



Reflexiones sobre la pasada sequía y la calidad del agua de consumo de abastecimiento de Córdoba

Tras la pasada sequía pluriannual que afectó al abastecimiento de Córdoba puede ser el momento de formular ciertas reflexiones al respecto. En primer lugar, que con lluvias anuales del orden de 600 L/m² el volumen máximo del embalse de Guadalmellato (fuente de captación para el abastecimiento) se situaría en unos 105 hm³ asegurando sobradamente el abastecimiento a la ciudad para 2-3 años. En segundo lugar, que se cuenta con una garantía adicional para el suministro como es el embalse de Navallana, lo que da robustez al sistema. Así, cuando hay que proceder a mezclar aguas de Guadalmellato con Navallana (agua de peores características) la calidad final del agua cumple sin problemas con los criterios establecidos en el RD 3/2023 en todos los parámetros, incluso orgánicos, fitosanitarios, subproductos de desinfección y fármacos. Otra cuestión relevante: aún en el caso contrastado de que el agua mantenga una alta calidad, pequeños cambios de color y turbidez provocan quejas de los consumidores que identifican el agua como de 'mala calidad'. Finalmente, para minimizar o evitar situaciones de este tipo es esencial una correcta y periódica información a los consumidores sobre la calidad del agua servida por parte del gestor del abastecimiento.

Palabras clave

Sequía, ETAP, agua de consumo, RD 3/2023, ácidos haloacéticos, PFAS.

REFLECTIONS ABOUT THE LAST DROUGHT AND DRINKING WATER QUALITY IN THE CÓRDOBA'S WATER SUPPLY

We show here some reflections about the behavior of the Córdoba's water supply during the last drought. Firstly, with annual rainfall of around 600 L/m² the maximum volume of the Guadalmellato reservoir (source of water supply) would be around 105 hm³, amply ensuring supply to the city for 2-3 years. Secondly, there is an additional guarantee for the supply, such as the Navallana reservoir, which gives robustness to the system. Thus, when it is necessary to mix water from Guadalmellato with Navallana (water of worse characteristics), the quality of the water meets without problems the criteria established in RD 3/2023 (Directive UE 2020/2184) in all parameters, including organic, phytosanitary, disinfection by-products and pharmaceuticals. Another relevant issue: even in the proven case of water maintaining a high quality, small changes in color and turbidity provoke complaints from consumers who identify the water as being of 'poor quality'. Finally, in order to minimise or avoid situations of this type, it is essential that consumers are correctly and periodically informed about the quality of the water served by the water supply manager.

Keywords

Drought, WTP, drinking water, RD 3/2023 (Directive UE 2020/2184), haloacetic acids, PFAS.

Rafael Marín Galvin

jefe de Control de Calidad-de la Empresa Municipal de Aguas de Córdoba, director Cátedra Emacsa-Universidad de Córdoba



1. INTRODUCCIÓN: ALGUNOS CONCEPTOS SOBRE SEQUÍA Y ESCASEZ DE AGUA

Después de haber superado otro nuevo episodio de sequía (o de escasez de precipitaciones) muy severo y que ha afectado de forma importante a la reserva hídrica de la que se capta el agua para producción de agua de consumo en la ciudad de Córdoba, puede ser el momento de evaluar cómo se ha comportado la calidad de aquella en el caso del abastecimiento de Córdoba (327.000 habitantes) gestionado por Emacsa.

En primer lugar hay que entender el concepto de sequía o escasez de precipitaciones, que puede tener muchos sentidos. Se habla de sequía como de una anomalía temporal de la precipitación o del caudal natural de agua que podría producir (no necesariamente) una situación de insuficiencia en los suministros de agua en función del nivel de demanda existente en el área y de las características, en general, de los sistemas de explotación del recurso. Dicho esto, puede hablarse de varios tipos de sequía atendiendo a lo indicado por el Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico de España:

- Sequía meteorológica. Se produce por una escasez continuada de las precipitaciones. Es la sequía que da origen a los restantes tipos de sequía y normalmente suele afectar a zonas de gran extensión. Suele estar vinculada a una región específica (o varias) implicando temperaturas más altas, vientos de fuerte intensidad, humedad relativa baja, incremento de la evapotranspiración, menor cobertura de nubes y mayor insolación. Todo ello puede traducirse finalmente en reducciones en las tasas de infiltración, en

» Con sistemas de explotación bien diseñados y gestionados y demandas con límites razonables y acordes con las características climáticas de la región, en Córdoba no debería haber déficit hídrico

escorrentías más bajas, en la reducción en la tasa de percolación profunda y en una menor recarga de las aguas subterráneas.

- Sequía hidrológica. Está relacionada con periodos de caudales circulantes por los cursos de agua o de volúmenes embalsados por debajo de lo normal. Una definición más precisa: disminución en las disponibilidades de aguas superficiales y subterráneas en un sistema de gestión durante un plazo temporal dado respecto a los valores medios, lo que puede impedir cubrir las demandas de agua al cien por cien. La sequía hidrológica puede demorarse durante meses o algún año incluso desde el inicio de la escasez pluviométrica o, si las lluvias retornan en poco tiempo, no llegar a manifestarse.
- Sequía agrícola. Puede definirse como el déficit de humedad en la zona radicular para satisfacer las necesidades de un cultivo en un lugar y época determinada. Dado que la cantidad de agua es diferente para cada cultivo, y que incluso puede variar a lo largo del crecimiento de una misma planta, no es posible establecer umbrales de sequía agrícola válidos ni tan siquiera para un área geográfica. En zonas de secano va ligada a la sequía meteorológica con un pequeño desfase temporal dependiente de la capacidad de retención de humedad del suelo edáfico. En zonas irrigadas la sequía agrícola está más vinculada a la sequía hidrológica.
- Sequía socioeconómica. Entendida como afección de la escasez de

agua a las personas y a la actividad económica derivadas de la sequía. Para hablar de sequía socioeconómica no es necesario que se produzca una restricción del suministro de agua, sino que basta con que algún sector económico se vea sensiblemente afectado por la escasez hídrica con consecuencias económicas desfavorables.

- Diferencias entre sequía, aridez y escasez. La sequía, entendida como anomalía temporal de precipitación o caudal natural, puede producir, o no, una situación de insuficiencia en los suministros de agua, en función del nivel de demanda de agua existente en el área y de las características, en general, de los sistemas de explotación del recurso. La escasez representa una situación permanente de déficit en relación con la demandas de agua en un sistema de recursos de ámbito regional caracterizado, bien por un clima árido o bien por un rápido crecimiento de las demandas consuntivas.

Habida cuenta de que la sequía es una anomalía natural transitoria, suficientemente prolongada, debe diferenciarse de la aridez, que es una situación estructural natural de una región dada y por tanto permanente. Aún en estas circunstancias no debiera haber déficit si los sistemas de explotación estuvieran adecuadamente diseñados y explotados y las demandas se mantuvieran en límites razonables y acordes con las características climáticas de la región, lo cual no siempre ocurre.

2. EL PERÍODO DE ESCASEZ DE LLUVIAS EXPERIMENTADO ENTRE 2019-2024 Y EL ABASTECIMIENTO DE AGUA A CÓRDOBA. DISPONIBILIDAD DEL RECURSO

El abastecimiento de agua de Córdoba se basa en dos pilares esenciales: el embalse de Guadalmellato (145 hm³ de capacidad) como fuente habitual de captación, y la estación de tratamiento de aguas potables (ETAP) de Villa Azul para procesamiento y potabilización del agua bruta captada en cada momento. Además, se cuenta como captación de emergencia con el embalse de San Rafael de Navallana (156 hm³ de capacidad) ubicado aguas abajo del anterior y que puede ser alimentado directamente desde el río Guadalquivir cuando este presenta un caudal relevante (Figura 1). Además, el embalse de Guadalmellato alimenta por desagüe al de Navallana desde dónde se captan aguas para riegos en la vega de Córdoba cuya disponibilidad vendrá marcada en todo caso por el uso prioritario para abastecimiento humano.

Teniendo en cuenta que se captan para potabilización desde Guadalmellato del orden de 23 hm³/año y que se pierden anualmente del

FIGURA 1. Ubicación de los embalses de Guadalmellato (1) y Navallana (2), y de la ETAP de Villa Azul (3) ya dentro de Córdoba.



orden de 10 hm³ por evapotranspiración y filtraciones en el anterior, la capacidad del embalse en años hidrológicamente normales garantiza el abastecimiento a Córdoba sin mayores problemas. No obstante, la climatología en cada momento es la que en realidad rige la disponibilidad de agua para el consumo de la ciudad: en este sentido, la Figura 2 recoge las precipitaciones por años (1 de septiembre a 30 de agosto) en la cuenca del embalse desde 1985-86 hasta la fecha. Se aprecia una ligera tendencia sostenida con descenso de las lluvias registradas.

FIGURA 2. Precipitaciones en la cuenca del embalse de Guadalmellato por años, del 1 de septiembre al 30 de agosto. Fuente: CHG.



Por otro lado, el último año con nivel de precipitaciones normales fue el 2017-18, con 682,4 L/m², presentando los años 2018-19, 2020-21, 2021-22 y 2022-2023 lluvias claramente inferiores a la media (salvo 2019-20 en que se cumplió la media) hasta llegar al año 2023-24 en que la cantidad de lluvias registradas ha superado la media acumulada en un 20%. Esta situación afectó a la evolución de agua embalsada como recoge la Figura 3, la cual llegó a ser crítica desde mediados de 2023 con entrada en fase de alerta (<53 hm³) y posteriormente de emergencia (<45 hm³) por déficit de volumen de agua disponible. En esta situación se complementó el abasto a la ETAP de Villa Azul desde Guadalmellato, con la captación de agua desde el embalse de Navallana que siempre presenta peor calidad en origen.

Dicho esto, puede ser útil correlacionar lluvias anuales con volumen máximo de agua embalsada en cada año para atisbar problemas o no de abastecimiento. Esto se recoge en la Figura 4. Se aprecia que existe una correlación exponencial entre ambos parámetros, y que con lluvias anuales del orden de 600 L/m² el volumen máximo del embalse se situaría en unos 105 hm³ asegurando el abastecimiento a la ciudad sobradamente para un período de 2-3 años sin lluvias apreciables.

De las Figuras 3 y 4 puede obtenerse valiosa información acerca de la recarga efectiva del embalse de Guadalmellato en cada año. Así en 2020, desde un volumen mínimo de unos 70 hm³, las lluvias recogidas incrementaron el volumen almacenado hasta los 100 hm³. En 2021, también con un volumen mínimo de 70 hm³, la recarga alcanzó poco más de 90 hm³. En 2022, desde un



FIGURA 3. Evolución mensual del volumen embalsado en Guadalmellato, en hm³.



mínimo de 65 hm³, a duras penas se superaron los 70 hm³. En 2023, el volumen partió de poco más de 50 hm³ y se recuperó a poco más de 60 hm³. Final, y afortunadamente, en 2024 se partió de menos de 40 hm³, llegándose hasta la coronación práctica de la presa, con casi 140 hm³ de agua almacenados.

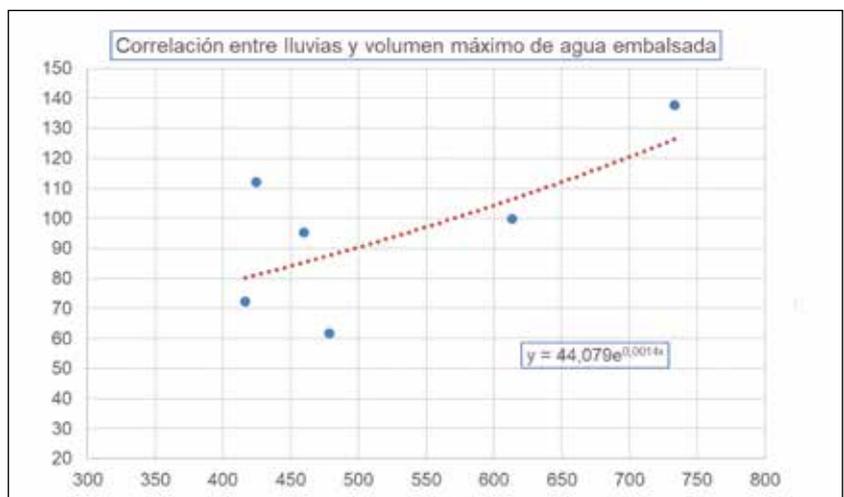
3. CALIDAD DEL AGUA PRODUCIDA EN LA ETAP Y ROBUSTEZ DEL ABASTECIMIENTO

3.1. POTABILIZACIÓN DEL AGUA: ETAP DE VILLA AZUL

La zona de abastecimiento de Córdoba corresponde a tipología 5 según establece el RD 3/2023 (>10.000 m³/d y <100.000 m³/d) sobre aguas de consumo humano. Como se comentó anteriormente, el abastecimiento emplea como fuente de captación habitual el embalse de Guadalmellato que dispone de torre de tomas, con 7 ventanas de captación para abducción del agua idónea para su posterior potabilización. El agua se vehicula hacia la ETAP de Villa Azul a través de dos tuberías de unos 25 km de longitud, una rodada y otra en carga.

Como captación de emergencia podría emplearse el embalse de San Rafael de Navallana, situado aguas

FIGURA 4. Correlación entre lluvias anuales y volumen máximo anual de agua embalsada. Abcisas, volumen embalsado en hm³; ordenadas, lluvias en L/m².



abajo del anterior y para el que se cuenta con un protocolo de utilización aprobado por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG). La vehiculación de aguas se haría empleando el canal de riegos actualmente existente, que llevaría el agua hasta una estación de elevación ubicada en las inmediaciones de la potabilizadora.

La ETAP de Villa Azul tiene un caudal medio de producción actual de 61.000 m³/d (con capacidad punta de potabilización de 180.000 m³/d) y está dotada de diferentes procesos unitarios de potabilización, empleados en función de las características del agua bruta disponible en cada momento. Tales elementos son:

- Depósito de agua bruta de 30.000 m³.
- Sistemas de oxidación-desinfección primaria: dosificación de permanganato potásico, cloro gas o dióxido de cloro que se pueden inyectar en el depósito de agua bruta, en entrada a balsas de aireación-ozonización o en salida de estas.
- Ajuste de pH del agua a la entrada al depósito de agua bruta con NaOH.
- Balsas de aireación-ozonización para dosificación de aire y aire ozonizado.
- Sistema de dosificación de carbón activo en polvo ante problemas de aparición de compuestos fitosan-

tarios en aguas brutas naturales. Este reactivo podría dosificarse también en el depósito de agua bruta, en entrada a balsas de aireación-ozonización o en salida de estas.

- Dosificación de coagulantes y sistemas de decantación. Se dispone en la ETAP de cuatro decantadores Pulsator lamelares de 1.875 m³/h de capacidad unitaria.
- Filtración sobre 30 filtros rápidos de arena de todo el caudal tratado en cada momento y procedente de la fase de decantación.
- Desinfección del agua tratada antes de su ingreso en el depósito de salida de ETAP a la población, realizada con cloraminas a partir de noviembre de 2008 (autorizado por la Autoridad Sanitaria en su momento). También se dispone de cloración final como medida de emergencia.
- Ajuste de pH del agua a la entrada al depósito de salida de ETAP.

El esquema de tratamiento de la ETAP se muestra en la **Figura 5 izquierda**, mientras que la **Figura 5 derecha** muestra una vista actual de la potabilizadora. Con estas instalaciones se puede proceder a la

potabilización de las aguas con los problemas habituales de las recibidas procedentes de los embalses explotados, tales como color, turbidez, materia orgánica, contenidos elevados de hierro y manganeso e, incluso, con eventual presencia de fitosanitarios, además de llevar a cabo una desinfección idónea.

3.2. BREVE INTRODUCCIÓN A LA EVOLUCIÓN DEL AGUA BRUTA DE ABASTO A LA ETAP

La dinámica experimentada por el agua bruta de Guadalmellato es suficientemente conocida y oscila, como en todos los lagos y embalses de latitudes templadas, entre una época de estratificación térmica a partir de mediados de primavera que se extiende hasta la llegada de las lluvias otoñales, y una época de mezcla térmica. En esta última la calidad del agua en la columna de agua en profundidad es muy similar, con mínimos cambios de temperatura y una situación de buena oxigenación en toda la masa de agua.

Durante la estratificación, el agua experimenta un fuerte gradiente térmico con aguas más cálidas en superficie, y más frías en el fondo del embalse, y con una zona de marca-

do descenso térmico en pocos metros, denominada termoclina, que separa las dos zonas anteriores. En superficie el agua cálida está bien oxigenada y presenta modestos niveles de sustancias en bajo estado de oxidación tales como hierro, manganeso, nitritos y amonio (que en realidad son sobre los que se actúa en la posterior potabilización en la ETAP). En el fondo, el agua es fría, muy poco oxigenada (incluso anóxica) y con altos niveles de las sustancias en bajo estado de oxidación antes reseñadas.

La climatología de cada año influye de forma notable en la aparición, extensión, y duración concreta de los periodos de estratificación y mezcla, de forma que habitualmente, con volúmenes anuales de agua más reducidos las concentraciones de especies en bajo estado de oxidación suelen ser sensiblemente más altas que con volúmenes de agua más altos. La **Figura 6** presenta la evolución de conductividad, amonio, hierro y manganeso en meses típicos correspondientes a estratificación y mezcla térmicas, así como en un año normal y lluvioso para el caso de la conductividad: todos ellos son parámetros determinantes a la

FIGURA 5. Esquema del tratamiento de potabilización de la ETAP de Villa Azul (izquierda) y vista aérea de la planta (derecha).



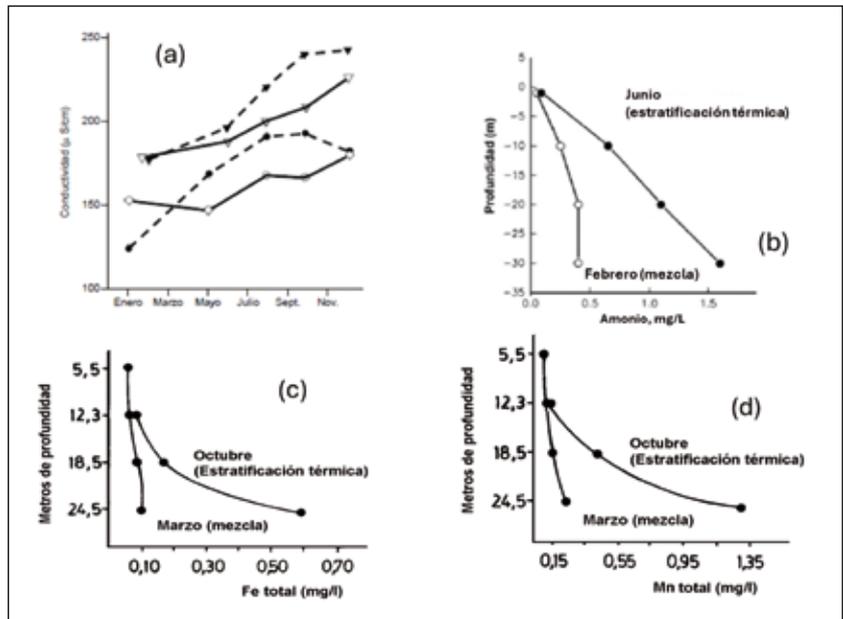


hora de establecer el tratamiento más adecuado aplicable para potabilización en la ETAP.

Como más información de interés, la **Tabla 1** recoge el rango histórico de valores mínimos y máximos de las concentraciones de los parámetros referidos más arriba. En este abanico de calidad es en el que se muestran las características del agua bruta procesada en la ETAP de Villa Azul.

Puede observarse que la variación de temperatura durante la mezcla suele ser de solo 4-5 °C entre superficie y fondo, siendo de más de 15 °C en la estratificación. En cuanto a la conductividad, se aprecian cambios relevantes en años de pluviometría normal con relación a los años lluviosos por efecto dilución en estos segundos. Finalmente, las especies químicas de mayor importancia para la potabilización por estar afectadas por la más o menos alta tasa de oxigenación del agua, en concreto amonio, hierro y manganeso, multiplican su contenido casi en un orden de magnitud durante la estratificación en el agua profunda anóxica frente al agua superficial oxigenada. En situaciones en que por bajos volúmenes de agua en Guadalmellato hay que complementar esta captación con la de agua procedente de

FIGURA 6. Embalse de Guadalmellato: (a) evolución de conductividad en superficie y fondo en dos años típicos, con precipitaciones normales arriba y lluvioso abajo; (b) evolución de amonio en mezcla -izquierda- y estratificación -derecha-; (c) y (d) evolución de hierro y manganeso en mezcla -izquierda- y estratificación -derecha-.



Navallana, la principal consecuencia es la elevación del contenido salino del agua producida en la ETAP (conductividad y dureza, especialmente), así como una temperatura algo más alta, dado que el embalse de Navallana se recarga parcialmente con agua del río Guadalquivir cuando su caudal lo permite. En este caso, la conductividad del agua del embalse puede alcanzar e incluso superar los 600-700 µS/cm.

Hecha esta breve introducción, debe indicarse que con abstracción de la situación hidrológica del embalse de Guadalmellato o del aporte adicional desde Navallana, la ETAP de Villa Azul ajusta sus parámetros de explotación para conseguir en todo momento agua potable (salubre y limpia) no solo dentro de lo establecido por el RD 3/2023, sino con una contrastada y alta calidad global.

TABLA 1

CARACTERÍSTICAS HISTÓRICAS DEL AGUA BRUTA DEL EMBALSE DE GUADALMELLATO DURANTE LOS PERÍODOS DE MEZCLA Y DE ESTRATIFICACIÓN TÉRMICA, ENTRE 1985 Y LA ACTUALIDAD.

Característica	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	Amonio (mg/L)	Hierro (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Año de precipitaciones normales	-	≈180 - ≈250	-	-	-
Año de precipitaciones elevadas	-	≈120 - ≈170	-	-	-
Mezcla térmica, superficie	≈12	-	≈0,10	≈0,10	≈0,15
Mezcla térmica, fondo	≈8	-	≈0,40	≈0,15	≈0,35
Estratificación térmica, superficie	≈28	-	≈0,20	≈0,15	≈0,15
Estratificación térmica, fondo	≈10	-	≈1,60	≈0,60	≈1,30

3.3. CALIDAD DEL AGUA POTABLE DURANTE 2019-2024 EN CUANTO A 'PARÁMETROS SENSIBLES' PARA EL CONSUMIDOR

Las características del agua producida en la ETAP de Villa Azul se adecuan históricamente a lo establecido en la normativa vigente en cada momento. Haciendo historia, hasta junio de 1982 existía el Código Alimentario Español; entre septiembre de 1982 y junio de 1990 la Reglamentación Técnico-Sanitaria de 1982; entre junio de 1990 y febrero de 2003, la Reglamentación Técnico-Sanitaria de 1992; entre febrero de 2003 y enero de 2023, el RD 140/2023; finalmente desde enero de 2023 hasta la fecha, el ya referido RD 3/2023.

En la actualidad es especialmente relevante reseñar que valores de parámetros microbiológicos, parámetros químicos, parámetros indicadores de calidad, sustancias radiactivas, parámetros de caracterización de las aguas, y finalmente, características organolépticas, no han presentado no conformidades en el agua producida en la ETAP; así, los contenidos de metales pesados, compuestos orgánicos, fitosanitarios y subproductos de desinfección (**Tabla 2**), además de microorganismos, todos ellos con potencial incidencia sanitaria. Las no conformidades requerirían de la aplicación de medidas subsanatorias que, afortunadamente, no han tenido que aplicarse en nuestro abastecimiento y que están recogidas en el Plan Sanitario del Agua de la Zona de Abastecimiento de Córdoba. Como más información al respecto, las incidencias ocasionales de aparición de niveles de fitosanitarios en agua bruta $>0,100 \mu\text{g/L}$ se resuelven habitualmente con la aplicación de carbón activo en polvo.

TABLA 2

CONTENIDOS DE ALGUNOS COMPUESTOS ORGÁNICOS EN EL AGUA PRODUCIDA EN LA ETAP DURANTE FINALES DE 2023, CON AGUA BRUTA MEZCLA DE GUADALMELLATO Y NAVALLANA. Nota: VR, valor de referencia.

Parámetro	RD 3/2023	Resultado
Total trihalometanos ($\mu\text{g/L}$)	100	12,2
Cloroformo ($\mu\text{g/L}$)	-	6,0
Bromo dicloro metano ($\mu\text{g/L}$)	-	4,1
Dibromo cloro metano ($\mu\text{g/L}$)	-	2,1
Bromoforno ($\mu\text{g/L}$)	-	<1,0
Algunos orgánicos		
Acrilamida ($\mu\text{g/L}$)	0,10	<0,030
Cloruro de vinilo ($\mu\text{g/L}$)	0,50	<0,15
Epiclorhidrina ($\mu\text{g/L}$)	0,10	<0,07
Microcistina L-R ($\mu\text{g/L}$)	1,0	<0,050
Bisfenol A ($\mu\text{g/L}$)	2,5	<0,50
Hidrocarburos aromáticos policíclicos ($\mu\text{g/L}$)	0,10	<0,01
Plaguicidas ($\mu\text{g/L}$)	0,50	
MCPA ($\mu\text{g/L}$)	0,10	<0,04
2,4-D ($\mu\text{g/L}$)	0,10	<0,04
Fluroxipir ($\mu\text{g/L}$)	0,10	<0,04
Glifosato ($\mu\text{g/L}$)	0,10	<0,06
AMPA ($\mu\text{g/L}$)	0,10	<0,06
Clortolurón ($\mu\text{g/L}$)	0,10	<0,010
Flazasulfurón ($\mu\text{g/L}$)	0,10	<0,010
Metsulfurón metil ($\mu\text{g/L}$)	0,10	<0,010
Quizalofop-p-etil ($\mu\text{g/L}$)	0,10	<0,010
Tribenurón ($\mu\text{g/L}$)	0,10	<0,030
Ácidos haloacéticos ($\mu\text{g/L}$)	60	
Ácido cloroacético ($\mu\text{g/L}$)	-	<3
Ácido dicloroacético ($\mu\text{g/L}$)	-	3,6
Ácido tricloroacético ($\mu\text{g/L}$)	-	<3
Ácido bromoacético ($\mu\text{g/L}$)	-	<3
Ácido dibromoacético ($\mu\text{g/L}$)	-	<3
Perfluoro y polifluoroalquilos PFAS		
Ácido perfluorooctanóico ($\mu\text{g/L}$)	0,07	<0,002
Ácido perfluorooctanosulfónico ($\mu\text{g/L}$)	0,07	<0,002
Ácido perfluorononanoico ($\mu\text{g/L}$)	0,07	<0,002
Ácido perfluorohexanosulfónico ($\mu\text{g/L}$)	0,07	<0,002
Lista de observación		
17- β -Estradiol (ng/L)	1,0 (VR)	<1,0
4- nonilfenol (ng/L)	300 (VR)	<50
Azitromicina (ng/L)	100 (VR)	<20
Diclofenaco (ng/L)	100 (VR)	<20



Dicho lo anterior, la experiencia práctica indica que, a pesar de que objetivamente (es decir, con el contraste de los datos de laboratorio) el agua producida cumpla todo lo requerido por la normativa, existen algunas características percibidas más fácilmente por los consumidores y con una alta valoración por parte de los mismos que, de sufrir alguna modificación, aunque sea ligera, suelen generar (sin fundamento) opiniones contradictorias sobre la calidad del agua. A estos parámetros se les denominan 'parámetros sensibles' y a su evolución durante la sequía se dedica el resto de este artículo.

Siguiendo con lo anterior, la **Tabla 3** presenta para el agua producida en la ETAP de Villa Azul, los valores máximos, medios y mínimos de temperatura, color, turbidez, conductividad y dureza, entre 2019 y 2024, dentro de los ya definidos como 'parámetros sensibles' para el consumidor que suelen provocar quejas de calidad de agua. En este sentido, la primera conclusión extraída es que ninguno de los valores máximos registrados está en absoluto fuera de la normativa, incluso cuando se tuvo que proceder a complementar caudales del agua procedente de Guadalmellato con la de Navallana, de

Parámetro	RD 3/2023	Valor máximo	Valor mínimo	Valor medio
Temperatura (°C)	-	28,2	12,2	19,3
Color (mg/L)	15	5,8	0,9	2,7
Turbidez (UNF)	0,8	0,45	0,02	0,19
Conductividad (µS/cm)	2.500	280	78	106
Dureza (mg/L CaCO ₃)	500	361	194	260

peores características fisicoquímicas y aún microbiológicas. En este sentido, los periodos de mezcla de aguas de Guadalmellato y Navallana ocurrieron durante agosto-septiembre de 2019, junio y septiembre-octubre de 2020, junio de 2022, y entre julio de 2023 y marzo de 2024.

La **Figura 7** recoge la evolución de la temperatura media mensual del agua producida. Puede observarse que la dinámica anual es muy similar para todo el período considerado con mínimas anuales entre 12-14 °C (enero) y máximas entre 25 y más de 28 °C (julio a septiembre). Además, se puede apreciar cómo desde 2019 a 2023 las temperaturas tanto mínimas como máximas siguen una tendencia alcista relacionada con la progresiva disminución del volu-

men de agua embalsada para cada año comentada anteriormente: la mínima en 2019 fue de 12,0 °C y la máxima de 25,1 °C, mientras en 2023 fueron de 14,2 °C y 28,2 °C, respectivamente.

Con respecto a color y turbidez (ver **Figura 8**), los típicos 'parámetros sensibles' por excelencia para el consumidor, el color exhibió valores entre 2 y 3 mg/L hasta abril de 2024, en que la ocurrencia de abundantes precipitaciones permitió una importantísima entrada de aguas turbias por escorrentías al embalse y su traslado al color del agua producida, mientras que la turbidez mantuvo un valor medio de unos 0,2 UNF con máximos muy puntuales de 0,4 UNF y sin apenas incidencia del período de recarga del embalse en 2024.

FIGURA 7. Agua producida en la ETAP de Villa Azul. Evolución mensual (valores medios) de la temperatura.

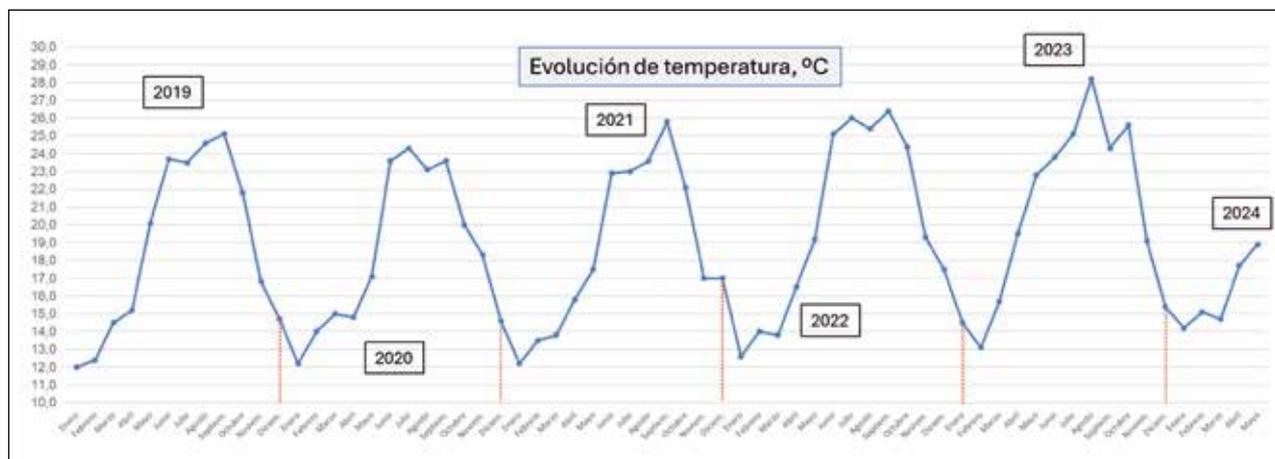
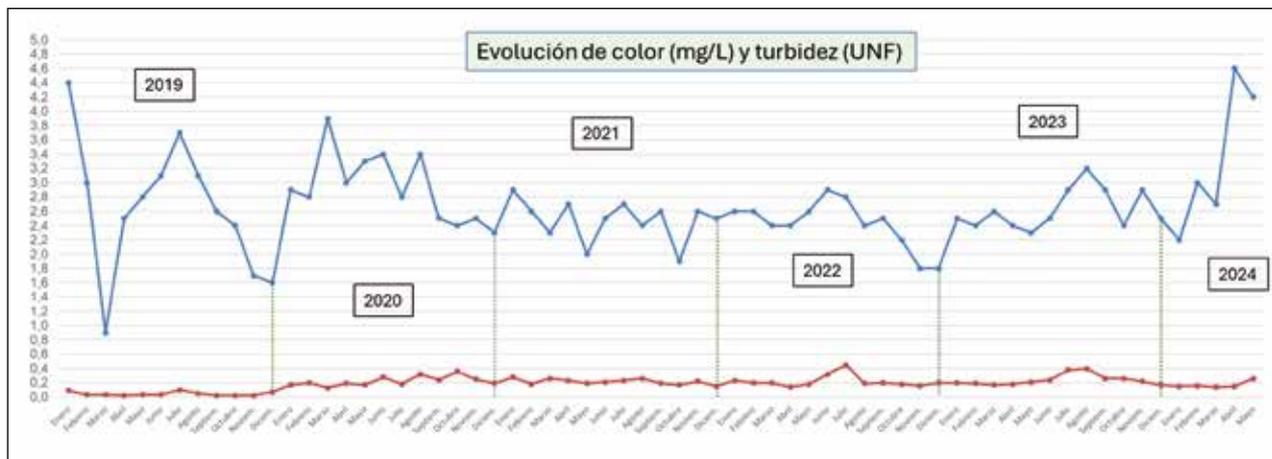


FIGURA 8. Agua producida en la ETAP de Villa Azul. Evolución mensual (valores medios) de color (línea azul) y turbidez (línea roja).



Por último, la **Figura 9** recoge la evolución mensual de conductividad y dureza del agua producida en la ETAP. En ella sí se pueden detectar fácilmente los episodios de mezcla de aguas procedente de Navallana que ya se comentaron anteriormente. Así, en 2019, desde valores de conductividad de unos 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ el aporte de Navallana hizo incrementarse el valor de este parámetro hasta los 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aproximadamente, mientras que apenas tuvo traslado sobre el contenido de dureza del agua producida.

El caso de 2020 es más llamativo, pues la conductividad durante

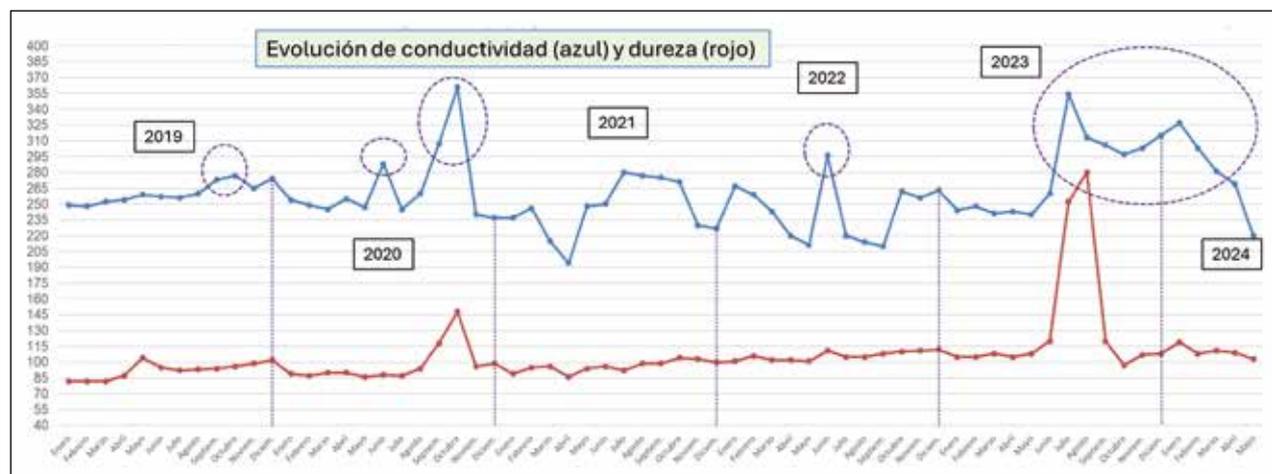
la mezcla con Navallana hizo que se alcanzaran los 360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en su punto máximo, desde unos 250-260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ solo con Guadalmellato. Por su parte, la dureza apenas varió en la mezcla de junio, mientras en la de septiembre-octubre llegó hasta los 150 mg/L de CaCO_3 , desde valores normales solo con Guadalmellato de 90 mg/L de CaCO_3 . Obsérvese que el aumento de conductividad y de dureza fue parejo (+40% en ambos casos).

Refiriéndose a junio de 2022 también son significativos los aumentos de conductividad, desde 210 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta casi 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y de dureza,

más moderados, desde 100 mg/L hasta más de 110 mg/L .

Con relación al período más largo de aporte de Navallana, coincidente con la mínima capacidad de agua disponible en Guadalmellato, es decir, desde julio de 2023 hasta marzo de 2024, la conductividad aumentó desde valores de unos 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta máximos de 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$, manteniéndose por encima de 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que la dureza se incrementó desde unos 120 mg/L de CaCO_3 , hasta máximos de 280 mg/L de CaCO_3 , que después se redujeron sensiblemente pese al aporte desde Navallana por la entrada de aguas

FIGURA 9. Agua producida en la ETAP de Villa Azul. Evolución mensual (valores medios) de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$, línea azul) y dureza (mg/L de CaCO_3 , línea roja). En círculos de línea discontinua morada, episodios de mezcla de aguas entre Guadalmellato y Navallana).





frescas de escorrentías a Guadalmellato. En todo caso, y como resumen a lo comentado, la calidad del agua producida en la ETAP se mantuvo en unos estándares realmente idóneos.

Si se presta atención a las quejas de calidad de clientes, los cambios de color y turbidez, especialmente, pueden provocar aumentos de su número y descensos en la calidad subjetiva percibida por el consumidor, dentro de una calidad objetivamente conforme. En este sentido, es significativo el período agosto-septiembre de 2023 en que se incrementó notablemente el número de quejas con relación a las medias acumuladas de los años anteriores: 33 y 10, respectivamente en 2023, frente a 10 y 8 de las medias acumuladas hasta 2022. En el resto de meses en que existió mezcla de aguas, la situación no varió significativamente frente a los períodos normales.

4. CONCLUSIONES

Como conclusiones generales del estudio llevado a cabo pueden citarse:

- Los eventos de sequía en la zona geográfica dónde se ubica el abastecimiento de Córdoba (y el embalse de Guadalmellato, su

fuente de captación principal) son recurrentes no siendo extraño que duren varios años.

- Según los datos de Emacsa existe una correlación exponencial entre lluvias anuales y volumen de agua embalsada de forma que, con lluvias anuales del orden de 600 L/m², el volumen máximo del embalse se situaría en unos 105 hm³, asegurando sobradamente el abastecimiento a la ciudad para 2-3 años.
- El abastecimiento a Córdoba tiene una garantía adicional que es el embalse de Navallana como fuente de captación de emergencia, cuyo relleno se da tanto por su propia cuenca receptora, como por los desagües procedentes de Guadalmellato, como por recarga desde el río Guadalquivir cuando el caudal de este lo permite.
- Cuando hay que mezclar aguas de Guadalmellato con Navallana (agua de peores características), la calidad del agua final producida cumple sin problemas con los criterios establecidos en el RD 3/2023, incluso en cuanto a parámetros orgánicos, fitosanitarios, subproductos de desinfección y fármacos.

- Aún cuando el agua sea de alta calidad, los pequeños cambios de color y turbidez y los incrementos de dureza y conductividad (que difícilmente pueden ser detectados por los clientes) provocan quejas de calidad de los consumidores, como ocurrió en agosto y septiembre de 2023.
- Para evitar situaciones de este tipo es esencial una correcta y periódica información a los consumidores sobre la calidad del agua servida por parte del gestor del abastecimiento.

Bibliografía

- [1] AWWA-ASCE (1997). Water treatment plant design. Mc-Graw Hill, 5ª ed. (2012) New York.
- [2] Confederación Hidrográfica del Guadalquivir-CHG. SAIH: Sistema Automático de Información Hidrológica de la Cuenca del Guadalquivir, <https://www.chguadalquivir.es/saih>.
- [3] Crittenden J.C.; Trussell, R.R.; Hand, D.W.; Howe, K.J.; Tchobanoglous, G. (2012). Water treatment. Principles and design. MWH, 3 ed., New York.
- [4] Degrémont (2005). Manual técnico del agua. Ed. Degrémont-Suez, 10ª ed., París.
- [5] Marín Galván, R. (2019). Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de Calidad de aguas. Díaz de Santos, 2ª ed., Madrid.
- [5] Marín Galván, R.; González Jiménez, M.M.; Alonso Pérez de Siles, L. (2023). Nuevo RD de aguas de consumo en España y control operacional: control operativo aplicado a las ETAP de Emacsa en Córdoba. Retema, núm. 244, págs.162-169.
- [6] Ministerio de Transformación Ecológica y Reto Demográfico. www.miteco.gob.es.
- [7] Tchobanoglous, G.; Schroeder, E.D. (1985). Water quality. Adisson Wesley. 

MÁS ARTÍCULOS EN:
www.tecnoaqua.es