

Evaluación e importancia de la calidad del agua como uso cotidiano. Análisis de la dureza del agua: determinación de Calcio y Magnesio.

N. Aranda-Merino, M. Ramos-Payán, J.J. Plata-Ramos, A. Lendínez de la Cruz, C. González de la Calle, M. González-Márquez, A. Montero-Rojas, P. Ruíz-Montes, J. Santiago-García, S. Toribio-Velasco

Resumen—A lo largo de la historia, el agua ha sido y sigue siendo, un elemento fundamental tanto para el desarrollo de los procesos biológicos que hacen posible la vida en el planeta, así como para el progreso, el avance, el crecimiento y el desarrollo social, económico e industrial de la civilización humana. Sin embargo, el uso cada vez más variado y masivo del agua ha desencadenado la necesidad no sólo de optimizar su consumo, sino también de asegurar su calidad a fin de poder garantizar tanto la protección de este recurso natural como la salud de la población. La finalidad de este Proyecto es evaluar la calidad de una serie de muestras de agua recogidas en diferentes puntos y zonas de la geografía andaluza y que pueden haber experimentado o no algún tipo de tratamiento físico, químico y/o biológico.

Palabras Claves — Agua, Calidad del agua, Dureza, Conductividad, pH.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento de la naturaleza, integrante de los ecosistemas naturales y fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta, ya que constituye un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos que la hacen posible. En el ámbito social, el agua juega un papel protagonista en la generación y mantenimiento del crecimiento económico y la prosperidad a través de actividades como la agricultura, la pesca comercial, la producción de energía, la industria, el transporte y el turismo. A todo ello hay que sumar que nuestro propio bienestar precisa de un agua potable y limpia para la higiene y el saneamiento [1]. De este modo, el agua puede presentar riesgo de contaminación por actividades agrícolas, industriales y domésticas comprometiéndose así su calidad. Como resultado, la evaluación de la calidad del agua está considerada como un tema de gran interés debido tanto a la expansión y desarrollo de los entornos urbanos, como al crecimiento continuo de la población mundial [2]. Según el artículo 4 de la Carta Europea del Agua, redactada en Estrasburgo en 1968, “la calidad del agua debe mantenerse en condiciones suficientes para cualquier uso; sobre todo, debe satisfacer las exigencias de la salud pública”. De este modo, la calidad del agua establece un conjunto de condiciones, entendidas como niveles aceptables, que deben cumplirse para asegurar tanto la protección del recurso hídrico como la salud de los habitantes de un territorio dado [3].

2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los principales objetivos de este Proyecto son:

- Evaluar la calidad de muestras de agua embotellada, así como de muestras recogidas en diferentes zonas de Andalucía y que se pueden haber sido sometidas o no a algún tipo de tratamiento previo. Para ello, se analizarán

tres parámetros fundamentales a la hora establecer la calidad del agua como son: dureza, conductividad y pH.

- Aplicar los métodos oficiales establecidos en la legislación vigente para llevar a cabo los distintos análisis. Así, la dureza se determinará a partir de los niveles de calcio y magnesio presente en las muestras de agua mediante volumetría de formación de complejos con AEDT. Por su parte, la conductividad y el pH se determinarán a partir de métodos electroanalíticos de medida.

- Comprobar si los valores de dureza obtenidos se corresponden con el tipo de agua analizada y establecer una relación entre dureza, conductividad y pH.

- Comprobar la eficacia de los filtros de agua de uso doméstico para minimizar el contenido de calcio y magnesio y, por lo tanto, reducir el nivel de dureza del agua.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1. Parámetros de Calidad del Agua

Los parámetros de calidad del agua normalmente se establecen en base a criterios físicos, químicos y biológicos en función de los usos a los que se pretenda destinar dicho recurso (consumo humano, riego, industria, ganadería, actividades recreativas, vida acuática, etc.). Así, los parámetros o índices que emplean para medir o estimar la calidad del agua pueden ser de tres tipos: físicos, químicos y biológicos [2], [3]. Los *parámetros físicos* están relacionados, principalmente, con aquellas propiedades que son perceptibles a través de los sentidos (vista, olfato y gusto) y que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua. Los *parámetros químicos*, por su parte, son aquellos que se ponen de manifiesto a través de una reacción química. Son los más importantes para definir la calidad del agua. Finalmente, los *parámetros biológicos* hacen referencia, fundamentalmente, a la presencia en el agua de microorganismos patógenos (bacterias, virus, protozoos) y otros organismos que

transmiten enfermedades como el cólera, el tífus, etc. [3], [4], [5]. En la siguiente tabla (Tabla 1) se resumen y clasifican los principales parámetros de calidad del agua según su tipología [2].

TABLA 1. PRINCIPALES PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

Parámetros Físicos	Parámetros Biológicos
Color	Algas
Sabor y Olor	Bacterias
Sólidos	Protozoos
Temperatura	Virus
Turbidez	
Parámetros Químicos	
Acidez	Hierro
Alcalinidad	Manganeso
Conductividad	Nitratos & nitritos
Cloro libre	Nitrógeno
Cloruros	Oxígeno disuelto
Cobre	pH
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	Radiactividad
Demanda química de oxígeno (DQO)	Sulfatos
Dureza	Sustancias tóxicas inorgánicas (metales pesados)
Fluoruros	Sustancias tóxicas orgánicas (PAHs, plaguicidas, compuestos orgánicos volátiles, etc.)

El cálculo o establecimiento de límites para cada uno de ellos permite llegar a diferentes clasificaciones de calidad de agua de acuerdo con el uso específico al que se la quiera destinar. Los parámetros seleccionados para llevar a cabo el estudio que se plantea en este Proyecto, fueron: dureza, conductividad eléctrica y pH.

3.1.1. Dureza

El término dureza se utiliza para expresar las propiedades de las aguas altamente mineralizadas. De este modo, la dureza del agua mide la concentración de los minerales que contiene en disolución. De forma general, la dureza del agua se establece a partir de la concentración total de iones alcalinotérreos presentes en la misma. Como la concentración de iones calcio y magnesio es, normalmente, mucho mayor que la de otros iones alcalinotérreos, se considera que la dureza total es la suma de las concentraciones de iones calcio y magnesio presentes en el agua [6]. Así, un agua natural que contenga en disolución grandes cantidades de compuestos de calcio y magnesio se denomina “agua dura” mientras que “el agua blanda” es aquella que los contiene en menor cantidad [7].

Una de las formas más comunes de expresar la dureza del agua es en función de la concentración de carbonato cálcico (mg CaCO₃/l). En la Tabla 2 se indica la clasificación del agua en función de su dureza según la escala de Merk, así como la calidad que se le atribuye a cada nivel de dureza [8], [9]. La Organización Mundial de Salud (OMS) ha adoptado como concentración máxima deseable 100 mg/l de CaCO₃ y como concentración máxima admisible 500 mg/l. Sin embargo, no propone ningún valor de referencia para la dureza basado en efectos sobre la salud ya que considera que los datos actuales no son

TABLA 2. ESCALA DE MERK PARA LA DUREZA DEL AGUA^a Y TIPOS DE CALIDAD SEGÚN SU DUREZA^b

Dureza total según la concentración de CaCO ₃ (mg/l)	Clasificación del agua ^a	Dureza total según la concentración de CaCO ₃ (mg/l)	Calidad del agua ^b
0 a 79	Muy blanda	-	-
80 a 149	Blanda	Hasta 150	Suma calidad
150 a 329	Semi dura	Hasta 300	Media
330 a 549	Dura	Hasta 500	Aceptable
> 550	Muy dura	Más de 600	Muy mala

suficientes para emitir una recomendación general sobre el nivel de dureza adecuado para el agua de consumo humano. No obstante, admite que el grado de dureza del agua puede afectar a su aceptabilidad por parte del consumidor en lo que se refiere al sabor [6], [10]. En este caso, lo ideal es que el agua tenga una mineralización equilibrada que le confieran unas propiedades organolépticas adecuadas. [6], [8]. Por su parte, el uso de las aguas duras tanto a nivel doméstico como industrial a menudo plantea cientos inconvenientes relacionados, fundamentalmente, con el rendimiento, mantenimiento y vida útil de electrodomésticos, equipos e instalaciones, las labores de limpieza, el cocinado o las propiedades organolépticas [6]. Así pues, la determinación de la dureza del agua constituye un parámetro de calidad de las aguas de interés doméstico o industrial ya que no se considera que tenga efectos perjudiciales para la salud.

3.1.2. Conductividad

La conductividad eléctrica (CE) se define como la medida de la capacidad de un material o sustancia para dejar pasar la corriente eléctrica a través de él. Se expresa en siemens por metro (S/m o Ω⁻¹·m⁻¹) [10]. En el caso del agua, la conductividad eléctrica determina la capacidad de ésta para transportar o conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos en ella. Dicha corriente eléctrica, es transportada por los iones en disolución por lo que el valor de la conductividad dependerá, principalmente, de la concentración total de iones, la movilidad iónica y la valencia, así como de la temperatura de medición [10], [11]. En el ámbito de estudio de la calidad del agua, este parámetro es importante dado proporciona una evaluación de la concentración total de iones disueltos en el agua, información que se emplea habitualmente como un indicador del grado de mineralización (concentración iónica total) de la misma. Así pues, la medición de su capacidad para conducir la corriente eléctrica puede emplearse como parámetro predictivo de su dureza: cuanto mayor es la dureza del agua, mayor es su conductividad dado que contiene más sales disueltas, y viceversa.

3.1.3. pH

Se define como la medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o disolución acuosa. Más concretamente, el pH mide o indica la cantidad de iones de hidrógeno (protones) presentes en el medio. Matemáticamente, se define como el logaritmo negativo de la concentración de protones y se expresa según la ecuación:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \quad (1)$$

Se trata de un número adimensional que indica la fuerza ácida o básica del medio en cuestión. En el ámbito de estudio de la calidad del agua el pH es uno de los parámetros más importantes para la regulación de los sistemas químicos y biológicos de las aguas naturales, así como para establecer el uso o usos a los que puede destinarse. [12], [13].

4. METODOLOGÍA

4.1. Selección de las muestras de agua a analizar

Se seleccionaron cuatro tipos de muestras de agua:

- Agua de grifo
- Agua de manantial
- Agua de pozo
- Agua mineral embotellada

En la Tabla 3 se indica el origen de cada tipo de agua, así como las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo. De agua embotellada, sólo se seleccionó una muestra con objeto de comprobar si los resultados experimentales corresponden con lo declarado en el etiquetado.

TABLA 3. MUESTRAS DE AGUA SELECCIONADAS

Municipio	Provincia	Tipo de Agua	Coordenadas geográficas	
			Latitud	Longitud
Valencina	Sevilla	Grifo	37.416753	-6.074731
Dos Hermanas	Sevilla	Grifo	37.289124	-5.924784
Tomares	Sevilla	Grifo	37.377771	-6.044995
Puerto Real	Cádiz	Grifo	36.531819	-6.183047
Córdoba	Córdoba	Grifo	37.88817	-4.77938
Sierra de Huelva	Huelva	Manantial	37.91457	-6.70659
Dos Hermanas	Sevilla	Pozo	37.289124	-5.924784

4.2. Determinación de la dureza del agua

La dureza del agua se determina generalmente mediante una volumetría de formación de complejos (complexometría) en la que se emplea ácido etilendiaminotetraacético (AEDT, H_4Y) como agente valorante (Figura 1). El punto final de la valoración se pone de manifiesto mediante el empleo de un indicador metalocrómico; generalmente un colorante orgánico que forma quelatos coloreados con los iones metálicos a valorar.

Los iones $Ca(II)$ y $Mg(II)$ forman complejos de estequiometría 1:1 con el AEDT. Las reacciones que tienen lugar durante la valoración son:



Para conocer el punto final de la valoración, se utilizaron dos indicadores: Negro de Eriocromo T (NET) que vira o cambia de color en función de la concentración de magnesio, y Murexida, conocida también como purpurato de amonio que cambia de color en función del calcio.

4.1.1. Determinación de la dureza cálcica

Para la determinación de la dureza cálcica, se siguió el procedimiento descrito en la *Orden de 1 de julio de 1987 por la que se aprueban los métodos oficiales de análisis físico-químicos para aguas potables de consumo público* [14].

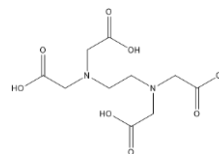


Figura 1. Estructura del AEDT

La valoración se realizó a pH 12, ya que a este pH el posible magnesio que pueda haber presente no interfiere dado que precipita como hidróxido. En el punto final de la valoración, cuando todo el calcio presente ha reaccionado con el AEDT, queda el indicador libre que en disolución alcalina de pH 12-13 tiene un color violáceo (Figura 3a).

4.1.2. Determinación de la dureza total y magnésica

Al igual que la dureza cálcica, la dureza total y magnésica se determinó según el procedimiento descrito en la *Orden de 1 de julio de 1987*. En primer lugar, se ha de hallar la dureza total (calcio más magnesio) y, posteriormente, por sustracción de la dureza cálcica, es posible conocer el valor de la dureza magnésica. Para determinar experimentalmente la dureza total, se trabajó a pH 10, medio en el que coexisten en disolución los iones $Ca(II)$ y $Mg(II)$. Por lo tanto, para mantener constante el pH es necesario el empleo de una disolución reguladora que en este caso fue NH_3/NH_4Cl . Cuando todo el calcio y el magnesio presentes se encuentran formando complejo con el AEDT, la disolución cambia del color rojo vino inicial al color azul propio del indicador libre, permitiendo así visualizar el punto final de la valoración (Figura 3b).

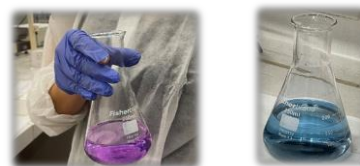


Figura 3. a. Coloración del NET en el punto final de la valoración
b. Coloración de la murexida en el punto final de la valoración

4.3. Determinación del pH del agua

Siguiendo lo dispuesto en la *Orden de 1 de julio de 1987*, para medir el pH de forma exacta se emplea un dispositivo denominado pH-metro, formado por una celda electroquímica que mide diferencias de potencial.

En primer lugar, se ha de calibrar el dispositivo y, a continuación, se pasa a medir el pH de las muestras. Para ello:

- a. Se coloca la muestra en un vaso de precipitados.
- b. Se introduce el electrodo en la muestra de agua y se deja que el pH-metro realice la medida hasta la estabilización del valor que aparece en la pantalla.
- c. Se retira la muestra de agua y se enjuaga el electrodo con agua de calidad para análisis antes de la siguiente medida.

4.4. Determinación de la conductividad del agua

De forma análoga a la medida de pH, la determinación de la conductividad eléctrica se lleva a cabo mediante métodos electroanalíticos. En este caso se emplea un dispositivo denominado conductímetro, que mide la conductividad eléctrica de los iones en una disolución.

Según las directrices de la *Orden de 1 de julio de 1987*, una vez calibrado el dispositivo los pasos a seguir para medir la conductividad son:

- Colocar la muestra en un vaso de precipitados.
- Introducir la celda de conductividad en la muestra de agua y dejar que el conductímetro realice la medida hasta la estabilización del valor que aparece en la pantalla.
- Retirar el agua y enjuagar la celda con agua de calidad para análisis antes de la siguiente medida.

4.5. Tratamiento de las muestras de agua de grifo con sistemas de filtración de uso doméstico

Mediante el empleo de filtros de uso doméstico, evaluó si el uso de estos sistemas produce cambios significativos en los parámetros fisicoquímicos del agua evaluados en este estudio. Para ello se seleccionaron dos de las muestras de agua de grifo y se filtraron una a través de un filtro de intercambio iónico (intercambia iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} por iones de Na^+) y otra a través de un filtro de carbón activo. Posteriormente, se compararon los resultados de dureza, pH y conductividad antes y después del filtrado.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis de la dureza

En la Tabla 4, se resumen los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros evaluados en las distintas muestras de agua y, en base a los resultados de dureza total obtenidos, las distintas muestras de agua se clasifican según se recoge en la Tabla 5.

Como puede verse, en el extremo inferior se sitúa el agua mineral como el agua más blanda de todas las analizadas, mientras que en el extremo superior se sitúa el agua de pozo como la más dura. Este resultado se corresponde con lo que cabría esperar dado que una de las principales características de las aguas minerales es su elevado nivel de pureza y, por lo tanto, su baja mineralización. En cambio, es habitual que las aguas de pozo que no han recibido tratamiento alguno tengan una dureza elevada pues debido a su contacto continuo con el subsuelo erosionan el terreno y disuelven los minerales contenidos en el mismo, pasando éstos a formar parte de su composición. Por su parte, considerando que las aguas de manantial son superficiales y que las de grifo están sometidas a tratamientos de saneamiento que las hagan aptas para su consumo, parece lógico que sus valores de dureza estén comprendidos entre los del agua mineral y la de pozo sin tratar. Además, en el caso de las aguas de grifo se observa que, si bien los valores de dureza varían considerablemente, todas ellas tienen niveles de Calcio y Magnesio aceptables que las hacen aptas para el consumo humano. Por otra parte, al comparar entre provincias se obtiene que las de la zona de Sevilla son aguas blandas mientras que las de Cádiz y Córdoba son semiduras. Esta característica, evidencia el hecho de que la dureza del agua varía no sólo dependiendo de qué tipo de agua se trate si no también en función de su origen geográfico.

TABLA 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Localización	Tipo de agua	Dureza cálcica (mg/l Ca^{2+})	Dureza magnésica (mg/l Mg^{2+})	Dureza total (mg/l CaCO_3)	Conductividad (µS/cm)	pH
Valencina	Grifo	28,0 ± 0,1	12,3 ± 0,3	120,5 ± 1,4	294	7,63
Dos Hermanas	Grifo	37,2 ± 0,4	10,6 ± 0,3	136,5 ± 1,4	329	7,36
Tomares	Grifo	31,8 ± 0,2	9,11 ± 0,3	116,8 ± 1,1	289	7,95
Puerto Real	Grifo	65,5 ± 0,3	10,8 ± 0,6	208,3 ± 2,5	492	8,09
Córdoba ^a	Grifo	88,7 ± 1,1	20,4 ± 1,2	305,5 ± 3,7	-	-
Sierra de Huelva	Manantial	64,6 ± 1,2	26,9 ± 1,0	272,0 ± 4,2	298	7,65
Dos Hermanas	Pozo	135,3 ± 9,1	15,0 ± 0,1	400,1 ± 3,2	1169	7,84
Agua Mineral	Embotellada	6,11 ± 0,1	0,8 ± 0,1	18,5 ± 0,6	47,9	8,21

^aNo se aportan datos de conductividad y pH para éste agua porque las medidas proporcionadas por el conductímetro y el pH-metro no eran estables y, por lo tanto, fiables.

TABLA 5. CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA ANALIZADAS SEGÚN SU DUREZA

Localización muestra	Tipo de Agua	Dureza total (mg/l CaCO_3)	Clasificación según dureza
Valencina	Grifo	120,5 ± 1,4	Blanda
Dos Hermanas	Grifo	136,5 ± 1,4	Blanda
Tomares	Grifo	116,8 ± 1,1	Blanda
Puerto Real	Grifo	208,3 ± 2,5	Semidura
Córdoba	Grifo	305,5 ± 3,7	Semidura
Sierra de Huelva	Manantial	272,0 ± 4,2	Semidura
Dos Hermanas	Pozo	400,1 ± 3,2	Dura
Agua Mineral	Embotellada	18,5 ± 0,6	Muy blanda

5.2. Relación entre los valores de conductividad, pH y dureza total

Al comparar los datos de dureza y conductividad para cada tipo de agua, se observa que, en general, a mayor dureza, mayor conductividad, y viceversa. Si se disponen las muestras de agua en orden creciente de conductividad y dureza total se comprueba que, en ambos casos, la secuencia es bastante similar:

- Orden de dureza creciente:

Mineral < Tomares < Valencina < Dos Hermanas < Puerto Real < Sierra de Huelva < Córdoba < Dos Hermanas (pozo)

- Orden de conductividad creciente:

Mineral < Tomares < Valencina < Sierra de Huelva < Dos Hermanas < Puerto Real < Dos Hermanas (pozo)

En cambio, no ocurre así en el caso del pH. En general, se espera que las aguas más blandas tengan menor pH

(mayor acidez) que las más duras (mayor basicidad). No obstante, los valores de pH medidos son bastante próximos entre sí y no puede establecerse una correlación directa entre pH y conductividad. Esto último sugiere que el valor de pH del agua depende de muchos más factores y que, a diferencia de la conductividad, no está tan condicionado por el nivel de dureza.

5.3. Comparación de los valores de dureza, pH y conductividad tras emplear sistemas domésticos de tratamiento y purificación de agua

En este estudio, se comparan y analizan los resultados obtenidos cuando dos muestras de agua de grifo se hacen pasar a través de un filtro de carbón activo y un filtro con resina de intercambio catiónico (intercambia iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} por iones de Na^+). Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 6:

TABLA 6. COMPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE GRIFO ANTES Y DESPUÉS DEL FILTRADO

Localización muestra	Tipo de Agua	Dureza total (mg/l CaCO_3)	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH
Antes del filtrado				
Valencina	Grifo	120,5 ± 1,4	294	7.63
Dos Hermanas	Grifo	136,5 ± 1,4	329	7.36
Después del filtrado				
Valencina	Grifo	121,3 ± 1,8	296	7.67
Dos Hermanas	Grifo	9,3 ± 0,1	284	6.46

^aFiltro de carbono incorporado en el sistema de refrigeración.

^bFiltro de intercambio iónico empleando una jarra filtrante.

Como puede verse, el valor de los parámetros experimentales evaluados se mantiene prácticamente constante en la muestra de agua filtrada con el filtro de carbón activo. Este comportamiento se corresponde con el tipo de filtración a que se ha sometido el agua pues los filtros de carbón activo se emplean para retener impurezas y eliminar olores y sabores desagradables, pero no suelen alterar la composición mineral del agua. Por el contrario, cuando se utiliza un filtro de intercambio iónico, los resultados son completamente diferentes pues se observa una disminución de la dureza total, así como del valor de pH. Estos datos indican que, efectivamente, se ha producido el ablandamiento del agua. Por su parte, el valor de la conductividad apenas disminuye. Este hecho se explica teniendo en cuenta que, para mantener la neutralidad del agua, la resina intercambia cationes de Ca^{2+} y Mg^{2+} por iones de Na^+ , los cuales también contribuyen a la conductividad del medio, lo cual hace que no se produzca un cambio muy acusado en el valor de este parámetro.

6. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se extraen del trabajo experimental llevado a cabo en este Proyecto son:

- El análisis del contenido de Calcio y Magnesio en agua confirma que cuanto mayor es la pureza del agua menor es su nivel de dureza, y viceversa.
- Los resultados obtenidos del análisis de las aguas de grifo de distintas provincias demuestran que la calidad

del agua está influenciada no sólo por su tipología sino también por su procedencia geográfica.

- El bajo nivel de dureza y la escasa conductividad del agua embotellada reflejan la baja mineralización de las aguas naturales.

- Al comparar los valores de dureza y conductividad se observa que ambos parámetros tienen una relación directamente proporcional. Se cumple entonces que la concentración de iones Calcio y Magnesio influye notablemente en el valor de conductividad del agua.

- Al comparar los valores de dureza y pH, no es posible establecer una correlación entre ambos parámetros de calidad. A diferencia de lo que ocurría con la conductividad, la dureza de un agua no es determinante de su valor de pH. Se demuestra así que, aunque la tendencia general es que las aguas blandas tengan cierto carácter ácido y las duras cierto carácter básico, existen otros muchos factores que influyen en el pH del agua.

- El uso de sistemas domésticos para el filtrado y tratamiento del agua indica que cuando el filtro es de adsorción (carbón activo) apenas se producen cambios en los valores de dureza, conductividad y pH dado que el objetivo principal de estos filtros es eliminar olores y sabores desagradables. Por el contrario, cuando el filtro es de intercambio iónico, los niveles de dureza y pH disminuyen considerablemente, demostrando así la eficacia de éstos para producir el ablandamiento del agua.

AGRADECIMIENTOS

A los profesores e investigadores Dra. Dña. María Dolores Ramos Payán y Dra. Dña. Noemí Aranda Merino del Dpto. de Química Analítica y Dr. D. José Javier Plata Ramos del Dpto. de Química Física y a la profesora tutora del proyecto Dña. Ángela Lendínez de la Cruz (I.E.S Virgen del Valme, Dos Hermanas, Sevilla) por su disponibilidad y las orientaciones facilitadas para el desarrollo del Proyecto.

A la organización del Proyecto Jóvenes con Investigadores por promover esta actividad docente y dar la oportunidad de acercarse al mundo de la investigación a jóvenes estudiantes.

A la Universidad de Sevilla, a la Facultad de Química y a su Ilma. Sra. Decana Dña. María Pilar Tejero Mateo, así como al Departamento de Química Analítica y a su Director D. Fernando de Pablos Pons por facilitarnos las instalaciones y el material necesario para realizar el Proyecto.

REFERENCIAS

- [1] <https://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info86/articulos/importanciaAgua.html>
- [2] Water Quality: Science, Assessments and Policy. 1st Ed. London. United Kingdom. 2020.
- [3] <http://www.recursoshidricos.gov.ar/web/index.php/nuestra-funcion/2017-03-23-14-12-06/calidad-de-agua>
- [4] <https://tecnosolucionescr.net/blog/215>
- [5] Samboni Ruiz, N.E., Carvajal Escobar, Y., Escobar, J.C. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Ing. Inv. (3) (2007) 172-181.

- [6] <https://www.iagua.es/blogs/tecdepur/agua-dura-%C2%BFque-es-y-como-me-afecta>
- [7] <https://www.facs.com/la-dureza-del-agua/>
- [8] <https://www.aiguesmataro.com/es/dureza-del-agua>
- [9] https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/dureza_de_aguas.asp
- [10] Solís Castro, Y., Zúñiga Zúñiga, L.A. Mora Alvarado, D. La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. (1) (2017) 35-46.
- [11] APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. Washington, DC: American Public Health Association. 2005.
- [12] Guías para la calidad del agua de consumo humano. 4ª Ed. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. 2011.
- [13] Estudio de la calidad de Agua Potable en las capitales de provincias españolas y comparativa con la calidad de las principales aguas embotelladas. Zaragoza. España. ECODES-Fundación Ecología y Desarrollo. 2019. https://ecodes.org/images/que-ace-mos/pdf_MITECO_2019/Estudio_calidad_agua_potable.pdf
- [14] Orden de 1 de julio de 1987 por la que se aprueban los métodos oficiales de análisis físico-químicos para aguas potables de consumo público.



María Ramos Payán recibió el título de Licenciado en Química por la Universidad de Sevilla en 2008 y de Doctor en Química por la Universidad de Sevilla en 2011. Desde 2019 es Profesora Titular en el Departamento de Química Analítica de la Universidad de Sevilla.



José Javier Plata Ramos recibió el título de Licenciado en Química por la Universidad de Sevilla en 2008 y de Doctor en Química por la Universidad de Sevilla en 2011. Desde 2020 es Profesor Contratado Doctor en el Departamento de Química Física de la Universidad de Sevilla.



Noemí Aranda Merino recibió el título de Licenciado en Química por la Universidad de Sevilla en 2013 y de Doctor en Química por la Universidad de Sevilla en 2019. Durante 2021 trabajó como Profesora sustituta Interina en las Universidades de Huelva y Sevilla y desde 2022 es contratado postdoctoral de investigación por la Universidad de Sevilla.

Actualmente desarrolla su actividad investigadora en el *Institute of Analytical Chemistry of the Czech Academy of Sciences (IAC)* en Brno, República Checa.



Angela Lendínez de la Cruz recibió el título de Licenciado en Ciencias Biológicas en 1986. Actualmente, es profesora de Biología y Geología en el IES Virgen de Valme de Dos Hermanas (Sevilla). A lo largo de su carrera ha participado en varios proyectos de innovación y de investigación educativa y desde 2015 colabora con el Proyecto "Jóvenes con Investi-

gadores".

Cludia González de la Calle participó en la iniciativa Jóvenes con Investigadores de la Universidad de Sevilla durante el curso 2021-2022 como alumna de 4º de la E.S.O. del I.E.S. Virgen del Valme (Dos Hermanas, Sevilla). Actualmente estudia 1º de Bachillerato en el mismo centro educativo.



Marina González Márquez participó en la iniciativa Jóvenes con Investigadores de la Universidad de Sevilla durante el curso 2021-2022 como alumna de 1º de Bachillerato del I.E.S. Ítaca (Tomares, Sevilla). Actualmente estudia 2º de Bachillerato en el mismo centro educativo.



Antonio Montero Rojas participó en la iniciativa Jóvenes con Investigadores de la Universidad de Sevilla durante el curso 2021-2022 como alumno de 1º de Bachillerato del I.E.S. Ítaca (Tomares, Sevilla). Actualmente estudia 2º de Bachillerato en el mismo centro educativo



Pablo Ruíz Montes participó en la iniciativa Jóvenes con Investigadores de la Universidad de Sevilla durante el curso 2021-2022 como alumno de 1º de Bachillerato del I.E.S. Galileo Galilei (Dos Hermanas, Sevilla). Actualmente estudia 2º de Bachillerato en el mismo centro educativo



Jorge Santiago García participó en la iniciativa Jóvenes con Investigadores de la Universidad de Sevilla durante el curso 2021-2022 como alumno de 4º de la E.S.O. del I.E.S. Ítaca (Tomares, Sevilla). Actualmente estudia 1º de Bachillerato en el mismo centro educativo

Sergio Toribio Velasco participó en la iniciativa Jóvenes con Investigadores de la Universidad de Sevilla durante el curso 2021-2022 como alumno de 4º de la E.S.O. del I.E.S. Juan de Mairena (Mairena del Aljarafe, Sevilla). Actualmente estudia 1º de Bachillerato en el mismo centro educativo