



ESTUDIO DE LA DINAMICA DEL CLORO EN LA RED DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE DOLORES

Camargo, Carla (*); Iriburo, Alejandro; Pintos, Margarita; Carbajal, Alicia; Bellón Daniel.

Carla Camargo

Bach. Ingeniería.

Pasante en OSE. Gerencia de Agua Potable. Estudiante Facultad de Ingeniería Civil Opción Hidráulico Ambiental. UdelaR

Alejandro Iriburo

Ing. Civil Hidráulico Ambiental. OSE Gerencia de Agua Potable

Margarita Pintos

Ing. Civil Hidráulico Sanitario. OSE Gerencia de Agua Potable

Alicia Carbajal

Ing. Civil opción Estructural. OSE Gerencia de Agua Potable

Daniel Bellón

Ing. Civil Hidráulico Ambiental. OSE Gerencia de Agua Potable

Dirección del autor principal (*): Carlos Roxlo 1275 Piso 3/Gerencia de Agua Potable, Montevideo, Uruguay. CP 11200 Tel: (598)2-19521949

RESUMEN

A lo largo del presente estudio se mencionan algunas de las posibles causas que provocan el deterioro de la calidad del agua durante su transporte a través de la red, y se presentan modelos que permitan analizar la evolución sus parámetros determinantes.

Mediante la utilización del software EPANET 2.0 se han podido detectar zonas con carácter prioritario de análisis en lo que respecta a una deficiencia en la concentración del cloro residual libre o altos tiempos de permanencia del agua en la red.

INTRODUCCION

A lo largo de la historia se han registrado diversos incidentes que evidencian que la calidad del agua potable puede verse afectada durante su recorrido desde la planta de tratamiento hasta el punto de consumo. Durante el tiempo que el agua permanece en la red, las sustancias más reactivas contenidas en la misma, como por ejemplo el cloro utilizado como desinfectante, reaccionan o se combinan con otras sustancias presentes en el seno del agua o adheridas a las paredes de las tuberías, incluso el propio material de las mismas puede modificar la calidad del agua. En el caso de la desinfección con cloro, la concentración de cloro residual disminuye a través de la red, lo que puede favorecer el crecimiento bacteriológico, con el consiguiente riesgo sanitario.

Con el objetivo de disponer de una herramienta de identificación y gestión de riesgos para el Plan de Seguridad de Agua (PSA) que se está implementando en el Sistema de Abastecimiento de la Ciudad de Dolores (departamento de Soriano), se toma como cometido el estudio de la evolución del cloro residual y tiempo de permanencia del agua en la red de distribución. Un PSA es un instrumento que identifica y evalúa riesgos, define medidas de control para reducirlos o eliminarlos, y establece los planes de gestión para el sistema de abastecimiento de agua de forma de mantenerlos bajo control (Bastos, 2009). La red

de distribución se presenta como la última etapa del sistema de abastecimiento, la última de las “barreras múltiples”, por lo que debe constituir una efectiva barrera de protección.

Para la modelación de la red de distribución se utilizó el software EPANET 2.0 de simulación de parámetros hidráulicos y de calidad en sistemas de transporte y distribución de agua. Con los resultados obtenidos se identifican zonas de riesgo potencial, es decir, regiones en las cuales se presentan altos tiempos de permanencia del agua en la red así como niveles de cloro bajos.

METODOLOGIA DE TRABAJO

El trabajo se llevó a cabo en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Dolores, cuyo sistema de producción y distribución de agua cuenta con: obra de toma, usina potabilizadora, depósito de almacenamiento y red de distribución. La unidad potabilizadora autónoma (UPA) corresponde al modelo UPA 4000, la cual consta de las etapas convencionales de potabilización de agua: coagulación, floculación, sedimentación y filtración, realizándose la desinfección dentro del depósito de agua filtrada. La red de distribución de agua presenta tuberías de PVC, FC, y HF.

Calibración de parámetros hidráulicos de la red

Para llevar a cabo la simulación del funcionamiento hidráulico de la red con EPANET, se tomaron en cuenta:

Parámetros físicos: longitud, diámetro y material de tuberías (rugosidad), altimetría, depósitos de distribución (volumen y cotas), y datos de funcionamiento de las bombas elevadoras de la Usina.

Consumos: se determinaron en base a los datos del INE de población y vivienda, asumiendo un consumo medio diario de 600 L/conex.día. No se realizó en esta etapa proyección de demanda a futuro.

Para consumos pico se consideró una curva de evolución diaria de forma de modelar el comportamiento de la red durante 96 horas, a partir de la información horaria sobre niveles del depósito de distribución. Se verificó que la demanda total resultante del procedimiento fuese consistente con el caudal elevado diario de la Usina.

La calibración se realizó contrastando los valores de presión obtenidos a partir del modelo con los medidos en siete puntos de la red, estando éstos últimos distribuidos en forma aleatoria a lo largo de la misma.

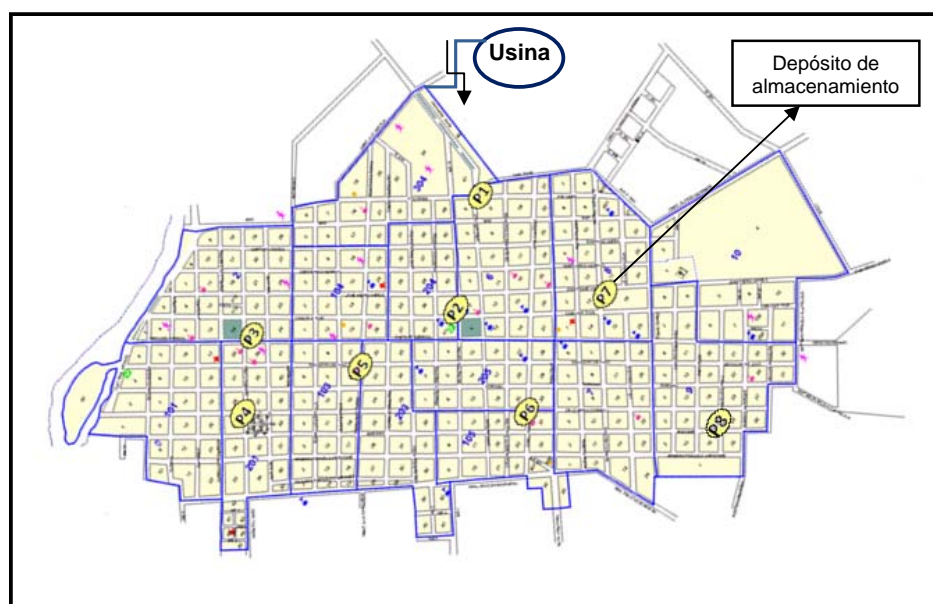


Figura 1- Puntos de muestreo en la Ciudad de Dolores

Calibración de parámetros de calidad de agua:

Con el fin de analizar la calidad del agua en la red, se seleccionaron los anteriormente mencionados puntos de muestreo, en los cuales se midieron valores diarios de cloro residual (en mg/L) durante cuatro meses. Para modelar la evolución del cloro se utilizó el software EPANET 2.0; este modelo permite acompañar el aumento o disminución de una sustancia debido a reacciones, a medida que se desplaza a lo largo de la red (Rossman, 2004). Permite modelar en forma independiente las reacciones que se producen en el flujo, por ejemplo el ácido hipocloroso reaccionando con materia orgánica y reacciones en las paredes de las tuberías, por ejemplo oxidación del hierro en tuberías de ese material.

Reacciones en el agua

El decaimiento del cloro en el seno del flujo se modela como reacción de primer orden:

$R(C_i) = K_b \cdot C_i$, donde C_i es la concentración en el tiempo t_i (mg/L), K_b es la constante de reacción de decaimiento (días^{-1}), y $R(C_i)$ es la tasa de reacción instantánea del cloro ($\text{mg L}^{-1} \cdot \text{días}^{-1}$).

Para la determinación de la constante K_b , se realizó un ensayo de decaimiento del cloro residual libre utilizando el equipo Lovibond Minidirect y reactivo DPD en polvo. Se extrajo una muestra del agua elevada de la Usina, la que fue fraccionada en frascos de vidrio estériles y herméticos (sin cámara de aire); los frascos fueron almacenados a temperatura ambiente y protegidos de la luz. Se analizó el contenido de cloro residual de cada una de las muestras a intervalos de una hora a lo largo del día, de forma tal que: en t_1 se analiza el frasco N°1, en $t_1+1\text{h}$ se analiza el frasco N°2, y así sucesivamente hasta completar el total de los frascos.

Como la reacción que se considera es de primer orden, al representar el tiempo vs. el logaritmo natural de la concentración C_t en el instante t respecto a la concentración inicial C_0 ($\log(C_t/C_0)$), deberá obtenerse una recta, cuya pendiente es el valor de K_b .

Reacciones en la pared

Para el modelado de la calidad del agua se debe considerar también la constante K_w , que representa el decaimiento del cloro en la pared de la tubería mediante la siguiente ecuación:

$R(C_i) = R_H \cdot K_w \cdot (C_i)^n$, donde R_H es el radio hidráulico (m) y n es el orden de la reacción con la pared que en este caso se asume igual a 0.

El valor de K_w se obtuvo por ajuste, aproximando los valores generados por la simulación en los siete puntos considerados, a los valores de cloro medidos en campo para los mismos. Para el valor de K_w se tuvo en cuenta el material de la tubería.

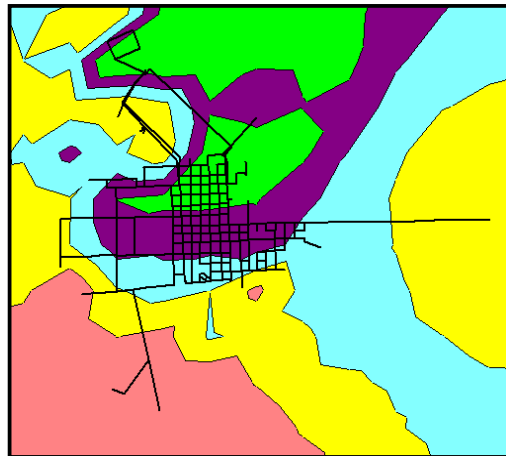
Tiempo de permanencia del agua en la red

Ante la evidencia de que la calidad del agua potable se modifica durante su recorrido a través de la red de distribución, es conveniente estudiar su evolución mediante la utilización de sistemas de simulación y monitorización. El tiempo de permanencia o edad del agua, representa el tiempo medio que una porción de agua demora en llegar a un determinado nodo de la red a partir de su ingreso en la misma. El cálculo de tiempos de permanencia es una forma simple de valorar la calidad del agua en la red, sin necesidad de efectuar ninguna medida. Internamente EPANET considera el tiempo de permanencia como una sustancia reactiva cuyo crecimiento responde a una cinética de orden 0, y cuya constante de reacción es igual a 1.

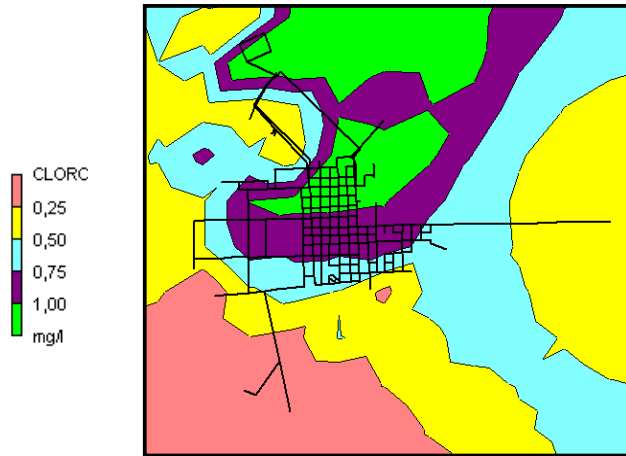
RESULTADOS

Del monitoreo de la red de distribución, seguido del correspondiente ajuste de parámetros, se determinaron los siguientes valores: $K_b = -4 \text{ días}^{-1}$ y $K_w = -0.009 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ para PVC, -0.02 para FC, y -0.03 para HF.

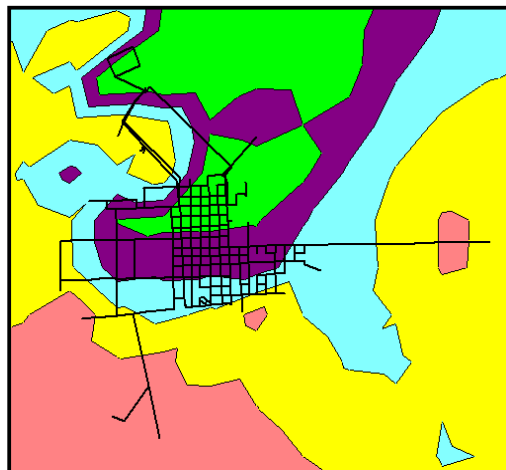
Se presentan a continuación los mapas de isólinas, correspondientes a la concentración de cloro residual libre en la red de distribución de agua de Dolores, obtenidos del modelo para un día de semana típico a las 8:00, 15:00, 20:00 y 00:00 horas.



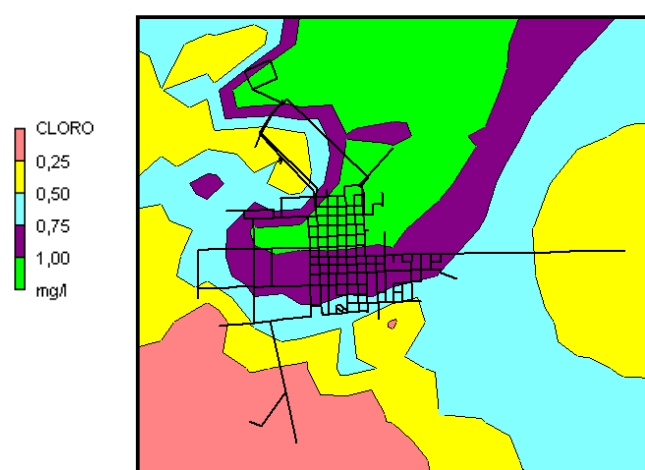
Concentración CRL a las 8:00 horas



Concentración CRL a las 15:00 horas



Concentración CRL a las 20:00 horas



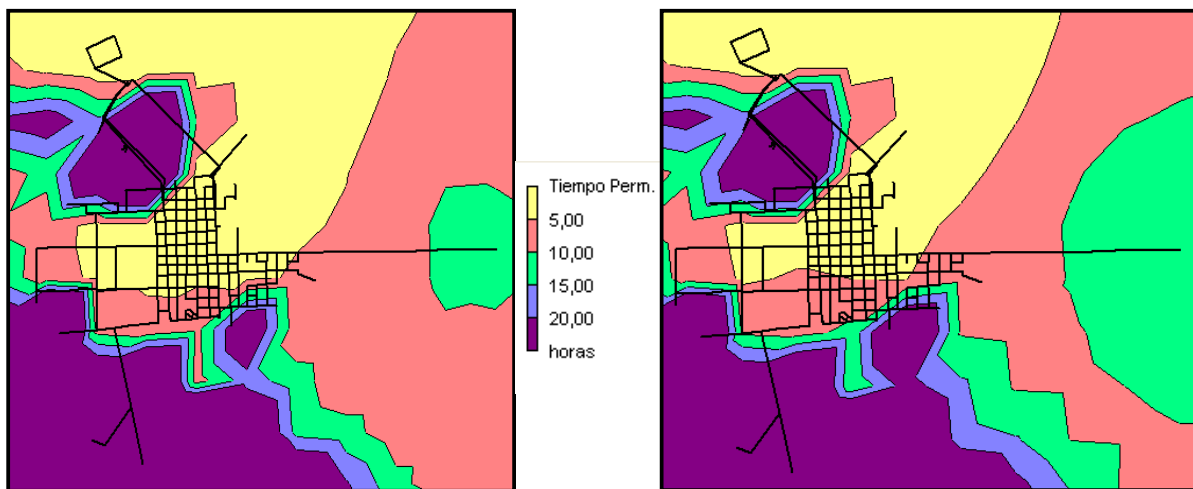
Concentración CRL a las 00:00 horas

Con el fin de detectar posibles problemas de contaminación bacteriológica en la red de distribución, es fundamental considerar los tiempos de permanencia del agua en dicha red.

En particular, requiere cierta atención el análisis de las velocidades del agua en las tuberías del sistema. Si los valores son bajos, resulta evidente el efecto sobre los tiempos de permanencia y por tanto sobre la calidad del agua potable. Por otro lado, de ocurrir un incremento notorio en el módulo de la velocidad o un cambio de dirección en la misma durante intervalos de tiempo alternados e irregulares, puede producirse el desprendimiento del biofilm de la tubería, produciendo eventualmente depósitos de sedimentos, y en consecuencia, afectando negativamente la calidad del suministro.

Con este estudio se pretende encontrar nuevos mecanismos para reducir el contenido de patógenos, y por consiguiente el desarrollo de biopelículas. A partir del mismo, implementar un programa para rehabilitar las instalaciones, tanto de distribución como de almacenaje, de encontrarse zonas vulnerables, es decir, zonas con tiempos de permanencia del agua elevados.

Mediante la simulación del sistema con EPANET se obtienen los siguientes mapas de isóneas, referidas a los tiempos de permanencia del agua en la red de la ciudad de Dolores, para un día de semana típico a las 8:00 y 16:00 horas.



Tiempo de permanencia a las 8:00 horas

Tiempo de permanencia a las 16:00 horas

El agua que entre en el sistema de distribución debe ser inocua desde el punto de vista microbiológico y debe ser también estable en términos biológicos. El propio sistema de distribución debe constituir una barrera segura contra la contaminación del agua durante su transporte hasta el usuario. El mantenimiento de un residuo de desinfectante en todo el sistema de distribución puede proteger en cierta medida contra la contaminación y limitar los problemas de proliferación de microorganismos.

Con motivo de correlacionar los resultados referidos al tiempo de permanencia con el estado sanitario de la red se realizó la determinación de heterótrofos en puntos definidos de la misma. Los heterótrofos son aquellos microorganismos que requieren de carbono orgánico como fuente de carbono para su crecimiento.

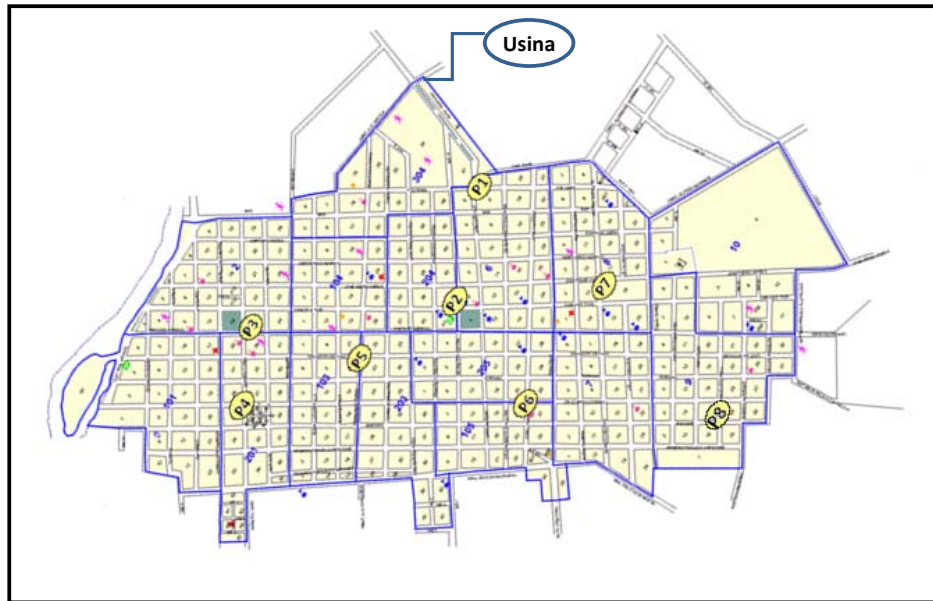


Figura 2- Puntos de muestreo de heterótrofos en la Ciudad de Dolores

El análisis tiene poco valor como índice de la presencia de microorganismos patógenos, pero puede utilizarse en el monitoreo operativo como indicador de tratamiento y desinfección del agua, con el objetivo de mantener los recuentos en los valores más bajos que sea posible.

El aumento en la concentración de microorganismos heterótrofos o la presencia más o menos continua de un número relativamente elevado de ellos en puntos de red particulares puede ser consecuencia del establecimiento y colonización de esa zona por microorganismos en estructuras conocidas como biofilms.

PUNTO DE EXTRACCION	F.EXTRACCION	F.ANALISIS	CLASIFICACION	HET. (ufc/ml)
USINA	22/08/2011	23/08/2011	Aceptable	< 1
P1 ARTIGAS Y ORIBE	22/08/2011	23/08/2011	Aceptable	< 1
P7 CHEVESTE Y VARELA	22/08/2011	23/08/2011	Aceptable	< 1
P8 OTONELLI Y MISIONES	22/08/2011	23/08/2011	Aceptable	34
P6 CARNELLI Y SCHUSTER	22/08/2011	23/08/2011	Aceptable	< 1
P5 18 DE JULIO Y PUPPO	22/08/2011	23/08/2011	Aceptable	< 1
P4 CARNELLI Y SAN JOSE	22/08/2011	23/08/2011	Aceptable	< 1
P3 ASENCIO Y TREINTA Y TRES	22/08/2011	23/08/2011	Aceptable	1
P2 SOTURA Y PUIG	22/08/2011	23/08/2011	Aceptable	8

Tabla 1- Resultado de Heterótrofos

Se observa que el valor de heterótrofos más elevado se corresponde con la zona de la red que presenta mayores tiempos de permanencia; asimismo todos los valores obtenidos fueron aceptables.

CONCLUSIONES

El mantenimiento de una buena calidad del agua en el sistema de distribución de agua potable será función del diseño y buen funcionamiento del mismo, así como de los procedimientos de mantenimiento y vigilancia aplicados para impedir la contaminación en su interior.

La optimización del tratamiento busca evitar la proliferación de microorganismos, disminuir la corrosión de los materiales de las tuberías y minimizar la formación de depósitos sobre las mismas.

El modelo de la red empleando el módulo de calidad de EPANET es una herramienta de gestión apropiada para la identificación y caracterización de riesgos en las redes de distribución.

El desarrollo bacteriano depende de la disponibilidad de carbono orgánico asimilable y de nutrientes inorgánicos, de la eficiencia del desinfectante residual, de la temperatura y pH del agua, del tiempo de permanencia de la misma en tuberías y depósitos, así como también de las características hidráulicas del sistema. La eliminación de tuberías con velocidades muy bajas, puede mejorar la hidráulica del sistema, reduciendo de esta manera, los riesgos microbiológicos y de formación de biofilms.

La herramienta de gestión que se obtiene a partir de este estudio, brinda la posibilidad de programar y simular las purgas periódicas del sistema; asimismo diseñar programas de sustitución de tuberías con el fin de minimizar áreas de bajo flujo recalculando el diámetro y la longitud de las mismas.

En relación a las purgas, el modelo permite evaluar las repercusiones que pueden provocar las mismas en la red en cuanto al control de las presiones en el periodo de purgas determinado, de manera que no generen perturbaciones en los consumos diarios y que no se generen velocidades que den lugar a turbiedades excesivas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bastos, R. K. (2009). Dinâmica do cloro na rede de distribuição: contribuição para a identificação de perigos em planos de segurança da água. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental .
- Rossman, L. (2004). Manual do utilizador do Epanet 2.0 Simulação hidráulica e de parâmetros de qualidade em sistemas de transporte e distribuição de água. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- WHO. (2011). Guidelines for drinking water quality (4th ed.). WHO.