

ELABORACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE PRECIPITACIÓN PARA LA ISLA DE GRAN CANARIA

Un ejemplo en la cuenca del Barranco Guinguada

LUIS HERNÁNDEZ CALVENTO
PABLO MÁYER SUÁREZ
LIDIA ROMERO MARTÍN

Resumen: El presente artículo tiene como objetivo mostrar, a través de un ejemplo, la elaboración de modelos digitales de precipitación (MDP) para la isla de Gran Canaria. Los MDP, como otros modelos digitales, permiten caracterizar con gran detalle la variable precipitación y se sustentan en técnicas de análisis espacial. Estas técnicas han tenido un gran desarrollo en los últimos años a partir del propio desarrollo de la informática en geografía y, con ello, de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). La importancia que cobra la isla de Gran Canaria en este campo, viene determinada por la gran cantidad de estaciones pluviométricas que se sitúan en la isla, logrando una densidad de red muy superior a la existente en otras partes del Estado.

Palabras clave: Modelos Digitales de Precipitaciones, Modelos Digitales de Elevaciones, Sistemas de Información Geográfica, Gran Canaria, técnicas de análisis espacial, modelización espacial, barranco de Guiniguada.

Abstract: One example of the realization of digital rainfall models in Gran Canaria is showed by this paper. These models, like other digital models, allow us to see in detail the observed variable (the rainfall, in this case) and is sustained by spatial analysis techniques, which have had a great expansion in the last years through the expansion of computer techniques in Geography and, in special, of the Geographical Information Systems (GIS). The importance of Gran Canaria in this field is due to the existence of a great number of rainfall observation stations in the island, what cause a high density, higher than in other parts of Spain.

Key words: Digital Rainfall Models, Digital Elevation Models, Geographical Information Systems, Gran Canaria, spatial analysis techniques, spatial modelling, ravine of Guiniguada.

1. INTRODUCCIÓN

Las estaciones meteorológicas se encuentran distribuidas de forma dispersa

por el territorio, dejando entre ellas lagunas de información respecto a los datos que registran. Así, para caracterizar climáticamente la totalidad del territorio se hace necesario el cálculo de los valores climáticos en aquellas zonas donde éstos no han sido registrados. Estos cálculos se realizan mediante la aplicación de modelos de estimación, que suelen estar basados en técnicas de interpolación espacial a partir de los datos existentes en las estaciones disponibles. Este procedimiento permite estimar el valor de una variable en una posición determinada del espacio a partir de los valores conocidos de esa variable en otras ubicaciones.

La variable climática de la que se poseen mayor número de registros, tanto en una escala temporal como desde el punto de vista espacial es, sin duda alguna, la precipitación. Esto se debe, entre otros factores, a la importancia que ha tenido en el desarrollo de los recursos, tanto naturales como sociales (agrícolas y turísticos, especialmente), así como al papel que desempeña de cara a una correcta planificación territorial, en la que los riesgos naturales deben tenerse en consideración. Es por ello por lo que el conocimiento de la distribución espacial de esta variable cobra una especial relevancia. Así, diversos trabajos en los últimos años se han encaminado a su modelización espacial, bien con el fin de caracterizar un territorio (PONTE y BOSQUE, 1997), o bien de cara a la modelización de determinados riesgos, como incendios forestales (SALAS, 1994) o inundaciones (MÁYER *et alii*, 1999).

En la estimación de la distribución espacial de esta variable, se recurre a la creación de modelos digitales de precipitaciones, MDP (PONTE y BOSQUE, 1997). Estos modelos pueden responder a estimaciones realizadas sobre un espacio bidimensional, o considerar su variabilidad espacial con relación a la topografía. En este último caso, se basan en modelos digitales de elevaciones, MDE (SALAS, 1994; HERNÁN-

DEZ, 1996). En los últimos años estas estimaciones se han resuelto mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica, SIG. Las ventajas de estas herramientas informáticas derivan tanto de la posibilidad de trabajar los datos considerando su posición geográfica, como de la exactitud y velocidad en los cálculos necesarios para la elaboración de los documentos definitivos (BOSQUE, 1992).

La realización de los MDP debe contar con datos suficientes como para permitir un ajuste adecuado del modelo, y no son muchas los territorios que cumplen esta pauta. Sin embargo, la isla de Gran Canaria cuenta con una densidad muy alta de estaciones pluviométricas (MÁYER *et alii*, 1999), al disponer de más de 250 pluviómetros repartidos por la superficie insular, lo que nos da una cifra cercana a un pluviómetro cada 6 km² (figura n.º 1).

El trabajo que aquí presentamos desarrolla un ejemplo metodológico para la elaboración de MDP en la isla de Gran Canaria, dada la importancia que la red de pluviómetros tiene. En este sentido, consideramos que este territorio se convierte en un espacio único, por lo que adquiere el carácter de laboratorio de cara al estudio de la distribución espacial de las precipitaciones, al presentar un reparto desigual, inducido por el abrupto relieve de la isla.

2. DISPONIBILIDAD Y FIABILIDAD DE LOS DATOS CLIMÁTICOS EN GRAN CANARIA

Resulta curioso que en una isla con notable escasez de lluvia, con una precipitación media anual de 300 mm, frente a los 850 mm de media mundial, y en la que el aprovechamiento anual del agua superficial representa sólo el 10% del total de consumo de la isla, se haya hecho un esfuerzo tan notable en el registro histórico de las precipitaciones.

Este esfuerzo permite en la actualidad cuantificar con un alto grado de fiabilidad

las precipitaciones que se producen no sólo en la superficie insular de forma general, sino también en sectores de menor extensión.

El nacimiento de la red de estaciones pluviométricas en la isla de Gran Canaria puede datarse hacia 1950. Durante estos años se procedió a ampliar el número de pluviómetros que la Jefatura de Minas había ido localizando desde 1934, de la mano de D. Emiliano Fernández. Los pluviómetros facilitados por la Jefatura Provincial del Mando Aéreo (de quien entonces dependía todo lo relacionado con la meteorología y recopilación de datos analíticos), permitían el análisis espacial de las precipitaciones por el elevado número de pluviómetros (116) repartidos por toda la isla. Los datos eran gestionados por el propio D. Emiliano, el cual se encargó de repartir por toda la isla los pluviómetros (normalmente en los pozos o en lugares próximos a éstos), así como de capacitar a los observadores. Su empeño para con esta labor propició una alta fiabilidad en los datos, al igual que el inicio de estudios pluviométricos que abarcaban el conjunto de la isla.

En la década de los años sesenta, con el impulso dado a la construcción de grandes presas, se hizo necesario llevar a cabo toda una serie de estudios hidrológicos. El Servicio Hidráulico de Las Palmas se hizo cargo del archivo de datos de la red, continuando y potenciando su control, mantenimiento y explotación.

En 1970 y, como consecuencia del SPA-15¹, se realizó una importante campaña de revisión y control de las estaciones que existían hasta el momento, colocándose nuevos pluviómetros en aquellos lugares en los que el estudio de los registros de épocas anteriores indicaba un necesario control. Asimismo, la campaña se extendió a la captación y formación de los observadores. D. Antonio Dols Viciano, ingeniero de caminos, canales y puertos, continuó la organización de la Sección de Hidrología, con la colaboración del ingeniero técnico

de obras públicas D. Lorenzo Medina Voltes y el topógrafo D. Jaime González Pérez. Su sucesor es el geólogo D. José Antonio Núñez Lladó quien, desde entonces, ha estado trabajando en optimizar la red y analizar los datos. Su ímproba labor, especialmente en la depuración de los datos diarios enviados por los observadores garantiza su alta fiabilidad.

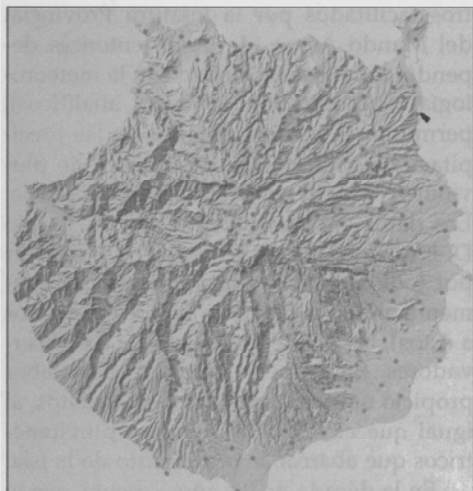


Figura 1. Distribución de las estaciones pluviométricas en Gran Canaria

La importante densidad de estaciones repartidas por la isla permite conocer el comportamiento espacial de esta variable en los últimos 50 años. La red ha sido clasificada en 3 tipos atendiendo, básicamente, a la antigüedad, fiabilidad y lagunas en los datos. De esta forma la red Thiessen la componen aquellos pluviómetros con registros continuados desde 1950, utilizados para realizar estudios de áreas de influencia y reparto espacial de las precipitaciones mediante el método del mismo nombre. Por otro lado, la red básica la componen aquellos pluviómetros con registros anteriores a la década de los sesenta, carentes de lagunas. El resto de los pluviómetros tienen lagunas en sus datos y fueron insta-

lados con posterioridad a la década de los sesenta.

En el presente estudio se ha optado por utilizar los datos provenientes de los pluviómetros de la red Thiessen y básica, lo cual, en el área de estudio, supone un número de 18 estaciones. Sin embargo, con el fin de proceder con los ejercicios de interpolación, se hace necesario cubrir un área mayor, por lo que se añaden a esta cifra otras estaciones situadas en áreas limítrofes. Así, en conjunto, el total de estaciones se eleva a 25, por lo que contamos con una densidad de 2,6 pluviómetros por km². En la figura 2 se representa la distribución de las estaciones en el área de estudio.

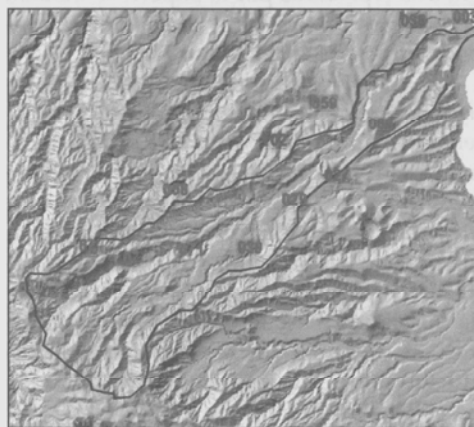


Figura 2. Distribución de las estaciones seleccionadas

3. MÉTODOS PARA LA INTERPOLACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

La mayoría de los métodos utilizados para realizar cálculos de precipitación en puntos no muestrales del territorio se basan en técnicas de interpolación y extrapolación espacial, partiendo de un análisis de las relaciones existentes entre el fenómeno climático y algunas variables ligadas al te-

ritorio, como son, en general, todas las relacionadas con la topografía (SALAS, 1994). En las Islas Canarias se tiene constancia de que este factor determina considerablemente la distribución de las precipitaciones (MARZOL, 1988) y que, por tanto, puede ser utilizado correctamente a la hora de realizar modelos digitales basados en series temporales de datos (ROMERO y HERNÁNDEZ, 1996).

Entre los métodos de interpolación espacial, uno de los que resulta más simple es el denominado *polígonos Thiessen*. Se trata de establecer los polígonos que definen el área de dominio de una variable (en este caso, la lluvia). Considerando que cada punto no muestral del territorio es similar al punto muestral más próximo, se trata de asignar a los primeros el valor de los segundos. Para ello se crean unos polígonos donde el valor para cada uno de los puntos que quedan en su interior es el del punto muestral que lo define. Como es de suponer, el procedimiento solamente es aplicable si la red muestral es densa y se encuentra distribuida de forma homogénea por el territorio. De igual manera, su aplicación se ve condicionada por la existencia de importantes variaciones en el relieve que pueden reproducirse en los datos captados por dos estaciones muy próximas. Este método ha sido muy utilizado durante décadas, al no contarse con herramientas que permitieran un mejor cálculo espacial de los datos.

Un segundo método de interpolación es el de las *medias móviles con ponderación de la distancia*. Este método supone que la variable estimada sigue unos gradientes lineales con la distancia. De esta manera, el valor de un punto no muestral es estimado en función de la media de los valores de los puntos muestrales más cercanos y en relación inversa a la distancia que los separa; es decir, cada dato se interpola por la media ponderada de los datos de las estaciones más cercanas. Su expresión se define:

$$Z_u = S_m (Z_m W_{mm}) / S_m W_{mm}$$

donde Z_u es el valor a estimar en el punto no muestral, Z_m el estimado en el muestral y W_{mm} es un factor de ponderación que actúa sobre el valor de cada punto muestral. Este factor, relacionado con la distancia existente entre un punto muestral m y uno no muestral n , se calcula de la siguiente forma:

$$W_{mm} = 1 / d_{i,m}$$

siendo $d_{i,m}$ la distancia entre el punto muestral y el no muestral.

Este método es aplicable a zonas que no presentan una gran variación de datos climáticos o que, en caso de presentarla, no es posible establecer una relación directa con otros factores, como los relativos a la topografía. Su realización mediante SIG es rápida. El producto cartográfico derivado es útil cuando el objetivo es establecer un primer documento de trabajo, puesto que determina una buena distribución de las precipitaciones y permite, por tanto, un análisis bastante acertado. En esta misma línea, esta representación cartográfica es de utilidad cuando la escala de trabajo es pequeña, y no se pretende considerar un detalle excesivo sino una visión global (MÁYER *et alii*, 1999).

A modo de comparación con otra variable, en la elaboración de modelos digitales de elevaciones, este método resulta válido, dado que se adapta mucho mejor al modelado de la altitud, que sí suele seguir un gradiente lineal claro.

Los métodos de *interpolación por funciones de regresión* se basan en el análisis de las relaciones espaciales entre algunas variables del territorio. En los estudios de clima suele ser usual el establecimiento de funciones que expliquen las relaciones que se establecen entre las variables climáticas y las topográficas (principalmente altitud y orientación), así como la localización geográfica (longitud, latitud y distancia). La interpolación por funciones de regresión se basa en la estimación de los datos no muestrales en función de esta relación, que suele ser establecida utilizando una recta co-

mo modelo, en la que la variable no climática adquiere el carácter de independiente. La mayor explicación de la variabilidad espacial de la precipitación está marcada por la altitud (SALAS, 1994), hecho que se comprueba igualmente en Gran Canaria (ROMERO y HERNÁNDEZ, 1996).

Así, podemos establecer una correlación entre la variable altitud (z) y las precipitaciones (P) para una serie de puntos muestrales. Estos podrían ser, claramente, las estaciones pluviométricas localizadas en la isla, de las que conocemos ambos datos. Una vez establecida la correlación, sería sencillo aplicar los valores que determinan la variación de los datos de P al resto de altitudes del territorio, donde no existan datos relativos a la precipitación. Para ello, podemos realizar la operación mediante la aplicación del algoritmo lineal:

$$Y = a + b X$$

donde Y es la variable dependiente, X la independiente, mientras a y b son los parámetros que definen la recta, siendo b el coeficiente de regresión de Y sobre X , que expresa la pendiente de la recta, y a un valor que indica la distancia del origen al punto en el que la recta corta al eje Y . En nuestro caso, la ecuación podría tener la siguiente expresión:

$$P = a + b z$$

Además de la regresión lineal, se pueden señalar otras como la potencial o multiplicativa ($R = a z^b$), la exponencial ($R = \exp(a + b z)$) y la recíproca ($1/R = a + b z$).

Para el cálculo de los valores de a y b se suele utilizar un método sencillo, como el denominado de mínimos cuadrados, que hace referencia a que la recta obtenida hace mínima la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores empíricos y los teóricos proporcionados por dicha recta.

Así, a cada altitud de nuestro territorio le podrá ser asignado un valor relativo a la precipitación, conforme al modelo establecido a partir de los datos de las estaciones.

En caso de que nuestra búsqueda tuviese como objetivo uno o varios puntos repartidos por el territorio, la solución es muy rápida. Sin embargo, cuando el objetivo es la caracterización climática de toda un área, se hace imprescindible contar con una z fijada en un mapa de altitud continuo, es decir, un Modelo Digital de Elevaciones.

De cualquier forma, una vez establecido el modelo, es necesario conocer su bondad de ajuste, con el fin de saber si es válido desde un punto de vista científico o si, por el contrario, en su aplicación estaríamos cometiendo un grave error. El método que presenta mejores resultados es el de comparar los datos de precipitación teóricos con los obtenidos tras la aplicación del modelo en las estaciones pluviométricas.

El grado de relación que existe entre las variables precipitación y altitud puede ser determinado de manera cuantitativa a partir de los valores predichos (teóricos), P_p , y los observados (empíricos) obtenidos en función de la correlación, a los que denominaremos P_o , en estas estaciones. La razón entre las varianzas de los valores observados de la variable dependiente (S^2P_o) y la varianza de los valores predichos de esta misma variable (S^2P_p) otorga, como resultado, un valor que representa la proporción de la variación total de la variable dependiente que es explicada por la independiente si se aplica alguno de estos modelos. Así se define el coeficiente de determinación r^2 , que permite estimar hasta qué punto la regresión explica la variación de los valores observados de la variable dependiente, es decir, la bondad de ajuste. Si el resultado se aproxima a 1, las varianzas son idénticas y la variable dependiente (en nuestro caso, la precipitación) sería explicada en su totalidad por la variable independiente (la altitud). Su expresión es:

$$r^2 = S^2P_o / S^2P_p$$

El cálculo de los errores obtenidos al aplicar la ecuación, también es útil a la hora de estimar la validez del modelo. Así, se suelen considerar dos tipos: el error medio

cuadrático (EMC) y el error máximo. Este último puede aportar información muy válida, al posibilitarnos comprobar variaciones puntuales que, en caso de no estar relacionadas con un error en los datos de entrada, explicaría rasgos particulares sobre el carácter de alguna de las estaciones, como variaciones producidas por la existencia de sombras topográficas.

Para comprobar la validez de los resultados obtenidos, se debe realizar igualmente algún tipo de test de significación estadística, como el test de significación de correlación, que permite determinar la bondad de ajuste entre un conjunto de datos observados a partir de una investigación y una distribución teórica.

En nuestro ejemplo, éste será el método que se va a aplicar, dado que presenta una característica fundamental: se trata de un área que presenta una variación altitudinal muy grande, desde el nivel del mar hasta los 1866 metros. Este hecho determina una influencia notable en la variación de las precipitaciones (desde los 144,6 mm de media anual de la estación de Las Palmas, hasta los 829,7 mm de la Hoya del Gamonal, a 1365 m).

4. LOS MDE COMO BASE PARA LA OBTENCIÓN DE MDP

Como hemos comentado con anterioridad, si el objetivo de nuestro trabajo es la caracterización climática de toda un área, y se pretende, además, alcanzar un gran nivel de exactitud, es necesario contar con un documento relativo a la altitud del territorio que presente esta variable de modo continuo. Es lo que se denomina un Modelo Digital de Elevaciones, MDE.

Este modelo debe estar en un formato adecuado que permita la realización de los cálculos necesarios para ser transformado en el Modelo Digital de Precipitaciones, MDP. En el entorno de los SIG, la estructura de datos que responde a este formato es la raster, donde los datos quedan expre-

sados por pixels o teselas que son producto del cruce de filas y columnas. La razón de ello estriba en que los programas raster permiten una mayor velocidad y exactitud en el proceso de análisis de los datos, a través de operaciones matemáticas con las matrices numéricas que los definen (BOSQUE, 1992).

Dada su naturaleza simbólica y numérica, los MDE permiten una gran precisión en la modelización de algunos procesos, gracias a las relaciones de correspondencia que establecen con la realidad (FELICÍSIMO, 1994). Así, son muchos los trabajos en los que estos modelos tienen aplicación, a lo cual no es ajeno nuestro ámbito geográfico, donde existen experiencias de investigación en las que han sido elaborados, como para el estudio del relieve y de sus variaciones (SANTANA y NARANJO, 1992), la realización de modelos de riesgo erosivo, en los que las variables topográficas juegan un papel decisivo (HERNÁNDEZ, 1996) o, precisamente, en la elaboración de MDP (ROMERO y HERNÁNDEZ, 1996).

Sin duda alguna, la complejidad orográfica de nuestra isla, y lo que ello significa, tanto desde el punto de vista ambiental como desde el punto de vista humano, determina el que los MDE sean de gran utilidad a la hora de estudiar nuestro medio y establecer modelos sobre su funcionamiento. De este modo, resulta recomendable su utilización cuando se pretende abordar estudios climáticos, especialmente si éstos tienen como objetivo la caracterización de la precipitación.

La captación de los datos para la realización de un MDE puede realizarse mediante la digitalización de una red uniforme de puntos, o mediante la introducción en el sistema de la información relativa a las curvas de nivel (FELICÍSIMO, 1994). En el primer caso, suele ser habitual considerar los puntos correspondientes al cruce de las coordenadas, es decir, los vértices de la cuadrícula del documento cartográfico fuente (MÁYER, et alii, 1999) o, si se pre-

tende mayor detalle, datos de altitud relativos a divisiones realizadas considerando estas cuadrículas como referencia (SANTANA y NARANJO, 1992). Si bien es verdad que el método presenta buenos resultados, mayor aplicación tiene el método indirecto de la digitalización manual de los mapas topográficos (FELICÍSIMO, 1994), para lo que se hace muy útil el uso de sistemas vectoriales.

Al igual que señalamos en relación a la selección de los datos relativos a la precipitación, conviene considerar la digitalización de las curvas en un área superior a la de estudio, con el fin de que, en la interpolación posterior, el límite de nuestro territorio no sea considerado como una cota con un valor de 0, pues esto supondría un serio problema si se pretende realizar cálculos relativos a las pendientes. Con el fin de garantizar la mayor precisión del modelo, la digitalización se debe abordar considerando la totalidad de las curvas de nivel. Del mismo modo deben ser integrados en el sistema todos los puntos acotados, así como la información auxiliar, correspondiente a alturas que no guardan un orden regular con estas curvas.

Para la interpolación de los datos suele ser habitual la interpolación lineal entre puntos o curvas de nivel, ya que resulta ser el método que permite una mayor precisión final (BOSQUE *et alii*, 1990; BOSQUE, 1992). Este método se basa en la intercepción de dos puntos de dos líneas que sigan la misma dirección (la de máxima pendiente), estableciendo sobre ella la interpolación lineal y asignándose a cada tesela el valor calculado de los datos intermedios.

El resultado que se obtiene nunca es del todo correcto, ya que el territorio modelado se manifiesta con un aspecto aterrazado. Este hecho es producto de la concentración de los datos calculados muy cerca de la posición geográfica que ocupan las curvas de nivel digitalizadas (FELICÍSIMO, 1994). Para corregir este efecto, se ha-

ce necesario establecer algún proceso, siendo el más normal la aplicación de un filtro de paso bajo (BOSQUE *et alii*, 1990) empleando una ventana de cada 3 x 3 teselas. Este método, de medias móviles, produce un suavizado que asemeja más el modelo al aspecto real del territorio.

Al igual que en el caso de las precipitaciones, es necesario, una vez realizado el modelo, analizar los resultados con el fin de comprobar su validez. Resulta útil, para este cometido, la toma de pares de datos en puntos de control: los relativos a la cartografía original y los relativos al mapa resultante de la elaboración del MDE. Para ello, se hace práctico la elaboración de un muestreo sistemático (CHUVIECO, 1990), tomando como referencia los puntos coincidentes con la cuadrícula de la cartografía fuente de información. Una vez tomados los puntos, se debe proceder al cálculo de los errores máximo y cuadrático medio con un método idéntico al explicado con anterioridad para las precipitaciones. Conforme a los datos obtenidos, se puede comprobar la calidad del modelo, para lo que se hacen útiles las definiciones establecidas por el US Geological Survey (FELICÍSIMO, 1994). De cualquier forma, también sería necesario realizar algún test de significación estadística, como el mencionado test de significación de correlación.

Una vez comprobado que el modelo presenta una calidad suficiente como para ser utilizado para desarrollar nuestro MDP, tan sólo queda aplicar la ecuación hallada a través del método de interpolación por funciones de regresión, sustituyendo el MDE por la z , en la ecuación $P = a + b z$.

5. ELABORACIÓN DEL MDP DE LA CUENCA DEL GUINIGUADA

Para la realización del MDP de la cuenca del Guiniguada se contó con 25 estaciones pluviométricas, 18 de las cuáles se localizan en el interior de la cuenca, mientras que las 7 restantes lo hacen en la periferia.

La razón de este hecho estriba en que, en un proceso de interpolación, es necesario contar con puntos muestrales en las áreas periféricas, pues de no ser así el sistema tiende a considerar un gradiente lineal, según la tendencia creciente o decreciente de

los valores más cercanos. En la tabla 1 se muestran las estaciones pluviométricas seleccionadas (se marcan en cursiva las que se localizan en la periferia de la cuenca), así como sus valores de precipitación media anual y de altitud.

TABLA 1.
Estaciones pluviométricas seleccionadas

Estación	Altitud (m)	PMA (mm)	Estación	Altitud (m)	PMA (mm)
1. Lomo Aljorradero	1075	629,2	66. Tafira-Vivero	337	328
2. Hoya del Gamonal	1365	829,7	67. Mesas de Ana López	1548	775,1
3. Las Palmas	60	144,9	68. Lagunetas	1110	728,2
15. <i>Tenteniguada</i>	745	530,8	69. Antona-Gañanías	1110	739,8
27. Monte Coello	470	388	70. Utiaca	850	626,6
29. Santa Brígida	485	425,3	71. Draguillo-San Mateo	740	516,1
33. <i>Cuevas Blancas</i>	1690	890,1	94. Solana presa	1010	587
38. Lomo del Polvo	160	197,7	102. La Milagrosa	395	391,1
39. Madroñal	595	497,4	136. San Mateo pueblo	830	555,8
40. Llano de Las Brujas	100	208	164. <i>Ojero Teror</i>	770	693,5
43. Cruz de Tejeda	1525	754,5	166. Cueva Grande	1335	821,6
58. <i>Faro Espartero</i>	818	566,2	167. <i>Cuevecillas</i>	1160	744
59. <i>San Lorenzo</i>	235	308,7			

A partir de estos datos, se realizaron los cálculos relativos a la relación existente entre las dos variables comentadas (precipitación y altitud), con el fin de conocer cómo esta última variable condiciona la distribución de las lluvias en la cuenca. Para ello, se procedió al cálculo de los parámetros estadísticos que definen la recta de ajuste (la pendiente, b , y la intersección, a), según el método de mínimos cuadrados, dando como resultado 197,50 para a , mientras el valor de b es 0,434. Esta función se

representa en la figura 3, donde se puede observar el buen ajuste que presentan las dos variables en los puntos muestrales seleccionados.

Una vez obtenidos estos datos, y con el fin de conocer la bondad del ajuste, se procedió al cálculo de las precipitaciones para las mismas altitudes a las que se localizan las estaciones pluviométricas. Los resultados se presentan en la tabla 2, donde se muestran los valores teóricos (P_{mm}) y los calculados (P_{mm}') tras la aplicación de la ecuación.

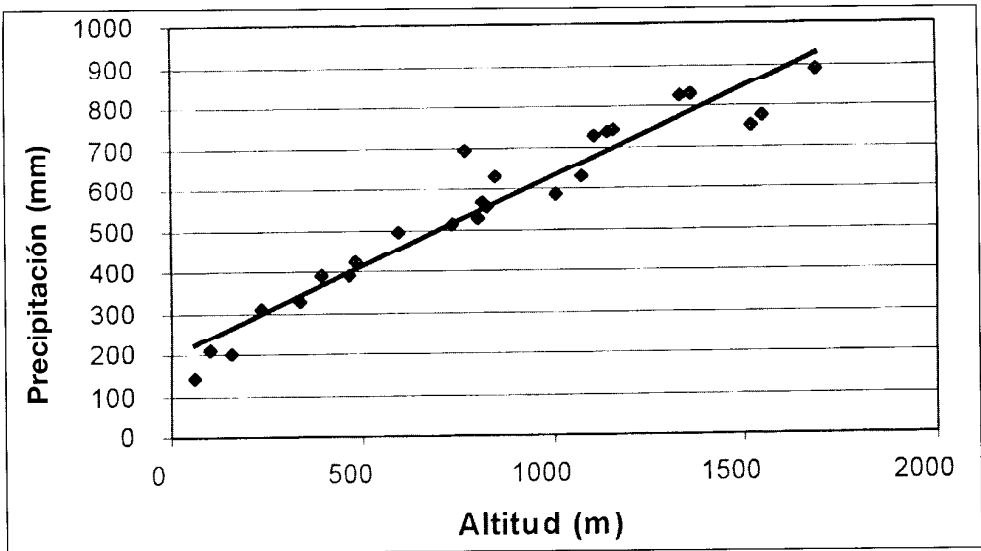


Figura 3. Relación entre la precipitación y la altitud.

TABLA 2.
Precipitación teórica y calculada

Altitud	Pmm	Pmm'	Altitud	Pmm	Pmm'	Altitud	Pmm	Pmm'
60	144,9	223,532	595	497,4	455,647	1110	728,2	679,085
100	208	240,886	740	516,1	518,557	1145	739,8	694,27
160	197,7	266,918	770	693,5	531,573	1160	744	700,778
235	308,7	299,458	805	530,8	546,758	1335	821,6	776,704
337	328,4	343,711	818	566,2	552,398	1365	829,7	789,719
395	391,1	368,875	830	555,8	557,604	1520	754,5	856,968
470	388,8	401,415	850	626,6	566,282	1548	775,1	869,116
485	425,3	407,923	1010	587	635,699	1690	890,1	930,724
			1075	629,2	663,9			

De igual forma, la figura 4 representa gráficamente la relación existente entre la altitud y ambas precipitaciones (teórica y calculada), pudiéndose apreciar el ajuste entre ambas y la altitud, así como la distribución de los errores. En relación a éstos, el EMC fue de 33,15 mm, mientras el error máximo fue de 161,93 mm. Por su parte, en cuanto a los valores estadísticos, el coeficiente de determinación da como

resultado 0,9624, lo cual indica que en esta cuenca la altitud explica más del 96% de la distribución de la precipitación. Para comprobar estadísticamente la validez de los datos obtenidos, se procedió a la elaboración del test de significación de correlación. El resultado obtenido es de 0,9615, valor muy cercano a 1, que indicaría que ambas muestras son exactamente idénticas.

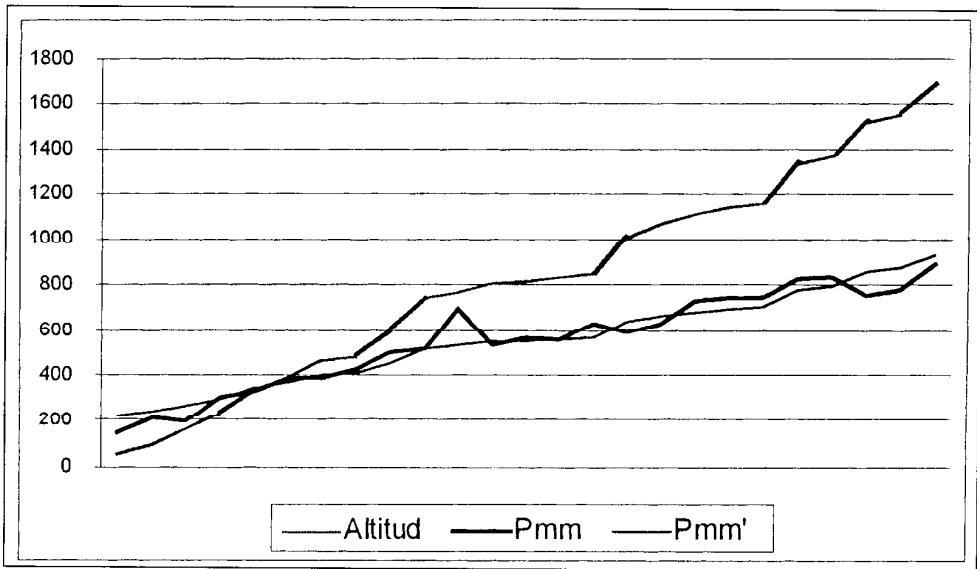


Figura 4. Relación entre la altitud, la precipitación teórica y la calculada.

A partir de los datos obtenidos, podemos definir el mapa de las precipitaciones de la cuenca, para lo que se hace necesario, como se comentó con anterioridad, contar con un MDE que nos facilite la aplicación de la función descrita con anterioridad.

Para la realización de este documento, se procedió a la digitalización, en formato vectorial, de las curvas de nivel de la cuenca del Guinguada, así como de las áreas inmediatamente cercanas. Una vez introducidos los datos en el sistema, éstos fueron interpolados a través de un método de medias móviles con ponderación de la distancia, obteniéndose como resultado un documento de altitudes, al que fue necesari-

o realizar cuatro filtros de paso bajo, haciendo uso de la mediana, con el fin de proceder al suavizado del modelo.

Con el fin de conocer la bondad de los resultados obtenidos, fueron seleccionados de forma sistemática 59 puntos de control, correspondientes a los vértices de la cuadrícula UTM. Poniendo en relación los datos obtenidos en estos puntos tras la realización del proceso de interpolación, con los teóricos ("reales"), leídos directamente sobre el mapa topográfico, el error máximo localizado es de 96 metros, mientras el EMC es de 42. En la tabla 3 se presenta la altitud "real" en estos puntos, así como la calculada tras el proceso de interpolación y los errores en cada punto de control.

TABLA 3.
Datos reales, datos obtenidos del MDE y errores en los puntos de control

Z MDE	Z real	Error	Z MDE	Z real	Error	Z MDE	Z real	Error
1246	1300	-54	776	800	-24	550	566	-16
1062	1120	-58	1000	1000	0	532	509	23
1520	1500	20	971	1000	-29	487	400	87
920	1000	-80	789	800	-11	468	500	-32
947	1020	-73	746	800	-54	383	360	23
1690	1740	-50	799	887	-88	462	400	62
1120	1200	-80	747	800	-53	475	400	75
1109	1120	-11	751	790	-39	400	400	0
1107	1140	-33	700	700	0	439	459	-20
1704	1800	-96	736	700	36	236	220	16
1450	1516	-66	623	600	23	212	200	12
1295	1371	-76	522	500	22	344	260	84
965	1000	-35	686	700	-14	289	200	89
999	1060	-61	714	700	14	200	220	-20
837	900	-63	789	800	-11	265	200	65
945	1000	-55	603	680	-77	200	200	0
1696	1709	-13	583	560	23	150	120	30
1348	1400	-52	685	600	85	280	200	80
1000	1000	0	560	500	60	200	120	80
1097	1100	-3				60	100	-40

De igual forma, en la figura 5 se presenta la distribución de ambos pares de datos, así como los errores hallados, pudiéndose observar la bondad de ajuste, así como la inexistencia de áreas específicas donde se produzcan errores. Sin embargo, es de notar, a partir de la lectura de este gráfico que, mientras en las cotas bajas los errores tienden a ser positivos (son mayo-

res los valores obtenido del MDE), en las cotas más altas sucede lo contrario. Igual que en el caso anterior, se procedió a comprobar estadísticamente la validez de los datos obtenidos, a través de la elaboración del test de significación de correlación y, de la misma forma que ocurriera para las precipitaciones, el resultado (0,9312) indica una buena bondad de ajuste.

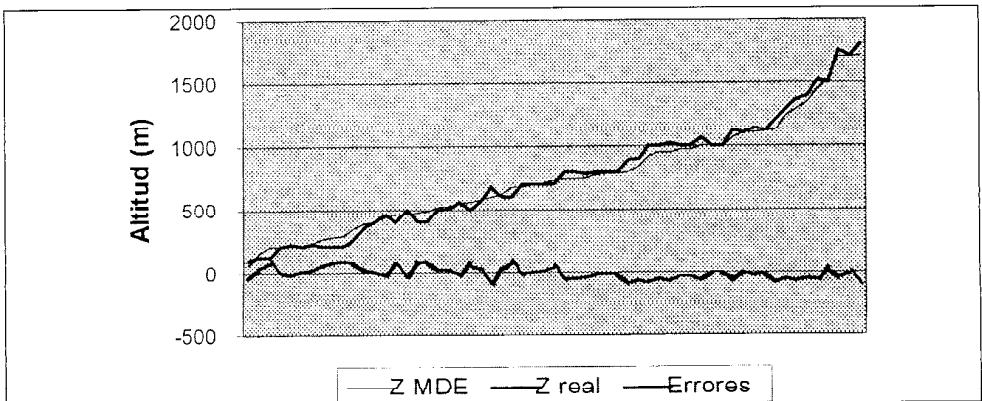


Figura 5. Altitudes reales, altitudes en el MDE y errores observados.

A partir de este modelo de altitudes, se procedió a la aplicación de la función obtenida anteriormente, mediante la sustitución de la z en la ecuación $P = a + b z$. Co-

mo resultado, obtenemos el mapa de precipitación media anual para la cuenca del Guinguada. En la figura 6 se puede observar este documento definitivo.

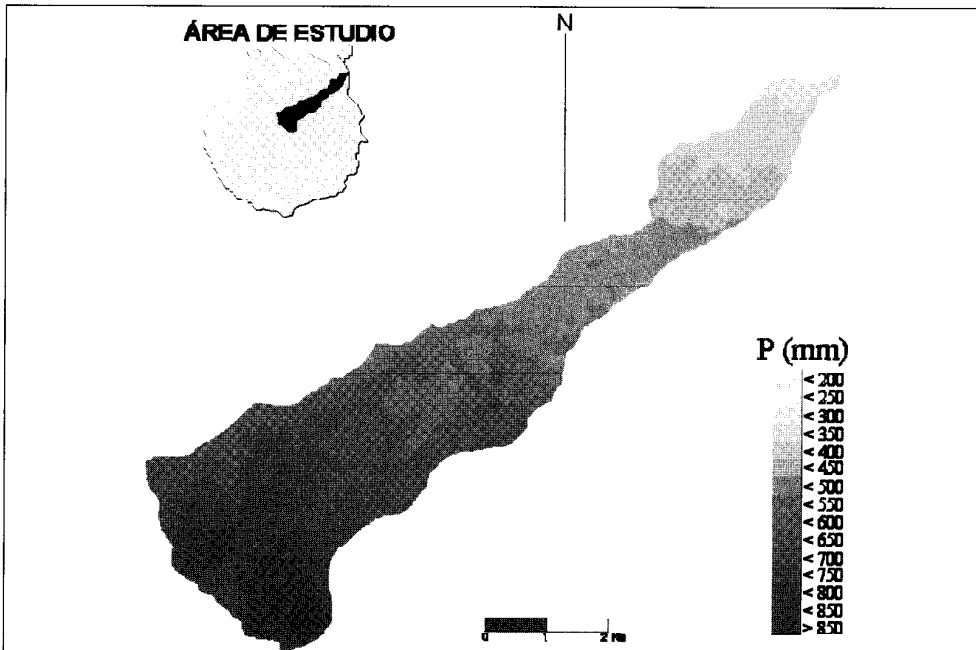


Figura 6. MDP de la cuenca del Guinguada.

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En un análisis en el que se deba tener en cuenta la distribución espacial de cualquier variable natural o social, la aplicación de un modelo nos parece, *a priori*, una ventaja, puesto que con ello conseguimos mostrar algo que no es obvio a simple vista. Llegados a este punto, podemos afirmar que los modelos ayudan a percibir hechos que son difíciles de observar en la realidad cotidiana. Sin embargo, también es cierto que la implementación de modelos nos lleva, en muchas ocasiones, a cometer errores de análisis, bien porque se haya producido una generalización de la información, o

bien porque la información utilizada para la generación del modelo sea errónea.

En el caso del estudio de la precipitación, partimos de una información que pueden contener errores (de lectura directa de la probeta del pluviómetro, de introducción en la base de datos...). La implementación de un modelo en estas condiciones, desde luego, deja pocas dudas sobre la escasa calidad del análisis que con él se puede realizar. Sin embargo, los procesos de depuración de los datos pluviométricos, permiten su fiabilidad. Por otro lado, parece obvio que en la representación de esta variable se ha de hacer uso de estos modelos para que los territorios pue-

dan ser estudiados y entendidos, por lo que su modelización se puede considerar como necesaria.

Pero esta necesidad no puede justificar una modelización de cualquier modo, ya suponga ésta la escasez de datos de entrada, la mala calidad de éstos o la aplicación de modelos no ajustados. Así, desde un punto de vista científico, se cuenta con métodos válidos que se basan en el control de calidad de los datos y en la implementación de modelos basados en ecuaciones que posibilitan un análisis de los errores. Al mismo tiempo, ciertas herramientas se ponen a disposición de esta calidad en los modelos.

En relación a la cantidad y la calidad de los datos, y por lo que se refiere a nuestro territorio, Gran Canaria dispone de una buena materia prima: en primer lugar, dispone de una gran cantidad de estaciones pluviométricas repartidas por todo su territorio, lo que le permite tener una densidad muy alta de red. Por otro lado, las series son amplias y el control sobre la calidad de los datos permite no dudar sobre su fiabilidad. Tan sólo queda el que los modelos que se desarrollen permitan realizar cálculos lo más apropiado posible.

Es en esta línea donde juegan un importante papel los SIG y la posibilidad de desarrollar modelos de calidad, implementando sus posibilidades de análisis espacial. Precisamente, ese es el cometido de es-

te artículo: mostrar las posibilidades metodológicas que permiten los SIG en la búsqueda de modelos más exactos de precipitaciones.

Teniendo en cuenta lo expuesto con anterioridad y, a modo de conclusión, sólo nos resta considerar los siguientes puntos:

1. La isla de Gran Canaria posee una red de estaciones pluviométricas de excelente calidad y densidad. Los datos que se recogen en estas estaciones son la materia base sobre la que estudiar las lluvias y su variabilidad espacial en esta isla. Pero, así mismo, esta isla puede funcionar a modo de laboratorio, de modo que la modelización de las precipitaciones y el estudio de esta variabilidad espacial, sea aplicable a otros lugares que, con semejantes características naturales, no dispongan de tanta información relativa a precipitaciones.
2. La elaboración de modelos digitales de precipitación se muestra como una herramienta válida a la hora de modelizar estas variaciones climáticas. Sin embargo, su establecimiento debe hacerse siguiendo unos pasos rigurosos que aseguren la bondad del modelo y que deben comenzar desde el mismo momento de la toma de datos.

NOTAS

- 1 SPA-15: "Estudio Científico de los Recursos de Agua en las Islas Canarias". UNESCO-MOP.

BIBLIOGRAFÍA

- BOSQUE, J. (1992): *Sistemas de Información Geográfica*. Rialp, Madrid, 451 pp.
- BOSQUE, J.; DOMÍNGUEZ, J y VEGA, J. (1990): "Generación de un modelo topográfico digital para la ciudad de Granada: problemas y soluciones con el programa IDRISI". *IV Coloquio de Geografía Cuantitativa*, pp. 97-109. Granada.
- CHUVIECO, E. (1990): *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Rialp, Madrid, 453 pp.
- FELICÍSIMO, A. (1994): *Modelos Digitales del Terreno*. Pentalfa, Oviedo, 215 pp.
- HERNÁNDEZ, L. (1996): *Modelización Espacial del Riesgo de Erosión de Suelos Mediante SIG. Aplicación al Estudio de la Extracción de Suelos en Gran Canaria*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Alcalá de Henares. (Inédita).
- MARZOL, M.V. (1988): *La lluvia, un recurso natural para Canarias*. Caja General de Ahorros de Canarias, S/C de Tenerife, 220 pp.
- MÁYER, P., ROMERO, L. y HERNÁNDEZ, L. (1999): "Análisis de los temporales en Gran Canaria en la década de los cincuenta". En RASO, J.M. y MARTÍN-VIDE, J., *La Climatología Española en los Albores del Siglo XXI*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 1, pp 315-324.
- PONTE, R. y BOSQUE, J. (1997): "Comparación de métodos de cálculo para la obtención de la variable precipitación en un SIG". *Estudios Geográficos*, LVII, pp 227-255.
- ROMERO, L. y HERNÁNDEZ, L. (1996): "Características pluviométricas de la cuenca del Guinguada (1950-1994). Gran Canaria. Islas Canarias". En: MARZOL, M.V., DORTA, P. y VALLADARES, P., *Clima y agua. La gestión de un recurso climático*, Universidad de la Laguna y Asociación de Geógrafos Españoles. S/C de Tenerife, pp 155-169.
- SALAS, F.J. (1994): *Detección de áreas de riesgo de incendio forestal a partir de los Sistemas de Información Geográfica*. Tesis Doctoral, Universidad de Alcalá de Henares. (Inédita).
- SANTANA, A. y NARANJO, A. (1992): *El relieve de Gran Canaria*. Nogal Ediciones, Las Palmas de Gran Canaria.