

---

# Espacialización de variables climáticas para la obtención de índices de aridez en el marco del Proyecto DESERTNET. Aplicación a Andalucía Oriental

---

M. Aguilar Alba<sup>1</sup>, M. Corzo Toscano<sup>2</sup>, E. Sánchez Rodríguez<sup>1</sup>, J.M. Moreira Madueño<sup>2</sup> y M. Rodríguez Surián<sup>2</sup>

- (1) Departamento de Geografía Física y A.G.R, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla, C/ María de Padilla, s/n., 41004 Sevilla.
- (2) Servicio de Información y Evaluación Ambiental, Dirección General de Planificación, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Avenida Manuel Siurot, 50, 41071 Sevilla.

## RESUMEN

*El proyecto DESERTNET busca llevar a cabo una normalización de informaciones y experiencias técnico-científicas adquiridas en zonas con riesgo de desertificación, con el objetivo de lograr un sistema homogéneo para el intercambio de datos e informaciones y para el control de dichos procesos. Entre los objetivos específicos de este proyecto se encuentra la definición de indicadores y modelos comunes para el seguimiento de la desertificación a escalas variadas, y la verificación de un conjunto de indicadores homogéneos dentro de un número definido de áreas-acciones pilotos, entre las cuales se encuentra Andalucía.*

*Con el fin de evaluar la evolución espacio-temporal de los procesos climáticos desencadenantes de la desertificación se aplican diversos índices de aridez y se espacializan a escala regional.*

*En el tratamiento de los datos climáticos se aplicaran las siguientes técnicas: Control de calidad de las series pluviométricas mediante pruebas de homogeneización relativas, determinación de zonas homogéneas mediante análisis multivariante y espacialización mediante modelos de regresión múltiple y técnicas geoestadísticas a partir de variables fisiográficas.*

*La integración de toda esta información y de los resultados obtenidos para diferentes periodos temporales en un Sistema de Información Geográfica permite realizar un adecuado diagnóstico de los procesos de desertificación, entendidos como un fenómeno dinámico en*

*el tiempo y en el espacio, y sentar las bases para poder realizar un seguimiento espacio-temporal de la evolución de los procesos desertificativos*

*Palabras-clave: Desertificación, índices de aridez, modelos de regresión, espacialización, precipitación, geoestadística, SIG, Desertnet.*

## **ABSTRACT**

*The main goal of the Desertnet Project is to establish common models and indicators for the evaluation and monitoring of the desertification process in the Mediterranean area. The region of Andalusia is one of the selected study areas.*

*The aim of this study is to find the spatial distribution of the main climatic variables in order to evaluate the spatial behaviour of aridity. For this purpose, regression models using topographic variables are generated for the spacialization of precipitation and temperature. Different models have been tested for the Eastern part of Andalusia.*

*Key Words: Desertification, regression models, spatial distribution, precipitation, aridity index, Desertnet.*

## **INTRODUCCIÓN**

La desertificación es el resultado de un conjunto de circunstancias climáticas y actuaciones humanas que conllevan la pérdida de las coberturas vegetales y la acentuación de los procesos erosivos. En Andalucía, este fenómeno tiene dos vertientes: por un lado está la desertificación “natural” responsable de los paisajes áridos y desérticos del interior de la provincia de Almería, y por otro la desertificación “inducida”, resultado de las actividades humanas y de las variaciones climáticas recientes. La desertificación tiene consecuencias muy negativas sobre los sistemas productivos y los ecosistemas naturales. En el entorno mediterráneo, dada la intensa ocupación y aprovechamiento del espacio, el problema se acentúa aún más, siendo por ello necesaria una valoración de estos fenómenos que permita la propuesta de medidas que disminuyan sus efectos o puedan compensarlos.

La toma de conciencia del problema de la desertificación no ha sido reciente. Desde hace años se han realizado estudios sobre el fenómeno, tanto a nivel nacional como internacional. En el ámbito internacional destaca el Proyecto Medalus (*Mediterranean Desertification and Land Use*), desarrollado entre los años 1991 y 1999. En España destacamos el Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación (PAND), en el que se establecieron, en función de variables como la erosión, los incendios, la aridez o la sobreexplotación de los acuíferos, una serie de prioridades de actuación. A nivel regional, también destaca el Plan Andaluz de Control de la Desertificación, en el que con una sistematización de trabajo similar se pretendía llegar al establecimiento de niveles de desertificación por subcuencas hidrográficas.

Recientemente, se ha puesto en marcha el proyecto europeo DESERTNET, en el que se

pretende el uso de un elevado número de variables para el diagnóstico del problema de la desertificación en el ámbito mediterráneo occidental y la valoración del riesgo existente. Andalucía es una de las regiones participantes en este proyecto a través de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. El objetivo central es conocer cómo está evolucionando la desertificación “inducida”, sobre todo en el área oriental, de cara a establecer medidas correctoras en las zonas afectadas.

Uno de los factores determinantes de la desertificación es el clima, representado en el modelo de evaluación de la desertificación por, entre otras variables, índices de aridez. En el proyecto Desertnet se utilizan dos índices: el índice de Bagnouls - Gaussen y la relación entre precipitación y evapotranspiración potencial, que se calculan para tres periodos diferentes: 1951 - 1960, 1961 - 1990 y 1991 - 2000.

En este trabajo se describen los pasos preliminares que se han llevado a cabo: el control de calidad de los datos climáticos, el cálculo de las variables básicas que integrarán los índices de aridez y las primeras pruebas para la espacialización de los resultados.

## DATOS

Para el cálculo de los índices de aridez se parte de información sobre dos variables climáticas, la temperatura (a partir de la cual se calcula la evapotranspiración potencial) y la precipitación. Para la espacialización de estas variables climáticas es preciso utilizar información sobre determinadas variables fisiográficas.

### Datos climáticos

La fuente de datos fundamental ha sido el banco de datos generado por la red de estaciones secundarias del Instituto Nacional de Meteorología. Estos datos han sido agregados a la escala mensual obteniéndose una base de datos de precipitaciones totales y temperaturas medias mensuales sobre las que se aplicaron los controles de calidad oportunos.

En el caso de las temperaturas, los datos se sometieron al test de las ratios comparándose cada serie con otra considerada como fiable dentro de áreas climáticas consideradas homogéneas. Las lagunas presentes en las series fueron interpoladas siempre que no supusieran más del 20% del total de los datos que integraban las series.

Los datos de precipitación de la zona oriental de Andalucía corresponden básicamente a la red de estaciones de la cuenca sur que vierte sus aguas al Mediterráneo, pero también se han incluido series de observación que completen esta zona hacia el noreste con estaciones que pertenecen a las cuencas del Guadalquivir y Segura.

De un total de 632 estaciones existentes en la zona se seleccionaron aquellas que presentaban el mayor número de datos en el periodo internacional 1961-1990 tal como recomienda la OMM. Hay que destacar la mala calidad de estas series en las que faltan la mayor parte de los registros mensuales a finales de los años ochenta y los inicios de los noventa. Este hecho obliga a seleccionar estaciones con un número de lagunas elevado en el periodo de estudio

para garantizar la representatividad espacial de la información. De no ser así, extensas zonas quedarían desprovistas de datos, como es el caso de la provincia de Almería, que no presentaría casi ninguna estación completa para el periodo 61-90.

En esta primera parte del proyecto DESERTNET se pretende analizar el comportamiento de la precipitación a escala anual. En fases posteriores, se abordarán los datos a un nivel estacional y mensual. En aquellas estaciones de gran representatividad espacial y cuyas series anuales presentaban un número elevado de lagunas a esta escala se procedió al relleno de éstas a nivel mensual con los observatorios mejor correlacionados. En la mayoría de las series los valores anuales fueron interpolados por regresión lineal simple asegurando en todos ellos un coeficiente de determinación superior a un 70% lo que supone correlaciones siempre por encima de un 0,8. Durante toda esta fase de preparación las series fueron sometidas a un análisis exploratorio exhaustivo que permitió detectar elevado número de errores y *outliers* en los datos que, posteriormente, fueron corregidos o eliminados al ser comparados con las estaciones más próximas. Finalmente, un total de 101 estaciones fueron seleccionadas con un número inferior o igual a cuatro lagunas interpoladas. Únicamente un número muy reducido de series superaron este límite por las razones antes mencionadas de representatividad espacial.

En la figura 1 pueden observarse las estaciones meteorológicas pluviométricas y termoplumiométricas seleccionadas para el estudio.

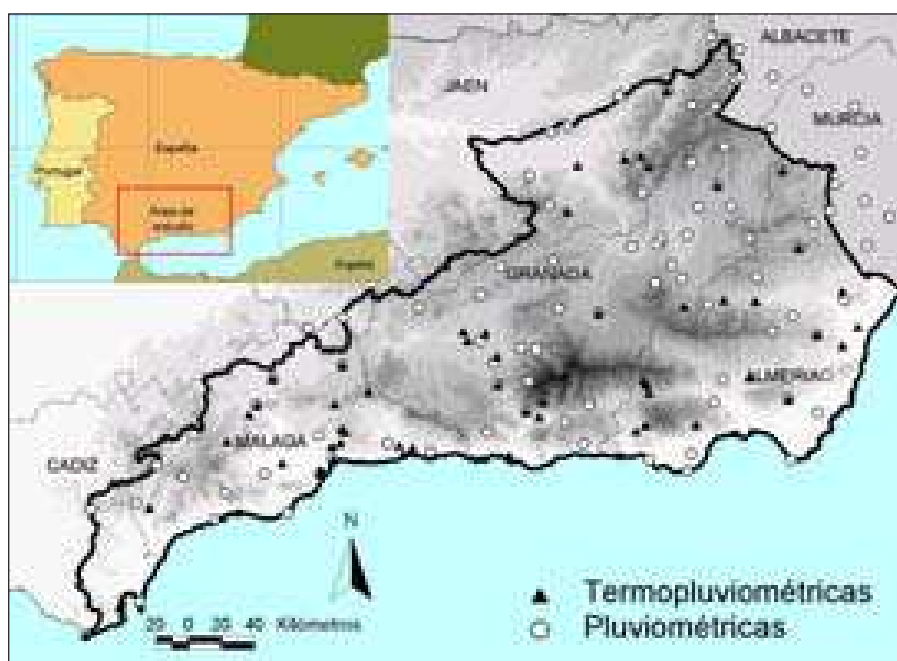


Figura 1. Estaciones meteorológicas utilizadas.

## Datos fisiográficos

Para el cálculo de los índices de aridez es necesario espacializar previamente las variables climáticas que intervienen. Para ello se utilizan modelos de regresión entre esas variables climáticas y una serie de variables fisiográficas con las que temperatura y precipitación se correlacionan:

latitud (Y UTM huso 30), longitud (X UTM huso 30), altitud, orientación, y distancia al mar. La información sobre estas variables fisiográficas se utiliza a una resolución de 100 metros. Para su gestión y el cálculo de los modelos se utilizaron los programas Arcinfo 8 y Arcview 3.2

La altitud fue generada a partir del modelo digital del terreno de 20 metros de la Consejería de Medio Ambiente que fue remuestreado a 100 y 4000 metros (puesto que en trabajos previos ha dado mejores resultados como variable predictora, al menos para la precipitación, que la altitud a una resolución mayor (Camarillo y García, 2002; Rodríguez-Iturbe y Mejía, 1974), incluyéndose ambas posibilidades en el modelo.

La orientación fue calculada a partir del modelo digital del terreno a 100 metros de resolución, como la dirección de máxima pendiente de cada celdilla con respecto a las que la rodean, y expresada en una escala que varía de 1 a 360.

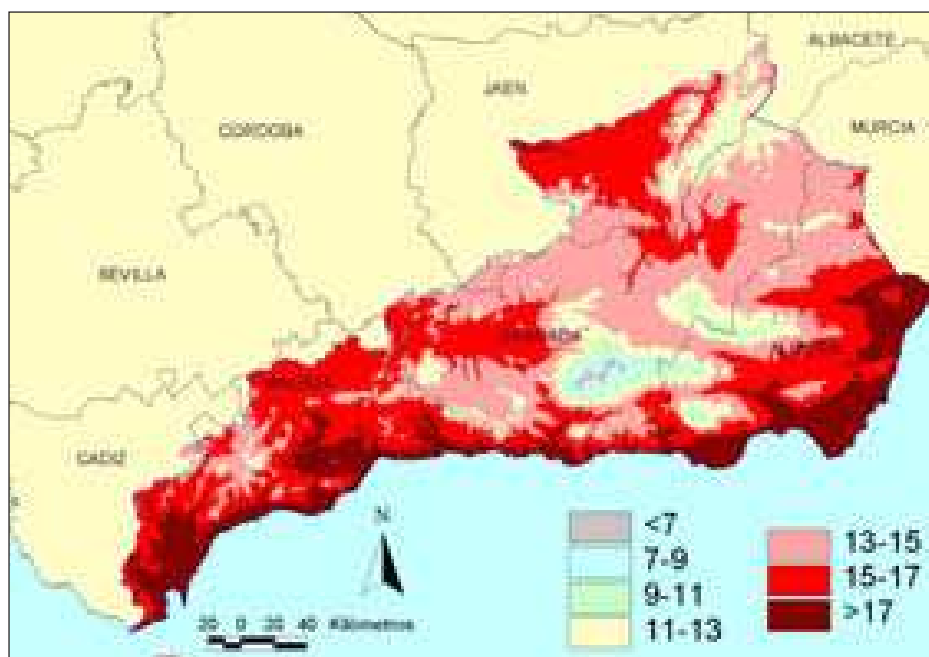
## METODOLOGÍA Y RESULTADOS

La espacialización de las variables climáticas necesarias para el cálculo de los índices de aridez (temperatura y precipitación) se ha realizado a través de análisis de regresión múltiple a partir de los datos de las estaciones seleccionadas, utilizando las variables fisiográficas ya mencionadas como variables independientes o predictoras. Este método es ampliamente utilizado, y en España encontramos ejemplos recientes de su uso para la cartografía de variables climáticas (Marquínez *et al.*, 2003; Sánchez *et al.*, 1999).

Una vez definidas las variables independientes que se van a utilizar en el modelo, se realiza un análisis de regresión por pasos “hacia atrás”. Este tipo de análisis de regresión introduce todas las variables independientes en el modelo de regresión en una primera etapa, y luego las elimina una a una, empezando por la variable que menos contribuye al modelo, hasta que eliminar una variable más no mejora el modelo de forma significativa. Utilizando este sistema en lugar de introducir directamente todas las variables independientes pretendemos generar un modelo más estable, reduciendo el problema que puede ocasionar la correlación entre variables independientes (si dos variables están muy correlacionadas entre sí, al menos una de ellas será eliminada del modelo). Por otra parte, la selección del método “hacia atrás” en lugar de “hacia delante” (que introduce las variables una a una hasta que la entrada de una nueva variable no produce una mejoría significativa en el modelo) pretende mantener en el modelo el máximo número de variables.

El modelo resultado del análisis de regresión para la espacialización de la temperatura media anual incluye, de las 6 variables iniciales, sólo dos, que son la coordenada x y la altitud a resolución de 100 metros. La primera variable que se excluye del modelo es la altitud a resolución de 4 kilómetros, puesto que está muy correlacionada con la altitud a 100 metros (coeficiente de correlación 0,959); a continuación, por este orden, salen del modelo la orientación, la distancia al mar y la coordenada y. Al reducir el número de variables en el modelo, el valor del coeficiente de determinación (R cuadrado) disminuye, pero muy ligeramente (0,686 para el modelo inicial y 0,681 para el modelo definitivo con sólo dos variables), e incluso el valor de R cuadrado corregida, que tiene en cuenta el tamaño de la muestra y el número de variables en el modelo, aumenta (de 0,675 a 0,678).

Variable dependiente	Variables Independientes	Coefficientes regresión	T	Sig.	R	R Cuadrado	R Cuadrado corregida	N
Temperatura media anual	(Constante)	17.629	91.172	0.000	0.825	0.681	0.678	71
	X	1.464E-06	2.385	0.018				
	Z_100M	-4.127E-03	-17.96	0.000				

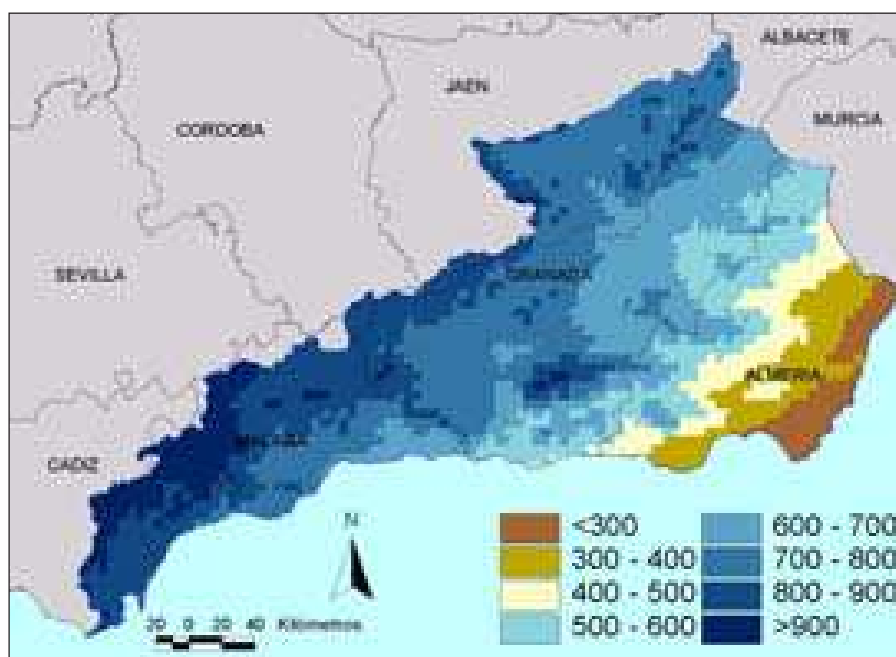


**Figura 2.** Espacialización de la temperatura media anual mediante el modelo de regresión para toda Andalucía Oriental.

Para la espacialización de la precipitación media anual en toda Andalucía oriental, el modelo de regresión definitivo conserva tres de las seis variables independientes originales: X, Y y altitud a resolución de 4 kilómetros (confirmándose así las conclusiones obtenidas en los trabajos anteriormente mencionados (Camarillo y García, 2002; Rodríguez-Iturbe y Mejía, 1974). En este caso, el valor predictivo del modelo es inferior que para la temperatura, ya que el valor de R cuadrado es de 0,562. Aun así, la contribución de las tres variables independientes al modelo es significativa y el valor de R cuadrado ha disminuido sólo mínimamente al reducir el número de variables (el valor inicial, con las seis variables en el modelo, era 0,564).

Variable dependiente	Variables Independientes	Coefficientes regresión	T	Sig.	R	R Cuadrado	R Cuadrado corregida	N
Precipitación media anual	(Constante)	-5232.565	- 3.412	0.001	0.749	0.562	0.548	101
	X	-2.350E-03	-10.23	0.000				
	Y	1.641E-03	4.200	0.000				
	Z_4KM	0.135	3.178	0.002				

El conocimiento del comportamiento de las precipitaciones a partir de un único modelo de regresión múltiple es limitado en una zona tan extensa, compleja topográficamente y donde quedan representados los extremos que caracterizan la pluviometría andaluza. Por estas razones y para conseguir una aproximación mejor a las estructuras espaciales de la precipitación se procedió a la clasificación del área de estudio en zonas pluviométricamente homogéneas a partir de un análisis cluster, que es ampliamente utilizado en climatología para la determinación de zonas homogéneas a partir de variables climáticas (Unal *et al.*, 2003).



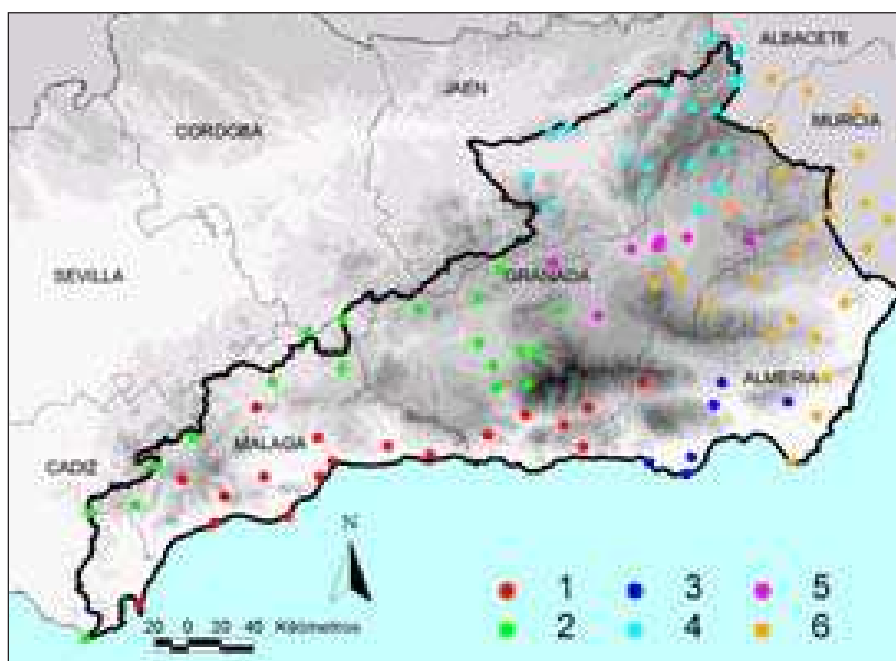
**Figura 3.** Espacialización de la precipitación media anual mediante el modelo de regresión para toda Andalucía Oriental

Una primera aproximación a la compartimentación de Andalucía en zonas pluviométricas mediante técnicas multivariantes ya ha sido realizada por el equipo de climatología al que pertenecen varios de los autores (Pita *et al.*, 1999). Las variables utilizadas fueron los totales de precipitación y las medias y coeficientes de variación de los totales mensuales, excluidos julio y agosto. Se tomaba así en consideración la abundancia de la lluvia existente en cada observatorio, su variabilidad interna y su régimen (la exclusión de julio y agosto se realizó para facilitar una mayor discriminación entre los observatorios, dado que la homogeneidad de la sequía estival en la región introducía un factor de excesiva regularidad que perturbaba el proceso de diferenciación entre unos observatorios y otros). A su vez, el análisis cluster fue realizado mediante una técnica de clasificación jerárquica a través del método de la distancia promedio, siendo calculada la distancia mediante la distancia euclídea al cuadrado, que es el procedimiento más utilizado en climatología y el que suele dar resultados más realistas, no presentando problemas de encadenamiento (Unal *et al.*, 2003). En nuestro estudio partimos de esta clasificación que fue complementada con un número mayor de observatorios en la zona de estudio.

Los resultados de esta clasificación aparecen plasmados en la figura 4 que muestra la existencia de seis grupos bien diferenciados. El primero de ellos se extendería por la costa malagueña y granadina incluyendo los primeros relieves cercanos como los Montes de Málaga, la Axarquía y la Sierra de la Contraviesa. Esta vertiente mediterránea a sotavento de las influencias atlánticas presenta un claro dominio del ámbito mediterráneo.

El segundo corresponde a los relieves más meridionales de las Cordilleras Béticas y la Vega de Granada (Serranía de Ronda, las sierras que conforman la unidad de la Cordillera Penibética). Esta zona se extendería desde el flanco oriental de la provincia de Cádiz y Serranía de Ronda, con un núcleo más lluvioso enmarcado en la isoyeta de 1.000 mm dominado por la influencia atlántica, hasta Sierra Nevada. A excepción de la Vega de Granada donde las precipitaciones disminuyen en torno a los 600 mm, esta zona agrupa a los observatorios que recogen las aportaciones pluviométricas más importantes, sin tener en cuenta las de las sierras de Cazorla y Segura que no pertenecen a esta unidad, debido a la influencia preponderante del relieve como factor geográfico.

Siguiendo la costa hacia el este, al llegar a la provincia de Almería, la zona del Campo de Dalías, Sierra de Gádor y la Sierra de Alhamilla se individualizan como tercer grupo. El escaso número de observatorios que lo componen no permite precisar más los límites de esta unidad. De cualquier forma, diversas pruebas realizadas cambiando las variables y procedimientos al realizar el análisis cluster confirman la identidad de este grupo bien diferenciado del resto.



**Figura 4.** Agrupación de los observatorios en zonas pluviométricas homogéneas.

El cuarto grupo está constituido por los observatorios que representan el dominio pluviométrico de las Sierras de Cazorla y Segura, con precipitaciones superiores a los 1.100 mm, y el interior de la provincia de Jaén, con precipitaciones inferiores.



Aunque más limitado en su extensión espacial, la zona más deprimida de la Hoya de Guadix-Baza constituye un quinto grupo en la clasificación enmarcado en la isoyeta de los 300 mm. Como hace referencia Capel “esta fuerte indigencia pluviométrica viene dada por el hecho de que esta comarca está limitada por todas partes por altas montañas que interceptan las lluvias y proporcionan a esa área solamente vientos agotados ya en su humedad” (Capel y Andújar, 1978).

Finalmente, el sudeste de Andalucía desde Cabo de Gata hasta la provincia de Murcia, y hacia el norte hasta encontrar los relieves de las sierras de la Sagra y Segura, constituye un sexto grupo integrando gran parte de la provincia de Almería. Como es bien sabido esta zona es la más árida no sólo de Andalucía, sino también de la Península Ibérica con valores en torno a los 200 mm anuales de precipitación.

Para cada una de estas zonas homogéneas en cuanto a la precipitación se procedió a generar un modelo específico de regresión para la espacialización de esta variable, con el objetivo de mejorar su estimación y reflejar mejor las características específicas de cada uno de estos ámbitos. Los modelos para espacializar la precipitación para cada una de las zonas identificadas mediante el análisis cluster ofrecen los siguientes resultados:

#### Grupo 1: Costa de Málaga y Granada

Variable dependiente	Variables Independientes	Coefficientes regresión	T	Sig.	R	R Cuadrado	R Cuadrado corregida	N
Precipitación media anual	(Constante)	1538.886	12.495	0.000	0.913	0.833	0.795	17
	X	-2.490E-03	-7.571	0.000				
	Z_100M	0.453	6.760	0.000				
	DISTANCIA	-8.180E-03	-3.852	0.002				

#### Grupo 2: Cordilleras Béticas y Vega de Granada

Variable dependiente	Variables Independientes	Coefficientes regresión	T	Sig.	R	R Cuadrado	R Cuadrado corregida	N
Precipitación media anual	(Constante)	1794.846	9.469	0.000	0.873	0.762	0.732	19
	X	-3.835E-03	-7.07	0.000				
	Z_100M	0.481	4.395	0.000				

#### Grupo 3: Costa Sur de Almería

Variable dependiente	Variables Independientes	Coefficientes regresión	T	Sig.	R	R Cuadrado	R Cuadrado corregida	N
Precipitación media anual	(Constante)	-672.720	-6.2	0.102	0.995	0.991	0.964	5
	X	1.718E-03	8.318	0.076				
	Z_4KM	8.975E-02	6.362	0.099				
	DISTANCIA	-4.375E-03	-8.70	0.073				

**Grupo 4: Interior de Jaén y Sierras de Cazorla y Segura**

Variable dependiente	Variables Independientes	Coefficientes regresión	T	Sig.	R	R Cuadrado	R Cuadrado corregida	N
Precipitación media anual	(Constante)	-820.406	-4.3	0.000	0.893	0.798	0.775	20
	Z_4KM	0.436	6.552	0.000				
	DISTANCIA	8.801E-03	6.858	0.000				

**Grupo 5: Hoyas de Guadix y Baza**

Variable dependiente	Variables Independientes	Coefficientes regresión	T	Sig.	R	R Cuadrado	R Cuadrado corregida	N
Precipitación media anual	(Constante)	-20686.830	-9.5	0.011	0.996	0.993	0.982	6
	X	-3.652E-03	-11.7	0.007				
	Y	5.435E-03	9.880	0.010				
	Z_4KM	0.366	11.52	0.007				

**Grupo 6: Noreste de Almería**

Variable dependiente	Variables Independientes	Coefficientes regresión	T	Sig.	R	R Cuadrado	R Cuadrado corregida	N
Precipitación media anual	(Constante)	227.957	9.933	0.000	0.767	0.588	0.566	21
	Z_100M	0.141	5.209	0.000				

En general, por zonas se consiguen modelos con mejor capacidad predictora, ya que en cada uno participan diferentes grupos de variables. Sin embargo, hay que recordar que al construirse con un número de casos muy inferior, estos modelos son menos estables que el modelo general para toda Andalucía oriental, lo que por otra parte no los hace menos útiles para el objetivo que se persigue aquí, la espacialización de la precipitación media anual.

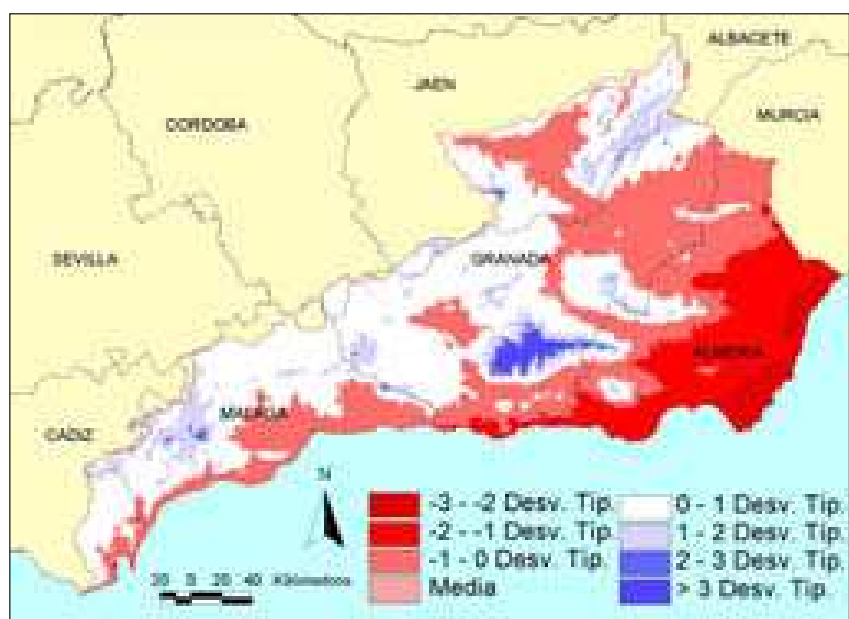
Como se esperaba, la altitud se incluye en los modelos para todas las zonas, ya sea a 100 metros o a 4 kilómetros de resolución. La siguiente variable que se incluye en más modelos es la X (en cuatro de las seis zonas), ya que en esta zona las precipitaciones están ligadas a la dinámica climática del Mediterráneo, y después la distancia al mar (en tres de las seis zonas) por el mismo motivo y por el efecto barrera que ejerce el relieve, perpendicular a los flujos dominantes.

Excepto en la zona 3, todos los demás modelos presentan coeficientes de regresión significativos para todas las variables independientes incluidas, lo que se explica en parte por el bajo número de estaciones que la representan. Además, las estaciones representativas de esta zona se caracterizan por ser las que presentaban un mayor número de lagunas en el periodo 61-90, con un comportamiento además muy singular que determina su baja correlación con estaciones del entorno y dificulta el relleno de esas lagunas.

En cualquier caso, la mejora en el coeficiente de correlación múltiple que se consigue al generar modelos por zonas y el hecho de que en los diferentes modelos intervengan distintas combinaciones de variables hace pensar que esta aproximación dará mejores resultados en la

espacialización de la precipitación media anual que el cálculo de un solo modelo para todo el área.

Aunque el proyecto Desertnet aplicará el índice de aridez de Bagnouls-Gausson, que es de mayor complejidad, en este caso se prefirió probar el funcionamiento de un índice de aridez más sencillo que permita evaluar la espacialización de las variables climáticas realizadas. Por ello, se ha aplicado el índice de Lang, que consiste en el cociente entre la precipitación y la temperatura media anual. El índice de Lang calculado a partir de la temperatura y precipitación espacializadas con el modelo general para toda Andalucía Oriental se muestra en la figura 5.



**Figura 5.** Índice de Lang para toda Andalucía Oriental, clasificado en intervalos de desviación típica (15,67) a partir de la media (47,067)

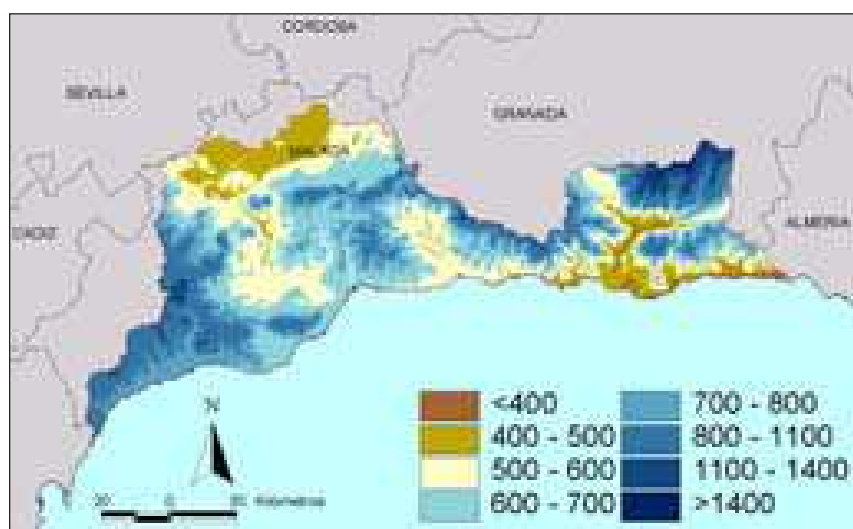
De las seis zonas homogéneas identificadas en función de la precipitación, se muestra aquí la aplicación del modelo específico de espacialización de esta variable para la zona 1 (Costa de Málaga y Granada) (figura 6), así como el índice de Lang (figura 7) para su comparación con los resultados obtenidos a través del modelo general ya presentado.

El modelo general de espacialización de la temperatura para toda Andalucía oriental (figura 2) obtiene resultados coherentes con los registrados en los observatorios, dada la menor variabilidad espacial de este parámetro. Los resultados aquí presentados concuerdan también con los obtenidos por el único estudio realizado en la región que utiliza estas técnicas para la cartografía de variables climáticas (Sánchez *et al*, 1999).

Por tanto, para el cálculo de los índices de aridez y otros parámetros derivados de los elementos mayores del clima, la dificultad fundamental se encuentra en la estimación de las precipitaciones. Por esta razón nuestro estudio orientó sus esfuerzos hacia el establecimiento de modelos más adecuados para esta variable.

El modelo general de espacialización de la precipitación para toda Andalucía oriental (figura 3) refleja a grandes rasgos el patrón de distribución real de esta variable, pero presenta

importantes deficiencias. En primer lugar, si bien las zonas donde se registran los máximos pluviométricos quedan reflejadas, los valores reales que se alcanzan están infraestimados por el modelo, como es el caso de la Serranía de Ronda o las Sierras de Cazorla y Segura. Otra de las zonas donde este modelo general no es capaz de reflejar la realidad es la Vega de Antequera, donde quedan sobrevaloradas las precipitaciones, dando valores en torno a los 800 mm, cuando los valores registrados se sitúan alrededor de los 500-600 mm. En las Hoyas de Baza y Guadix de nuevo las precipitaciones quedan muy sobrevaloradas por este modelo general, duplicando los valores reales de la zona.

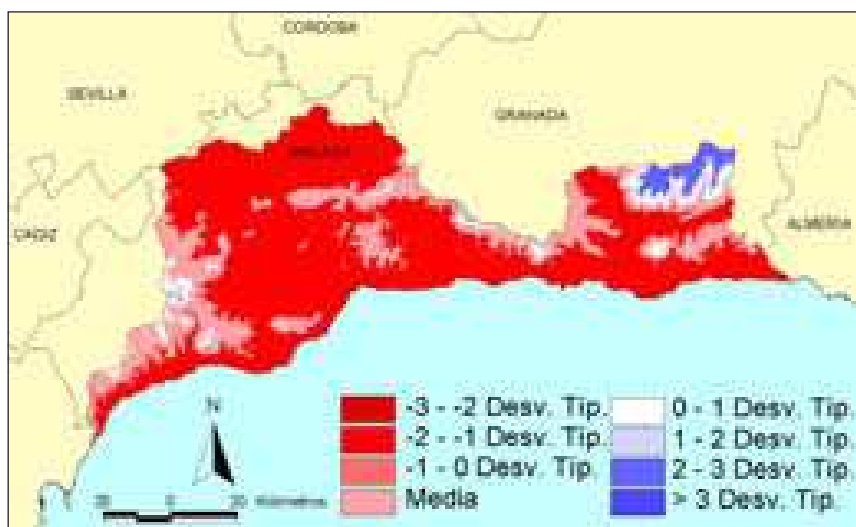


**Figura 6.** Espacialización de la precipitación media anual mediante el modelo de regresión para toda Andalucía oriental.

Por esta razón es necesario utilizar modelos de regresión específicos que sean capaces de captar la gran variabilidad fisiográfica y climática de esta zona. Así, los modelos de regresión generados para cada una de las zonas homogéneas pluviométricamente delimitadas por el análisis cluster corrigen notablemente los problemas del modelo general anteriormente mencionados. Para ilustrar los mejores resultados que se obtienen de esta forma únicamente comentaremos la unidad de la costa de Málaga y Granada (figura 6), donde las deficiencias señaladas anteriormente son superadas.

En la Vega de Antequera y la cuenca del Guadalhorce los valores estimados reflejan los que se registran en la realidad, en torno a los 500-600 mm, corrigiendo la sobreestimación del modelo general. Otra de las mejoras es la capacidad matizadora del nuevo modelo para captar los valores extremos, como se puede apreciar en la parte oriental de la Serranía de Ronda y en la vertiente suroeste de Sierra Nevada. Estos resultados son coherentes con los obtenidos por otros autores en sus estudios sobre las precipitaciones para áreas concretas de Andalucía oriental (*Capel y Andújar, 1978; Domínguez y Justicia, 1995; Moreno, 1986*).

Al mejorar los modelos de estimación de la precipitación se consigue una espacialización del índice de aridez de Lang más matizada, por lo que se pueden evaluar los riesgos relacionados con la desertificación de una forma más precisa. Mientras con el modelo general toda la



**Figura 7.** Índice de Lang para la costa de Málaga y Granada, clasificado en intervalos de desviación típica (26,75) a partir de la media (47,34)

costa de Málaga y Granada toma valores en torno a 47, cuando se utiliza el modelo específico para este ámbito, los valores se matizan dentro de esta zona entre 20 y 47, pudiendo evaluarse mejor las diferencias espaciales.

## CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en esta primera etapa del proyecto Desertnet se comprueba que la metodología empleada para la espacialización de variables climáticas ofrece buenos resultados, aunque es necesario profundizar en la validación de estos modelos. En la etapa actual se está verificando cuantitativamente el ajuste de estos modelos mediante validación cruzada y análisis de los residuos. Además, se están introduciendo técnicas geoestadísticas de espacialización que complementan las hasta ahora empleadas.

La espacialización de otros índices de aridez más complejos y adecuados al ámbito mediterráneo, como es el propuesto por el proyecto Desertnet de Bagnouls-Gaussen, pueden abordarse en próximas etapas, una vez superadas las dificultades iniciales en la espacialización de la temperatura y la precipitación. La comparación entre distintos periodos permitirá evaluar los factores climáticos del proceso de desertificación y su evolución reciente.

## REFERENCIAS

Camarillo Naranjo, J.M. y Corzo Toscano, M (2001): "Méthodologie pour le calcul de l'érosivité de la pluie en Andalousie", en M.F.Pita et al, *Climat et environnement. L'information climatique au service de la gestion de l'environnement*. XIV Colloque International de Climatologie, Sevilla, septembre 2001. pp.23-24.

- Camarillo Naranjo, J.M. y García Barrón, L. (en prensa): *La estructura espacial de la precipitación en el Andévalo y la Sierra de Huelva*. 14 p.
- Capel Molina, J.J. y Andújar Castillo, F. (1978): "Mapa pluviométrico de Andalucía". *Paralelo 37*, 2: 197-209.
- Domínguez Rodríguez, R. y Justicia Segovia, A. (1995): "Aplicación del análisis de regresión al estudio de las precipitaciones en la vertiente sur de Sierra Nevada". *Baetica*, 17: 67-97.
- Marquínez, J., Lastra, J. y García, P. (2003): "Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis". *Journal of Hydrology*, 270: 1-11.
- Martín Vide, J.(1981): "Cantidades diarias y análisis marcoviano de las precipitaciones en el litoral mediterráneo sur de la Península Ibérica". *Paralelo 37º*, nº 5, 97-114.
- Moreno García, M.C. (1986): "Distribución espacial de los valores probables anuales y mensuales de la precipitación en la cuenca granadina del río Geni". *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 14(1984-85): 57-83.
- Pita López, M.F., Aguilar Alba, M., Megías Casas, M. y Camarillo Naranjo, J.M. (1999): "Diseño de una metodología de espacialización de variables climáticas, estructuración de bases de datos de clima y obtención de indicadores ambientales". En *Investigación y desarrollo medioambiental en Andalucía*. Unviversidad de Sevilla, Sevilla, pp. 87-92.
- Pita López, M.F. (2003): "El clima de Andalucía". En *Geografía de Andalucía*. Ariel Geografía. Editorial Ariel, Madrid, .pp. 137-173.
- Rodríguez-Iturbe, I. y Mejía, J.M. (1974): "On the transformation of point rainfall to areal rainfall". *Water Resources Research*, 10(4): 729-735.
- Romero, R., Guijarro, J.A., Ramis, C. y Otros (1998): "A 30-year (1964-1993) daily rainfall data base for the Spanish Mediterranean regions: first exploratory study". *International Journal of Climatology*, 18(5): 541-560.
- Sánchez Palomares, O., Sánchez Serrano, F. y Carretero Carrero, M.P. (1999). *Modelos y cartografías de estimaciones climáticas termoplumiométricas para España*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid. 192 p.
- Unal, Y., Kindap, T. y Karaca, M. (2003): "Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis." *International Journal of Climatology*, 23: 1045-1055.