

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XXVII CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y ADAPTABILIDAD DE REDES DE
AGUA POTABLE ANTE CAMBIO CLIMÁTICO EN VALDIVIA**

ANDRES GARCÍA R.¹
PATRICIO GUTIERREZ S.²
FERNANDO CAMINO S.³

RESUMEN

El cambio climático es un fenómeno que aumenta la temperatura a nivel global, ocasionando efectos como la isla de calor urbana, lo que provoca un aumento alto en la temperatura del pavimento de las calles, la cual se transfiere directamente al suelo, afectando a las tuberías de la red de distribución de agua potable.

Esto puede ocasionar efectos nocivos a largo plazo como el decaimiento en la concentración de cloro en la red de agua potable, el cual favorece a la proliferación de bacterias y la corrosión de tuberías, poniendo en riesgo la calidad del agua potable, y la salud de las personas al momento de su consumo.

En Chile, el cambio climático está cada vez más presente, por lo que es necesario analizar las condiciones actuales en la infraestructura de las tuberías de la red, además de posibles soluciones para prevenir estos efectos en el futuro.

¹ Profesor Auxiliar, Instituto de Obras Civiles, Universidad Austral de Chile, Valdivia, General Lagos 2060, Chile; andres.garcia@uach.cl;

² Estudiante, Instituto de Obras Civiles, Universidad Austral de Chile, Valdivia, General Lagos 2060, Chile; patricio.gutierrez01@alumnos.uach.cl;

³ Profesor Auxiliar, Instituto de Obras Civiles, Universidad Austral de Chile, Valdivia, General Lagos 2060, Chile; fcamino132@gmail.com;

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático provoca un aumento global de la temperatura, lo que se traduce en olas de calor urbano, evidenciado en estudios en España y Chile (Díaz, González & Galán, 2024). En Chile, se estima un incremento de aproximadamente 0.15°C por década. Los años más recientes son los más cálidos en la historia del país, destacando la última década con temperaturas medias significativamente más altas (Gutiérrez, 2022). Esto se refleja en gráficos que muestran un aumento notable de la temperatura promedio a lo largo del tiempo, subrayando la urgencia de abordar este fenómeno.

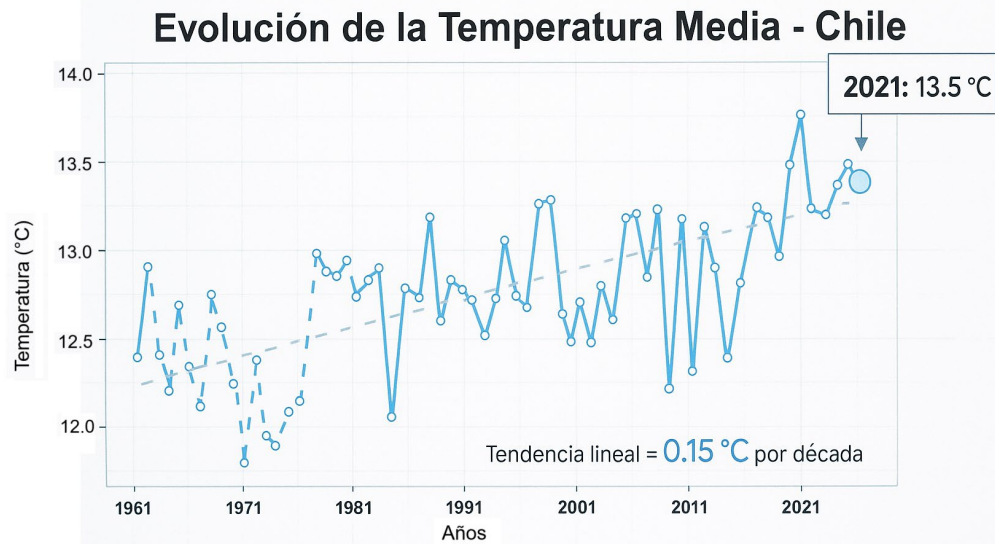


Figura 1: Evolución de la temperatura media en Chile.

Fuente:

<https://climatologia.meteochile.gob.cl/publicaciones/reporteEvolucionClima/reporteEvolucionClima2021.pdf>

Este aumento de temperatura ambiente incide directamente a la temperatura que presenta el suelo y las calles de la ciudad, lo cual implica un incremento de temperatura en las redes de distribución, afectando a las tuberías y al agua potable (Díaz, González & Galán, 2024). Este incremento de temperatura acelera los procesos químicos y biológicos dentro de las tuberías (Díaz, Boxall, Lamarche & González, 2023), específicamente, la velocidad a la que decae la concentración del cloro aumenta a medida que sube la temperatura (Díaz, González & Galán, 2024). Al disminuir la concentración del desinfectante, se favorece la proliferación de bacterias y la formación de biopelículas en las paredes internas de las tuberías, poniendo en riesgo la calidad del agua potable (Díaz & González, 2022).

La temperatura del suelo afecta a la red de agua potable en función del diámetro, espesor y la materialidad de la tubería (Díaz, Boxall, Lamarche & González, 2023), esto sucede porque las tuberías están instaladas a una profundidad superficial en relación al suelo (Lamarche, 2017).

La red de distribución es principalmente el conjunto de tuberías que permiten la circulación del agua potable a todos los usuarios del sistema, en donde su desempeño puede variar según el tamaño de la ciudad o población en donde se instale este, además de su topografía y de la materialidad de las tuberías (Berdonces, 2008). Las plantas de tratamiento, en donde se

prepara el agua para su distribución y consumo inciden muy poco en la temperatura en las que se encuentra el agua potable, ya que al momento de su consumo, la temperatura de esta está principalmente afectada por la temperatura de los pavimentos que están por sobre la red (Agudelo-Vera et al., 2020).

En Chile, la profundidad mínima de las redes de agua potable es de 1.1 metros bajo el nivel de terreno, esto está establecido por la norma chilena NCh691 (INN, 2015), lo que significa que estas tuberías están expuestas al clima (Lamarche 2017). La Figura a continuación muestra la instalación de una tubería de agua potable a 1 metro de profundidad del nivel del suelo.



Figura 2: Instalación de red de agua potable en Chile.

2. OBJETIVOS

El presente documento tiene como objetivo concientizar sobre los efectos a largo plazo que el cambio climático puede ocasionar en las redes de distribución de agua potable. Estos efectos no solo afectan la infraestructura, sino que también pueden poner en riesgo la salud pública al momento de consumir agua.

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar qué tan susceptible es la red de distribución de agua potable en Valdivia ante efectos del cambio climático, mediante revisión bibliográfica para concientizar sobre el riesgo al que la calidad del agua potable está sometida.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar literatura técnica y científica para definir aspectos principales de efecto de isla de calor urbana sobre calidad de agua distribuida a través de redes de agua potable.
- Analizar estado actual y características de red de distribución de agua potable en ciudad de Valdivia.

- Evaluar aspectos críticos que pueden afectar a la calidad de agua potable distribuida por la red en ciudad de Valdivia.
- Proponer soluciones constructivas a problemas detectados y posibles consecuencias.

3. METODOLOGÍA

La metodología se basa principalmente en una revisión bibliográfica que analiza los efectos del cambio climático en las tuberías de agua potable. Se investigan las posibles consecuencias de estos efectos y se identifican las variables que se pueden optimizar para prevenir problemas a largo plazo. Esto se logra mediante la recopilación y análisis de literatura y estudios previos sobre los cambios físicos, químicos y biológicos que afectan el sistema de distribución de agua potable debido al aumento de la temperatura.

Además, se exploran variables adicionales que pueden influir en el impacto del cambio climático, tales como las condiciones climáticas y la temperatura ambiente de la región, así como la materialidad de las tuberías de agua potable.

Se clasifica la literatura obtenida y se sintetizan los datos de acuerdo con los conceptos tratados y los resultados obtenidos. Se utilizarán como referencia aquellos artículos que presenten mayor coincidencia con las características de la ciudad de Valdivia. Asimismo, se busca identificar posibles problemas relacionados con la normativa chilena y las tendencias constructivas actuales.

Finalmente, se pretende llegar a conclusiones sobre la susceptibilidad de las redes de abastecimiento de Valdivia ante el cambio climático, así como proponer alternativas o soluciones que puedan mitigar o evitar los efectos adversos que el aumento de temperatura en las tuberías de agua potable podría provocar.

4. RESULTADOS

4.1. consecuencias del cambio climático

La vulnerabilidad del agua potable a su vez depende de diversas condiciones climáticas como la temperatura, la precipitación y la radiación solar (Leveque, Burnet, Dorner & Bichai, 2021), como se ha mencionado anteriormente, las redes de distribución suelen transportar el agua potable a temperaturas próximas de la temperatura ambiente, desde su recorrido que consiste a partir de la salida del agua de su planta de tratamiento, hasta su momento de consumo en edificios, siendo sometidas a distintas presiones debido al cambio climático (Díaz, González & Galán, 2024); El tiempo en que el agua dentro de la tubería suele residir hasta su momento de consumo varía entre 5-6 horas (Díaz, Boxall, Lamarche & González, 2023).

La temperatura afecta a las redes de distribución, afectando a sus procesos físicos, químicos y biológicos, provocando efectos como la disminución de la concentración del cloro en el agua, la proliferación de bacterias, el aumento de la corrosión de tuberías, y una disminución de velocidad del flujo de agua potable (Díaz & González, 2022).

4.1.1. Decaimiento de la concentración de cloro

La cloración es uno de los métodos más comunes a la hora de desinfectar el agua potable, en donde el rol más importante que cumple el cloro es la inactivación de las biopelículas, y en un menor grado, la reducción de bacterias dentro del sistema, las concentraciones de cloro mínimas para un proceso de desinfección efectiva, es de 0.2 mg/L o más (Muñoz, 2005).

La concentración del cloro presente en el agua potable se reduce con el paso del tiempo (Díaz, González & Galán, 2024), el nivel mínimo recomendado de cloro residual recomendado por la Organización Mundial de la Salud es de 0.2 mg/L en toda la red (WHO, 2017), sin embargo, el aumento de la temperatura también es un factor que afecta a la velocidad en que la cantidad del cloro disminuye (Fisher et al., 2012; Monteiro et al., 2017), esto implica que el cambio climático con el paso del tiempo, afectará la cantidad del cloro presente en el agua potable que reside dentro de la red durante un tiempo de 5 a 6 horas, lo que es suficientemente significativo para que la concentración de cloro disminuya, potencialmente cayendo por debajo del nivel residual mínimo de 0.2 mg/L recomendado por la OMS (WHO, 2017). Al momento de aplicar la cloración como un método desinfectante en las tuberías de agua potable, el número de bacterias presentes en el agua disminuye, sin embargo, mientras más disminuye la concentración de cloro en el agua, mayor es la capacidad de regeneración en las bacterias (Muñoz, 2005).

El siguiente diagrama ejemplifica cómo disminuye la concentración del cloro con el pasar del tiempo, y con el aumento de temperatura en 2 curvas separadas.

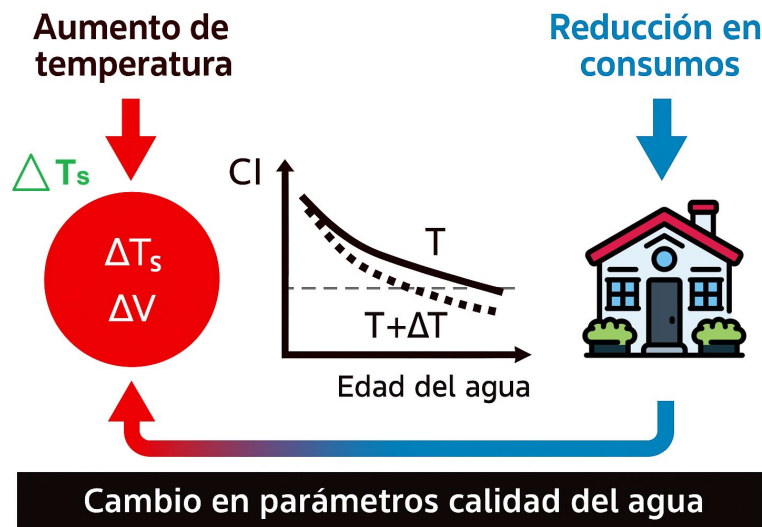


Figura 3: Esquema de decaimiento de cloro en función de tiempo y temperatura.

4.1.2. Proliferación de Bacterias

Las bacterias ingresan al sistema de distribución de agua a través de partículas de turbiedad que sobreviven el tratamiento o por fallas en tuberías, permitiendo la entrada de aguas contaminadas (Gelves, 2005).

4.1.2.1. Formación de Biopelículas

El aumento de la temperatura en las tuberías, causado por el cambio climático, reduce la concentración de cloro y favorece la formación de biopelículas. Estas capas, que crecen en superficies en contacto con el agua, albergan comunidades bacterianas, siendo una fuente principal de bacterias en el sistema de distribución, lo que puede afectar la salud al consumir agua contaminada (Rodríguez et al., 2024; Muñoz, 2005). Se pensaba que la escasez de nutrientes limitaba el crecimiento microbiano, pero las biopelículas permiten a las bacterias protegerse y prosperar, creando condiciones adecuadas para su desarrollo. La formación algal en las tuberías actúa como un refugio, aumentando la resistencia a desinfectantes (Gelves, 2005). Aunque los nutrientes son escasos, 1 ppb puede generar hasta 9500 bacterias/L, y las bacterias aerobias requieren poco oxígeno, lo que dificulta la eliminación total de biopelículas (Muñoz, 2005). En el caso de las redes de agua potable, las biopelículas se crean en el contorno interior de las tuberías, y estas pueden ocasionar problemas operativos en las redes, disminuyendo la velocidad de flujo, y al mismo tiempo, afectando a la calidad del agua potable (Beyenal y Lewandowski, 2002; Simunič et al., 2020). Sin embargo, no todas las áreas de un sistema de distribución de agua potable son susceptibles a la formación algal, en especial en secciones que incluyen tuberías lisas con altas velocidades de flujo, ya que dificulta la fijación de las bacterias en las paredes internas de las tuberías y aumentando la vulnerabilidad de estas ante los diversos métodos de desinfección, como lo puede ser la cloración (Flemming, Percival & Walker, 2002).

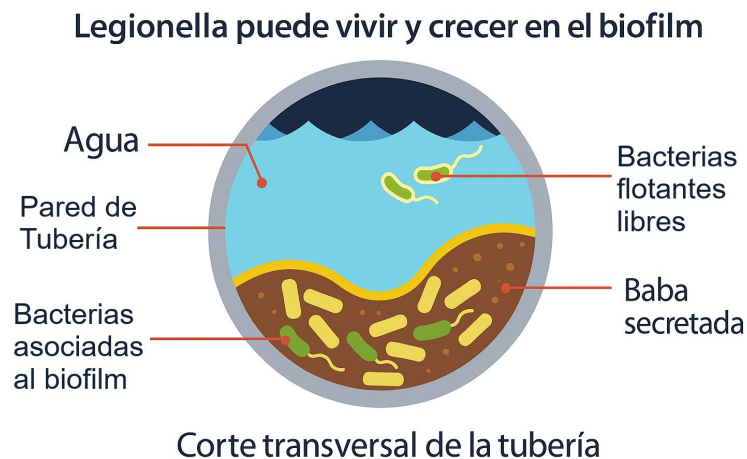


Figura 4: Esquema de biopelícula en tubería de agua potable. Adaptado de FlowGuard Mx. (2021).

La formación de biopelículas depende de condiciones ambientales, hidráulicas, de desinfección, y de la calidad, velocidad y temperatura del agua (Rodríguez et al., 2024). Estas biopelículas contaminan el agua potable, disminuyendo su calidad y poniendo en riesgo la salud. Además, fomentan la corrosión en las tuberías, utilizando metal para sus procesos metabólicos, lo que provoca problemas estéticos como la coloración del agua por el desprendimiento de capas de corrosión (Gelves, 2005).



Figura 5: Tubería con presencia de biopelículas

La temperatura es crucial para el desarrollo bacteriano, ya que su aumento afecta los procesos microbiológicos del agua, incrementando la proliferación de bacterias y la formación de biopelículas. En verano, las tuberías alcanzan su máxima temperatura, lo que favorece la presencia bacteriana, con un rango de supervivencia de 15°C a 50°C (Muñoz, 2005).

4.1.2.2. Clasificación de Bacterias

Las bacterias coliformes son indicadores útiles de la posible presencia de bacterias patógenas en el agua potable. Su cantidad en el agua está relacionada con el riesgo de enfermedades humanas (Díaz & González, 2022). Estas bacterias se desarrollan más frecuentemente a temperaturas superiores a 15°C y su presencia también depende del método de desinfección, como el uso de cloro residual (LeChevallier, 1996). A medida que la humedad disminuye, la cantidad de coliformes fecales también disminuye (Mubiru, 2000).

Entre las bacterias patógenas, la *Legionella* es preocupante, ya que prolifera a temperaturas superiores a 25°C, lo que motiva a la OMS a recomendar mantener el agua por debajo de esta temperatura (WHO, 2011; 2017). En Chile, *Escherichia coli* es la bacteria más común en las redes de abastecimiento, y su presencia requiere confirmación adicional (NCh 409, 2005). Otras bacterias patógenas incluyen *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Clitrobacter* (Vivanco, 2022).

4.2. Materialidad de tuberías y su influencia en redes de agua potable

La formación de bacterias y biopelículas en tuberías depende del material. Los más comunes son PVC y HDPE (Rodríguez et al., 2024). El HDPE, conocido por su elasticidad y larga vida útil, es popular en redes de agua potable y alcantarillado (Fernández, 2020). Por otro lado, el PVC destaca por su resistencia a la proliferación bacteriana y menores costos de instalación (Maguiña, 2021). Un estudio sobre biopelículas reveló que las tuberías de HDPE presentan una formación más temprana, mientras que en las de PVC ocurre más tarde. Además, se identificaron factores externos, como la temperatura, que influyen en este proceso (Rodríguez et al., 2024).

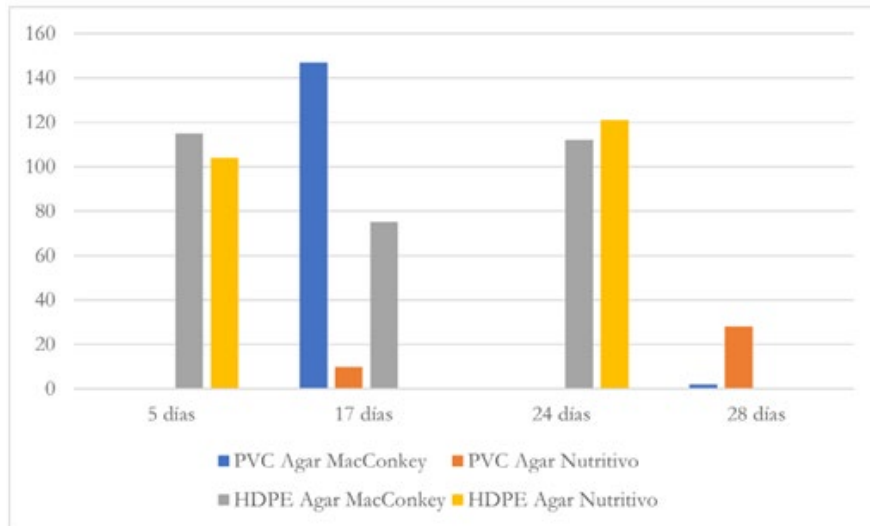


Figura 6: Crecimiento de bacterias en biopelículas en tuberías de HDPE y PVC.

Un estudio sobre tuberías concluye que el HDPE es uno de los peores materiales en cuanto a proliferación de bacterias. En contraste, el CPVC se destaca por su menor potencial de formación de biopelículas. Este material tiene paredes internas lisas y es resistente a la corrosión por cloro y dióxido de cloro, lo que elimina la necesidad de aditivos inhibidores. A diferencia de materiales como el cobre o PPR, que sufren corrosión con el tiempo, el CPVC mantiene su superficie lisa, evitando la acumulación de bacterias (FlowGuard Mx, 2021).

4.3. Vulnerabilidad de redes de abastecimiento en valdivia

Valdivia es una ciudad ubicada en la zona sur de Chile, esta al igual que en la mayoría del país presenta redes de distribuciones de agua potable ubicadas a una profundidad cercana a 1.1 metros, por lo que es probable que presente una vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático, esto, porque la red sí es sensible a los cambios estacionales y a las tendencias de calentamiento a largo plazo proyectadas por el cambio climático, los cuales son lo suficientemente significativos para alterar la temperatura del agua y, consecuentemente, afectar su calidad, poniendo en riesgo la calidad del agua potable en los aspectos mencionados anteriormente. Es importante destacar que la materialidad más presente en el sistema de distribución de agua potable es el HDPE, lo que a largo plazo resulta un problema debido al inminente aumento de temperatura, ya que provocará la pérdida de la calidad del agua potable gracias a la disminución del cloro, desencadenando los efectos nocivos mencionados anteriormente.

Además, las direcciones indicadas por las actuales normas chilenas con relación a la instalación de tuberías de redes de agua potable fomentan la implementación de tuberías de HDPE (NCh 3542, 2018), lo que a largo plazo resulta un problema debido a que el inminente aumento de temperatura provocará la pérdida de la calidad del agua potable, y gracias a la disminución del cloro, se formarán más biopelículas y bacterias en las tuberías, y al tratarse de tuberías de HDPE, estas no podrán soportar soluciones como el aumento de la concentración del cloro sin aditivos que puedan ayudar a contrarrestar la corrosión de sus paredes internas, que facilitarán la proliferación de bacterias y la formación de algas.

4.4. Posibles soluciones constructivas

4.4.1.1. Aumento de Concentración de Cloro

La utilización del cloro como desinfectante en el agua potable es un método común y efectivo. El cloro se difunde y reacciona con los componentes orgánicos de las biopelículas, inactivando células y reduciendo materiales solubles. Sin embargo, la eficacia del cloro puede verse afectada por la densidad de estas biopelículas; a mayor densidad, más lento es el proceso de difusión (Gelves, 2005). Además, el cambio climático puede disminuir la concentración de cloro en el agua, lo que podría no ser suficiente para controlar la proliferación de bacterias. Por lo tanto, una alternativa es aumentar la concentración de cloro para compensar esta disminución.

4.4.2. Variación en la aplicación de Cloro

El método más común que se utiliza al momento de aplicar cloro es mediante una concentración baja, pero permanente, sin embargo esta forma de cloración tiene sus desventajas, la más perjudicial es que con dicha concentración, las células de las biopelículas pueden regenerar su estructura polimérica a un ritmo mayor al que el desinfectante es adsorbido por estas; Es por esto que una de las posibles soluciones a poner en práctica para eliminar el desarrollo de las algas es realizar la desinfección durante periodos cortos, pero a una mayor concentración (Gelves, 2005).

4.4.3. Cambio de Materialidad de Tuberías

Para prevenir la proliferación de bacterias en las tuberías, se propone cambiar de tuberías de HDPE a PVC. Sin embargo, este cambio debe analizarse en el contexto constructivo, donde el HDPE es comúnmente utilizado debido a sus ventajas en costo, vida útil y calidad (Maguiña, 2021). Ambos materiales cumplen con los requisitos mínimos para sistemas de agua potable, pero existen diferencias significativas en su flexibilidad. El PVC es más rígido y propenso a quebrarse, lo que puede afectar el diseño de la red de agua. En contraste, el HDPE ofrece un menor riesgo de fugas en las uniones, gracias a su método de termofusión, que es más rápido que el uso de cemento solvente en PVC. Además, el HDPE soporta temperaturas extremas y tiene una vida útil mayor (Piedmont Plastics, 2023).

Otra opción relevante es el CPVC, que es adecuado para la distribución de fluidos a presión. Este material destaca por su capacidad para mantener la temperatura del agua, lo que ayuda a ahorrar energía y costos. También tiene superficies internas lisas y es ligero, facilitando su transporte y manipulación (Gómez, 2009).

El costo de instalación influye significativamente en la elección del material. Aunque las tuberías de HDPE son más costosas que las de PVC, esto se debe a las herramientas y equipos necesarios para su instalación (Maguiña, 2021). Por lo tanto, al seleccionar el material para una red de distribución de agua, es crucial considerar no solo el costo de la tubería, sino también el método de unión y las características específicas requeridas para el proyecto. Ver figura siguiente:

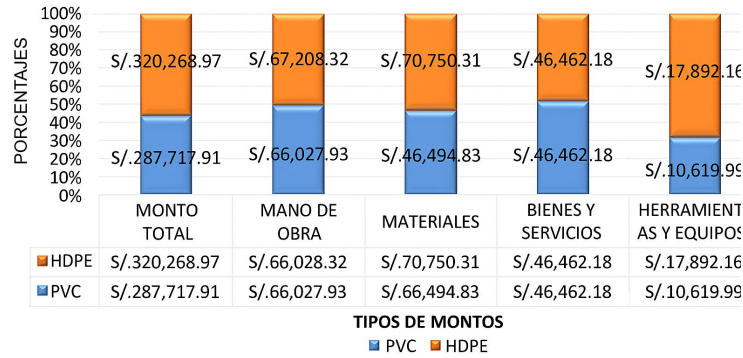


Figura 7: Comparación de costos de instalación entre tuberías de HDPE y PVC.

El mismo estudio además de comparar los costos de instalación entre ambas materialidades, también realizar una evaluación acerca del tiempo de vida útil esperado en estas, confirmando que las tuberías de HDPE presentan una mayor vida útil que las tuberías de PVC, siendo las tuberías de HDPE con una vida útil aproximada de 80 años, mientras que las tuberías de PVC presentan una vida útil de 20 años (Maguiña, 2021).

En el caso de las tuberías de CPVC, estas se unen mediante conexiones soldadas, utilizando limpiador y cemento solvente, del cual su método requiere un menor tiempo de instalación e impide la pérdida de espesores de la tubería (Gómez, 2009).

4.4.4. Aumento de la velocidad del Flujo

Como se mencionó anteriormente, la velocidad de flujo juega un factor importante en el desarrollo bacteriano al interior de las redes de distribución, en donde a mayor es la velocidad del agua, más difícil resulta para las bacterias que se adhieran a las paredes internas de las tuberías y que estas proliferen para crear biopelículas, mientras que aquellas zonas de bajo flujo facilitan la acumulación tanto de partículas causantes de turbiedad, bacterias coagulantes inestables, finos de carbón activado entre otras partículas orgánicas y materiales biológicos (Flemming, Percival & Walker, 2002), es por esto que una alternativa para impedir nuevas proliferaciones de bacterias, es mediante el aumento de la velocidad de flujo en el sistema.

4.4.5. Cambios Constructivos en el pavimento

Como se estableció en el trabajo de (Díaz & González, 2022), donde sus modelos analíticos han indicado que el suelo sí está sujeto a cambios de temperatura estacionales significativos que pueden afectar a las tuberías, este calor se transfiere por conducción desde el suelo al agua dentro de ellas, para prevenir la transferencia de calor en estas, se podría emplear el uso de geotextiles que puedan disminuir la transferencia de calor en estas, lo cual puede mantener las condiciones actuales intactas a lo largo de los años, entre las ventajas que tiene esta solución es que no afecta a la infraestructura actual de las redes de distribución, afectando solamente a la estructuración del pavimento en las calles, sin embargo se deben realizar estudios al respecto para corroborar que dicha alternativa sea menos costosa que el reemplazo de las tuberías de agua potable actuales por otras de una materialidad más adecuadas para combatir la proliferación de bacterias, ya que si bien ambas requieren de la demolición de los

pavimentos actuales, es posible que la implementación de geotextiles a lo largo del recorrido resulte más costoso.

4.4.6. Nuevo uso de tuberías contaminadas

Aunque esta alternativa no resuelve directamente el problema, puede complementarse con la renovación de tuberías de agua potable. Se busca dar nueva vida a tuberías usadas que contienen biopelículas, las cuales, aunque representan un riesgo para la salud, pueden aprovecharse de diversas maneras. La materia orgánica en las biopelículas puede ser beneficiosa, como en la descomposición de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales o en la biorremediación ambiental, incluyendo la limpieza de acuíferos. Sin embargo, es crucial analizar la utilidad de las bacterias en las tuberías para estos procesos, ya que su efectividad depende del entorno donde se desarrollaron (Muñoz, 2005).

5. DISCUSIONES

Como se ha mostrado en la revisión bibliográfica, el calentamiento global afecta principalmente en el decaimiento de la concentración de cloro. Específicamente, un aumento de temperatura de 10 a 20 °C puede suponer una reducción del 30% en la viscosidad del agua, lo que afecta los fenómenos de transporte y las reacciones químicas, acelerando el decaimiento del desinfectante, y en la proliferación de las bacterias que ingresan en el sistema de distribución de agua potable, lo cual pone en riesgo a la salud de las personas al momento de su consumo, es por esto que para contrarrestar los efectos nocivos ocasionados por el aumento de temperatura en las tuberías se necesitan aplicar soluciones constructivas que mitiguen estos aspectos.

Las soluciones del punto 4.4 pueden ayudar a mantener la concentración de cloro en los niveles requeridos y prevenir la formación excesiva de algas. Sin embargo, es necesario un análisis más profundo de cada alternativa, considerando su impacto en la calidad del agua potable y los costos operativos y constructivos. Además, se deben evaluar otras posibles soluciones para identificar la más efectiva según el contexto social y económico de la red de agua potable.

Si se decide aumentar la concentración de cloro para contrarrestar su decaimiento por el aumento de temperaturas, se debe tener en cuenta el cloro residual en el sistema. Un incremento en la concentración puede dañar las tuberías de HDPE, haciendo que sus paredes internas se vuelvan rugosas, lo que perjudica la calidad del agua y aumenta las pérdidas de presión por fricción (FlowGuard Mx, 2021; Gómez, 2009).

La variación en la aplicación de cloro puede ser una alternativa más económica para combatir biopelículas, ya que su uso a corto plazo no se ve afectado por el aumento de temperatura en las tuberías. Sin embargo, es crucial evaluar los efectos de una alta concentración de cloro, especialmente su concentración residual, que puede afectar la calidad del agua.

Al considerar el cambio de materialidad en tuberías de agua potable, es necesario analizar los costos y tiempos de ejecución de materiales como HDPE y PVC. No todas las áreas se beneficiarán del cambio debido a factores geométricos y de resistencia al flujo. Además,

aumentar la velocidad del flujo puede ayudar a reducir la proliferación bacteriana, pero es vital identificar zonas vulnerables con bajo flujo y estudiar las posibles consecuencias de esta estrategia. Esto permitirá optimizar costos y minimizar riesgos en la aplicación de soluciones.

6. CONCLUSIONES

Valdivia, a pesar de su clima frío, es vulnerable al aumento del desarrollo bacteriano en el agua potable debido al calentamiento global. Ciudades más grandes como Santiago y Concepción, que ya enfrentan temperaturas más altas, podrían sufrir consecuencias más graves en la calidad del agua a largo plazo.

Es crucial analizar soluciones para prevenir los daños del cambio climático en los sistemas de distribución de agua potable desde una edad temprana. Aunque las condiciones actuales de desinfección en Valdivia son adecuadas para obtener agua potable segura, no son suficientes para garantizar una completa sanitización. Esto permite la regeneración y proliferación de bacterias y biopelículas, controladas solo por los estándares de la Norma Chilena y las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud.

Con el aumento de la temperatura, la concentración de cloro en la red de distribución podría verse afectada, lo que permitiría que las bacterias se reproduzcan más rápidamente. Esto podría llevar a que la cantidad de bacterias coliformes y patógenas exceda los niveles aceptables para el consumo humano, poniendo en riesgo la salud de la población. Por lo tanto, es vital implementar estrategias efectivas para abordar este problema.

REFERENCIAS

Agudelo-Vera C., Avvedimento S., Boxall J., Blokker M., Creaco E., de Kater H., Di Nardo A., Djukic A., Douterelo I., Fish K., Iglesias P., Jacimovic N., Jacobs H., Kapelan Z., Martinez J., Montoya C., Piller O., Quintiliani C., Ručka J., & Tuhovčák L. (2020). Drinking Water Temperature around the Globe: Understanding, Policies, Challenges and Opportunities. *Water*, 12(4), 1049. <https://doi.org/10.3390/w12041049>.

Berdonces J. (2008). La problemática del tratamiento del agua potable. *Medicina Naturista*, 2(2), 22–28.

Besner M., Camper A., Gauthier V. & Servais P. (2002). Explaining the occurrence of coliforms in distribution systems. *Journal - American Water Works Association*, 94(8), 95–109. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2002.tb09529.x>

Beyenal H., & Lewandowski Z. (2002). Internal and External Mass Transfer in Biofilms Grown at Various Flow Velocities. *Biotechnology Progress*, 18(1), 55–61. <https://doi.org/10.1021/bp010129s>.

Díaz S., & González J. (2022). La importancia de la temperatura del agua en las redes de abastecimiento. *Ingeniería Del Agua*, 26(2), 107–123. <https://doi.org/10.4995/ia.2022.17366>.

Díaz S., Boxall J., Lamarche L., & González J. (2023). The Impact of Ground Heat Capacity on Drinking Water Temperature. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 149(5). <https://doi.org/10.1061/jwrmd5.wreng-5869>.

Díaz S., González J., & Galán A. (2024). Impactos derivados del cambio climático en redes de abastecimiento de agua potable: Exploración en base a tres casos de estudio. <https://doi.org/10.31428/10317/16765>.

Fernández F. (2020). Análisis comparativo de costo, tiempo y calidad entre tuberías de PVC Y HDPE en instalación sanitaria de la Asociación Santa María de Gramadal, Lima 2019. Universidad Privada del Norte. Lima, Perú.

Fisher I., Kastl G., & Sathasivan A. (2012). A suitable model of combined effects of temperature and initial condition on chlorine bulk decay in water distribution systems. *Water Research*, 46(10), 3293–3303. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.017>.

Flemming H., Percival S., & Walker J. (2002). Contamination potential of biofilms in water distribution systems. *Water Supply*, 2(1), 271–280. <https://doi.org/10.2166/ws.2002.0032>.

FlowGuard Mx. (2021). Crecimiento bacteriano en tuberías residenciales: 5 ventajas del tubo de CPVC. <https://www.flowguard.com/blog-sp/crecimiento-bacteriano-en-tuberia-residencial-ventajas-tubo-de-cpvc>.

Gelves M. (2005). Deterioro de la Calidad del Agua por el Posible Desprendimiento de las Biopelículas en las Redes de Distribución de Agua Potable - Estado Del Arte. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

Gómez M. (2009). El CPVC, como alternativa al uso de cobre en conducción de agua potable intradomiciliaria. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

Gutiérrez R. (2022). Reporte anual de la evolución del clima en Chile (C. Villaroel, Ed.). Dirección General de Aeronáutica Civil. <https://climatologia.meteochile.gob.cl/publicaciones/reporteEvolucionClima/reporteEvolucionClima2021.pdf>.

Lamarche L. (2017). Mixed arrangement of multiple input-output borehole systems. *Applied Thermal Engineering*, 124, 466–476. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.06.060>.

LeChevallier M., Welch N., & Smith D. (1996). Full-scale studies of factors related to coliform regrowth in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*, 62(7), 2201–2211. <https://doi.org/10.1128/aem.62.7.2201-2211.1996>.

Leveque B., Burnet J., Dorner S., & Bichai F. (2021). Impact of climate change on the vulnerability of drinking water intakes in a northern region. *Sustainable Cities and Society*, 66, 102656. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102656>.

Maguiña J. (2021). Análisis comparativo de costo, vida útil y calidad entre tuberías de PVC y HDPE en red de agua potable de la asociación de vivienda Santiago de Mazo – Végueta – Huaura, 2021. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho, Perú.

Monteiro L., Figueiredo D., Covas D., & Menaia J. (2017). Integrating water temperature in chlorine decay modelling: a case study. *Urban Water Journal*, 14(10), 1097–1101. <https://doi.org/10.1080/1573062x.2017.1363249>.

Mubiru D., Coyne M., & Grove J. (2000). Mortality of *Escherichia coli* O157:H7 in Two Soils with Different Physical and Chemical Properties. *Journal of Environmental Quality*, 29(6), 1821–1825. <https://doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900060012x>.

Muñoz L. (2005). Velocidad de Desprendimiento de las Biopelículas en Tuberías de Distribución de Agua Potable. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

NCh 409/1. Agua potable – Parte 1 - Requisitos. INN 2005.

NCh 691. Agua potable - Producción, conducción, almacenamiento y distribución - Requisitos de diseño. INN 2015.

NCh 3542. Sistemas de tuberías para alcantarillado sanitario y otras aplicaciones sin presión – Instalación subterránea de tuberías termoplásticas. INN 2018.

Piedmont Plastics (2023). Material Comparison: PVC Vs. HDPE. <https://www.piedmontplastics.com/blog/pvc-vs-hdpe>.

Rodríguez Y., López Y., Mejía I., Chávez Y., Narcizo Y., & Reaño C. (2024). Evaluación del crecimiento de bacterias en biopelículas de tuberías de agua potable. *Aporte Santiaguino*, 17(1). <https://doi.org/10.32911/as.2024.v17.n1.1126>.

Simunič U., Pipp P., Dular M., & Stopar D. (2020). The limitations of hydrodynamic removal of biofilms from the dead-ends in a model drinking water distribution system. *Water Research*, 178, 115838. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115838>.

Vivanco (2022). Calidad de agua: coliformes fecales. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/33469/1/BCN_normas_calidad_de_agua_coliformes_2022_FINAL.pdf.

WHO. 2011. Guidelines for drinking water quality, 4th Edition. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

WHO. 2017. Guidelines for drinking water quality, 4th Edition – 1st Addendum. World Health Organization, Geneva, Switzerland.