

CARACTERIZACIÓN HIDRODINÁMICA E HIDROQUÍMICA

preliminar del río Guadalmanza
 (Estepona, Málaga) y el acuífero
 aluvial asociado

PRELIMINARY HYDRODYNAMIC AND HYDROCHEMICAL

characterisation of the
 Guadalmanza River (Estepona,
 Malaga) and the associated
 alluvial aquifer

José Manuel Nieto López, Adrián Palomino Gómez, Manuel Argamasilla Ruiz, Miguel Ángel Díaz Hurtado
 Fundación Centro Andaluz de Investigaciones del Agua (CETAQUA Andalucía)

Juan Antonaya Avi
 HIDRALIA, Gestión Integral de Aguas de Andalucía S.A.

Ana Ortuño Morales
 AQUATEC, Proyectos para el sector del agua, S.A.U.

El proyecto NERO tiene como objetivo la adaptación y aplicación de novedosas metodologías para el diagnóstico espacial de zonas susceptibles de almacenar y/o transmitir el agua de forma factible, es decir, de cartografiar lugares donde potencialmente existen acuíferos y sus características hidrogeológicas permitan un uso del agua racional y sostenible. Así mismo, y de forma paralela, en este proyecto se ha llevado a cabo una caracterización hidrogeológica en detalle de los acuíferos de la zona del río Guadalmanza (Estepona – Málaga) para evaluar sus recursos hídricos y así poder llevar a cabo una planificación hidrológica que permita extracciones de agua sostenibles.

Palabras clave
 Acuíferos, recursos hídricos, planificación hidrológica

The NERO project aims to adapt and apply innovative methodologies for the spatial diagnosis of areas likely to store and / or transmit water in a feasible way, that is, to map places where aquifers potentially exist and their hydrogeological characteristics allow a rational and sustainable use of water. Likewise, and in parallel, in this project a hydrogeological characterization has been carried out in detail of the aquifers of the Guadalmanza River area (Estepona – Málaga) to evaluate their water resources and thus be able to carry out a hydrological planning that allows sustainable water extractions.

Keywords:
 Aquifers, water resources, hydrological planning



1. INTRODUCCIÓN

El incremento poblacional y turístico, junto al desarrollo socioeconómico de la Costa del Sol Occidental, han generado una considerable presión sobre los recursos hídricos. Las estrategias basadas en el uso conjunto de recursos superficiales y subterráneos representan una solución idónea para satisfacer la demanda y paliar los problemas de déficits (Sahuquillo, 1993). En la Costa del Sol Occidental se lleva a cabo una gestión conjunta, mediante el embalse de la Concepción (57 hm³ de capacidad), la desaladora de Marbella y una serie de baterías de pozos ubicados en la masa de agua subterránea de Marbella-Estepona.

En esta masa de agua predominan los acuíferos detríticos que, habitualmente, se encuentran sometidos a presiones antrópicas, como es el caso del acuífero aluvial del río Guadalmanza (Figura 1), y donde es de gran importancia conocer la relación entre aguas superficiales y subterráneas. Ello condiciona el funcionamiento hidrodinámico y la composición química de las aguas (Winter et al., 1999; Winter, 2001; Sophocleus, 2002).

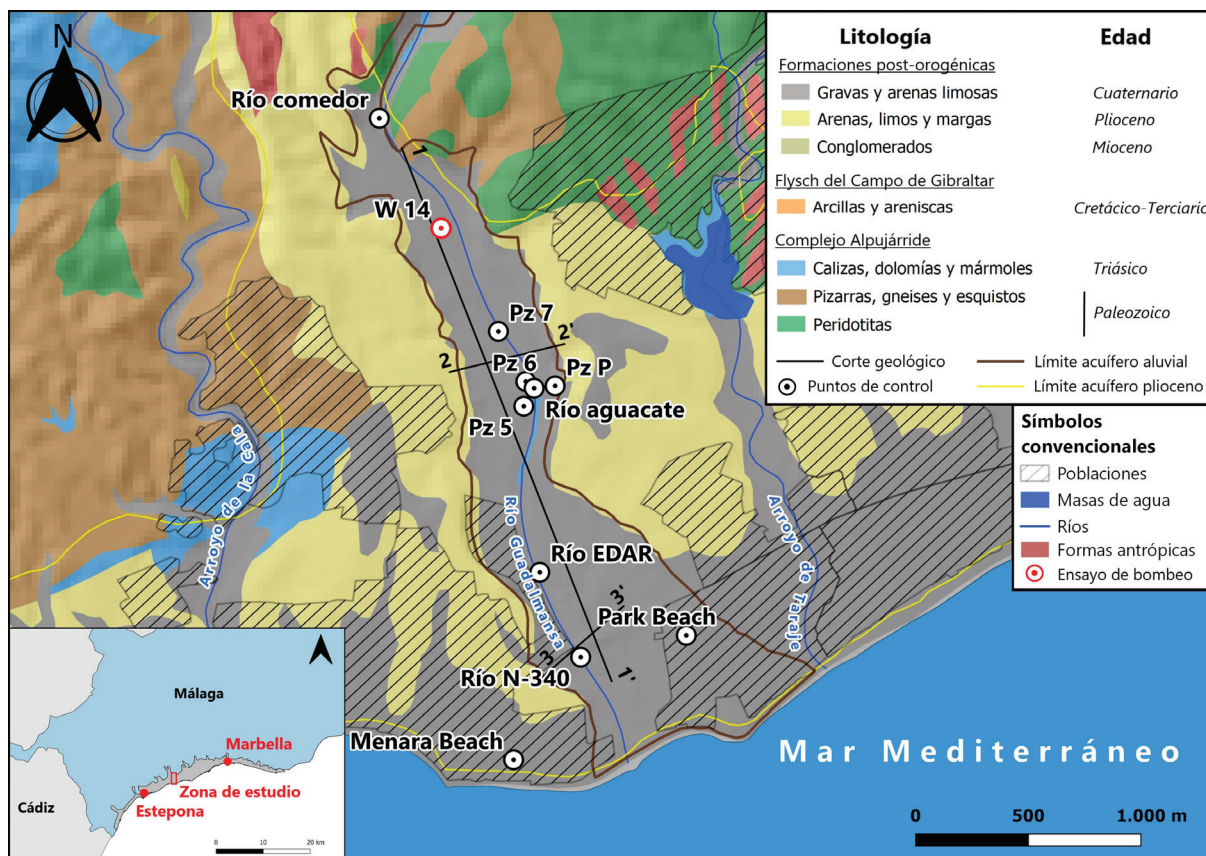
1. INTRODUCTION

An increasing population and growth in tourism, along with the socio-economic development of the Western Costa del Sol, have put considerable pressure on water resources. Strategies based on the combined use of surface and groundwater resources constitute an ideal solution to meet the demand and alleviate the problems of water shortages (Sahuquillo, 1993). A joint management system is currently implemented in the Western Costa del Sol, using a combination of the Concepción reservoir (57 hm³ capacity), the Marbella desalination plant and a series of pumping wells located in the Marbella-Estepona groundwater body.

This water body is predominately composed of detrital aquifers which are commonly subject to anthropic pressures, as is the case of the alluvial aquifer of the Guadalmanza River (Figure 1). Knowledge of the relationship between surface water and groundwater is of great importance, given that it conditions the hydrodynamic functioning and chemical composition of water (Winter et al., 1999; Winter, 2001; Sophocleus, 2002).

FIGURA 1. Mapa geológico de la zona de estudio

FIGURE 1. Geological map of the study area



Debido a que no existen abundantes estudios efectuados en estos acuíferos que permitan conocer con exactitud la cantidad y la calidad de los recursos hídricos, a excepción de algunas investigaciones (Argamasilla, 2017), es preciso llevar a cabo nuevos trabajos. Para ello Hidralia, empresa medioambiental gestora del agua en cinco de los once municipios costasoleños, ha financiado la que aquí se presenta, cuyos objetivos fueron:

- Caracterizar el funcionamiento hidrológico, hidrogeológico e hidroquímico del acuífero aluvial del Guadalmanza.
- Estudiar las relaciones río-acuífero existentes.

2. METODOLOGÍA

Para cumplir estos objetivos se han aplicado metodologías de investigación hidrogeológicas, que incluyen la medida de niveles piezométricos y caudales, así como la toma de muestras en diversos sondeos y en las aguas del río Guadalmanza (Figura 2) para el análisis de la composición química y de metales en las aguas. También se ha realizado una campaña de prospección geofísica para mejorar el conocimiento de la geometría del acuífero aluvial, más superficial, lo que ha permitido conocer su geometría y sus espesores saturados. Adicionalmente, se efectuaron una serie de afo-

Because few studies have been conducted on these aquifers to provide exact information on the quantity and quality of water resources, with the exception of some research (e.g., Argamasilla, 2017), new studies are required. Therefore, Hidralia, the environmental enterprise responsible for water management in five of the eleven municipalities on the Costa del Sol, took the decision to fund the study presented here, the objectives of which were:

- To characterise the hydrological, hydrogeological and hydrochemical functioning of the Guadalmanza alluvial aquifer.
- To study current river-aquifer relations.

2. METHODOLOGY

Hydrogeological research methodologies were implemented to meet these objectives. These include measurement of piezometric levels and flowrates, as well as sampling in a number of boreholes and in the waters of the Guadalmanza River (Figure 2) in order to analyse the chemical composition of water and metals concentrations. A geophysical prospecting campaign was also conducted to improve knowledge of the geometry of the shallower alluvial aquifer, as well as to provide information on saturated thicknesses. In addition, a number of flow measurements were

FIGURA 2. Muestreo y medida de parámetros fisicoquímicos en el río Guadalmanza

FIGURE 2. Sampling taking and measurement of physico-chemical parameters in the Guadalmanza River





ros (medidas de caudal) en diferentes puntos del río Guadalmanza para estudiar las relaciones río-acuífero.

3. MARCO FÍSICO

El área de estudio se ubica en la zona costera mediterránea, caracterizada por un clima mediterráneo, con una temperatura y precipitación medias históricas de 18°C y 680 mm/año, respectivamente.

El río Guadalmanza se localiza en la masa de agua subterránea Marbella-Estepona (060.040), caracterizada principalmente por la presencia de acuíferos detríticos (arenas y gravas) del Plioceno y del Cuaternario, y se apoyan sobre las formaciones de la zona interna de la Cordillera Bética (rocas ultrabásicas, gneises y

taken out at gauging stations at different points of the Guadalmanza River to study river-aquifer relations.

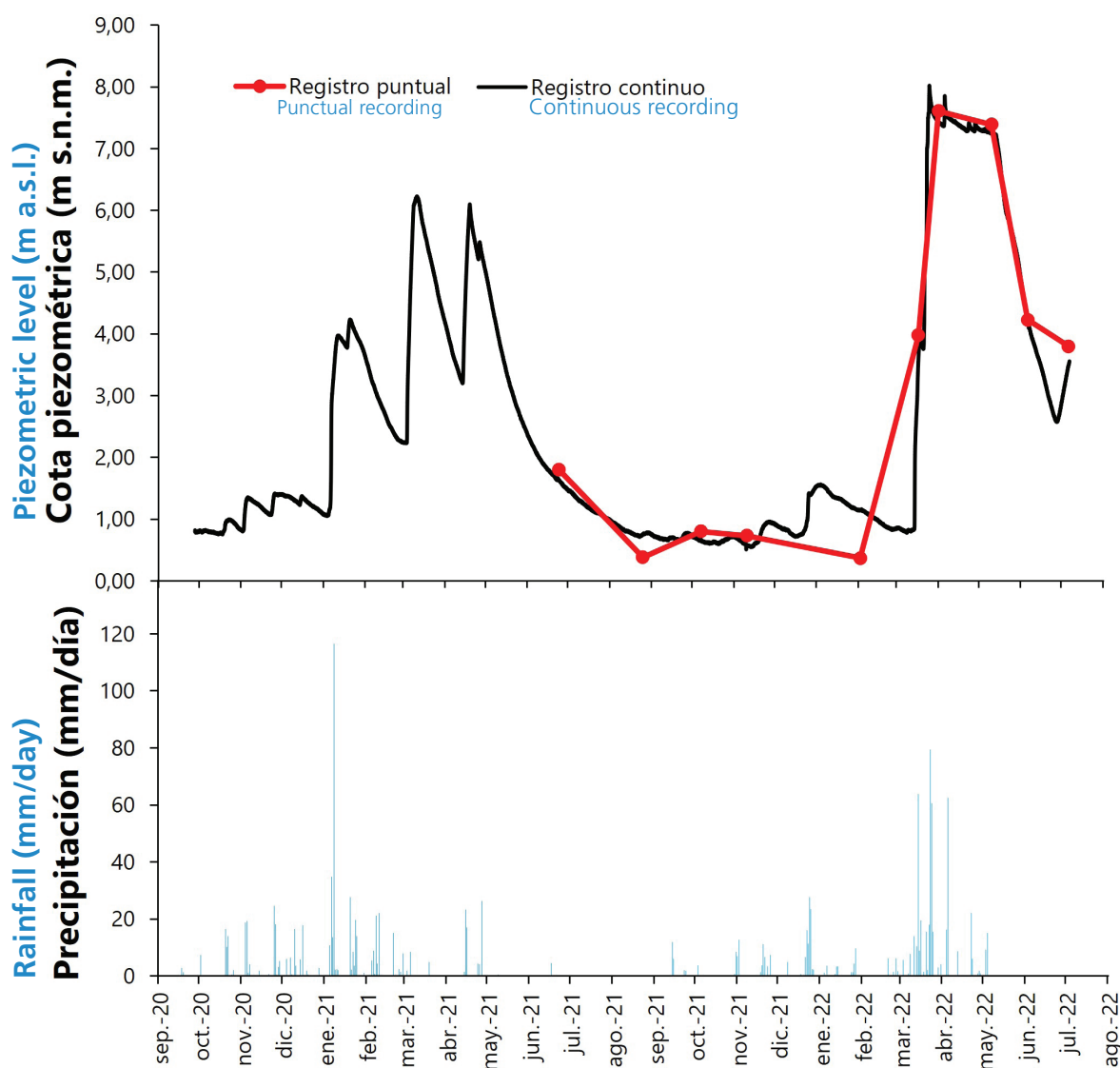
3. PHYSICAL FRAMEWORK

The study area is located in the Mediterranean coastal area, characterised by a Mediterranean climate, with a historical average temperature of 18°C and rainfall of 680 mm/year.

The Guadalmanza River is located in the Marbella-Estepona groundwater body (060.040), which is mainly characterised by the presence of detrital aquifers (sands and gravels) from the Pliocene and Quaternary periods, and rests on the formations of the internal zone of the Betic Cordillera (ultrabasic

FIGURA 3. Registros piezométricos, continuo y puntual, efectuados en el sondeo Pz-6

FIGURE 3. Continuous and punctual recordings of piezometric levels, taken in the Pz-6 borehole



pizarras del Complejo Alpujárride) (Figura 1).

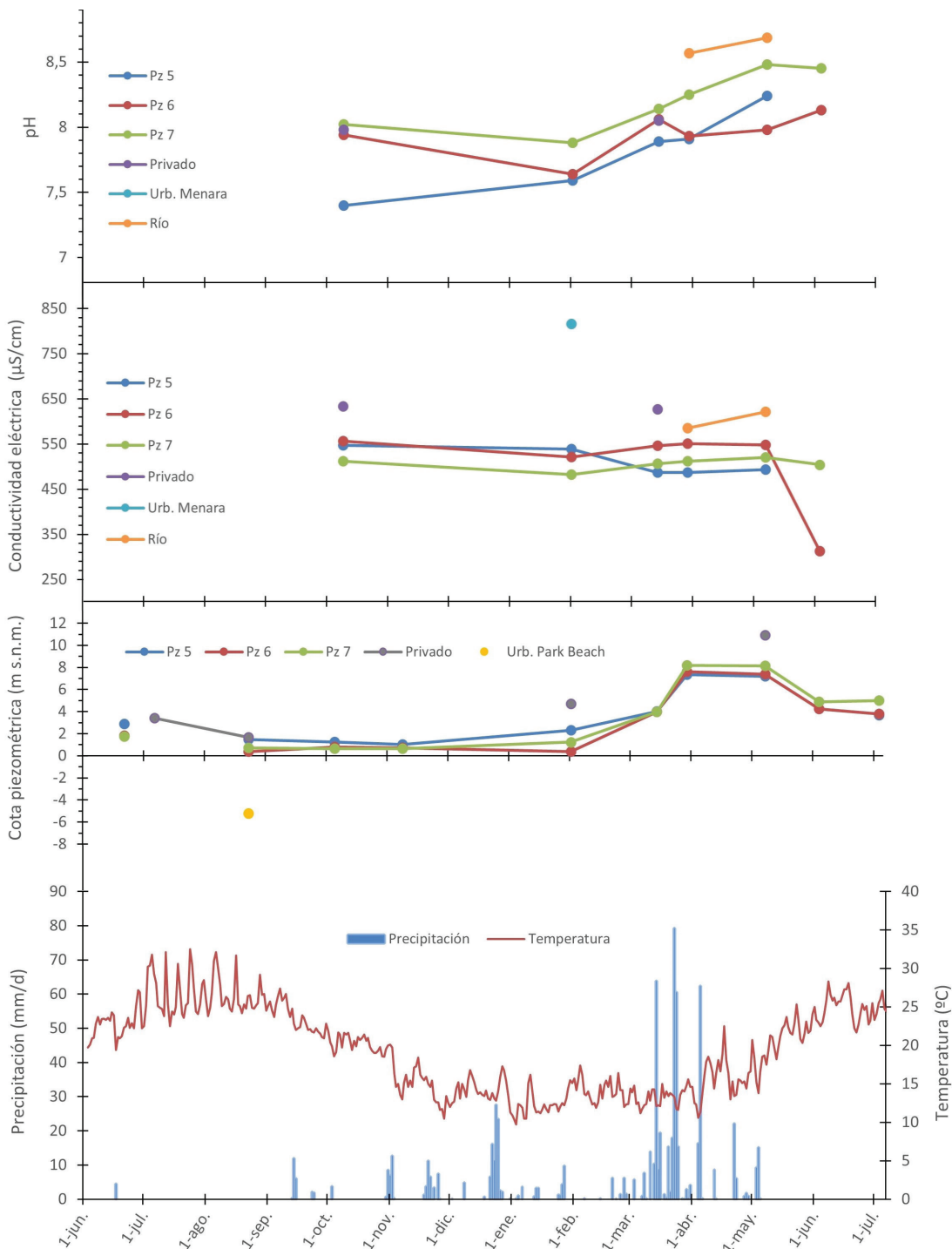
Los materiales cuaternarios son principalmente de tipo aluvial, los cuales se sitúan discordantes sobre los pliocenos, formados por arenas y margas, así como por conglomerados. Los sedimentos aluviales están formados por arenas y gravas cuyo espesor medio es

rocks, gneisses and slates of the Alpujárride Complex) (Figure 1).

The Quaternary materials are mainly of an alluvial type and have a discordant arrangement on top of Pliocene materials formed by sands and marls, as well as conglomerates. The alluvial sediments are made up

FIGURA 4. Series temporales de cota piezométrica, pH y conductividad eléctrica de varios puntos monitorizados durante la presente investigación

FIGURE 4. Time series of piezometric level, pH and electrical conductivity at different points monitored during this study





"UNA MAYOR REGULACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO GUADALMANSA, CUANDO EXISTEN EXCEDENTES Y LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS SE RECUPERAN, PERMITIRÍA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS EN ÉPOCAS DE ESCASEZ."

"GREATER REGULATION OF SURFACE WATER IN THE GUADALMANSA RIVER AT TIMES OF SURPLUSES AND WHEN PIEZOMETRIC LEVELS RECOVER WOULD IMPROVE THE AVAILABILITY OF WATER RESOURCES IN TIMES OF SCARCITY."

de 20 m, mientras que el de las formaciones pliocenas ronda los 120 m (DPM-GHUMA-IGME, 2007).

of sands and gravels with an average thickness of 20 m, while the Pliocene formations have a thickness of approximately 120 m (DPM-GHUMA-IGME, 2007).

4. RESULTADOS

4. RESULTS

4.1 Hidrodinámica

4.1 Hydrodynamic results

La figura 3 representa, para el sondeo Pz-6 (ver localización en figura 1), el registro continuo obtenido mediante un data logger, instalado en septiembre de 2020, que muestra la rápida respuesta del nivel piezométrico del acuífero aluvial a las precipitaciones. Este presenta notables ascensos de nivel piezométrico debidos a las precipitaciones de invierno y primavera de 2021, que van seguidos de rápidos descensos del mismo, debido al drenaje efectuado por el río Guadalmanza y por el mar Mediterráneo. Este comportamiento pone de manifiesto que, al tratarse de un acuífero de pequeñas dimensiones y de alta transmisividad debido a la presencia de gravas y bolos, la capacidad de retención del agua es escasa y, por tanto, presenta muy poca amortiguación e inercia.

Figure 3 shows continuous recordings obtained by a data logger installed in September 2020 in borehole Pz-6 (see location in Figure 1), indicating the rapid response of the piezometric level of the alluvial aquifer to rainfall. Notable rises can be observed in the piezometric level due to rainfall in winter and spring 2021, followed by rapid falls in the level as a result of drainage into the Guadalmanza River and the Mediterranean Sea. This behaviour shows that, because the aquifer has small dimensions and high transmissivity due to the presence of gravels and boulders, the water retention capacity is low and, consequently, the aquifer has very low buffering and inertia.

Las mediciones de caudal llevadas a cabo (Tabla 1) ponen de manifiesto comportamientos diferenciados de la relación río-acuífero durante el tiempo. Así, tras la escorrentía generada por las lluvias de marzo, de-

The flow measurements carried out (Table 1) show differentiated behaviour of the river-aquifer relationship over time. Thus, after the runoff generated by the March rains, and as a result of the

TABLA 1. Caudales medidos en los aforos diferenciales efectuados en el río Guadalmanza entre marzo y mayo de 2022.

TABLE 1. Flows measured in the differential gauging stations in the Guadalmanza River between March and May 2022.

Aforos/Flow Measurements (l/s)						
	1	2	3			
Fecha/Date	Comedor	Aguacate	N-340	$\Delta Q1-2$	$\Delta Q2-3$	$\Delta Q1-3$
17/03/2022	246	130	-	-117	-	-
01/04/2022	616	936	1.647	320	711	1.031
10/05/2022	397	1.129	755	732	-373	358
Media/Average	420	731	1.201	312	169	695

bido al llenado previo de la capacidad de campo del suelo en la cuenca vertiente, el agua que fluía por el río se infiltraba hacia el acuífero aluvial. Esto se debe en gran medida a que los niveles piezométricos se encontraban muy bajos, como se observó en la figura 3, y a que el lecho del río presenta una alta permeabilidad (visible por la presencia de grandes bolos y gravas). No obstante, cuando el agua infiltrada hace que los niveles del acuífero suban considerablemente, hasta situarse incluso por encima del propio nivel del río, se invierte la relación y el acuífero comienza a aportar agua al río. De esta forma, como se observa en los aforos efectuados el 01/04/2022, el río llega a aportar al acuífero del orden de 700 l/s a lo largo de su trayecto por el curso bajo.

4.2 Hidroquímica

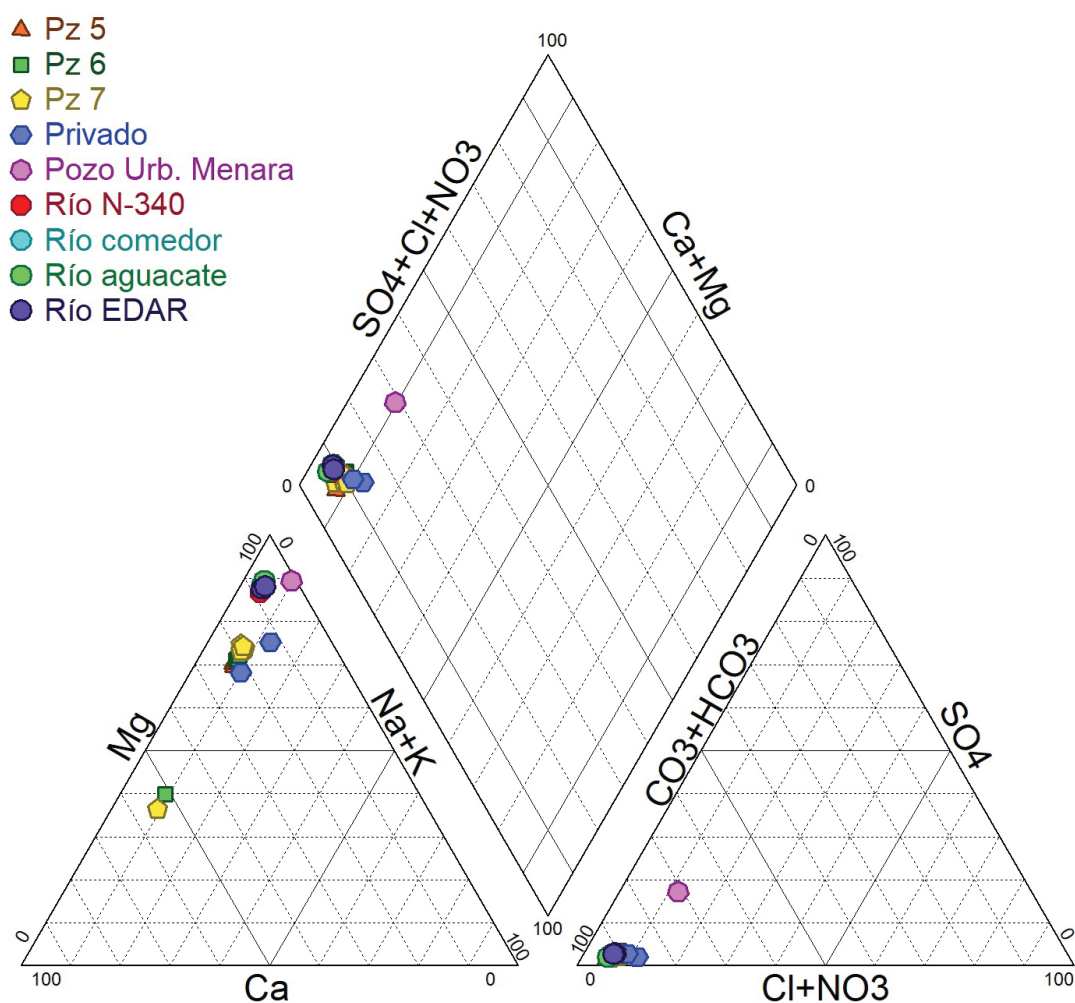
En la figura 4 se representa la evolución de la con-

prior filling of the field capacity of the soil in the catchment basin, the water flowing through the river infiltrated into the alluvial aquifer. This is largely due to very low piezometric levels, as shown in Figure 3, and the high permeability of the riverbed (visible due to the presence of large boulders and gravels). However, when the infiltrated water causes the aquifer levels to rise considerably, to the point where they are even higher than the river topographic level itself, the relationship gets reversed and the aquifer begins to contribute water to the river. Thus, as can be seen in the flow measurements carried out on 01/04/2022, the river contributes up to around 700 l/s to the aquifer along its lower course.

4.2 Hydrochemical results

Figure 4 shows the evolution of electrical conductivity (EC) and pH. The EC values taken at all the sampling

FIGURA 5. Facies hidroquímicas de las aguas subterráneas en los diferentes puntos de control
 FIGURE 5. Groundwater hydrochemical facies at the different monitoring points





ductividad eléctrica (CE) y el pH. La CE muestra valores muy similares en todos los puntos de muestreo, que varían entre los 480 y los 830 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores más reducidos se registraron en los puntos más cercanos al río Guadalmanza, el cual presenta incluso valores superiores a los mismos, mientras que los mayores valores se midieron en puntos situados más cerca del frente costero, debido a la influencia del mar Mediterráneo en el acuífero.

Los valores registrados de pH presentan una marcada tendencia ascendente tras las precipitaciones caídas en los meses de marzo y abril, de tal forma que algunos valores ascienden desde 8 hasta 8,7. Esto podría deberse a la influencia de los relieves peridotíticos de Sierra Bermeja situados aguas arriba, que aportan un mayor pH a las aguas debido a la circulación del agua de escorrentía sobre este tipo de roca, que es ultrabásica.

En el diagrama de Piper (Figura 5) se representan las facies hidroquímicas de todas las muestras de aguas superficiales y subterráneas tomadas durante el periodo de investigación. Todas ellas se ubican en el sector de las aguas de tipo bicarbonatadas magnésicas, lo que indica una buena calidad.

Los resultados del análisis de metales (Tabla 2) en las aguas subterráneas y superficiales del río Guadalmanza pone de manifiesto cómo, de forma general, la totalidad de las aguas presentan una calidad apta. Tan solo se observa que los puntos Pz-6, Pz-7 y Privado tienen concentraciones de Fe más elevadas. Dada la particularidad de estos puntos, es muy probable que estas altas concentraciones se deban al Fe aportado por el revestimiento de los pozos que, en algunos casos, superan los 15 años de vida.

TABLA 2. Comparación de las concentraciones (valores en $\mu\text{g}/\text{l}$) promedio de metales en los puntos de muestreo con los valores umbrales establecidos en el Real Decreto 140/2003.

	Valor umbral/ Threshold value RD 140/2003	Pz-5	Pz-6	Pz-7	Privado	Urb. Menara Beach	Río comedor	Río aguacate	Río EDAR	Río N-340
Al	200	9,79	6,39	8,36	8,03	0,81	5,46	11,38	13,82	9,91
Fe	200	26,57	398,8	457,7	264,7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Mn	50	3,13	4,06	11,26	4,02	N.D.	1,11	2,95	2,58	5,62
Ni	20	1,55	2,49	2,11	2,13	1,92	2,83	3,63	5,28	4,40
As	10	4,94	5,06	2,85	5,10	7,12	3,05	2,78	2,59	2,84
Zn	500	11,44	3,59	5,72	9,22	56,28	1,66	3,24	3,56	2,87

points are very similar, ranging from 480 and 830 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The lowest values were recorded at the points closest to the Guadalmanza River, with the river itself having even higher values, while the highest values were measured at points closer to shoreline, due to the influence of the Mediterranean Sea on the aquifer.

There is a distinct upward trend in the pH values recorded following the rainfall in March and April, with some values rising from 8 to 8.7. This could be due to the influence of the peridotite rocks of the Sierra Bermeja, located upstream, which contribute to raising the pH of the waters due to the circulation of runoff water over this ultrabasic rock type.

The Piper diagram (Figure 5) shows the hydrochemical facies of all surface and groundwater samples taken during the research period. All of them fall within the class of magnesium bicarbonate type water, indicative of good quality.

Analysis of metals (Table 2) in groundwater and surface water of the Guadalmanza River shows that, in general, all waters have an adequate quality. Only points Pz-6, Pz-7 and Privado have higher concentrations of Fe. Because of to the particular nature of these points, it is very probable that these high concentrations are due to the Fe contributed by the coatings of the wells which, in some cases, are more than 15 years old.

5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Water availability is decreasing in the context of climate change. This phenomenon is accentuated in the Mediterranean area and poses the challenge of ensuring water for different uses and particularly


TABLA 2. Comparison of the average concentrations (values in $\mu\text{g}/\text{l}$) of metals at the sampling points with the threshold values laid down in Royal Decree 140/2003.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La disponibilidad de recursos hídricos es cada vez menor en el contexto del cambio climático, aunque en el área mediterránea se acentúa, suponiendo un desafío para garantizar agua para los diversos usos que se hacen de ella, en especial para el abastecimiento urbano. En la Costa del Sol Occidental, además, este abastecimiento es de gran relevancia, ya que sustenta al muy importante sector turístico, que presenta una marcada estacionalidad -mayor afluencia turística en los meses de verano, coincidentes con el estiaje-. Por tanto, la búsqueda de recursos hídricos para satisfacer esta demanda, así como una adecuada regulación de las aguas superficiales y subterráneas, se plantea como uno de los objetivos para lograr mantener el desarrollo de la región. Así, se realiza esta investigación para caracterizar los potenciales recursos hídricos explotables del acuífero aluvial del entorno del río Guadalmanza.

Los resultados de la investigación ponen de manifiesto que la práctica totalidad de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, cumplen los criterios de calidad y son aptas para su potabilización y posterior distribución. Las mediciones hidrodinámicas, por su parte, señalan que existe una gran relación entre el río Guadalmanza y su acuífero aluvial, ya que cuando tienen lugar lluvias y el río no posee caudales circulantes, el agua se infiltra y recarga al acuífero, mientras que cuando los niveles piezométricos se recuperan, el acuífero comienza a aportar agua al río. Esto permite realizar la recomendación de una mayor regulación de las aguas superficiales del río Guadalmanza, cuando existen excedentes y los niveles piezométricos se recuperan, para mejorar la disponibilidad de recursos hídricos en épocas de escasez.

6. Bibliografía

- Argamasilla, M. (2017). Desarrollo metodológico para la planificación y gestión del agua en áreas turísticas costeras sometidas a clima mediterráneo y a grandes variaciones estacionales de la demanda. Caso de la costa del Sol Occidental. Tesis Doctoral, Universidad de Málaga, 444 pp.
- DPM-IGME-GHUMA (2007). Atlas Hidrológico de la provincia de Málaga. Diputación Provincial de Málaga; Instituto Geológico y Minero de España; grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga. 3 tomos. 704 pp.
- Sahuquillo, A. (1993). Papel de los acuíferos en la regulación de los recursos hídricos. Las aguas subterráneas. Importancia y perspectiva. Instituto Tecnológico Geominero de España y Real Academia de Ciencias Exactas, Física y Naturales. pp.103-117.
- Sophocleus, M. (2002). Interactions between groundwater and Surface water – The state of the science. Hydrogeology Journal, 10, 52-67.
- Winter, T.C. (2001). The concept of hydrological landscapes. Journal of the American Water Resources Association, 37(2), 335-349.
- Winter, T.C., Harvey, J.W., Franke, O.L. y Alley, W.M. (1999). Groundwater and Surface Water. A Single Resource. U.S. Geological Survey Circular, 1139, 87 pp. 

for urban supply. In the western area of the Costa del Sol, urban water supply is of great importance in sustaining a very significant tourism sector, characterised by a very seasonal nature, with the greatest influx of tourists occurring in the summer months. For this reason, the searching of water resources to satisfy this demand, as well as adequate regulation of surface water and groundwater, is a key objective in terms of consolidating the development of the region, giving rise to this study to characterise the potentially exploitable water resources of the alluvial aquifer of the Guadalmanza River area.

The results show that practically all the water, both surface and groundwater, meets quality requirements and is suitable for drinking water treatment and subsequent supply. The hydrodynamic measurements indicate an excellent relationship between the Guadalmanza River and its alluvial aquifer. When there is rain and the river has no circulating flows, the water infiltrates and recharges the aquifer, while when piezometric levels recover, the aquifer begins to contribute water to the river. This makes it possible to recommend greater regulation of the surface water of the Guadalmanza River when there are surpluses and piezometric levels recover, for the purpose of improving water availability in times of scarcity.

6. Bibliography

- Argamasilla, M. (2017). Desarrollo metodológico para la planificación y gestión del agua en áreas turísticas costeras sometidas a clima mediterráneo y a grandes variaciones estacionales de la demanda. Caso de la costa del Sol Occidental. Tesis Doctoral, Universidad de Málaga, 444 pp.
- DPM-IGME-GHUMA (2007). Atlas Hidrológico de la provincia de Málaga. Diputación Provincial de Málaga; Instituto Geológico y Minero de España; grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga. 3 tomos. 704 pp.
- Sahuquillo, A. (1993). Papel de los acuíferos en la regulación de los recursos hídricos. Las aguas subterráneas. Importancia y perspectiva. Instituto Tecnológico Geominero de España y Real Academia de Ciencias Exactas, Física y Naturales. pp.103-117.
- Sophocleus, M. (2002). Interactions between groundwater and Surface water – The state of the science. Hydrogeology Journal, 10, 52-67.
- Winter, T.C. (2001). The concept of hydrological landscapes. Journal of the American Water Resources Association, 37(2), 335-349.
- Winter, T.C., Harvey, J.W., Franke, O.L. y Alley, W.M. (1999). Groundwater and Surface Water. A Single Resource. U.S. Geological Survey Circular, 1139, 87 pp. 