Estimación del riesgo a la corrosión por agua desalada en redes de distribución

En la última década, y más acusadamente en las zonas mediterráneas costeras, se ha visto incrementada la demanda de agua desalada como fuente alternativa de agua potable ante la escasez de recursos hídricos naturales. Con el fin de evaluar el riesgo a la corrosión asociado a mezclas de diferentes fuentes de suministro, se ha desarrollado una metodología determinista para la estimación del riesgo a partir de factores de vulnerabilidad, exposición y peligrosidad basada en metodologías utilizadas en hidrogeología e ingeniería civil. Los resultados evidencian la importancia de considerar los posibles cambios mineralógicos que puedan producirse a corto/medio plazo como factor incremental del riesgo. Así mismo, se considera una metodología de alto interés por tres razones: permite identificar sectores de la red con mayor riesgo de avería, logrando adaptar los planes de mantenimiento; es adaptable a problemáticas de corrosión e incrustación de sales en red; y permite la adaptación a diferentes contextos de disponibilidad de información.

Palabras clave
Agua desalada, red de distribución, riesgo de corrosión, calidad del agua.

CORROSION RISK ASSESSMENT BY DESALINATED WATER IN DRINKING WATER DISTRIBUTION NETWORKS

In the last decade, desalinated water demand has increased in the Mediterranean coastal areas as an alternative source of drinking water due to natural water resources scarcity. Therefore, it is necessary to assess the risk associated with potentially water quality changes within the existing network. To this end, a deterministic methodology has been developed for estimating corrosion risk based on vulnerability, exposure and hazard factors based on methodologies used in hydrogeology and civil engineering. The results show the importance of considering the possible mineralogical changes that may occur in the short/medium term as an incremental risk factor. Likewise, it is considered a methodology of high interest as it allows identifying sectors of the drinking network with higher risk of failure, allowing adaptation of maintenance plans, it is adaptable to needs to assess the risk of both corrosion and the limescale formation, and it allows adaptation to different contexts of data availability.

Keywords
Desalinated water, distribution network, corrosion risk, water quality.

Sara Espinosa Martínez
project manager de Cetaqua Andalucía

Manuel Argamasilla Ruiz
responsable técnico del Área Gestión de Recursos Hídricos de Cetaqua Andalucía

Susana González Blanco
responsable técnica del Área Gestión de Infraestructuras Críticas y Resiliencia de Cetaqua Barcelona

Vicente Villaescusa Pomares
responsable de Operaciones Redes Distribución de Hidralia Almería

Manuel Lorente Rodríguez
responsable de Operaciones Redes Distribución de Hidralia Roquetas de Mar

Alicia Pinero Navarro
responsable de Operaciones Redes Distribución de Hidralia Adra

1. INTRODUCCIÓN

Históricamente, en explotaciones en las que se ha introducido agua desalada sin un postratamiento de remineralización se han observado alteraciones tanto en el funcionamiento de la red como en la calidad del agua suministrada, siendo los casos más alarmantes en los que en el grifo del consumidor han llegado a aparecer las conocidas como 'aguas rojas' debido al alto contenido en hierro. Actualmente, las desaladoras cuentan con postratamientos que *a priori* deberían evitar la aparición de fenómenos extremos en la red, pero en explotaciones en las que se suministra agua de diferente origen (superficial, subterránea, desalada y mezcla) se han reportado problemas de corrosión y una mayor incidencia de averías cuando la calidad del agua sufre variaciones significativas.

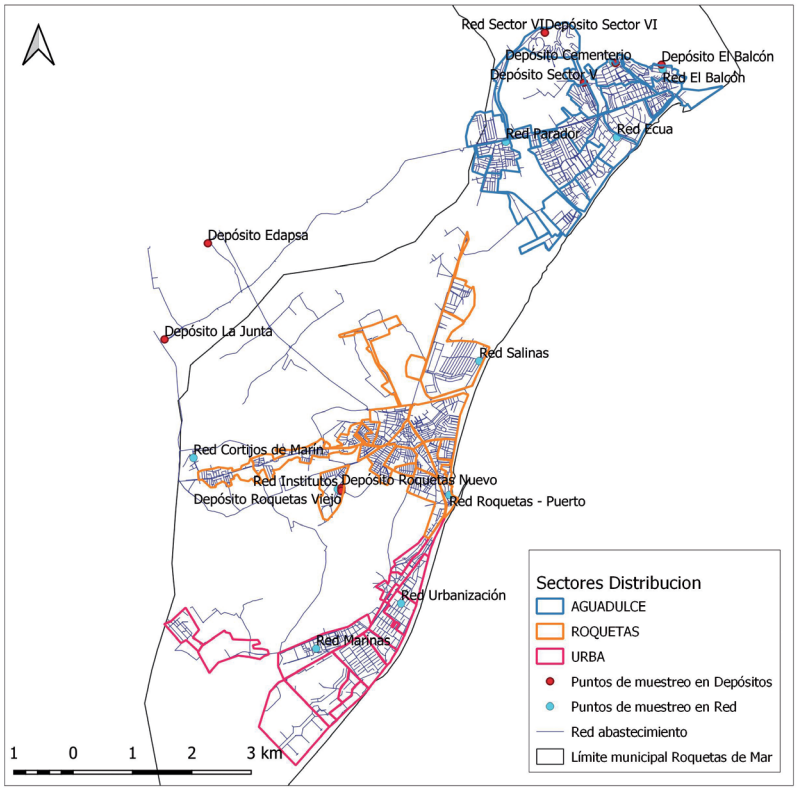
Para evitar este tipo de situaciones y poder llegar a tener un control sobre la calidad del agua de suministro, de la experiencia de diversos proyectos de I+D+i, cuyo objetivo ha sido establecer la relación entre el tipo de agua (superficial o subterránea) que ha estado circulando por la red y el estado previo de las tuberías antes de un cambio de mineralización de agua, se hace especial hincapié en la forma correcta de utilizar los índices teóricos de calidad del agua, remarcando que es necesario utilizar una combinación de ellos: índices de agresividad del sistema calco-carbónico (Índice de Langelier -IL- e Índice de Saturación -IS-) e índices de corrosividad del agua (Índice de Larson -LaI- e Índice de Leroy), siendo más apropiados estos últimos. También resulta fundamental conocer el estado de la red antes de la introducción de un agua de diferente composición química.

2. CASO DE ESTUDIO: ROQUETAS DE MAR

Hidralia, como empresa operadora del servicio de abastecimiento del municipio de Roquetas de Mar (Almería), es consciente del problema de la sobreexplotación de los acuíferos del Campo de Dalias y su paulatina contaminación por intrusión salina. Por ello apuesta por una gestión integral sostenible. En 2016, Hidralia incorpora el agua procedente de la desalinizadora del Campo de Dalias en Balerma (gestionada por Acuamed), como recurso hídrico alternativo de abastecimiento de agua de consumo humano en este municipio con el fin de poder disminuir de forma radical el volumen de extracción de agua de sus pozos. El volumen de agua desalinizada suministrada en 2016 fue de 3 hm^3/a, ascendiendo a 7 hm^3/a en 2017 y a 8 hm^3/a en 2018, llegando puntualmente en 2019 hasta 8,5 hm^3 en los momentos en los que la capacidad de producción de la planta y la demanda asociada lo han permitido.

El término municipal de Roquetas de Mar cuenta con 3 grandes sectores de distribución: Aguadulce al norte del municipio, Roquetas en la zona central y Urba al sur del municipio. Estos, a su vez, están divididos en diferentes subsectores: 20 en el sector Aguadulce, 22 en el sector Roquetas y 14 en el sector Urba. Así mismo, cuenta con 8 depósitos, 4 de ellos localizados en el sector de Aguadulce (Balcón Aguadulce, Cementerio, Sector V y Sector VI) y desde los cuales se distribuye desde 2016-2017 agua desalada. Estos depósitos se encuentran distribuidos al noroeste del sector Roquetas y dentro del propio sector de distribución. Además, existen 13 puntos de control de la calidad del agua localizados estratégicamente en la red de distribución (**Figura 1**).

FIGURA 1. Localización de depósitos y puntos de control de agua potable en red de distribución (derecha).



Actualmente, la distribución de agua desalada en el municipio está sectorizada, si bien se pretende que en los próximos años todo el municipio se abastezca al 100% de esta fuente de suministro, quedando el agua de los acuíferos únicamente como recurso en caso de emergencia.

En el caso de Roquetas de Mar, los índices teóricos de agresividad y corrosividad indican que el agua desalada resulta ligeramente agresiva respecto al sistema $CaCO_3$ (IL = - 0,38), aunque dentro de los límites recomendados 0,5 < IL > - 0,5 (Langelier, 1936; 1946), y corrosiva (LaI = 1; 0,8 < LaI < 1,2 indica corrosividad significativa (Larson y Buswel, 1942).

A parte, la longitud total de la red de distribución de Roquetas de Mar es de aproximadamente 387 km, de los cuales 315 km se componen de los elementos más sensibles a la corrosión y agresividad del agua. Es decir, el 80 % de la red podría estar en riesgo de sufrir daños con un cambio de mineralización del agua. Además, existen otros factores (diámetro, presión en red, edad de las tuberías, velocidad de flujo, etc.) influyentes en la ocurrencia de averías, que serán considerados en la ecuación definida para la estimación del riesgo a la corrosión.

3. METODOLOGÍA

Se pretende que la protección, seguimiento y control de los elementos más vulnerables de la red frente a cambios de mineralización se lleve a cabo mediante el apoyo de un mapa de riesgo de la red de abastecimiento, a partir del cual podrá establecerse un protocolo de seguimiento de dichos puntos.

Con base en los resultados de estudios previos, es aconsejable realizar una inspección del estado de tuberías en tramos con agua de mezcla mediante el levantamiento de acometidas y tramos de red para su inspección *in situ* y diagnóstico de su estado real con el objetivo de identificar los tramos más sensibles de la red.

3.1. EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA CALIDAD DEL AGUA DESALADA

En cuanto a la calidad del agua, con el objetivo de determinar si existen variaciones composicionales del agua desalada que puedan representar un peligro en las zonas identificadas como más vulnerables, se han llevado a cabo los siguientes análisis:

- Estimación de los índices de agresividad (índice de saturación del sistema calco-carbónico e índice de Langelier) y de los índices de corrosividad (índice de Ryznar, Puckorius y Larson) con apoyo de una macro de excel desarrollada por el Centro Canario del Agua (González *et al*., 2015). Estos índices se han calculado a partir de los análisis de química elemental y parámetros físico-químicos tanto del agua de los diferentes depósitos existentes en el área de distribución como de los puntos de control situados a lo largo y ancho de la red, para el periodo de tiempo comprendido entre los años 2014 y 2019.
- Análisis de la evolución temporal de dichos índices y de los parámetros fisicoquímicos (conductividad eléctrica, pH y turbidez).

3.2. DESARROLLO DE LA ECUACIÓN DE RIESGO DE CORROSIÓN

La definición de la ecuación de riesgo a la corrosión en la red de abastecimiento se ha realizado a partir de la adaptación de las metodologías descritas por Martínez *et al*. (1998) y Ribera (2004), teniendo en cuenta las conclusiones de los trabajos mencionados sobre evaluación general de riesgo en sistemas de distribución de agua potable y seleccionando los factores y variables involucradas en la ecuación a partir de la información disponible en este caso de estudio.

La ecuación de riesgo a la corrosión en sistemas de abastecimiento de agua potable queda definida mediante la siguiente expresión:

$$R = P * E * V$$

siendo:

- R = riesgo.
- P = peligrosidad, definida por el agente externo al que está expuesto el activo, es decir, por la calidad del agua de suministro (índices de agresividad, índices de corrosión) y presión en la red de abastecimiento.
- E = exposición, factor definido por la densidad de población (habitante/km^2) en cada uno de los sectores de la red de abastecimiento. Una mayor densidad de población puede implicar mayor demanda, por lo tanto, mayor exposición de los activos al agua de suministro.
- V = vulnerabilidad de activos, definida por las propiedades intrínsecas de la red de abastecimiento, es decir, material y diámetro de tubería.

Cada uno de los factores que describen el riesgo se define, a su vez, mediante las siguientes expresiones:

$$P = ni * \Sigma (Pi * PPi)$$
$$E = Hab/S$$
$$V = ni * \Sigma (Vi\ (\%sector) * PVi)$$

Por tanto, la expresión desarrollada quedaría como:

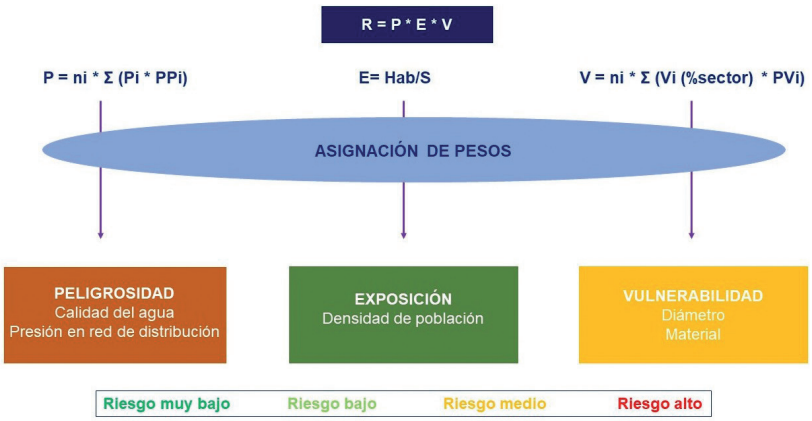
$$R = [ni * \Sigma (Pi * PPi)] * Hab/S * [ni * \Sigma (Vi\ (\%\ sector) * PVi)]$$

donde:

- ni: peso del grupo de variables.
- Pi: cada una de las variables de peligrosidad.
- PPi: peso asignado a cada variable por relevancia relacionada con incidencia de averías.
- Hab: número de habitantes.
- S: superficie del sector de abastecimiento de agua potable.
- Vi (% sector): cada una de las variables de vulnerabilidad (aproximación por número de elementos de cada clase dentro de cada sector de abastecimiento).
- PVi: peso asignado por relevancia relacionada con incidencia de averías.

Los pesos asignados a cada grupo de variables y a cada variable han sido consensuados con la colaboración de un grupo de expertos en distribución de agua potable debido a la subjetividad de valoración de dichos parámetros. Los valores de riesgo se visualizarán mediante representación cartográfica digital, para lo cual se normalizarán los resultados, asignándose una leyenda de color en función de rangos acotados para valores de riesgo muy bajo, bajo, medio y alto (**Figura 2**). Cada sector de distribución (polígono), tendrá un valor de riesgo caracterizado por la leyenda de colores asignada. En este caso esta representación cartográfica se ha realizado mediante la herramienta de acceso libre QGis, siendo totalmente replicable en otros *softwares* comerciales, como Arcgis. Por tanto, el esquema metodológico quedaría definido como se refleja en la **Figura 2**.

FIGURA 2. Esquema de la estimación del riesgo a la corrosión en red de distribución de agua potable.



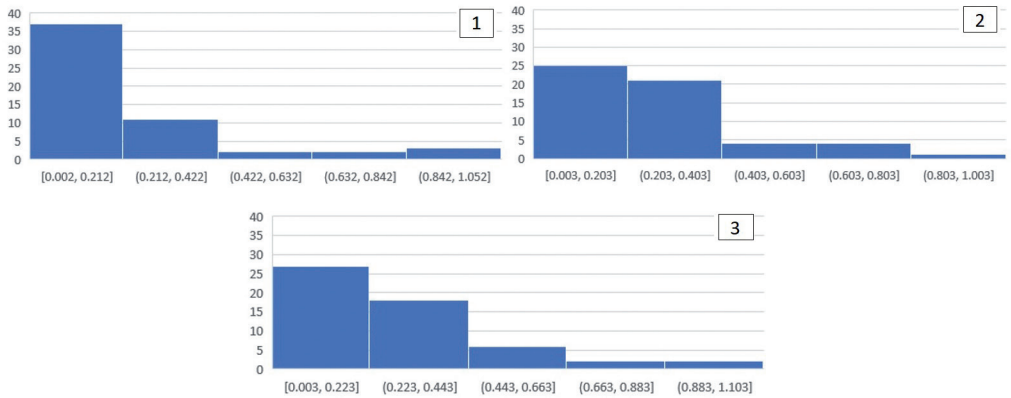
4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La estimación del riesgo se ha realizado bajo tres escenarios:

- Escenario 1. Condiciones de distribución actuales: zona de distribución 100% desalada y zona de mezcla.
- Escenario 2. Condiciones de distribución actuales asignando mayor peso al factor de peligrosidad en la zona de mezcla en previsión de un inminente paso a distribución de 100% desalada, lo que originaría un cambio mineralógico súbito.
- Escenario 3. Todos los sectores se abastecen de agua 100% desalada.

Una vez estimados cada uno de los factores de riesgo (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad) para cada subsector y calculado el riesgo en cada uno de ellos, se ha procedido a la normalización de los resultados. Esta normalización ha consistido en dividir cada resultado por el riesgo máximo estimado. Se observa que

FIGURA 3. Distribución de subsectores en una primera aproximación aleatoria de rangos de riesgo. Nota: (1) = escenario 1; (2) = escenario 2; y (3) = escenario 3.



para los tres escenarios existe mayor concentración de subsectores en los rangos que engloban menores valores de riesgo (**Figura 3**), siendo coherente con la distribución real de incidencias en la propia red de Roquetas de Mar.

Se ha realizado un análisis comparativo entre los diferentes escenarios (**Figuras 4** y **5**) y qué ocurre con cada sector y subsector, observándose que en general en todos los sectores, considerando que se asigna un mayor peso a la peligrosidad por cambio de mineralización en la zona de mezcla (escenario 2), aumenta el riesgo en una clasificación respecto a no considerarlo (escenario 1). Es decir, la mayor parte de los subsectores pasan de riesgo muy bajo a bajo o de bajo a medio.

Se prevé un mayor riesgo a corto plazo en los subsectores coloreados en rojo en el sector Roquetas (**Figuras 4** y **5**) debido al cambio mineralógico (escenario 2) que una vez establecida la distribución con agua desalada en su totalidad (escenario 3). Esto puede ser debido a que los índices de agresividad (índices de saturación del sistema calco carbónico e Índice de Langelier) pasan de ser incrustantes a agresivos. Sin embargo, los subsectores del sector Urba, pese a sufrir también este cambio, no se evidencia variación en la clasificación del tipo de riesgo, debido a que en este sector existe menor proporción de fundición dúctil que en el sector Roquetas.

Los subsectores que se encuentran en riesgo alto (color rojo) en el escenario 3 tienen alta densidad de población y presiones en red relativamente elevadas. Se observa que otros subsectores con presiones superiores, pero con menor densidad de población, el riesgo es bajo o muy bajo.

FIGURA 4. Mapa de riesgo a la corrosión según las condiciones del escenario 1 (imagen superior) y escenario 2 (imagen inferior).

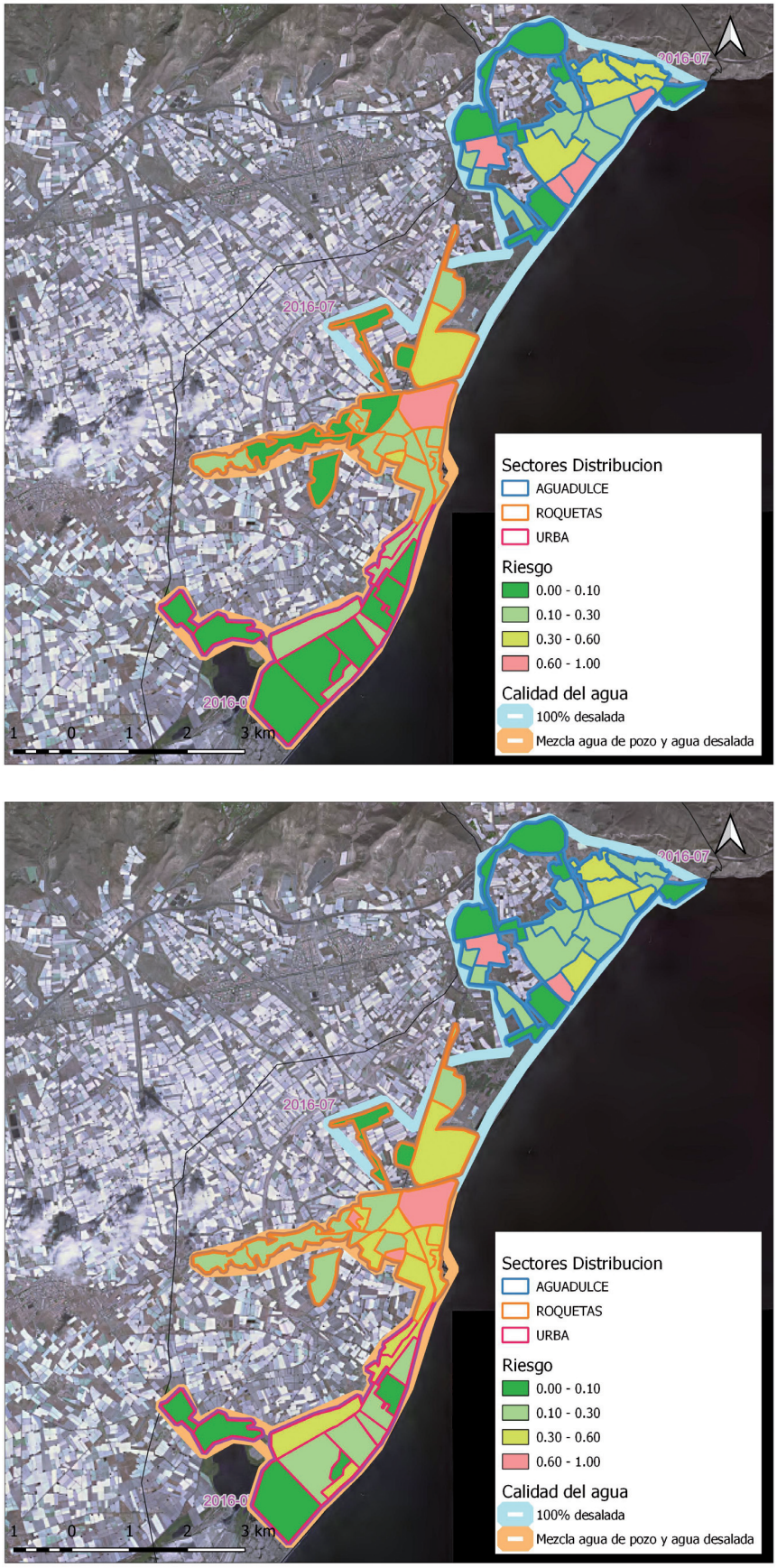


FIGURA 5. Mapa de riesgo a la corrosión según las condiciones del escenario 3.

5. CONCLUSIONES

Se ha observado que no considerar el cambio mineralógico que se producirá al introducir agua desalada en la zona de mezcla infravalora el riesgo al cual estarán sometidos la mayor parte de los subsectores, por lo tanto, los resultados del escenario 1 se consideran no fiables. En este sentido, se espera un riesgo más elevado a corto plazo debido a un cambio mineralógico súbito que a largo plazo por la distribución de agua desalada, siempre que su composición sea estable en el tiempo.

Para explotaciones como el caso de Roquetas de Mar, la ecuación se ajusta de manera aceptable (resultados validados con Hidralia Roquetas de Mar). Se considera una metodología de alto interés debido a su flexibilidad de alcance en función de la disponibilidad de datos. Siendo una herramienta válida *low cost* para incorporar sus resultados en los informes de planes de renovación de redes de distribución de agua potable.

Para el caso concreto de Roquetas de Mar se recomienda homogeneizar en el tiempo la mezcla de agua en la medida de lo posible, ya que se ha observado que existe una variabilidad significativa en la calidad del agua en los puntos de control localizados en la zona de mezcla. De forma general, hacer una revisión *in situ* del estado de la red, con levantamiento tramos de tubería, en las zonas en las que se prevea introducir un agua con diferente composición mineralógica resulta fundamental para poder trazar un plan de actuación durante las primeras semanas de distribución de dicha agua. En caso de circular previamente un agua de origen superficial, la protección del interior de las tuberías será escasa o nula, con alta probabilidad de corrosión en los elementos metálicos. Y en caso de circular previamente agua subterránea con características incrustantes, será necesario poner especial atención en los tramos aguas abajo de donde se haya podido identificar masas de precipitados para evitar o controlar un evento de desprendimiento de incrustaciones.

Con la disponibilidad de datos suficientes, a la expresión definida para la estimación del riesgo podrían incorporarse el factor de resiliencia y de impacto socioeconómico de las potenciales averías e incidencias generadas frente a cambios mineralógicos, otorgándole a la metodología mayor robustez y alcance. Pese a haberse validado los resultados para el caso concreto de Roquetas de Mar, para validar la metodología propuesta y evaluar de su replicabilidad y escalabilidad se hace necesaria su aplicación en otras explotaciones con diferentes casuísticas.

Bibliografía

[1] González, E.; Parra, M.I.; Hernández, M. (2015). Calculadora de dureza, alcalinidad, índice de saturación de Langelier, índice de saturación, índice de Ryznar, índice de Puckorius. Centro Canario del Agua. Descargable en el siguiente enlace: https://fcca.es/productos-y-publicaciones/software-online/calculo-indices-langelier-saturacion-ryznar-puckorius-larson-dureza-alcalinidad/.

[2] Langelier, W.F. (1936). The analytical control of anticorrosion water treatment. J. Am. Water Works Assoc., vol. 28: 1.500.

[3] Langelier, W.F. (1946). Effect of temperature on the pH of natural waters. J. Am. Water Works Assoc., vol. 38: 179.

[4] Larson, T.E.; Buswell, A.M. (1942). Calcium carbonate saturation index and alcalinity interpretations. J. Am. Water Works Assoc,. vol. 34: 11.

[5] Martínez, M.; Delgado, P.; Fabregat, V. (1998). Aplicación del método DRASTIC para la evaluación del riesgo de afección a las aguas subterráneas por una obra lineal. Instituto Tecnológico Geominero de España. Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente. Valencia. AIH-GE.

[6] Ribera, L.R. (2004). Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tencológicas. Doc. Anál. Georg., 43, 18.