

ELABORACIÓN DE MAPAS DE OZONO QUE REGISTRAN LA EVOLUCIÓN DE ESTE CONTAMINANTE UTILIZANDO TÉCNICAS GEOESTADÍSTICAS

López, F.; Valiente, P.; Moral, F.J.; Pinilla, E.

Abstract

Ground-level tropospheric ozone is one of the air pollutants of most concern. It is mainly produced by photochemical processes involving nitrogen oxides and volatile organic compounds in the lower parts of the atmosphere. Ozone levels become particularly high in regions close to high ozone precursor emissions and during summer, when stagnant meteorological conditions with high insolation and high temperatures are common. Tropospheric ozone levels in Europe continue to exceed both target values and the long-term objectives established in EU legislation to protect human health and prevent damage to ecosystems, agricultural crops and materials. In this work, some results of urban ozone distribution patterns in the city of Badajoz, which is the largest (140.000 inhabitants) and most industrialized city in Extremadura region (southwest Spain) are shown.

Keywords: Ozone, Geostatistics, Geographic Information System, Variogram, Kriging, Map.

Resumen

Las concentraciones de ozono en las áreas urbanas constituyen un parámetro indicativo del nivel de contaminación de las mismas.

A partir de los datos de ozono obtenidos en el transcurso de varias campañas de muestreo en la ciudad de Badajoz (Spain), se emplearon técnicas geoestadísticas, definiendo el variograma experimental y ajustándole con posterioridad un modelo teórico, con el fin de analizar la distribución espacial de este contaminante, y con posterioridad, elaborar los mapas predictivos de las concentraciones de ozono en todas las localizaciones del área experimental, en base a algoritmos geoestadísticos (krigeado). Otra información, relativa a la calidad de las predicciones y a la probabilidad de superar una serie de valores umbrales predeterminados, pueden generarse también mediante los métodos geoestadísticos.

Palabras claves: Ozono, Geoestadística, Sistema de Información Geográfica, Variograma, Krigeado, Mapa.

1. Introducción

Tanto en España como en la Unión Europea, la política de medio ambiente cobra cada vez un protagonismo más importante, debido a la creciente alarma que supone para la seguridad y la salud humana una expansión económica incontrolada y sucesos tan notables como el desastre de Chernobyl, la destrucción de los bosques por la lluvia ácida y, a nivel mundial, el efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono.

La preocupación de la sociedad actual por su naturaleza y la progresiva degradación debida a la contaminación hace que cada vez más los ciudadanos estén demandando un tipo de vida menos agresivo hacia el medio ambiente, consumiendo productos ecológicos, apostando por industrias no contaminantes, etc. Asimismo, los ciudadanos exigen a sus gobernantes actuaciones y medidas que beneficien al entorno donde viven, lo cual propicia

una tendencia a una mejor calidad de vida. Además, desde el punto de vista del planeamiento urbano, el conocimiento de los niveles de contaminación de un lugar concreto incide en actuaciones futuras.

Para el caso concreto de la ciudad de Badajoz, se planteó la necesidad de estimar la incidencia de la contaminación atmosférica y su distribución espacial. Para ello, utilizando un conjunto de técnicas con base geoestadística, se analizó la distribución espacial del ozono troposférico, el cual constituye un parámetro indicativo del nivel de contaminación ambiental, y, con posterioridad, mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG), se realizaron diversos mapas en los cuales se muestra la representación gráfica continua de dicha variable.

2. Metodología de investigación

En el desarrollo del trabajo, inicialmente se realizó una toma de datos. Con este fin se seleccionaron 138 localizaciones (puntos muestrales) situadas dentro del casco urbano de la ciudad de Badajoz. En ellas, mediante el uso de un analizador portátil automático, basado en la absorción de radiación ultravioleta, se midió la concentración de ozono en el aire (ppbV).

Las medidas se efectuaron en días laborables, entre los meses de mayo y agosto de 2007, elegidos en función de las condiciones favorables para la generación del ozono y dentro de unas franjas horarias en las cuales los niveles de ozono esperados son los máximos (entre las 16 y las 22 h).

Con posterioridad, con la información proveniente de cada una de las campañas de muestreo, se elaboró una base de datos en la cual se registraban, para cada día, los valores de ozono medidos y sus coordenadas geográficas. A partir de la misma, mediante el uso de un sistema de información geográfica, en concreto el programa ArcGIS, version 9.2, y su extensión Geostatistical Analyst, se llevó a cabo un estudio geoestadístico completo y se elaboraron diversos mapas en los cuales se visualiza la distribución espacial de la variable en toda el área experimental, en este caso la ciudad de Badajoz.

2.1 Estimación Geoestadística

La geoestadística comprende a un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable que se muestra distribuida en el espacio, o en el tiempo, de una forma continua. Debido a su aplicación orientada a los SIG, también se podría definir como la estadística relacionada con los datos geográficos, de ahí que se le conozca además como estadística espacial.

Todo trabajo geoestadístico tiene que llevarse a cabo en tres etapas (e.g. Isaaks y Srivastava, 1989):

1. Análisis exploratorio de los datos. En esta fase se estudian los datos muestrales sin tener en cuenta su distribución geográfica. Sería una etapa de aplicación de la estadística. Se comprueba la consistencia de los datos, eliminándose aquellos que sean erróneos, y se identifican las distribuciones de las cuales provienen.
2. Análisis estructural. Se estudia la continuidad espacial de la variable. En esta etapa se calcula el variograma experimental, o cualquier otra función que nos explique la variabilidad espacial, se ajusta al mismo un variograma teórico y se analiza e interpreta dicho ajuste al modelo paramétrico seleccionado.
3. Predicciones. Estimaciones de la variable en los puntos no muestrales, considerando la estructura de correlación espacial seleccionada e integrando la información obtenida de forma directa, en los puntos muestrales, así como la conseguida

indirectamente en forma de tendencias conocidas u observadas. También se pueden realizar simulaciones, teniendo en cuenta los patrones de continuidad espacial elegidos.

Generalmente, la función que se emplea para modelizar la variabilidad espacial es el variograma. Éste se define como:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2 \quad (1)$$

siendo $\gamma(h)$ el valor de la semivarianza experimental considerando una distancia h , $Z(x_i)$ son los valores medidos de la variable considerada en los puntos x_i , existiendo datos en x_i y x_i+h ; $N(h)$ es el número de pares de datos separados la distancia h entre sí.

En cualquier trabajo geoestadístico, el principal objetivo del mismo es la caracterización de la variable investigada en todas las localizaciones, partiéndose de la información suministrada por los puntos muestrales. Los métodos de estimación geoestadística son conocidos como krigeado o krigeaje (kriging en la literatura inglesa, en honor de Danie Krige, quien formuló por primera vez esta metodología en 1951). Las principales características que hacen del krigeado un método de estimación muy superior a los tradicionales, como el inverso ponderado de la distancia, la triangulación, etc., se han descrito en diversas obras (por ejemplo, Goovaerts, 1997; Moral, 2003).

La idea fundamental del krigeado es consecuencia de los conceptos relacionados con la dependencia espacial: los lugares que disten menos entre sí tendrán unos valores de los atributos más semejantes que los correspondientes a los puntos o bloques que estén más separados. En la naturaleza, esto suele cumplirse y, además, las variables naturales generalmente se distribuyen de una forma continua. Los distintos tipos de krigeado se diferencian por el modelo elegido para caracterizar a la tendencia de la función aleatoria (e.g. Goovaerts, 1997). En este trabajo se empleó el krigeado ordinario, por lo que se asumió una fluctuación de los valores medios pero existiendo estacionariedad local. Deutsch and Journel (1992) describieron al krigeado ordinario como el algoritmo geoestadístico más robusto, debido a su óptima aplicación bajo distintas condiciones.

3. Resultados

A partir de los valores medidos de ozono troposférico, para los distintos puntos muestrales (Figura 3), se desea conseguir un mapa que muestre cuáles son los valores estimados de dicho contaminante en cualquier punto del área estudiada y con una precisión adecuada. Para ello se llevó a cabo un estudio geoestadístico completo. Así, durante la fase del análisis exploratorio de los datos, se constató como éstos mostraban una tendencia hacia una distribución estadística normal, según se comprobó mediante el trazado de los histogramas y los gráficos de cuantiles (En la figura 1 se muestra, por ejemplo, el caso de la campaña desarrollada entre el 17 y 19 de julio de 2007. En el resto de las campañas los resultados son similares), además del cálculo de diversos estadísticos (Tabla 1) para cada una de las campañas. De estos últimos, el hecho que la media y la mediana fueran muy parecidos y el coeficiente de sesgo prácticamente cero, son índices numéricos que informan de una clara normalidad de los datos.

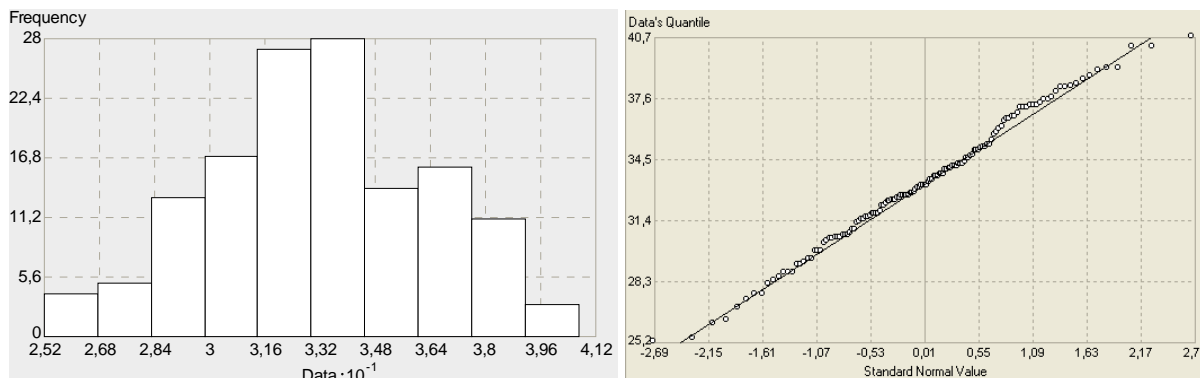


Figura 1. Histograma (izquierda) y gráfico de cuantiles (derecha) para las medidas tomadas en la campaña de muestreo llevada a cabo entre el 17 y 19 de julio de 2007.

	May 21-24	June 25-28	July 17-19	August 8-10	August 18-20
Mínimo (ppbv)	25.90	26.20	25.20	35.00	27.00
Máximo (ppbv)	43.20	45.70	40.70	47.00	42.00
Media (ppbv)	33.13	36.21	33.21	39.73	36.41
Mediana (ppbv)	33.10	36.70	33.10	39.00	37.00
Desviación típica (ppbv)	4.25	4.32	3.30	2.57	2.93
Coefficiente de sesgo	0.04	-0.42	-0.04	0.62	-0.67
Coefficiente de kurtosis	2.02	2.62	2.65	3.21	3.39

Tabla 1. Estadísticos correspondientes a las medidas de ozono ambiental obtenidas en las campañas de muestreo realizadas en la ciudad de Badajoz

Durante el análisis estructural de los datos, se obtuvieron una serie de variogramas experimentales, tanto como campañas efectuadas, a los que se le ajustaron unos variogramas teóricos, compuesto por un efecto pepita y un esférico (Figura 2). No se consideró anisotropía debido a que no existen en principio causas que la puedan justificar. Además, con el número de puntos muestrales considerados, la influencia de las diferentes direcciones del espacio hubieran supuesto la imposibilidad de definir unos variogramas direccionales aceptables (e.g. Isaaks y Srivastava, 1989).

Finalmente, en la fase de la estimación, se empleó el método conocido como krigeado ordinario (e.g. Moral, 2003). Para su aplicación, en primer lugar se diseñó una retícula, formada por celdas cuadradas de 40 m de lado, la cual se superpuso sobre el área de estudio. Seguidamente, se procedió a estimar el nivel de ozono en cada uno de los vértices de las celdas. A partir de dichos valores estimados se realizó la representación gráfica en donde se muestra la distribución del ozono ambiental en la ciudad de Badajoz (Figura 3).

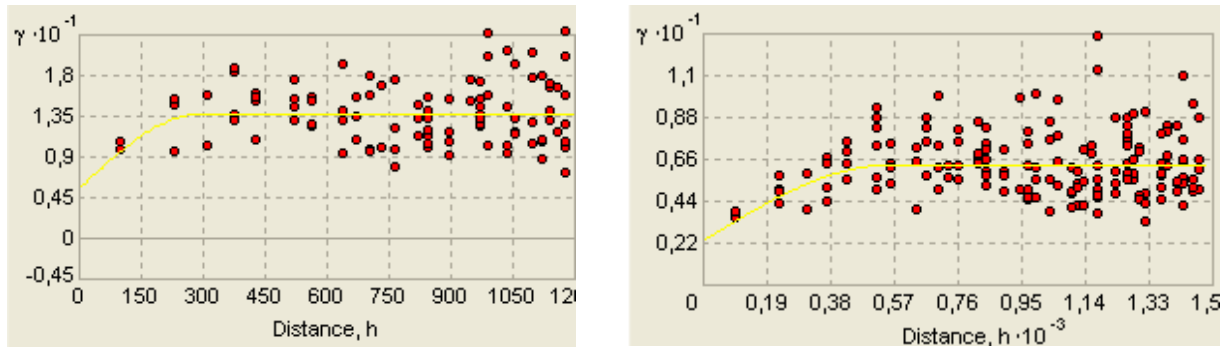


Figura 2. Variogramas experimentales (puntos rojos) correspondientes a las campañas efectuadas los días 25-28 de junio (izquierda) y 8- 10 de agosto de 2007, y variogramas teóricos (líneas amarillas) ajustados en cada caso.

Una de las muchas ventajas que aporta los métodos de estimación geoestadística sobre otros se encuentra en que, además de la estimación en cada punto, se obtiene adicionalmente un valor puntual de la varianza o de la desviación típica, denominada varianza o desviación típica del krigeado (e.g. Moral, 2003). Cualquiera de ellos informa sobre la precisión de las estimaciones en el área de estudio considerada. Por ello, junto al mapa donde se muestran las predicciones, se puede adjuntar otro donde se informe de la bondad de las mismas. Además, otro tipo de mapas de especial utilidad son los denominados mapas de probabilidad. En ellos se representan las probabilidades de exceder el valor umbral que el usuario establezca. Estos mapas se basan en la normalidad de los datos, con lo cual este requisito es imprescindible para obtenerlos con la suficiente precisión (Goovaerts, 1997). Es este trabajo, a modo de ejemplo, se muestran los mapas de probabilidad correspondientes a dos campañas (Figura 4).

4. Conclusiones

El presente trabajo muestra como, mediante el empleo de técnicas geoestadísticas, se puede cumplir el doble objetivo de caracterizar la variabilidad espacial del ozono ambiental e incluir esa información en el algoritmo de interpolación, lo cual no es posible si se utilizaran otros métodos de estimación.

Con la obtención de un mapa de distribución del ozono, para cada una de las campañas de muestreo llevadas a cabo en la ciudad de Badajoz, se puede analizar la evolución temporal de este contaminante atmosférico.

Además de los mapas predictivos, con el uso de los métodos geoestadísticos se pueden generar mapas de probabilidad, lo cuales se basan en la normalidad de los datos. Este tipo de información es fundamental para todas aquellas personas encargadas de tomar decisiones a la hora de corregir o mitigar los efectos dañinos que pudieran ocasionar cualquier contaminante ambiental.

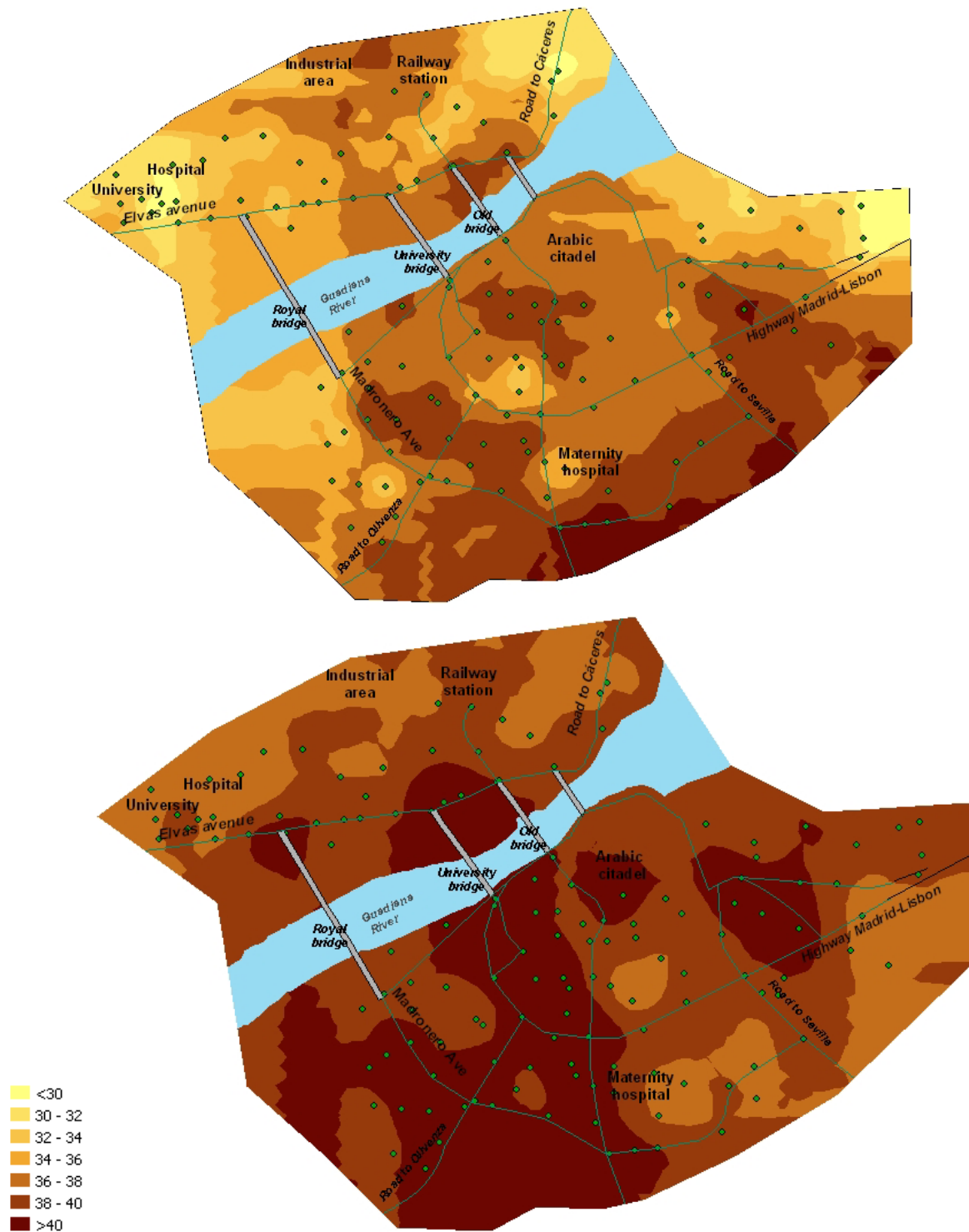


Figura 3. Mapas de predicción del ozono ambiental en la ciudad de Badajoz, correspondientes a los días 25-28 de junio (arriba) y 8- 10 de agosto de 2007 (abajo). Las unidades de la escala son ppbV.

Los puntos verdes corresponden a los lugares donde se midieron las concentraciones de ozono (puntos muestrales).

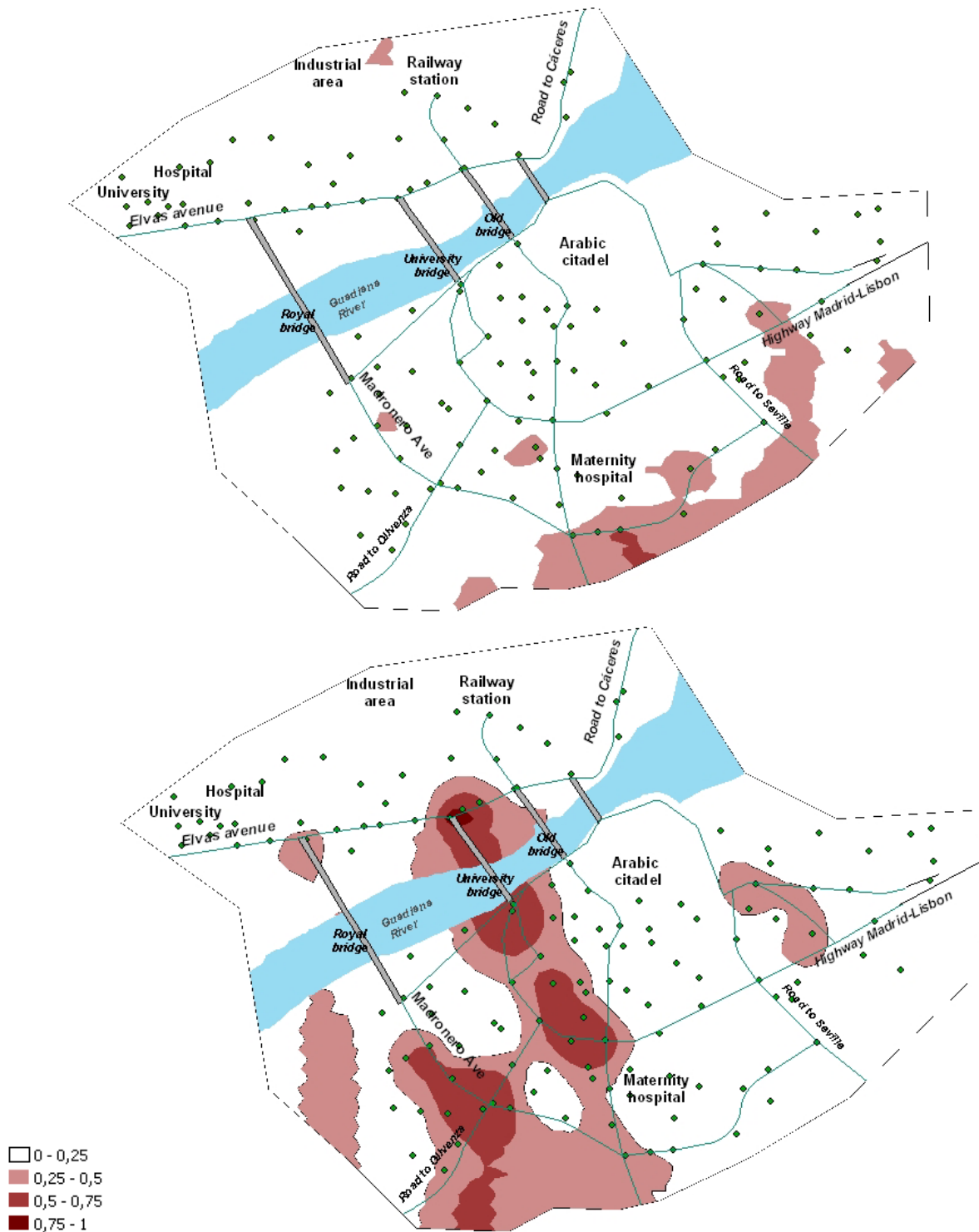


Figura 4. Mapas de probabilidad del ozono ambiental de exceder el valor de 42 ppbV en la ciudad de Badajoz, correspondientes a los días 25-28 de junio (arriba) y 8- 10 de agosto de 2007 (abajo). La escala representa probabilidad.

Referencias

- [1] Deutsch, C.V., y Journel, A.G. Gslib: Geostatistical Software Library and user's guide, Oxford Univ. Press, New York. 1992
- [2] Goovaerts, P. Geostatistics for Natural Resources Evaluation, Oxford Univ. Press, New York. 1997.
- [3] Isaaks E.H., y Srivastava, R.M. An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford Univ. Press, New York. 1989.
- [4] Moral, F.J. La Representación Gráfica de las Variables Regionalizadas. Geoestadística lineal. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Extremadura, Cáceres. 2003.

Correspondencia

Fernando López Rodríguez
Teléfono de contacto: 649833585
E-mail de contacto: ferlopez@unex.es
Empresa / Institución: Universidad de Extremadura