

04-009

**STUDY OF WATER QUALITY AT THE WATER SUPPLY POINTS FOR USERS ON THE UNIVERSITY
OF ALICANTE CAMPUS**

Benalcazar Murillo, Daniel ⁽¹⁾; Moya Llamas, María José ⁽¹⁾; Pla Bru, María de la Concepción ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Alicante

The protection of health and the prevention of water-related diseases is a major challenge for water supply systems. Disinfection ensures the effective elimination of any pathogenic organism that may be a source of waterborne diseases. Based on Royal Decree 902/2018, of 20 July, based on the WHO risk assessment methodology and from which the Water Health Plans are derived, and Royal Decree 140/2003, of 7 February, which establishes the health criteria for the quality of water for human consumption, the correct compliance with the Water Health Plan, recently implemented at the University of Alicante, is analysed through an extensive campaign of quality analysis at different points throughout the university. In addition, different agronomic indices are studied to determine its suitability as irrigation water. It is concluded that, despite the long period of disuse of the facilities caused by the pandemic and inactivity during the summer months, the water on campus has the minimum quality required, being suitable for human consumption and increasing the confidence of users in the quality of drinking water on campus.

Keywords: water; disinfection; quality; consumption; water health plans

**ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS PUNTOS DE SUMINISTRO AL USUARIO DEL
CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

La protección de la salud y la prevención de enfermedades relacionadas con el agua supone un importante reto para los sistemas de abastecimiento. La desinfección asegura una eliminación efectiva de todo organismo patógeno que pueda suponer un foco de enfermedades de transmisión hídrica. En base al Real decreto 902/2018, de 20 de julio, basado en la metodología de evaluación del riesgo de la OMS y del que derivan los Planes Sanitarios del Agua y al Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, se analiza el correcto cumplimiento del Plan Sanitario del Agua, recientemente implantado en la Universidad de Alicante, mediante una extensa campaña de análisis de calidad en diferentes puntos a lo largo de la universidad. Además, se estudian diferentes índices agronómicos para determinar su idoneidad como agua de riego. Se concluye que, a pesar del largo periodo de desuso de las instalaciones provocado por la pandemia y la inactividad durante los meses estivales, el agua del campus posee la calidad mínima exigida, siendo apta para consumo humano y aumentando la confianza de los usuarios en la calidad del agua potable del campus.

Palabras clave: agua; desinfección; calidad; consumo; plan sanitario



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El agua es el elemento a partir del cual se desarrolla la vida y todas las actividades que se derivan de su uso, ya sean los procesos metabólicos de los seres vivos o las actividades cuyo motor principal es el elemento natural. A raíz de las distintas enfermedades ocasionadas por el consumo del agua (Peñafiel Cevallos, 2019), se fueron desarrollando técnicas de desinfección acordes a la tecnología existente durante la historia del ser humano, siendo el hervido una de las primeras técnicas en desarrollarse y actualmente empleada en distintas zonas del mundo, en mejora continua del primitivo proceso (Solano de la Sala et al., 2018). Debido a las enfermedades microbiológicas que surgían en las poblaciones abastecidas de agua (Cano et al., 2021; Scherer et al., 2022), los análisis del elemento significaron un punto de inflexión muy importante y cobraron una alta consideración, siendo a día de hoy un proceso clave en el proceso de abastecimiento de agua de consumo.

De esta manera, no solo se eliminan colores y olores desagradables, se asegura la eliminación de los elementos nocivos y agentes patógenos que se puedan encontrar en el agua (Cabral, 2010; Gorski et al., 2019). Actualmente, existe un riguroso control sobre la calidad del agua de consumo en los núcleos poblacionales, la cual está en función del uso al que se vaya a destina, aunque siempre con estrictos requerimientos. Debido a esto, las exigencias de calidad se han visto incrementadas hasta suponer una fuente fiable libre de agentes patógenos y elementos nocivos que puedan ser dañinos para el ser humano (Salas-Salvadó et al., 2020), existiendo y desarrollándose nuevas técnicas de desinfección en la actualidad (A.E et al., 2023; Gelete et al., 2020).

Entre los procesos de desinfección del agua, cuya finalidad es la destrucción selectiva de los microorganismos patógenos que se transmiten de forma hídrica, el proceso más habitual y uno de los más empleados a día de hoy es la cloración (Quíros, 2005; Samperio, 2019). El uso del cloro agente como desinfectante se basa en su poder oxidante remanente, favoreciendo la eliminación de las enzimas indispensables para la vida de los agentes patógenos (Jaume, 2014).

El desarrollo de metodologías que ayuda a la decisión de los stakeholders y gestores de las aguas se torna, por todo lo antedicho, imprescindible. Surgen así instrumentos como los Planes Sanitarios del Agua (Essack, 2021; Tsitsifli & Tsoukalas, 2021), de carácter obligatorio en los centros públicos cuya gestión del suministro de agua sea directa, indirecta, delegada o mixta, recogido en el Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad de agua de consumo, su control y suministro (Ministerio de la Presidencia, 2023), que facilitan una gestión eficiente y sostenible de las aguas de abastecimiento y saneamiento, especialmente en centros públicos. Estos centros, como es la Universidad de Alicante, pueden asimilarse a una población de tamaño medio, con importantes puntas horarias y estacionales (Ariyani et al., 2021) y con tendencias al incremento de usuarios (Merchán-Sanmartín et al., 2022).

Dada su reciente inclusión en el Real Decreto 3/2023, la presente investigación analiza la implantación y validez del primer plan hidrosanitario del agua que ha sido instaurado en una universidad pública. Este centro emplea la cloración como proceso de desinfección de la red del agua que recorre toda la institución. Para asegurarse que la calidad es la correcta, el suministro del agua a lo largo de la Universidad sigue las pautas establecidas en el Plan Sanitario del Agua de la Universidad de Alicante (2020). Este trabajo incide en los objetivos que se persiguen con dicho plan, se revisan los materiales y equipos necesarios para lograrlos, así como los criterios de calidad mínimos, tanto de los equipos y materiales que componen la red de distribución, como de los procesos analíticos de agua y de la calidad de la misma.

2. Objetivos

El trabajo actual tiene como objetivo principal cuantificar los índices paramétricos que determinan la calidad del agua de consumo de los puntos de suministro al usuario en la Universidad de Alicante, y comprobar las concentraciones de los distintos elementos que pueden encontrarse en el agua verificando así el cumplimiento de los valores máximo y mínimo establecidos en las diferentes normativas europeas y estatales, siendo el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano (Presidencia, 2003), la normativa base del estudio.

Los distintos parámetros reflejados en la normativa y sus valores máximos permitidos se aprecian en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros y valores paramétricos del agua de consumo.

| Parámetro | Valor paramétrico |
|----------------------------|-----------------------------|
| Bacterias coliformes | 0 UFC en 100 ml |
| Escherichia Coli (E. Coli) | 0 UFC en 100 ml |
| Cobre | 2 mg/L |
| Cromo | 50 µg/L |
| Níquel | 20 µg/L |
| Plomo | 10 µg/L |
| Hierro | 200 µg/L |
| Nitritos | 50 mg/L |
| Cloro libre residual | 1.0 mg/L |
| Cloro combinado residual | 2.0 mg/l |
| Turbidez | 1 UNF |
| Conductividad | 2500 µS/cm a 20°C |
| pH | 6.5-9.5 Uds. pH |
| Amonio | 0.50 mg/L |
| Olor | 3 a 25°C Índice de dilución |
| Sabor | 3 a 25°C Índice de dilución |
| Color | 15 mg/l Pt/Co |

Asimismo, se busca verificar la calidad del agua comparando los resultados obtenidos con los recogidos en el Plan Sanitario del Agua de la Universidad de Alicante (2020). De esta manera, se remarca la obligatoriedad de implementar estos planes hidrosanitarios como instrumentos para una gestión eficiente y sostenible de las aguas de abastecimiento y saneamiento de centros públicos de gran afluencia.

3. Metodología de estudio

3.1. Puntos de muestreo y toma de muestras

Para la determinación de los puntos de muestreo, y a fin de poder comparar los resultados de la investigación con lo reflejado en el Plan Sanitario del Agua de la Universidad de Alicante, se han tenido en cuenta los puntos de muestreo evaluados en el citado plan, el cual abarca

muestreos en los edificios más significativos del campus y con mayor tráfico de usuarios, de donde se han tomado un total de 32 muestras. Seguidamente, se ha calibrado y puesto a punto el equipo empleado para la toma de muestras y se ha realizado la campaña de recolección de agua. Para la toma de muestra, se ha accionado el grifo y se ha dejado correr el agua durante unos minutos de forma previa a la toma de muestra, descartando así cualquier posible anomalía en los resultados de los análisis paramétricos.

La toma de muestra se ha realizado llenando recipientes plásticos de 5 y 50 mililitros la parte superior, cerrando el envase herméticamente y marcando el punto de muestra tomada. Tras ello, se ha almacenado hasta su llegada a laboratorio. De las dos muestras de 50 mililitros preparadas, se ha analizado una de ellas in situ en los laboratorios de la Universidad. La segunda muestra, de 50 mililitros, junto con la de 5 mililitros, se han enviado a los Servicios Técnicos de Investigación (en adelante, SSTTI) para un análisis más exhaustivo de los elementos que no pueden ser estudiados con los equipos convencionales.

3.2. Determinación de los parámetros físico-químicos

Para los parámetros físicos (turbidez, pH, conductividad eléctrica) se ha hecho uso de una sonda multiparamétrica modelo HI 9829, de la marca Hanna Instruments. Una vez calibrada con unas muestras de agua a distintas conductividades y con otras a distintos valores de pH y comprobando que las mediciones de dichas muestras son correctas, se ha introducido agua dentro del recipiente de la sonda y se han obtenido mediante electrometría (pH, conductividad), siguiendo los métodos estándar 4500-H y 2510 B (Standard Methods, 2017f, 2017b), y nefelometría (turbidez), según la norma UNE 7027-1 (ISO I, 2016).

Las concentraciones de los diferentes parámetros químicos contenidos en el plan sanitario (cloro libre residual, cloro combinado residual, amonio, color, bicarbonatos) han sido medidos mediante métodos estandarizados. Para la obtención del cloro libre residual, se ha realizado una comparación visual con DPD mediante un medidor portátil de pequeñas dimensiones y una muestra preparada de agua destilada para tener un valor de referencia, empleado in situ en los puntos de suministro y según el método estándar 4500H-Cl (Standard Methods, 2017e). El cloro combinado total, el amonio y el color (indicador visual) se han obtenido con un medidor multiparámetro y fotómetro de sobremesa a través de la volumetría para el cloro y el amonio, siguiendo los métodos estándar 4500-Cl y 4500-NH₃ (Standard Methods, 2017d, 2017g) y la espectrofotometría para el color, según la norma ISO 7887 (ISO, 2011), con una muestra de agua destilada como referencia para los tres casos y usando los reactivos necesarios en las muestras tomadas. La concentración de bicarbonatos, en cambio, se han obtenido por volumetría, empleando naranja de metilo y ácido clorhídrico para su cuantificación, midiendo la cantidad de ácido necesaria para cambiar el color de la muestra de naranja a rosado suave y en base al método estándar 2340 (Standard Methods, 2017a).

3.3. Fiabilidad del análisis

Para determinar la fiabilidad de los análisis realizados a las muestras de agua, se ha elaborado la comprobación mediante el balance eléctrico. Esta comprobación se obtiene a partir de la suma total de aniones y cationes de cada punto de muestreo, obtenidos en base al método estándar 4110 (Standard Methods, 2017c), en tanto por cien, según la siguiente expresión (Appelo & Postma, 1993):

$$\%B.E. = \frac{|\sum cationes(\frac{meq}{l}) - \sum aniones(\frac{meq}{l})|}{\sum cationes(\frac{meq}{l}) + \sum aniones(\frac{meq}{l})} * 100 \quad (1)$$

Para que los análisis realizados sean fiables, el agua ha de ser eléctricamente neutra, con valores del balance menores al 2%, aunque, en muchos casos, se admiten valores no

superiores al 5%. Si el valor obtenido es superior, todos los procesos realizados han de ser revisados y corregidos. Al ser los balances de las muestras inferiores al 5%, se considera una fiabilidad total del estudio.

4. Resultados

4.1. Resultados de los parámetros físicos

Los parámetros físicos (pH, turbidez, conductividad eléctrica) no sobrepasan los valores límite estipulados por la normativa vigente y presentes en la Tabla 2, por lo que el agua de la Universidad de Alicante es catalogada como “*agua apta para consumo*”.

Tabla 2. Resultados de los análisis de los parámetros físicos.

| Lugar | Muestra | pH (Uds pH) | CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | Turbidez (UNF) |
|--------------|---------|-------------|--------------------------------|----------------|
| Aulario 1 | 1 | 7.80 | 973 | 0.0 |
| | 2.1 | 7.77 | 1312 | 0.1 |
| Aulario 2 | 2.2 | 7.60 | 1358 | 0.0 |
| | 3.1 | 7.71 | 1059 | 0.0 |
| Aulario 3 | 3.2 | 7.79 | 1062 | 0.0 |
| | 4 | 7.68 | 1293 | 0.0 |
| EPS 1 | 5 | 7.72 | 1325 | 0.0 |
| EPS 2 | 6 | 7.61 | 1291 | 0.0 |
| | 7.1 | 7.77 | 1258 | 0.0 |
| EPS 3 | 7.2 | 7.92 | 872 | 0.1 |
| | 8 | 7.73 | 1090 | 0.0 |
| Óptica | 9 | 7.77 | 1141 | 0.0 |
| C Sociales | 10 | 7.69 | 945 | 0.1 |
| Ciencias 1 | 11 | 7.86 | 940 | 0.0 |
| Ciencias 2 | 12 | 7.61 | 969 | 0.0 |
| Ciencias 3 | 13 | 7.66 | 1004 | 0.0 |
| Ciencias 4 | 14 | 7.75 | 1321 | 0.0 |
| Derecho | 15 | 7.84 | 1313 | 0.1 |
| Filosofía 1 | 16 | 7.69 | 1314 | 0.0 |
| Filosofía 2 | 17 | 7.69 | 984 | 0.0 |
| Filosofía 3 | 18 | 7.69 | 1293 | 0.1 |
| Edif Poliv 3 | 20 | 7.99 | 909 | 0.1 |
| Enfermería | 21 | 7.79 | 1328 | 0.0 |
| Empresas | 22 | 7.67 | 1097 | 0.0 |
| IUACA | 23 | 7.98 | 1110 | 0.0 |
| Edif GB | 24.1 | 7.83 | 1303 | 0.2 |
| | 24.2 | 7.81 | 1289 | 0.0 |

| | | | | |
|--------------------|------|---------|------|-----|
| CTQ | 25 | 7.69 | 1006 | 0.0 |
| SSTTI | 26 | 7.84 | 1151 | 0.0 |
| Pabellón | 27 | 7.62 | 952 | 0.0 |
| Magisterio | 28.1 | 7.84 | 1314 | 0.0 |
| | 28.2 | 7.94 | 1299 | 0.0 |
| Límite RD 140/2003 | | 6.5-9.5 | 2500 | 1 |

Se observa que algunos valores de conductividad eléctrica son significativamente superiores al resto, indicando un nivel de mineralización del agua suministrada mayor a los puntos remanentes (Solís-Castro et al., 2018). Los niveles de pH del agua se sitúan dentro de los límites marcados, por lo que no supondrán ninguna fuente de problemas para los usuarios. Por otro lado, se observa que algunos valores de turbidez son distintos a 0, esto puede indicar un indicio de existencia de materias inorgánicas o minerales, pudiendo suponer una fuente de contaminación para el agua de consumo (Espigares García & Fernández-Crehuet, 1999).

4.2. Resultados de los parámetros químicos

Los parámetros químicos (cloro libre residual, cloro total, amonio, color, bicarbonatos) no sobrepasan los valores límite estipulados por la normativa vigente y presentes en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, por lo que el agua de la Universidad de Alicante es catalogada como “*agua apta para consumo*”.

Tabla 3. Resultado de los análisis de los parámetros químicos

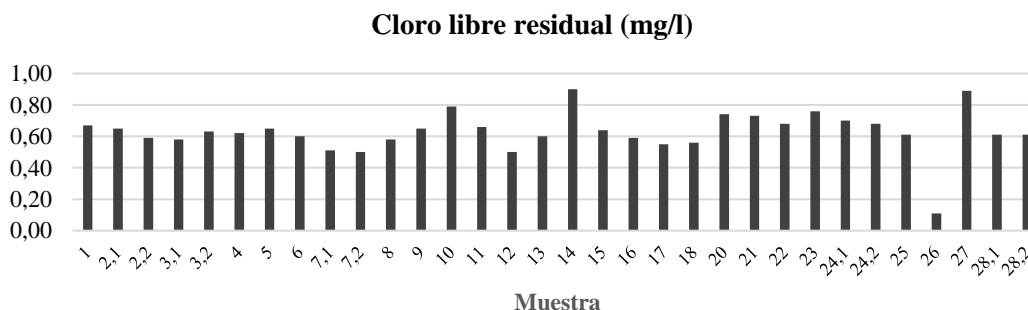
| Lugar | Muestra | Color | Cl (mg/L) | Cl total (mg/L) | Amonio (mg/L) | HCO ₃ ⁻ (mg/L) |
|-------------|---------|-------|-----------|-----------------|---------------|--------------------------------------|
| Aulario 1 | 1 | 2 | 0.67 | 0.81 | 0.00 | 154 |
| | 2.1 | 4 | 0.65 | 0.74 | 0.00 | 188 |
| Aulario 2 | 2.2 | 3 | 0.59 | 0.85 | 0.00 | 196 |
| | 3.1 | 1 | 0.58 | 0.90 | 0.00 | 156 |
| Aulario 3 | 3.2 | 5 | 0.63 | 0.70 | 0.03 | 190 |
| | 4 | 2 | 0.62 | 0.79 | 0.00 | 188 |
| EPS 1 | 5 | 4 | 0.65 | 0.78 | 0.00 | 190 |
| EPS 2 | 6 | 1 | 0.60 | 0.76 | 0.00 | 192 |
| EPS 3 | 7.1 | 5 | 0.51 | 0.54 | 0.00 | 184 |
| | 7.2 | 4 | 0.50 | 0.64 | 0.00 | 150 |
| EPS 4 | 8 | 2 | 0.58 | 0.76 | 0.05 | 152 |
| Óptica | 9 | 5 | 0.65 | 0.76 | 0.00 | 162 |
| C Sociales | 10 | 6 | 0.79 | 0.82 | 0.00 | 144 |
| Ciencias 1 | 11 | 5 | 0.66 | 0.87 | 0.03 | 160 |
| Ciencias 2 | 12 | 5 | 0.50 | 0.72 | 0.00 | 166 |
| Ciencias 3 | 13 | 1 | 0.60 | 0.90 | 0.00 | 164 |
| Ciencias 4 | 14 | 2 | 0.90 | 0.94 | 0.00 | 196 |
| Derecho | 15 | 4 | 0.64 | 0.79 | 0.02 | 184 |
| Filosofía 1 | 16 | 3 | 0.59 | 0.81 | 0.01 | 182 |
| Filosofía 2 | | | | | | |

| | | | | | | |
|--------------------|------|----|------|------|------|-----|
| Filosofía 3 | 17 | 2 | 0.55 | 0.66 | 0.00 | 154 |
| Edif Poliv 3 | 18 | 4 | 0.56 | 0.80 | 0.00 | 182 |
| Enfermería | 20 | 1 | 0.74 | 1.00 | 0.01 | 156 |
| Empresas | 21 | 2 | 0.73 | 0.85 | 0.00 | 190 |
| IUACA | 22 | 3 | 0.68 | 0.85 | 0.00 | 170 |
| Edif GB | 23 | 5 | 0.76 | 0.82 | 0.00 | 172 |
| Biblioteca | 24.1 | 5 | 0.70 | 0.78 | 0.00 | 186 |
| | 24.2 | 6 | 0.68 | 0.83 | 0.00 | 186 |
| CTQ | 25 | 3 | 0.61 | 0.69 | 0.00 | 148 |
| SSTTI | 26 | 4 | 0.11 | 0.14 | 0.00 | 158 |
| Pabellón | 27 | 1 | 0.89 | 0.92 | 0.00 | 160 |
| Magisterio | 28.1 | 3 | 0.61 | 0.66 | 0.00 | 186 |
| | 28.2 | 2 | 0.61 | 0.90 | 0.00 | 196 |
| Límite RD 140/2003 | | 15 | 1.00 | 2.00 | 0.50 | - |

Se observa que algunos valores del color son elevados, no obstante, los resultados son muy homogéneos y se descarta cualquier anomalía en el agua al estar por debajo del valor límite. Al haberse obtenido valores de amonio cercanos al cero, se descarta cualquier posible afección derivada de este parámetro. Los valores del bicarbonato obtenidos indica, según lo establecido por la OMS (Mundial de la Salud, 2018), que la dureza del agua tiende a ser moderada, pudiendo cambiar ligeramente el sabor del agua.

Por otro lado, se aprecia que los datos obtenidos en el cloro libre residual son muy elevados en ciertos puntos y muy bajos en otros, debido al desigual consumo de agua por parte de los usuarios en los respectivos puntos de muestreo, siendo mayor en aquellos edificios cuyo número de usuarios es muy elevado, como el pabellón deportivo, y pudiendo suponer un incremento en la formación de subproductos derivados de la desinfección por cloro, como cloraminas o trihalometanos, que pueden ser dañinos para el ser humano (Hossain et al., 2022; How et al., 2017; Olmedo Sanchez, 2008).. Por el contrario, los valores de cloro más bajos se asocian a los puntos en los que el consumo de agua es más reducido. La disparidad de resultados se aprecia en la Figura 1.

Figura 1. Niveles de cloro libre residual



Se observa cómo el punto 26, correspondiente a los SSTTI, posee un valor por debajo del mínimo permitido por el Real Decreto 140/2003. Esto se debe a que a la entrada del edificio el cloro existente se elimina en la medida de lo posible, para evitar dañar los equipos de laboratorio, altamente sensibles a los elementos encontrados en el agua.

Los resultados del cloro total existente en la red se encuentran por debajo del límite establecido, por lo que no suponen problemas para el usuario. Es coherente pensar que los valores elevados de cloro total se asocian a los valores elevados de cloro libre residual, al ser el cloro total la suma del cloro libre residual y cloro combinado residual.

4.3. Índices de calidad

Los índices de calidad determinan la tendencia que tiene el agua de ser corrosiva o incrustante, según la concentración de parámetros tales como la conductividad eléctrica, el pH, el ion calcio o la alcalinidad, entre otros. El índice de Langelier permite conocer esta tendencia a partir de los parámetros mencionados, determinando el valor de pH de saturación (pH_s) y obteniendo el índice por la diferencia entre el pH de la muestra y el pH de saturación. Los resultados indican una clara tendencia del agua de muestreo a la incrustación, a excepción de unos pocos puntos cuya tendencia es corrosiva (Langelier, 1936).

El segundo índice, obtenido a partir del índice de saturación de Langelier, define el nivel de saturación del agua de carbonato cálcico, que muestra si existe una tendencia a la precipitación o disolución de la sal en el agua. Obtenido a partir del método estándar para el análisis de aguas 2330-B (APHA, 2005), el agua del campus tiende a estar ligeramente sobresaturada en carbonatos, a excepción de la muestra correspondiente a los SSTTI, que indica una tendencia a la infrasaturación por los bajos niveles de calcio del agua. Esto se debe a que los SSTTI poseen un descalcificador a la entrada del edificio, que disminuye la concentración de calcio y, por ende, aumenta la de sodio.

El tercer índice, de Ryznar (Ryznar, 1944), muestra la tendencia de los carbonatos a ser incrustantes o corrosivos. Es una leve modificación del índice de Langelier, que proporciona una mejora en la indicación de dicha tendencia. No obstante, puede resultar un índice menos fiable por su carácter semi empírico. Los resultados obtenidos muestran una tendencia general del agua a ser significativamente corrosiva, excepto la muestra de los SSTTI que tiene una tendencia a ser intolerablemente corrosiva, asociado a un índice de saturación más alto.

El cuarto índice (Puckorius & Brooke, 1991) usa el pH de equilibrio en lugar del pH real, tiene en cuenta los efectos de amortiguación del agua e intenta cuantificar la relación entre el estado de saturación y la formación de incrustaciones, al incorporar una estimación de la capacidad amortiguadora del agua en el índice. Los resultados indican que todas las muestras tienen una tendencia del agua a la corrosión, estando por encima del rango óptimo comprendido entre 4.5 y 6.5.

La variabilidad en la tendencia a la corrosión o incrustación del agua dependerá, fundamentalmente, de las concentraciones de carbonato y de iones calcio en cada una de las muestras, por lo que se recomienda incidir en el control de estos iones, de forma que el agua de la red de abastecimiento no se vea perjudicada y no suponga una fuente de problemas al consumidor en cualquiera de los puntos de suministro al usuario.

4.4. Índices de calidad agronómicos

Para conocer si el agua objeto de estudio posee la calidad mínima para ser usada como agua para riego, se han analizado los parámetros conocidos como índices de primer grado (pH, conductividad eléctrica, total de sólidos disueltos, concentración de sulfatos y de cloruros) (Gómez, n.d.). Todos los parámetros mencionados, a excepción de la conductividad eléctrica, poseen unos valores que catalogan al agua como *apta para riego*. No obstante, la aptitud del agua en base a la conductividad eléctrica es oscilante entre *buena* y *media*, atendiendo a valores de conductividad más altos que el resto de puntos. Teniendo en cuenta los índices de primer grado, el agua de muestreo se clasifica como *apta para riego* aunque, como se ha

mencionado en apartados anteriores, su uso está indicado en especies con buena tolerancia a la salinidad.

Los índices de segundo grado se obtienen a partir de la determinación de distintos parámetros conocidos como la relación de adsorción de sodio (SAR) (Suarez, 1981), a partir de las concentraciones de sodio, magnesio y calcio, y el coeficiente alcalimétrico o índice de Scott (k), a partir de las concentraciones de sodio, cloruro y sulfato, que se define como la altura del agua necesaria para dejar una cantidad de álcali que imposibilite el desarrollo normal de las especies más sensibles (Avellaneda et al., 2004), tras la evaporación del agua. La concentración de sodio y boro indican el nivel de toxicidad del agua de muestreo para la vegetación, conocidos como índices de toxicidad. Con los resultados obtenidos para todos los puntos, el agua se considera de buena calidad y con un bajo poder de sodificación, al ser los valores obtenidos menores a los límites que categorizan el agua. Teniendo en cuenta los índices de toxicidad, todas las muestras comparten una buena calidad para ser agua de riego. Por el contrario, los valores obtenidos del coeficiente alcalimétrico indican que las concentraciones de los cloruros, sulfatos y del sodio pueden ser perjudiciales para las zonas en las que el agua de muestra sea aplicada para riego. Por este motivo, la idoneidad del agua de muestreo para riego ha de ser estudiada con una mayor exhaustividad, para evitar verter aguas que puedan disminuir la capacidad de desarrollo normal de las especies más sensibles.

Las concentraciones de los iones calcio y magnesio constituyen una forma alternativa para determinar el grado de dureza del agua, en función de una mayor o menor concentración de los iones. Medida en grados hidrométricos franceses (GHF) (Räuchle & Tang, 1991), los resultados obtenidos a partir de los datos de las muestras indican una oscilación en la tendencia del agua entre *dura* y *medianamente dura*, a excepción de los SSTTI cuya muestra indica que la tendencia del agua en el edificio es *muy blanda*, debido a su baja concentración de calcio. Se incide en que los SSTTI se abastecen de una toma diferente al resto de la red de abastecimiento de la Universidad de Alicante

Una forma de clasificación más general por categorías de idoneidad se basa en la Norma Riverside (RICHARDS, 1954), que relaciona la conductividad eléctrica con la relación de adsorción de sodio (SAR) y obteniendo la clasificación en base al riesgo de salinidad y de contenido en sodio del agua. Los resultados obtenidos muestran que, a excepción de un único punto de muestreo, el agua del campus tiene una salinidad alta que puede emplearse en suelos con un drenaje bueno y en vegetación con altas tolerancias a la salinidad, y que el contenido en sodio es muy bajo, pudiendo ser empleado en la mayoría de los casos, pero con un especial cuidado en especies con mucha sensibilidad al sodio.

4.5. Comparación de muestras

Los resultados obtenidos han sido comparados con los análisis realizados y establecidos en el Plan Sanitario del Agua de la Universidad de Alicante (2020). Esta comparación, recogida en la Tabla 4, pretende determinar la veracidad y coherencia de los datos obtenidos en el muestreo, al tener valores de referencia ya establecidos, y remarcar la necesidad de implantar planes hidrosanitarios en los centros públicos de gran afluencia, como se ha mencionado anteriormente.

Tabla 4. Comparación de los valores medios de los parámetros del Plan Sanitario del Agua y los obtenidos en el muestreo.

| Parámetro | Unidad | Valores de muestreo | Valores PSUA | Variación |
|-----------|------------|---------------------|--------------|-----------|
| pH | Uds pH | 7.76 | 7.94 | 0.18 |
| Color | mg/L Pt/Co | 3.28 | 0.00 | 3.28 |

| | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| CE | μS/cm | 1152 | 1070 | 82 |
| Turbidez | UNF | 0.025 | 0.000 | 0.025 |
| CLR | mg/L | 0.629 | 0.430 | 0.199 |
| Amonio | mg/L | 0.005 | 0.000 | 0.005 |
| Dureza | GHF | 29.44 | 31.27 | 1.83 |

Se aprecia una gran similitud en los resultados. La escasa variación indica que la calidad del agua del campus se ha mantenido constante en el tiempo entre el primer muestreo y el segundo, habiéndose mantenido *apta* para el consumo en todo momento. La variación en algunos parámetros puede ser debido al empleo de métodos analíticos distintos con rangos de precisiones desiguales. Pese a eso, la calidad del agua sigue siendo óptima.

En cuanto al análisis de la presencia de metales pesados en las aguas suministradas para abastecimiento, las muestras fueron entregadas a los SSTTI para su posterior análisis, en función de la norma ISO 17294-2 (UNI EN ISO 17294-2, 2016), en recipientes de 5 milímetros de volumen. Su ionización en el espectrómetro permitió determinar mediante el método de espectrometría de masas por plasma de acoplamiento inductivo la concentración de los principales metales pesados presentes en las aguas. Los resultados quedan reflejados en la Tabla 5.

Los valores medios de las concentraciones de los metales pesados más comunes en el agua de consumo analizados en la presente investigación corroboran el estudio previo realizado por la empresa gestora para la redacción del Plan Sanitario del centro de estudio (Tabla 5) siendo la concentración de níquel la que más se aparta del valor enunciado en el citado plan.

Tabla 5. Comparación de los valores medios de los metales pesados del Plan Sanitario del Agua y los obtenidos en el estudio

| Parámetro | Unidad | Límite RD 140/2003 | Valores de muestreo | Valores PSUA | Variación |
|-----------|--------|--------------------|---------------------|--------------|-----------|
| Cobre | mg/L | 2.0 | 0.92 | 0.02 | 0.90 |
| Cromo | μg/L | 50.0 | 0.38 | 0.00 | 0.38 |
| Hierro | μg/L | 200.0 | 6.41 | 6.30 | 0.11 |
| Níquel | μg/L | 20.0 | 0.50 | 6.75 | 6.24 |
| Plomo | μg/L | 10.0 | 0.08 | 0.55 | 0.48 |

Las concentraciones se encuentran por debajo de los límites establecidos por el Real Decreto 140/2003, por lo que el agua es *apta* para consumo. Las diferencias en los resultados obtenidos se deben, fundamentalmente, a que, pese a que ambos estudios comparten muchos puntos de muestreo, a fin de ampliar la investigación se ha considerado puntos adicionales no contemplados en el estudio anterior. Otra posible causa en la diferencia de resultados tiene su origen en el mantenimiento de la red de abastecimiento, dado que en ciertos tramos antiguos las tuberías han sido sustituidas por materiales más actuales, como es el caso de la sustitución de diferentes tramos de tuberías de plomo.

5. Otras consideraciones

A pesar de no formar parte del estudio realizado, se han tenido en consideración algunos aspectos remarcables comentados por el jefe de mantenimiento de la red de distribución de agua de la Universidad de Alicante, expuestas a continuación:

- La red de suministro es una red anillada que asegura el suministro constante de agua potable a todos los puntos de consumo, incluso durante las operaciones de mantenimiento de los tramos de la red.
- La red se somete a una hipercloración anual en los meses de verano, aprovechando el descenso notable en la demanda de agua y la drástica disminución en el consumo. Así se garantiza una óptima limpieza de la red sin poner en riesgo a los usuarios.
- La disminución en la demanda de agua supone el aumento de las presiones internas de la red de distribución, al no poder igualarse a la presión atmosférica. Esto puede suponer un problema de sobrepresiones en la red de abastecimiento en los meses de bajo consumo, cuyas soluciones potenciales han de ser consideradas para estudio por el órgano competente de la Universidad de Alicante.
- El edificio de los Servicios Técnicos de Investigación recibe el agua de suministro por una toma distinta a la toma de alimentación de la Universidad de Alicante, es por esto que los niveles de cloro libre en la red de distribución del agua son reducidos, al ser el punto más alejado de la misma. Los bajos valores de calcio y magnesio de esta muestra se deben a la existencia de descalcificadores en el edificio, que eliminan dichos iones del agua potable para proteger los distintos equipos de investigación. Por contrapartida, los valores de sodio son mayores para compensar la carencia de calcio y magnesio.

6. Conclusiones

A partir de los datos obtenidos y las comprobaciones realizadas, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- La concentración media de cloro libre el agua de consumo asegura la total eliminación de microorganismos patógenos, por lo que se asegura una calidad óptima del agua y el cumplimiento del Real Decreto 140/2003.
- Los puntos con una mayor concentración de cloro libre están ligados a los edificios en los que existe un mayor consumo de agua, en el que el cloro libre no dispone del suficiente tiempo para consumirse a lo largo de la red, lo que explica estas elevadas concentraciones en ciertos puntos de muestreo. Por el contrario, en las zonas de menor consumo, el cloro puede permanecer estancado más tiempo, justificando las bajas concentraciones en los puntos de menor afluencia y siendo puntos a tener en cuenta para evitar la consumición total del cloro, impidiendo así la proliferación de microorganismos dañinos transmisibles por el agua.
- Según los resultados obtenidos en la determinación de los índices de Langelier y subsecuentes, se deriva que la naturaleza incrustante o corrosiva del agua de muestreo depende del punto de toma que se considera, puesto que el valor medio no tiene una tendencia clara a una naturaleza concreta.
- Pese a poder ser clasificada como agua apta para riego según lo expuesto en la determinación del SAR, habría de realizarse un estudio específico sobre el tipo de vegetación existente en la Universidad de Alicante, con el fin de conocer su capacidad de aceptación del agua de consumo y evitar, en la medida de lo posible, cualquier afección negativa a la flora actual.
- La comparación de la investigación realizada con los resultados del Plan Sanitario del Agua de la Universidad de Alicante indica una mejora notable en la red de abastecimiento de la institución, al haberse reducido las concentraciones de algunos de los metales pesados más comunes encontrados en el agua de consumo por la renovación de tramos de red y la consiguiente eliminación de tramos realizados con tuberías de plomo.
- Del mismo modo, la comparación realizada muestra que los niveles de calidad del agua de consumo se han mantenido constantes durante el tiempo transcurrido entre el primer estudio y el presente, lo que señala que la calidad no ha sufrido variaciones significativas en condiciones normales de funcionamiento y mantenimiento.

Del estudio realizado se puede concluir que los Planes Sanitarios del Agua aplicados a edificios de pública concurrencia y elevada afluencia son instrumentos válidos para la vigilancia, seguimiento y control de la calidad de las aguas de abastecimiento, como se deriva del cumplimiento de las distintas normativas sobre las aguas de consumo humano testeado en esta investigación. No obstante, ciertos factores como la renovación de tramos de red o estancamiento del agua potable en zonas de menor consumo hacen que sea necesario un seguimiento analítico de las instalaciones a fin de mantener la calidad actual del agua de la red de abastecimiento de la Universidad de Alicante, y su calificación del agua de abastecimiento como *apta para consumo*.

7. Referencias bibliográficas

- ISO I. (2016). *Water Quality. Determination of Turbidity, Part 1: Quantitative Methods*. International Organisation for Standardization Geneva, Switzerland.
- A.E, O., M.W, O., & C.N, K. (2023). WATER DISINFECTION TECHNIQUES: A REVIEW. *Journal of Engineering in Agriculture and the Environment*, 7(1). <https://doi.org/10.37017/jae.v7i1.79>
- APHA. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *Standard Methods*. <https://doi.org/ISBN 9780875532356>
- Appelo, C. A. J., & Postma, D. (1993). Geochemistry, groundwater and pollution. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90585-1](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90585-1)
- Ariyani, D., Wulandari, A., Juniati, A., & Nur Arini, R. (2021). Rainwater Harvesting for Water Security in Campus (case study Engineering Faculty in University of Pancasila). *Journal of Physics: Conference Series*, 1858(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1858/1/012020>
- Avellaneda, M. O., Bermejillo, A. I., & Mastrantonio, L. E. (2004). *Aguas de Riego. Calidad y evaluación de su factibilidad de uso*. EDIUNC.
- Cabral, J. P. S. (2010). Water microbiology. Bacterial pathogens and water. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 7, Issue 10, pp. 3657–3703). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijerph7103657>
- Cano, J. R. M., Falcón, V. V., & Martínez, B. S. (2021). Diseases transmitted by the consumption of poor quality water. *Universidad y Sociedad*, 13(S2), 513–520.
- Espigares García, M., & Fernández-Crehuet, M. (1999). Calidad del agua para consumo público: caracteres físico-químicos. *Estudio Sanitario Del Agua. Pérez López. JA y Espigares García M.(Eds). Editorial Universidad de Granada, Granada*, 85–114.
- Essack, S. (2021). Water, sanitation and hygiene in national action plans for antimicrobial resistance. *Bulletin of the World Health Organization*, 99(8). <https://doi.org/10.2471/BLT.20.284232>
- Gelete, G., Gokcekus, H., Ozsahin, D. U., Uzun, B., & Gichamo, T. (2020). Evaluating disinfection techniques of water treatment. *Desalination and Water Treatment*, 177. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25070>
- Gómez, F. J. I. (n.d.). *Aproximación a los Criterios de Calidad para el Agua de Riego*.
- Gorski, L., Rivadeneira, P., & Cooley, M. B. (2019). New strategies for the enumeration of enteric pathogens in water. In *Environmental Microbiology Reports* (Vol. 11, Issue 6). <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12786>

- Hossain, S., Chow, C. W. K., Cook, D., Sawade, E., & Hewa, G. A. (2022). Review of chloramine decay models in drinking water system. In *Environmental Science: Water Research and Technology* (Vol. 8, Issue 5). <https://doi.org/10.1039/d1ew00640a>
- How, Z. T., Kristiana, I., Buseti, F., Linge, K. L., & Joll, C. A. (2017). Organic chloramines in chlorine-based disinfected water systems: A critical review. In *Journal of Environmental Sciences (China)* (Vol. 58). <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.05.025>
- ISO, I. O. for S. (2011). ISO 7887 - Water quality: examination and determination of colour. In *ISO/IEC Directives*.
- Jaume, A. T. (2014). *Infraestructuras Hidráulico-Sanitarias I. Abastecimiento y distribución de agua*. Universidad de Alicante.
- Langelier, W. F. (1936). The Analytical Control of Anti-Corrosion Water Treatment. *Journal - American Water Works Association*, 28(10). <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1936.tb13785.x>
- Merchán-Sanmartín, B., Carrión-Mero, P., Suárez-Zamora, S., Aguilar-Aguilar, M., Cruz-Cabrera, O., Hidalgo-Calva, K., & Morante-Carballo, F. (2022). Sanitary Sewerage Master Plan for the Sustainable Use of Wastewater on a University Campus. *Water (Switzerland)*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/w14152425>
- Ministerio de la Presidencia. (2023). Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro. *Boletín Oficial Del Estado*.
- Mundial de la Salud, O. (2018). OMS | Guías para la calidad del agua potable, tercera edición: Volumen 1 - Recomendaciones. *WHO*.
- Olmedo Sanchez, M. T. (2008). Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro . Efectos sobre la salud. *Hig. Sanid. Ambient.*, 342.
- Peñafiel cevallos, S. (2019). Enfermedades transmitidas por el consumo de agua contaminada. *UNIVERSIDAD REGIONAL AUTÓNOMA DE LOS ANDES UNIANDES*, 24(4), 233–244. <https://publications.uni.lu/handle/10993/21283%0Ahttp://arxiv.org/abs/1906.01463%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/bs.adcom.2017.12.004%0Ahttp://arxiv.org/abs/1211.5451%0Ahttps://doi.org/10.1007/s10515-018-0232-y%0Awww.aaai.org%0Ahttps://www.pnscq.org/wp-content>
- Presidencia, M. de la. (2003). Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. *Boletín Oficial Del Estado*.
- Puckorius, P. R., & Brooke, J. M. (1991). New practical index for calcium carbonate scale prediction in cooling tower systems. *Corrosion*, 47(4). <https://doi.org/10.5006/1.3585256>
- Quiros, F. (2005). Desinfección del agua con cloro y cloraminas. *Tecnica Lindustrial*, 55–63. <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/20/42/a42.pdf>
- Räuchle, F., & Tang, I. D. (1991). Corrosividad del agua potable. *Revista de Química*, 5(1), 71–81.
- RICHARDS, L. A. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. *Soil Science*, 78(2). <https://doi.org/10.1097/00010694-195408000-00012>
- Ryznar, J. W. (1944). A New Index for Determining Amount of Calcium Carbonate Scale Formed by a Water. *Journal - American Water Works Association*, 36(4). <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1944.tb20016.x>

- Salas-Salvadó, J., Maraver, F., Rodríguez-Mañas, L., de Pipaon, M. S., Vitoria, I., & Moreno, L. A. (2020). The importance of water consumption in health and disease prevention: The current situation. *Nutricion Hospitalaria*, 37(5), 1072–1086. <https://doi.org/10.20960/nh.03160>
- Samperio, Z. y. (2019). Importancia de la cloración del agua: sitios de abastecimiento con presencia de bacterias patógenas. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología*, 39(3).
- Scherer, G. S., Guiguet Leal, D. A., Goulart, J. A. G., Araújo, R. S., Beux, M. R., & Moreira, N. M. (2022). Parasitological, microbiological, and antimicrobial resistance profiles of raw and drinking water in a tourist city in the tri-border region of South America. *Journal of Water and Health*, 20(2). <https://doi.org/10.2166/WH.2022.256>
- Solano de la Sala, C., Espinoza, J., Campuzano, F., & Oyola, J. (2018). DESINFECCIÓN SOLAR PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA DE CONSUMO HUMANO A NIVEL DOMICILIARIO. *Conference Proceedings UTMACH*, 2(1).
- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L. A., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 31(1). <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- Standard Methods. (2017a). 2340 HARDNESS. In *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. <https://doi.org/doi:10.2105/SMWW.2882.025>
- Standard Methods. (2017b). 2510 CONDUCTIVITY. In *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. <https://doi.org/doi:10.2105/SMWW.2882.027>
- Standard Methods. (2017c). 4110 DETERMINATION OF ANIONS BY ION CHROMATOGRAPHY. In *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. <https://doi.org/doi:10.2105/SMWW.2882.070>
- Standard Methods. (2017d). 4500-Cl CHLORIDE. In *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. <https://doi.org/doi:10.2105/SMWW.2882.079>
- Standard Methods. (2017e). 4500-Cl CHLORINE (RESIDUAL). In *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. <https://doi.org/doi:10.2105/SMWW.2882.078>
- Standard Methods. (2017f). 4500-H+ pH. In *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. <https://doi.org/doi:10.2105/SMWW.2882.082>
- Standard Methods. (2017g). 4500-NH₃ NITROGEN (AMMONIA). In *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. <https://doi.org/doi:10.2105/SMWW.2882.087>
- Suarez, D. L. (1981). Relation Between pH_c and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and an Alternative Method of Estimating SAR of Soil or Drainage Waters. *Soil Science Society of America Journal*, 45(3). <https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500030005x>
- Tsitsifli, S., & Tsoukalas, D. S. (2021). Water Safety Plans and HACCP implementation in water utilities around the world: benefits, drawbacks and critical success factors. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 28, Issue 15). <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07312-2>

UNI EN ISO 17294-2. (2016). Water quality — Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) — Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes. *International Standard*.