

Uso de técnicas estadísticas para la evaluación del impacto ambiental de las actividades agrícolas en el agua subterránea: Aplicación a la masa de agua subterránea Campo de Cartagena

Use of statistical techniques to evaluate the potential environmental impact to the groundwater from the employment of agricultural chemicals: Application to Campo de Cartagena GWB

Juan Grima¹, Juan Antonio Luque², Elisabeth Díaz-Losada¹, Juan Ángel Mejía³ y Rogelio Costilla³

¹ IGME. C/Cirilo Amorós, 42, entlo, 46004 Valencia, España. j.grima@igme.es, el.diaz@igme.es

² IGME. Urb. Alcázar del Genil, 4 bajo, ed. Zulema, 18006 Granada, España. ja.luque@igme.es

³ Universidad de Guanajuato (Mexico). Campus Irapuato-Salamanca, Mexico. mejiaalba@prodigy.net.mx, rsalazar@ugto.mx

ABSTRACT

Under article 17 of Water Framework Directive and the Groundwater Daughter Directive the Member States are required to provide measures to prevent and control groundwater pollution. Information on the concentration of a substance should be obtained from groundwater monitoring data. Pollution will be prevented if groundwater quality does not exceed a relevant assessment limit at an assessment point. Assessment limits represent the maximum concentration of a substance that should be present at the assessment point. When assessing the potential environmental impact to groundwater associated with agricultural activities, nitrates and pesticides are the relevant parameters. A number of techniques can then be applied to statistically derive a representative concentration for comparison to environmental standards. An insight into the ways in which basic statistical tools can be applied to evaluate potential impacts to the state of the environment, and water in particular, from the routine application of agricultural chemicals is provided. These include temporal and spatial analysis. Temporal evaluation is accomplished by means of exploratory data analysis and Mann Kendall trend test, while spatial analysis is realized by using kriging techniques.

Key-words: Water Framework Directive, groundwater, trends, kriging, nitrates.

RESUMEN

La Directiva Marco del Agua y la Directiva de Aguas Subterráneas, desarrollada a través del artículo 17 de la primera, establecen una serie de requerimientos a los Estados Miembros con objeto de prevenir y luchar contra la contaminación de las aguas subterráneas. Las redes de observación proporcionan dicha información, verificando si la concentración de una sustancia determinada supera los umbrales ambientales en los puntos de control. Los límites de evaluación representan la máxima concentración admisible en dichos puntos. Cuando se evalúa el impacto potencial en el agua subterránea asociado a las actividades agrícolas, los parámetros relevantes son nitratos y pesticidas. La aplicación de técnicas estadísticas permite obtener concentraciones representativas, que pueden ser comparadas con los estándares ambientales. Con objeto de evaluar los impactos potenciales sobre el medio ambiente en general y el agua subterránea en particular en relación con la utilización rutinaria de productos químicos en la agricultura, se proporciona una visión de conjunto de la aplicación de técnicas estadísticas básicas, incluyendo análisis espacial y temporal. Este último se realiza mediante el análisis exploratorio de datos y ensayos de Mann-Kendall, mientras que el kriging es la técnica de referencia en el análisis espacial.

Palabras clave: Directiva Marco del Agua, agua subterránea, tendencias, kriging, nitratos.

Geogaceta, 55 (2014), 39-42.
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 15 de julio de 2013
Fecha de revisión: 22 de octubre de 2013
Fecha de aceptación: 29 de noviembre de 2013

Introducción

Con objeto de evaluar el impacto potencial de las actividades agrícolas sobre el medio ambiente es preciso establecer un programa de seguimiento del estado químico y cuantitativo de las masas de agua subterránea. El objetivo de dicho programa es proporcionar información que permita obtener una visión lo más completa posi-

ble y coherente del estado de las aguas subterráneas de acuerdo con lo estipulado en la Directiva Marco del Agua, DMA y en la Directiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006 (EC, 2006), relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro (Sánchez, 2005). Para cumplir con esta obligación, las distintas demarcaciones hidrográficas han es-

tablecido redes de control para el seguimiento de los parámetros de calidad química de las masas de agua subterránea que establece la DMA.

Resumen del programa de control

En la Demarcación hidrográfica del Segura (SE de España) se ha definido una red

de control general de calidad que consta de 130 puntos, distribuidos en las subredes de vigilancia y operativa, con 104 y 26 puntos respectivamente, esta última sobre masas de agua subterránea definidas como en riesgo químico.

En la figura 1 se muestra la localización de la masa de agua Campo de Cartagena, con una extensión aproximada de 1450 km², en el contexto de la demarcación hidrográfica y la situación de las estaciones de seguimiento del estado químico de la misma, representando con un círculo aquellas estaciones en las que se ha superado el 75% de la norma de calidad de algún parámetro de calidad estudiado, y con un cuadrado el resto de estaciones (Luque *et al.*, 2010).

Análisis de los datos

Los parámetros analizados en el contexto del estudio son nitratos y pesticidas durante el periodo 1976-2008 (con un total de 628 registros), si bien los datos correspondientes a estos últimos son muy escasos y no ha sido posible obtener conclusiones válidas mediante su análisis (USEPA, 2009). Las técnicas empleadas para este trabajo han sido el análisis de tendencias, mediante el método de Mann-Kendall (Helsel y Hirsch, 2002) y el análisis espacial, mediante la estimación por krigaje ordinario (Journel y Huijbregts, 1978). Aunque este último método produce un efecto de suavizado, sin embargo, su interés radica en que estima el valor

más probable en un punto o área no muestreada.

Análisis de tendencias

Los valores observados se encuentran en general por encima de la norma de calidad y presentan fuertes oscilaciones, como puede observarse en la figura 2. Estos problemas habría que estudiarlos en detalle, pues estaciones muy próximas parecen reflejar comportamientos diferentes.

La tendencia de las series representadas es imposible de determinar desde el punto de vista estadístico, debido a las lagunas de información existentes y las variaciones tan bruscas que presentan los pa-

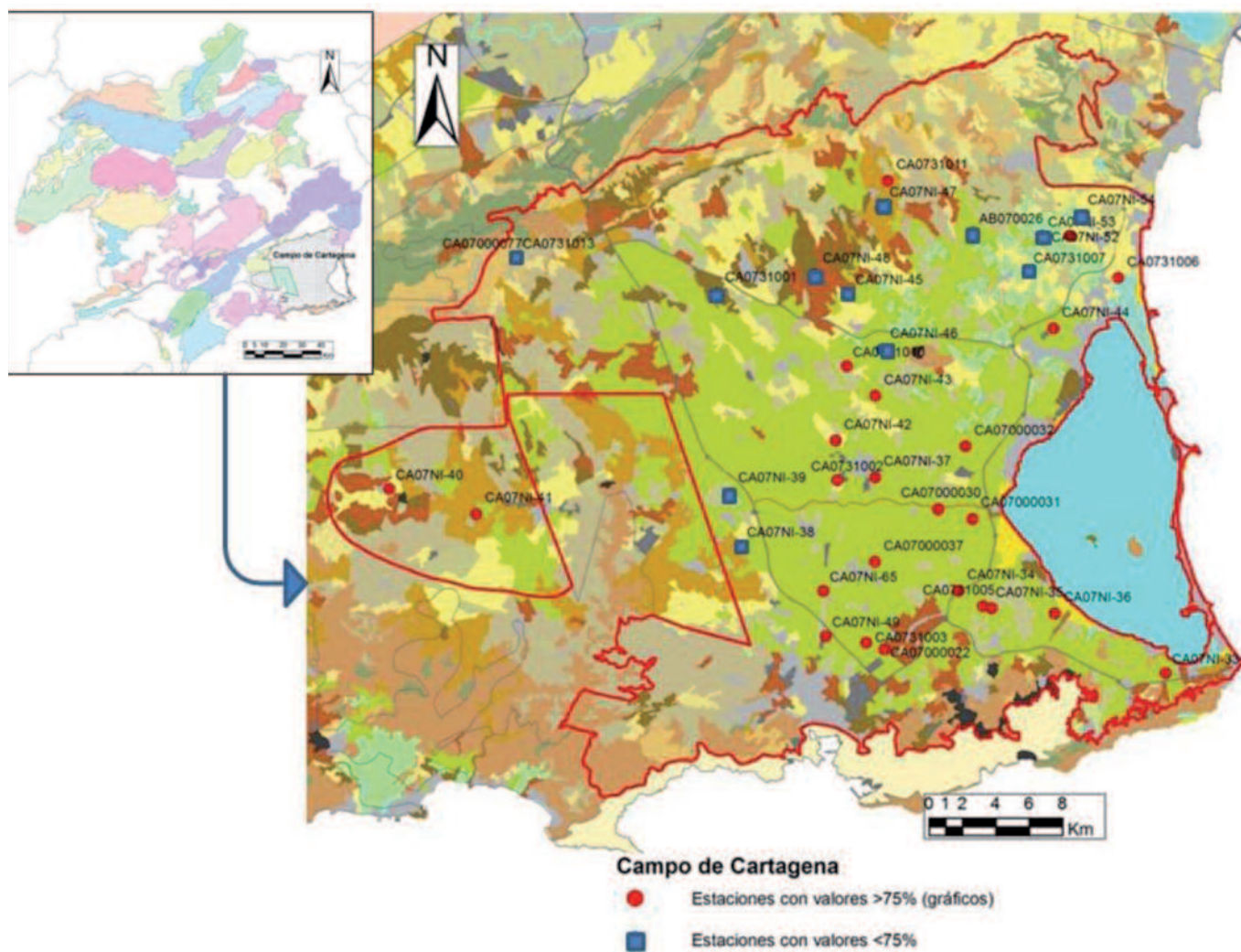


Fig. 1.- Localización de la masa de agua subterránea Campo de Cartagena.

Fig. 1.- Campo de Cartagena GWB location.

Año	Mínimo mg/L	Primer cuartil mg/L	Mediana mg/L	Media mg/L	Tercer cuartil mg/L	Máximo mg/L
2007	0,50	10,30	66,00	95,50	175,80	394,20
2008	0,59	16,12	92,95	110,80	188,50	364,30

Tabla 1.- Resumen de concentración de nitratos en estaciones de seguimiento durante 2007 y 2008.

Table 1.- Summary of nitrate concentration at monitoring stations during 2007 and 2008.

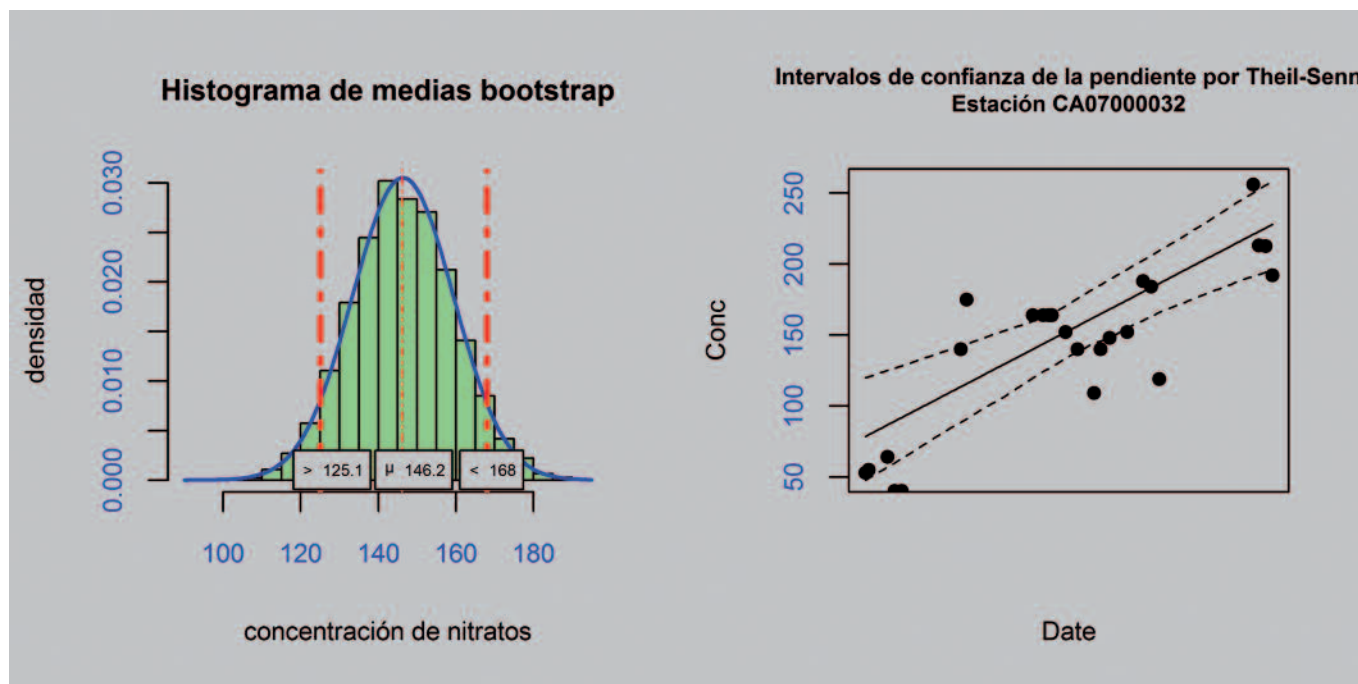


Fig. 3.- Cálculo de la media de la concentración de nitratos (mg/L) en la estación CA07000032 e intervalos de confianza de la pendiente (mg/L).

Fig.3.- Mean of nitrate concentration (mg/L) at station CA07000032 and confidence intervals for the slope (mg/L).

rámetros controlados. Aunque la mayoría, simplemente no tienen registros suficientes para intentar determinarla.

La tabla 1 muestra los estadísticos de la concentración de nitratos para los años 2007 y 2008 (años de referencia para la elaboración del nivel básico de acuerdo con la Directiva de Aguas Subterráneas). Con los datos disponibles durante estos años se comprueba un ligero empeoramiento en la calidad del agua subterránea.

En la figura 3 se muestra el histograma de medias *bootstrap* (Canty y Ripley, 2013) calculado para la concentración de nitratos en la estación CA07000032 (con 27 registros) y el intervalo de confianza para la pendiente calculada mediante el método de Theil-Senn. En dicha estación se observa claramente la existencia de una tendencia creciente, así como la existencia de un impacto sobre el agua subterránea representado por el intervalo inferior de confianza, con un valor muy por encima del estándar (50 mg/L).

Análisis espacial

La cantidad de datos empleada para realizar el análisis geoestadístico en octubre de 2007 está en el límite de volumen de información mínima en este tipo de estudios. Aun así, la distribución homogénea de los datos ha facilitado la obtención de un variograma experimental al que se le ha realizado un buen ajuste a un modelo teórico. Para esta campaña de muestreo de nitratos el modelo ajustado es del tipo exponencial en el que la meseta presenta un valor de 8.500 y el alcance es de 14.500 m.

Además de calcular el variograma de los datos experimentales, debido al amplio rango de variación de los mismos, se calculó igualmente el variograma experimental del logaritmo de las concentraciones de nitratos, habitual cuando las oscilaciones de la variable experimental presentan variaciones de varios órdenes de magnitud, pero el resultado era más difícil de modelizar.

El muestreo del año siguiente sólo cuenta con 12 medidas por lo que el análisis geoestadístico no se ha podido realizar.

En la estimación realizada, el color negro representa los valores más bajos estimados (<5 mg/L) y el blanco los más altos (>250 mg/L) de nitratos estimados (Fig. 4).

El krigeaje ordinario ha permitido definir claramente la distribución de los nitratos.

Mientras que los valores más bajos se concentran en el noroeste, hacia el sur este van aumentando hasta alcanzar los registros más altos.

Resultados y conclusiones

Los análisis indican, en principio, que casi el conjunto de la masa está en una situación ambiental insostenible (lo que la inhabilita para otros usos, incluido el abastecimiento) y habría que determinar el origen de los valores elevados de las variables controladas así como el significado de

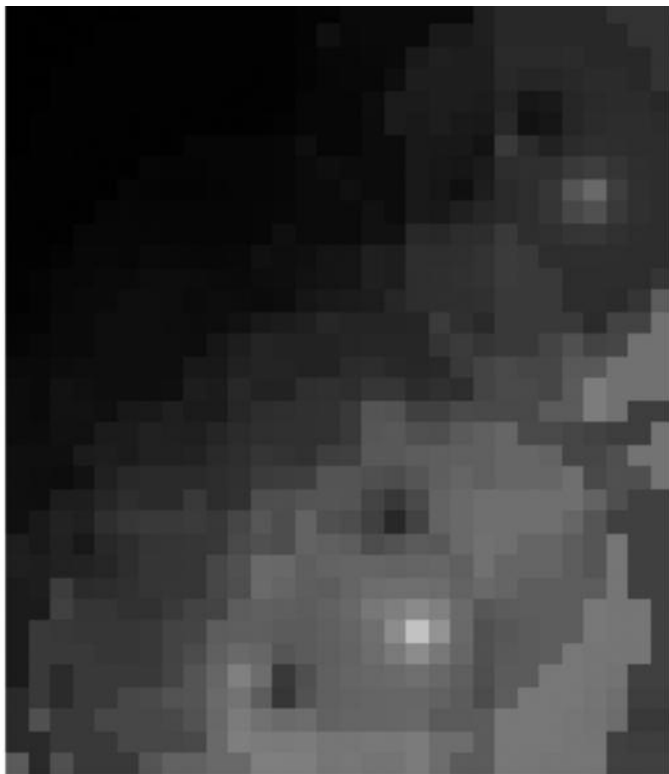


Fig. 4.- Estimación por krigeaje ordinario de la concentración de nitratos de octubre de 2007 (ver localización en Fig. 1). El modelo de ajuste ha sido exponencial, la meseta=8.500 y el alcance=14.500 m. El color negro representa los valores más bajos estimados (0,8<5 mg/l) y el blanco los más altos (306>250 mg/l).

Fig.4.- Kriging of nitrate concentration (October 2007) (sea localización in Fig. 1). Black colour represents lower values (0,8 mgr/l) while white represents highest ones (306 mg/l) of estimated nitrate concentration.

los fuertes picos. No obstante, en principio, hay que determinar el alcance real de los problemas observados, pues con la información disponible no es suficiente. Para poder realizar un análisis estadístico de la tendencia el control debería ser más regular, semestral y a intervalos fijos. De forma orientativa, las determinaciones deberían realizarse en marzo-abril y septiembre-octubre de cada año con objeto de detectar posibles estacionalidades.

Sin embargo, esta pauta general no debería ser fijada para esta MASb mientras no se estudie más en detalle el origen de las fuertes oscilaciones observadas.

En aquellas estaciones en las que existen datos suficientes (todas excepto la CA07000077, CA07NI-52, CA07NI-65), se ha realizado un análisis de tendencias mediante el método de Mann-Kendall.

No obstante, la pequeña cantidad de estaciones con datos suficientes para reali-

zar un análisis fiable no permite evaluar la existencia de tendencias regionales en la masa de agua subterránea, tanto crecientes como decrecientes.

La estimación realizada mediante krigeaje muestra dos direcciones de variabilidad que aproximadamente son NE-SO y NO-SE. No obstante, la escasez de estaciones de control existentes en este acuífero impide realizar análisis direccionales.

Además, las estaciones de control existentes son insuficientes para realizar el control ambiental de la MASb. Se debería analizar la concentración de estaciones, su representatividad y la posible estratificación de las variables. Esta MASb constituye un ejemplo de las mejoras que se deben introducir en el control ambiental y de usos de las aguas subterráneas y las limitaciones que presenta la información disponible para cumplir con mayor rigor con los requerimientos de la DMA.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado con el apoyo del proyecto de investigación Soil-Water, financiado por el Instituto Geológico y Minero de España. Igualmente se agradece a los revisores sus comentarios pues han permitido mejorar y enriquecer este trabajo.

Referencias

- European Parliament and Council Directive 2006/118/EC of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration, OJ L372, 27.12.2006, pp19-31. IGME (2007).
- Canty, A. y Ripley, B. (2013). *boot: Bootstrap R (S-Plus) Functions*. R package version 1.3-9.
- Helsel, D.R. y Hirsch, R.M. (2002). *Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey. Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation. Statistical Methods in Water Resources*. Environmental science and pollution research international 14(5), 297-307.
- Journel, A. y Huijbregts, C. (1978). *Mining Geostatistics*. Academic Press, New York, 600 p.
- Luque Espinar, J.A., Grima Olmedo, J., Jiménez Sánchez, J., Jiménez Escamilla, M.C., Hueso Quesada, L.M. y Gómez-Escalonilla Sánchez, M.D. (2010). *Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las Aguas Subterráneas (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino – Instituto Geológico y Minero de España). Actividad 10: Apoyo a la implementación de la Directiva de protección de aguas subterráneas. Determinación de tendencias y de puntos de partida para la inversión de tendencias*. Ocho volúmenes, 1180 pp. Informe interno.
- Sánchez, A. (2005). *Estudio inicial para la identificación y caracterización de las masas de agua subterránea de las cuencas intercomunitarias. Tomo I. Memorias y Anejos 1, 2 y 3*. Secretaría General para el territorio y la biodiversidad. Dirección General del Agua. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. [http://www.phjucar.com/docs/otros_docs/Est_caract_mas_agua_subt\(memoriay-fichasjucar\).pdf](http://www.phjucar.com/docs/otros_docs/Est_caract_mas_agua_subt(memoriay-fichasjucar).pdf)
- U.S. Environmental Protection Agency (2009). *Office of Resource Conservation and Recovery. Unified guidance for statistical analysis of groundwater monitoring data at RCRA facilities*.