

04-006

THE DUALITY OF SURFACE WATER AND GROUNDWATER IN THE RESTORATION OF WETLANDS

Benítez Navío, Alberto ⁽¹⁾; *Martínez León, Jesús* ⁽²⁾; *Cantó Perelló, Julián* ⁽³⁾; *Curiel
Esparza, Jorge* ⁽³⁾; *Martín Utrillas, Manuel* ⁽³⁾

⁽¹⁾ Confederación Hidrográfica del Guadiana, ⁽²⁾ Confederación Hidrográfica del Júcar,
⁽³⁾ Universitat Politècnica de València

Wetland conservation is a high priority since these ecosystems have disappeared at an accelerated rate. During the 20th century more than 50% were lost. These natural spaces, besides being a biodiversity reserve, are sinks of greenhouse gases, and therefore are one of the most effective tools in the fight against climate change. Frequently, water resources are reallocated to ensure the minimum environmental water requirements of the wetland. The water supplied should reproduce as much as possible the natural hydrogeological functioning. Groundwater and surface water flows to the Tablas de Daimiel wetland are analyzed, taking into account the representative hydrochemical facies of both the wetland and the water sources proposed for hydrological restoration.

Keywords: hydrogeochemical facies; surface water; groundwater; wetland restoration

DUALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA EN LA RESTAURACIÓN HIDROLÓGICA DE HUMEDALES

La conservación de humedales es prioritaria ya que estos ecosistemas han desaparecido a un ritmo acelerado. Solo durante el siglo XX se perdieron más del 50%. Estos espacios naturales, además de ser una reserva de biodiversidad, son sumideros de gases de efecto invernadero, y por tanto son una de las herramientas más eficaces en la lucha contra el cambio climático. Es frecuente tener que reasignar recursos hídricos para garantizar las dotaciones mínimas de los humedales. Los recursos hídricos aportados deben reproducir en lo posible el funcionamiento hidrogeológico natural. Se analizan las diferentes características de los posibles aportes con aguas subterráneas y superficiales a las tablas de Daimiel, teniendo en consideración las facies hidroquímicas, representativas tanto del humedal como de las fuentes de agua propuestas para su restauración hidrológica.

Palabras clave: facies hidrogeoquímica; agua superficial; agua subterránea; restauración humedales

Correspondencia: Alberto Benítez Navío abenitez@chguadiana.es



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El informe Global Wetlands Outlook del convenio Ramsar (2018) indica que la existencia de los humedales está en peligro. Desde 1700, el 87% han desaparecido, y desde 1970, el 35%, con lo que en la actualidad su tasa de desaparición triplica a la de los bosques. Aquellos humedales que desarrollan turberas, siendo sólo un tres por cien de la superficie terrestre, pueden eliminar el doble de dióxido de carbono de la atmósfera que todos los bosques del planeta. (FAO and Wetlands International, 2012).

Los humedales están alimentados en general conjuntamente por aguas superficiales y aguas subterráneas, siendo sus aguas una mezcla de estas dos componentes (Kazezyilmaz-Alham y Medina, 2008). La hidrología del acuífero y el buen estado del ecosistema del humedal están ligados (Johansen et al. 2011, Drexler et al., 2013). Los manuales Ramsar (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010 a y b), para el uso racional de los humedales, aconsejan que las aguas superficiales, las aguas subterráneas y los humedales, sean gestionados de forma integrada, para garantizar la sostenibilidad del ecosistema y del agua.

La reasignación y aporte de recursos hídricos externos al humedal, ha de tratar de reproducir el funcionamiento hidrológico natural, tanto en cantidad, calidad del agua y distribución temporal (Froend, Horwitz y Sommer, 2016).

El Parque Nacional Tablas de Daimiel (PNTD) es un ejemplo de humedal que cuenta con turberas. Que se sequen los humedales ocasiona un incremento en la frecuencia y extensión de los incendios de turberas, con las consiguientes emisiones de gases de efecto invernadero (Turetsky et al. 2015). Para evitar la aparición de incendios en el PNTD hay que garantizar unos niveles mínimos de humedad (Aguilera et al., 2016). Todo ello se agrava en climas semiáridos, donde la conectividad hidráulica es un factor esencial (Saco et al., 2020). La reasignación y aporte de recursos hídricos externos es por tanto inevitable.

El agua subterránea tiene un papel fundamental y determinante en la ecología del PNTD, hecho que no había sido considerado hasta épocas recientes en España (Bernáldez, 1992). Es la combinación de aguas subterráneas y aguas superficiales la que proporciona las características especiales propias de este humedal. Ejemplos de lo anterior se dan en muchos humedales que se consideran dependientes de las aguas subterráneas (Ameli y Creed, 2017, Sampath et al., 2015).

Debido a las extracciones para una actividad agrícola insostenible, en el PNTD se ha producido una disminución del nivel del agua subterránea, que ha ocasionado que el humedal quede desconectado del acuífero (Sánchez-Carrillo, et al. 2010). La composición química del agua se ha salinizado por la falta de aportes de aguas subterráneas menos mineralizadas (Aguilera y Merino, 2018).

En este trabajo se desarrolla una metodología para determinar que recursos hídricos son los más apropiados para ser aportados a los humedales, considerando la dualidad de las aguas superficiales y las aguas subterráneas. Se compara la hidroquímica del agua del humedal en su estado inalterado con las fuentes de agua propuestas para su restauración, seleccionando las más apropiadas, mediante la utilización de diagramas hidroquímicos y la aplicación de una medida de similaridad.

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es poner de manifiesto la importancia que tiene considerar la dualidad del agua superficial y subterránea en la regeneración hídrica de un humedal.

Se establecerá un criterio que tenga en cuenta la dualidad en la selección de las fuentes de agua de las que procedan los recursos hídricos externos.

La regeneración hídrica ha de ser sostenible, basándose en un estado de referencia que represente el estado óptimo del humedal.

Es un objetivo de este trabajo, utilizar una medida que permita cuantificar de forma expresa la proximidad a ese estado de referencia.

Por último, se analizará la evolución de las características hidroquímicas del agua de las PNTD.

3. Metodología

La metodología utilizada obedece al objetivo fundamental de dilucidar que fuente de agua es más adecuada para ser utilizada en la regeneración hídrica de un humedal. Se comparan las facies hidroquímicas de las diferentes fuentes de agua a utilizar en la recuperación del humedal con las facies del agua del humedal en el estado inalterado o de referencia.

Las facies se representan en diagramas de Piper, utilizado un programa informático (Easy Quim), que permite el cálculo de los balances químicos en análisis de agua y su representación gráfica.

Para contar con una estimación objetiva, que proporcione una medida representativa de las diferencias de composición química entre distintos tipos de aguas, es necesario obtener un valor numérico que represente la similitud entre las facies hidroquímicas. Se emplea el índice de Bray y Curtis (1957), que facilita una estimación numérica como valor de la proximidad. Éste índice se utiliza en estudios y análisis multivariante de toda índole, y especialmente en la comparación de ecosistemas (Basuri et al., 2020), siendo de amplia aplicación para la comparación de variables medioambientales.

El índice de Bray y Curtis permite interpretar la proximidad de elementos entre sí, de forma que cuando una fuente de agua tiene una composición química muy cercana al humedal, su valor se aproxima a cien y si es muy lejana su valor es cercano a cero. La fórmula matemática del índice es la unidad menos el resultado de la división entre la suma de los valores absolutos de las diferencias de las componentes de dos vectores y la suma de los valores absolutos de las componentes de los dos vectores, el resultado se multiplica por cien.

Para analizar la evolución hasta fechas recientes de las facies hidroquímicas del agua del humedal elegido para su estudio, PNTD, se ha seguido el historial de la calidad de las aguas. haciendo una revisión de publicaciones de donde se recopilan los datos más antiguos. El punto de inicio de la revisión bibliográfica es el año 1974, fecha en la que se dispone de datos más completos y en la que se considera no alterado el humedal. Con dichos datos se obtiene una clasificación geoquímica de las aguas representando los iones mayoritarios en diagramas de Piper. Se analiza la evolución temporal de las facies hidroquímicas del agua del humedal, que reflejaran los cambios ocasionados por la degradación del humedal.

Por último, se comparan las posibles fuentes de agua propuestas para la restauración del humedal del PNTD. Se confeccionan también cuadros con los resultados de la aplicación del índice de Bray y Curtis. El cálculo del índice y los cuadros se han confeccionado utilizando una hoja de cálculo, en la que se han introducido los datos de calidad del agua obtenidos mediante la recopilación bibliográfica y la consulta a la página web de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

4. Caso de estudio.

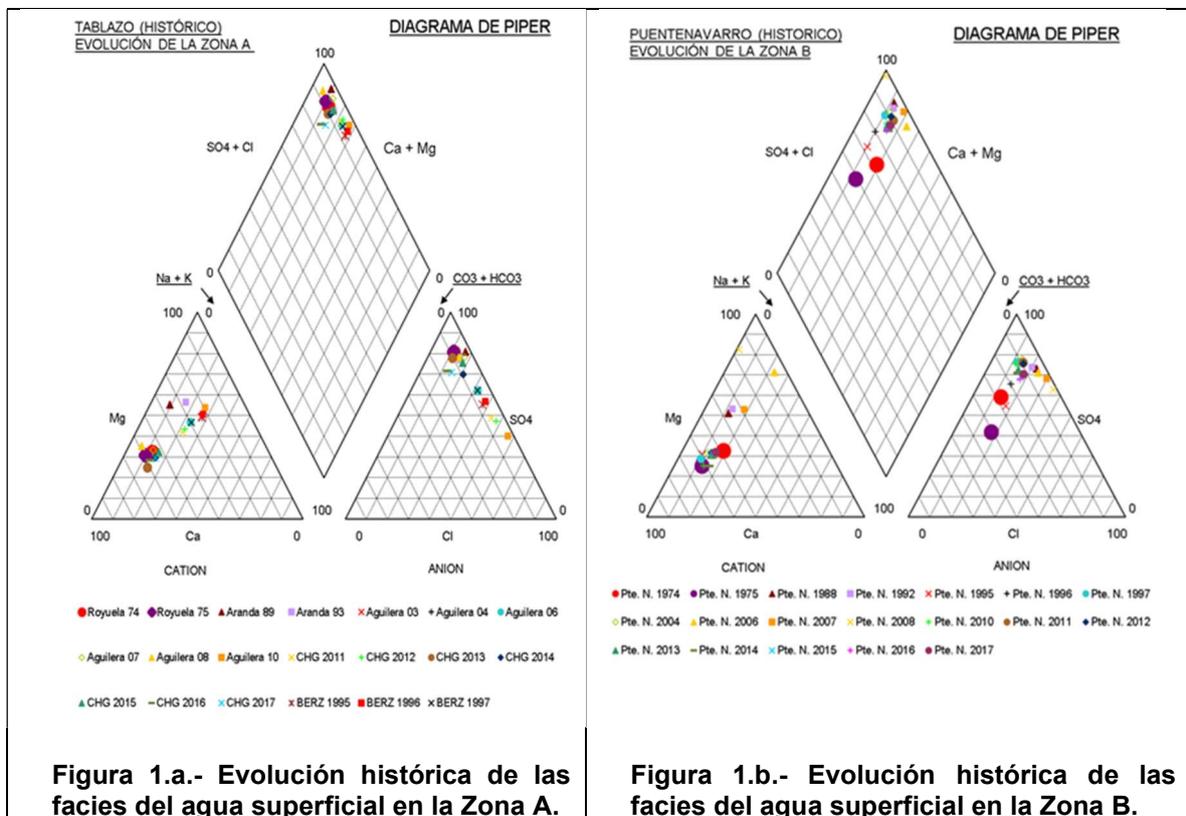
El PNTD se forma por la confluencia de los ríos Guadiana y Cigüela que se extiende sobre una enorme llanura de inundación, que en la actualidad puede llegar a alcanzar las 2.000 hectáreas. El cierre hidráulico del PNTD es la presa de Puente Navarro, aguas arriba hay un dispositivo hidráulico, la presa del Morenillo, situada en el centro del humedal. La zona de aguas arriba del Morenillo, es el paraje de las Tablas, Tablazo o zona A, mientras que la zona comprendida entre el dispositivo hidráulico y la presa de Puente Navarro es el paraje de las Cañas, Puente Navarro o zona B. La aportación del río Guadiana se realiza por las aguas subterráneas alumbradas en numerosos manantiales, ubicados en el paraje denominado los Ojos del Guadiana y es en la zona A, mientras que la aportación del río Cigüela es de aguas superficiales en la zona B. El PNTD estuvo en riesgo de desaparición por su total desecación y la combustión de las turbas (Moreno et al., 2010). La pérdida rápida de superficie inundada y la salinización del medio causó la pérdida de capacidad de almacenamiento de carbono y además su degradación (Domínguez-Castro, F. et al., 2006). Estas situaciones han sido recurrentes también en la actualidad (Celis et al. 2017).

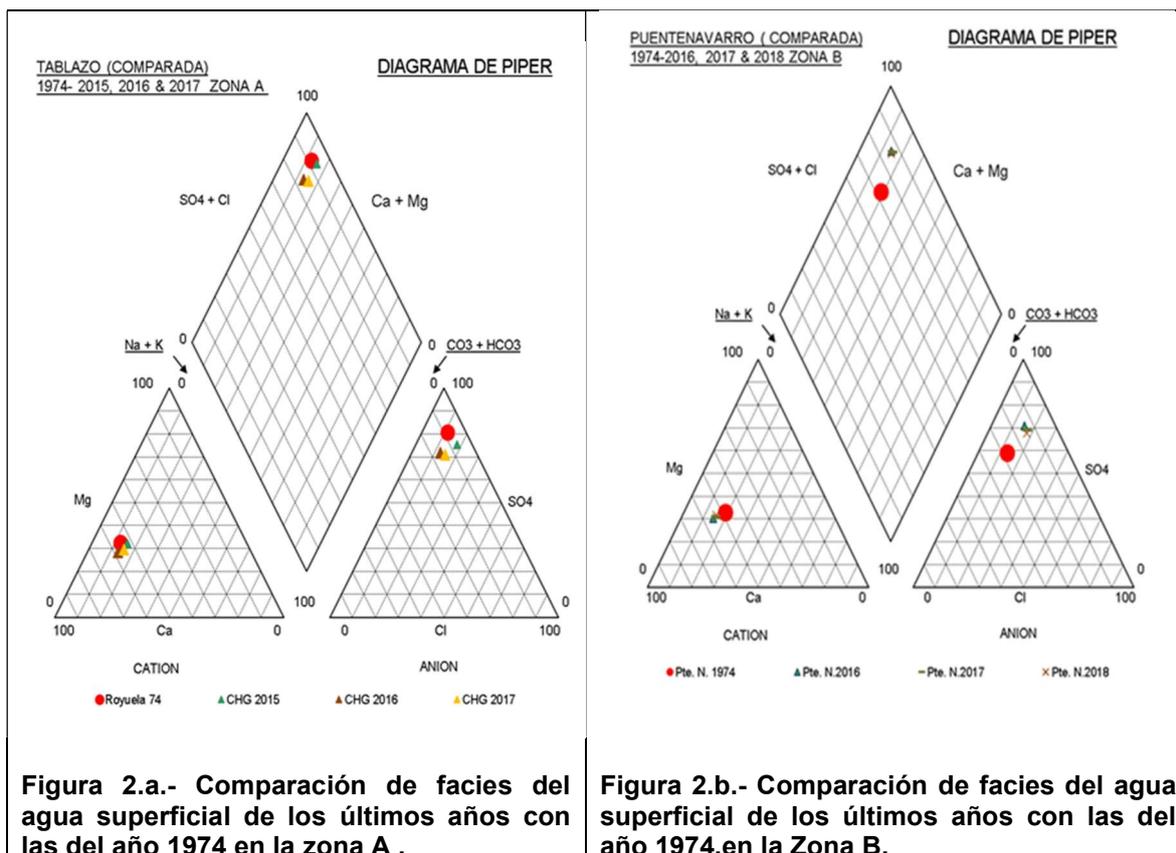
El PNTD, según el modelo conceptual de Aguilera et al. (2013), en el que describe la interacción entre las aguas subterráneas y superficiales, el funcionamiento hidrológico actual es un humedal antropizado. También en la actualidad es un sistema de embalses conectados, que se comporta como una balsa de recarga, donde las pérdidas de agua por infiltración son muy importantes (Castaño, Martínez-Santos y Martínez-Alfaro, 2008). Esta situación ha evolucionado en diversos períodos, pudiéndose distinguir hasta el año 2010 de acuerdo con De la Losa et al. (2013) tres etapas fundamentales que se pueden vincular a la evolución de las facies hidroquímicas de las aguas superficiales del humedal. El agua subterránea es actualmente más salina de lo era en la década de los setenta y su facies en el entorno del PNTD ha pasado de bicarbonatada cálcica con baja conductividad a ser sulfatada cálcica con una moderada conductividad (Castaño, De la Rosa y Martínez-Santos, 2018).

Los datos de calidad de aguas superficiales en el PNTD anteriores al año 2010 se han recopilado de los artículos y trabajos publicados, mientras los datos del año 2011 y posteriores proceden de la red de control de calidad de aguas de la Confederación Hidrográfica del Guadiana. Los datos más antiguos proceden del capítulo dedicado al agua en un estudio realizado en la década de los setenta sobre el estado ecológico de las Tablas de Damiel (Sáez-Royuela, 1977). Se han utilizado los datos extractados del anterior estudio, que figuran en dos publicaciones posteriores. La primera publicación (Cirujano et al., 1996), hace una comparación entre los valores medios de los parámetros fisicoquímicos de muestras de aguas tomadas en 1974-1975 y las de 1988-89. La segunda publicación (Berzas et al., 2000) estudia la evolución de la calidad del agua del PNTD en el período 1995-1997, comparándola también con las muestras tomadas en 1974-1975 de Saez-Royuela. En estos años el régimen del humedal era próximo al natural con aportaciones del acuífero, y hay una clara distinción entre las facies hidroquímicas, sulfatada cálcico-magnésica, de las aguas de la zona A, y las de la zona B que tienen una facies más bicarbonatada. Con carácter general las aguas de la zona A son más salinas que las de la zona B. Entre 1988 y 1993 se han utilizado los datos publicados por De Aranda, Garcia y Martin-Montalvo (1993). Las aguas del humedal en este período tienen una facies menos diferenciada y en general son sulfatadas cálcico-magnésicas debido al recorrido del río Cigüela por los materiales triásicos donde abundan los yesos, y a que el acuífero calizo mioceno de la Mancha Occidental ha dejado de aportar agua y por tanto desaparece la componente bicarbonatada. Desde el año 2003 hasta el año 2010 se han usado los datos publicados por Aguilera y Merino (2018). Se han empleado los valores medios para obtener la representación de la evolución sufrida por las facies hidroquímicas a lo largo de estos años.

5.Resultados

Se han representado en diagramas de Piper las Zonas A y B. Se observa en la zona A (Figura 1.a), que en los años húmedos, cuando se han producido avenidas y aportes importantes del río Cigüela, años 1996, 1997, 2010, 2011 y 2012, la facies hidroquímica pasa a ser sulfatada mangnésico sódica, siendo las aguas más cloruradas y menos sulfatadas, llegando incluso a ser cloruradas en el año 2010, fecha en la que se produjeron las mayores avenidas registradas en la serie histórica estudiada. Este hecho confirma la tendencia a que el agua sea más clorurada y sódica cuando se producen fuertes aportes del río Cigüela, debido a la alta salinidad de estas aguas. En los años 2015, 2016 y 2017, en los que no ha habido aportes del río Cigüela ni trasvases del Tajo-Segura, las aguas se vuelven más sulfatadas y cálcicas, acercándose su facies a la del estado inalterado del humedal en el año 1974 (Figura 2.-a). En la zona B, Puente Navarro (Figura 1.-b), se observa que las aguas han evolucionado hacia más sulfatadas manteniendo su carácter de cálcicas, salvo en ciertos años secos en los que han evolucionado a ser más magnésicas. Así sucedió en 1988 y 1992, que coinciden con el inicio de los trasvases desde el Tajo-Segura. al igual que durante los años 2006, 2007 y 2008 en los que también puede haber influencia de aguas trasvasadas en años inmediatamente anteriores. Finalmente, en los últimos años, 2016, 2017 y 2018, que corresponden a un período seco, en la Zona B Puente Navarro, las aguas son también más sulfatadas que en el año 1974, pero son igualmente cálcicas (Figura 2.b). Estas variaciones en las facies hidroquímicas muestran los cambios producidos por la degradación del humedal, por la alteración de su régimen hidrológico y la aportación de recursos hídricos externos. Estos recursos han sido necesarios desde que se produjo la desconexión del humedal del acuífero, por lo que en un medio plazo seguirán siéndolo. En este trabajo se establecen las bases que permiten discriminar que fuente de agua externa puede ser más adecuada desde el punto de vista de su composición hidroquímica teniendo en consideración su facies.

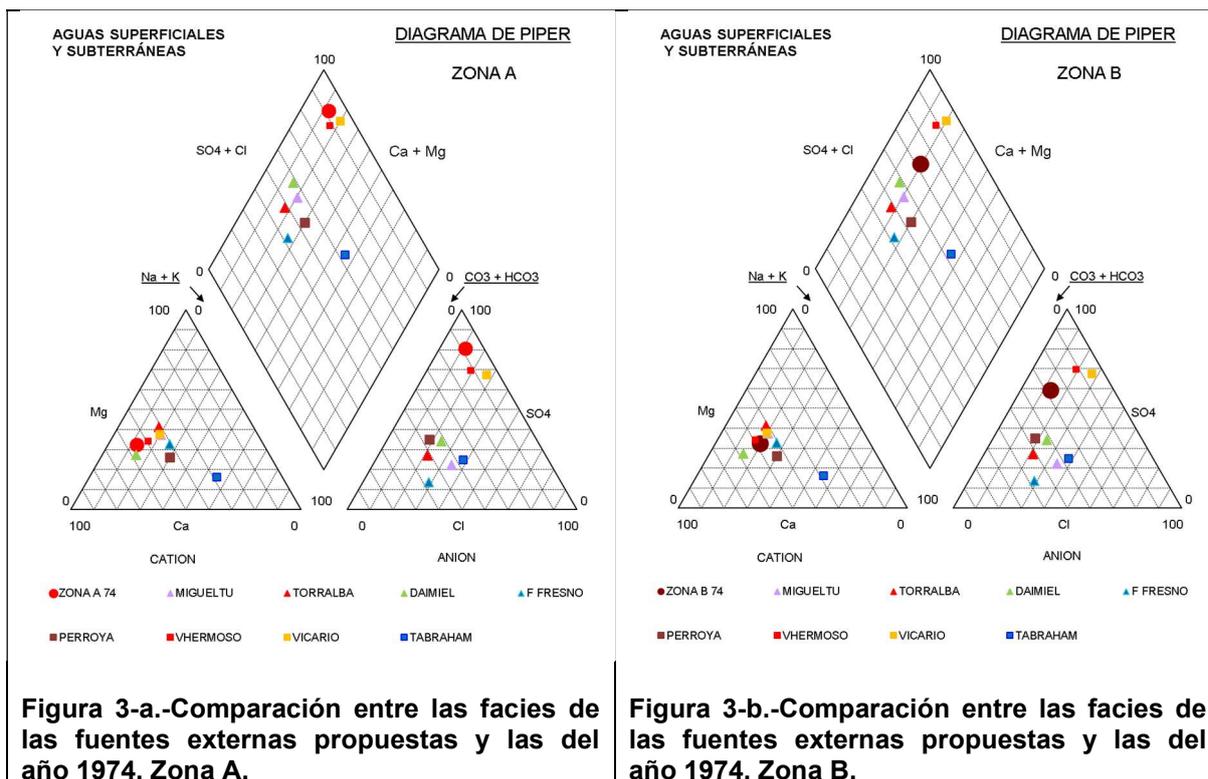




Como posibles fuentes externas de agua para la regeneración hídrica del PNTD se han propuesto cuatro embalses, el embalse de Peñarroya, Vicario, Puerto de Vallehermoso y Torre de Abraham, todos ellos en la cuenca alta del Guadiana. Las posibles fuentes de aguas subterráneas analizadas han sido también cuatro de la red de control de calidad de aguas subterráneas, representativas de la calidad de las captaciones de cada una de esas cuatro zonas. Los puntos elegidos se encuentran en los términos municipales de Miguelturra, Torralba de Calatrava, Daimiel y Fuente el Fresno.

Las aguas más adecuadas serán las que tengan facies parecidas al estado inalterado del humedal. Se han representado las facies de las fuentes de agua propuestas para la regeneración hídrica, junto con la del año 1974 del humedal, que se toma como estado de referencia, y que corresponde con el régimen natural.

Se observa en la Figura 3.a que las facies más parecidas al estado de referencia del humedal para la Zona A, El Tablazo, son las del embalse del Vicario y del Puerto de Vallehermoso. Para la Zona B Puente Navarro, Figura 3.b, las más apropiadas serían las aguas subterráneas correspondientes a Miguelturra y Daimiel y también las del embalse de Vallehermoso.



Para conocer la proximidad entre de las facies hidroquímicas de las fuentes, con respecto al humedal inalterado, año 1974, se aplica el índice de Bray y Curtis a cada una de las facies de las fuentes de agua superficial, año 2017 (Tabla 1) y de agua subterránea año 2018 (Tabla 2). Con los datos anteriores del índice de Bray y Curtis en la Tabla 3, se establece la afinidad de la facies para cada zona y para cada uno de los años iniciales y finales.

Aplicado el índice de Bray y Curtis a las diferentes fuentes de aguas propuestas para restaurar En el PNTD, se aprecia que para el año 1974 en la Zona A, los embalses eran los más apropiados (Vicario, 82,75% y Puerto de Vallehermoso, 58,64%) y en la Zona B, lo eran las aguas subterráneas (Daimiel,77,52%, Miguelturra 73,54% y Torralba de Calatrava,71,30%) junto con el embalse del Puerto de Vallehermoso, 75,73%. Comparando con una situación de restauración actual, año 2017 en la Zona A, también son los embalses de Puerto de Vallehermoso (85,39%) y Vicario (75,87%) y las aguas subterráneas de Torralba de Calatrava (60,46%) las mejores opciones, mientras que para la Zona B tomando como año de referencia el año 2018, ya no serían los preferibles las aguas subterráneas sino los embalses del Vicario (93,67%) y Vallehermoso (66,93%).

Tabla 1.- Índice de Bray y Curtis aplicado a las posibles fuentes de aguas superficiales respecto a las condiciones de referencia año 1974 de la Zona A y Zona B y para la situación actual.

Aguas Superficiales				
Bray y Curtis	Peñarroya	Vallehermoso	Vicario	Torre Abraham
ZONA A 1974	22,81	58,64	82,75	7,82
ZONA B 1974	57,43	75,73	48,84	22,6
ZONA A 2017	37,55	85,39	75,87	13,62
ZONA B 2018	27	66,93	93,67	9,41

Tabla 2.- Índice de Bray y Curtis aplicado a las posibles fuentes de aguas subterráneas respecto a las condiciones de referencia año 1974 de la Zona A y Zona B y para la situación actual

Aguas Subterráneas				
Bray y Curtis	Miguelturra	Torralba	Daimiel	Fuente el Fresno
ZONA A 1974	36,83	40,86	34,18	12,68
ZONA B 1974	73,54	71,3	77,52	34,96
ZONA A 2017	56,54	60,46	54,04	21,68
ZONA B 2018	40,5	44,83	37,87	15,17

Tabla 3.- Orden de preferencias según el Índice Bray y Curtis para las fuentes de agua propuestas, en función del año y de la zona del humedal.

Zona A 1974	Zona B 1974	Zona A 2017	Zona B 2018
VICARIO 82,75	DAIMIEL 77,52	VALLEHERMOSO 85,39	VICARIO 93,67
VALLEHERMOSO 58,64	VALLEHERMOSO 75,73	VICARIO 75,87	VALLEHERMOSO 66,93
TORRALBA CTVA 40,86	MIGUELTURRA 73,54	TORRALBA CTVA 60,46	TORRALBA CTVA 44,83
MIGUELTURRA 36,83	TORRALBA CTVA 71,3	MIGUELTURRA 56,54	MIGUELTURRA 40,5
DAIMIEL 34,18	PEÑARROYA 57,43	DAIMIEL 54,04	DAIMIEL 37,87
PEÑARROYA 22,81	VICARIO 48,84	PEÑARROYA 37,55	PEÑARROYA 27
FUENTE EL FRESNO 12,68	FUENTE EL FRESNO 34,96	FUENTE EL FRESNO 21,68	FUENTE EL FRESNO 15,17
TORRE ABRAHAM 7,82	TORRE ABRAHAM 22,6	TORRE ABRAHAM 13,62	TORRE ABRAHAM 9,41

Los embalses de la Torre de Abraham y el de Peñarroya, así como las aguas subterráneas de Torre Abraham son los que tienen facies hidroquímicas menos parecidas a las aguas del PNTD.

6. Conclusiones

Las aguas superficiales del humedal del PNTD se han clasificado en dos zonas, la Zona A influencia del río Cigüela y la Zona B de influencia del río Guadiana. Para rehabilitar el PNTD se han estudiado alternativas de restauración con aguas superficiales y subterráneas (cuatro embalses y cuatro áreas acuíferas). Los datos de calidad del estado de referencia para garantizar la sostenibilidad son los del año 1974. Se han utilizado diagramas de Piper para la caracterización hidroquímica de las aguas y el índice de Bray y Curtis como medida de la proximidad de la facies hidrogeoquímica. Los resultados obtenidos aplicando ambas técnicas muestran que para la regeneración hídrica de las PNTD en la zona A, eran en el año de referencia 1974 y en la actualidad 2017 el agua de los embalses de Puerto de Vallehermoso y Vicario en tanto que la Zona B eran en el año 1974 las aguas subterráneas de Daimiel, Miguelturra y Torralba de Calatrava junto con el embalse del Puerto de Vallehermoso y en la actualidad 2018 agua de los embalses de Puerto de Vallehermoso y Vicario.

Mediante el uso combinado del índice Bray y Curtis y la representación de los diagramas de Piper, ha sido posible establecer un orden de preferencia para la selección entre diversas fuentes de agua de aquellas que son las más apropiadas para la regeneración hídrica del PNTD teniendo en consideración sus facies hidroquímicas. Aunque el método de la facies hidrogeoquímica aquí se ha aplicado al caso particular del PNTD, es aplicable a la restauración sostenible de un humedal, una vez determinado el estado de referencia y elegidas las posibles fuentes de agua sostenibles a evaluar. El índice de Bray y Curtis expresa la similitud entre facies hidroquímicas. Tiene la ventaja de que los valores numéricos aportan una información precisa y objetiva, al puntuar cada una de las opciones.

7. Bibliografía,

- Aguilera, H., Castaño, S., Moreno, L., Jiménez-Hernández, M.E. & De la Losa, A. (2013). Model of hydrological behaviour of the anthropized semiarid wetland of Las Tablas de Daimiel National Park (Spain) based on surface water-groundwater interactions. *Hydrogeology Journal*, 21: 623-641.
- Aguilera H., Moreno, L., Wesseling, J.G., Jiménez-Hernández, M.E. & Castaño, S. (2016). Soil moisture prediction to support management in semiarid wetlands during drying episodes. *Catena* 147, 709–724.
- Aguilera H. & Merino L.M. (2018). Data on chemical composition of soil and water in the semiarid wetland of Las Tablas de Daimiel National Park (Spain) during a drought period. *Data in Brief* 19, 2481-2486.
- Ameli, A. A. & Creed, I. F. (2017). Quantifying hydrologic connectivity of wetlands to Surface water systems. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21,1791-1808.
- Basuri C.K., Pazhaniyappan E., Munnooru K., Chandrasekaran M., Vinjamuri RR., Karri R. & Mallavarapu RV. (2020). Composition and distribution of planktonic ciliates with indications to water quality in a shallow hypersaline lagoon (Pulicat Lake, India). *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020 Mar 17. doi: 10.1007/s11356-020-08177-6. [Epub ahead of print]
- Bernáldez, F. G. (1992). Ecological aspects of wetland groundwater relationships in Spain. *Limnetica*, 8: 11-26.
- Berzas, J. J., García, L. F., Rodríguez, R. C. & Martín-Álvarez, P. J. (2000). Evolution of the Water Quality of a Managed Natural Wetland: Tablas de Daimiel National Park (Spain). *Water Resources*, Vol. 34. Nº 12, 3161-3170.
- Bray, J. R. & Curtis, J. T. (1957). An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27:325-349.
- Castaño S., Martínez-Santos P. & Martínez-Alfaro PE. (2008). Evaluating infiltration losses in a Mediterranean wetland. Las Tablas de Daimiel National Park. *Spain Hydrolo Process* 22, 5048-5053.
- Castaño S, De la Losa A., Martínez-Santos P., Mediavilla R. & Santiesteban J.I. (2018). Long-term effects of aquifer overdraft and recovery on groundwater quality in a Ramsar wetland: Las Tablas de Daimiel National Park, Spain. [Wileyonlinelibrary.com/journal/hyp](https://doi.org/10.1002/hyp.13225) 2863. *Hydrological Processes*. 2018;32:2863–2873. <https://doi.org/10.1002/hyp.13225>
- Celis, A., Mediavilla, R., Santisteban, J.I., Castaño, S. & De la Losa, A. (2017). La desecación de las Tablas de Daimiel (1750-1987): cambios agrarios e impactos medioambientales a partir de la interpretación del registro sedimentario. *Historia Agraria*, 71, 5-35. ISSN: 1139-1472.
- Cirujano, S., Casado, C., Benúes, M. & Camargo, J.A. (1996). Ecological Study of Las Tablas de Daimiel National Park (Ciudad Real, Central Spain): Differences in Water Physico-Chemistry and Vegetation between 1974 and 1989. *Biological Conservation* 75, 211-215.
- De Aranda, G., García, J. & Martín-Montalvo, J.M. (1993). Evolución de la Calidad de las Aguas en el P.N. de las Tablas de Daimiel (Ciudad Real) Durante el Período Comprendido desde 1988 a 1993. *Ecología* Nº 7, 503-519.
- De la Losa A., Aguilera H., Jiménez-Hernández, E., Castaño S. & Moreno L. (2013). Las Tablas de Daimiel: agua y sedimentos. Capítulo 5. Hidrología e Hidroquímica. / Rosa Mª Mediavilla López, ed.- *Madrid Instituto Geológico y Minero de España, 2012*. ISBN: 978-84-7840-894-8.

- Drexler, J. Z., Knifong, D., Tuil, J., Flint, L. E. & Flint, A. L. (2013). Fens as whole-ecosystems gauges of groundwater recharge under climate change. *Journal of Hydrology* 481, 22-34.
- Domínguez-Castro, F., Santisteban, J.I., Mediavila, R., Dean, W.E., López-Pamo, E., Gil-García, M.J. & Ruíz-Zapata, M.B. (2006). Cambios en el almacenamiento de C en el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel (PNTD) en los últimos 1000 años. *Boletín Geológico y Minero*, 117 (Núm. Monográfico Especial), 537-544.
- Easy Quim. Cálculo de los balances químicos en análisis de agua y su representación gráfica. *Grupo de Hidrología Subterránea del Departamento de Ingeniería del Terreno*. Universidad Politécnica de Cataluña. <https://h2ogeo.upc.edu/es/software-hidrologia-subterrania/11-software-hidrologia-subterrania/42-easy-quim>
- FAO and Wetlands International (2012). Peatlands - guidance for climate change mitigation through conservation, rehabilitation and sustainable use. *Mitigation of Climate Change in Agriculture Series* 5. ISBN 978-92-5-107302-5. http://www.gret-perg.ulaval.ca/fileadmin/fichiers/fichiersGRET/pdf/Doc_generale/Joosten_2012_Peatlands-guidance_for_climate_change.pdf.
- Froend, R.H., Horwitz, P. & Sommer, B. (2016). Groundwater Dependent Wetlands. C. M. Finlayson et al. (eds.). *The Wetland Book*. DOI 10.1007/978-94-007-6173-5_246-1.
- Johansen, O. M., Pedersen, M. L., Jacob & Jensen, J. B. (2011). Effect of groundwater abstraction on fen ecosystems. *Journal of Hydrology*, volume 402, Issues 3–4, 25 May 2011, 357-366.
- Kazezyilmaz-Alham, C.M. & Medina, M.A. (2008). The effect of surface/ground water interactions on wetland sites with different characteristics. *Desalination* 226, 298-305.
- Moreno L., Jiménez M.E., Aguilera, H. Jiménez & P. de la Losa A. (2011). The 2009 Smouldering Peat Fire in Las Tablas de Daimiel National Park (Spain). *Fire Technology*, 47, 519-538. DOI: 10.1007/s10694-010-0172-y.
- Saco, M. P., Rodríguez, J. F., Moreno-de las Heras, M., Keesstra, S., Azadi, S., Sandi, S., Baartman, J., Rodrigo-Comino, J. & Rossi, M., J. (2020). Using hydrological connectivity to detect transitions and degradation thresholds: Applications to dryland systems. *Catena*, Volume 186, March 2020, 104354.
- Saéz-Royuela, R. (1977). Contribución al estudio ecológico de las Tablas de Daimiel: las aguas. *Anales INIA*, 3, 101-49.
- Sampath, P. V., Liao, H., Z. K., Doran, P. J., Herbert, M. E., May, C. A. & Li, S. (2015). Understanding the Groundwater Hydrology of a Geographically-Isolated Prairie Fen: Implications for Conservation. *PLoS ONE* 10(10): e0140430, doi: 10.1371/journal.pone.0140430.
- Sánchez-Carrillo, S. Angeler, D. G., Cirujano, S. & Álvarez-Cobelas, M. (2010). The Wetland, Its Catchment Settings and Socioeconomic Relevance: An Overview. *Ecology of Threatened Semi-Arid Wetlands: Long-Term Research in Las Tablas de Daimiel*. Springer Science+Business Media B.V. doi: 10.1007/978-90-481-9181-9_1.
- Secretaría de la Convención de Ramsar (2010 a). Asignación y manejo de los recursos hídricos: Lineamientos para la asignación y el manejo de los recursos hídricos a fin de mantener las funciones ecológicas de los humedales. *Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales*, 4ª edición, vol. 10. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-10sp.pdf>
- Secretaría de la Convención de Ramsar (2010 b). El manejo de las aguas subterráneas: Lineamientos para el manejo de las aguas subterráneas a fin de mantener las

características ecológicas de los humedales. *Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 11*. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-11sp.pdf>

Ramsar Convención on Wetlands (2018). The Global Wetland Outlook - Status and Trends 2018. *The Ramsar Convention Secretariat. Switzerland*. <https://www.global-wetland-outlook.ramsar.org/>.

Turetsky, M.R., Benscoter, B., Page, S. Rein, G. van der Werf, G.R. & Watts, A. (2015). Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. *Nature Geoscience Vol 8. January, 2015*. www.nature.com/naturegeoscience

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

