

El método de los Dos Ejes: método alternativo para la evaluación de las precipitaciones medias regionales. Aplicación a cinco cuencas vertientes de la provincia de Álava (País Vasco).

HILARIO LLANOS ACEBO (*)
JOSÉ LLAMAS SIENDONES (**)
JAIME GARFIAS SOLIZ (***)
KHALIDOU BÂ MAMADOU (***)
IÑAKI ANTIGÜEDAD AUZMENDI (****)

RESUMEN En el presente artículo se analiza un nuevo procedimiento para el cálculo de la precipitación media en una región alternativo a los habitualmente utilizados: Polígonos de Thiessen e Isoyetas. Para su aplicación se han considerado cinco cuencas hidrográficas, localizadas en el sector meridional de la provincia de Álava (vertiente mediterránea del País Vasco). Se han usado, por un lado, los registros históricos de precipitaciones anuales y, por otro, las precipitaciones teóricas deducidas de un análisis frecuencial de eventos máximos, mediante diferentes funciones de distribución. Los resultados por el método de los Dos Ejes se comparan con los obtenidos por el de las Isoyetas, discutiéndose finalmente sus condiciones de aplicabilidad y las ventajas derivadas de su uso.

THE TWO AXIS METHOD: ALTERNATIVE METHOD FOR THE ASSESMENT OF THE REGIONAL MEAN RAINFALLS. APPLICATION TO FIVE CATCHMENTS IN ALAVA PROVINCE (BASQUE COUNTRY)

ABSTRACT *In this article an alternative method (Two Axis method) that the normally employed (Thiessen Polygon method, Isohyetal lines, etc) is contemplated. Application has been done using information from five (5) catchments in Alava Province (mediterranean divide of Basque Country). Registered data of annual precipitation should be used as well as theoretical series derived by frequencial analysis of extreme values according with several distribution functions. General results from Two Axis method were compared with Isohyetal one using principal component analysis. Application limits and the main advantages of this new procedure were pointed out.*

Palabras clave: Método de los Dos Ejes; Isoyetas; Precipitación media; Análisis factorial; País Vasco.

1. INTRODUCCIÓN

En la mayor parte de los problemas hidrológicos con aplicación directa en el diseño hidráulico se precisa tener una estimación lo más ajustada posible de la cantidad media de agua de lluvia que pueda precipitarse sobre una superficie

de terreno concreta, para un episodio específico y/o para un periodo de tiempo dado. En este sentido el método de los Dos Ejes, al igual que procedimientos más conocidos (Media aritmética, Polígonos de Thiessen, Isoyetas, etc.), permite calcular la altura media de la lámina de agua correspondiente a una lluvia cualquiera caída sobre una cuenca o región, si bien presenta notables ventajas operacionales sobre los otros procedimientos dada su versatilidad, adaptándose a las continuas modificaciones de las redes pluviométricas de base, y sobre todo, en lo que se refiere a la rapidez de cálculo ya que su aplicación puede acomodarse al correspondiente soporte informático.

Los datos disponibles, del mismo modo que en los métodos ya mencionados, proceden, por lo general, de un conjunto de estaciones pluviométricas, localizadas tanto en el interior como en la periferia de la región considerada, donde de manera, bien continua o discontinua, se hayan registrado

(*) Catedrático de Geodinámica de E.U. Doctor en Ciencias Geológicas. Universidad del País Vasco. Facultad de Ciencias de Lejona.

(**) Catedrático de Hidrología. Doctor Ingeniero Civil. Université Laval. Faculté des Sciences et Génie.

(***) Profesor de Investigación del Centro Interamericano de Recursos del Agua. Doctor Ingeniero Civil, Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ingeniería.

(****) Profesor Titular de Geodinámica. Doctor en Ciencias Geológicas. Universidad del País Vasco. Facultad de Ciencias de Lejona.

las alturas de lluvia. Sin embargo, en este proceso de cálculo todos los métodos presentan un denominador común, o lo que es lo mismo, tropiezan con el mismo problema, y es tratar de establecer la representatividad de una serie de medidas puntuales a la hora de estimar una media geográfica, como consecuencia de que la distribución geográfica de la altura de lluvia no suele ser homogénea debido a que, por lo general, la intensidad de la precipitación disminuye progresivamente desde el centro de un aguacero.

En el presente método dicho problema se solventa de acuerdo con el criterio de que cuanto mayor sea la lejanía de una estación pluviométrica concreta al centro de gravedad de una cuenca o región menor será su contribución al cómputo final de la precipitación media. En lo que sigue y tras una somera descripción del área de aplicación, se hace una breve referencia a la fundamentación teórica de los métodos de cálculo tradicionales, describiéndose a continuación la correspondiente al método de los Dos Ejes al objeto de abordar el posterior análisis comparativo entre los mismos.

2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA CONSIDERADA

La región objeto de aplicación del método de los Dos Ejes, se sitúa en la mitad oriental del sector centromeridional de la provincia de Álava hasta su límite con la vecina provincia de Navarra (figura 1). Desde el punto de vista geológico se integra entre el denominado Surco Alavés y la Depresión Terciaria del río Ebro (Ramírez del Pozo, 1973) y se caracteriza por presentar una desigual estructuración cuya complejidad aumenta de Norte a Sur, pudiéndose distinguir dos dominios perfectamente diferenciados: el Sinclinal de Urbasa Treviño, por el Norte, y la Franja Móvil de la Sierra de Cantabria, por el Sur, la cual constituye la prolongación occidental del cabalgamiento frontal sur-pirenaico a favor de la cual todo el conjunto se desplazó sobre los sedimentos de la Depresión del Ebro (Choukroune et al., 1980; Abalos et al., 1994).

En consonancia con esta particular disposición de los materiales aflorantes, morfológicamente constituye una amplia banda de relieves topográficos desigualmente prominentes, de dirección Este-Oeste, perfectamente delimitada hacia el Norte por la Llanada Alavesa, en cuyo centro se sitúa la ciudad de Vitoria, y hacia el Sur por la comarca de La Rioja, que sirve de cabecera de diversas cuencas hidrográficas, algunos de cuyos ríos internamente la drenan.

A parte de la cuenca del Zadorra cuyo río discurre de forma periférica cinco son las cuencas hidrográficas existentes, todas ellas tributarias del río Ebro (figura 1). Se trata fundamentalmente de ríos con regímenes hídricos bastante influenciados por las precipitaciones debido en unos casos a la abrupta topografía de sus cursos altos y en otros a la desigual y/o escasa vegetación, lo que salvo excepciones, en concreto las cuencas más meridionales de los ríos Ega e Inglares, con una mayor capacidad de retención debido a una mayor presencia de materiales carbonatados altamente permeables, da lugar a una moderada regulación de sus caudales (Llanos, 1992). Ello condiciona por lo general períodos con caudales altos, particularmente durante el invierno y primavera, y estiajes pronunciados que se ven si cabe más agravados por la utilización incontrolada de sus aguas para regadíos.

3. LOS MÉTODOS TRADICIONALES

Entre los métodos habitualmente utilizados para la estimación de la precipitación media vamos a referirnos al método

de Thiessen y al de las Isoyetas, dejando a un lado un tercero, el conocido como de la Media Aritmética, que si bien en ocasiones puede suministrar aceptables resultados, principalmente en regiones con escaso contraste topográfico, no considera ningún coeficiente de ponderación geográfica para los asentamientos pluviométricos de referencia. Existen otros métodos mucho más elaborados, como el de los Elementos Finitos (Llamas, 1993) que tienen en cuenta las características topográficas y orográficas de la región pero que en virtud de su complejidad son raramente utilizados, sobre todo en pequeñas cuencas.

El método de Thiessen (in Linsley et al., 1982), por el contrario, tiene en cuenta la no uniformidad en la distribución de los pluviómetros mediante un factor de ponderación para cada uno de ellos. Su fundamento, estrictamente geométrico, consiste en definir una serie de polígonos adyacentes cuyos lados son los límites del área efectiva o de influencia de cada estación, de manera que a los diferentes polígonos se les asigna un porcentaje numérico respecto del área total de la cuenca en función de sus superficies. En consecuencia, la media ponderada para la superficie total de la cuenca se establece multiplicando la precipitación en cada estación por el porcentaje de área correspondiente y sumando estos valores parciales.

Sus resultados son mucho más exactos que los obtenidos por el simple promedio aritmético, no obstante presenta ciertas limitaciones de uso que conviene tener en cuenta. En particular, la mayor limitación reside en su exigua flexibilidad ya que se precisa confeccionar un nuevo diagrama distributivo cada vez que exista un cambio en la red pluviométrica, circunstancia frecuente en el País Vasco.

Por su parte, el de las Isoyetas, a pesar de ser extremadamente laborioso, es el procedimiento más exacto para promediar la precipitación sobre un área cualquiera (in Linsley et al., 1982), ya que permite el uso de toda la información disponible y muestra una aceptable flexibilidad interpretativa, adaptándose muy bien al presente análisis. En efecto, durante la operación de construcción de un mapa de isoyetas (básicamente el trazado de líneas de igual precipitación) puede aplicarse todo el conocimiento adquirido sobre los posibles efectos orográficos y la morfología de la tormenta, por lo que el documento final de hecho representa un modelo mucho más real de la precipitación que el que pueda obtenerse únicamente mediante las cantidades medidas.

En este caso, la precipitación media sobre una cuenca se calcula ponderando la precipitación entre isoyetas sucesivas (isoyeta media) por el área de las isoyetas, totalizando estos productos y dividiéndolos por el área total. Este método además tiene una particular aplicación a la hora de elaborar las llamadas curvas de precipitación-área-duración las cuales permiten establecer la precipitación promedio en función de la variación del área de una determinada cuenca o región en la que puede integrarse un cierto número de cuencas anexas, de manera que la relación final de este esquema de cálculo determinará la precipitación media sobre el área total en estudio.

4. EL MÉTODO DE LOS DOS EJES

Este método, desarrollado en el Laboratorio de Hidrología Matemática de la Universidad Laval (Barrière et al., 1989; Llamas, 1990 y 1993) y suficientemente contrastado en diferentes proyectos de investigación, se fundamenta en el hecho, lógico por otra parte, de que la importancia específica de una estación para el cálculo de la precipitación media de una cuenca es tanto mayor cuanto más reducida sea su dis-

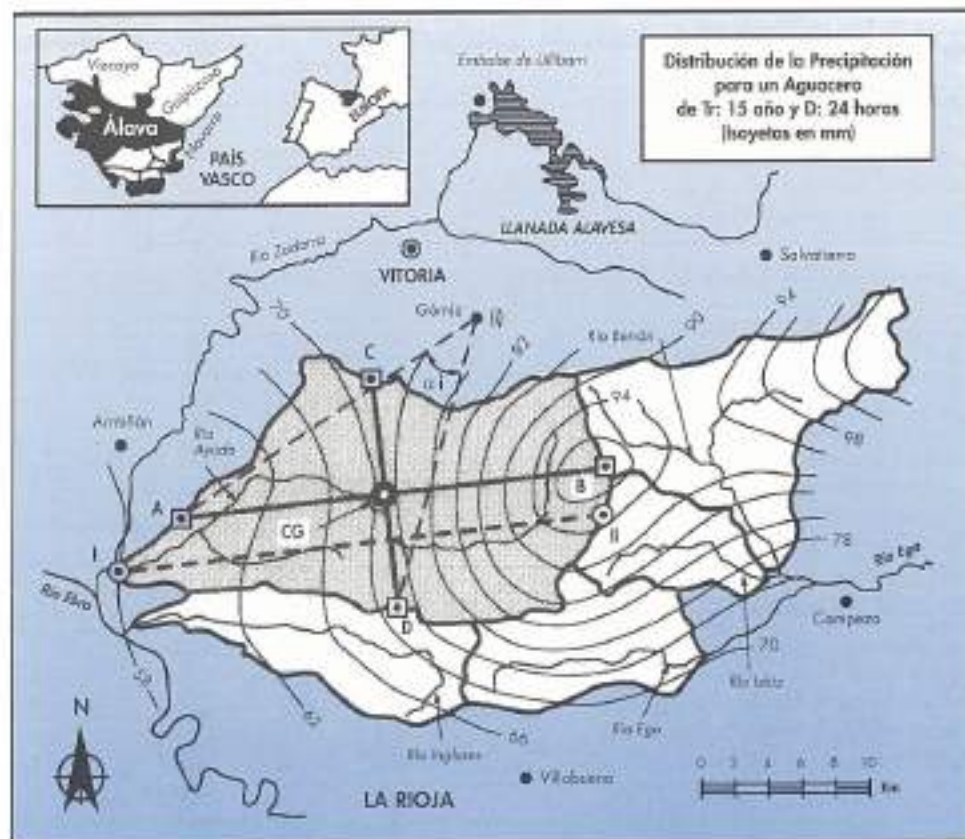


FIGURA 1. Esquemización del método de los Dos Ejes y ámbito de aplicación.

tancia al centro de la misma (punto CG de la figura 1). La posición de este singular punto viene definida por la intersección de dos ejes ortogonales que son los que dan nombre al presente método.

Para la definición de estos ejes se ha de operar del siguiente modo. En primer lugar se traza una línea recta uniendo el punto más bajo de la cuenca (desembocadura) con el punto más alejado de la misma, siguiendo, en lo posible, la dirección principal del cauce de mayor orden y su prolongación virtual hasta su intersección con la divisoria hidrográfica (línea I-II de la figura 1). A continuación, se traza la mediatriz de este segmento, de modo que la parte de esta mediatriz comprendida entre los límites naturales de la cuenca representa el eje menor (línea CD). Finalmente, el segmento de mediatriz de este último eje, igualmente dentro de la cuenca, corresponderá al eje mayor AB.

Esta metodología es igualmente aplicable a una región que integre un determinado número de cuencas, como en el presente estudio, en cuyo caso, una vez definidos los límites naturales, o no, de la misma, para establecer la directriz correspondiente al eje mayor, operación previa e indispensable de la que depende el esquema biaxial final, se partirá de una línea imaginaria que presente una orientación sensiblemente coincidente con la dimensión máxima de la región en cuestión.

De acuerdo con este método el factor de ponderación de una estación cualquiera *i* (figura 1) es proporcional al ángulo α_i bajo el que se ven los extremos más alejados de los dos ejes establecidos con arreglo a la metodología descrita. En la figura 1 se muestra el esquema correspondiente a la cuenca del río Ayuda. Por tanto, una vez definidas las coordenadas de los extremos de los ejes y de las estaciones, dicho

ángulo (α_i en radianes) se calcula fácilmente por la fórmula del coseno tal que:

$$\alpha_i = \text{Cos}^{-1} \left[\frac{a_i^2 + b_i^2 - c_i^2}{2c_i b_i} \right]$$

siendo *c* y *b* las distancias máximas a los extremos de los ejes y *a* la distancia entre los extremos más alejados de cada estación, con lo que el factor de ponderación para una estación *i* vendrá dado por la expresión:

$$w_i = \alpha_i \cdot P_i$$

siendo P_i la precipitación registrada en la estación. Finalmente la precipitación media sobre la cuenca será:

$$P_{\text{m}} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i \right]^{-1}$$

Se constata, por tanto, que para la aplicación del presente método se precisa únicamente de las medidas de las distancias entre cada estación y las extremidades más alejadas de los ejes, así como de las distancias entre las extremidades de estos ejes. Todos estos valores se pueden calcular fácilmente por ordenador ya que tanto las estaciones como las extremidades de los ejes están definidas por sus coordenadas geográficas.

5. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO DE LAS ISOYETAS Y EL DE LOS DOS EJES

El objetivo fundamental de este epígrafe consiste en la búsqueda de una similitud estable entre los resultados obtenidos

dos por los métodos de las Isoyetas y de los Dos Ejes a partir de diferentes supuestos de precipitación tanto teóricos como reales asociados a las cinco cuencas objeto de estudio y a la región definida por el conjunto de las mismas. Además, considerando estos mismos supuestos, se trata de establecer el modo en que influyen las características físicas de las propias cuencas en los resultados obtenidos aplicando el método de los Dos Ejes y comparándolos con los suministrados por el de las Isoyetas.

Para este análisis se ha partido de la información recogida en un trabajo previo (Llanos, 1992) orientado por un lado al tratamiento de los datos básicos referidos a la climatología de esta zona en cuestión a fin de integrarlos posteriormente en el estudio de balances hídricos a nivel de cuencas y de unidades hidrogeológicas. En este sentido se ha dispuesto de la información pluviométrica relativa al periodo 1978-88, correspondiente a 21 estaciones, situadas tanto en el interior como en las inmediaciones del área considerada, así como de las alturas medias para este mismo periodo. Igualmente se han utilizado algunos de los resultados del estudio de eventos bajo condiciones extremas, abordado en el mencionado trabajo, como paso indispensable para el establecimiento, en términos probabilísticos, de las características pluviométricas de estas cuencas y, en particular, para la modelización y diseño de crecidas (Llanos et al., 1995).

Por consiguiente, con toda esta información, y en cada una de las cinco cuencas y su conjunto, se ha procedido al cálculo de la precipitación por uno y otro método. De acuerdo con las metodologías anteriormente descritas, y a modo de ejemplo, se ha elaborado el plano de isoyetas de la figura 1 que muestra, sobre el área en estudio, la distribución de la precipitación correspondiente a un aguacero con un periodo de retorno de 15 años y 24 horas de duración.

En la tabla I se muestra el proceso de cálculo de la precipitación media por el método de las Isoyetas en la cuenca del río Ayuda, para este mismo supuesto, teniendo como punto de inicio la isoyeta de valor máximo y considerando las distintas precipitaciones entre isoyetas adyacentes, según un esquema en el que la precipitación decrece gradualmente con la superficie acumulada de la cuenca y cuyo valor numérico final (75,7 mm) corresponde a la precipitación media de la misma.

Con este mismo propósito para las diferentes cuencas estudiadas e incluso para el conjunto del área investigada se ha utilizado el método de los Dos Ejes definiendo los diferentes esquemas biaxiales de referencia. Uno de estos trazados, el correspondiente a la cuenca del río Ayuda, se refleja en la figura 1. El resultado de aplicar el presente método a las condiciones del supuesto anterior se muestra en la tabla II. Dicha tabla constituye la plantilla de cálculo simplificada, en la que a partir de las posiciones relativas de las estaciones pluviométricas existentes se define el resto de los parámetros geométricos, con lo que el único dato de entrada que precisa el programa para la determinación final de la precipitación media es la altura de lluvia de cada estación (precipitación en mm de la tabla II).

Además del ejemplo descrito, en el que se comprueba que los resultados obtenidos por uno y otro método son sensiblemente convergentes (75,7 y 77,2 mm por los métodos de las Isoyetas y el de los Dos Ejes, respectivamente), y a fin de verificar este hecho en un mayor número de casos, los dos métodos se aplicaron simultáneamente, por un lado, a otras

INTERVALO ISOYETAS (mm)	ISOYETA MEDIA (mm)	AREA ENTRE ISOYETAS (km ²)	AREA ACUMULADA (km ²)	PRECIPITACIÓN MEDIA (mm)
98-102	100,0	8,7	8,7	100,0
94-98	96,0	19,5	28,2	97,2
90-94	92,0	22,4	50,6	94,9
86-90	88,0	28,6	79,1	92,4
82-86	84,0	28,2	107,3	90,2
78-82	80,0	26,1	133,4	88,2
74-78	76,0	28,6	162,0	86,1
70-74	72,0	34,4	196,4	83,6
66-70	68,0	35,6	232,1	81,2
62-66	64,0	36,1	268,1	78,9
58-62	60,0	54,3	322,4	75,7

TABLA I. Cálculo de la precipitación media por el método de las isoyetas cuenca del río Ayuda (Aguacero T: 15 años y D: 24 horas).

veinticinco de las distribuciones pluviométricas teóricas complementarias a la de la figura 1 ya analizada, y elegidas de manera que estuvieran representados todos los rangos de precipitación estudiados, y, por otro, a las series de valores anuales correspondientes al periodo de observación 1978-88 de los veintidós asentamientos pluviométricos ya mencionados.

Con los datos obtenidos por uno y otro método, para cada una de las cuencas y para el conjunto de las mismas, se efectuó el análisis de correlación simple, cuyos resultados parciales se reflejan en la tabla III, definido en todos los casos por un modelo de ajuste lineal que presenta un muy elevado y significativo coeficiente de correlación, r , superior a 0,970 en todos los casos analizados (tabla III).

El siguiente objetivo consistió en detectar el grado de influencia de determinados factores naturales en las desviaciones numéricas encontradas entre los resultados obtenidos por uno y otro método para un mismo supuesto pluviométrico y sector de territorio (cuenca y región). En este sentido, como variables a explicar se han considerado (tabla III) la desviación máxima en valor absoluto de las precipitaciones medias calculadas (Δ máximo) y la media ponderada de las desviaciones ($\text{med } \Delta$ máx).

Como variables explicativas se han considerado la Superficie (S) y el Factor de Forma (FF) de cada cuenca o región. Este último corresponde al Índice de Gravelius que establece la circularidad de una cuenca y se define como la relación existente entre el perímetro de la cuenca y el de un círculo que tuviera su misma superficie. En consecuencia, dicho factor debería ser igual a 1 en una cuenca circular, tendría un valor de 1,157 en una cuenca semicircular y será tanto mayor cuanto más alargada sea la cuenca. En las cuencas en estudio el Factor de Forma presenta valores comprendidos entre 1,201 y 1,587 (tabla III), correspondiendo este último valor a la cuenca del río Inglares, lo que denota su notable alargamiento (figura 1).

El proceso analítico seguido con estas variables, análisis en componentes principales, se ha aplicado por separado a cada uno de los grupos de datos disponibles: regis-

ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS DE REFERENCIA	DISTANCIAS A LOS EXTREMOS DE LOS EJES (km)				DIS. MÁX. EJES (km)		DIS. EXT. EJES (a) (km)	ÁNGULO α (radianes)	PRECIPITACIÓN (mm)	PRECIPITACIÓN $\times \alpha$ (mm x rad)
	A	B	C	D	(c)	(b)				
ULIBARRI	29,9	22,2	17,7	30,8	29,9	30,8	12,6	0,42	96,2	40,1
GÁZETA	28,0	11,6	15,5	24,2	28,0	24,2	12,6	0,47	78,4	36,5
ARLUCEA	23,7	2,0	15,9	14,8	23,7	15,9	12,7	0,52	102,0	53,3
BAJAURI	22,5	10,1	19,3	10,6	22,5	19,3	12,7	0,60	86,1	51,5
VITORIA	19,8	17,0	7,4	21,0	19,8	21,0	12,6	0,63	76,0	47,5
GÁMIZ	20,1	11,5	8,8	19,0	20,1	19,0	12,6	0,65	71,9	47,0
ARRETA	10,4	16,4	2,6	12,2	16,4	12,2	16,8	1,23	69,5	85,2
BERNEDO	29,0	12,6	25,2	16,6	29,0	25,2	12,7	0,45	74,1	33,5
LAGRAN	22,7	13,5	21,3	10,2	22,7	21,3	12,7	0,58	75,0	43,7
PEÑACERRADA	12,1	18,7	15,8	1,8	18,7	15,8	16,7	1,00	66,7	66,6

[Precipitación Media = Σ (mm x rad) / $\Sigma \alpha$ = 77,2 mm]

TABLA II. Cálculo de la precipitación media por el método de los Dos Ejes cuenca del río Ayuda (Aguacero T: 1,5 años y D: 24 horas).

tros históricos anuales y precipitaciones teóricas, si bien con resultados comparables, por lo que únicamente vamos a comentar los relativos a los últimamente mencionados, que representan un mayor número de supuestos (25 casos). El análisis factorial (figura 2) pone de manifiesto altos valores absolutos de correlación de Factor de Forma (FF) con med Δ y con Δ máx, lo que, en principio, indica la existencia, en nuestro área concreta de estudio, de un cierto grado de influencia de esa variable explicativa en las variables a explicar. También presentan buena correlación med Δ y Δ máx. La Superficie (S), sin embargo, no presenta relación significativa con el resto de las variables consideradas.

Considerando todas las variables (caso A de la figura 2) las cuencas se distribuyen en el plano factorial I-II, con el 96% de la varianza acumulada, de acuerdo con el alargamiento de las mismas. Al considerar sólo tres variables (caso B de la figura 2), una vez eliminada med Δ altamente relacionada con Δ máx, y con el 95% de la varianza acumulada en el plano I-II, se observa un esquema de distribución similar, escasamente controlado por la superficie (S) y condicionado de forma mayoritaria por el factor de forma (FF), en base al cual las cuencas más alargadas (Inglares) se sitúan en el lado negativo del eje I.

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Desde un punto de vista general, el principal resultado que se deriva de este análisis es el hecho de que el Factor de Forma de una cuenca, o región, condiciona, en mayor medida que su Superficie, el cálculo de su precipitación media, al menos en la región investigada. La influencia de este parámetro (FF) es tal que a mayor alargamiento, es decir, mayor valor de FF, corresponde una menor desviación máxima (Δ máx) entre las precipitaciones medias calculadas por uno (Isoyetas) y otro (Dos Ejes) método.

Esto supone, que la precisión del cálculo por el método de los Dos Ejes, comparándolo con el de las Isoyetas, parece inferior en cuencas de mayor circularidad (menor valor de FF). Esta conclusión, a primera vista sorprendente, debe ser objeto de reflexión posterior, ya que en este análisis no se han considerado otras variables, difícilmente cuantificables, principalmente de orden atmosférico y geográfico (condicionantes de la dispersión de las precipitaciones), que en conjunto determinan la climatología de la zona.

En efecto, entre otras consideraciones que podrían tener una influencia significativa cabe señalar la posición geográfica que ocupa el sector estudiado en el contexto climático regional. Este sector coincide con una amplia banda de tran-

CUENCA		BERRÓN	AYUDA	IZKIZ	EGA	INGLARES	REGIÓN
Caracteres Generales	Superficie	132,5	322,4	57,1	83,7	92,1	687,8
	Factor Forma	1,201	1,335	1,344	1,388	1,587	1,506
Análisis P. Teóricas	Δ máximo	5,54	3,56	1,72	1,27	1,03	1,82
	med Δ máx	1,52	1,14	0,76	0,54	0,54	1,15
	r. (ejes-iso)	0,997	0,998	0,998	0,998	0,999	0,999
Análisis P. Teóricas	Δ máximo	74	69	67	60	27	42
	med Δ máx	38,67	28,33	40,33	24,33	9,00	29,50
	r. (ejes-iso)	0,985	0,987	0,979	0,989	0,993	0,998

TABLA III. Variables consideradas por cuencas estudiadas.

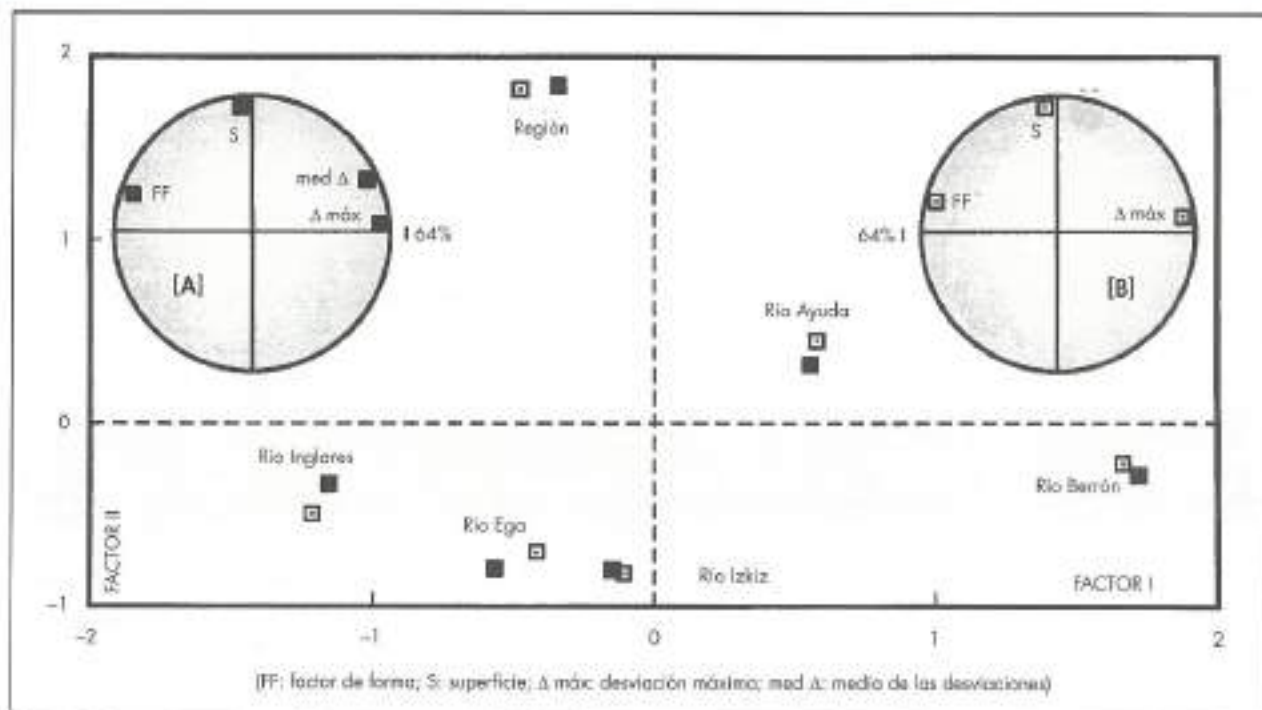


FIGURA 2. Representación de variables y cuencas en el plano factorial II.

sición climática (Ruiz Urrestarazu, 1982) localizada, de Norte a Sur, entre dos áreas relativamente alejadas, afectadas por sus correspondientes centros de acción. En consecuencia, estas áreas muestran caracteres climáticamente contrapuestos, con climas que van desde tipo oceánico, al Norte, en la vertiente cantábrica del País Vasco, a francamente continental, inmediatamente al Sur de la zona estudiada, en correspondencia a ámbitos geográficos bien diferenciados.

Por tanto, este esquema condiciona la existencia de una gradación climática Norte-Sur, en bandas paralelas, con paulatinas y locales variaciones de la precipitación, controladas por los factores geográficos dominantes que muestran una orientación general Este-Oeste asociada a la estructuración geológica regional, coincidente con algunas de las cuencas que muestran una significativa elongación, caso de la cuenca del río Ingleses.

Bajo este punto de vista, los resultados obtenidos son perfectamente comprensibles y justifican el hecho de que cuanto más alargada, en la dirección Este-Oeste, sea la cuenca analizada, mayor homogeneidad climática presenta ésta, y, por tanto, menores desviaciones en la estimación de la precipitación media. De manera opuesta, las cuencas que poseen una mayor circularidad incluyen diferentes bandas climáticas y, en consecuencia, presentan mayor heterogeneidad climática y menor precisión en la estimación. En realidad, la precisión depende en primer lugar de la varianza, o la dispersión, de la variable aleatoria representada por la precipitación media.

La inexistencia en la región investigada de cuencas alargadas en dirección Norte-Sur ha impedido poner en evidencia el peso específico condicionante del Factor de Forma en la estimación de la precipitación media para situaciones en las que el alargamiento de las cuencas implique la consideración de una clara heterogeneidad espacial en el régimen

de las precipitaciones. Esto será objeto de próximas investigaciones.

7. CONCLUSIONES

La estimación de la precipitación media para su aplicación en los más diversos problemas hidrológicos tradicionalmente se ha venido efectuando al amparo de dos métodos bien conocidos: el de los Polígonos de Thiessen y el de las Isoyetas. Sin embargo, uno y otro muestran ciertas dificultades de diseño y ejecución que, en la mayoría de los casos, se complican por la escasez y falta de registros.

En particular, el de las Isoyetas, a pesar de ofrecer la representación visual más precisa, es sumamente tedioso ya que requiere un conocimiento detallado de las superficies limitadas por isoyetas sucesivas. Así, y a no ser que el estudio esté precisamente orientado a analizar la distribución espacial de la precipitación o bien a confeccionar un diagrama de Precipitación-Área-Duración, para otro tipo de investigaciones en las que se precisa el cálculo de la precipitación media parece más práctica la utilización de otro método alternativo.

En este sentido, en el presente estudio se describe la metodología y se utiliza, con carácter experimental, el método de los Dos Ejes (Llamas, 1993), que presenta notables ventajas operacionales sobre el de los Polígonos de Thiessen y el de las Isoyetas. En efecto, este procedimiento es extremadamente versátil, adecuándose muy bien a las condiciones de escasez de información, situación bastante frecuente, por desgracia, en la red primaria de estaciones pluviométricas. Además, resulta ser de sencilla aplicación y, lo que es más importante, en el caso de determinaciones rutinarias, puede adaptarse mediante un sencillo programa informático para su ejecución en ordenador, con lo que el cálculo de la precipitación media se efectúa de forma automática e instantánea.

La aplicación del método de las Isoyetas y del de los Dos Ejes al cálculo de la precipitación media sobre cinco cuencas de la provincia de Álava y al conjunto de las mismas, ha mostrado la existencia de una correlación alta entre sus resultados ($r > 0,970$). Además, a partir de un análisis factorial, se ha evidenciado la influencia del Factor de Forma de las cuencas y, en particular, de las características climáticas dominantes de la región, en la precisión de la estimación de la precipitación media. Los resultados obtenidos por el método de los Dos Ejes en ningún caso se desvían más del 5% de los obtenidos con el método de las Isoyetas.

En consecuencia, el resultado del presente estudio es prometedor para la futura incorporación del método de los Dos Ejes a los estudios hidrometeorológicos y, principalmente, a las tareas de planificación hidrológica, en las que se requiere un exhaustivo y rutinario control de la red pluviométrica. Su aplicación en otras áreas geográficas permitirá ir concretando sus posibilidades en comparación con otros métodos que no han sido aquí utilizados.

8. AGRADECIMIENTOS

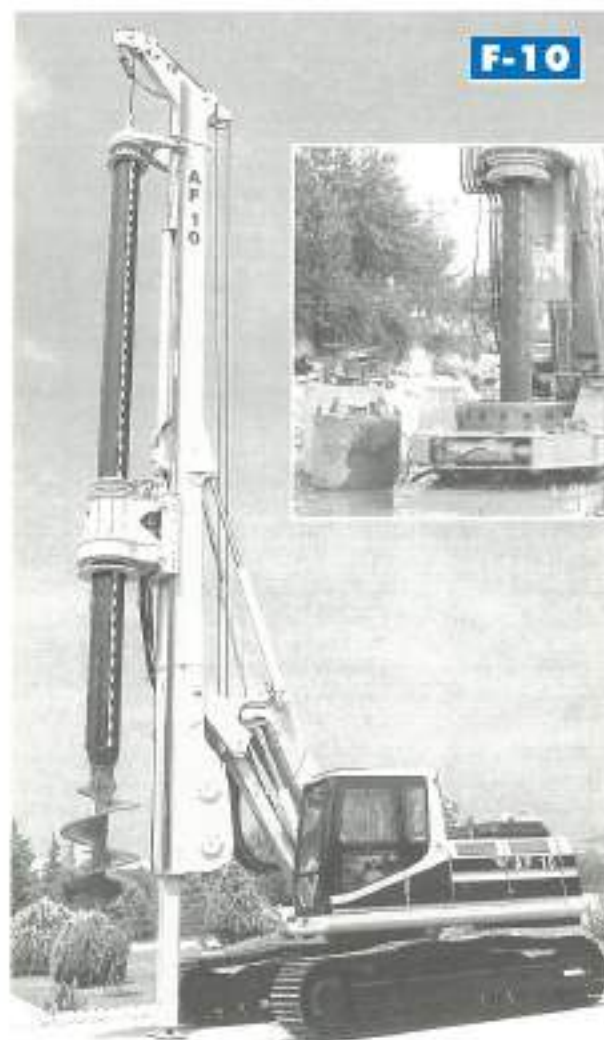
Este trabajo se ha desarrollado en el marco del Programa de Formación del Profesorado de la Universidad del País Vasco para la realización de Tesis Doctorales del que, en diferentes fases, se ha venido beneficiando uno de los firmantes. Por su colaboración, poniendo a nuestro alcance diversa información de índole hidrometeorológica, los autores expresan su más vivo agradecimiento a los componentes del Servicio Vasco de Meteorología, don José Antonio Aranda y don Rubén García de Andoin, al Centro Meteorológico Zonal del Golfo de Bizkaia del Servicio Nacional de Meteorología en Igeldo, en la persona de don Carlos García de Salazar, a don Clemente Prieto y colaboradores del Servicio de Hidrología de Iberduero, S.A. y a la Confederación Hidrográfica del Ebro, en las personas de don César Ferrer y Don Víctor Arqué.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ÁBALOS, B. y LLANOS, H. (1994). *Estructura of the "Sierra de Cantabria" (Southern Pyrenean Frontal Thrust, Basque Country, Spain): a new perspective from section balancing*. C.R. Acad. Sci. París, t. 319, série II, p. 475-481.
- BARRIERE, L.; BRETON, E.; CLAVET, P.; LAVOIE, S. y ROY, S. (1989). *Etude de le Bassin Versant de la Rivière Montmorency. Project d'Hydrologie*. Université de Laval, Quebec.
- CHOUKROUNE, P.; MATTAUER, M. y RÍOS, L. M. (1980). *Estructura de los Pirineos*. Bol. Geol. Min. Madrid, 91: 213-248.
- LINSLEY, R. K.; KOHLER, M. A. y PAULHUS, J. L. H. (1982). *Hydrology for Engineer*, MacGraw-Hill, New York. N. Y., 3rd Ed.
- LLAMAS, J. (1990). *Planificación de la Red Pluviométrica de la República Dominicana*. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI-GTZ). Santo Domingo. (Inédito).
- LLAMAS, J. (1993). *Hidrología General. Principios y Aplicaciones*. Ed. Universidad del País Vasco, Bilbao, 2nd Ed.
- LLANOS, H. (1992). *Estudio Hidrogeológico de la Unidad de Urbasa Montes de Vitoria Treviño y Sectores Adyacentes*. Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco (UPV/EHU) Leioa. 334 p. + anexos.
- LLANOS, H.; GARFIAS, J.; BÀ, K. M.; ANTIGÜEDAD, I. y LLAMAS, J. (1995). *Aplicación de Modelos Hidrológicos Determinísticos al Análisis de Crecidas en la Cuenca del Río Ayuda (Provincia de Álava-País Vasco)*. Ingeniería Civil, CEDEX-MOPTMA, 18 p., Madrid (in press).
- RAMÍREZ DEL POZO, J. (1973). *Síntesis Geológica de la Provincia de Álava*. Edit. Caja de Ahorros Municipal. Vitoria-Gasteiz.
- RUIZ URRESTARAZU, E. (1982). *La Transición Climática del Cantábrico Oriental al Valle Medio del Ebro*. Ed. Excma. Diputación Foral de Álava, Vitoria-Gasteiz.



PERFORADORAS PARA PILOTES Y POZOS



F-10



AF16



805

IMT, contando con una moderna tecnología propia y con la experiencia de su equipo técnico, produce una gran variedad de máquinas perforadoras que gracias a un sistema de barrenación patentado dan al operador la posibilidad de afrontar agilmente todos los tipos de perforación en terrenos de cualquier naturaleza geológica.

IMT con su amplia producción de máquinas perforadoras para pilotes de cimentación, pozos de agua y otras numerosas aplicaciones, llega a satisfacer todas las exigencias, dando las soluciones óptimas a los complicados problemas que la perforación comporta. Las barrenadoras actualmente en producción son empleadas generalmente para los siguientes trabajos:

- Pilotes barrenados de 500 a 3000 mm de diámetro, hasta una profundidad máxima de 90 metros
- Pilotes de hélice continua (C.F.A.) para una profundidad máxima de 20 metros con 1000 mm de diámetro
- Diafragmas con pala hidráulica y Kelly Telescópico para una profundidad máxima de 40 metros y 1000 mm de diámetro
- Pozos de agua con máquinas sobre camión (MOD. 805 C) para un diámetro máximo de 1500 mm hasta una profundidad máxima de 52 metros.



AGENTE GENERAL PARA ESPAÑA

Dirección, ventas y servicio técnico

Polígono Industrial nº 12 • c/ IGARSA, s/n • 28860 Paracuellos del Jarama (Madrid)

Teléfonos: (91) 658 02 48 / 658 21 45 • Fax: (91) 658 23 37

También suministramos material usado y reacondicionado

INGENIERIA CIVIL



- Agronomía
- Obras Hidráulicas
- Ingeniería Sanitaria
- Estudios y Proyectos Medioambientales
- Ingeniería de Costas
- Ordenación del Territorio y Desarrollo Regional
- Geología y Minería
- Ingeniería del Transporte



INFORMES Y PROYECTOS, S.A.,
es una empresa de Ingeniería y Consultoría
con más de 25 años de experiencia en los campos
de la Ingeniería Civil, Industrial, de Recursos
Naturales y de Tratamiento de Residuos.

General Díaz Porlier, 49 - 28001 MADRID Tel. (91) 402 55 04 - 402 50 12 Fax (91) 402 13 91
Plaza Fernando Lassalle, 33 - 08029 BARCELONA Tel. (93) 415 00 17 Fax (93) 218 85 35
DELEGACIONES EN: SEVILLA, ZARAGOZA, GIJÓN, GALICIA, MURCIA Y VALENCIA



HAY CARRETERAS DONDE NI SIQUIERA MODIFAL PODRIA EVITAR EL AQUA-PLANNING.



PERO HAY OTRAS MUCHAS DONDE SI PODRIA. DONDE REDUCIRIA EL NIVEL DE RUIDOS (HASTA 3 DECIBELIOS). DONDE DISMINUIRIA LA FORMACION DE RODERAS Y FISURAS, Y RETRASARIA EL ENVEJECIMIENTO DEL FIRME AUN EN LAS CONDICIONES CLIMATOLOGICAS MAS EXTREMAS. REPSOL PRESENTA MODIFAL. EL PRIMER BETUN MODIFICADO EN EL QUE LA DISPERSION DE LOS POLIMEROS EN EL SENO DE LOS BETUNES ES PERFECTA Y HOMOGenea. ESTA HOMOGENEIDAD ES LA QUE PERMITE A MODIFAL CONSERVAR INTACTAS SUS PROPIEDADES AUN EN PERIODOS PROLONGADOS DE ALMACENAMIENTO. ALGUNAS VECES HAY QUE CAMBIAR ALGO PARA QUE TODO SIGA IGUAL. NOSOTROS HEMOS MODIFICADO NUESTROS BETUNES PARA SEGUIR SIENDO LIDERES EN ASFALTOS.



REPSOL PRODUCTOS ASFALTICOS, S. A.