace referencia a las tuberías de distribución de agua tratada con condiciones hidráulicas complejas, las cuales ha sido poco estudiadas.

Estos organismos pueden ingresar al sistema de distribución a través de varias rutas. Los cuales pueden estar asociados a partículas relacionadas con la turbidez que logran atravesar las barreras de filtración de la planta de tratamiento. Así mismo, durante episodios de transitorios de presión, por juntas, tuberías rotas o defectuosas, etc., pueden penetrar finas partículas de carbón activado utilizado para la filtración (presión negativa), provocando la entrada de agua contaminada. Otro tipo de problema asociado a estos biofilms es la corrosión que da lugar en los elementos extraños os que puedan estar presentes en la red de acueductos(Gelves Guzmán, 2005). Estos organismos promueven la corrosión mediante el uso de metales como fuentes de aceptores de electrones en los procesos biológicos. Esto se conoce como deterioro mediado por bacterias.

Las biopelículas no solo aumentan los riesgos biológicos del agua potable, sino que también aumentan los riesgos químicos del agua potable al consumir cloro residual para formar DBP. Por un lado, las biopelículas en las redes de tuberías tienen una fuerte capacidad de oxidación antidesinfectante en comparación con las bacterias transmitidas por el agua, y los desinfectantes no pueden prevenir por completo la formación de biopelículas (Heibati et al., 2017; Lee et al., 2015).

Este trabajo monográfico está dirigido hacia la búsqueda de la información necesaria acerca de cómo estos contextos de tipo hidráulico en las tuberías constituyen a la proliferación de

biopelículas las cuales poseen la cualidad de perjudicar las características del agua, en relación a sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

PALABRAS CLAVE: Salud, Calidad del agua, biopelículas.

II. JUSTIFICACIÓN

Las medidas ambientales y de salud pública tendrán por objeto mejorar las condiciones sanitarias y ambientales de la población. Ni que decir tiene que la mayor parte de esta problemática está directamente relacionada con el medio ambiente y que en gran medida es el resultado del crecimiento y desarrollo descontrolado de la sociedad humana y del surgimiento de desarrollos tecnológicos, que en algunos casos afectan directamente a la salud humana y en otros fue resultado del desarrollo tecnológico deteriorando el medio ambiente. Algunas de las muchas reuniones o llamados a los diferentes países para tratar temas relacionados con las problemáticas ambientales se encuentra La cumbre de la tierra (1992), que señaló que el desarrollo debe ir unido a las necesidades de las personas, la salud, el bienestar, los medios y el ecosistema del que dependen (OPS, 2000). Hasta la fecha, se han propuesto muchas iniciativas a diferentes niveles para resaltar la necesidad de políticas sanitarias, considerables con el “medio ambiente” y los recursos naturales.

El vínculo causal entre el medio ambiente y la salud aún no está claro. Las mediciones de exposición están relacionadas con muchos factores ambientales, son complejas y carecen de información y vigilancia sanitaria adecuada para estimar la magnitud y la gravedad del riesgo.

La “calidad” del agua es uno de los detonantes en cuanto a salud pública que han generado un sin número de muertes a nivel mundial. El agua potable debe ser la adecuada para el consumo humano, a lo que se refiere libre de microorganismos que puedan causar algún tipo de enfermedad que origine el deterioro de la calidad de vida o incluso la muerte. Los crecientes cambios en el medio ambiente y la población están causando la presencia o proliferación de bacterias acuáticas, parásitos, virus y hongos, y la actividad humana es la causa directa de estos cambios en el medio ambiente y, por lo tanto, en los recursos hídricos. (Tobón, Cadavid, & Builes, 2017).

Las aguas contaminadas con microorganismos patógenos se transmiten a través de este importante componente del consumo humano, como la hepatitis A, el cólera, la fiebre tifoidea, la fiebre paratifoidea y, en gran parte con enfermedades como la diarrea aguda de preocupación para la salud pública, que provoca una variedad de enfermedades contagiosas. condiciones médicas. Según la OMS, alrededor del ,1% de decesos en el planeta guardan relación con la “calidad” del

agua, el higiene y la salubridad. En el continente latino americano este tipo de enfermedades es una de los 10 principales orígenes de muerte cada año debido a la mala “calidad del agua”, principalmente debido al saneamiento deficiente (Miranda, Ubaque, & Ubaque, 2016).

CAPITULO 1. BIOPELICULAS GENERALIDADES

Cuando se trata de mantener las condiciones óptimas de saneamiento del suministro del agua potabilizada durante el transporte, almacenamiento y comercialización es importante preservar la inocuidad en la provisión de agua. La proliferación de biofilms en los tubos de acueductos de “agua” tratadas pueden conducir la proliferación microbiana de agentes patógenos que contribuyen a generar un efecto negativo del agua utilizada usada para consumo y otras labores por los seres humanos. El crecimiento microbiano de acuerdo a estos regímenes va a depender de una serie de variables (elementos de peligro) como: I. Muchedumbre de ingredientes biodegradables. ii. alta temperatura. iii) duración de la estadía(Gelves Guzmán, 2005).

La formación de un biofilms en la red de tuberías de distribución está indicada por una ampliación en la cantidad de bacterias medidos entre la aplicación del tratamiento y el consumidor final.

1.1. Concepto de Biopelículas

Una biopelícula generalmente se define como un acumulo de bacterias en el ecosistema acuático unida por una matriz de polímero viscoso que se aglutina a sustratos como las superficies internas de tuberías y sedimentos(Momba et al., 2000).

Para que las bacterias colonicen la superficie de una tubería, deben adherirse tenazmente, usando unas micro fimbrias que son la glicocálix que se ubican desde la membrana celular y se pegan a las superficies circundantes y a otros organismos. La unión de esta glicocálix a las capas de sedimentaciones, nódulos, conexiones entre conductos y porosidad al interior de las tuberías evita el desprendimiento de las células del biofilms por las fuerzas de cizallamiento inducidas por el agua que fluye. Debido a que estos apéndices están hechos de polisacáridos, también actúan como una barricada preventiva frente a los efectos letales de los residuos de desinfectantes.(Gelves Guzmán, 2005).

1.1.1. Estructura de los Biofilms Bacterianos

1.1.1.2. Invasión en las tuberías.

La aparición de bacterias en las redes de tuberías puede ocurrir en una variedad de situaciones. Una vez que las bacterias han pasado por el proceso de esterilización y han ingresado a la red de distribución, si pudieron iniciar la etapa de crecimiento, o por fallas técnicas como avería de la red o eventos de coacción, podrían ocurrir fenómenos de aspiración de especies distintas a las bacterias. patógenos, pueden incorporarse en brotes (Momba et al., 2000).

(Morin et al., 1996) demostraron que los microorganismos pueden anidar en las partículas del carbón activado presente en los filtros. Muchos microorganismos también colonizan las tuberías de distribución, es importante manifestar la inexistencia a una correlación entre el tipo de material y la formación de biofilms. Se probaron varios materiales simultáneamente, incluidos acero, PVC, PE y cobre. De acuerdo con (Wingender.2004.). No se observó diferencia entre los tres primeros y todos mostraron el mismo nivel de densidad celular, pero los valores de celdas hallados para el cobre fueron más altos que los de los otros materiales, aproximadamente 2 del número total de celdas, fue ~ 8 veces. Las densidades celulares promedio del material fueron de $3,6 \times 10^6$ y $3,1 \times 10^7$ ufc/cm², valores consistentes con los de otros estudios.

El tiempo de uso de la red de tubos o conductos tampoco ha evidenciado ser una acción importante para el desarrollo de biofilms e. A los 2 y 99 años, todos los sistemas muestreados cumplieron con los tipos de calidad. El número de células en el agua varió de $1,9 \times 10^5$ a $,6 \times 10^5$ ufc/ml, en la superficie de la tubería varió de $,1 \times 10^5$ a $2,0 \times 10^8$ ufc/cm².(Gelves Guzmán, 2005)

Como lo menciona Gelvez Guzmán, 2005, las Tendencias de liquidación por material para estas tuberías en “Cemento, PVC, hierro”; muestran que una menor población en tubos de hormigón se debe a valores de pH más altos. Los números de células viables y totales disminuyen cuando el valor de pH excede 7.5.

1.1.2. Técnicas de Distribución.

Este recurso por su característica potable tiene un extenso rango de poder contaminarse según las particularidades de diseño, acción y mantenimiento del sistema de reparto del agua. Otras rutas de entrada incluyen el almacenamiento descubierto, la mala conexión o el cebado durante un ciclón.

Entrada de fuente de agua.

Como se ha observado anteriormente una gran parte de los microorganismos que invaden las tuberías de la red tienen su origen en las fuentes de agua, algunos organismos pueden penetrar a través de los obstáculos que se encuentran en el tratamiento, especialmente después de grandes precipitaciones, la probabilidad de penetración a través de la osmosis depende de varios componentes, incluido el medio filtrante. La razón primordial del desarrollo microbiano es la inexactitud de limpieza inicial y la merma de desinfectante residual por lo que se tiene justificado que algunos especímenes de microbios, como “*Klebsiella pneumoniae*” , puedan ingresar a los sistemas protegidos con desinfectante de varias maneras, incluida la adhesión a las partículas finas de carbón de los filtros(Gelves Guzmán, 2005).

Procesamiento ineficiente

Este permite que hongos y plancton ingresen al sistema disperso (EPA, 2002). El ingreso mediante las tuberías, válvulas y juntas rotas o débiles proporcionan vías potenciales para la colonización microbiana de las biopelículas, las tuberías rotas son una fuente importante de contaminación, incluso en sistemas bien desinfectados. La infraestructura antigua contribuye a debilitar y reventar las tuberías, provocando la polución del agua tratada, muchos sistemas todavía utilizan construcciones de más de 10 años dependiendo de la dimensión de la ciudad, la periodicidad de ruptura de tuberías varía de 1,33 al año “Poblaciones de menos de 500 habitantes” a 88 por año (ciudades de más de 500.000 habitantes) (EPA. 2002).

Temperatura

De acuerdo a lo dicho por Gelves Guzmán, 2005, también pueden causar expansión y contracción térmica, lo que promueve la falla de la tubería y proporciona una vía de ingreso para los

organismos. En regiones con estaciones, esta anomalía es de gran interés debido a que el ingreso de sustancias nocivas en la malla también puede ser causada por sucesos hidráulicos temporales.

En la presión negativa, el agua filtrada del ambiente entra en la tubería por cualquier obstrucción o defecto en la tubería, lo que coloca de manifiesto su gravedad en relación a las tuberías de agua potable que están junto de “redes” de alcantarilla aumentado la probabilidad de contaminación fecal, para las tuberías de hierro que pueden corroerse, esto proporciona un ambiente adecuado para la proliferación de bacterias y al mismo tiempo ayuda a protegerlas de fuentes de sustrato y residuos de desinfectantes. (Gelves Guzmán, 2005)

Varios investigadores han informado de la presencia de *E. coli* patógena en nódulos que se forman en tuberías de acero que estado expuesto al agua (D. van der Kooij, 2003).

1.1.2.1. Turbidez

Esta variable es solo una disposición indirecta de partículas en el agua. Esta medida no proporciona indagación específica sobre el tipo, número y tamaño de las partículas encontradas. De tal manera que elementos, como la arena y los restos de coagulantes, pueden servir de vehículo para que diversos microorganismos entren en los sistemas de distribución, pero ofrecen poca protección contra los residuos de desinfectantes. Por el contrario, una gran proporción de materia orgánica y algunas algas pueden servir como vehículos para el transporte de bacterias mediante de los sistemas de mejoramiento, incluida la desinfección. (Gelves Guzmán, 2005)

Las partículas orgánicas incluyen desechos celulares de las heces de aguas residuales, incluidos no solo bacterias si no también algas y virus como también partículas de carbón activado, todos los cuales son vectores de movilidad microbiano (E.E. Geldreich, 2013).

1.1.2.2. Sistemas adhesión a las superficies.

Las biopelículas están adheridas en las superficies internas de los tubos por un conjunto de “sustancias orgánicas” que son elaboradas esencialmente por las propias bacterias, y la organización fisicoquímica de este conjunto tiene una variedad de influencias potenciales en el desarrollo de biopelículas las cuales dependen de diferentes factores. (Momba et al., 2000).

Los biofilms son el resultado de la afección y la proliferación de bacterias alojadas en sustancias poliméricas extracelulares (Gelves Guzmán, 2005). Esta característica forma una especie de hidrogel (95-98° agua) y está compuesto principalmente por polímeros.

Estos exsopolisacáridos actúan como adhesivo para las células y como soporte para el crecimiento de microcosmos estables que pueden sobrevivir durante largos períodos de tiempo (Flemming et al., 2002). En la siguiente figura 1 se evidencia el proceso de formación de un biofilms. Se han identificado claramente varios eslabones en el desarrollo del biofilms:

Preparación de la superficie:

Contrariamente a lo que se podría pensar, los primeros agentes involucrados en la colonización no son bacterias, sino varios otros agentes presentes en la mayoría de los biofilms, es un tipo de compuesto orgánico, cuando las superficies limpias entran en unión con el agua, estos compuestos comienzan a depositarse rápidamente (Gelves Guzmán, 2005).

Lo que hace que ocurra un cese o interrupción de cualquier carga que pueda tener la superficie de la tubería y facilita el acercamiento inicial de la célula. Además de esta capa orgánica, una fuente de nutrición.

Bacterias pioneras:

Los cuerpos de agua tienen bacterias libres (plancton) que pueden acercarse a las tuberías y entrar en las zonas limítrofes, áreas en que la rapidez del flujo llega a cero. Una vez que ha producido la colonización inicial (fijación), las bacterias comienzan a desarrollar estructuras que permiten una fijación más estable (Dreeszen, 2003).

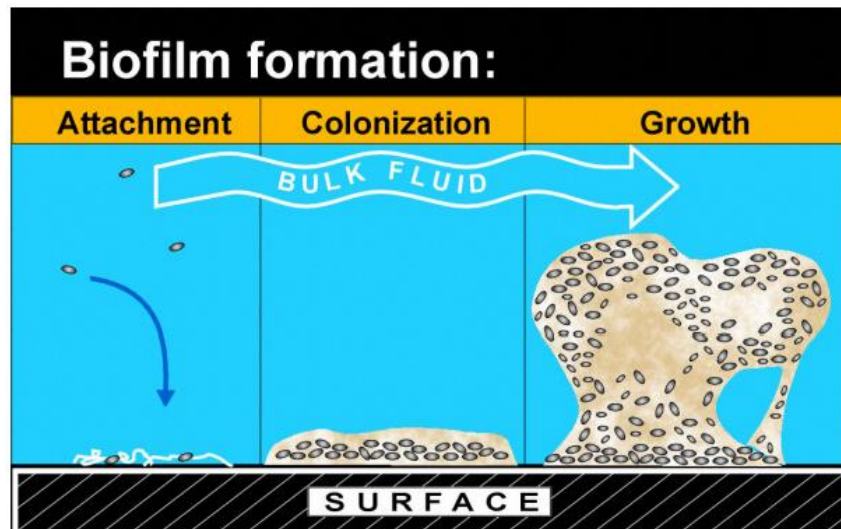
Glucocálix:

los microbios formadores de biofilms poseen la condición de producir sustancias poliméricas extracelulares. Es un tipo de polímero adhesivo que permite que los biofilms se adhieran al interior de las superficies de los tubos y permanezcan cementadas (Gelves Guzmán, 2005).

Por consiguiente, estos polímeros retienen los nutrientes y actúan como barrera protectora de bacterias frente a los desinfectantes utilizados (Dreeszen, 2003). Cuando los nutrientes se acumulan en la matriz polimérica, las bacterias se desarrollan y comienzan a multiplicarse. Siguiendo los procesos parentales, las siguientes progenies también producen su material extracelular, aumentando rápidamente el volumen de la glucocálix y el área cubierta por la biopelícula en desarrollo. (Gelves Guzmán, 2005).

Además, al ocupar un área más grande, el área de cambio de iones también aumenta, lo que facilita que se adhieran más nutrientes y otras bacterias (Dreeszen, 2003). En biofilms ya acentuados, el espacio ocupado de 75-95 μl es material extracelular, con solo 5-25% de bacterias.

Figura 1. Etapas de Formación de Biofilms



Fuente: (Gelves Guzmán, 2005)

Poblaciones Bacterias Secundarias:

Toda vez que se establece una comunidad inicial de microorganismos, estos nuevos organismos secundarios comenzaron a evolucionar por su capacidad para los requerimientos nutricionales requeridos través de fuerzas electrostáticas. (Gelves Guzmán, 2005).

Por lo general, metabolizan los productos de desecho producidos por los organismos colonizadores. Los propios excrementos son metabolizados por otros organismos (Dreeszen.2003). Una biopelícula hace referencia a la gremio de bacterias que cooperan entre si cuando una biofilms está completamente desarrollado, se parece a un 'tejido vivo' en la superficie del tubo, el "tejido" cooperativo y está compuesto por muchas especies, cada una de las cuales vive en un micronicho.(Guzmán, 2005)

1.1.2.3. Variables que benefician a la proliferación de los Biofilms.

Una pequeña cantidad de bacterias que pueden sobrevivir al procedimiento de tratamiento, o que ingresan con éxito al proceso de tratamiento, pueden proliferar al interior de los tubos de redistribución si disponen los ambientes nutricionales necesarios para su desarrollo, el tipo de desinfectante utilizado, niveles de desinfectante residual en la red, resistencia microbiana al desinfectante, cantidad de componentes orgánicos biodisponibles en el agua de proceso, tipos de materiales en la red de tubos y T° (Momba et al., 2000).

La proliferación de biofilms está dada por:

Superficies

Las superficies sólidas pueden tener diferentes propiedades que son importantes para el proceso de unión. La colonización microbiana aumenta con el aumento de la porosidad del área de contacto y el aumento de la misma(Costerton et al., 1995).

Las propiedades físico-químicas de una superficie afectan en gran medida la fijación de los microorganismos. Muchos investigadores han descubierto que las bacterias se aglutinan con mayor efectividad a las áreas “hidrofóbicas” como el teflón y otros dúctiles que a los materiales “hidrofílicos” como el vidrio o el metal (Zambrano & Suárez Londoño, 2006).

Ambiente

Otras propiedades de los medios acuosos, como el pH, los niveles de nutrientes, la carga iónica, la temperatura y la fluidez, juegan un papel importante en la unión bacteriana a los sustratos. Varios estudios han demostrado el efecto de los medios acuosos sobre la afección microbiana y la formación de biofilms.

Nutrientes

Es común monitorear la actividad microbiana de organismos heterótrofos en sistemas de entrega; Estos microorganismos usan agregados de C orgánico como fuente de carbono y energía, la gran mayoría son aerobios como la aceptación final de hidrógeno, alrededor de 50 litros de carbono que necesitan se convierten en dióxido de carbono para compensar las necesidades energéticas de la célula, y el 50% restante se utiliza para producir material nuevo.

Los elementos requeridos para la biosíntesis microbiana son el nitrógeno, el carbono y el fósforo, los cuales son necesarios cuando la relación C: N:P es de alrededor de 100:10.

La parte biodegradable de la materia orgánica se divide en dos tipos esencialmente: El primero representa el porcentaje de carbono que las bacterias pueden metabolizar y el segundo representa la cantidad de C orgánico que se utilizar para producir nuevos materiales (Momba et al., 2000).

Carbono

Este es incorporado por los microorganismos para desarrollar síntesis de Novo. Gran parte de este carbono presente en el sistema de tuberías esta dado por la fuente misma, donde es inofensivo, y proviene de plantas vivas o muertas. La gran parte de estos elementos incluyen proteínas, carbohidratos, ácidos carboxílicos, ácidos húmicos y fúlvicos. Los microbios requieren carbono, nitrógeno y fósforo para su desarrollo (C: N:P) en una proporción de 100:10:1, siendo el carbono el principal factor limitante para el desarrollo (E.E. Geldreich, 2013).

CAPITULO 2. BIOFILMS Y SU PRESENCIA EN TUBERIAS.

2.1. Calidad microbiológica

Esta puede cambiar con el tiempo durante su permanencia en los tubos por donde es transportada el “agua”, y esto permite alterar su calidad por la presencia de un biofilms, más precisamente por la segregación de bacterias al interior de los cuerpos acuíferos, estos parámetros se cuantifican analizando el número de bacterias, dentro de los cuales se encuentra el análisis de placas heterótrofas, para establecer alteraciones en la composición del agua en redes de tuberías o sistemas de acopio de la misma, los rasgos fenotípicos bacterianos detectados por HPC pueden usarse para caracterizar la “calidad microbiológica del agua dentro de la red”.(Gelves Guzmán, 2005).

2.2.1 Elementos que contribuyen al desmejoramiento.

Estos elementos pueden estar relacionados con la inocuidad del origen del agua, el tratamiento y el sostenimiento de la red de distribución (Gelves Guzmán, 2005)

Las bacterias que se encuentran al interior de los tubos tienen su origen en el cuerpo de agua presente, el agua subterránea es de muy alta calidad, caracterizada por su alto contenido de nutrientes 1 ufc/100ml y una comunidad heterótrofa altamente distribuida en un rango de 10 organismos por ml, estos valores inferiores se deben a que el cuerpo de agua está aislado de la contaminación superficial, algunos cuerpos de aguas que no están libres de polución y suelen estar contaminados por agua de regadío que se ha infiltrado en la agricultura, los bienes agrícolas pueden proporcionar nitratos y una variedad de compuestos orgánicos biodegradables, Teniendo esto en cuenta, el número de bacterias en las aguas subterráneas sería excesivo, con valores de 1000 a 10000 bacterias heterótrofas por ml(Gelves Guzmán, 2005).

Otra problemática surge con las aguas subyacentes que poseen altas concentraciones de componente azufre o hierro, las “aguas” que se hallan de manera superficial están ostentadas a una gran diversidad de contaminantes microbianos y pueden ingresar a los arroyos a partir de la esorrentía agrícola, las descargas de agua doméstica y/o industrial aguas arriba de las cuencas de

captación. Para lagos y lagunas, a pesar de su volumen, se alcanza activar la disgregación de la polución microbiana, en los lagos, es importante tener en cuenta componentes adicionales los cuales afectan el deterioro de este líquido, la acumulación de nutrientes bacterianos, la estratificación y la degeneración del agua, la descomposición de las algas (Gelves Guzmán, 2005).

los Procesos de tratamiento en las plantas que se basan únicamente en la desinfección para tratar el agua, es imposible evitar que numerosos organismos como, protozoos, gusanos multicelulares, larvas de insectos y algas, entren en el sistema de tuberías. Muchos de estos organismos no mueren inmediatamente con los desinfectantes, sino que finalmente mueren debido al hábitat desfavorable, etc.

La desinfección en este caso suele ser menos efectiva contra frente a algunos microorganismos como las bacterias gram+, formadores de esporas, micobacterias, “bacterias pigmentadas”, “hongos”, “levaduras” y “quistes de protozoos”. Los organismos cuya resistencia es alta se encuentran alrededor de la red de distribución (Flemming. 2002).

Para los métodos de filtración, esto simboliza un obstáculo muy valioso para ciertos quistes de protozoos, este método ha manifestado ser más efectivo que los sanitizantes utilizados en el “tratamiento del agua”. Los sistemas de filtración administrados de manera inadecuada dan como resultado el desprendimiento de numerosos quistes retenidos de *cryptosporidium* y *giardia* como resultado de procesos inadecuados de limpieza del filtro.

Por otro lado, algunos nematodos también pueden hacer parte del sistema de distribución, estos no suelen ser patógenos, pero pueden proteger a las bacterias que los ingirieron, proporcionando una ruta de albergue para llegar a la “red de tuberías”. En particular en estos métodos de filtración, se ha evidenciado que ciertos tipos de bacterias como *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Klebsiella* están presente en los filtros. También se han detectado partículas de carbón activado en el agua postratamiento que realizan filtración de carbón activado. Cerca del 17% de las ejemplares de aguas inspeccionadas tenían partículas carbón activado donde se encontraban bacterias coliformes (Morin et al., 2019).

Esto indica que las partículas de carbón del filtro proveen un módulo de transporte para que las bacterias atraviesen la barrera de desinfección y lleguen al sistema de tuberías. Otras herramientas implican la separación de bacterias de sitios donde se acentúan los filtros, que logran filtrarse junto con coagulante no clorado (H.C. Flemming, 2002).

Asimismo, se encontró que la densidad de bacterias heterótrofas en el agua dispensada era generalmente más alta cuando el sistema de purificación pasaba por el filtro de carbón activado que cuando el régimen de purificación no pasaba por el filtro de carbón activado.

2.2. *Microbiología en la red de tuberías.*

Aunque la tipificación de bacterias en los sistemas de tuberías es una tarea difícil, investigaciones recientes sobre ácidos grasos y la identificación de estos han comenzado a caracterizar de manera más eficiente y rápida bacterias en las tuberías. Para el estudio de ácidos grasos celulares, las células se fijan, los ácidos constituyentes se metilan y se identifican mediante HPLC. Estas comunidades microbianas se tipifican haciendo una comparación en el perfil de ácidos grasos del organismo en el agua tratada con cepas de referencia previamente aisladas. (J. Wingender, 2004).

2.3. *Bacterias en los biofilms en tuberías de transporte de agua potable*

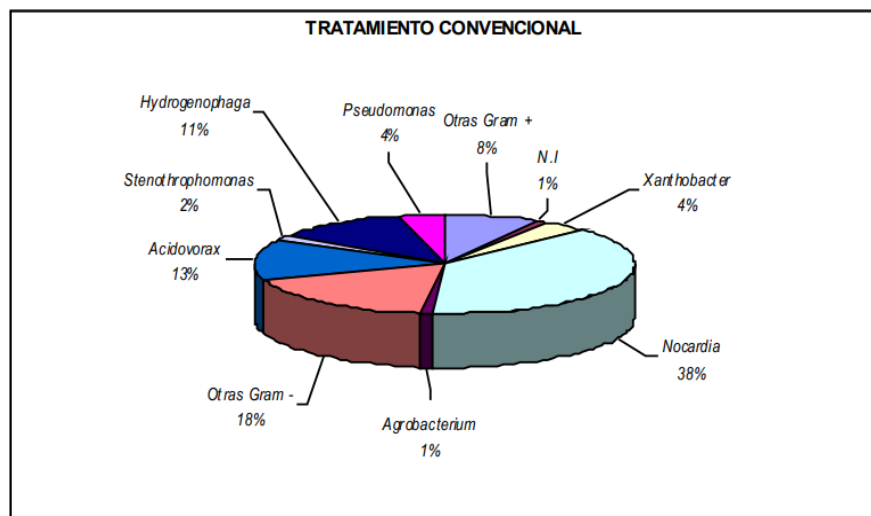
Por supuesto, las bacterias que frecuentemente forman biofilms son bacterias Gram-, especialmente patógenas oportunistas como *Flavobacterium* y *Pseudomonas*. Los biofilms están compuestos en su mayoría por flora no peligrosa, pero estos también contienen organismos patógenos o potencialmente patógenos, como la *Legionella*, que presentan serios problemas cuando se dispersan en aerosoles.

Existe una posibilidad. Un caso particular de esta propagación ocurre en grifos o duchas donde estos microbios se liberan al medio ambiente en forma de aerosoles y pueden llegar a ser transportados por el aire.

Los microorganismos heterótrofos están igualmente relacionados con las biopelículas en la red de tuberías, pero en el momento no existe un método analítico específico al respecto. Actualmente,

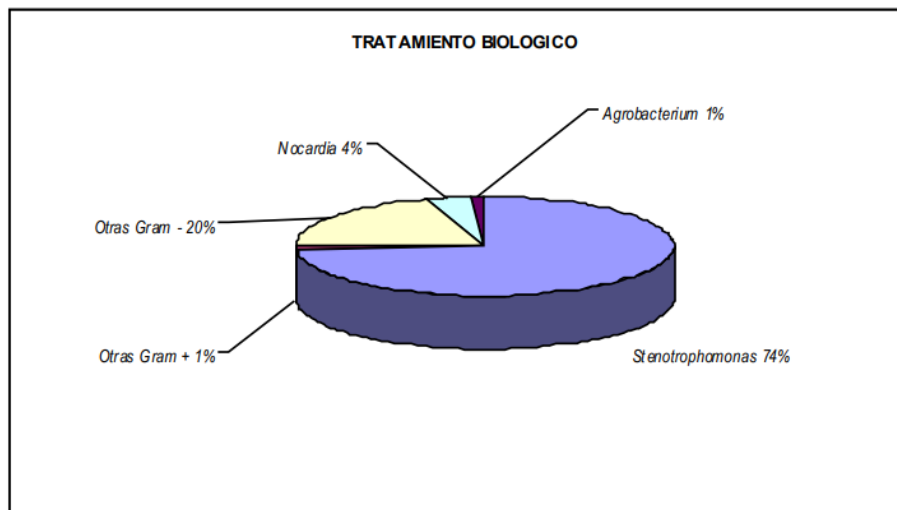
el progreso de prometedoras herramientas basadas en técnicas moleculares de vanguardia ha permitido una identificación más precisa. Por otro lado, se ha encontrado que hongos en biopelículas y se han identificado “hongos filamentosos” como *Exophiala* y *Fusarium* (Flemming H.C., 2002). En otras investigaciones se han llevado a cabo algunas observaciones de las comunidades de bacterias con presencia en las biopelículas (Mark LeChevallier et al., 2000), en su estudio hacer referencia a dos sistemas de distribución los cuales fueron tratados por separado (diferentes materiales, “hierro” y “cPVC”) los fueron estimados para dos tipos diferentes de tratamiento de purificación, “convencional y biológico”. Ver Figuras 2 y 3.

Figura 2. Bacterias estimadas en tuberías con cloro residual con Tratamiento convencional, Hierro.



Fuente: (Mark LeChevallier et al., 2000)

Figura 3. Bacterias estimadas en tuberías con cloro residual, con Tratamiento Biológico, cPVC.



Fuente: (Mark LeChevallier et al.,2000)

Coliformes.

Escherichia coli es una bacteria que comúnmente se utiliza como un indicador de contaminación fecal en “agua potable” estos tipos de bacterias Gram- se consiguen hallar en el agua de la llave, esta es susceptible a la acción del cloro como desinfectante, pero puede generar una defensa frente a este utilizando partículas de carbón activado y lodos orgánicos. (Gelves Guzmán, 2005).

Estos organismos pueden ingresar a los sistemas o red de tuberías como organismos nocivos, cruzar las barreras del proceso y causar daños (Wingender. 2004). La invasión en las tuberías tiene lugar en las áreas o superficies de las tuberías donde se acumulan sedimentos porosos, que pueden resultar de la deterioro o depósito de “partículas que transitan a través del sistema de tratamiento”, y este acaparamiento puede ocurrir en franjas muertas o de flujo lánguido.

Dichos sitios son interesantes para el asentamiento bacteriano porque le suministran todos los requerimientos nutricionales necesarios, promoviendo así la afección bacteriana incluso en presencia de corrientes de agua. Entre *Escherichia coli*, los colonizadores más exitosos son *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae* y *Citrobacter freundii*. El fenómeno de encapsulación protege a estos coliformes de la acción de los desinfectantes. Una vez asentados en un hábitat dentro de la red, son libres de evolucionar.

Esta condición puede persistir hasta que el crecimiento de la colonia se vea limitado por los efectos de la erosión debido al flujo hidráulico o hasta que se vea afectado por los desinfectantes utilizados (EPA, 2002).

Los coliformes y *Escherichia coli*, debido a su asociación con biopelículas, causan problemas de crecimiento reticulado.

Varios elementos se han podido identificar los cuales exponen el incremento de coliformes en los sistemas de red de tuberías como consecuencia del desarrollo de biofilms (H.C. Flemming, 2002).

Algunos estudios indican que este tipo de bacterias en los sistemas de tuberías tienen su origen a partir de biofilms. Por lo tanto, está claro que las biopelículas sirven no solo como desarrollo de patógenos oportunistas, sino también como agentes protectores, proporcionando un nicho apropiado para proteger contra entornos agresivos. Por el contrario, también encontramos que la

fagocitosis de biofilms por protozoos puede conducir a una disminución más rápida en el número de *E. coli* que en ausencia de depredadores. (HC Fleming, 2002)

(Kilb et al., 2003) detectaron este tipo de bacterias en otra parte de la red, como lo fueron “válvulas” revestidas de caucho, donde se analizaron 21 “válvulas” recubiertas, estas eran de 6 métodos de repartición de agua diferentes en Alemania, esta investigación surge ante reiterados sucesos concernientes con la presencia de “coliformes en redes”. De las 21 “válvulas analizadas”, 15 tenían un revestimiento etileno propileno dieno monómero y 6 tenían un revestimiento nitrilo butadieno. El número de “células cultivables” en la superficie del tubo varió entre $2,7 \times 10^6$ y $1,8 \times 10^9$ células/cm².

Se detectaron bacterias coliformes en 15 de las 21 “válvulas analizadas” y la abundancia de estas bacterias varió de 1,0 NMP/cm² a 7×10^3 NMP/cm². En 11 de los 15 positivos, se descubrieron tanto en el agua como en el biofilm formado en la tapa de la válvula. Se encontró *Citrobacter* coliforme como especie común en 1 de las 15 válvulas positivas.

las rutas de entrada de estas bacterias pueden ser muy diferentes (como se mencionó anteriormente) y la “presencia” repetida de bacterias de este tipo en los biofilms que se establecen en las válvulas sugiere que si estos organismos están presentes en los biofilms puede explicarse por el oportunismo, aunque estos biofilms no acometen claramente al material de recubrimiento, el cual da la cabida de proveer agregados orgánicos que originan el progreso de biofilms, como compuestos de carbono, aditivos de bajo peso molecular como la parafina. El "plastificante o plastificante" se disuelve del “material de recubrimiento” y proporciona las características nutricionales necesarias para la proliferación del biofilms bacteriano.

Los microorganismos formados en la superficie con revestimiento de polímero se pueden ver más claramente (Gelves Guzmán, 2005)

Bacterias

Los principales grupos de bacterias patógenas que ocasionan “enfermedades” entéricas cuya transmisión está dada por el agua son *Yersenia enterocolitica*, *Salmonella*, *Campylobacter jejuni*, *Shigella* y *Escherichia coli*, *Helicobacter pylori*, se aislaron de especímenes de biopelículas recolectadas de los sistemas de tuberías, se requieren grandes dosis infectiva a los patógenos (10^6 a 10^{10} células) para infectar o causar enfermedades en humanos y animales sanos por vía oral o intranasal, se pueden detectar concentraciones de *Acinetobacter* superiores a 109/cm² en la superficie de ciertos tubos, esto es suficiente para causar enfermedades en humanos y animales.” La incidencia más clara de estos organismos es a nivel de pacientes inmunocomprometidos y pacientes de clínicas u hospitales” (EPA. 2002).

Micobacterium

Este tipo de microorganismos pueden surgir en fuentes como la superficie o el subsuelo, o a través de la contaminación durante los procesos de reparación o el establecimiento de redes de tuberías. Las densidades típicas en ambientes como el agua subterránea oscilan entre 10 y 500ufc/ml, mientras que la densidad de estos microbios en matices superficiales es de aproximadamente 10ufc/100 ml. Las micobacterias, son muy importantes para la salud e incluye las “especies *Mycobacterium avium*, *M. Gordonae*, *M. Flavescentis*, *M. fortuitum*, *M. chelonae* y *M. phlei*” tienen el potencial de colonizar humanos, especialmente individuos susceptibles, como todo tipo de pacientes inmunocomprometidos, personas que se recuperan de una cirugía o individuos que se someten a diálisis renal.

La colonización puede ocurrir de varias maneras, incluido el riego, la disminución más reveladora de estos organismos sucede durante la infiltración. Como resultado, la concentración de estos microorganismos se puede reducir en aproximadamente un 59-7 %. La desinfección terminal, incluida la presencia de “cloro libre residual”, la cual no tiene un efecto estadísticamente revelador sobre la densidad residual de micobacterias que salen de la “planta de tratamiento”(E.E. Geldreich, 2013).

La supervivencia de las micobacterias en los sistemas de distribución puede verse afectada por el entorno cerosa de sus paredes celulares, y estos organismos pueden tolerar hasta “1,5 mg de cloro residual durante un tiempo de contacto de 30 minutos”. Se ha registrado un aumento de estas

bacterias en la zona final de la cabecera, donde disminuye el cloro residual y aumenta la concentración total de carbono orgánico, que actúa como fuente de nutrientes.

Bacterias formadoras de pigmentos.

Una particularidad de algunas bacterias que consiguen residir en los suministros de agua es su capacidad para formar “pigmentos de colores brillantes”. Poco se sabe sobre los efectos en la salud de la ingestión. Sin embargo, algunas especies causan gastroenteritis, mientras que otras se asocian con reacciones febriles y sepsis.

Las bacterias de pigmento rojo son tolerantes a bajas dosis de cloro libre a tiempos cortos de duración, pero sensibles a cloramina durante 1 hora. El estudio de ácidos grasos mostró que varias de las bacterias rojas pertenecen al género *Rhodococcus* y tienen lípidos que son resistentes a la desinfección.

Dado que estos microorganismos se encontraron en el agua potable, se ha informado que se han encontrado bacterias pigmentarias en el agua utilizada en los equipos de tratamiento de hospitales y otros equipos de “suministro de agua” (E.E. Geldreich, 2013).

Bacterias Resistentes.

En este rango se incluyen una amplia gama de bacterias de restringida importancia para la salud y su presencia refleja la eficacia de los tratamientos de sanitización. Una investigación realizada en dos sistemas de conducción de aguas potables en California comparó los géneros bacterianos presentes y observó que las variaciones en la variedad de la población bacteriana pueden estar relacionadas con la “calidad de la fuente de agua”.

Las especies dominantes en los suministros de “agua subterránea” sin tratar fueron “*Acinetobacter*” y “*Pseudomonas*”. También se ha encontrado en sistemas de distribución clorados con “*Acinetobacter*”, “*Pseudomonas/Alcaligenes*” y “*Flavobacterium*” como géneros dominantes (E.E. Geldreich, 2013).

2.3.1. Inconvenientes coligados a la presencia de bacterias en los Biofilms.

La acción bacteriana en las propiedades organolépticas y condiciones de calidad del agua son quizás las variables más desafiantes para los sistemas de distribución de agua. Se conocen estudios en los que algunos de la bacteria que se encuentran en este tipo de matrices han tenido efectos patógenos y tóxicos en la humanidad. Las enfermedades asociadas son de tipo gastrointestinales virales y bacterianas como la hepatitis A y la giardiasis. (Momba et al., 2000) En general, “la calidad del agua” de salida de la planta de tratamiento es muy buena y la presencia de cloro residual en la salida de la planta es justificada. El problema radica en el aumento del número de bacterias en las redes de distribución, fenómeno que aún no se comprende bien pero que generalmente se asocia a dos factores (Momba et al., 2000):

- El primero es la falla mecánica. Esto se describe el ingreso de bacterias en el sistema de “distribución”. Esta intrusión puede ser de naturaleza externa debido al almacenamiento descubierto, la instalación o el reemplazo de la red, la interrupción de la red y la presión negativa o negativa. crear succión.
- Un segundo factor posible es la regeneración o nuevo crecimiento de bacterias dentro de la biopelícula. Un aumento en la concentración bacteriana en los ensayos de “HPLC” es una clara evidencia de que se está creando un problema microbiano dentro de la red. Estas altas concentraciones sugieren que se está produciendo algún tipo de sobrecrecimiento biológico dentro de la red. El mayor número de placas se debe principalmente a las bacterias derivadas del biofilms.

CAPITULO 3. CONDICIONES HIDRAULICAS EN LAS BIOPELICULAS

Las variables que afectan el crecimiento contienen el detergente utilizado y el sostenimiento de concentraciones residuales en las tuberías, la resistencia microbiana al desinfectante, el tipo y “concentración de elementos degradables en el tratamiento del agua y el tipo de materiales utilizados en las tuberías y la temperatura” (Momba et al., 2000).

los impactos de las condiciones hidráulicas en biopelículas, se centran respectivamente en dos aspectos: primero, los flujos de agua a mayor velocidad que contribuyen a la trituración y liberación de biopelículas , y luego la afectación de los niveles de nutrimentos (Mathieu et al., 2014; Zhang et al., 2019), con una mayor concentración de nutrientes y proliferación microbiana (Ateia et al., 2020; Chen et al., 2021). En segundo lugar, el desarrollo de biopelículas es un proceso de estabilización dinámico expuesto a diferentes fuerzas de cizallamiento, incluida la unión de biopelículas, el desprendimiento de biopelículas y el transporte de microorganismos .(W. Wang et al., 2019; Zhang et al., 2019).

En cuanto al micro ecosistema, es importante señalar que el pH , la temperatura, y la actividad del agua (a_w) son las “condiciones ambientales” que influyen en el crecimiento microbiano (Rodríguez, 2012). Los microorganismos presentes en las tuberías se multiplican fácilmente cuando hallan los ambientes apropiados para su crecimiento. Estas condiciones se describen a continuación:

3.1. Tipo y Concentración del Desinfectante

Como ya hemos mostrado, los biofilms son lechos viscosos que impiden y reducen la penetración de los desinfectantes en su capa interna, actuando, así como una capa de protección para los bacterias allí presentes. Varios referentes han señalado que la mayor parte de las bacterias con presencia en el agua clorada residen aglutinadas a partículas en suspensión o a las paredes de las

tuberías, lo que sugiere que los microbios coligados al área de contacto están protegidos de la desinfección convencional (0,1-0,3 mg de cloro residual). /1) y generalmente no está deshabilitado (Knobelsdorf J y Mujeriego R., 1997).

Se ha verificado que algunos microorganismos pueden subsistir y reproducirse aun en la presencia de sanitizantes en los sistemas de transporte de agua potable, ya que se puede desarrollar resistencia a estos compuestos. Las biopelículas tienden a tener menor susceptibilidad a estos que las “comunidades planctónicas” (Momba y col., 2000) (Córdoba, et al., 2010).

3.1.1. Efectos del Material de las Tuberías

La selección de tuberías tiene un impacto importante en la inhibición de la supervivencia de patógenos en biopelículas (Szabo & Minamyer, 2014).

Se sabe que existe una correlación directa entre los materiales utilizados para construir la red de tuberías y la “calidad del agua potable”. La unión con determinadas sustancias y de la red de suministro logra beneficiar el desarrollo microbiano, otros “materiales utilizados” en las tuberías domésticas albergan incluso patógenos utilitarios. Impedir este escenario en su sistema de suministro requiere más que un tratamiento de agua adecuado en su planta de tratamiento de “agua potable”. (Knobelsdorf y Mujeriego, 1997) (Momba y col., 2000). Se pueden desarrollar biopelículas al interno de las tuberías si el material puede suministrar nutrientes para el crecimiento bacteriano.

Los “iones metálicos lixiviados” en los plásticos son lo adecuadamente pequeños para ocasionar toxicidad, pero proporcionan “cationes” que son fundamentales para la reacción enzimática bacteriana, los microorganismos pueden usar directamente materiales de base orgánica. (Rogers et al., 1994). El papel de los materiales de la tubería es importante ya que afecta el comportamiento de la corrosión, el ensuciamiento de la tubería y la matriz de biopelícula (Liu et al., 2017; Liu, et al., 2017a; Liu et al., 2017b).

3.1.1.1. *Área y Rugosidad*

Cuanto mayor sea el área de adhesión, más bacterias pueden crecer, por lo que el factor de área tiene un impacto significativo en la formación de biopelículas. Una superficie más lisa ralentiza la afección de comunidades bacterianas iniciales, pero esto no significa que se reduzca la “materia orgánica originada en un proceso biológico”. Se ha demostrado que después de unos días la cantidad total de anidación puede no cambiar. (Muñoz. 2005).

Debido a las diferencias en la rugosidad de la superficie y la corrosión, la estructura de la comunidad bacteriana puede variar drásticamente de las tuberías de metal a las de plástico (Aggarwal et al., 2018). Hasta donde sabemos, los estudios han demostrado ampliamente los efectos de los tubos en la ecología de biopelículas maduras de sistemas de distribución artificial simulados o pequeños reactores (Zhu et al., 2014).

3.1.1.2. *Velocidad*

La entrada con un mayor flujo no evita el desarrollo de biopelículas o la caída por completo, no obstante, se puede ejercer un control en su crecimiento. Independientemente de la “velocidad del flujo” o del tipo de flujo que ocurra (“laminar o turbulento”), la hipótesis de la “capa límite” establece que el agua fluirá lentamente cerca de la pared de la tubería hasta que llegue a cero en la pared de la tubería, la parte donde las velocidades no coinciden con el tamaño del flujo de circulación y la forma de la sección se designa subcapa de flujo laminar. El grosor de esta capa se considera igual al espesor máximo que puede alcanzar un biofilm, las biopelículas alcanzan un grosor de proporción que depende del caudal y el contenido de alimentos (Knobelsdor y Mujeriego, 1997).

Teóricamente, la velocidad del flujo adyacente a la interfase sólido-líquido puede despreciarse. Esta zona de flujo insignificante es causada por la capa límite hidrodinámica. Este espesor depende de la velocidad de la línea. A medida que aumenta la velocidad, disminuye el espesor de la capa límite. (Knobelsdor y Mujeriego, 1997).

CAPITULO 4. CONTROL DEL CRECIMIENTO DE BIOFILMS

4.1. *herramientas para establecer la proliferación de Biofilms.*

Carbón Orgánico.

De acuerdo a (D. van der Kooij. 1999) este mostró que los valores de COA fueron tan bajos como unos pocos $\mu\text{g/L}$ de carbono pueden conducir a la formación de biopelículas. Esta prueba se creó cuando se cultivaron dos bacterias para evaluar muestras de agua en una prueba por lotes.

Sistemas de propagación

Se han desarrollado varios dispositivos para la inspección in situ del desarrollo de biofilms en redes de tuberías. La superficie metálica se convierte en una parte integral de las superficies metálicas disponibles para su crecimiento, otra técnica es el uso del microscopio Pedersen el cual utiliza un portaobjetos que cabe en un estuche de acrílico. Este se refiere específicamente a las condiciones de flujo y las concentraciones electroquímicas de la celda. (Momba et al. 2000)

Metodologías de cultivo

Igualmente, de los métodos microbiológicos normalmente usados para el aislamiento de bacterias, se han promovido otras técnicas para estimar bacterias en biofilms. El recuento directo de EPI fluorescencia es uno de las técnicas con mayor importancia. “El reactivo que produce fluorescencia es el ',6-diamino-2-fenilindol-DAPI’”. Este es un reactivo altamente específico para el ADN. La preeminencia de este procedimiento es que se pueden detectar todas las especies, por microorganismos en el agua, sea cultivable o no (Momba et al., 2000).

Un inconveniente las técnicas convencionales como la microscopía directa es que este tipo de método es muy insensible y requiere concentraciones de al menos 10^3 org. /ml es detectable.

CONCLUSIONES

El impacto de las condiciones hidráulicas del sistema de distribución tiene una alta incidencia en la formación de biopelículas lo que hace que esta influya tanto en la calidad como en las características organolépticas del agua potable.

Las biopelículas son esencialmente herramientas de protección microbiana, lo que permite que estos microbios se protejan de condiciones ambientales adversas.

Las biopelículas se desprenden continuamente de las células de las superficies y esto además de la delaminación causada por la tensión de cizallamiento inducida por el agua superficial, acrecienta con el aumento de la fuerza de cizallamiento este tipo de esfuerzo cortante afecta no solo a la cohesión del biofilms sino también a la adhesión.

las condiciones de origen hidráulico dentro de la red pueden crear grandes movimientos en el fluido y provocar el desprendimiento de biopelículas.

la capa límite hidrodinámica puede tener un impacto significativo en la relación célula-matriz, ya que “células se comportan como partículas en un líquido”, y la tasa de precipitación y agrupación en la parte inmersa va a requerir en mayor escala de la tasa de flujo.

La tasa de erosión del biofilm aumenta con el grosor del biofilm y la energía cortante del fluido en la interfase biofilm-fluido, a medida que aumenta la “velocidad del flujo”, la “capa límite hidrodinámica” disminuye, dando lugar a zonas de movimientos bruscos muy cerca de la superficie del biofilm.

REFERENCIAS

- Aggarwal, S., Gomez-Smith, C. K., Jeon, Y., Lapara, T. M., Waak, M. B., & Hozalski, R. M. (2018). Effects of Chloramine and Coupon Material on Biofilm Abundance and Community Composition in Bench-Scale Simulated Water Distribution Systems and Comparison with Full-Scale Water Mains. *Environmental Science and Technology*, 52(22), 13077–13088. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02607>
- Ateia, M., Kanan, A., & Karanfil, T. (2020). Microplastics release precursors of chlorinated and brominated disinfection byproducts in water. *Chemosphere*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126452>
- Bai, X., Wu, F., Zhou, B., & Zhi, X. (2010). Biofilm bacterial communities and abundance in a full-scale drinking water distribution system in Shanghai. *Journal of Water and Health*, 8(3), 593–600. <https://doi.org/10.2166/wh.2010.048>
- Chen, X., Wang, Y., Chen, S., Sun, Y., Tan, Q., Ding, Z., Lu, Y., & Yu, Y. (2021). Microplastics as carbon-nutrient sources and shaper for microbial communities in stagnant water. *Journal of Hazardous Materials*, 420(June), 126662. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126662>
- Córdoba, MA, Del Coco, VF, Minvielle, MC and Basualdo, J. (2010). *Influencing factors in the occurrence of injured coliforms in the drinking water distribution system in the city of La Plata, Argentina. Journal of Water and Health. Pag.205, 2010.*
- Costerton JW, Zlewandoski ED, C. D., & HM, L.-S. (1995). Microbial biofilms. 1995; 49: 711-45. *Annu Rev Microbiol.*
- D. van der Kooij. (1999). Potential for Biofilm Development in Drinking Water Distribution Systems. Kiwa NV Research and Consultancy, Nieuwegein, the Netherlands. *Journal of Applied Microbiology Symposium Supplement*,.
- Douterelo, I., Sharpe, R., & Boxall, J. (2014). Bacterial community dynamics during the early stages of biofilm formation in a chlorinated experimental drinking water distribution system: Implications for drinking water discolouration. *Journal of Applied Microbiology*,

117(1), 286–301. <https://doi.org/10.1111/jam.12516>

- Dreeszen. Paula H.. (2003). *The key to understanding and controlling bacterial growth in Automated Drinking Water Systems*, second edition.
- E.E. Geldreich, M. L. (2013). *Microbiological Quality Control in Distribution Systems*. AWWA, *Water Quality and Treatment*.
- EPA. (2002). *Health Risk from Microbial Growth and Biofilm in Drinking Water Distribution Systems. Proceedings, Annual Water environment Federation Conference*. EPA, June.
- H.C Flemming, S.L Percival, J. . W. (2002). *Contamination potential of biofilms in water distribution systems. Water science and technology- Water Supply*.
- Heibati, M., Stedmon, C. A., Stenroth, K., Rauch, S., Toljander, J., Säve-Söderbergh, M., & Murphy, K. R. (2017). Assessment of drinking water quality at the tap using fluorescence spectroscopy. *Water Research*, 125, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.020>
- J. Wingender; H.-C.Flemming. (2004). Contamination Potential Of Drinking Water Distribution Network Biofilms. *Water Science And Technology*., Vol 49. No.
- Kilb B.; Lange B. ; Schaule G. ; Flemming H-C. ; Wingender J. (2003). *Contamination Of Drinking Water By Coliforms From Biofilms Grown On Rubber-Coated Valves. International Journal of Hygiene and Environmental Health*. Vol. 206. No 6.
- Knobelsdorf J y Mujeriego R. (1997). *Crecimiento Bacteriano en las Redes de Distribución de Agua Potable: Una Revisión Bibliográfica. Ingeniería del Agua*.
- Lee, O. M., Kim, H. Y., Park, W., Kim, T. H., & Yu, S. (2015). A comparative study of disinfection efficiency and regrowth control of microorganism in secondary wastewater effluent using UV, ozone, and ionizing irradiation process. *Journal of Hazardous Materials*, 295, 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.04.016>
- Liu, G., Tao, Y., Zhang, Y., Lut, M., Knibbe, W. J., van der Wielen, P., Liu, W., Medema, G., & van der Meer, W. (2017). Hotspots for selected metal elements and microbes accumulation and the corresponding water quality deterioration potential in an unchlorinated drinking water distribution system. *Water Research*, 124, 435–445.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.002>

- Liu, G., Zhang, Y., Knibbe, W. J., Feng, C., Liu, W., Medema, G., & van der Meer, W. (2017). Potential impacts of changing supply-water quality on drinking water distribution: A review. *Water Research*, 116, 135–148. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.031>
- Liu, J., Ren, H., Ye, X., Wang, W., Liu, Y., Lou, L., Cheng, D., He, X., Zhou, X., Qiu, S., Fu, L., & Hu, B. (2017). Bacterial community radial-spatial distribution in biofilms along pipe wall in chlorinated drinking water distribution system of East China. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101(2), 749–759. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7887-8>
- Mario Fernando Gelves Guzmán. (2005). *DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA POR EL POSIBLE DESPRENDIMIENTO DE LAS BIOPELÍCULAS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE*.
- Mathieu, L., Bertrand, I., Abe, Y., Angel, E., Block, J. C., Skali-Lami, S., & Francius, G. (2014). Drinking water biofilm cohesiveness changes under chlorination or hydrodynamic stress. *Water Research*, 55(0), 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.01.054>
- MNB Momba, R. Kfir, SN. Venter, T. C. (2000). An Overview of Biofilm Formation in distribution System and its impact on the Deterioration of Water Quality. *University of Pretoria, South Africa. Water SA.*, 26–1.
- Montoya-Pachongo, C., Douterelo, I., Noakes, C., Camargo-Valero, M. A., Sleight, A., Escobar-Rivera, J. C., & Torres-Lozada, P. (2018). Field assessment of bacterial communities and total trihalomethanes: Implications for drinking water networks. *Science of the Total Environment*, 616–617, 345–354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.254>
- Muñoz LF. (2005). *Velocidad de desprendimiento de las biopelículas en tuberías de distribución de agua potable. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia*.
- OMS. (2008). *Directrices para la calidad del agua potable: incorporación de los apéndices 1 y 2, vol. 1, recomendaciones (3ra ed.) , Prensa de la OMS , Ginebra (2008) , pág. 668*.
- P. Morin, A. Camper, W. Jones, D. G. y J. C. (2019). *Colonization and Disinfection of Biofilms Hosting Coliform – Colonized Carbon Fines. Goldman. Applied and Environmental Microbiology.*.

- Proctor, C. R., Dai, D., Edwards, M. A., & Pruden, A. (2017). Interactive effects of temperature, organic carbon, and pipe material on microbiota composition and *Legionella pneumophila* in hot water plumbing systems. *Microbiome*, 5(1), 130. <https://doi.org/10.1186/s40168-017-0348-5>
- Rodríguez R. (2012). *Ecología microbiana de alimentos. Clases en la CESA, Carrera de Especialización en Seguridad Alimentaria, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de La Plata*.
- Rogers J, Dowsett AB, Dennis PJ, Lee JV, K. C. (1994). *Influence of plumbing materials on biofilm formation and growth of Legionella pneumophila in potable water systems. Appl. Environ. Microbiol* 1994; 60, 6, 1842-1851 [on line].
- Rożej, A., Cydzik-Kwiatkowska, A., Kowalska, B., & Kowalski, D. (2015). Structure and microbial diversity of biofilms on different pipe materials of a model drinking water distribution systems. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 31(1), 37–47. <https://doi.org/10.1007/s11274-014-1761-6>
- Shelton, D. R., Kiefer, L. A., Pachepsky, Y. A., Martinez, G., McCarty, G. W., & Dao, T. H. (2013). Comparison of microbial quality of irrigation water delivered in aluminum and PVC pipes. *Agricultural Water Management*, 129, 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.07.021>
- Srivastava, S., & Bhargava, A. (2016). Biofilms and human health. *Biotechnology Letters*, 38(1), 1–22. <https://doi.org/10.1007/s10529-015-1960-8>
- Szabo, J., & Minamyer, S. (2014). Decontamination of biological agents from drinking water infrastructure: A literature review and summary. *Environment International*, 72, 124–128. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.01.031>
- Viguri Perea, A., & Chiara Marullo, M. (2017). El derecho a un medio ambiente sano y la encrucijada de los alimentos transgénicos. *Revista Jurídica Mario Alario D´Filippo*, 8(15), 100–111. <https://doi.org/10.32997/2256-2796-vol.8-num.15/2016/235>
- W., D. N. M. L. (2000). *A Pilot study of bacteriological population changes through potable water treatment and distribution. Applied And Environmental Microbiology*. Enero 2000.

- Waller, S. A., Packman, A. I., & Hausner, M. (2018). Comparison of biofilm cell quantification methods for drinking water distribution systems. *Journal of Microbiological Methods*, 144(October 2017), 8–21. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2017.10.013>
- Wang, D., Cullimore, R., Hu, Y., & Chowdhury, R. (2011). Biodeterioration of asbestos cement (AC) pipe in drinking water distribution systems. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 65(6), 810–817. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.05.004>
- Wang, J. J., Liu, X., Ng, T. W., Xiao, J. W., Chow, A. T., & Wong, P. K. (2013). Disinfection byproduct formation from chlorination of pure bacterial cells and pipeline biofilms. *Water Research*, 47(8), 2701–2709. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.02.038>
- Wang, W., Gao, H., Jin, S., Li, R., & Na, G. (2019). The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 173(November 2018), 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.113>
- Zambrano, M., & Suárez Londoño, L. (2006). Biofilms bacterianos: sus implicaciones en salud y enfermedad. *Universitas Odontológica*, 25(57), 19–25.
- Zhang, J., Li, W., Chen, J., Wang, F., Qi, W., Li, Y., & Xie, B. (2019). Effect of hydraulic conditions on the prevalence of antibiotic resistance in water supply systems. *Chemosphere*, 235, 354–364. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.157>
- Zhu, Y., Wang, H., Li, X., Hu, C., Yang, M. y Qu, J. (2014). Caracterización de biofilm y corrosión de tuberías de hierro fundido en sistema de distribución de agua potable con desinfección UV/Cl₂. *Investigación Del Agua*, 60, 174-181.