

Hidrogeología del entorno de las Lagunas de Villafáfila (Zamora)

Hydrogeology of the Lagunas de Villafáfila area (Zamora)

Ildefonso Armenteros¹, Pedro Huerta², Azahara Cidón-Trigo¹, M^a Carolina Rueda-Gualdrón¹, Clemente Recio¹ y Antonio Martínez-Graña¹

¹ Dpto. de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. Plaza de los Caídos s/n, 37071 Salamanca.

² Dpto. de Geología, Escuela Politécnica Superior de Ávila. Avd. Hornos Caleros nº 5, 05003 Ávila.

ilde@usal.es; phuerta@usal.es; azaharaciontrigo@gmail.com; mcarolinaruedag@hotmail.com; crecio@usal.es; amgranna@usal.es

ABSTRACT

Villafáfila lakes are natural lakes with electric conductivities between 4000-5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ located in the valley of the Salado river. The piezometry of the area suggest that the hills surrounding the lakes are local recharge areas while the lakes and their surroundings around the lakes are discharge zones with low hydraulic gradient. Physico-chemical analyses of lake and groundwaters have allowed characterizing three hydrochemical facies: 1) calcium magnesium bicarbonate; 2) sodium chloride; and 3) sodium bicarbonate-chloride waters. These hydrofacies record respectively, the local recharges of the surrounding hills, long and deep flow-paths discharging into the lakes, and a mix of the above. Villafáfila lake waters are the result of a mixing of rain + runoff + local flows + regional deep flows + brine recycling. Sodium chloride waters could come from the dissolution of evaporites in the Cantabrian Mountains and/or from evaporites located in somewhere between these Mountains and the Villafáfila lakes.

Key-words: lake, piezometry, hydrogeochemistry, Duero Basin.

RESUMEN

Las Lagunas de Villafáfila constituyen un enclave natural en el valle del río Salado caracterizado por aguas con conductividades eléctricas entre 4000 y 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La piezometría elaborada en la zona revela el aporte de la recarga de las laderas que rodean las lagunas y el bajo gradiente hidráulico que existe en las zonas llanas perilagunares. El análisis físico-químico del agua de las lagunas y de las aguas subterráneas del entorno ha permitido caracterizar tres hidrofacies químicas: 1) bicarbonatada cálcico-magnésica; 2) clorurada-sódica; y 3) bicarbonatada clorurada-sódica. Estas representan respectivamente aguas recargadas en las vertientes de las lagunas, flujos profundos de largo recorrido que descargan en las lagunas, y mezcla de ambas. Las lagunas resultan de la mezcla de aguas con diferentes orígenes: aguas de lluvia + aguas de escorrentía + aguas de flujos locales + flujos regionales profundos + reciclado de salmueras. Las aguas cloruradas sódicas podrían proceder de la disolución de evaporitas de los relieves septentrionales de la Cordillera Cantábrica y/o de evaporitas situadas en el subsuelo desde esta Cordillera hasta el entorno de las lagunas.

Palabras clave: laguna, piezometría, hidrogeoquímica, cuenca del Duero.

Geogaceta, 66 (2019), 51-54
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 31 de enero de 2019
Revisión: 23 de octubre de 2019
Aceptación: 24 de mayo de 2019

Introducción

Las Lagunas de Villafáfila (Fig. 1) fueron declaradas por la Junta de Castilla y León como Reserva Natural (BOE-A-2006-14408); está considerada como "Zona de Especial Protección para las Aves" (ZEPA) y forman parte de la Red Natura 2000. Estas lagunas de carácter salino fueron utilizadas por el hombre para la obtención de sal al menos desde la Edad del Bronce (Abarquero Moras *et al.*, 2017). Pese al interés que despierta el origen de la sal, tan solo el estudio de Fernández Pérez y Cabrera Lagunilla (1987) realiza una caracterización físico-química de las aguas y la piezometría. Este trabajo pretende sumar

datos recientes (2016-2018) sobre los parámetros físico-químicos de las aguas de las lagunas y las aguas subterráneas del entorno. Al mismo tiempo, se pretende apuntar algunas ideas sobre la relación existente entre las lagunas y la hidrogeología de la zona.

Situación geográfica y geología

Las principales lagunas del conjunto de Villafáfila son las lagunas Salina Grande de Villafáfila, Salina y Barillos (Fig. 1). Las lagunas se encuentran en la llanura de inundación de la cuenca de cabecera del río Salado, que discurre de NE a SO entre los ríos Esla, al oeste, y el Valderaduey, al este,

al cual afluye (Fig. 1). La cuenca de drenaje de las lagunas tiene una forma alargada de unos 10 km de ancho por unos 20 km de largo desde su nivel inferior en Villarrín de Campos (675 m) hasta su cabecera en San Esteban del Molar (748 m). Las lagunas se sitúan en torno a los 675 m, en el curso alto del río Salado sobre una superficie de escasa pendiente (0,003%). La llanura lagunar se encuentra limitada por suaves lomas con un desnivel de hasta 50 m. El sustrato sobre el que se asientan las lagunas y sus depósitos son limos y arenas ocreas (facies Ocreas, Martín Serrano y Barba Martín, 1979), que hacia el NE pasan a arenas, lutitas con intercalaciones de conglomerados y margas (Facies Tierra de Campos, Martín

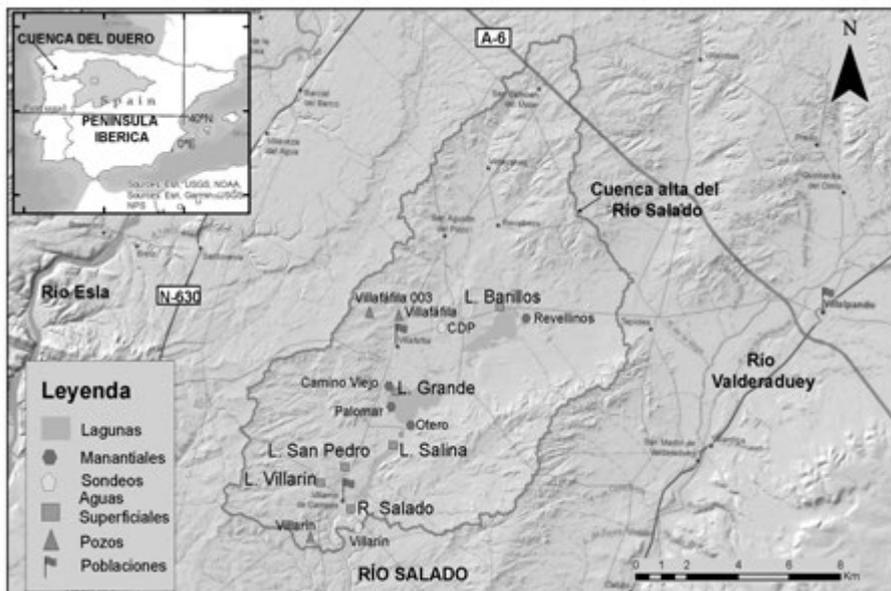


Fig. 1.- Localización de las lagunas de Villafáfila, su cuenca de drenaje y puntos de muestreo de los análisis químicos presentados en este trabajo. Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Location of the Villafáfila lakes, their catchment and the sampling points for the chemical analyses shown in this work. See color figure in the web.

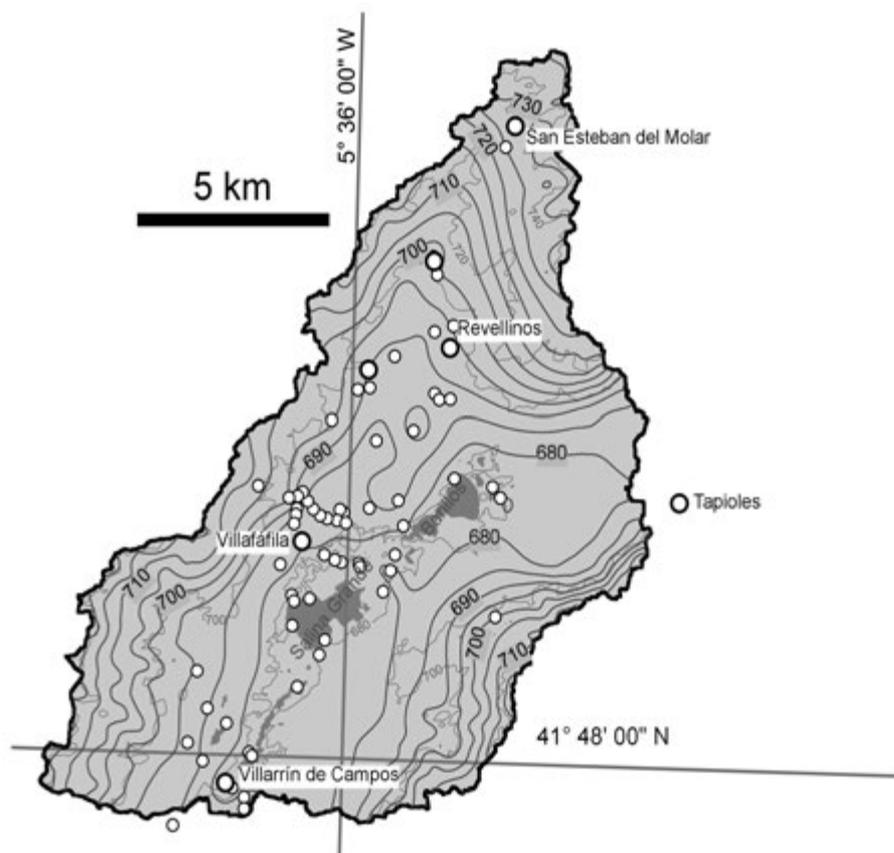


Fig. 2.- Piezometría del entorno de las lagunas de Villafáfila, datos de pozos con profundidades inferiores a 15 m. Los puntos blancos grandes representan los pueblos y los puntos pequeños los puntos de agua medidos. Nótese que la piezometría está construida con menor densidad de datos que la topografía. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Piezometry of the surroundings of the Villafáfila lakes, constructed with data from wells with depths lower than 15 m. The large white circles are the villages and the small white circles are the water points. Note that the piezometry is constructed with lower density of data than the topography. See color figure in the web.

Serrano y Piles Mateo, 1982). El clima es mediterráneo continental con inviernos fríos y relativamente lluviosos y veranos secos y cálidos; en el periodo 2013-2018, la precipitación media anual fue de 387 mm, y las temperaturas medias fueron 5,69 °C, en enero, y 19,64 °C en agosto.

Metodología

Se midieron los parámetros físico-químicos y la piezometría de 62 puntos de agua, repartidos en lagunas, sondeos, manantiales y pozos de gran diámetro, y en 15 de estos puntos se analizaron los aniones y cationes mayoritarios a partir de 46 muestras en verano e invierno (Fig. 1). La temperatura, conductividad, pH y alcalinidad (HCO_3^-) se midieron en el campo. La concentración de cationes y aniones se determinaron en el laboratorio, previo filtrado. Los cationes fueron determinados en el Servicio de Análisis Químico de la Universidad de Salamanca mediante técnicas espectrofotométricas (ICP-OES) los aniones se analizaron mediante volumetría (Cl⁻) y espectrofotometría (SO_4^{2-}).

La piezometría se elaboró durante septiembre de 2017 con datos de pozos de gran diámetro abiertos a profundidades menores de 15 m, superficies de agua libre y manantiales.

Resultados

Piezometría

El mapa de isopiezas muestra la superficie del nivel freático, aunque su resolución no es muy grande debido a la baja densidad de puntos de agua (Fig. 2). Este mapa evidencia que existe un flujo local que va desde la cabecera y las laderas de la cuenca hacia las lagunas. La profundidad del nivel freático en las zonas próximas a las lagunas es baja (< 1 m) mientras que en las laderas es mayor (2-10 m). Según la piezometría, las laderas son zonas de recarga local de la parte superior del acuífero que descarga en las lagunas, las cuales forman temporalmente el afloramiento del acuífero superficial. Los sondeos (prof. > 15 m) situados al pie de las laderas o en las zonas llanas del entorno lagunar son surgentes y/o su nivel piezométrico está más alto que en pozos de gran diámetro (prof. < 15 m).

Características físico-químicas

Las propiedades físico-químicas aparecen reflejadas en los valores de la tabla I. La variación de las temperaturas de verano a invierno de las aguas superficiales es mayor que en pozos y sondeos. El pH es mayor (en torno a 8,5) en las aguas superficiales, mientras que la conductividad eléctrica es relativamente alta tanto en las aguas superficiales como en sondeos y manantiales (entre 4000 y 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; ca. 2600 y 3250 mg/L en total de sólidos disueltos; en torno a 1300 y 900 mg/L de Cl^- y Na^+ , respectivamente); en los pozos de las laderas, en cambio, las conductividades son más bajas (en torno a 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$; ca. 430 mg/L de total de sólidos disueltos; en torno a 140 y 80 mg/L de Cl^- y Na^+ , respectivamente). Cabe destacar la existencia de aguas muy salinas (19000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), en un piezómetro realizado en el centro de la laguna Salina Grande durante momentos de estiaje (septiembre de 2017).

Composición de las aguas

El análisis de la composición química de las aguas incluye muestras obtenidas de pozos de gran diámetro situados en las laderas próximas a las lagunas, aguas superficiales de las lagunas, de sondeos (prof. > 15 m), y de manantiales (Fig. 1). Pueden reconocerse tres tipos de aguas según su composición: 1) bicarbonatada cálcico-magnésicas; 2) bicarbonatadas clorurado-sódicas; y 3) clorurado- sódicas (Fig. 3).

Las aguas clorurado-sódicas dominan las aguas superficiales, las aguas obtenidas de sondeos, y las de los manantiales próximos a las lagunas. Las aguas bicarbonatadas clorurado- sódicas son características de manantiales situados al pie de las laderas, mientras que las aguas bicarbonatadas cálcico-magnésicas son características de las laderas en su parte alta y media. Estas últimas son las de menor salinidad mientras que las aguas clorurado-sódicas tienen las salinidades más altas.

Discusión y consideraciones finales

Los distintos tipos de agua y su localización en el entorno de las lagunas permite comprender su dinámica hidrogeológica. Las aguas bicarbonatadas cálcico-magnésicas, que tienen bajas concentraciones y se sitúan en las vertientes de la cuenca, adquieren su

Parámetro	Tipo de muestra	Invierno	Verano
Temperatura °C	Aguas Superficiales (23)	11,80	19,43
	Sondeos_Surgencias (21)	14,10	16,50
	Pozos (4)	14,10	16,50
pH	Aguas Superficiales (23)	8,60	8,50
	Sondeos-Manantiales (n = 21)	7,40	7,45
	Pozos (4)	7,30	7,10
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Aguas Superficiales (n = 23)	4077,01	5178,50
	Sondeos-Manantiales (n = 21)	4743,79	4743,12
	Pozos (n= 4)	658,00	-

Tabla I.- Propiedades físico-químicas de las aguas de la Reserva Natural de Villafáfila a lo largo del periodo entre Enero 2016 y Junio 2018. La situación de los puntos de muestreo se muestra en la figura 1.

Table I.- Physicochemical properties of the Natural Reserve of Villafáfila waters from January 2016 to June 2018. Sampling locations are shown in figure 1.

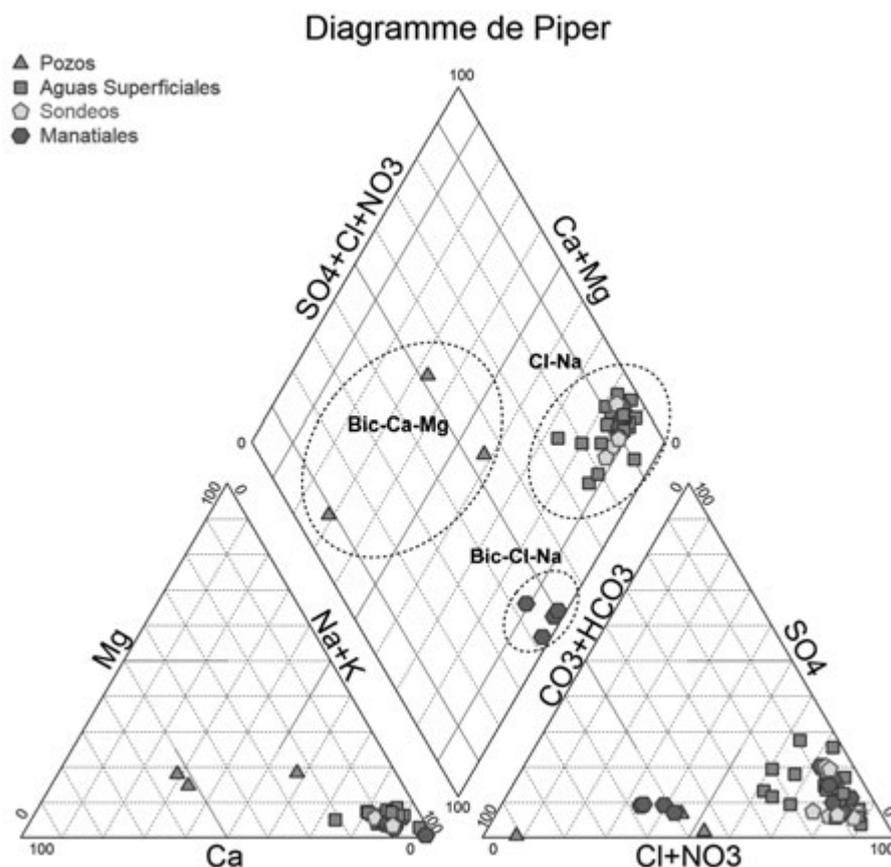


Fig. 3.- Diagrama de Piper mostrando la composición química de las aguas de Villafáfila. Ver figura en color en la web.

Fig. 3.- Piper diagram showing the chemical composition of Villafáfila waters. See color figure in the web.

composición a partir de la iluviación del CO_2 de la lluvia y del suelo, y mediante la disolución de cementos y nódulos carbonáticos que existen en las unidades siliciclásticas miocenas. Tal y como puede observarse de la distribución de las isopiezas (Fig. 2), las laderas de la cuenca son áreas de recarga local lo cual refleja el corto recorrido de estas aguas. Por el contrario, las aguas clorurado- sódicas identificadas en sondeos, lagunas y en los manantiales permanentes

que aparecen junto a éstas tienen mayor concentración (entre 7 y 8 veces mayor). Esta circunstancia apunta a flujos profundos de largo recorrido (Fernández Pérez y Cabrera Lagunilla, 1987) que surgen en el entorno inmediato de las lagunas y, en algunos casos, en el vaso lagunar. La presencia de sondeos (prof. > 15 m), surgentes y/o con niveles piezométricos más altos que pozos adyacentes de gran diámetro (prof. < 15 m) sugiere la posible existencia de una compo-

nente vertical ascendente del flujo subterráneo. Esta diferencia de potencial hidráulico podría ocurrir si el sondeo profundo estuviese abierto en un acuífero confinado, pero la presencia de manantiales con aguas cloruradas sódicas y conductividades entre 4000 y 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ refuerza la primera hipótesis. Las aguas bicarbonatadas cloruradas sódicas tienen concentraciones iónicas intermedias a los otros dos tipos de aguas, y aparecen en zonas de transición entre las laderas y las lagunas. La composición bicarbonatada se interpreta como una mezcla de aguas meteóricas procedentes de las recargas locales y aguas de flujos profundos.

Dado el entorno climático de la zona de estudio, el origen de la composición de las aguas cloruradas-sódicas se debe probablemente a la disolución de evaporitas con contenidos notables de haluros (Hem, 1985). La ausencia de formaciones salinas en superficie y en el subsuelo, formado por unidades siliciclásticas terrígenas de origen aluvial procedentes de la erosión de metasedimentos silíceos paleozoicos en los cercanos paleorrelieves al oeste, sugiere que estas aguas, ricas en Cl^- y Na^+ , han tenido un largo recorrido y constituyen el término final de la secuencia de Chebotarev (1955). En consecuencia, parece más probable que la zona de recarga de estas aguas esté en los relieves septentrionales de la Cordillera Cantábrica donde existen unidades evaporíticas. Otra posibilidad es que las aguas adquiriesen su impronta clorurada sódica a partir de evaporitas postpaleozoicas, cuya pre-

sencia es desconocida por ahora, situadas en el subsuelo a lo largo del recorrido desde dichos relieves. Actualmente se está trabajando en estas cuestiones con el procesado de nuevos datos hidrogeoquímicos e isotópicos.

La evaporación de aguas de las lagunas (de tipo clorurado-sódico) causa el depósito de eflorescencias salinas durante los periodos de desecación de las lagunas. El descenso del nivel freático por debajo del fondo lagunar promueve la formación de salmueras de gran salinidad. Durante los periodos lluviosos, se produce una dilución meteórica de dichas salmueras que lleva consigo la disolución de las sales precipitadas, razón por la que el grueso del volumen acuoso lagunar, presenta la misma señal clorurada sódica que los flujos surgentes profundos. En consecuencia, las lagunas de Villafáfila presentan una composición química producida por la mezcla de aguas de lluvia + aguas de escorrentía superficial + aguas bicarbonatadas cálcico-magnésicas de las recargas locales + aguas cloruradas sódicas procedentes de aportes profundos + el reciclado de salmueras muy concentradas. Estos procesos de mezcla y reciclado son típicos de lagos salinos (Yechieli y Wood, 2002).

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro Proyecto CGL2014-54818-P.

Agradecemos la colaboración de D. Mariano Rodríguez (Director del Centro),

de D. José Miguel San Román (responsable técnico) y de todos los miembros del Centro Casa del Parque El Palomar de la Reserva Natural de las Lagunas de Villafáfila por las facilidades y ayuda en el trabajo de campo. La Dra. M^a del Carmen Cabrera y un revisor anónimo han realizado valiosas sugerencias y correcciones.

Referencias

- Abarquero Moras, F.J., Guerra Doce, E., Delibes de Castro G. y López Sáez, J.A. (2017). *Cuaternario y Geomorfología* 31, 18.
- Chebotarev, I.I. (1955). *Geochimica et Cosmochimica. Acta* 8, 22-48.
- Fernández Pérez, L. y Cabrera Lagunilla, M.P. (1987). En: *Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. III Reunión Nacional, Valencia*, 441-459.
- Hem, J.D. (1985). *Study and interpretation of chemical characteristics of Natural Waters*. U. S. Geological Survey, Alexandria, 225 p.
- Martín Serrano, A. y Barba Martín, A. (1979). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja n° 340 (Manganeses de la Lampreana) y memoria*. IGME. 33 p.
- Martín Serrano, A. y Piles Mateo, E. (1982). *Mapa Geológico de España Escala 1:50.000, hoja n° 308 (Villafáfila)* IGME. 29 p.
- Yechieli, Y. y Wood, W.W. (2002). *Earth-Science Reviews* 58 (3-4), 343-365.