

## UN MODELO ESTADISTICO PARA LA ESTIMACION CUANTITATIVA DE LA PRECIPITACION EN LA PROVINCIA DE MADRID

A. Egido, M. Egido y J. Garmendia  
Departamento de Física General y de la Atmósfera.  
Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca

### Resumen

Utilizando cuatro variables geoclimáticas, características de los veinticuatro observatorios considerados de la provincia de Madrid, y aplicando un modelo estadístico de regresión múltiple, se ha obtenido una ecuación de estimación cuantitativa de la precipitación.

El coeficiente de correlación encontrado entre la precipitación y los cuatro factores geoclimáticos, ha sido de 0,96, valor que queda reflejado en el gran parecido que presentan los mapas pluviométricos trazados.

### Introducción

La lluvia, es indudablemente, el elemento climatológico más popular, el que más interesa y el que más preocupa, a veces por su escasez y otras por su exceso. Esto es lógico, pues de la lluvia depende nuestro suministro de agua, y por consiguiente nuestra vida, nuestros trabajos y nuestros placeres. Una deficiencia en la lluvia caída puede tener efectos desastrosos, como asimismo pueden tenerlos las inundaciones provocadas por las lluvias excesivas.

Por la importancia que tiene la precipitación y su previsión en el desarrollo de nuestra vida, efectuamos en este trabajo, un estudio de la distribución de la precipitación en la provincia de Madrid, así como una estimación cuantitativa de la misma, cuya valoración y resultados quedan

reflejados en el trazado de isoyetas que presentamos en la parte final del trabajo.

Es de todos sabido que los factores geográficos condicionan el clima de cualquier lugar o región. Así, encontramos aumentos significativos de la precipitación con la altura. Los regímenes pluviométricos varían sensiblemente con la latitud, ya que están íntimamente relacionados con los regímenes termométricos, en los cuales la latitud es factor esencial. Y finalmente, el factor continentalidad influye de manera notable en la distribución de las precipitaciones; en el interior de los continentes siempre disminuye la precipitación.

Por tanto, teniendo en cuenta estos factores geográficos como determinantes del clima de la provincia de Madrid, hemos seleccionado cuatro variables geometeorológicas como: la altitud, la forma o aspecto de la superficie de un entorno próximo (laplaciana de la altitud para 4 km), la latitud y la longitud que son las responsables de la distribución de la precipitación en dicha provincia.

Nos encontramos, pues, ante un planteamiento estadístico de relaciones múltiples cuadráticas. A. Egido y F. de Pablo (1985, 1986); M. I. Garmendia (1987) y A. Egido y col. (1989) han abordado el estudio de la distribución de la precipitación en la cuenca del Duero, vertiente norte de la Península Ibérica y cuenca del Tajo, respectivamente, mediante un análisis de regresión múltiple no-lineal entre la precipitación y varios parámetros geoclimáticos. Nosotros, en este estudio, seguiremos una metodología similar.

## Descripción geográfica, climatológica y sinóptica

### *Geografía*

La provincia de Madrid se halla situada aproximadamente en el centro de la Península Ibérica, en la submeseta meridional, al sur del Sistema Montañoso Central, entre los 39° 52' y 41° 8' de latitud Norte y los 0° 35' longitud Este y 0° 50' longitud Oeste del meridiano de Madrid.

Limita al Norte con las provincias de Segovia y Guadalajara, al Este con esta última y la de Cuenca, al Sur con la de Toledo y al Oeste con Avila y Segovia.

La altitud media de la provincia varía entre los 2.430 m localizados en el pico de Peñalara, al noroeste de la provincia, y los 476 m registrados al suroeste de la misma, en el límite con la provincia de Toledo.

La orografía más acusada y también la más importante se encuentra al norte y oeste de la provincia, con la gran cordillera de los Montes Carpetanos, que arrancando del puerto de Somosierra, con más de 1.600 m de altitud, sigue por el puerto de Lozoya, el de Navacerrada, entre los 2.000 y 2.200 m, y finalmente el de Guadarrama.

El resto de la provincia constituye una meseta de altitud media de poco más de 600 m, con algunas irregularidades originadas por algunos cerros aislados.

### *Climatología*

La climatología se diversifica según las regiones que en ella existen, siendo diferente la correspondiente a la zona montañosa (Norte, zona de sierra) de la que se observa en la parte llana (Centro y Sur).

Así, las precipitaciones medias más bajas se registran en las estaciones de Getafe y Torrejón de Ardoz con 380 mm aproximadamente y las más

altas, en la zona montañosa, concretamente en la estación de Rascafría con 800 mm, lugar donde se hace muy patente el efecto orográfico sobre las masas nubosas asociadas a vientos del suroeste.

La precipitación en Madrid es baja, alrededor de 400 mm de promedio anual.

En cuanto a la temperatura, la media anual varía entre los 14,6° en la zona Centro de la provincia y los 6,2° de la Noroeste (Navacerrada).

### *Estudio sinóptico*

Existen tres situaciones sinópticas que provocan lluvia en la provincia de Madrid, aunque dos de ellas son las que contribuyen con un porcentaje mayor, estas son:

- Borrascas atlánticas que cruzan entre 50 y 40° Norte, están asociadas a vientos fríos y húmedos del Noroeste y suponen una frecuencia anual del 30 %. Son características de las estaciones de otoño; invierno y primavera.
- Borrascas atlánticas de aire subtropical, entre 40° y 30° Norte, van asociadas a vientos templados y húmedos del Suroeste, generan lluvia en la ladera sur y su frecuencia anual es inferior a la anterior (7 %); son propias de las estaciones de otoño e invierno.
- Por último, un tipo de situación que supone solamente el 4 % de frecuencia anual y que es debido al aire frío embolsado en altos niveles de la atmósfera, da lugar a una gran inestabilidad con aguaceros de carácter tormentoso. Es propio de las estaciones de primavera, verano y otoño.

## Material y método

Hemos tomado de los Resúmenes Mensuales de Precipitación del Banco de Datos del Instituto Nacional de Meteorología, los datos pluviométricos medios mensuales ( $R$ ) para un período de dieciséis años ininterrumpidos (1970-85) correspondientes a veinticuatro estaciones me-

teorológicas, cuya situación queda reflejada en las figuras 2 y 3. Igualmente, hemos anotados los valores de altitud ( $b$ ) para cada uno de los observatorios considerados.

Para conocer el método de obtención de los valores de la laplaciana de la altitud ( $\Delta b$ ), nos remitimos al trabajo (A. Egido y col., 1985).

Hemos tomado como valor de la latitud ( $N$ ), la distancia existente entre cada observatorio y el paralelo de referencia ( $43^{\circ} 50' N$ ).

Las distancias entre cada estación y un meridiano patrón ( $10^{\circ} W$ ), nos conducen a la determinación de la longitud oeste ( $W$ ).

El método de cálculo utilizado ha sido un análisis estadístico de regresión múltiple cuadrática (BMDP 2R), entre la precipitación y los cuatro factores geometeorológicos mencionados anteriormente ( $b$ ,  $\Delta b$ ,  $N$  y  $W$ ).

### Resultados y discusión

La tabla 1, que se muestra a continuación, recoge los coeficientes de correlación existentes entre la precipitación y las cuatro variables independientes.

	$R$	$b$	$\Delta b$	$W$	$N$
$R$	1.000				
$b$	0,871	1.000			
$\Delta b$	0,277	-0,039	1.000		
$W$	-0,337	-0,025	-0,426	1.000	
$N$	-0,615	-0,710	-0,212	-0,039	1.000

De esta matriz se deduce que los valores más altos con la precipitación corresponden a los parámetros altitud y latitud. Es debido a la existencia de una orografía diversa con altitudes que oscilan entre aproximadamente 500 m, localizados al sur de la provincia y 1.163 m en la zona montañosa, al noroeste de la misma.

Es un hecho ya demostrado que al alejarnos de las costas y adentrarnos en el interior la altitud de los lugares aumenta, esto queda reflejado

en el alto coeficiente obtenido entre la altitud y la latitud ( $b/N \rightarrow r = -0,71$ ).

La ecuación de estimación de la precipitación, en función de los cuatro parámetros aludidos y obtenida mediante el análisis estadístico, es la siguiente:

$$R = 844,13 + 2,11 \Delta b - 1,52 W + 1,66 N + 0,446 \times 10^{-3} b^2 - 3,90 \times 10^{-2} \Delta b^2 \quad (1)$$

$$r = 0,956$$

$F$  de Snedecor = 37,75, significativa para el 99,5 %.

El conjunto de las cinco variables que entran a formar parte de la ecuación de predicción explican el 91,29 % de la variación total, correspondiéndole el mayor porcentaje al cuadrado de la altitud (77,75 %), seguida de la longitud (7,35 %), el resto de los parámetros explican porcentajes muy bajos.

Vamos a enumerar a continuación algunas de las consecuencias que se derivan de la ecuación (1).

Si tomamos como referencia el valor medio de la altitud ( $\bar{b} = 768,63$  m) y realizamos los cálculos para las cotas de 700 y 800 m, encontramos un aumento de la precipitación de 66,9 mm por cada 100 m de elevación.

La laplaciana de la altitud o curvatura de la superficie del contorno aumenta la lluvia recogida en 2,15 mm por  $m/km^2$  de curvatura. Este aumento es variable, puesto que tiene un máximo para un valor de la curvatura positiva a partir de la cual disminuye el efecto de la curvatura sobre la lluvia recogida. Este valor máximo se obtiene igualando a cero la variación de la precipitación con el parámetro laplaciano ( $\partial R / \partial \Delta b = 0$ ). Es decir, para valores de curvatura inferiores a  $27 m/km^2$  la precipitación aumenta. Esto ocurre en todos los observatorios de la provincia de Madrid, excepto en dos: Presa de San Juan y Rascafría. Este hecho queda ilustrado en la figura 1.

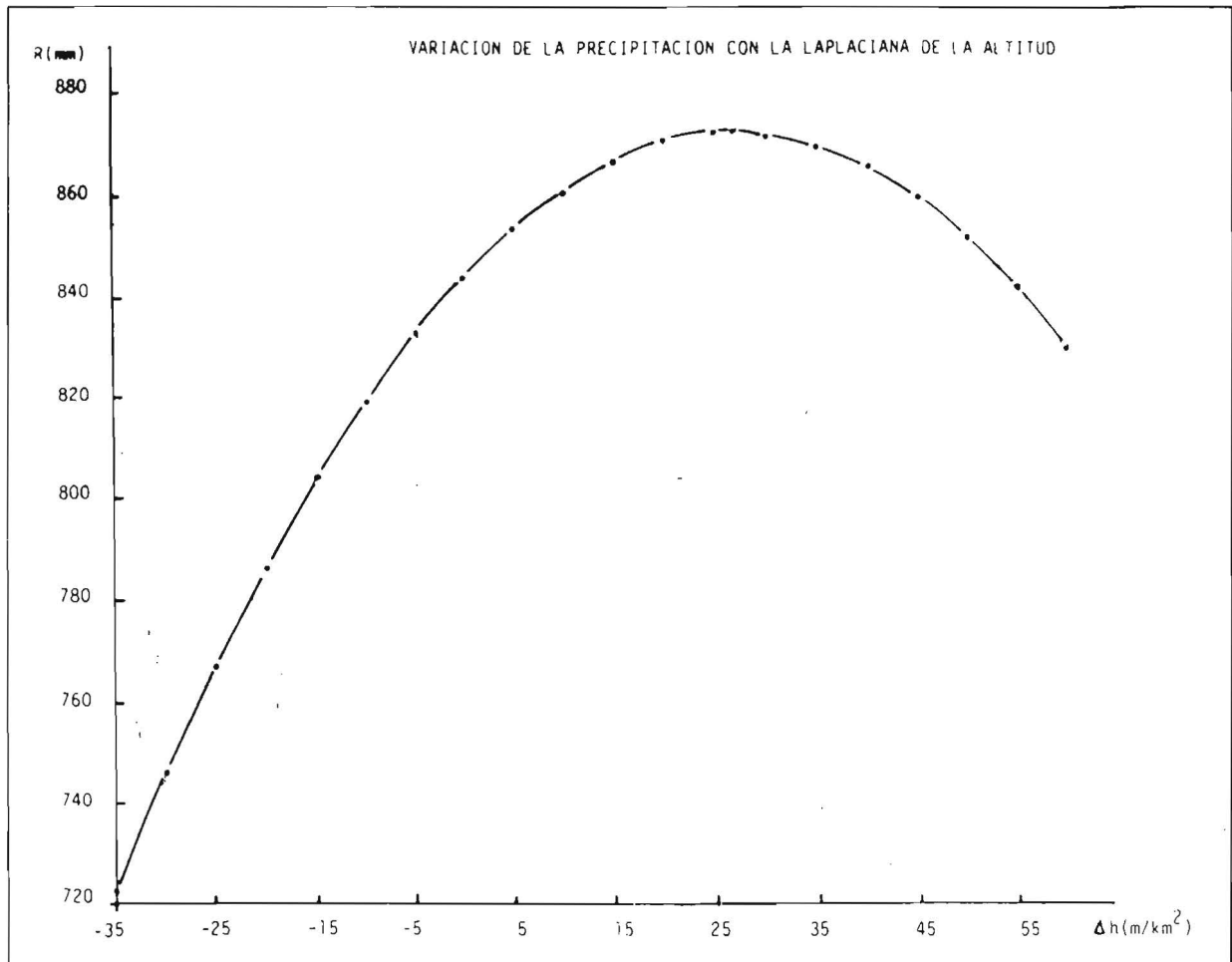


Figura 1.—Variación de la precipitación con la laplaciana de la altitud

Si no influyesen otros factores, por 2 km aproximadamente que nos alejásemos del meridiano patrón, el promedio de descenso observado de la precipitación sería de 1,52 mm.

Analizando por último el factor latitud, observamos que la precipitación aumenta a alejarnos del paralelo 43° 50' N, 1,66 mm por minuto de arco ( $\approx 1,85$  km). Pero el efecto de latitud sobre la precipitación, como ya es sabido y corroborado mediante el signo negativo del coeficiente de correlación obtenido entre ambas variables ( $r = -0,615$ ) (tabla 1), es contrario al deducido, es decir, a medida que nos alejamos del paralelo de referencia, la precipitación debe disminuir. Este hecho puede ser debido al ajuste estadístico aplicado.

En el apéndice figuran los valores de precipitación real y calculados, así como los residuales

(diferencia entre ambos) y todos los factores geoclimáticos mencionados. Puede observarse que ninguno de los observatorios difiere en más del 15 % de la precipitación real.

Finalmente, se muestran en las figuras 2 y 3 los mapas de isoyetas de la provincia de Madrid, correspondientes a las precipitaciones registradas y a las calculadas por nosotros mediante la ecuación propuesta (1).

Estos mapas pluviométricos que reflejan en gran medida el orográfico —así, las isoyetas más bajas quedan situadas al sur de la provincia y las más altas al noroeste de la misma, donde se encuentra la zona de la sierra con las mayores elevaciones— son muy semejantes, sus únicas diferencias se refieren principalmente a las isoyetas de 400 y 500 mm, que resultan de menor cobertura en el mapa 3.

### MAPA PLUVIOMETRICO DE LA PROVINCIA DE MADRID

Escala 1 : 500.000

Isoyetas reales

Periodo: 1970-85

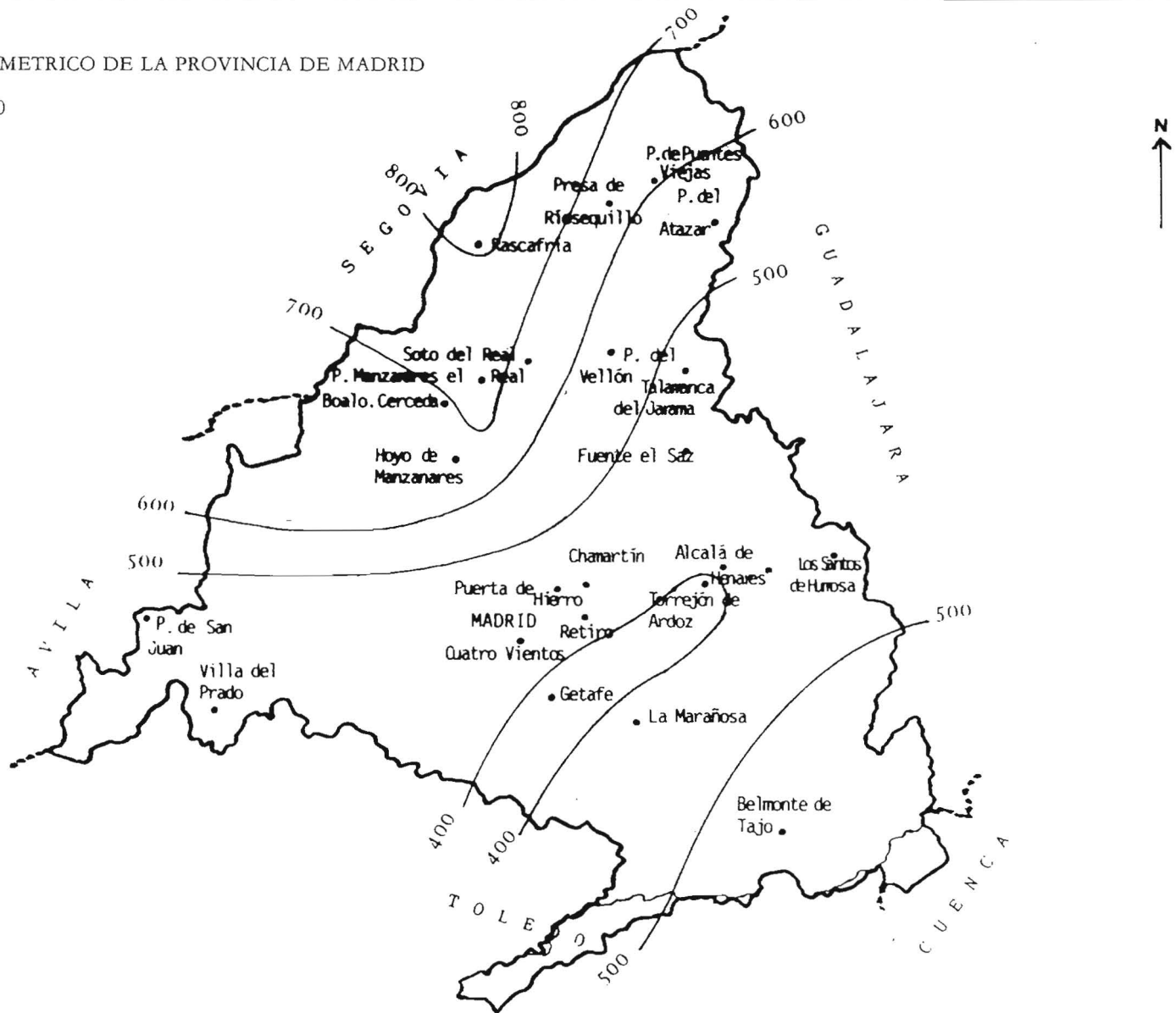


Figura 2

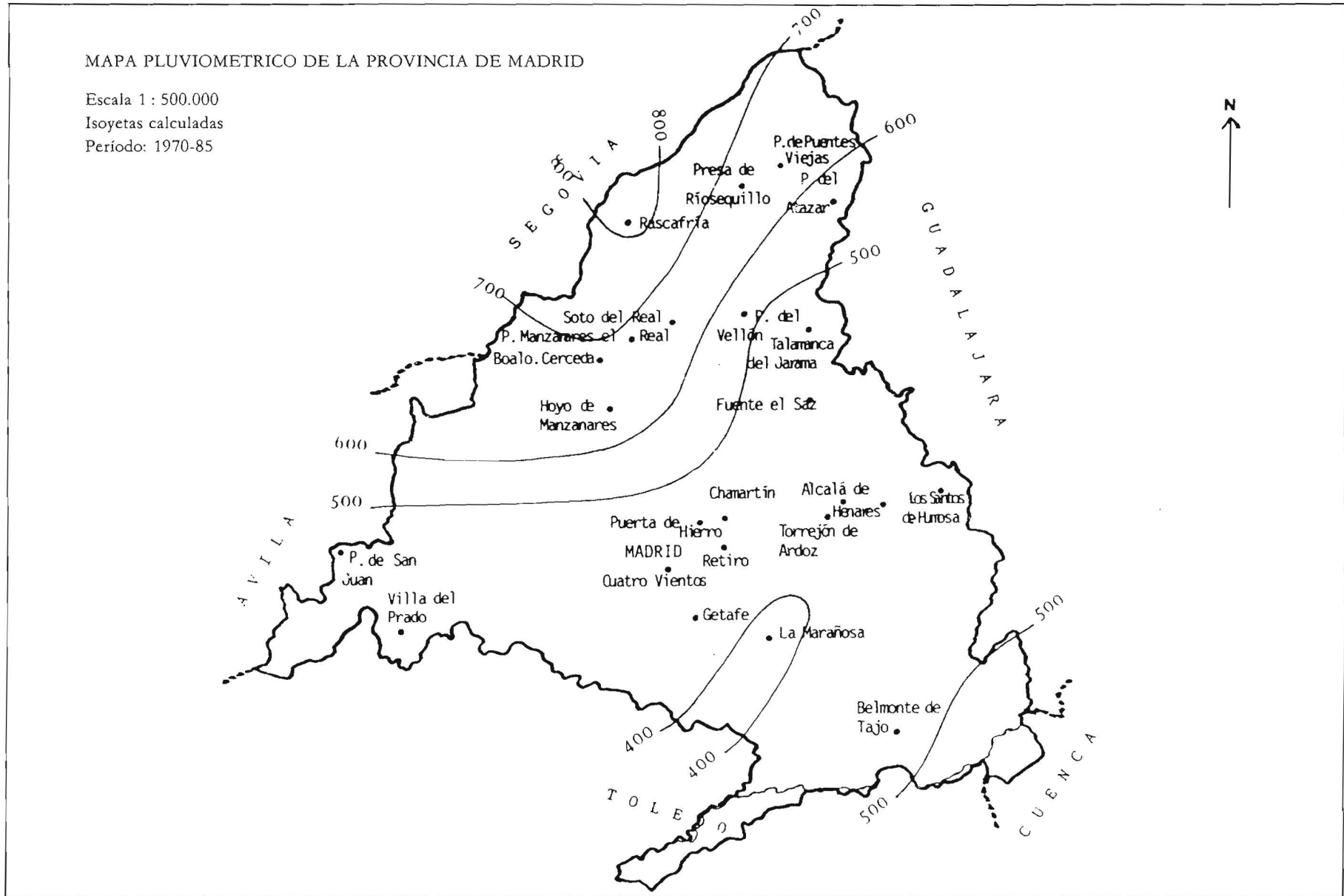


Figura 3

A la vista de lo anterior, se deduce la gran importancia que tienen los cuatro factores geometeorológicos elegidos para la estimación y distribución de la precipitación en la provincia de Madrid. Todo ello concuerda con trabajos efectuados con anterioridad, realizados para zonas más extensas y con obtención de resultados semejantes.

### Bibliografía

- DE PABLO, F.; EGIDO, A.; SECO, J., y GARMENDIA, J. (1986): «Nuevas consideraciones y mejoras en la aplicación de la distribución de precipitación en la cuenca del río Duero», *Rev. de Meteorología*, A.M.E., junio, pp. 31-48.
- EGIDO, A.; DE PABLO, F.; EGIDO, M., y GARMENDIA, J. (1985): «La precipitación en la cuenca del Duero, como función de los factores geográficos y topográficos», *Rev. de Geofísica*, 41, pp. 183-190.
- ; EGIDO, M, y GARMENDIA, J. (1986): «Estimación de la precipitación en la cuenca del Duero en función de factores geometeorológicos generales», *Rev. de Meteorología*, A.M.E., diciembre, pp. 59-62.
- ; EGIDO, M., y GARMENDIA, J. (1989): «Utilización de parámetros geográficos y meteorológicos en el cálculo de la precipitación en la cuenca del Tajo», *Rev. de Geofísica*. (En prensa.)
- GARCIA DE PEDRAZA, L.; ELÍAS CASTILLO, F., y RUIZ BELTRÁN, L. (1978): «Estudio agroclimático y sinóptico de la provincia de Madrid», *Avances sobre la investigación en bioclimatología*. Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca, pp. 53-71.
- GARMENDIA, M. I.; PÉREZ, C.; RODRÍGUEZ, C, y GARMENDIA, J. (1987): «Estimación cuantitativa de las precipitaciones anuales en la vertiente norte de la Península Ibérica», *Rev. de Geofísica*, 43, pp. 93-104.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (1958): «Climatología (Provincia de Madrid)», *I.N.E. Reseña estadística de la provincia de Madrid*, Madrid.
- ROLDÁN FERNÁNDEZ, A. (1985): «Notas para una climatología de Madrid», I.N.M. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones, Madrid.

### Apéndice. Variables

N.º	Estación	Calculado	Residuo	R	b	$\Delta b$	$\mathcal{W}$	N
1	Alcalá de Henares, C. Extr.....	414,6	-1,4	413,2	610	15,19	623	199
2	Alcalá de Henares, «La Cana».....	416,4	11,6	428,0	613	13,44	622	200
3	Belmonte de Tajo.....	469,4	76,4	546,1	732	4,81	621	222
4	Boalo, «Cerceda-El Chaparral».....	674,7	-9,2	665,5	950	9,69	586	189
5	Fuente el Saz.....	440,3	-20,8	419,5	645	2,69	610	192
6	Getafe.....	444,7	-52,9	391,8	617	0,56	598	212
7	Hoyo de Manzanares, F. Mat.....	689,9	6,0	695,9	1.100	-33,56	588	192
8	Madrid, Cuatro Vientos.....	480,8	-32,3	448,5	687	-2,69	594	208
9	Madrid, Chamartín.....	479,0	-38,0	441,0	720	-7,50	600	203
10	Madrid, Puerta de Hierro.....	453,7	-9,5	444,2	630	2,50	598	203
11	Madrid, Retiro.....	456,0	-16,7	439,3	667	-5,00	600	206
12	Marañosa (La), F. Sta. Bárbara.....	394,0	62,3	456,3	640	-20,81	607	214
13	Presa del Atazar.....	587,4	-54,0	533,4	960	-16,88	613	176
14	Presa de Manzanares el Real.....	625,4	86,7	712,1	908	3,44	593	188
15	Presa de Puentes Viejas.....	644,7	-43,1	601,6	960	9,06	607	171
16	Presa de Riosequillo.....	691,5	4,2	695,7	1.000	20,19	602	171
17	Presa de San Juan.....	481,8	10,1	491,9	540	48,31	563	208
18	Presa del Vellón.....	500,2	39,6	539,8	715	10,94	602	185
19	Rascafría.....	819,6	-17,9	802,6	1.163	61,44	588	176
20	Santos de la Humosa (Los).....	465,3	11,4	476,7	881	-32,44	625	200
21	Soto del Real.....	642,8	34,9	677,7	921	14,50	595	185
22	Talamanca del Jarama.....	457,8	-13,1	444,7	654	14,63	610	186
23	Torrejón de Ardoz.....	416,8	-40,4	376,4	611	2,38	614	201
24	Villa del Prado, C. Picadas.....	478,3	4,9	483,2	523	21,44	567	211

Nota. Unidades de las variables R (mm), b (m),  $\Delta b$  (m/km<sup>3</sup>),  $\mathcal{W}$  y N (minutos de arco), 1 minuto de arco  $\cong$  1,85 km.