

Camarillo Naranjo, J.M., Álvarez Francoso, J.I., Aguilar Alba, M. y Pita López, M.F. (2010): Metodología de cálculo de valores de precipitación diaria en estaciones meteorológicas automáticas para la obtención de indicadores climáticos mensuales. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 679-690. ISBN: 978-84-472-1294-1

## METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE VALORES DE PRECIPITACIÓN DIARIA EN ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS PARA LA OBTENCIÓN DE INDICADORES CLIMÁTICOS MENSUALES

*Juan.Mariano Camarillo Naranjo (1), José Ignacio Álvarez Francoso (1), Mónica Aguilar Alba (1) y María Fernanda Pita López (1)*

(1)Departamento de Geografía Física y A.G.R, Universidad de Sevilla, C/ María de Padilla s.n. E-41004. [jmcamarillo@us.es](mailto:jmcamarillo@us.es), [malba@us.es](mailto:malba@us.es), [mfpita@us.es](mailto:mfpita@us.es)

### RESUMEN

Los recursos hídricos constituyen el eje central de la política ambiental en Andalucía y, por ello, la generación de indicadores climáticos en esta Comunidad Autónoma en rutina es uno de los objetivos prioritarios en la gestión ambiental de la región. Sin embargo, las dificultades derivadas de la obtención de los datos necesarios que permitan disponer de estos indicadores de seguimiento, de forma sincrónica y continua en el tiempo, constituyen un problema aún no resuelto. Los registros provenientes de las estaciones climáticas automáticas no permiten disponer, hoy por hoy, de una información regular ni en el espacio ni el tiempo, lo que impide generar estos indicadores con la actualidad y continuidad necesarias. El principal reto se centra en la obtención de información regional pluviométrica, a escala diaria, a partir de la cual se puedan calcular los valores mensuales, con el objetivo de generar series continuas sin presencia de lagunas en estos datos. En el caso de algunos indicadores, como los de sequía, esta continuidad temporal de los registros mensuales de precipitación es una condición básica para poder efectuar su cálculo, al estar basados en el déficit pluviométrico calculado, como diferencia de precipitación con el mes anterior.

Andalucía dispone de varias redes de estaciones automáticas meteorológicas con una cobertura espacial suficiente como para garantizar una buena representación de las variables climáticas que se especialicen. Un conjunto de 84 observatorios fueron utilizados para interpolar los valores diarios de precipitación a partir de las estaciones automáticas disponibles en cada fecha mediante el procedimiento de splines. Mediante regresión lineal se interpolaron las lagunas diarias, utilizando los datos de precipitación obtenidos y los del entorno (precipitación regional) recabados para esa fecha a partir de una ventana de 25 Kilómetros. Todo el proceso se ejecuta mediante un modelo iterativo creado con la aplicación Model Builder de ArcGis, sobre el modelo de información almacenado en una base de datos geográfica diseñada a tal efecto. El procedimiento permite obtener los valores de precipitación mensuales y estimar el error diario y mensual.

Palabras Clave: Indicadores climáticos, precipitación, interpolación, regresión lineal, Andalucía.

## ABSTRACT

*Water resources are the key issue of environmental policy in Andalusia and, therefore, the generation of climate indicators in routine is of prior interest for environmental policies in the region. However, the difficulties arising from the acquisition of data that enables the delivery of these indicators continuously in time are an unresolved problem. Records from automatic weather stations cannot have, today, regular information in either space or time, which prevents the generation of these indicators to current and continuity. The main challenge is to obtain daily regional rainfall data, from which is calculated monthly values, in order to generate continuous series without the presence of gaps. For some indicators, such as indicators of drought, this temporal continuity of monthly precipitation records is necessary for their calculation as is based on the rainfall deficit calculated as the difference of precipitation with the previous month.*

*Andalucía has several automatic weather station networks with a good spatial coverage to ensure the spatial representation of climatic variables. A set of 73 observatories were used to interpolate daily precipitation values from the automatic stations available on each date by splines procedure. Simple linear regression is used to interpolate daily gaps in the selected stations, using the rainfall data recorded and the regional precipitation obtained for that station and date within a window of 25 kilometres. The whole process runs through an iterative model created with the Model Builder application of ArcGis stored in a geographic database designed for this purpose. The procedure allows the estimation of monthly rainfall data and estimation of the daily and monthly error.*

*Key Words: climatic indicators, precipitation, interpolation, linear regression, Andalusia.*

## INTRODUCCIÓN

Los indicadores climáticos son las variables de estado básicas en la gestión y seguimiento del medioambiente siendo su utilización fundamental en los procesos de evaluación y toma de decisiones a todas las escalas de gestión.

Uno de los objetivos fundamentales del presente trabajo consiste en el diseño y la implementación de una serie de indicadores climáticos, generados a partir de las variables del Subsistema de Información de Climatología Ambiental (CLIMA) de la Consejería de Medio Ambiente (CMA) de la Junta de Andalucía. Los recursos hídricos constituyen el eje central de la política ambiental en Andalucía y, por ello, la generación en rutina de indicadores climáticos relacionados con la precipitación en Andalucía es una cuestión de especial importancia en la gestión ambiental de la región.

Sin embargo, las dificultades derivadas de la adquisición de los datos de precipitación necesarios que posibiliten la obtención de estos indicadores de seguimiento, de forma sincrónica y continua en el tiempo, constituyen un problema de difícil solución. Los registros provenientes de las estaciones climáticas automáticas no permiten disponer, hoy por hoy, de una información regular ni en el espacio ni en el tiempo, lo que impide generar estos indicadores con la actualización y continuidad necesarias. El principal reto se centra en la obtención de información regional pluviométrica, a escala diaria, a partir de la cual se calculen los valores mensuales, con el objetivo de generar series continuas sin presencia de lagunas, ya que incluso un bajo porcentaje de las mismas tienen capacidad de distorsión en las series mensuales (Stooksbury y col. (1999). En el caso de algunos indicadores, como los de sequía, esta continuidad temporal de los registros mensuales de precipitación es una premisa básica para poder efectuar su cálculo, al estar basados en el déficit pluviométrico calculado, como diferencia de precipitación con el mes anterior.

El presente trabajo forma parte de los estudios de investigación previos para cumplir los objetivos de dos convenios establecidos entre la CMA y el grupo de climatología del Departamento de geografía Física y A.G.R. de la Universidad de Sevilla: "Evaluación de la incidencia del clima sobre la sequía en Andalucía. Elaboración de índices climáticos de sequía" y "Asesoría y diseño de aplicaciones para la explotación del Subsistema de Información de Climatología Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía".

A continuación se detallan la secuencia metodológica seguida para la creación de un modelo de estimación de la precipitación diaria en estaciones con lagunas.

## REDES DE ESTACIONES Y VARIABLES UTILIZADAS

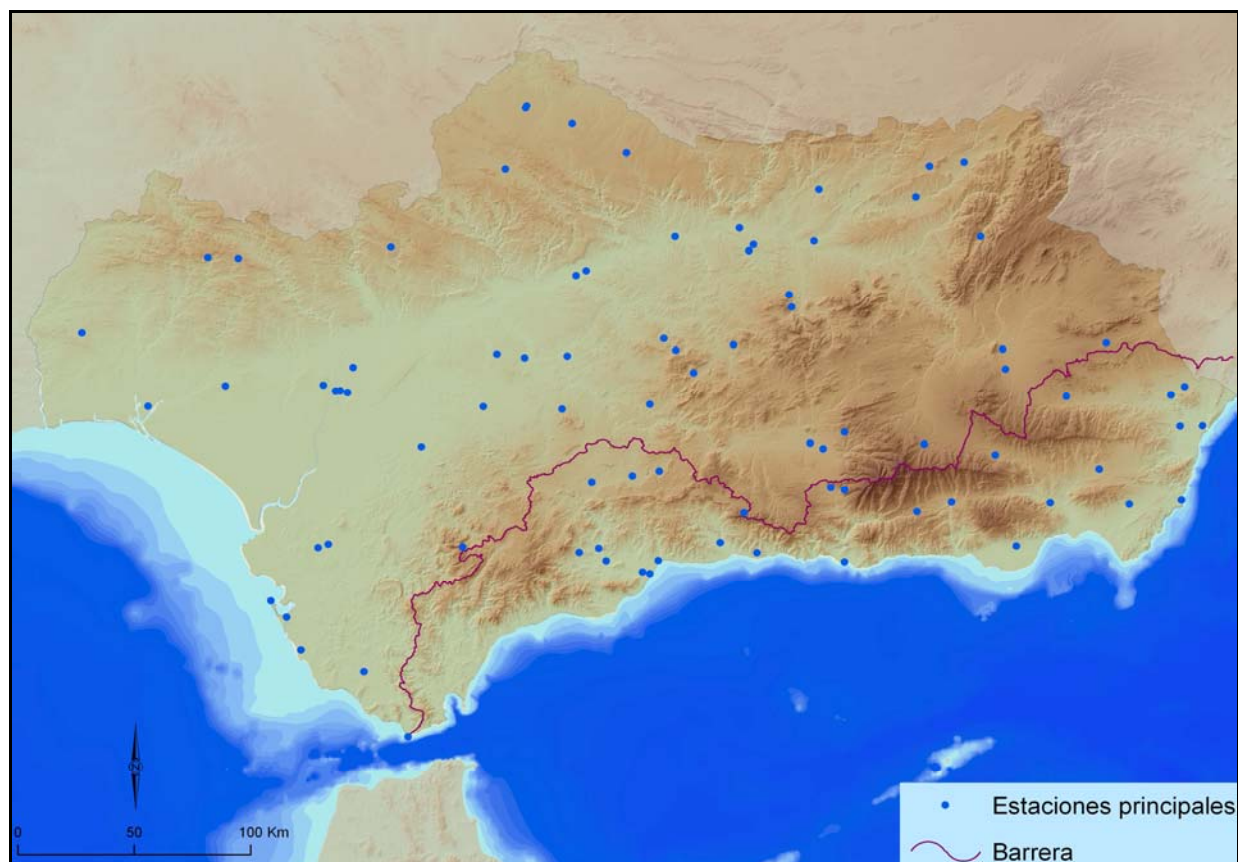
El Subsistema CLIMA dispone de redes de estaciones automáticas meteorológicas con una cobertura espacial suficiente como para garantizar una buena representación de las variables climáticas. Un conjunto de 84 estaciones

automáticas, del total de las 297 existentes, han sido utilizadas para aplicar la metodología propuesta de relleno de lagunas a partir de la selección de los valores de precipitación en cada una de ellas, durante de 50 días del periodo 2005-2009 (figura 1). Esta muestra fue seleccionada de forma aleatoria entre aquellos días sin lagunas y que hubiesen registrado precipitación, es decir, los contabilizados con valores superiores a cero en este período de 5 años.

Los datos de estos observatorios se utilizarán para el cálculo del Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP) (Pita López, 2001) con una periodicidad mensual y para la obtención de la precipitación acumulada en el año hidrológico. Estos indicadores serán publicados en la página web de la CMA a fin de ofrecer un seguimiento actualizado del estado de los recursos hídricos actualizado cada mes.

Los datos utilizados en este trabajo provienen de las cuatro grandes redes de observación automática integradas en el Subsistema CLIMA provenientes de diferentes instituciones:

- Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).
- Red de Estaciones Automáticas y Remotas de Meteorología de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (CMA).
- Red de Información Agroclimática de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (IFAPA).
- Red de Alerta e Información Fitosanitaria de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (CAP).



**Figura 1.** Estaciones automáticas seleccionadas en este trabajo para que se calcule en ellas la estimación de la precipitación diaria.

## METODOLOGÍA

Con el fin de obtener datos diarios de precipitación en las 84 estaciones seleccionadas que permitan la generación de indicadores en rutina, se ha diseñado una metodología cuyo objetivo no es la espacialización de la precipitación diaria en Andalucía, sino garantizar la estimación estadística de los valores de precipitación diaria que asegure la existencia de información a escala mensual en los observatorios seleccionados. El procedimiento consta de diferentes etapas y está diseñado para conseguir series de registros diarios continuos, interpolando las lagunas para cada estación y fecha, mediante un proceso que optimice la calidad de la estimación en cada punto de forma automatizada.

La interpolación de las lagunas se llevará a cabo combinando las técnicas de espacialización y de regresión lineal utilizando las herramientas contenidas en los programas ArcGis y SPSS. La implementación del proceso, los análisis desarrollados, y los resultados obtenidos en forma de nuevos datos, han sido estructurados a partir del diseño de un modelo conceptual que posteriormente se tradujo en la configuración de una base de datos geográfica (Geodatabase).

La hipótesis de partida es que la precipitación diaria medida en un observatorio en un día cualquiera dado (Pd) tiene relación con la precipitación observada en el entorno de dicho observatorio. El aplicar esta hipótesis debe reflejarse en los correspondientes diagramas de dispersión y en los valores establecidos por unos coeficientes marcados de correlación de Pearson superiores a 0,8. Ello no es óbice para admitir que la afirmación formulada puede no verificarse en algunos de los valores de los volúmenes de precipitación diarios alcanzados en las estaciones de partida. La naturaleza conocida de los procesos que se sitúan en la raíz de las precipitaciones de carácter local, que sin duda están presentes en las estaciones de nuestros entornos climáticos, nos obliga a testar el peso de dichas situaciones en el conjunto de la series de datos manejadas, con el objetivo de trasladar la hipótesis de partida al conjunto de los datos o bien solamente a un subconjunto de los mismos.

En la primera etapa el objetivo consiste en disponer, para cada estación, de dos series de datos, una con los de precipitación diaria observados, registrados en los 50 días seleccionados, y otra con los valores estimados estadísticamente para las mismas estaciones y días. Esta última serie se obtiene mediante un procedimiento que consiste en tener en cuenta el comportamiento pluviométrico del entorno, lo que hemos llamado **precipitación regional**, obtenida por procedimientos de interpolación espacial, que logra optimizar así el proceso desde un punto de vista climatológico. Es importante destacar, la ventaja de este cálculo en relación a la mera regresión lineal simple o múltiple con observatorios cercanos, en primer lugar por la influencia de la distancia máxima aceptable (Hubbard (1994), y en segundo lugar, por la alta probabilidad, dado el comportamiento de las estaciones automáticas, de encontrar lagunas en las estaciones cercanas y por tanto en los valores de la variable independiente.

La siguiente fase utiliza las dos series para obtener la recta de regresión lineal simple que las relaciona y que permitirá estimar cualquier valor ausente en las series de registros. Los coeficientes de regresión se incorporarán a la geodatabase del estudio para ser utilizados en el proceso de forma automática, como parámetros constantes para cada observatorio. Finalmente, se ha realizado un control de calidad de las técnicas empleadas mediante una validación cruzada, estimando diferentes medidas de los posibles errores cometidos en el proceso interpolación. Con el mismo fin se ha tomado una nueva muestra de datos diarios (enero y febrero de 2010) para verificar la validez de la metodología empleada, estimando de nuevo los posibles errores del proceso. A continuación se detallan cada una de las etapas de este estudio.

### Cálculo de la precipitación regional asociada a cada estación de partida

Para llevar a cabo esta fase se ha interpolado espacialmente, para cada una de las 84 estaciones, la precipitación de los 50 días seleccionados en el conjunto de Andalucía, en el supuesto de que no existiera el dato real en la estación, con el objetivo de evitar que dicho valor tenga peso en la interpolación regional efectuada. Este proceso se repite por tanto utilizando todos los datos disponibles del conjunto de 297 estaciones automáticas activas de la región, excluyendo en cada realización una estación diferente ("estación problema"). Todo el proceso se ejecuta mediante un modelo iterativo creado con la aplicación ModelBuilder de ArcGis (figura 2). El modelo se ejecuta 84 veces, una vez por cada estación, y en cada una de ellas consta a su vez de 50 ejecuciones, una por cada dato diario, resultando un total de 3650 realizaciones.

El método de interpolación utilizado ha sido el inverso de la distancia elevada al cuadrado (IDW), con barrera, utilizando un radio de búsqueda variable con un alcance máximo de 50 kilómetros y 12 vecinos. La barrera empleada es la divisoria entre las cuencas hidrográfica del Guadalquivir y del Mediterráneo cuya línea se obtiene de

la capa de cuencas hidrográficas del Mapa Topográfico de Andalucía a escala 1:100.000 (Sistema Cartográfico de Andalucía, 2009). También se testó el interpolador por *Splines*, no encontrándose diferencias significativas al evaluar las diferencias globales en el conjunto de las situaciones diarias. Para cada estación y fecha se generó una capa de “precipitación regional” aplicando en cada píxel la media pluviométrica de un entorno de 25 kilómetros de radio mediante la herramienta *Focal Statistics*. Un ejemplo de cada una de estas salidas puede verse en la figura 3 para una fecha determinada. Finalmente se extrajo el valor del píxel correspondiente a la estación problema para cada uno de los 50 días.

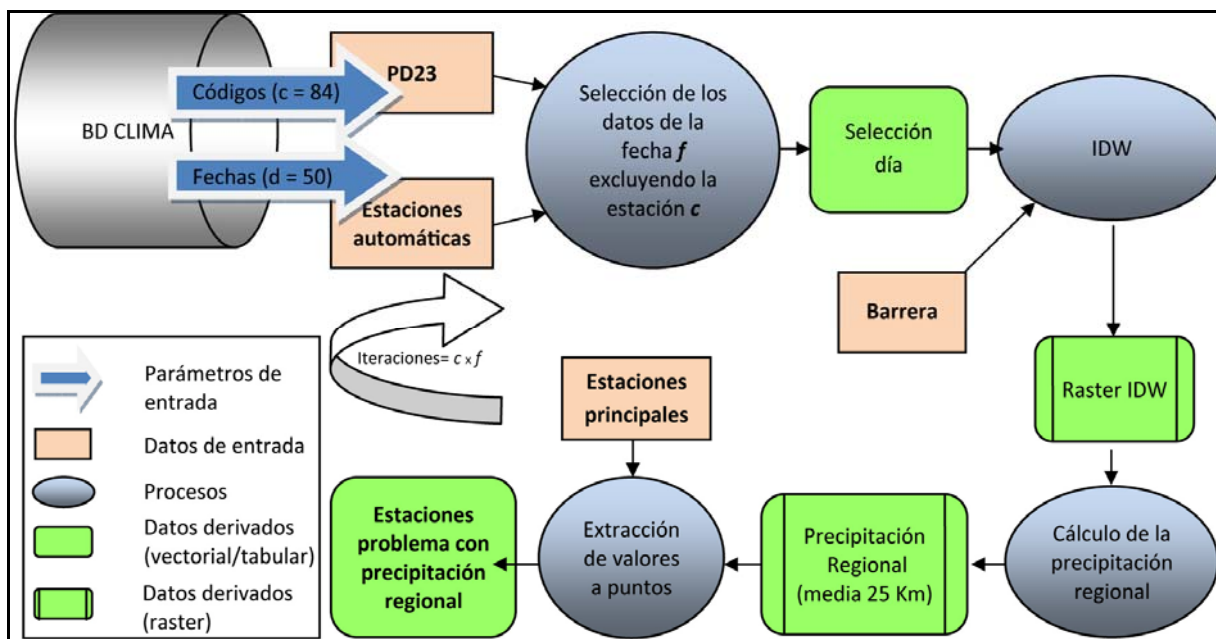


Figura 2. Esquema del modelo para la obtención de la precipitación regional en las estaciones problema.

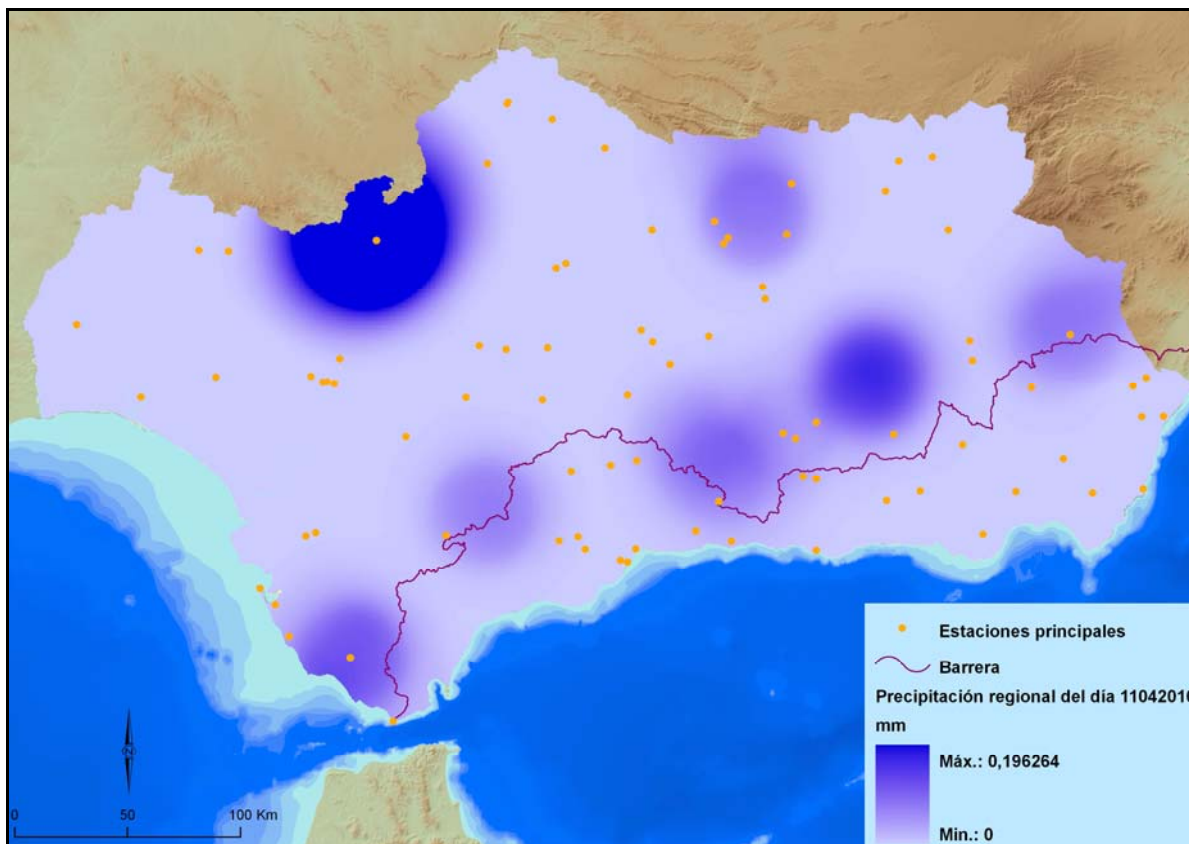
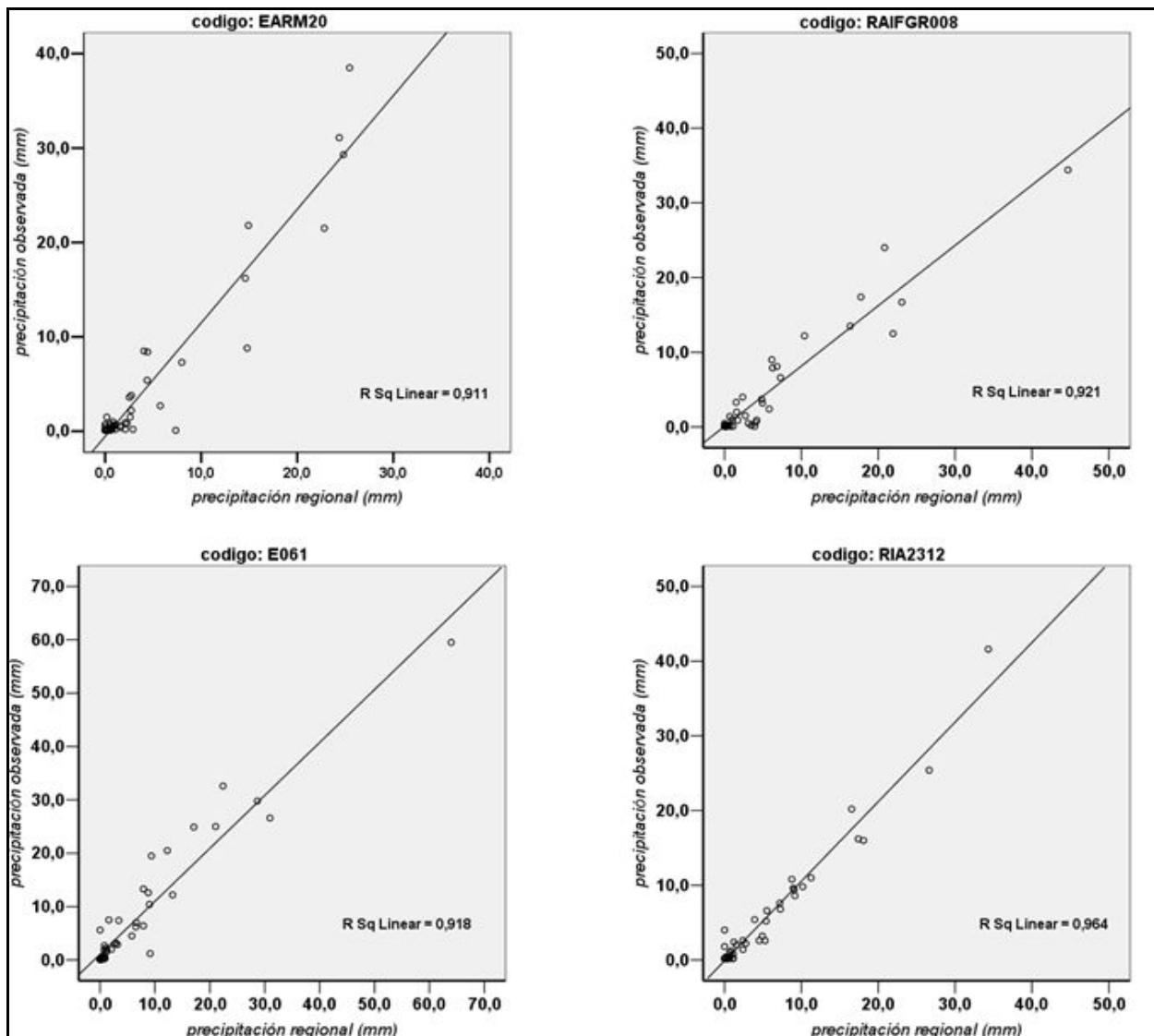


Figura 3. Ejemplo de raster de "precipitación regional" para el 11/04/2010.

Es decir, se obtuvieron mediante este modelo, y para cada estación evaluada, 50 valores de precipitación diaria como media espacial registrada en el entorno de cada estación, la *precipitación regional*, considerando como desconocida la precipitación real registrada en cada una de las estaciones de estudio, al haber sido éstas excluidas del proceso de interpolación espacial llevado a cabo.

### Modelos de regresión lineal.

Una vez obtenidas las series de valores estimadas de precipitación en cada estación a partir de las capas de precipitación regional para todas las fechas consideradas, se calculan los coeficientes de correlación entre estas series y las de valores reales mediante el programa de tratamiento estadístico SPSS. El promedio del coeficiente de correlación de Pearson en las 84 estaciones es de 0,9 (Figura 4), corroborándose de esta manera la hipótesis de partida en la mayoría de los casos.



**Figura 4.** Ejemplos de gráficos de dispersión entre precipitación observada y precipitación del entorno para estaciones de las 4 redes de observación.

En un conjunto importante de estaciones (53) se obtienen correlaciones superiores a este valor y sólo descienden por debajo de 0,7 en cinco de ellas. Las que presentaban estos valores inferiores en los coeficientes de correlación, se corresponden bien con estaciones en las que el número de procesos de precipitación local es más alto (i.e surco intrabético), o bien con estaciones con un número insuficiente de vecinos que garantice el funcionamiento del interpolador. Ambos tipos de estaciones fueron eliminadas del proceso final y, por lo tanto, del conjunto final de estaciones final seleccionadas para el cálculo del IESP. A continuación se llevó a cabo un análisis de regresión lineal, tomando la precipitación observada real en cada estación como variable dependiente, y la precipitación estimada obtenida a partir de la media del entorno en 25 kilómetros como variable independiente. Los coeficientes no estandarizados de los modelos en cada observatorio fueron asociados a la capa geométrica de las estaciones, a fin de que pudieran ser utilizados en el modelo de geoproceso posterior a partir de una cardinalidad en la base de datos geográfica de 1 a 1.

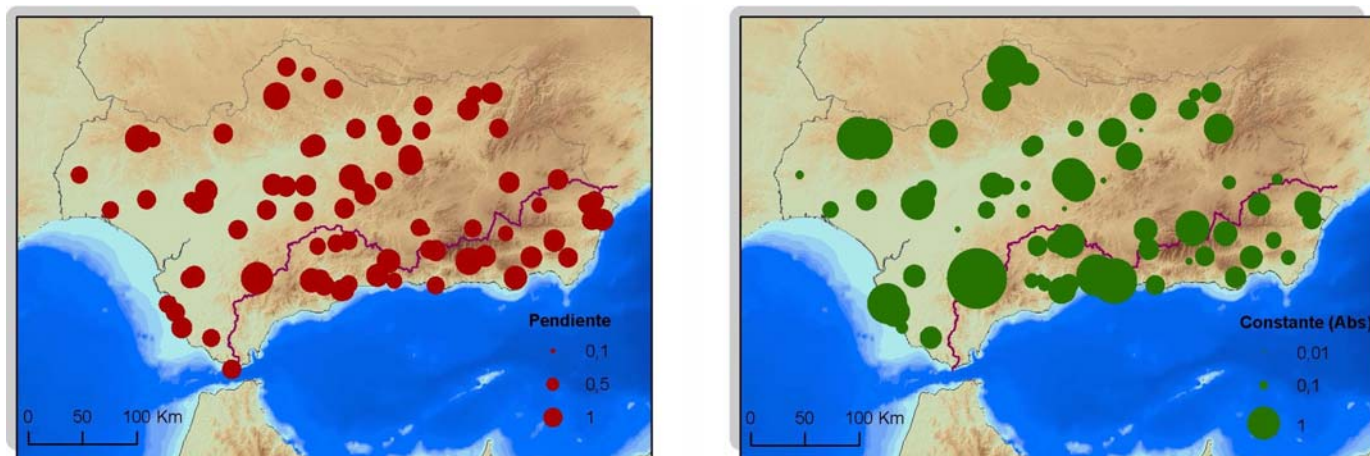


Figura 5. Coeficientes de regresión convertidos en raster en la celdilla de las estaciones.

### Modelo para el cálculo diario de la precipitación estimada.

Una vez obtenidos los coeficientes de regresión asociados a cada observatorio o entidad espacial, se procedió al diseño del modelo de geoproceso (figura 6) que implementa los parámetros estadísticos con el fin de estimar el valor de la precipitación en aquellas estaciones que presentan lagunas en el día del análisis.

Los datos de entrada y los nuevos datos generados por los diferentes procesos hasta ahora descritos se almacenan en tres geodatabases: *Geodatabase Interpolacion\_dia*, *Geodatabase Temporales*, *Geodatabase Salidas*. En la primera de ellas se encuentra la información de partida tanto climática como de información geográfica; en la segunda se realizan y guardan los procesos descritos hasta ahora y, en la última de ellas, se llevan a cabo los procesos de estimación por regresión así como los resultados –valores de precipitación diaria- obtenidos. Esta geodatabase final sirve, por tanto, para ejecutar la última fase del proceso que permite interpolar las lagunas a escala diaria, para cualquiera de las 84 estaciones y para cualquier fecha.

Esta etapa final consta a su vez de diferentes etapas encadenadas. En primer lugar se crean dos *rasters* con la información de los coeficientes de regresión (figura 7) de cada estación en su celdilla correspondiente. A continuación se aplican las ecuaciones de regresión para las fechas con lagunas, empleando la herramienta de álgebra de mapas, se actualiza la tabla de datos diarios con estos valores estimados. Finalmente, se procede a la interpolación espacial de la precipitación diaria con el método del Inverso de la Distancia Ponderado (IDW), utilizando tanto las estaciones con registros originales como aquellas en las que los valores se han estimado, a una resolución de 2000 m.



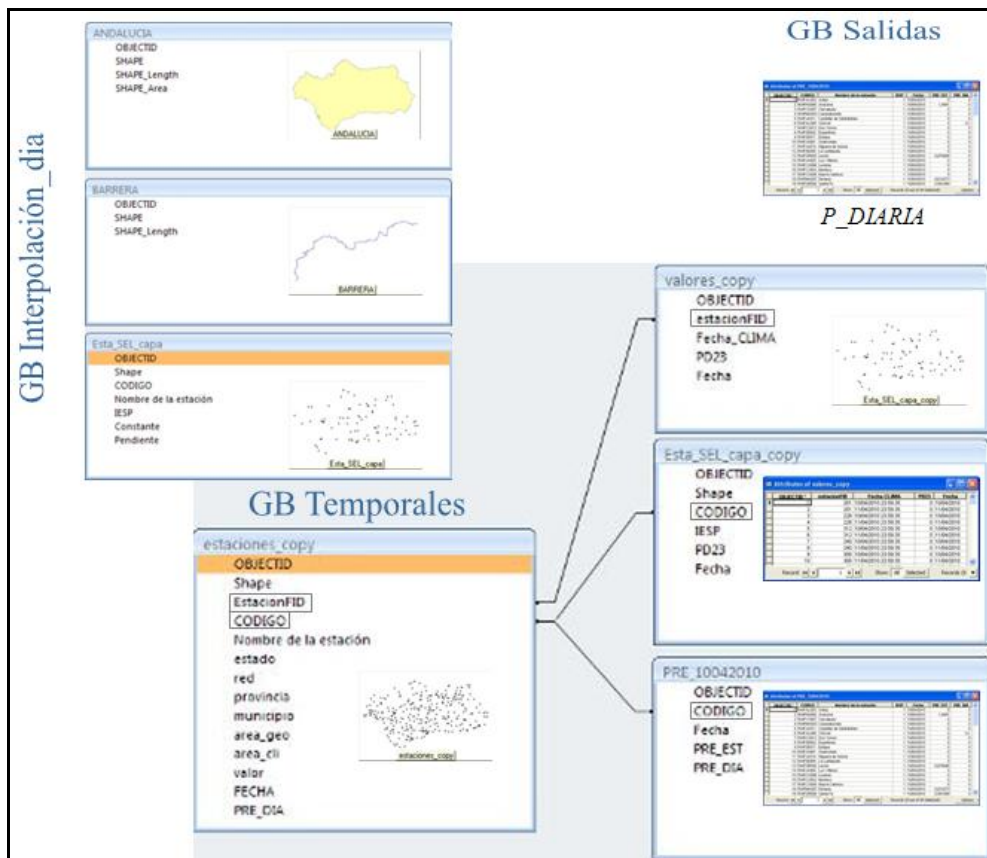


Figura 6. Esquema del modelo de almacenamiento de datos.

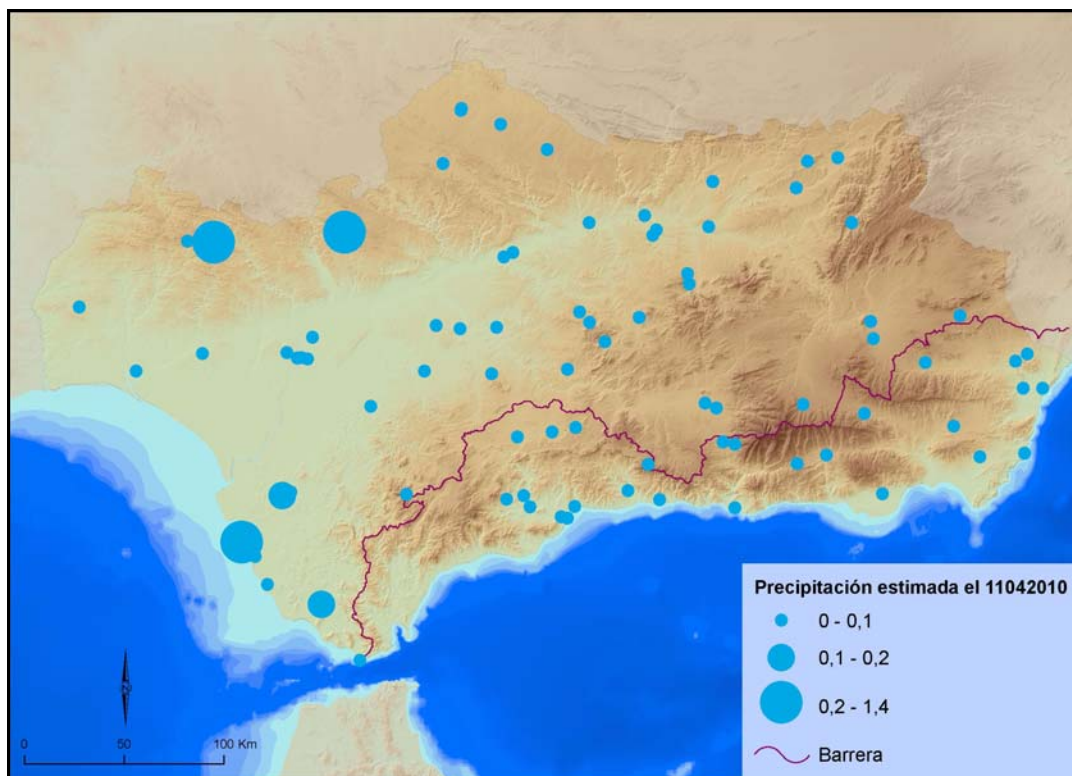


Figura 7. Ejemplo de precipitación estimada en las estaciones para el 11/04/2010.

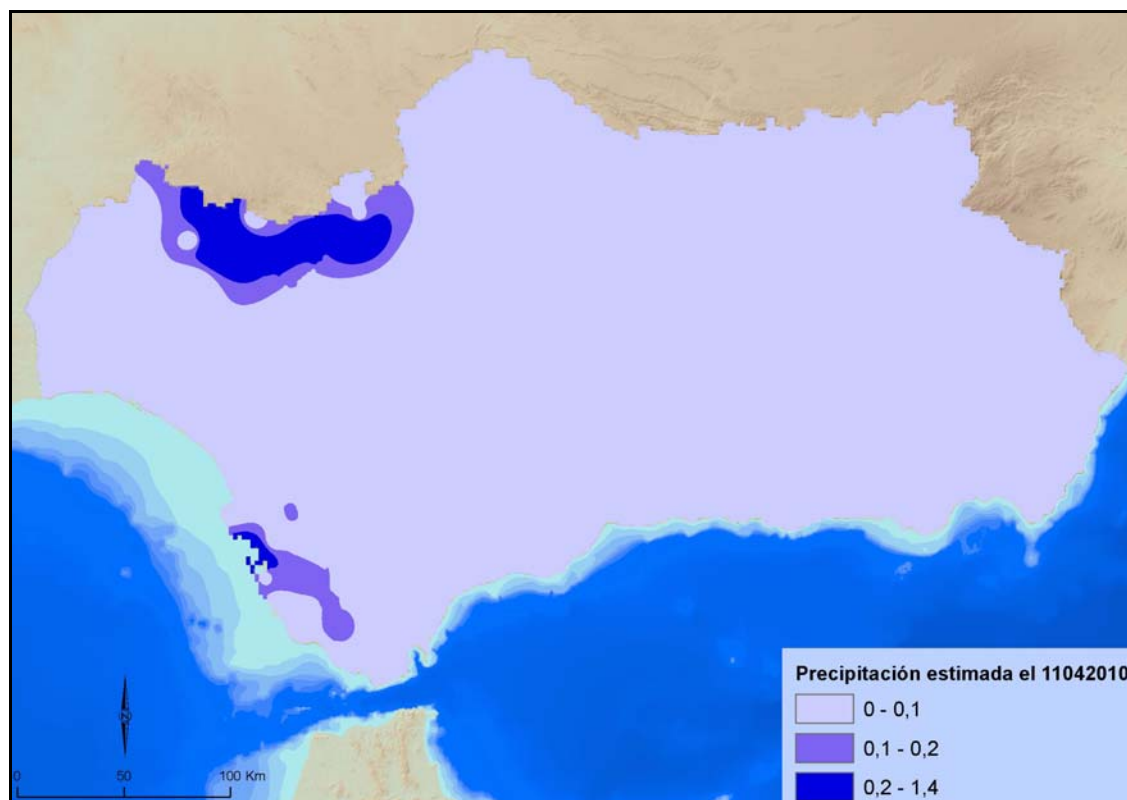


Figura 8. Ejemplo de raster de precipitación espacializada para el 11/04/2010.

### Validación y estimación del error de interpolación.

La última etapa de este estudio aborda el control de calidad de la metodología empleada mediante dos procedimientos contrastados. En ambos se han calculado tres estadísticos de estimación del error: Error Medio (EM), Error Absoluto Medio (EAM) y Raíz cuadrada del Error Medio Cuadrático (REMC), cuyas expresiones matemáticas son las siguientes:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n O_k - E_k$$

$$EAM = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |O_k - E_k|$$

$$REMC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (O_k - E_k)^2}$$

Donde,  $O_k$  y  $E_k$  son, respectivamente, el valor observado y valor estimado por el modelo en el momento  $k$ .

El primero de los procedimientos consiste en una validación cruzada entre los valores observados y los estimados según la metodología descrita en la que, como ya hemos comentado, no participa cada estación en el cálculo mediante regresión de los valores de su serie. En este caso se esperan obtener los mejores resultados ya que el proceso está muy ajustado al entorno pluviométrico de cada observatorio. Los errores calculados mediante este modelo de regresión se comparan con los que resultan de la aplicación de otro método de estimación, por la simple interpolación de los valores existentes en cada fecha con el método del inverso de la distancia (IDW). En la mayor

parte de las estaciones el método de regresión es el que muestra los valores más bajos en todos los estadísticos de error. La tabla que se presenta a continuación refleja la media de todas las estaciones para los tres estadísticos calculados y para cada uno de los métodos:

Método de estimación	Media de EM (mm)	Media de EAM (mm)	Media de REMC (mm)
REGRESIÓN	0,05	2,03	3,30
IDW	0,90	2,20	4,04

**Tabla 1.** Errores medios de todas las estaciones empleadas según los dos procedimientos de estimación.

Los resultados arrojan unos errores muy bajos en comparación con otros estudios, realizados en Andalucía, en los que se han empleado interpolaciones basadas en kriging y en la construcción de semivariogramas empíricos para cada uno de los doce meses del año (Vanderlinden, 2001). Estos trabajos utilizan un conjunto de estaciones meteorológicas manuales de Andalucía y muestran valores de REMC superiores a 2 mm en el periodo 1971-1998, obtenidos también por validación cruzada, lo cual refuerza la metodología aquí propuesta y simplifica, además, el diseño e implementación automática de los procesos.

Una segunda prueba realizada para evaluar la calidad fue tomar como nuevo conjunto de datos de un episodio climáticamente excepcional, los registros diarios de enero y febrero de 2010. La estimación de valores de precipitación en episodios extremos suele ser difícil y los errores esperables mayores. En nuestro caso se calcularon siempre las estimaciones de precipitación diaria suponiendo que no existieran nunca datos para el conjunto de estaciones. Al igual que en el caso anterior, los estadísticos de error son generalmente inferiores en el caso del método de regresión, si lo comparamos con el interpolador utilizado en los procesos implementados anteriormente en la CMA, el IDW, cumpliéndose por tanto el objetivo de esta segunda validación:

Método de estimación	Media de EM (mm)	Media de EAM (mm)	Media de REMC (mm)
REGRESIÓN	1,31	2,64	6,40
IDW	1,41	2,64	6,71

**Tabla 2.** Errores medios de todas las estaciones empleadas según los dos procedimientos de estimación para los meses de enero y febrero de 2010.

Los errores obtenidos mediante el método de regresión propuesto siguen siendo inferiores al empleo del IDW aunque las diferencias no son muy notables. Esto es debido a que las precipitaciones en estos meses han sido tan elevadas en toda región, que las diferencias espaciales habituales han “desaparecido” ante la homogeneidad y persistencia de este episodio histórico extremo. En estas circunstancias es esperable que el IDW ofrezca también bajos errores y corrobora la correcta actuación de nuestro procedimiento. Ante los buenos resultados obtenidos en estas dos validaciones se están llevando a cabo otras pruebas que permitan valorar, de forma más completa, el funcionamiento de los procedimientos empleados en este estudio. Algunas de estas pruebas se realizan sobre series de estaciones muy sensibles, como el observatorio de Grazalema en Cádiz, con la pluviometría más alta de toda la Península Ibérica.

## CONCLUSIONES

La metodología propuesta permite solucionar uno de los problemas fundamentales que se plantean con la utilización de los datos procedentes de estaciones meteorológicas automáticas, la falta de continuidad en los registros diarios de precipitación que impiden elaborar indicadores mensuales. Los resultados obtenidos mejoran globalmente el interpolador usado en los procedimientos de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, así como los de otros estudios que aplican técnicas más sofisticadas y complejas.

Otra de las aportaciones del método propuesto es su relativa simplicidad ya que presenta como único parámetro de entrada la fecha para la que se desea ejecutar el proceso. Una vez introducida ésta, el modelo se ocupa de leer los datos descargados del Subsistema CLIMA, realizar las interpolaciones espaciales, aplicar los coeficientes de regresión, obtener los valores estimados y actualizar la tabla de datos diarios añadiéndole los nuevos. Esta capacidad de ser implementado como un modelo procedimental en rutina permite una integración fácil en las tareas de los usuarios de la Consejería.

Por último, su aplicación es válida para toda la región y para cualquier evento pluviométrico, lo que extiende su ámbito implantación a un gran número de usuarios y tareas. Además, permite el cálculo del IESP y de otros indicadores climáticos, a escala mensual, para el seguimiento de los recursos hídricos dentro del subsistema CLIMA en Andalucía.

Los buenos resultados obtenidos animan a probar la metodología en nuevas estaciones, con un comportamiento pluviométrico complejo y en periodos diferentes a los utilizados. Asimismo abren nuevas posibilidades metodológicas que van a ser abordadas en un futuro próximo completando y perfeccionando este trabajo.

## AGRADECIMIENTOS

Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Grupo de Investigación Estructuras y Sistemas Territoriales (GIEST) (código HUM 396).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Consejería de Medio Ambiente. *Subsistema de Información de Climatología Ambiental (CLIMA)*, Junta de Andalucía. <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/>
- Hubbard, K.G., 1994. Spatial variability of daily weather variables in the high plains of the USA. *Agric. For. Meteorol.*, 68:29-41.
- Pita López, M.F. (2001): Un nouvel indice de sécheresse pour les domaines méditerranéens. Application au bassin du Guadalquivir (sudeste de l'Espagne), *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, vol. 13, Nice, pp. 225-234.
- Sistema Cartográfico de Andalucía (2009): *Base de Datos Espaciales de Andalucía a Escalas Intermedias (DEA100)*, Junta de Andalucía.
- Stooksbury, D.E., Idso, C.D. y Hubbard, K.G. (1999): The effects of data gaps on the calculated monthly mean maximum and minimum temperatures in the continental United States: A spatial and temporal study. *J. Climate*, 12:1524-1533.
- Vanderlinden, K. (2003): Análisis de procesos hidrológicos a diferentes escalas espacio-temporales. Tesis doctoral. <http://hdl.handle.net/10396/208>