

# APLICACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y LA INTERPOLACION ESPACIAL EN EL ESTUDIO DE EPISODIOS DE PRECIPITACIONES DIARIAS EN LA CUENCA DEL RETORTILLO (SIERRA MORENA).

Parrilla Alcalá, E.<sup>1</sup> y Ojeda Zújar, J.<sup>2</sup>

- 1) Departamento de Geografía, Historia y Filosofía. Universidad Pablo de Olavide. Ctra. Utrera km 1, Sevilla 41013. Tf.: 954348528, fax 954348359, [eparalc@upo.es](mailto:eparalc@upo.es)
- 2) Departamento de Geografía Física y A.G.R. Universidad de Sevilla. Palos de la Frontera 4, Sevilla 41004. Tf: 954551374, [zujar@us.es](mailto:zujar@us.es)

Palabras clave: precipitaciones diarias, análisis distribuido, análisis de regresión, interpolación espacial, Embalse del Retortillo.

## Resumen

La información utilizada sobre precipitaciones procede tradicionalmente de las estaciones meteorológicas, por lo que se hace necesario, siempre que se quieran realizar análisis espacialmente distribuidos, convertir esta información discreta en continua, tarea que se realiza a través de métodos de interpolación. Se han espacializado tres episodios diarios de precipitaciones a través de la aplicación de diferentes métodos de interpolación espacial (triangulación, Idw y Spline), junto al análisis de regresión (utilizando como variables explicativas la altimetría, cercanía al NO, así como la cercanía a estaciones meteorológicas existentes), constatando sus diferencias, tanto estadísticas como espaciales. Como conclusión, hay que destacar la validez del uso de los análisis de regresión en episodios concretos, así como las reducidas diferencias estadísticas que se generan aplicando cualquier método de interpolación espacial, aunque espacialmente estas diferencias son mayores.

## 1.- Introducción y objetivos

Este trabajo se encuentra enmarcado dentro de otro más amplio sobre análisis hidrológico (Parrilla Alcalá, 2004), en concreto el establecimiento de la escurrentía superficial en una cuenca a partir de episodios diarios de precipitaciones. Para establecer la escurrentía superficial se hacía necesario calcular el total de precipitaciones que se producían dentro de la zona de estudio y, para cada uno de los tres episodios estudiados, por lo que se analizaron diferentes métodos que espacializaban las precipitaciones a todo el territorio.

La zona de estudio (figura 1) está delimitada por la cuenca vertiente del embalse del río Retortillo, situado entre las provincias de Sevilla y Córdoba (Sierra Morena). Las precipitaciones se sitúan entre los 650 y 1000 mm, siendo imputables en su mayor parte a la acción de las perturbaciones del frente polar, las cuales barren la región penetrando preferentemente por el oeste y suroeste de Andalucía (Golfo de Cádiz).

El objetivo del trabajo está centrado en el establecimiento de las precipitaciones de episodios diarios, de forma espacialmente distribuidas, tanto a través de los métodos de interpolación, como del análisis de regresión, contrastando el alcance de sus diferencias.

## **2.- Los episodios de precipitaciones.**

Se han seleccionado tres episodios de precipitaciones acaecidas entre los años 1995 y 1996, ya que el análisis hidrológico requería una clara separación entre cada episodio de lluvias, para que pudieran ser fácilmente diferenciados en los datos de caudales del río Retortillo, a la vez que fueran episodios con un elevado volumen de precipitaciones, y generasen suficiente escorrentía. Se seleccionaron los años 1995 y 1996, ya que se venía tras la última gran sequía que había afectado a Andalucía, y el suelo estaba suficientemente seco (había que contrastar también la humedad previa).

Cada episodio utilizado acumula precipitaciones de varios días, ya que no se han podido seleccionar episodios de un sólo día de duración y que tuvieran un volumen tal de precipitaciones como para generar suficiente escorrentía, debido a que las perturbaciones del frente polar suelen producir precipitaciones que abarcan varios días.

El reducido número de estaciones meteorológicas que se encuentran dentro de la cuenca del embalse del Retortillo (tres estaciones), dificultaba la generación de un mapa de distribución espacial de las precipitaciones con un mínimo de calidad, por lo que se incorporaron las estaciones meteorológicas más cercanas y que se encontrasen en todas las direcciones que rodean a la cuenca de estudio, ya que los episodios de precipitaciones pueden proceder de situaciones sinópticas de tiempo en cualquier dirección del espacio. Se utilizaron un total de quince estaciones meteorológicas (figura 1).

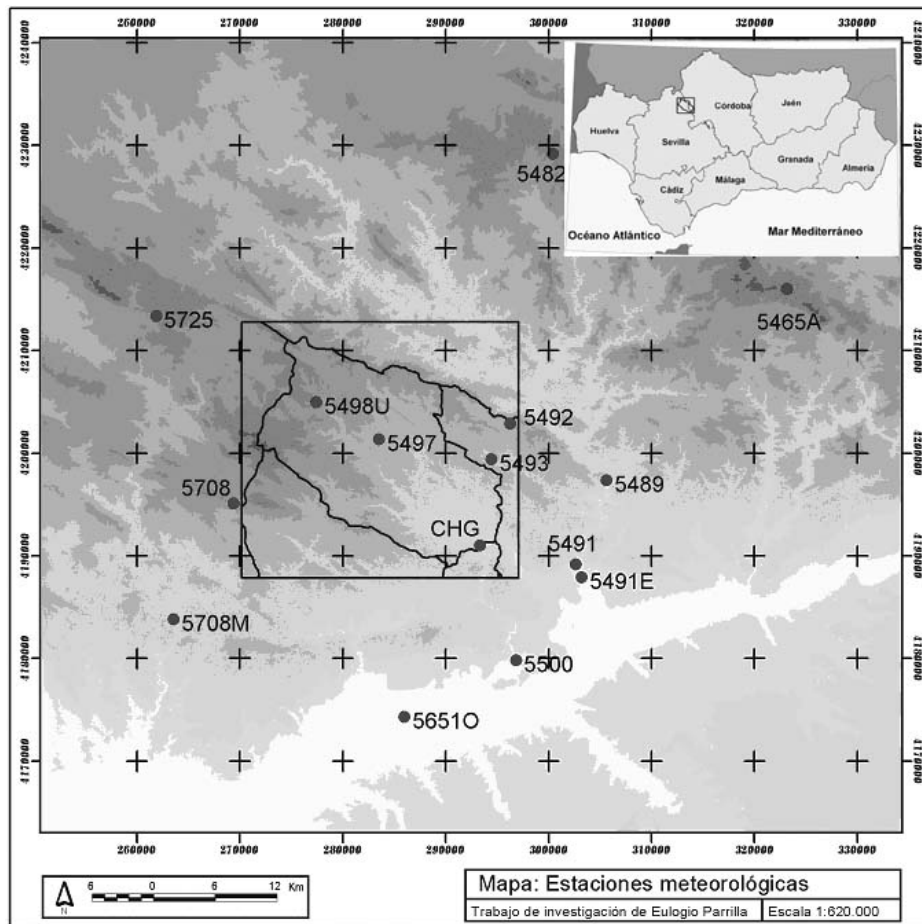


Figura 1: Zona de estudio y estaciones meteorológicas utilizadas con sus códigos

A continuación aparecen los tres episodios analizados y, vienen acompañados de una figura donde se muestra un mapa con las precipitaciones que recibe cada estación meteorológica, una tabla donde se registran las precipitaciones diarias de las estaciones más cercanas, así como varios mapas sinópticos del tiempo, que permiten caracterizar de forma suficiente cada uno de los episodios.

**Episodio A, del 25 al 28 de diciembre de 1995.**

Los mapas sinópticos del tiempo muestran el paso de varios frentes del oeste, produciéndose las precipitaciones a lo largo de varios días. Los vientos son constantes del oeste, pero con cambios que van desde el SO al NO.

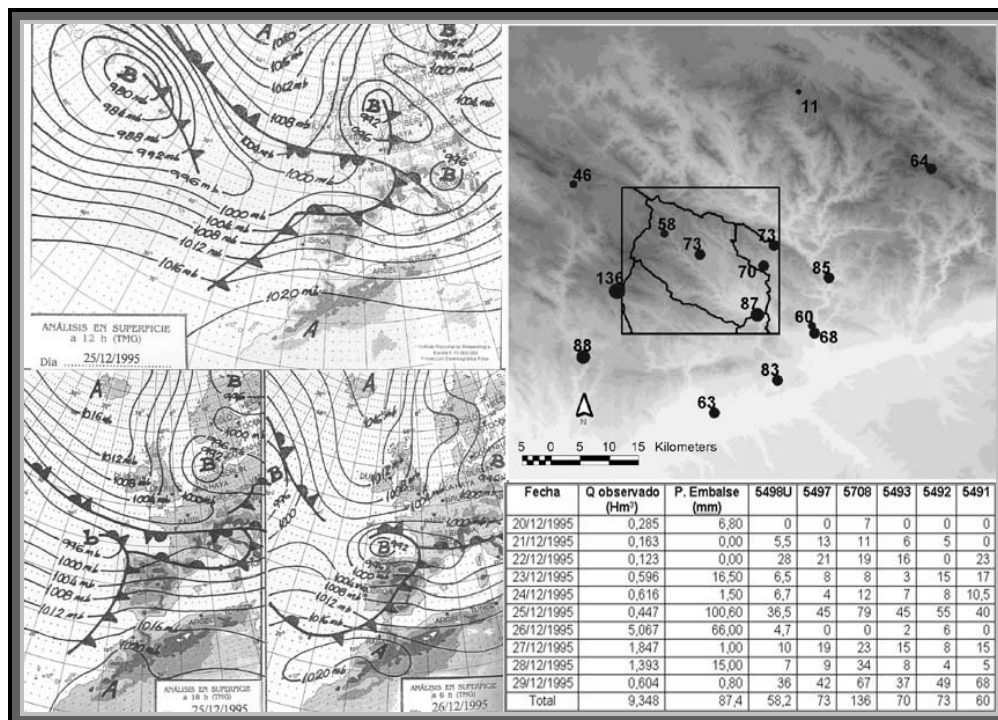


Figura 2: Episodio A, mapas sinópticos y precipitaciones en las estaciones meteorológicas (mapa y tabla)

### Episodio B, del 20 al 25 de enero de 1996.

Los mapas sinópticos del tiempo muestran la llegada de una serie de frentes, tanto fríos como cálidos, que recorrerán toda la Península, entrando los vientos de forma constante del SO. La baja presión que se encontraba frente a las costas portuguesas, termina perdiendo intensidad y llega a desaparecer cuando se interna dentro de la Península sobre Extremadura.

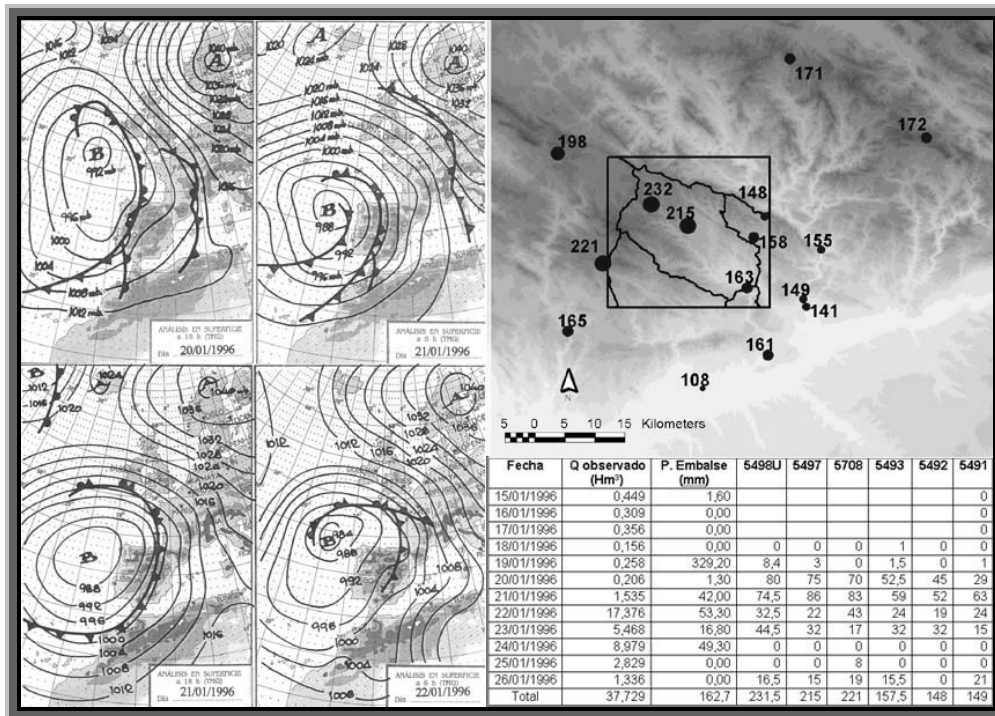


Figura 3: Episodio B, mapas sinópticos y precipitaciones en las estaciones meteorológicas (mapa y tabla)

### Episodio C, del 10 al 15 de diciembre de 1996.

Los mapas sinópticos del tiempo muestran una baja presión localizada al NO de Galicia y que va generando frentes que van entrando por el SO y SOS de la Península.

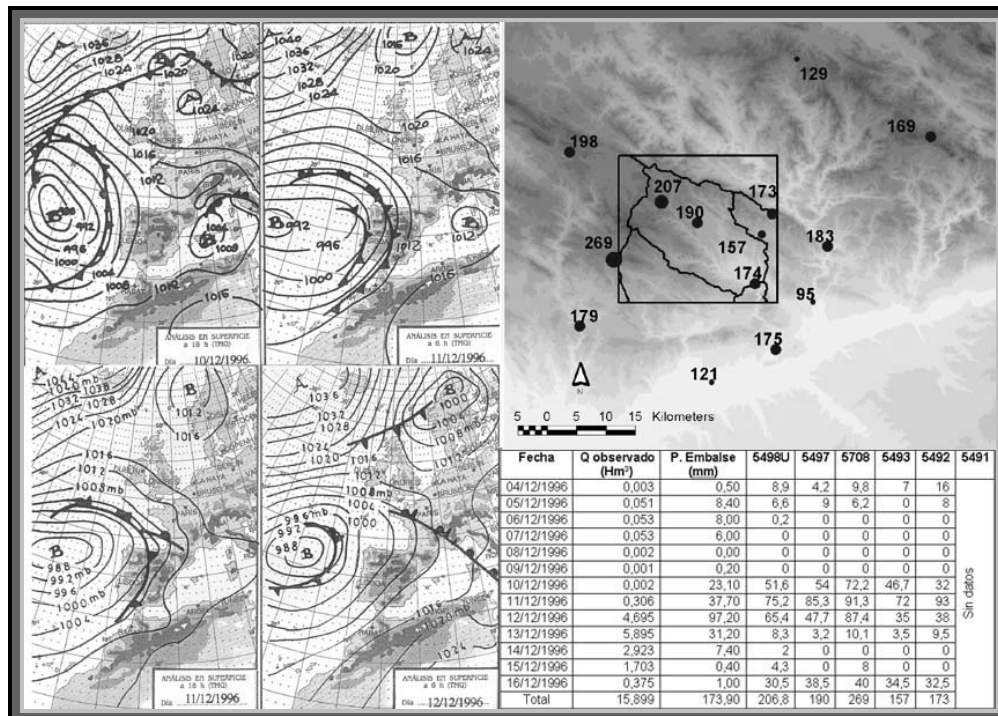


Figura 4: Episodio C, mapas sinópticos y precipitaciones en las estaciones meteorológicas (mapa y tabla)

### 3.- Metodología

La precipitación es una variable continua desde un punto de vista espacial, pero suele quedar recogida de forma puntual mediante las estaciones meteorológicas (como vimos en el apartado anterior), por lo que tenemos un amplio espacio del territorio sin información pluviométrica. Queremos realizar un análisis hidrológico espacialmente distribuido, por eso necesitamos información distribuidas de cada una de las variables que entran en juego en el proceso de esorrentía. En este caso las precipitaciones tenían que estar espacializadas, proceso que será desarrollado desde una doble vertiente, por un lado a través de los métodos de interpolación espacial, y por otro mediante el análisis de regresión.

#### 3.1.- La interpolación espacial

La interpolación espacial es un procedimiento que permite calcular el valor de una variable en una posición del espacio, conociendo los valores de esa variable en otras posiciones del espacio, generando, en este caso, datos pluviométricos para todo el territorio.

Existen diferentes métodos que permiten establecer las precipitaciones para un territorio, pero diferenciaremos entre los más tradicionales y simples de utilizar, ya que no requieren la utilización de medios informáticos (SCS, 1993; Chow, Maidment y Mays, 1994; Olivera et al., 1997), como son la media aritmética (único método que no incorpora un coeficiente de ponderación geográfico), los polígonos de Thiessen (no muy aconsejable en zonas montañosas y estudios espacialmente distribuidos), y el método de las isoyetas (depende de la experiencia del técnico que lo elabora). Junto a estos métodos, nos encontramos otros más utilizados en la modelización de la altimetría, pero menos tratados por la literatura especializada en los estudios de hidrología, aunque sí en artículos específicos sobre estimación de precipitaciones (Lynch y Schulze, 1995; Laborde, 1996; Pardo-Igúzquiza, 1998), y que serán los utilizados aquí:

- Idw: genera buenos resultados cuando utilizamos como datos de entrada información puntual distribuida de forma regular y aleatoria. Al ser una técnica basada en la media ponderada, el resultado suele ser una suavización.
- Splines: es un método con gran complejidad estructural y que se ajusta bien a superficies que no sufren bruscos cambios de valor.
- Triangulación: genera una red de triángulos irregulares interconectados o *Tin (triangular irregular network)*. La triangulación genera un buen modelo a partir de pocos datos.

### 3.2.- El análisis de regresión

Existe una diferente línea de investigación que ha cobrado un importante auge en los últimos años (Benichou y Le Breton, 1987; García Ruiz, et al., 1998; Pardo-Igúzquiza, 1998; Prudhomme y Reed, 1999; Camarillo y García, 2003). Esta línea de investigación considera que para establecer el total de precipitación de una zona, no sólo hay que tener en cuenta los valores de las estaciones meteorológicas más cercanas, como en los métodos anteriores, sino que entiende el hecho pluviométrico desde el punto de vista de su génesis y desarrollo. De esta forma, además de las precipitaciones, se tienen en cuenta otras características, como la localización de cada estación meteorológica, su altura, orientación de la pendiente, distancia al mar, barreras topográficas que limitan la entrada de humedad y grado de exposición, así como lo cercano de cada estación al centro de la borrasca, o al vector central de desplazamiento de esta. Es bien conocido que la orografía, sobre todo en zonas montañosas condiciona fuertemente la localización y distribución de las precipitaciones.

La metodología del análisis de regresión está basada en la correlación espacial entre variables, mostrando la relación entre la variable dependiente, que en este caso es la precipitación y, las variables independientes, que son las anteriores características topográficas y posicionales indicadas. Es un método analítico, por lo que sólo se aplicará cuando la relación entre variables sea alta.

El número de variables a utilizar ha sido bastante amplio y se pueden agrupar en dos grandes bloques:

- Variables de localización: longitud, latitud, cercanía al NE, cercanía al NO, cercanía al mar, cercanía entre estaciones meteorológicas.
- Variables topográficas: altura de la estación, y altitud mínima, media, máxima y rango altimétrico de su zona más cercana.

Un comentario especial requieren las siguientes variables:

- Cercanía entre estaciones meteorológicas: se ha establecido la distancia de cada estación meteorológica con respecto al resto de estaciones, ya que un episodio de precipitaciones se puede concentrar sobre una zona concreta, por lo que alguna estación se ha podido ubicar dentro de alguna de estas zonas, recibiendo las estaciones más cercanas mayor volumen de precipitación y disminuyendo según nos alejamos de esta estación meteorológica.

- Altitud mínima, media, máxima y rango según distancias: se calcularon estas alturas para la zona circundante a cada estación meteorológica, que en este caso se realizó para tres intervalos de distancias: menos de 200 metros (para contrastar la existencia de cualquier accidente topográfico muy cercano que le pueda afectar); menos de 1000 metros (cercanía intermedia) y menos de 10 kilómetros (accidentes topográficos a gran distancia).

Se ha utilizado el programa estadístico SPSS. la opción de los análisis de regresión lineal y, el método “pasos sucesivos” (*stepwise*). Presenta la ventaja de admitir que una variable seleccionada en un paso pueda ser eliminada en otro posterior (se establece una probabilidad F de 0'05 de entrada y de 0'1 de salida). Esta eliminación se realiza cuando se dan variables redundantes, con multicolinealidad (relación lineal entre estas variables), ya que no aportan explicación adicional significativa. A través de este método se busca no el mejor modelo de ajuste en términos de varianza total explicada sino en términos de aportación estadística significativa de incremento en el total de la varianza (Camarillo y García, 2003).

Para cada episodio se establece el modelo que mayor coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) presenta, pero para que realmente sea aplicable se hace necesario que  $r$  tenga un valor superior al 0'7 y, de esa forma, su coeficiente de determinación ( $r^2$ ) explique al menos un 50% de la variable dependiente.

**Tabla 1: Variables explicativas y sus coeficientes de correlación según los episodios**

<b>Episodio</b>	<b>Variables explicativas</b>	<b><math>r</math></b>	<b><math>r^2</math></b>	<b>Durbin-Watson</b>
A	Dis5708, NO_SE, Dis5651O, Dis5498U	0'934	0'872	1'669
B	Altura, Dis5498U	0'858	0'737	2'222
C	Dis5708, Altu1_max	0'799	0'638	2'246

Significado de cada una de las variables explicativas que aparecen en los modelos:

- Altura: altura de la celdilla donde se encuentra la estación meteorológica.
- Altu1\_max: altura máxima de la zona que se encuentra a menos de 1 km de cada celdilla.
- NO\_SE: cercanía al noroeste.
- Dis5491E: distancia de cada estación meteorológica a una estación concreta, en este caso la codificada como 5491E.



El coeficiente de determinación ( $r^2$ ) indica el porcentaje de explicación de cada modelo, presentando el valor más alto el episodio A, con un 87% explicado mediante este método (0'872), mientras que el episodio C es el que está peor explicado, con un 63'8%, por lo que el 13% de las precipitaciones del episodio A no han podido ser explicadas, llegando al 36% en el caso del episodio C.

A partir de las anteriores formulaciones se genera una superficie con información de precipitaciones para cada uno de los episodios. En la siguiente tabla (Tabla 2) aparece el resumen de los residuos generados por cada una de las fórmulas:

**Tabla 2: Residuos de los diferentes episodios**

	<b>Pronóstico</b>	<b>Residuo mínimo</b>	<b>Residuo Máximo</b>	<b>% Mínimo</b>	<b>% Máximo</b>	<b>Residuo absoluto</b>	<b>% Residuo absoluto</b>	<b>DS</b>
<b>A</b>	70'95	-18'53	11'57	-26'12	16'31	7'77	10'95	4'93
<b>B</b>	170'33	-38'14	20'04	-22'39	11'76	13'19	7'74	10'13
<b>C</b>	172'66	-36'23	40'55	-20'98	23'49	20'79	12'04	12'80

El *Pronóstico* hace referencia a las precipitaciones medias pronosticadas, el *Residuo mínimo* se refiere al residuo negativo con valor más alto de todas las estaciones meteorológicas, mientras que el *Residuo máximo* se refiere al residuo con valor más alto de los positivos. El campo *% Mínimo* indica el porcentaje del *Residuo mínimo* respecto al pronóstico de precipitaciones medias, mientras que el *Residuo absoluto* hace referencia a la media de todos los residuos tomados en sus valores absolutos. Se entiende que el porcentaje del residuo absoluto hace referencia a los residuos medios, mientras que el porcentaje de los residuos máximos y mínimos hace referencia a los residuos extremos. Es importante el valor absoluto del residuo, pero también ponerlo en relación con las precipitaciones medias, para saber si tiene mayor o menor incidencia en el evento.

Se puede ver que los episodios generan mayores residuos absolutos cuanto menor coeficiente de determinación tengan ( $r^2$ ), pero desde un punto de vista porcentual sus valores son mayores si sus precipitaciones medias sean bajas (episodio A). Para los episodios con peores ajustes (C y B) obtenemos residuos absolutos altos, pero que llegan a ser poco importantes en los porcentajes siempre que se reciba un volumen importante de precipitaciones.

La bibliografía indicaba (Peck, 1962; Storr y Ferguson, 1972; Laborde, 1981; Camarillo y García, 2003), que se pueden mejorar los modelos generados, a través de la incorporación de los residuos a los cálculos resultantes del análisis de regresión. Para ello se ha realizado

una interpolación espacial con los residuos, en este caso utilizando exclusivamente el método inverso de la distancia (*Idw*), ya que proporciona buenos resultados con pocos puntos.

#### 4.- Resultados

Los resultados aparecen separados según episodios, y vienen acompañados de un doble análisis, por un lado un análisis más tradicional basado en resúmenes estadísticos. Por otro lado centrado en la componente espacial, mostrando los mapas de cada método utilizado así como un nuevo mapa donde aparece la desviación estándar que se genera al cruzar los anteriores mapas y, de esta forma, se contrasta dónde se producen las diferencias espaciales y cuantifica si éstas son importantes.

Hay que destacar que no son tan importantes las diferencias entre los valores mínimos (campo *Mínimo*) y máximos, ya que son valores extremos pero de poca representatividad espacial, frente a la comparativa entre la media (campo *Media*) de los diferentes métodos utilizados, que será el valor que incidirá en el cálculo de la precipitación para el total de la zona de estudio (campo *Precipitación Total*). El episodio A, al tener menores precipitaciones medias, tiende a generar diferencias porcentuales mayores.

#### Episodio A:

Dentro de la cuenca del Retortillo se producen 5 litros de diferencia entre el método que genera mayores y el de menores precipitaciones, que pasan a ser un 6'8% de diferencia porcentual (el más alto de todos). En este episodio se produce un escalonamiento de los valores medios entre los diferentes algoritmos, *Idw*, Regresión, *Spline* y *Tin*.

Tabla 3: Episodio A, diferencias entre los métodos de interpolación dentro de la cuenca del Retortillo

Métodos	Mínimo	Máximo	Media	Des. Es.	Rango	Precipitación total
Idw	58'200	102'178	72'674	7'842	43'978	218.236.464
Spline	39'771	105'536	74'960	13'467	65'765	225.101.408
Tin	46'711	115'615	77'631	15'781	68'903	233.122.592
Regresión	47'030	102'637	74'182	12'084	55'608	222.763.840
Media	47'928	106'491	74'862	12'294	58'563	224.806.076
Dife litros	18'429	13'437	4'957	7'939	24'926	14.886.128
% Max min	46'338	13'151	6'821	101'234	56'678	6'821

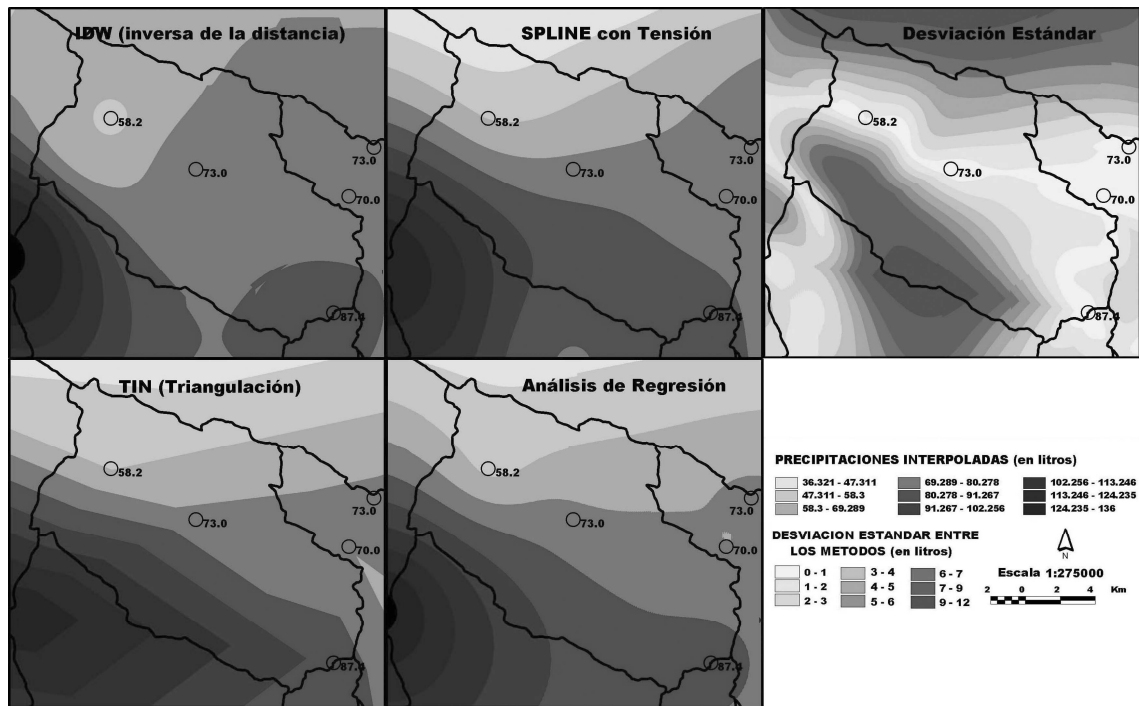


Figura 5: Episodio A, diferencias espaciales según los métodos de interpolación

La comparativa entre los diferentes métodos muestra al *Idw* con diferente patrón espacial frente a los demás. A través del análisis del mapa de la desviación estándar, se comprueban las grandes diferencias entre los métodos, con muy pocas zonas con valores inferiores a un metro, mientras que las zonas con valores superiores a los 7 e inferiores a los 12 litros, tienen una importante extensión espacial, sobre todo en la franja sur y central de la cuenca del Retortillo.

### Episodio B:

Dentro de la cuenca del Retortillo se producen 3'4 litros de diferencia entre el método que genera mayores y el de menores precipitaciones, que pasan a ser un 1'7% de diferencia porcentual (valor muy bajo pero esperable, ya que se trata del episodio con mayores precipitaciones). Las mayores precipitaciones medias se dan con el *Spline*, frente a la *Regresión*, *Idw* y *Tin*.

Tabla 4: Episodio B, diferencias entre los métodos de interpolación dentro de la cuenca del Retortillo

Métodos	Mínimo	Máximo	Media	Des. Es.	Rango	Precipitación total
Idw	157'249	231'500	200'678	24'598	74'251	602.626.752
Spline	156'555	233'257	203'340	23'435	76'703	610.619.200
Tin	156'445	231'493	199'949	20'624	75'048	600.436.160
Regresión	158'552	243'079	201'730	22'502	84'526	605.783.808

Media	157'200	234'832	201'424	22'790	77'632	604.866.480
Dife litros	2'107	11'586	3'391	3'974	10'275	10.183.040
% Max min	1'347	5'005	1'696	19'271	13'839	1'696

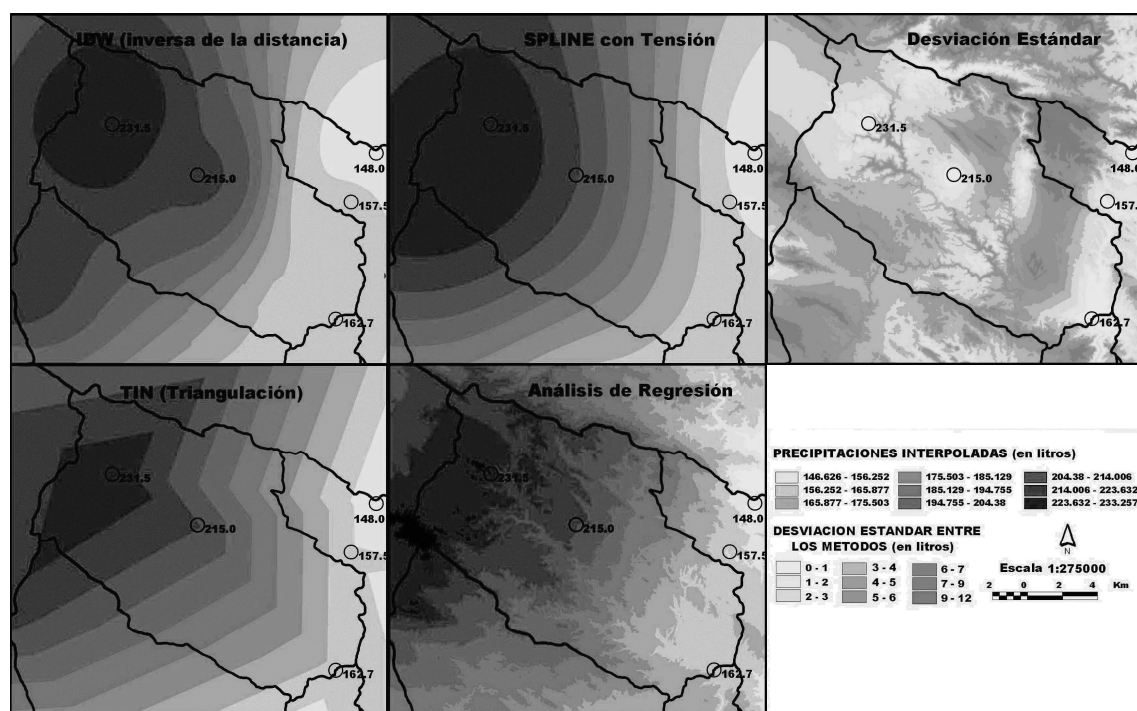


Figura 6: Episodio B, diferencias espaciales según los métodos de interpolación

El mapa con la desviación estándar es algo diferente a los anteriores, ya que en este caso el análisis de Regresión utilizado tenía la altimetría como la principal variable explicativa, por lo que las diferencias no son tan graduales, sobresaliendo los valles encajados y las zonas más altas de las montañas. Se constatan diferencias poco importantes en toda la zona central de la cuenca, que aumentan al NE y O y en la mayoría de las sierras.

### Episodio C:

Es el episodio donde se producen las mayores diferencias en litros con respecto a las medias (6'7 litros), aunque porcentualmente estas diferencias son intermedias (3'5%). Las precipitaciones medias están escalonadas según cada algoritmo, siendo el de mayores precipitaciones el *Tin*, estando el *Idw* en el lugar opuesto.

Tabla 5: Episodio C, diferencias entre los métodos de interpolación dentro de la cuenca del Retortillo

Métodos	Mínimo	Máximo	Media	Des. Es.	Rango	Precipitación total
Idw	157'124	237'039	189'414	15'343	79'915	568.800.960
Spline	155'727	249'449	192'103	19'206	93'722	576.875.968

Tin	158'849	239'695	196'095	17'310	80'846	588.864.064
Regresión	157'685	254'935	195'360	18'397	97'250	586.655.424
Media	157'346	245'280	193'243	17'564	87'933	580.299.104
Dife litros	3'122	17'896	6'681	3'863	17'335	20.063.104
% Max min	2'005	7'550	3'527	25'178	21'692	3'527

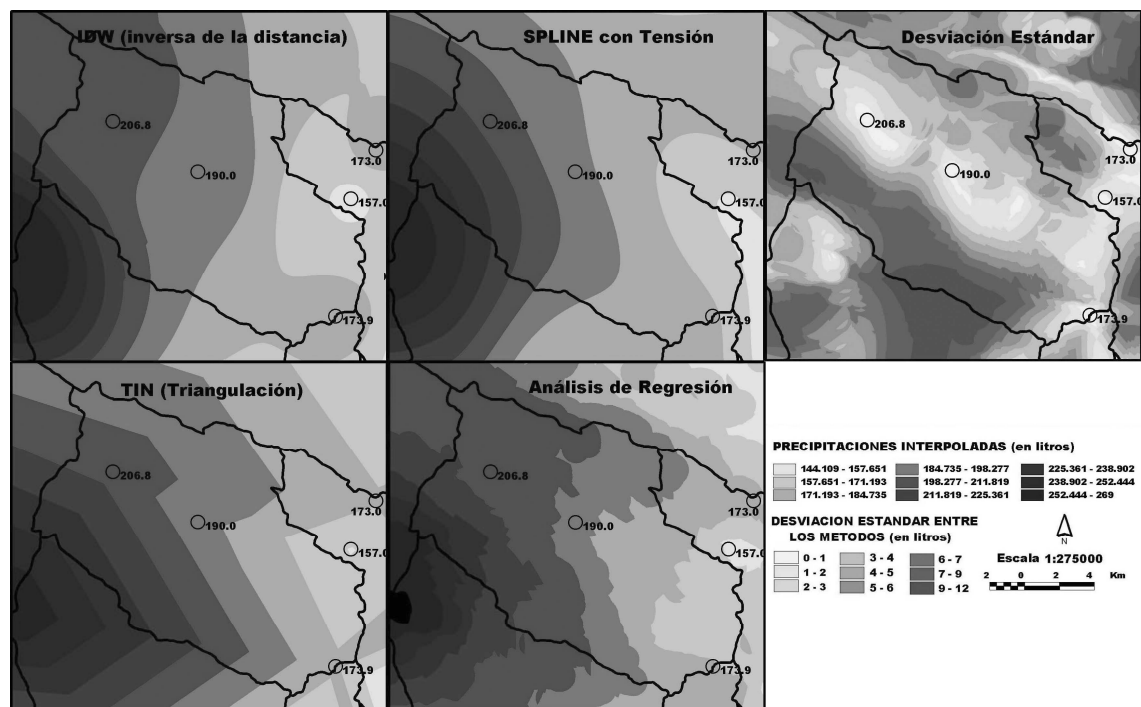


Figura 7: Episodio C, diferencias espaciales según los métodos de interpolación

Los métodos *Tin* y *Regresión* presentan unas características parecidas, con valores más altos en las sierras que delimitan la cuenca del Retortillo en la franja sur y norte. El mapa de la desviación estándar muestra unas diferencias muy importantes, sobre todo en la divisoria SO del Retortillo, siendo algo menor en la NE. En las anteriores zonas los valores entre los 6 y 12 litros tienen una importante extensión espacial. Aparece una franja NO-SE que atraviesa el corazón de la cuenca, mostrando las menores diferencias pluviométricas. Las diferencias espaciales son importantes, pero aún más desde un punto de vista cuantitativo, aunque desde un punto de vista porcentual no lo sean tanto.

De forma general, con respecto a los tres episodios, hay que destacar que todos los métodos generan valores parecidos y, además, se reparten los valores extremos. El *Tin* genera tanto las medias más altas (dos episodios) como las más bajas, mientras que el *Idw* genera las medias más bajas en dos episodios, y el *Spline* las medias más altas en un episodio. Con respecto al rango de valores, los valores máximos están repartidos entre la *Regresión* (dos episodios) y el *Tin* (un episodio), y los valores mínimos se concentran en los

tres casos en el *ldw*, siendo la única vez entre todas las estadísticas que ocurre esta concentración (la bibliografía ya indicaba que era un método que tendía a valores medios).

#### **4.- Conclusiones**

La aplicación del análisis de regresión ha generado buenos resultados, a pesar de estar utilizando precipitaciones diarias. En muchos casos los valores generados, así como los mapas producidos se parecían bastante a los métodos de interpolación, y sólo en el caso de usar variables explicativas dependientes de la altimetría (episodio B) mostraban mayores diferencias en la cartografía. Desde el punto de vista de las variables explicativas, destacan las de cercanía a alguna estación meteorológica, reflejando la aleatoriedad y, complejidad de cada episodio pluviométrico, así como la insuficiencia de datos (humedad del aire, vientos que cambian de forma constante, etc.), que han podido favorecer que se centren las precipitaciones en una zona concreta por alguna razón que no conocemos.

El reducido número de estaciones meteorológicas utilizadas, y su diversidad con respecto a las alturas y orientaciones, ha podido limitar el no encontrar de forma clara algunas variables explicativas, como la cercanía al NO, O, SO y al mar, o la propia altimetría, y se ha podido ver encubierta con la utilización de la cercanía a alguna estación meteorológica. De todas formas, cada uno de los episodios de precipitaciones incluye una variable explicativa con respecto a la cercanía a una estación meteorológica, y otra con respecto a la altimetría o a la cercanía al NO.

La segunda conclusión indica que, desde un punto de vista general, no es tan importante utilizar un método u otro para realizar la espacialización de las precipitaciones, ya que las diferencias existentes entre los métodos utilizados no es muy alta, de unos 5 litros, que pasan a ser un 4% (6'8% como máximo para el episodio A, frente al 1'7% para el B).

La última conclusión refleja que a pesar de la baja importancia general de usar un método u otro, su variabilidad espacial sí cobra mayor importancia, como se ha constatado a través de la cartografía. Al realizar el análisis de escorrentía (donde además se tiene en cuenta la humedad previa, los usos del suelo y la edafología) se incrementan las diferencias globales a causa de las diferencias espaciales. En el caso del episodio A, hay un incremento del 6'8% al 12'6% si sólo se cambian los métodos de interpolación, y la media de los tres episodios pasa de un 4% a un 8'1%, por lo que aunque las diferencias de precipitaciones son bajas, la incidencia espacial de estas precipitaciones tienden a ser más importantes.

## BIBLIOGRAFIA

- BENICHO, P. et LE BRETON, O. (1987): Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. En *La Météorologie* 7e série N° 19 octobre.
- CAMARILLO NARANJO, J.M. y GARCIA BARRON, L. (2003): La estructura espacial de la precipitación en el Andévalo y la Sierra de Huelva. [www.jornadaspatrimonio.com/comunicacion.htm](http://www.jornadaspatrimonio.com/comunicacion.htm)
- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R. and MAYS, L.W. (1994): *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill Interamericana, S.A., Santafé de Bogotá, Colombia.
- GARCIA-RUIZ, J.M.; ARNAEZ, J.; WHITE, S.M. y BORDONABA, A.P. (1998): Predicción de episodios extremos en áreas de montaña. El ejemplo del Pirineo Central. En *Investigaciones recientes de la Geomorfología Española*, A. GOMEZ ORTIZ y F. SALVADOR FRANCH, pp. 623-630.
- LABORDE, J.P. (1981) : *Synthèse cartographique des pluies journalières extremes dans l'Est de la France*. Institut Polytechnique de Lorraine, 63 pp.
- LABORDE, J.P. (1996): Methodes d'interpolation et geostatistiques pour la cartographie automatique a l'usage des geographes. Du DEA Structures et Dynamiques Spatiales ... et de quelques autres. *Second Joint European & Exhibition on GIS, Barcelona 1996*, pp. 382-387.
- LYNCH, S.D. and SCHULZE, R.E. (1995): Techniques for estimating areal daily rainfall. *ESRI User's Conference, 1995*.
- OLIVERA, F.; DUGGER, A.; MAIDMENT, D.R. and HOLLEY, E. (1997): From GIS to HMS. *GIS and Hydrology Workshop* organizado por el CRWR. Austin, Texas, septiembre 1997.
- PARDO-IGUZQUIZA, E. (1998): Comparison of geostatistical methods for estimating the areal average climatological rainfall mean using data on precipitation and topography. *International Journal of Climatology*, Vol. 18, pp. 1031-1047.
- PARRILLA ALCALA, E. (2004): *El cálculo de la escorrentía superficial mediante SIG: validación e índice de sensibilidad de los parámetros del método del Soil Conservation Service*. Tesina de investigación, inédita, Universidad de Sevilla.
- PECK, E.L. (1962): Terrain Influences on precipitation in the intermountain west as related to synoptic situations. *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 1, N° 3, pp. 343-347.
- PRUDHOME, C. and REED, D.W. (1999): Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques: a case study in Scotland. *International Journal of Climatology*, Vol. 19, pp. 1337-1356.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (1993): *National engineering handbook, Hydrology*. US Dept. of Agriculture, Washington DC.