

ha cedido su lugar a lo incomprensible. Y cuando, al final, Eugenie recita esos versos de una cancioncilla popular («Denk'es o Seele»...) que miden la existencia humana desde la medida de la muerte, parece resonar en nuestro interior toda la «Novelle» en un tono elegíacamente sereno. En el lírico modo menor de este final no debemos ver un mero contraste a la «Stimmung» del exceso festivo: este tono oscuro que da fin al relato constituye, en realidad, la voz que subyace a lo largo de todo él. El precio que debe pagarse por el más sublime júbilo en la tierra, por el regalo de una hora divina, por la armonía entre música, alma e intelecto, tiene sólo un nombre: la muerte. Presente incluso en la fiesta de la alta sociedad, es ella la compañera de juego, la condición y el límite de lo bello..., pero también el genio mismo de la música mozartiana, la adversaria de todo refinamiento social, la enviada del destino inexorable y la cumbre de todo placer. La «Heiterkeit» de la sociedad rococó no supone, por tanto, una felicidad plena: el auténtico placer sólo está presente en lo sublime, donde surge de la misma oscura divinidad que continuamente acompaña al genio: la divinidad de la Muerte, la enemiga de los hombres. Por eso el maestro Mozart estará siempre, a pesar de todo, condenado al terrible aislamiento de la incomprensión...

TERESA ROCHA BARCO

El análisis de regresión aplicado al cálculo de precipitaciones en las áreas montañosas de Extremadura

El estudio del clima de una determinada zona plantea siempre numerosos problemas al investigador, máxime si se trata de zonas montañosas, con las características que les son inherentes, como el relieve accidentado, la altura, el aislamiento, etc.

Esta serie de peculiaridades implican la existencia de notorias diferencias entre los territorios de montaña y las llanuras, así como con las depresiones. Esto sucede en nuestra Comunidad Autónoma debido a que, como señaló Eduardo Martínez de Pisón, *las montañas son un ámbito diferenciado, un mundo en un mundo*¹. Pero, a la vez, poseen ciertas similitudes entre ellas que permiten definirlas como un conjunto relativamente homogéneo.

Estas semejanzas entre las distintas zonas de montaña se refieren a un incremento de la pluviometría, descenso térmico y otras modificaciones en las variables climáticas y físicas, en general, así como en ciertas variables socioeconómicas.

Sin embargo, las dificultades provocadas por la ausencia de observatorios meteorológicos en las zonas más altas y abruptas impiden cono-

1 J. A. Pascual et al. (1988), *Guía de las zonas de montaña de la Península Ibérica*, p. 9, Miraguano Ediciones, Madrid.

cer con exactitud los registros de las variables climáticas que las caracterizan.

Lógicamente, al carecer de observatorios, es muy difícil conocer de forma precisa, al menos, los valores térmicos e hídricos de estas zonas, por lo que resulta obvio que se debe buscar un método que intente aproximarse a los registros climáticos.

El verdadero objetivo, pues, de este artículo es intentar calcular el volumen de precipitaciones medias registradas en las zonas de montaña, ya que, según López Gómez, *la escasez de observatorios y casi total ausencia en las cumbres es un hecho manifiesto en casi todos los trabajos, de tal manera que en ciertos espacios, sobre todo en las zonas más altas, las conclusiones son puramente conjeturales*².

Esta falta de observatorios origina un pobre conocimiento del clima que poseen las zonas de montaña y, por consiguiente, un desconocimiento del volumen de precipitaciones medias que se producen.

Con el fin de solventar el grave problema de la falta de datos, debo recurrir a una serie de técnicas que intenten, aunque sea de forma aproximada, predecir unos valores desconocidos totalmente. Esto se consigue merced a la utilización del método inductivo, hecho que le confiere una validez científica, en contraposición con los métodos más tradicionales, mediante los que sólo se intuían dichos registros.

Naturalmente, para calcular las precipitaciones de las zonas de montaña en Extremadura he debido recurrir a una serie de técnicas basadas en métodos estadísticos, ya que se ha demostrado ampliamente su carácter científico con los estudios llevados a cabo, pues, como señala García Ramón, *en el mundo anglosajón se empezó a utilizar una metodología de la investigación rigurosamente científica, basada en unos conocimientos sólidos y amplios de estadística*³.

2 A. López Gómez (1981), 'El clima de montaña', p. 1, *Actas del VII Coloquio de Geografía*, t. 1, Pamplona.

3 M. D. García Ramón (1981), *Métodos y conceptos en Geografía Rural*, p. 81, Oikos-Tau, Barcelona.

Entre las técnicas principales que utilizo están la matriz de correlación y el análisis de regresión, con lo que es posible, una vez determinado el grado de interrelación que presentan las variables, deducir, con un margen de error aceptable y conocido, las precipitaciones medias mensuales y anuales que se registran en las zonas de montaña.

Este planteamiento requiere varios procesos anteriores, que permiten disminuir el error en los cálculos consistentes en una serie de depuraciones en la base de datos, a los que se llega tras el laborioso análisis a que he sometido las variables de la totalidad de observatorios con que cuenta Extremadura. Para ello he tomado como fuente principal a Forteza del Rey en dos de sus obras, *Caracterización agroclimática de la provincia de Badajoz* y *Caracterización agroclimática de la provincia de Cáceres*.

Ese análisis y las consiguientes depuraciones han ido eliminando de la base de datos todos los observatorios que tenían una altura inferior a los 500 metros⁴, en una primera fase; mientras que, en una segunda, he eliminado ciertos observatorios que, por características muy locales, presentaban unos valores muy extremos que originaban ciertas anomalías con las que era preciso acabar.

Así pues, de un total de 155 estaciones pluviométricas, en la primera depuración eliminé 102 que no estaban a la altura mínima requerida para ser considerada como zona de montaña, quedando un total de 53. De éstas, en la segunda depuración, 14 de ellas presentaban graves anomalías en sus registros, circunstancia por la que fueron suprimidas, con el fin de no incrementar los errores. Así quedaba configurada la base de datos con un total de 39 estaciones, con un comportamiento muy similar entre sí y diferente con el resto.

Las estaciones tomadas como muestra definitiva son las siguientes:

4 Se ha tomado el umbral de 500 metros para este análisis debido a que elevarlo supondría reducir considerablemente el número de observatorios, con lo que los cálculos quedarían mucho más desvirtuados.

- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| 1) BERLANGA | 21) MONTEMOLIN |
| 2) CABEZA LA VACA | 22) MONTERRUBIO DE LA SERENA |
| 3) FUENTES DE LEON | 23) PUERTO URRACO |
| 4) ZAFRA | 24) REINA |
| 5) ZARZACAPILLA | 25) SALVALEON |
| 6) CABEZA DEL BUEY | 26) SIRUELA |
| 7) CAPILLA | 27) TRASIERRA |
| 8) CASAS DE REINA | 28) VALVERDE DE LLERENA |
| 9) CASTUERA | 29) VILLAGARCIA DE LA TORRE |
| 10) FREGENAL DE LA SIERRA | 30) BARRADO |
| 11) FUENTE DE CANTOS | 31) GUADALUPE |
| 12) FUENTE DEL ARCO | 32) HERVAS |
| 13) GARLITOS | 33) PANTANO DE CIJARA |
| 14) GRANJA DERREHERMOSA | 34) VILLAMIEL |
| 15) HELECHAL | 35) ALDEANUEVA DEL CAMINO |
| 16) HORNACHOS | 36) ALIA |
| 17) LA CARDENCHOSA | 37) BERZOCANA |
| 18) LOS SANTOS DE MAIMONA | 38) PIORNAL |
| 19) LLERENA | 39) SAN MARTIN DE TREVEJO |
| 20) MALCOCINADO | |

En cada uno de estos observatorios se conocían los valores de la precipitación media mensual y anual, pero lógicamente también se incluyó en la base de datos información adicional sobre la altura y las coordenadas geográficas de los mismos. Con ello tenía a mi disposición un amplio campo de posibles variables dependientes e independientes.

La elección de esas tres variables geográficas se debió a que eran tres de los modificadores principales del clima, con la ventaja de que son muy fáciles de obtener por cualquiera que estuviese interesado en calcular, de forma aproximada siempre, las precipitaciones de estas zonas.

La utilización de sólo tres variables geográficas implica que dejamos de incluir otras muy importantes, pero que sin duda impediría su cálculo de una forma tan simple.

Se cumple así una exigencia básica, pues en palabras de Egido, *para comprender el clima de una determinada zona, y más concretamente las precipitaciones, definir sus características y explicar sus*

*variaciones, es necesario conocer cuáles son los factores geo-climáticos que la gobiernan y en qué medida lo hace cada uno*⁵.

Para determinar el grado de influencia de cada factor geográfico en el volumen de precipitaciones, tanto mensual como anual, he realizado la matriz de correlación correspondiente, cuya tabla aparece a continuación de forma muy simplificada.

CUADRO I
MATRIZ DE CORRELACION PARCIAL

	Latitud	Longitud	Altura
Latitud	1,000	—	—
Longitud	-0,110	1,000	—
Altura	0,324	0,184	1,000
Prec. anual	0,729	0,263	0,807
» enero	0,656	0,299	0,822
» febrero	0,707	0,188	0,726
» marzo	0,663	0,406	0,742
» abril	0,490	0,138	0,749
» mayo	0,761	0,205	0,626
» junio	0,746	0,088	0,524
» julio	0,298	0,041	0,450
» agosto	0,813	0,108	0,448
» septiembre	0,832	0,127	0,597
» octubre	0,604	0,189	0,883
» noviembre	0,692	0,307	0,771
» diciembre	0,622	0,265	0,781

De esta matriz de correlación, aunque no aparece completa, se deducen una serie de características muy significativas de todo el con-

5 A. Egido et al. (1989), 'Análisis de dos métodos estadísticos para el cálculo de la precipitación', p. 7, *Actas de las XVII Jornadas de la A.M.E. (Meteorología y Climatología Ibéricas)*, Garmendia Ediciones, Salamanca.

junto de observatorios, dada la importante correspondencia que se establece entre las variables geográficas consideradas y la precipitación media mensual y anual.

El importante grado de correlación que se alcanza entre algunas variables y, por tanto, la explicación de una en función de la otra, demuestra la existencia de intensas relaciones internas, que para ser mejor entendidas las expreso a continuación de forma porcentual.

CUADRO II
PORCENTAJE DE EXPLICACION DE VARIANZA

	Latitud %	Longitud %	Altura %
Prec. anual	53,22	6,93	65,16
» enero	43,07	8,94	67,63
» febrero	49,98	3,55	52,77
» marzo	43,93	16,50	55,13
» abril	24,00	1,90	56,09
» mayo	57,95	4,19	39,18
» junio	55,60	0,77	27,50
» julio	8,89	0,17	20,23
» agosto	66,02	1,16	20,11
» septiembre	69,16	1,61	35,62
» octubre	36,49	3,58	78,02
» noviembre	47,90	9,45	59,46
» diciembre	38,65	7,03	61,04

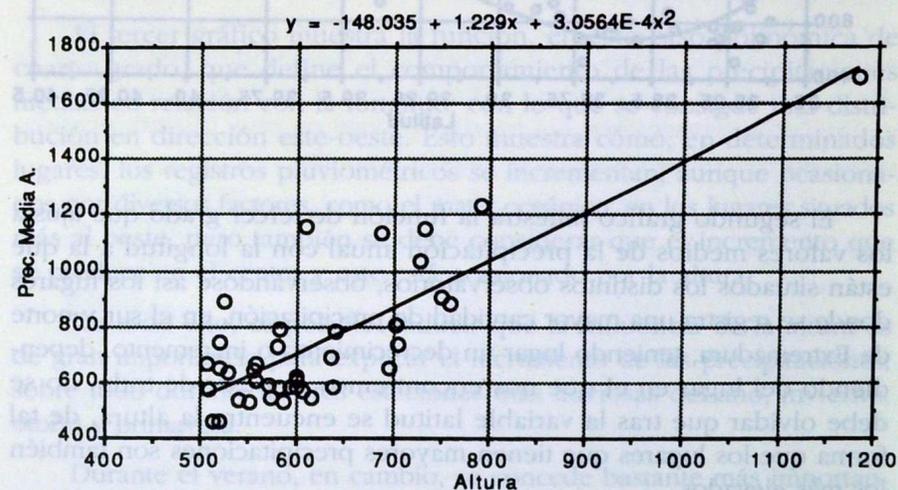
Una vez visto el cuadro precedente, no puede quedarnos ninguna duda de la importancia que poseen las variables geográficas a la hora de explicar la pluviometría y, en general, el clima de cualquier zona. Se alcanza un porcentaje de explicación superior al 65 % entre la altura y el volumen de precipitación anual; mientras entre la latitud y la precipitación anual, el porcentaje de explicación se sitúa en algo más del

53 %. Por el contrario, la explicación de las precipitaciones por la longitud no alcanza el 7 %.

Este elevado grado de correlación, más del 0,800, se traduce en una interesante relación entre la altura y las precipitaciones, originando un incremento de éstas en función de un ascenso altitudinal. Un fenómeno muy similar se produce con la latitud, aunque la longitud presenta muchos más problemas de explicación debido al grado de solapamiento que se establece entre las diversas variables.

Esta circunstancia se observa mejor en las siguientes gráficas obtenidas mediante una regresión polinómica de segundo o tercer grado, en las cuales quedan reflejadas las funciones que definen cada curva, expresando, por una parte, las variables geográficas principales (altura, latitud y longitud), y, por otra, el volumen medio anual de precipitaciones.

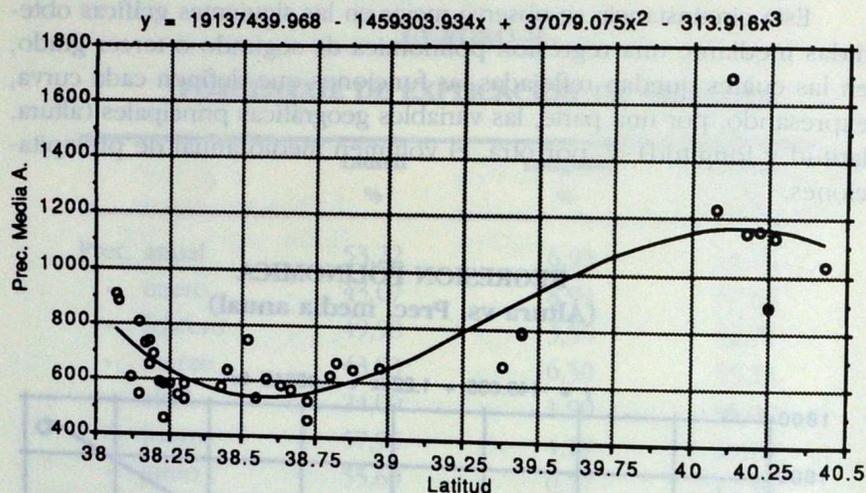
REGRESION POLINOMICA
(Altura vs. Prec. media anual)



La función que define a la curva del gráfico anterior muestra el conocido incremento de las precipitaciones relacionado con el ascenso

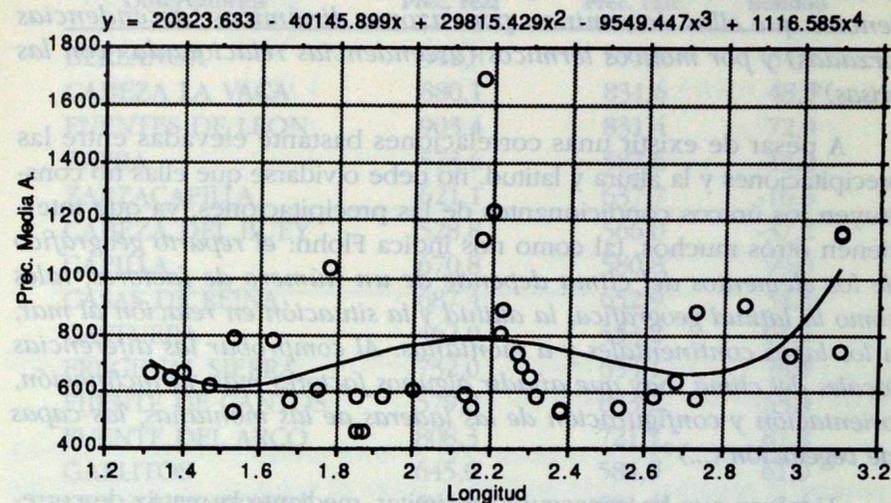
en altura. Obviamente, el ajuste no es perfecto entre los distintos observatorios y la función matemática que le corresponde, debido, por una parte, a que el grado polinómico de la misma es mínimo (segundo) y, por otra, sólo hace intervenir una variable: la altura.

REGRESION POLINOMICA (Latitud vs. Prec. media anual)



El segundo gráfico muestra la función de tercer grado que ajusta los valores medios de la precipitación anual con la longitud a la que están situados los distintos observatorios, observándose así los lugares donde se registra una mayor cantidad de precipitación, en el sur y norte de Extremadura, teniendo lugar un decrecimiento o incremento, dependiendo del lugar en el que nos encontremos. A pesar de todo, no se debe olvidar que tras la variable latitud se encuentra la altura, de tal forma que los lugares que tienen mayores precipitaciones son también los más elevados.

REGRESION POLINOMICA (Longitud vs. Prec. media anual)



El tercer gráfico muestra la función, en este caso polinómica de cuarto grado, que define el comportamiento de las precipitaciones medias en relación con la longitud, con lo que se consigue una distribución en dirección este-oeste. Esto muestra cómo, en determinados lugares, los registros pluviométricos se incrementan, aunque ocasionados por diversos factores, como el matiz oceánico, en los lugares situados más al oeste, pero también se debe considerar que el incremento que se produce en el centro y este está ocasionado por la altura.

De todo ello, es posible deducir que la influencia de la altura es de gran importancia para explicar el incremento de las precipitaciones, sobre todo durante las tres estaciones más lluviosas del año, invierno, otoño y primavera.

Durante el verano, en cambio, se concede bastante más importancia a la latitud, como consecuencia de un desplazamiento hacia el norte de los frentes que nos afectan. Por tanto, las lluvias se producirán siempre más al norte, con una mayor independencia de la altura a la que estén.

Por lo que respecta al incremento de precipitaciones con la altura, hay que decir que se corrobora totalmente la afirmación de Viers, cuando señalaba que *las montañas ejercen una «influencia tiránica» sobre la nubosidad (condensación) y las precipitaciones, debido a las ascensiones que ellas determinan por razones dinámicas (ascendencias forzadas) y por motivos térmicos (ascendencias relacionadas con las brisas)*⁶.

A pesar de existir unas correlaciones bastante elevadas entre las precipitaciones y la altura y latitud, no debe olvidarse que ellas no constituyen los únicos condicionantes de las precipitaciones, ya que interviene otros muchos, tal como nos indica Flohn: *el reparto geográfico de los elementos del clima depende de un número de factores, tales como la latitud geográfica, la altitud y la situación en relación al mar, a los lagos continentales y a montañas. Al comprobar las diferencias locales del clima, hay que añadir algunos factores más: la inclinación, orientación y configuración de las laderas de las montañas, las capas de vegetación (...)*⁷.

Una vez que he conseguido delimitar, mediante la matriz de correlación correspondiente, algunos de los principales factores geográficos que modifican de forma importante los registros pluviométricos, debo realizar el cálculo de las precipitaciones en función de esos factores: la altura, la latitud y la longitud. Esto se debe a que cada uno de ellos explica el incremento de las precipitaciones en muy distinta medida, como puede comprobarse en el cuadro segundo.

No obstante, no sería lógico dar unos valores de precipitación anual estimados sin proceder antes al cálculo de los mismos en los observatorios en los que están disponibles dichos datos, para de esa forma poder observar las anomalías que se producen, así como la magnitud de los errores. Así obtenemos el siguiente cuadro explicativo:

⁶ G. Viers (1975), *Climatología*, p. 265, Oikos-Tau, Barcelona.

⁷ H. Flohn (1968), *Clima y Tiempo*, p. 156, Ediciones Guadarrama, Madrid.

CUADRO III
CALCULO DE LA PREC. MEDIA ANUAL

Observatorios	Prec. real	Prec. calc.	Residuo
BERLANGA	542,8	577,5	-34,7
CABEZA LA VACA	880,1	831,6	48,5
FUENTES DE LEON	903,4	831,4	72,0
ZAFRA	573,6	587,6	-14,0
ZARZACAPILLA	621,1	637,7	-16,6
CABEZA DEL BUEY	528,8	566,0	-37,2
CAPILLA	670,8	580,8	90,0
CASAS DE REINA	687,4	652,9	34,5
CASTUERA	462,0	553,2	-91,2
FREGENAL SIERRA	732,0	653,1	78,9
FIJENTE DE CANTOS	579,8	633,2	-53,4
FUENTE DEL ARCO	808,3	721,1	87,2
GARLITOS	645,0	584,0	61,0
GRANJA TORREHER.	584,8	581,4	3,4
HELECHAL	564,6	641,7	-77,1
HORNACHOS	536,9	611,2	-74,3
LA CARDENCHOSA	461,4	472,7	-11,3
LOS SANTOS DE M.	638,7	612,0	26,7
LLERENA	586,9	666,6	-79,7
MALCOCINADO	604,8	565,9	38,9
MONTEMOLIN	549,1	645,5	-96,4
MONTERRUBIO S.	603,0	571,7	31,3
PUERTO URRACO	583,5	645,0	-61,5
REINA	740,0	734,6	5,4
SALVALEON	742,0	657,8	84,2
SIRUELA	652,7	557,8	94,9
TRASIERRA	651,6	726,6	-75,0
VALVERDE LL.	589,9	561,6	28,3
VILLAGARCIA T.	532,7	623,2	-90,5
BARRADO	1.234,7	1.191,2	43,5
GUADALUPE	783,7	825,8	-42,1
HERVAS	1.137,7	1.097,8	39,9
PANTANO CIJARA	667,6	613,9	53,7

Observatorios	Prec. real	Prec. calc.	Residuo
VILLAMIEL	1.151,5	1.235,9	-84,4
ALDEANUEVA C.	889,8	897,8	-8,0
ALIA	786,6	744,7	41,9
BERZOCANA	1.038,4	1.135,8	-97,4
PIORNAL	1.689,9	1.676,1	13,8
SAN MARTIN TREVEJO	1.158,1	1.091,5	66,6

Test Durbin-Watson: 2,4848.

De este cuadro se extraen varias conclusiones, si bien la principal es el margen de error estimado en los cálculos que llevaré a cabo.

Así pues, se puede deducir que el error medio probable (residuo), positivo o negativo, es de un 7,26 % sobre el volumen de precipitación estimado, cifra relativamente baja si se tiene en cuenta que sólo se han utilizado tres variables geográficas para su consecución, dejando de lado otras tan importantes como la exposición, la inclinación, etc..., que sin duda hubiesen permitido un ajuste mucho mayor en los cálculos.

El error medio se fija en $\pm 53,6$ mm/año, valor aceptable considerando la escasez de observatorios existentes; el volumen medio de precipitación real registrada, 738,4 milímetros anuales, y la utilización de sólo tres variables geográficas para su consecución.

Con todo ello, queda justificado plenamente que los cálculos que efectúe serán una aproximación a las precipitaciones reales, de unos lugares sobre los que no existe ningún tipo de registro anterior, si bien debe considerarse el margen de error existente. A pesar de todo, es necesario comprobar esto mismo en varios meses del año.

En este sentido, yo he estimado como modelos mensuales, para comprobar la validez del método, los meses de enero, mayo, agosto y octubre, uno por cada estación del año.

De esa forma he elaborado los siguientes cuadros:

CUADRO IV
CALCULO DE LA PRECIPITACION MEDIA DE ENERO

Observatorios	Prec. real	Prec. calc.	Residuo
BERLANGA	72,3	71,5	0,8
CABEZA LA VACA	125,4	112,8	12,6
FUENTES DE LEON	125,4	112,9	12,5
ZAFRA	69,8	74,2	- 2,6
ZARZACAPLLA	67,3	77,6	-10,3
CABEZA DEL BUEY	52,5	66,9	-14,4
CAPILLA	90,7	68,6	22,1
CASAS DE REINA	83,7	83,9	- 0,2
CASTUERA	54,0	65,0	-11,0
FREGENAL DE S.	109,8	84,3	25,5
FUENTE DE CANTOS	75,0	80,6	- 5,6
FUENTE DEL ARCO	97,4	94,9	2,5
GARLITOS	85,4	68,7	16,7
GRANJA TORREH.	75,8	71,9	3,9
HELECHAL	74,0	79,1	- 5,1
HORNACHOS	64,5	75,3	-10,8
LA CARDENCHOSA	48,0	55,3	- 7,3
LOS SANTOS DE M.	69,6	76,1	- 6,5
LLERENA	75,7	85,9	-10,2
MALCOCINADO	72,1	70,6	1,5
MONTEMOLIN	64,7	83,1	-18,4
MONTE RRUBIO S.	66,6	68,7	- 2,1
PUERTO URRACO	65,7	79,9	-14,2
REINA	80,8	96,8	-16,0
SALVALEON	102,3	83,0	19,3
SIRUELA	84,4	64,0	20,4
TRASIERRA	92,2	95,6	- 3,4
VALVERDE LL.	66,2	69,4	- 3,2
VILLAGARCIA T.	71,4	78,7	- 7,3
BARRADO	158,6	157,2	1,4
GUADALUPE	113,2	103,3	9,9
HERVAS	126,8	141,4	-14,6
PANTANO CIJARA	72,8	70,4	2,4

Observatorios	Prec. real	Prec. calc.	Residuo
VILLAMIEL	161,1	163,9	- 2,8
ALDEANUEVA C.	116,2	110,1	6,1
ALIA	109,9	90,6	19,3
BERZOCANA	127,6	146,2	-18,6
PIORNAL	240,7	233,0	7,7
SAN MARTIN TREVEJO	140,8	141,0	- 0,2

Test Durbin-Watson: 2,1477.

Los cálculos efectuados para el mes de enero tienen un margen de error, o sea, de residuos en función de la precipitación real, del 10,1 %, cifrándose el error en $\pm 9,5$ milímetros sobre el valor estimado.

Estos errores en las estimaciones no son excesivamente elevados, sobre todo si se tiene en cuenta que la media de precipitaciones que se alcanza durante este mes en dichos observatorios es de 93,6 milímetros.

CUADRO V CALCULO DE LA PRECIPITACION MEDIA DE MAYO

Observatorios	Prec. real	Prec. cal.	Residuo
BERLANGA	33,5	43,7	10,2
CABEZA LA VACA	57,9	58,3	0,4
FUENTES DE LEON	59,5	58,5	1,0
ZAFRA	40,9	47,5	-6,6
ZARZACAPILLA	55,8	49,8	6,0
CABEZA DEL BUEY	38,8	45,1	-6,3
CAPILLA	54,5	46,5	8,0
CASAS DE REINA	46,5	47,7	-1,2
CASTUERA	38,9	45,4	-6,5
FREGENAL S.	40,5	49,6	-9,1
FUENTE DE CANTOS	50,5	48,1	2,4
FUENTE DEL ARCO	59,1	51,0	8,1

Observatorios	Prec. real	Prec. cal.	Residuo
GARLITOS	49,1	47,1	2,0
GRANJA DE TORREH.	45,0	43,4	1,6
HELECHAL	34,6	49,5	-14,9
HORNACHOS	91,0	48,8	42,2
LA CARDENCHOSA	45,3	36,3	9,0
LOS SANTOS M.	41,7	48,9	- 7,2
LLERENA	48,2	48,9	- 0,7
MALCOCINADO	54,5	41,1	13,4
MONTEMOLIN	42,9	47,6	- 4,7
MONTERRUBIO S.	52,7	44,9	7,8
PUERTO URRACO	42,1	49,9	- 7,7
REINA	44,7	52,2	- 7,5
SALVALEON	45,1	53,5	- 8,4
SIRUELA	45,2	46,5	- 1,3
TRASERRA	54,0	51,2	2,2
VALVERDE LL.	52,0	42,2	9,8
VILLAGARCIA T.	35,1	47,2	-12,1
BARRADO	107,5	95,7	11,8
GUADALUPE	49,4	67,1	-17,7
HERVAS	110,9	91,9	19,0
PANTANO CIJARA	48,4	53,3	- 4,9
VILLAMIEL	99,2	101,9	- 2,7
ALDEANUEVA C.	72,4	80,4	- 8,0
ALIA	62,0	62,1	- 0,1
BERZOCANA	85,7	94,4	- 8,7
PIORNAL	120,3	123,8	- 3,5
SAN MARTIN TREVEJO	100,5	94,0	6,5

Test Durbin-Watson: 2,5469.

El mes de mayo tiene un valor residual del 13,3 % en relación con la precipitación real, siendo el error del $\pm 7,7$ milímetros durante dicho mes. Este error se produce sobre una media de precipitación de 57,8 milímetros, con lo cual las estimaciones no están muy alejadas de los valores registrados en los observatorios.

CUADRO VI

CALCULO DE LA PRECIPITACION MEDIA DE AGOSTO

Observatorios	Prec. real	Prec. calc.	Residuo
BERLANGA	1,3	3,5	-2,2
CABEZA LA VACA	5,0	4,4	0,6
FUENTES DE LEON	2,0	4,4	-2,4
ZAFRA	8,3	4,4	3,9
ZARZACAPILLA	2,5	4,8	-2,3
CABEZA DEL BUEY	6,7	4,3	2,4
CAPILLA	4,5	4,6	-0,1
CASAS DE REINA	3,2	3,7	-0,5
CASTUERA	4,1	4,5	-0,4
FREGENAL S.	3,0	4,1	-1,1
FUENTE DE CANTOS	3,4	4,0	-0,6
FUENTE DEL ARCO	5,1	3,7	1,4
GARLITOS	7,3	4,7	2,6
GRANJA TORREH.	2,8	3,4	-0,6
HELECHAL	3,4	4,6	1,2
HORNACHOS	7,8	4,6	3,2
LA CARDENCHOSA	5,9	2,7	3,2
LOS SANTOS M.	5,3	4,5	0,8
LLERENA	3,4	3,8	-0,4
MALCOCINADO	2,4	2,9	-0,5
MONTEMOLIN	2,8	3,6	-0,9
MONTERRUBIO S.	4,7	4,1	0,6
PUERTO URRACO	4,6	4,6	0,0
REINA	2,3	3,9	-1,6
SALVALEON	3,7	5,2	-1,5
SIRUELA	7,5	4,9	2,6
TRASIERRA	2,3	3,9	-1,6
VALVERDE LL.	2,7	3,2	-0,5
VILLAGARCIA T.	2,7	3,9	-1,2
BARRADO	10,4	11,4	-1,0
GUADALUPE	7,9	7,6	0,3
HERVAS	11,9	11,6	0,3

Observatorios	Prec. real	Prec. calc.	Residuo
PANTANO CIJARA	5,1	6,3	-1,2
VILLAMIEL	14,6	12,6	2,0
ALDEANUEVA C.	8,8	10,7	-1,9
ALIA	7,9	7,2	0,7
BERZOCANA	6,4	11,9	-5,5
PIORNAL	16,8	13,5	3,3
SAN MARTIN TREVEJO	13,5	12,1	1,4

Test Durbin-Watson: 2,5673.

El mes de agosto presenta un comportamiento diferente, pues de todos es sabido el carácter convectivo y muy localizado de las lluvias. Por este motivo el porcentaje de residuos se dispara hasta el 26,3 %, pero, sin embargo, el error calculado se sitúa en $\pm 1,5$ milímetros, cifra comprensible dado los escasos valores de la precipitación estival.

CUADRO VII

CALCULO DE LA PRECIPITACION MEDIA DE OCTUBRE

Observatorio	Prec. real	Prec. calc.	Residuo
BERLANGA	58,0	56,5	1,5
CABEZA LA VACA	82,5	87,6	- 5,1
FUENTES LEON	85,3	86,6	- 1,3
ZAFRA	55,9	50,5	5,4
ZARZACAPILLA	58,2	64,8	- 6,6
CABEZA DEL BUEY	46,2	55,5	- 9,3
CAPILLA	76,6	57,5	19,1
CASAS REINA	68,6	66,4	2,2
CASTUERA	38,8	50,7	-11,9
FREGENAL S.	61,3	60,2	1,1
FUENTE DE CANTOS	59,0	59,9	- 0,9
FUENTE DEL ARCO	85,1	76,8	8,3
GARLITOS	71,2	57,5	13,7

Observatorio	Prec. real	Prec. calc.	Residuo
GRANJA TORREH.	66,1	59,0	7,1
HELECHAL	62,2	64,9	- 2,7
HORNACHOS	55,8	55,5	0,3
LA CARDENCHOSA	43,9	45,7	- 1,8
LOS SANTOS M.	58,6	54,0	4,6
LLERENA	58,3	67,5	- 9,2
MALCOCINADO	65,5	58,3	7,2
MONTEMOLIN	56,4	63,6	- 7,2
MONTERRUBIO S.	56,7	55,9	0,8
PUERTO URRACO	54,7	64,2	- 9,5
REINA	81,7	77,8	3,9
SALVALEON	70,1	55,3	14,8
SIRUELA	62,0	52,9	9,1
TRASIERRA	63,2	76,4	-13,2
VALVERDE LL.	55,7	55,3	0,4
VILLAGARCIA T.	51,1	60,2	- 9,1
BARRADO	114,3	116,6	- 2,3
GUADALUPE	75,0	80,6	- 5,6
HERVAS	100,8	102,0	- 1,2
PANTANO CIJARA	50,0	55,9	- 5,9
VILLAMIEL	104,7	112,8	- 8,1
VILLANUEVA C.	90,5	74,7	15,8
ALIA	67,5	70,6	- 3,1
BERZOCANA	94,7	108,9	-14,2
PIORNAL	196,0	181,7	14,3
SAN MARTIN TREVEJO	91,6	92,9	- 1,3

Test Durbin-Watson: 2,2856.

En octubre, el valor de los residuos se sitúa en el 9,3 %, teniendo un error medio estimado en $\pm 6,7$ milímetros de precipitación durante dicho mes, valor muy bajo si lo relacionamos con el registro medio de lluvias, que es de 71,6 milímetros.

La variabilidad en los diversos márgenes de error que se producen es debida al diferente grado de correlación que se establece entre las

variables implicadas en los cálculos. Por tanto, el error será mayor cuanto menor sea el grado de correlación.

Debemos considerar, asimismo, que el volumen de precipitaciones es muy variable de un mes a otro, con lo que los porcentajes de error no son tan expresivos como este mismo desajuste calculado en milímetros. Ello hace más difícil el grado de predicción y previsión.

Como es posible comprobar con estos meses «tipo», el error en milímetros es aceptable, teniendo en cuenta los valores medios de precipitación que se registran durante los mismos.

No obstante, conviene conocer cuáles son los errores en los cálculos de todos los meses del año para tener un punto de referencia a la hora de dar un uso específico a los valores que después fijaremos. Por todo ello, he construido el siguiente cuadro:

CUADRO VIII
CALCULO DEL ERROR MEDIO ESTIMADO

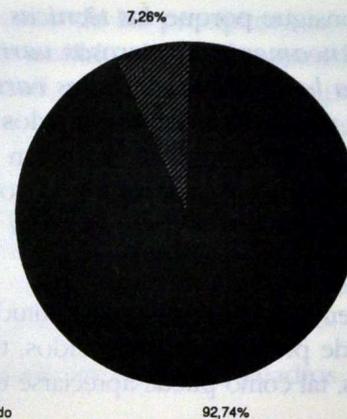
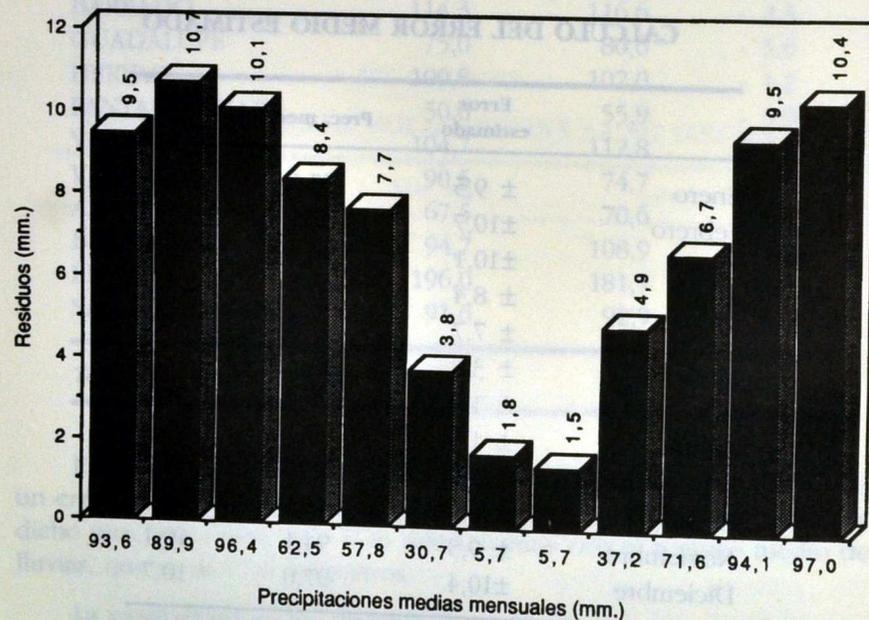
	Error estimado	Prec. media	% error
Enero	$\pm 9,5$	93,6	10,1
Febrero	$\pm 10,7$	89,9	11,9
Marzo	$\pm 10,1$	96,4	10,5
Abril	$\pm 8,4$	62,5	13,4
Mayo	$\pm 7,7$	57,8	13,3
Junio	$\pm 3,8$	30,7	12,4
Julio	$\pm 1,8$	5,7	31,6
Agosto	$\pm 1,5$	5,7	26,3
Septiembre	$\pm 4,9$	37,2	13,2
Octubre	$\pm 6,7$	71,6	9,4
Noviembre	$\pm 9,5$	94,1	10,1
Diciembre	$\pm 10,4$	97,0	10,7
ANUAL	$\pm 53,6$	738,4	7,3

Se aprecia en este último cuadro que el error que se produce en los cálculos en todos los meses del año, según mis estimaciones, es aceptable, teniendo en cuenta los valores que alcanza la precipitación, expresada en milímetros, en las zonas montañosas o con un matiz montano.

En algunos meses, el porcentaje de error se dispara, como sucede en el verano, pero si nos atenemos a los residuos expresados en milímetros, se verá que, pese a ello, éstos son reducidos.

Todo lo que hemos señalado hasta ahora se observa mejor en las gráficas construidas para tal fin, en las que pueden apreciarse tanto el volumen de precipitación media mensual del conjunto de estaciones y los residuos estimados.

GRADIENTES Y RESIDUOS MENSUALES DE PRECIPITACION MEDIA



A pesar de todo, no se puede olvidar que la precipitación anual calculada difiere algo de la estimada mediante la suma de todos los meses del año, debido a la desigual correlación que se establece entre las variables geográficas y climáticas (véase el cuadro I).

Así se obtiene que el error medio para la precipitación anual se cifra en $\pm 53,6$ milímetros, mientras que si sumamos los valores o residuos de todos los meses del año, aquél alcanza $\pm 85,0$ milímetros. De esa forma, se incrementa el error en $\pm 31,4$ milímetros anuales, pero a cambio obtenemos los registros medios de la precipitación para los distintos meses del año.

Aceptando, pues, los márgenes de error indicados, los cálculos obtenidos mediante el análisis de regresión múltiple resultan mucho más realistas, ya que, partiendo del valor estimado, tenemos un determinado margen que varía en función del mes del año en que nos encontremos.

Con esto se obtienen unos registros pluviométricos aproximados, pero siempre contando con las limitaciones que se han indicado, ya que, como señala Alonso Fernández, *utilizando recta de regresión los datos teóricos o ajustados tanto de base como de cima quedan, en conjunto, desvirtuados ligeramente en relación a los datos reales*⁸.

8 Alonso Fernández et al. (1981), 'Aproximación a un modelo de delimitación de climas de montaña', p. 5, *Actas del VII Coloquio de Geografía*, t. 1, Pamplona.

Todo ello se consigue porque *las técnicas multidimensionales, que consideran simultáneamente numerosas variables, permiten aproximarse con ventaja a la complejidad de las variables geográficas*⁹, siendo posible obtener unos valores aproximados de precipitación en las zonas montañosas de Extremadura, áreas en las que apenas existen observatorios meteorológicos, con el único condicionante de conocer las coordenadas geográficas y la altura, pues *la regresión múltiple busca relaciones explicativas entre varias variables*¹⁰.

De esa forma, en función de la altura, latitud y longitud, se consiguen los valores medios de precipitación estimados, tanto anuales como mensuales de esas zonas, tal como puede apreciarse en el cuadro siguiente:

CUADRO IX
CALCULO DEL VOLUMEN DE PRECIPITACION
(en milímetros)

	38°N 2°W 500 m	38°N 2°W 1.000 m	38°N 4°W 1.000 m	40°N 4°W 1.000 m
Enero	48,1	145,1	179,4	226,8
Febrero	54,7	119,7	137,7	182,0
Marzo	54,3	127,3	178,2	228,7
Abril	41,5	99,5	103,6	119,9
Mayo	31,5	67,0	85,5	125,6
Junio	21,9	32,1	35,6	50,3
Julio	4,1	9,1	8,0	9,1
Agosto	1,9	4,4	6,7	14,3
Septiembre	17,0	40,6	50,5	84,2
Octubre	39,9	123,2	132,8	159,2
Noviembre	48,9	133,4	171,8	225,3
Diciembre	62,7	137,0	160,6	196,1
ANUAL	426,5	1.038,4	1.250,4	1.621,5

⁹ Grupo Chadule (1980), *Iniciación a los métodos estadísticos en Geografía*, p. 204, Ariel, Barcelona.

¹⁰ Grupo Chadule (1980), op. cit., p. 204.

Con este simple cuadro de las precipitaciones estimadas en unos puntos muy concretos, es posible obtener los gradientes, tanto en altura como en latitud y longitud, que tienen las precipitaciones, pudiendo concretar su volumen en cualquier zona de nuestra Comunidad, siempre que se halle situada a más de 500 metros de altura.

Sin embargo, los gradientes varían de forma muy considerable con la época del año, por lo que es conveniente elaborar los gradientes mensuales y en función de cada una de las variables geográficas a que he hecho referencia a lo largo del presente artículo.

Con tal fin he elaborado los siguientes cuadros:

CUADRO X
CALCULO DE LOS GRADIENTES PLUVIOMETRICOS
(en milímetros)

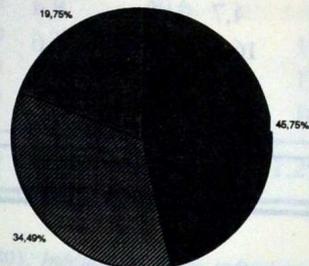
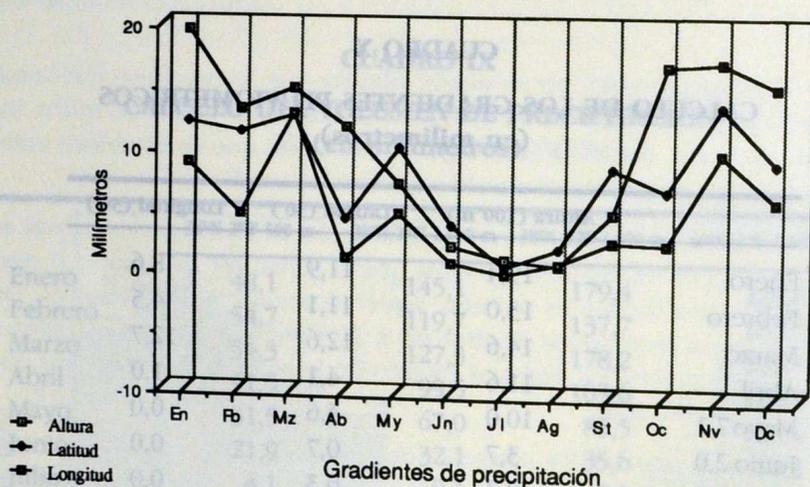
	Altura (100 m)	Latitud (30')	Longitud (30')
Enero	19,4	11,9	8,6
Febrero	13,0	11,1	4,5
Marzo	14,6	12,6	12,7
Abril	11,6	4,1	1,0
Mayo 7,1	10,0	4,6	0,0
Junio 2,0	3,7	0,7	0,0
Julio 1,0	0,3	0,3	0,0
Agosto	0,5	1,9	0,6
Septiembre	4,7	8,4	2,5
Octubre	16,6	6,6	2,4
Noviembre	16,9	13,4	9,6
Diciembre	14,9	8,9	5,9
ANUAL	122,3	92,9	52,8

Estos gradientes pueden hacerse menos genéricos, para delimitarlos por cada 10 metros de altura o por cada minuto de latitud o longi-

tud, dividiendo su valor por la magnitud correspondiente, para de esa forma adecuarlos a las necesidades de cada zona.

El diferente peso específico que tienen estos gradientes se aprecia mejor con los siguientes gráficos, teniendo presente que se expresan en relación a la misma unidad de medida que aparece en el cuadro anterior, es decir, por cada cien metros de ascenso y por cada 30 minutos de incremento en las coordenadas geográficas.

GRADIENTES MENSUALES DE PRECIPITACION EN FUNCION DE LAS VARIABLES GEOGRAFICAS



■ Gradiente pluviométrico por 100 m. de altura (122,3 milímetros anuales)
 ■ Gradiente pluviométrico por 30' de latitud (92,9 milímetros anuales)
 ■ Gradiente pluviométrico por 30' de longitud (52,6 milímetros anuales)

Así pues, partiendo del cuadro IX, es posible calcular el volumen de precipitaciones que se registra en cualquier zona de nuestra Comunidad, aunque para ello tengamos que completar los datos y modificarlos en función de los gradientes establecidos en el último cuadro.

Con el cálculo de los gradientes pluviométricos y de las precipitaciones estimadas, aun con el margen de error señalado, se ha cumplido el objetivo principal de este artículo: conseguir dichos datos partiendo de otros, con lo que pienso que se ha conseguido uno de los fines básicos de la investigación científica, pues, según Hempel, *scientific research in its various branches seeks not merely to record particular occurrences in the works of our experience: it tries to discover regularities in the flux of events and thus to establish general laws which may be used for prediction, postdiction, and explanation*¹¹.

A modo de conclusión, es posible afirmar que la técnica del análisis de regresión, en conjunción con el de correlación, muestra unos resultados bastante realistas, pues no se limita a dar un valor de precipitación probable, sino que, además, muestra el margen de error medio, con lo que siempre podemos disponer de una serie de registros estimados dentro de un margen no muy grande.

Con todo ello, se ha conseguido calcular los valores de precipitación en las áreas de montaña extremeña, partiendo de unos datos empíricos muy someros, ya que un total de 39 observatorios no permiten unas aproximaciones al volumen de lluvias, a no ser que se recurra a técnicas cuantitativas como las utilizadas en este artículo, e incluso otras con este mismo carácter matemático.

De esa forma, el análisis de regresión múltiple se muestra como una de las pocas formas de obtener unos registros desconocidos, partiendo únicamente de unos pocos conocidos, con un margen de error variable en función de la disponibilidad de datos reales, así como del acierto en elegir las variables independientes precisas para cada cálculo.

JOSE MANUEL SANCHEZ MARTIN

¹¹ G. C. Hempel (1965), *Aspects of Scientific Explanation and other Essays in the Philosophy of Science*, p. 173, The Free Press, New York.

BIBLIOGRAFÍA

- Actas del Coloquio hispano-francés sobre las áreas de montaña* (1981), Servicio de Publicaciones Agrarias, Madrid.
- A. G. E. (Grupo de métodos cuantitativos) (1989), *Teoría, Metodología y Técnicas cuantitativas en las Ciencias*, vols. VIII y IX, Servicio de Publicaciones UNEX, Cáceres.
- Albentosa Sánchez, L. M. (1975), 'La aplicación del método estadístico en Climatología: 105 años de lluvias en Barcelona (1866-1970)', *Revista de Geografía*, vol. IX, 1-2.
- (1976), 'La aplicación del método estadístico en Climatología. El régimen anual de las precipitaciones en Barcelona', *Revista de Geografía*, vol. X, 1-2.
- Alonso Fernández et al. (1981), 'Aproximación a un modelo de delimitación de climas de montaña', *Actas del VII Coloquio de Geografía*, t. I, Pamplona.
- Brocard, M., et al. (1977), 'Analyse de données: traitements visuels et mathématiques', *L'Espace Géographique*, n. 4, Masson, París.
- Carreas i Puigdemongas, J., et al. (1976), 'Sobre tècniques quantitatives d'anàlisi espacial', *Documents d'anàlisi territorial*, n. 2, Publicacions del Departament de Geografia de la Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona.
- Clavero Paricio, P. L., et al. (1983), 'La climatología actual: el uso de métodos estadísticos y modelos probabilísticos. Proyecto de un estudio termoplumiométrico de Cataluña', *Notes de Geografia Física*, n. 8, Edicions de la Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Compán Vázquez (1977), 'Sobre el uso de la regresión lineal simple en Geografía (...)', *Paralelo 37* I, Excelentísima Diputación Provincial, Almería.
- Creus, J., y Puigdefábregas, J. (1978), 'Influencia del relieve en la distribución de las precipitaciones máximas: un ejemplo pirenaico', *Cuadernos de Investigación*, t. IV, fascículo 1, Logroño.
- Cruz Orozco, J. (1990), *Les comarques de muntanya*, Edicions Alfons El Magnànim, Valencia.
- Egido (1989), 'Análisis de dos métodos estadísticos para el cálculo de la precipitación', *Actas de las XVII Jornadas de la A.M.E. (Meteorología y Climatología Ibéricas)*, Garmendia Ediciones, Salamanca.
- Escourrou, G. (1981), *Climat et environnement. Les facteurs locaux du climat*, Masson, París.
- Estébanez, J., y Bradshaw, R. P. (1979), *Técnicas de cuantificación en Geografía*, Tebar Flores, Madrid.
- Flohn, H. (1968), *Clima y Tiempo*, Ediciones Guadarrama, Madrid.
- Forteza del Rey (1986), *Caracterización agroclimática de la provincia de Badajoz*, Dirección General de Producciones Agrarias, Madrid.
- , *Caracterización agroclimática de la provincia de Cáceres*, Dirección General de Producciones Agrarias, Madrid.
- García Ramón, M. D. (1981), *Métodos y conceptos en Geografía Rural*, Oikos-Tau, Barcelona.
- Grupo Chadule (1980), *Iniciación a los métodos estadísticos en Geografía*, Ariel, Barcelona.
- Hempel, C. G. (1965), *Aspects of Scientific Explanation and other Essays in the Philosophy of Science*, The Free Press, New York.
- Hufty, A. (1975), 'Gradients verticaux de température et combinaisons des éléments du temps', *Annales de Géographie*, n. 465, Armand Colin, París.
- López Gómez (1981), 'El clima de montaña', *Actas del VII Coloquio de Geografía*, t. I, Pamplona.
- Martín Vide, J. (1986), 'Notas sobre la aplicación de algunas técnicas estadísticas y probabilísticas en la Climatología «cuantitativa»', *Geografía Teórica y Cuantitativa: conceptos y métodos*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo, Oviedo.
- Pascual, J. A., et al. (1988), *Guía de las zonas de montaña de la Península Ibérica*, Miraguano Ediciones, Madrid.
- Quereda Sala, J. (1989), 'Efectos orográficos y friccionales en el clima del Levante español', *Revista de Geografía*, vol. XXIII, Barcelona.
- Ruiz Urrestarazu, E. (1981), 'La precipitación en función de la presión y el relieve entre la Iberia húmeda y seca en el espacio vasco-riojano', *Cuadernos de Investigación Geográfica*, t. VII, fascículos 1 y 2, Publicaciones del Colegio Universitario de la Rioja, Logroño.
- Sánchez Sánchez, J. (1989), 'Áreas de montaña: Aproximación a su problemática actual', *Espacio, Tiempo y Forma*, UNED, Madrid.
- Sánchez Villa, D. (1986), 'Análisis factorial de la pluviometría en la cuenca del Duero', *Meteorología y Climatología Ibéricas*, Salamanca.
- Viers, G. (1975), *Climatología*, Oikos-Tau, Barcelona.