

Estudio comparativo de diferentes métodos de interpolación para la realización de mapas de precipitación en la isla de La Gomera (Islas Canarias): Evaluación de la incorporación de la altura

Different interpolation methods comparative study for rainfall maps elaboration in La Gomera (Canary Islands): Assessment of the altitude incorporation

T. Izquierdo y A. Márquez

Grupo de Geología, ESCET, Universidad Rey Juan Carlos, c/ Tulipán s/n, 28933, Móstoles, Madrid
tariana.izquierdo@urjc.es, alvaro.marquez@urjc.es

ABSTRACT

Groundwater is the main water resource in La Gomera (Canary Islands) where it represents almost 70% of the consumption. Since the elaboration of the preliminary works of the Insular Hydrological Plan in 1996 there has not been other estimation of the island's rainfall. For an accurate estimation of the future hydrogeological resources of the island it is necessary to know and assess carefully the recharge estimates. It is for this reason that the choice of the rainfall interpolation method is so important. In this study two different interpolation methods have been used to compare their results with the real data of the gauges and to obtain doing that the best precipitation estimate in the area. Results show the kriging with external drift to be the best interpolation method in the study area and that the use of the relationship between elevation and precipitation increase the accuracy of the model.

Key words: Rainfall, interpolation methods, ordinary kriging, kriging with external drift, La Gomera

Geogaceta, 42 (2007), 131-134
ISSN: 0213683X

1. Introducción y objetivos

En La Gomera (Islas Canarias) las aguas subterráneas son la principal fuente de recursos hídricos, representando el 70% del total disponible en la isla según los datos del Plan Hidrológico Insular de La Gomera (PHIG, 2003). La mayoría de los recursos subterráneos se explotan mediante la canalización de los numerosos nacientes con los que cuenta la isla, aproximadamente 300 según la Actualización del Inventario de Nacientes de la Isla de La Gomera (ITGE, 1991). De momento, los problemas de abastecimiento que pueden ocurrir en la isla se deben más a problemas en la red de distribución que a escasez de recursos, aunque en los últimos años se ha detectado la desecación de un número considerable de estos nacientes.

Aún así, se ha observado una marcada estacionalidad en sus caudales claramente relacionada con las precipitaciones de la isla (IGME, 1985). El clima de La Gomera se encuentra principalmente dominado por los vientos alisios que soplan en dirección noreste en la baja troposfera.

Sobre esta capa se encuentra otra más cálida y seca, normalmente de dirección noroeste llamada inversión del alisio o contraalisio. Esta superposición de masa de aire impide el ascenso de los alisios al chocar con la orografía de la isla provocando abundante nubosidad en la vertiente de barlovento, aunque con limitado desarrollo vertical, esto es, el llamado «mar de nubes» en torno a los 1.500 metros de altitud. Debido a que La Gomera cuenta con una altura máxima de 1.487 m debería existir una clara relación entre la precipitación y la altura en la isla.

En este trabajo no se ha tenido en cuenta el efecto de la precipitación horizontal que produce el mar de nubes en contacto con la vegetación de la isla. Sin embargo, para una futura valoración cuantitativa de la misma será necesario tenerla en cuenta ya que, según estudios recientes, ésta podría aportar dependiendo de las zonas incluso más precipitación que la convencional por lo que los valores se verían altamente modificados (Gómez y Fernández, 2003).

La última estimación de la precipitación en la isla se realizó para la elabora-

ción del Avance del PHIG (CIAG, 1996) utilizando para ello sólo 19 estaciones meteorológicas del total de la isla para una serie temporal de 10 años (1980/81 – 1996/97). Antes, el Instituto Geológico y Minero (IGME) en la realización del Estudio Hidrogeológico General de la Isla de La Gomera (IGME, 1985) realizó un mapa de isoyetas a partir de la precipitación media del total de los pluviómetros existentes hasta ese momento (32). En ambos casos se tuvo en cuenta la orografía de la isla aunque en ninguno se especifica la metodología seguida para el trazado de las isoyetas.

La futura explotación sostenible de los recursos hídricos de La Gomera implica conocer en mayor detalle no sólo la estructura hidrogeológica de la zona, sino también las estimaciones de la recarga por infiltración. Este dato fundamental presenta el problema de la escasez de pluviómetros con series largas de datos en la isla (Fig. 1), por lo que resulta clave la elección de los métodos de interpolación utilizados para realizar los mapas de precipitación y evapotranspiración con los que calcular la recarga mediante balance

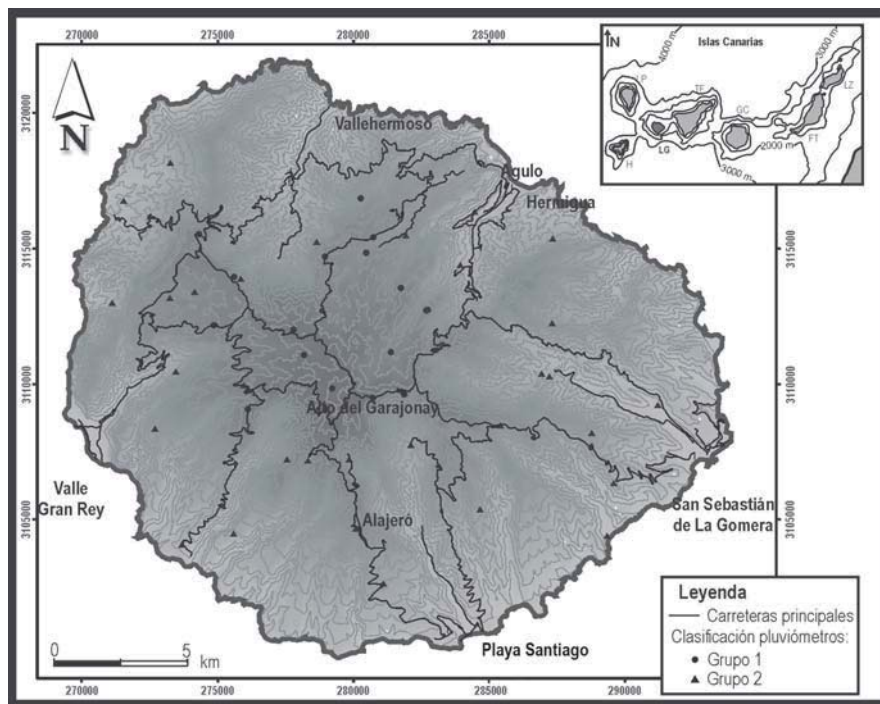


Fig. 1.- Mapa de localización de la isla de La Gomera en el que se representan los pluviómetros en grupos homogéneos de comportamiento de precipitación.

Fig. 1.- Location map of La Gomera island in which the rain gauges are represented in homogeneous groups based on rainfall behaviour.

hídrico. En los últimos años, diversos trabajos han explorado los posibles beneficios para la interpolación de datos climáticos del uso de variables geográficas relacionadas, como la altura o la orientación (p.ej., Goovaerts, 2000; Marquínez *et al.*, 2003; Lloyd, 2005; Izquierdo y Márquez, 2006). El uso de estas variables se está viendo facilitado gracias a la aparición de Modelos Digitales de Elevación de calidad gratuitos como el derivado de la misión SRTM (<http://srtm.usgs.gov>).

Por ello, dentro del marco de un proyecto en marcha para la elaboración de un modelo hidrogeológico de la isla de La Gomera, y como primer paso para la estimación de la recarga y sus incertidumbres, se ha realizado este estudio comparativo de métodos de interpolación de la precipitación, y el posible beneficio de la inclusión de datos de altitud en los cálculos.

Metodología

Para este estudio se han recopilado datos de precipitación mensual desde el año 1975 a 2005 de 66 estaciones meteorológicas pertenecientes a la red del Instituto Nacional de Meteorología. La ubicación de las estaciones se confirmó mediante la realización de una campaña de campo y la información aportada por el Parque Nacional de Garajonay (Fig. 1).

Para los años 1975-1979 solamente 17 estaciones contaban con datos. Sin embargo, a partir de 1980 la densidad de pluviómetros aumenta por lo que se decidió comenzar la serie temporal en 1980. Además, la estación 329U-Hermigua sólo funcionó hasta 1980 por lo que no se utilizó en este estudio. Por ello, finalmente, se han utilizado datos de 65 pluviómetros convencionales de la isla para la serie temporal 1980 – 2005.

Para completar las series temporales, las estaciones se clasificaron en grupos en los que se maximizara la semejanza entre estaciones de un mismo grupo y se minimizara entre estaciones de diferentes grupos mediante una clasificación k-means de 2 grupos y 50 iteraciones. Esta agrupación coincidió con lo esperado a priori teniendo en cuenta la situación geográfica de las estaciones (Fig. 1) mientras que pruebas de clasificaciones en 3 y 4 grupos no resultaban coherentes ya que sólo generaban grupos pequeños adicionales y

sin una distribución espacial aparentemente lógica.

Los huecos en las series temporales de cada estación se completaron mediante la ecuación [1] en la que para completar un dato (P_x) se tiene en cuenta los datos de ese mes de las estaciones del mismo grupo y el coeficiente de correlación de Pearson (r^2) de las series temporales de éstas con la de la estación a completar.

$$[1] \quad P_x = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot r_i^2)}{\sum_{i=1}^n r_i^2}$$

Una vez completadas las series temporales de datos se utilizaron las medias mensuales de los 26 años para la generación de los mapas de precipitación en el paquete geoR del software de libre distribución R (Ihaka y Gentleman, 1996) y el Modelo Digital de Elevación SRTM con un píxel remuestreado de 1000 m como malla de los modelos. En este estudio, se utilizaron dos metodologías diferentes con el fin de comparar los resultados de cada una de ellas con los datos reales de los pluviómetros y obtener así la mejor aproximación de la precipitación en la zona.

Tanto para el kriging ordinario (OK) como para el kriging con tendencia externa (KED), se ajustaron los parámetros de un modelo esférico a los datos mensuales a interpolar. La ventaja teórica de la interpolación mediante kriging es precisamente la posibilidad de modelar la dependencia espacial de los datos (Lloyd, 2005) por lo que aporta mejores resultados que los métodos puramente espaciales en la interpolación de la precipitación (Goovaerts, 2000; Lloyd, 2005). Además, en el KED se incluye como tendencia externa la relación espacial de los datos con la altitud. Para ello se utilizó el Modelo Digital de Elevación SRTM remuestreado el píxel de 90 m a 1000 m.

Para una correcta evaluación de los diferentes métodos no basta con un análisis visual de los mapas resultantes por lo que se realizó una validación cruzada de ambos modelos. Para ello, se eliminan los datos de cada uno de los pluviómetros del modelo cada vez y se

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
P media	43,5	79,0	91,7	64,5	48,7	51,6	24,9	9,2	5,1	2,8	2,7	8,7
RMSE ok	17,0	26,9	19,1	15,4	18,6	15,5	8,7	5,9	4,5	3,4	3,5	5,2
RMSE ked	11,8	14,9	16,4	13,6	13,3	12,8	7,5	4,3	3,8	3,1	3,2	4,1

Tabla I.- Precipitación media para la serie temporal 1980 – 2005 y RMSE para el OK y el KED en cada uno de los meses (valores en mm).

Table I.- Mean rainfall (1980 – 2005 time series) and RMSE for OK and KED models for each month (values are in mm).

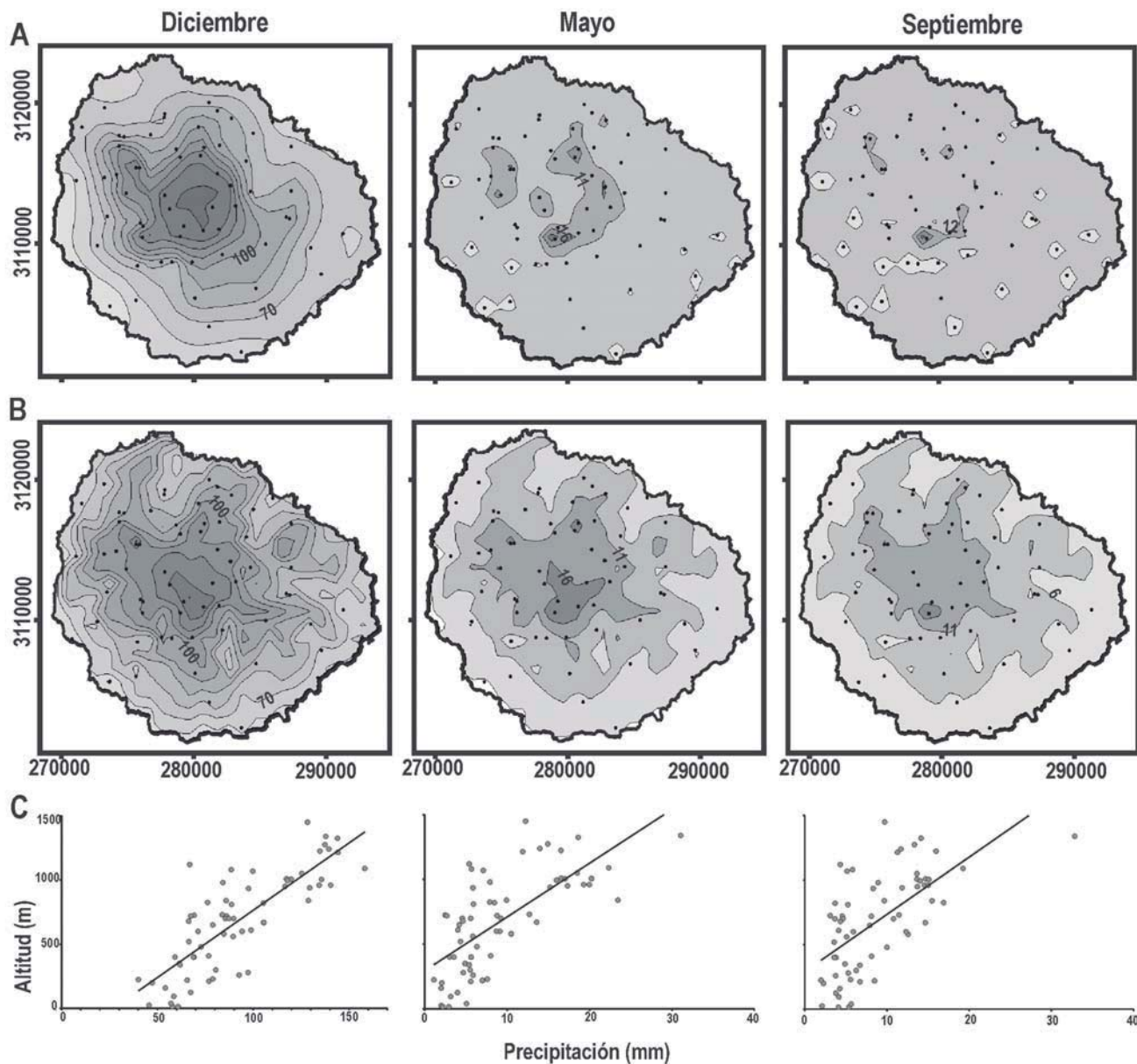


Fig. 2.- A) Precipitación media calculada utilizando OK; B) Precipitación media calculada utilizando KED; C) Correlación de los valores reales de precipitación con la altura. Todo ello para los meses de diciembre, mayo y septiembre.

Fig. 2.- A) Mean rainfall estimation using OK; B) Mean rainfall estimation using KED; C) Real rainfall values correlation with altitude. The three of them for December, May and September.

estima su valor. El valor estimado debe ser similar al valor real de forma que el error cometido por el modelo, es decir, la diferencia entre ambos, sea lo más bajo posible. A partir del error calculado para cada punto se calculó el RMSE (*Root Mean Squared Error*) como una medida de la precisión de la estimación realizada para cada mes.

$$[2] \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - P'_i|^2}$$

donde P_i es la precipitación medida en un punto dado y P'_i es la precipitación esti-

mada según el modelo para ese mismo punto

Resultados

A priori, los mapas resultantes (Fig. 2) muestran un aspecto más real en el caso del KED que en el del OK. Esto ocurre sobre todo, en los meses de verano en los que la precipitación media es considerablemente menor (Tabla I) y el OK destaca los valores puntuales de los pluviómetros (Septiembre - Fig. 2). Para el caso de los meses más lluviosos (Diciembre - Figura 2) el análisis visual de los mapas es más complicado ya que de-

bido a las características climáticas y orográficas de la isla en su conjunto, la precipitación interpolada con el OK ya sigue una tendencia espacial similar a la del KED aunque este último matiza más las diferencias debidas al relieve local.

Para evaluar las predicciones de los dos métodos se calculó el RMSE (Tabla I) para cada uno de los meses como una medida de la magnitud del error (Lloyd, 2005). Para todos los meses, el RMSE cometido por el KED es menor que el del OK por lo que la introducción de la altura como una tendencia externa de la interpolación espacial en este caso mejora los resultados del modelo. Es im-

portante destacar que para los meses de julio y agosto en los que la precipitación media es menor de 3 mm los RMSE calculados para ambos modelos son mayores que la precipitación media mensual por lo que los modelos no ajustan muy bien la realidad de esos meses. En el resto de meses, el RMSE es igual o menor al 50% de la precipitación media mensual disminuyendo el error en los meses de mayor precipitación, siendo, por ejemplo, el RMSE del KED 4,32 mm para mayo donde la precipitación media es de 9,2 mm mientras que para diciembre el RMSE del KED es 16,42 mm y la precipitación media 91,7 mm.

Discusión y conclusiones

Los resultados obtenidos indican que el uso de los datos de altitud en la elaboración de mapas de precipitación en la isla de La Gomera produce mejores resultados que los métodos en los que no se tiene en cuenta ninguna tendencia externa en la interpolación espacial de los datos.

En los últimos años, diversos autores (Goovaerts, 2000; Lloyd, 2005) han mostrado la utilidad de métodos geoestadísticos complejos en la interpolación de datos de precipitación, utilizando la correlación entre precipitación y altitud como una variable externa en la interpolación por kriging universal. Sin embargo, este método no está implementado en los programas más comunes de análisis e interpolación de datos espaciales (Surfer, ArcGIS), y sólo aporta errores más bajos que el kriging

ordinario cuando las correlaciones entre precipitación y altitud son buenas (Lloyd, 2005). En este caso, los resultados muestran que en la isla de La Gomera la correlación entre la precipitación y la altura es buena (Fig. 2). Esto no siempre sucede, por ejemplo, en Tenerife (Izquierdo y Márquez, 2006) la complejidad climática de la isla debida a que la inversión del alisio se encuentra a media altura de altitud total hace que la precipitación no tenga una relación directa con la altura y que por tanto, su modelización sea más precisa sin tener en cuenta la tendencia de la altura. Por tanto, no es una relación a dar por supuesta sino que su posible beneficio en la interpolación de la precipitación debe ser evaluado en cada zona a estudiar.

A pesar de los buenos resultados obtenidos, existen meses en los que las precipitaciones son tan bajas que los modelos no se ajustan bien a los datos y se obtienen errores mayores a las precipitaciones medias mensuales (meses de verano). Esto se puede explicar debido al carácter esporádico y local que tienen los episodios de precipitación durante el verano en Canarias, lo que hace difícil ajustar un modelo espacial a los datos medidos en los pluviómetros.

En resumen, los resultados de este trabajo indican que la introducción de la altitud en la elaboración de mapas de precipitación de la isla de La Gomera aporta beneficios respecto al kriging ordinario (OK). Por tanto, para realizar los mapas de precipitación mensual de la isla de La Gomera se aplicará el método de KED para la serie de datos completada de los años 1980 - 2005 de los 65 pluviómetros seleccionados.

Agradecimientos

Deseamos agradecer al Instituto Nacional de Meteorología los datos de las estaciones meteorológicas; al Parque Nacional de Garajonay (y en especial a su Director-Conservador, Ángel Fernández) por la ayuda en la localización de los pluviómetros; a Raquel Montes (URJC) por su ayuda con la parte metodológica del trabajo y a Raquel Herrera (URJC) por sus comentarios sobre el trabajo.

Referencias

- Avance del Plan Hidrológico Insular de La Gomera (1996). *Consejo Insular de Aguas de La Gomera*. 216 pp.
- Gómez, L. A. y Fernández, A. B. (2003). En: *II Congreso Español de Biogeografía*, 233-246.
- Goovaerts, P. (2000). *Journal of Hydrology*, 228, 113-129.
- IGME (1985). *Estudio hidrogeológico de la isla de La Gomera*. 170 pp.
- Ihaka, R. y Gentleman, R. (1996). *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5, 299-314.
- ITGE (1991). *Actualización del inventario de nacientes de la isla de La Gomera. Tomo I y Tomo II*.
- Izquierdo, T. y Márquez, A. (2006). *Geogaceta*, 40, 307-310.
- Lloyd, C.D. (2005). *Journal of Hydrology*, 308, 128-150.
- Marquínez, J., Lastra, J. y García, P. (2003). *Journal of Hydrology*, 270, 1-11.
- Plan Hidrológico Insular de La Gomera* (2002). Decreto 101/2002, 26 de julio. BOC.