

TRABAJOS ORIGINALES

ORIGINALS WORKS

Evolución geoquímica y problemática del uso del acuífero del Arroyo Marín (Archidona-Málaga)

Geochemical evolution and the problems arising from the use of water from the Arroyo Marín aquifer (Archidona-Málaga)

CIRRE A, SIERRA M, SAENZ DE BURUAGA I, ROCA A.

Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Granada.

E-mail: anacirre@hotmail.com; csierra@ugr.es; isaura@ugr.es.

RESUMEN

El estudio de las facies químicas del Arroyo Marín, afluente más importante del río Guadalhorce, se justifica por el carácter selenitoso de las aguas aportadas por los numerosos manantiales existentes en la margen izquierda del arroyo y que modifican notablemente las características organolépticas del río Guadalhorce que nutre de agua a la provincia de Málaga. Además, desde el punto de vista sanitario se aprecian altas concentraciones de magnesio y nitratos, que desaconsejan su consumo humano, hecho importante por ser una zona de tránsito para excursionistas.

El acuífero analizado está marcado a su vez por la actividad del imponente karst de yesos de Archidona, cuya cuenca de recepción tiene numerosas dolinas y las aguas drenan por conexiones subterráneas laberínticas, poco conocidas, que consolidan las facies hidroquímicas del suelo.

PALABRAS CLAVE: Trías de Antequera. Karst de yesos. Hidrología.

ABSTRACT

The chemical facies from the stream Arroyo Marín, the largest tributary to the river Guadalhorce, is considered to be worthy of study, due to the high selenium content in the waters emanating from the numerous springs found to the left margin of the stream. These waters considerably modify the organoleptic characteristics of the river Guadalhorce, which serves as an important source of water for the province of Malaga. Furthermore, from a health safety point of view, these waters present high concentrations of magnesium and nitrate, rendering them unsuitable for human consumption. This is an important consideration, given that the areas is popular as a country trekking destination.

The aquifer under analysis is also characterised by the imposing activity of the Archidona gypsum karst, whose rainfall catchment area has numerous sinkholes. The water is subsequently drained into the ground through a little known labyrinth of subterranean connections, which help determine the hydrochemical facies of the terrain.

KEY WORDS: Trías de Antequera. Gypsum karst. Hydrology.

Recepción: 17-II-2006

Aceptación: 28-VI-2006

INTRODUCCION

El estudio que iniciamos tiene manifiesto interés sanitario y socio-económico y se enmarca dentro del protocolo del programa de Atención Sanitaria. El objetivo es conocer la evolución hidroquímica y calidad de las aguas, obteniéndose datos del

INTRODUCTION

The study being undertaken is of interest from both a health safety and socio-economic point of view and falls within the framework of a health care program protocol. The objective of the study is to discover the hydrochemical

pluviolavado en diferentes puntos del arroyo a fin de establecer la variabilidad espacial de las entradas del agua al ecosistema, insistiendo sobre usos hídricos^{1,2} y los problemas sanitarios que pueden derivar por el consumo humano³.

El territorio tiene como eje el arroyo Marín, y se ubica en el límite de la Reserva Natural de las Lagunas (Archidona-Málaga). Es una estructura circular diapírica, relacionada con el karst evaporítico del Triás de Antequera⁴. Discurre por una profunda garganta, con forma de doble hoz, que va desde la confluencia del arroyo de Fuente de la Lana con el de la Viña, hasta la desembocadura en el río Guadalhorce.

Geomorfología. Las vertientes constituyen grandes farallones, entre 30 y 45m de altura, que encajan al arroyo, cuyas cornisas conectan con las mesetas triásicas creando distintas franjas, erosivo-estructurales (Fig. 1). Morfológicamente se pueden diferenciar en la meseta triásica tres desniveles. El reborde apical conocido como Peñas Prietas, que mantiene la vegetación boscosa; le sigue una superficie casi plana (exokarst bien desarrollado) que actúa como cuenca hídrica que drena al arroyo Marín. En la margen izquierda (Loma del Pinar), hay un plano inclinado (Las Lagunillas) que buza hacia Archidona, motivo de la ausencia de fuentes en dicha margen del arroyo, pensamos que las diferencias morfológicas entre los dos subsectores, vienen dadas por la proximidad de la Sierra de Archidona, interviniendo en el proceso geomorfológico junto al encajamiento del arroyo, modificando hacia el norte el basculamiento acaecido tras la peniplanización.

Lhenaff⁵ achaca el modelado kárstico a un proceso isostático relacionado con el inicio del encajamiento del arroyo. En este sentido Durán⁶, estableció un mecanismo de competencia entre el encajamiento del arroyo y el diapirismo de la zona.

La serie estratigráfica se compone de arcillas y carniolas pleistocenas en superficie, seguidas de un potente manto de yesos, con fragmentos decimétricos de naturaleza caliza o dolomítica, de facies Muschelkalk; son de desigual potencia y presentan distintos grados de dolomitización⁷, dato a tener en cuenta a la hora de establecer la dinámica del magnesio en la fase hídrica.

evolution of the area and the quality of its waters, and to obtain data from different rainfall runoff points along the stream, in order to establish the spatial variability of water entrances into the ecosystem. Special attention was given to the uses of this hydric resource^{1,2} and the possible health problems that may arise from its consumption by humans³.

Arroyo Marín forms the axis of the terrain, and is situated near the boundary of the Lagunas Natural Reserve (Archidona, Málaga). It has a circular diapiric structure, associated with the evaporitic karst of the Trias de Antequera area⁴. The stream flows through a deep gorge, in the shape of a double sickle, which joins Arroyo de Fuente de la Lana and Arroyo de la Viña, before finally flowing into the River Guadalhorce.

Geomorphology. The watersheds are formed by rocky crags of between 30 and 40 metres in height, bordering the stream. Its ridges connect with the triassic plateaus, creating different erosive-structural borders (fig.1). The plateau can be morphologically differentiated into three different levels. The apical ridge known as Peñas Prietas, supports a woodland vegetation, and continues on to an almost flat surface (well developed exokarst), which acts as a hydric basin that drains the Arroyo Marín stream. Within the left margin of the stream (Loma del Pinar), there is a flat slope (Las Lagunillas) descending downwards towards Archidona, which explains the absence of springs throughout this margin of the stream. We believe that the morphological differences between the subsectors of the area are the result of the proximity of the Sierra de Archidona, which affected the geomorphological process and the wedging out of the stream, modifying inclination after base levelling of the plain in the northern region.

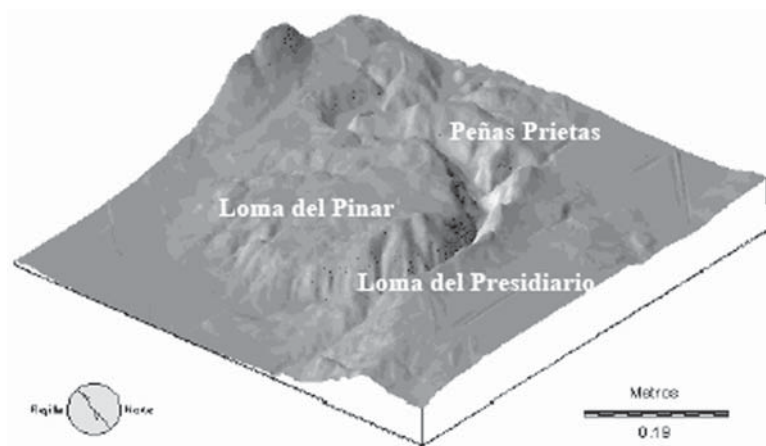
Lhenaff⁵ attributes the karstic model to an isostatic process taking place on commencement of the wedging out of the stream. Similarly, Durán⁶, established a competitive mechanism between the wedging out of the stream and the diapirism of the area.

The stratigraphic series is composed of clays and pleistocene carniolas on the surface, followed by a thick layer of gypsum with decimetric fragments of a limestone or dolomitic

nature, of Muschelkalk facies. These layers are not equal in thickness and present different degrees of dolomitization⁷. This should be taken into account when establishing the magnesium dynamic in hydric phase.

FIGURA 1. Modelo tridimensional de relieve del sector del Arroyo Marín.

FIGURE 1. Tridimensional relief model of the Arroyo Marín terrain.



MATERIAL Y METODOS

La parte experimental se fundamenta en los métodos de campo, gabinete y laboratorio, que a continuación se exponen.

En gabinete se ha elaborado el modelo digital del terreno tomando como base la fotografía aérea y comprobación de campo. Posteriormente se sometió a tratamiento informático mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) IDRISI para Window, complementado con los software COREL 10 y Microsoft Power Point 2000.

Para la toma de muestras, transporte, análisis y evaluación de la calidad del agua desde el punto de vista sanitario, se ha seguido la normativa vigente recogida en BOE^{8,9,10}. Los oligoelementos se han cuantificado mediante IPC-Base. Las tomas son muestras simples, recogidas en los meses de mayo y junio (1998). Se han tomado ocho muestras, cuya localización, procedencia, naturaleza y altitud se incluyen en la tabla 1¹¹.

A la vista de los resultados analíticos de las aguas, se procedió a su clasificación, para lo que se han seguido los criterios de Schoeller) y Shchukarev¹¹.

Para evaluar las restricciones de uso agrícola utilizamos la normativa de FAO¹² y Petry et al¹³.

MATERIALS AND METHODS

The experimental phase explained below, was carried out using field study, gabinete, and laboratory methods.

In model form, a digital model of the terrain was created using aerial photographs and field data. Subsequently, the model was subjected to computer analysis using the Geographic Information System (GIS) IDRISI for Windows, in conjunction with COREL 10 software and Microsoft Power Point 2000.

In the assessment of the salubrity of the water, sample taking, its transportation, analysis and assessment were carried out in accordance with current Spanish regulations (BOE^{8,9,10}). The oligoelements were quantified using IPC-Base. Simple samples were taken during the months of May and June (1998). The location, origin, nature and altitude of the eight samples taken are shown in table 1¹¹.

The analytical results of the samples were classified in accordance with the criteria described by Scholler and Shchukarev¹¹.

FAO¹² and Petry et al¹³ regulations were applied in the determination of whether water samples were suitable or not for agricultural use.

TABLA 1. Localización y origen de las muestras del arroyo Marín.
TABLE 1. Location and source of Arroyo Marín samples.

Muestra nº Sample no.	Procedencia Name of Origin	Origen Source	Localización Location	Altitud (m) Altitude (m)
A-34	Fuente de La Teja	Fuente Spring	30SUG377941053	680
A-35	Arroyo Marín 1	Arroyo Stream	30SUG377241058	650
A-36	Arroyo Marín 2	Manantial Spring	30SUG377141037	635
A-37	Arroyo Marín 3	Manantial Spring	30SUG376141030	629
A-38	Arroyo Marín 4	Manantial Spring	30SUG375041029	615
A-39	Arroyo Marín 5	Manantial Spring	30SUG373441047	535
A-40	Cortijo La Saucedilla	Pozo-10 m. Well-10 m.	30SUG378241032	752
A-41	Arroyo Marín 6	Arroyo Stream	30SUG373441032	520

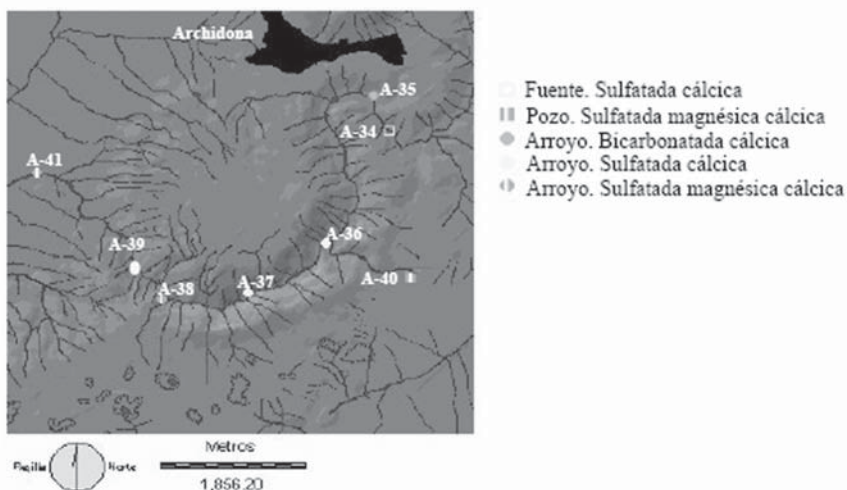
PARTE EXPERIMENTAL

En la figura 1 se expone el bloque diagrama del área estudiada y en la figura 2 se señala el tipo de red hidrográfica, la ubicación de las muestras y tipo de facies hídricas.

EXPERIMENTAL EVIDENCE

Figure 1 shows the block diagram of the area studied and figure 2 shows the type of hydrographical network, the location of samples and the types of hydric facies.

FIGURA 2. Situación de las muestras, red hidrográfica y facies hidroquímica.
FIGURE 2. Location of samples, hydrographic network and hydrochemical facies.



Resultados analíticos y discusión.

Los resultados obtenidos del análisis de aguas, son recogidos en las tablas 2, 3, 4 y 5.

En referencia a los parámetros químicos (tabla 2), prácticamente no hay problemas que limiten el uso, aunque destaca la presencia de Ni¹⁴, hecho bastante común en las aguas de los manantiales triásicos, razón que permite concretar el origen geoquímico de las aguas del sector, hecho que marca la excepción en las aguas pertenecientes a la Fuente de La Teja y del final del arroyo, cuando se sale de los límites triásicos.

Analytical results and discussion.

The results obtained from the samples are shown in tables 2, 3, 4 & 5.

In terms of chemical parameters (table 2), no reasons for limiting the use of this water were found to exist. However, a notable presence of Ni¹⁴ was encountered, but this is a common occurrence in triassic terrain spring water and enables us to determine the geochemical origin of the waters of the sector. The same is not true in the case of waters originating from La Fuente de La Teja and the end of the stream, given that these areas fall outside the limits of the triassic area.

TABLA 2. Parámetros químicos.

TABLE 2. Chemical parameters.

PARAMETROS QUIMICOS (R.D. 140/2003; Anexo I Apdo. B.1.) CHEMICAL PARAMETERS (R.D. 140/2003, Appendix I, Section B.1.)													
	Sb	As	B	Cd	Cu	Cr	F	Hg	Ni	NO ₃ ⁻ mg/L	Pb	Se	
Valor (µg/L) Value (µg/L)	5	10	1000	5	2000	50	1500	1	20	50	25	10	
Muestra Sample	A-34	0.002	0.1	542	0	0	2.2	51	0.1	10	4	0	0
	A-35	0.01	0.6	641	0	0	2.1	12	0.3	26	0	0	0
	A-36	0.01	0.6	523	0	0	2.2	90	0.02	21	28	0	0
	A-37	0.1	0.7	357	0	0	2.7	11	0.03	23	20	0	0
	A-38	0.01	0.8	519	0	0	2.9	10	0.2	23	51	0	0
	A-39	0.04	0.9	411	0	0	2.6	24	0.4	23	6	0	0
	A-40	0.03	0.2	112	0	0	2.5	5	0.05	21	0	0	0
	A-41	0.01	0.1	234	0	0	2.1	15	0.01	11	12	0	0

Los nitratos de la muestra A-38 superan ligeramente los valores paramétricos (según R.D. 140/2003). Su origen es claro y se debe a la contaminación agrícola por el exceso de abonado nitrogenado, hecho bastante común¹⁵ y cuya ingestión puede causar la enfermedad denominada metehemoglobinemia¹⁶, aunque autores como Wild¹⁷ consideran poco probable que los nitratos presentes en las aguas potables sea un problema serio para la salud.

The nitrates in sample A-38 present values that are slightly higher than parametric values (according to Royal Decree 140/2003). The reason for such, and as a fairly common occurrence¹⁵, is clearly attributable to an excessive use of nitrogenated fertilizers in local farming activities. The presence of nitrates in waters is thought to bring about the possible onset of an illness known as metehemoglobinemia¹. However, authors such as Wild¹⁷ don't consider

El boro se encuentra en cantidad no preocupante, pero su presencia puede deberse más a las mencionadas prácticas agrícolas que a su liberación geoquímica. Los demás elementos no se detectan o lo hacen en cantidades meramente testimoniales.

Respecto a los parámetros indicadores del R.D. 140/2003: Anexo I Apdo. C, (Tabla 3) cabe señalar que las aguas analizadas son básicas (pH 7,8-8,2), la conductividad eléctrica es generalmente superior al valor paramétrico propuesto (2,5 dS/m).

that this is likely to pose any serious threat to human health.

Boron, is not encountered in quantities that can be considered as a matter of concern and as in the case of the nitrates, its presence is attributable to agricultural activity, rather than through geochemical liberation. The remaining elements were either not detected at all or were detected in mere symbolic quantities.

With respect to the parameters stipulated in the Royal Decree 140/2003, appendix 1, section C (Table 3), the analysis of these waters shows them to be of basic nature (pH 7, 8-8, 2), with slightly higher electric conductivity values than those proposed in the decree (2.5 ds/m).

TABLA 3. Parámetros indicadores.

TABLE 3. Indicating parameters.

PARAMETROS INDICADORES (R.D. 140/2003; Anexo I Apdo. C) INDICATING PARAMETERS (R.D. 140/2003; Appendix I Section C)									
		Clorur (mg/L) <i>Chloride</i> (mg/L)	CE 20°C dS/ cm <i>CE</i> 20°C dS/ cm	Oxidab (O ₂ /L) <i>Oxidab</i> (O ₂ /L)	Fe (µg/L) <i>Fe</i> (µg/L)	Mn (µg/L) <i>Mn</i> (µg/L)	pH <i>pH</i>	Na (mg/L) <i>Na</i> (mg/L)	Sulfat (mg/L) <i>Sul-phate</i> (mg/L)
Valor paramétrico <i>Parametric value</i>		250	2,5	5	200	50	6,5-9	200	250
Muestra <i>Sample</i>	A-34	87	1,4	1,1	26	0.1	7,9	57	201
	A-35	88	2,1	2,8	29	0.1	8,1	55	716
	A-36	128	2,9	1,6	29	0	8,0	82	860
	A-37	160	3,1	1,8	31	0.1	8,2	106	1390
	A-38	60	2,5	0,7	36	0.1	8,2	39	1778
	A-39	121	2,8	1,2	39	0.1	8,1	79	939
	A-40	83	2,6	1,6	31	0.1	7,9	54	679
	A-41	56	1,3	1,1	27	0.1	7,8	35	331

La concentración de sulfatos es muy superior al valor máximo exigible para un agua potable en todas las muestra, excepto la A-34 que es bicarbonatada cálcica, fuera del Trías.

En las tablas 4 y 5, se incluyen los resultados de otros elementos químicos, no considerados en el RD 140/2003 para la determinación de la calidad de aguas potables.

The concentration of sulphates was much higher than maximum permissible values for drinking water in all samples, except for sample A-34 which is a calcium bicarbonate water.

Tables 4 & 5 show the results obtained for other chemical elements not contemplated in the Decree for the determination of drinking water quality.

TABLA 4. Otros datos analíticos.
TABLE 4. Other analytical data.

OTROS DATOS ANALITICOS (R.D. 1138/1990 y FAO 1987) OTHER ANALYTICAL DATA (R.D. 1138/1990 & FAO 1987)								
Determinación <i>Determination</i>	34	35	36	37	38	39	40	41
Dureza (°F) <i>Hardness (°F)</i>	77	83	109	100	217	125	87	60
Residuo Seco (180°C mg/L) <i>Dry residue (180°C mg/L)</i>	1304	1556	1748	2436	2967	1851	1482	1096
SAR ° <i>SAR °</i>	0.1	1.6	1.1	1.2	0.4	1.1	1	0.8
Bicarbonatos <i>Bicarbonates</i>	690	220	226	207	390	290	215	317
Calcio <i>Calcium</i>	176	285	128	306	341	240	256	188
Magnesio <i>Magnesium</i>	81	55	187	231	340	159	58	32
Potasio <i>Potassium</i>	11.9	12.3	11.9	11.1	13.9	11.7	11.5	11.5
Magnesio/Calcio <i>Magnesium/Calcium</i>	0.4	0.2	1.4	0.7	1	0.6	0.2	0.1

TABLA 5. Continuación otros datos analíticos.
TABLE 5. Other analytical data continued.

	Y	Mo	Ind	Sn	Bi	Sc	Tl	U	Th
$\mu\text{g/L}^{-1}$	0,142	0,886	0	0	0,021	3,385	0,012	1,05	0,029

Respecto del Mg^{2+} hay que señalar su relación con el Ca^{2+} , $R \text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ que supera en algunas muestras el valor de 0,7, según el valor citado por Cirre¹⁸ para la reactivación del magnesio. Desde el punto de vista sanitario el problema de esta inversión catiónica es localmente importante, ya que dada la belleza y bondad microclimática de estos parajes, es una zona muy transitada por los excursionistas y consumen el agua directamente con los correspondientes riesgos intestinales.

En la tabla 5 se recoge la concentración media de elementos como uranio, molibdeno, escandio, etcétera. En general todos se encuentran dentro de los límites considerados como normales para aguas subterráneas. Únicamente la concentración de molibdeno ($0,886\mu\text{g/L}$) supera ligeramente el valor considerado como normal para aguas epicontinentales y subterráneas, situado $0,5\mu\text{g/L}$ ¹⁹.

A nivel agrícola, las aguas magnésicas favorecen la fijación del magnesio por el complejo de cambio, que al ser retenido con menor intensidad que el Ca^{2+} favorecen el lavado y disminuye la estabilidad estructural.

With regard to Mg^{2+} , the relationship with Ca^{2+} should be mentioned. The $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ratio in some samples present values of over 0.7. This is a value at which, according to Cirre¹⁸, magnesium reactivation occurs. From a health safety point of view, this cation inversion is of local importance. This is an area of renowned natural beauty with a good microclimate, making it a popular destination for country trekkers, who frequently consume the water and consequently, expose themselves to the corresponding risks of intestinal disorders.

Table 5 shows the average concentration of elements such as uranium, molybdenum, scandium, etc, which in general terms are present within limits considered as normal for subterranean waters. Molybdenum was the only element that was found to be present at slightly higher levels ($0.886\mu\text{g/L}$) than those considered normal for epicontinental and subterranean waters ($0,5\mu\text{g/L}$)¹⁹.

In agricultural usage, magnesian waters facilitate magnesium fixation through the change

Los resultados analíticos se someten a tratamiento estadístico obteniéndose la siguiente matriz de correlación de Pearson (Tabla 6). Se confirma la estrecha relación existente entre el cloruro y el sodio dando halita, y del sulfato con el magnesio y el calcio en proporciones variables, dando sal de Epson o yeso respectivamente.

complex, which on being withheld to a lesser extent than Ca^{2+} , facilitates washing and reduces structural stability.

The analytical results were subjected to statistical treatment, giving the Pearson's correlation matrix shown in Table 6. A close relationship between chloride and sodium, giving halite, was confirmed on the one hand, and sulphate with magnesium and calcium in variable proportions, giving epsom or gypsum salt accordingly, was confirmed on the other.

TABLA 6. Matriz de correlación de Pearson.
TABLE 6. Pearson's correlation matrix.

	Cloruros <i>Chlorides</i>	Bicarbonatos <i>Bicarbonates</i>	Sulfatos <i>Sulphates</i>	Calcio <i>Calcium</i>	Magnesio <i>Magnesium</i>	Sodio <i>Sodium</i>
Cloruro <i>Chloride</i>	1					
Bicarbonato <i>Bicarbonate</i>	-0.358	1				
Sulfato <i>Sulphate</i>	0.257	-0.349	1			
Calcio <i>Calcium</i>	-0.051	-0.239	0.718*	1		
Magnesio <i>Magnesium</i>	0.311	-0.061	0.912**	0.453	1	
Sodio <i>Sodium</i>	0.999**	-0.337	0.270	-0.031	0.328	1
Grados de libertad (n-2) 5% = 0.707*1% = 0.834** <i>Degrees of liberation (n-2) 5% = 0.707* 1% = 0.834**</i>						

CONCLUSIONES

En general, la naturaleza química de las aguas del sector del arroyo Marín son sulfatadas cálcicas o magnésicas-cálcicas, excepto la muestra A-35 situada en la cabecera del arroyo y fuera del Trías que es bicarbonatada calcica magnésica. Respecto al contenido en bicarbonatos todas son bicarbonatadas normales, la ya mencionada A-34 es clasificada como hiperbicarbonatada.

A nivel agrícola, según el Índice de Scott, la aptitud para riego es buena-tolerable, y según FAO (1987) el riesgo de salinización es ligero y no existe riesgo de sodificación.

La facies catiónica se identifica mediante la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, que si el valor es $< 0,7$, define el tránsito hídrico por lechos dolomitizados y la formación de sales magnésicas, con propiedades laxantes.

CONCLUSIONS

In general, the chemical composition of waters in the Arroyo Marín area are of sulphated calcic or magnesian-calcic nature, with the exception of the A-35 sample, taken from the source of the stream, which falls outside the Trías area. This sample was characterised as a bicarbonated calcic magnesian type. With regard to bicarbonates, all samples presented normal bicarbonate content, but the previously mentioned A-34 sample would be classified as a highly bicarbonated water.

According to the Scott index, suitability for agricultural irrigation is good-tolerable, and according to FAO parameters (1987), the risk of salinization and sodification is slight and non-existent respectively.

Algunos manantiales tienen exceso de nitratos, debido a la actividad agrícola en las zonas elevadas, y las inutilizan para consumo humano.

El níquel se sitúa próximo al límite permitido para aguas de consumo siendo su concentración homogénea en todas las muestras. Se considera heredado de los materiales triásicos.

Los oligoelementos se encuentran en niveles no preocupantes.

Cation facies are identified through the $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ratio. Values greater than 0.7, indicate transit through dolomitized beds and the formation of magnesium salts, which have laxative properties.

Due to agricultural activity over the higher ground of the terrain, some springs present excessive nitrate content, rendering these waters inappropriate for human consumption.

Nikel content was found to be close to permitted levels for drinking water, and was present in homogeneous concentrations throughout all the samples. The composition of the water is considered to originate from triassic materials.

Oligoelements were not found to be present at sufficiently high concentrations, so as to constitute a cause for concern.

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

1. Ayers R. West Cot, D 1987.- "La calidad del agua en la agricultura". Estudio FAO. Serie Riego y drenaje. N° 29. Rev. 1. Ed. FAO. Roma, 85 pp.
2. FAO. 2.002. Aguas y cultivos. Logrando el uso óptimo del agua en la agricultura, pp 0 – 22.
3. Guzman JI. Garcia M. Perez A. 1.995. « Una nueva perspectiva sobre el abastecimiento a Málaga (los manantiales salinos de Meliones) ». Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. XIX. Pp 449-462.
4. Benavente J. Carrasco F. 1984.- "Evolución hidroquímica en el río Guadalhorce (Málaga)." Bol Geol. Min. XCV-IV, pp 374-382.
5. Lhenaff R. (1967).- Problemes geomorphologiques de la vallé du Guadalhorce (andalousie). Melanges Casa Velasquez, III, pp.5-28, 3 fig. h.t.
6. Duran JJ. (1984).- "Evolución geomorfológica del cañón del río Guadalhorce en el Trías de Antequera (Archidona, Málaga) Cuad. De Inv. Geografica, t. X, fasc. 1 y 2, pp: 43-54.
7. ITGE. 1990 "Mapa geológico de España". Escala 1:50.000. Hoja 1023 de Archidona. Segunda Edición. Madrid.
8. B.O.E. 21 de febrero de 2003.-"Criterios Sanitarios de la calidad del agua de consumo humano"
9. B.O.E. 29 de junio de 1982- "Reglamentación Técnico Sanitaria para el abastecimiento y control de las aguas potables de consumo público".
10. B.O.E. 9 de julio de 1987.- "Métodos oficiales de análisis fisico-químico para las aguas potables de consumo público".
11. Custodio E. Llamas M. (1.983)."hidrología subterránea". Ed. Omega Tomos I y II. Barcelona
12. FAO (1987).- "La calidad del agua en la agricultura". Estudio FAO. Serie Riego y Drenaje. n° 29. Rev.1. Ed. FAO. Roma, 174 pp.
13. Petry J. Soulsby C. Malcolm IA. Youngson A.F. 2.002."Hydrologycal control on nutrient concentrations and fluxes in agricultural catchments". Sc Total Environ, 294, pp 95-110.
14. Neal C. Whitehead P. Jeffery H. Neal M. 2.005. "The water quality of the river Carnon, west Cornwall, November 1992 to march 1994: the impacts of wheal jane discharges". Science of the Total Environment. Ed. Elsevier. Pp 23-39.
15. Sierra et al. 2001.- "Problemas de la contaminación en los suelos de uso agrícola del karst de Zafarraya". I Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Granada-España.
16. Ramos C. 81.998).- "El efecto de las prácticas agrarias en la contaminación de las aguas por nitrato". Edafología.n° 4. Madrid. Pp 73 – 85.
17. Wild A. 1.977."Nitrate in drinking water:health hazard unlikely. Nature 268,pp 197 – 198.
18. Cirre A. Sierra C. Roca A. Martinez F.J. 2004.- "Estudio edafológico e hidroquímico de las Tierras de Archidona (Hoja 1024)". Serv de Public. Univ. Granada. pp 348.
19. MAAS 1984.- "Salt tolerance of plants". The Handbook of plants Science in Agruculture. CRC Press, BocaRaton, Florida.