

La caracterización climática regional como base de la planificación hidrológica. El caso del País Vasco

(The regional climatic characterization as base of the hydrologic planning. The case of the Basque Country)

Llanos, Hilario
Univ. del País Vasco
Dpto. de Geodinámica
Escuela Universitaria del
Profesorado

Juan Ibáñez de Santo Domingo, 1
01006 Vitoria-Gasteiz

Bâ, Khalidou; Garfias, Jaime
Univ. Autónoma del Estado de México
Fac. de Ingeniería
Centro Interamericano de Recursos
del Agua
Cerro Coatepec, s/n.
Ciudad Universitaria
Toluca, Estado de México
México

BIBLID [1137-8603 (1998), 13; 209-227]

El presente estudio está enfocado a la caracterización climatológica del conjunto de la Comunidad Autónoma Vasca cuyos resultados, bajo la forma de mapas temáticos, son de aplicación directa particularmente en el análisis y establecimiento de los balances hídricos, tanto a nivel de cuencas hidrográficas como de unidades hidrogeológicas, y, en general, en cualquiera de los trabajos de planificación hidráulica y de gestión de recursos hídricos que se puedan desarrollar en el futuro en el País Vasco.

Palabras Clave: Hidrología. Climatología. Precipitación. Análisis estadístico. Función de Distribución. Evapotranspiración. País Vasco.

Esku artean dugun ikerketa lan hau Euskal Kunitate Autonomoaren ezugarri klimatikoak kontrolatzera zuzendurik dago, emaitzak mapa tematiko gisa, azterketa eta balantze hidrikoak ezartzeko zuzeneko erabilgarritasuna duelarik, bai arro hidrografikoak edota unitate hidrogeologikoak izanik eta, orohar, Euskal Herrian baliabide hidrikoen etorkizuneari garatu daitekeen edozein planifikazio eta gestiorako oinarria.

Giltz-Hitzak: Hidrologia. Klimatologia. Euria. Estatistika analisisa. Banaketa funtzioa. Lurrin-transpirazioa. Euskal Herria.

Dans cet article on présente les caractéristiques climatiques dans l'ensemble de la Communauté Autonome Basque. Ses résultats, sous la forme de cartes thématiques, sont d'application directe dans l'analyse et l'établissement de les bilans hydriques tant au niveau des bassins hydrographiques que des unités hydrogeologiques, et, en general, dans n'importe quel travail de planification hydraulique et de management des ressources hydriques qu'on pouvaient développer à l'avenir dans le Pays Basque.

Mots Clés: Hydrologie. Climatologie. Précipitation. Analyse statistique. Fonction de Distribution. Evapo-transpiration. Pays Basque.

INTRODUCCIÓN

Como se sabe las características hidrológicas de una región vienen determinadas por su estructuración geológica y geográfica y, en especial, por el tipo de clima. Existen diferentes factores de índole climatológica que, en cierta medida, condicionan puntualmente estas características, como la presencia de hielo y nieve, los efectos del viento y la humedad ambiental; sin embargo en el presente estudio nos vamos a referir exclusivamente a la cantidad y distribución de las lluvias y al régimen térmico y su influencia en la evaporación del agua precipitada, que son los elementos básicos para la cuantificación de los recursos hídricos globales. De acuerdo con este esquema de trabajo se aborda en primer lugar el análisis de las precipitaciones que se inicia con la descripción metodológica para el complemento estadístico de datos a nivel mensual, lo que ha permitido disponer de series reconstituídas a un periodo común de 40 años en un determinado número de estaciones pluviométricas, situadas tanto en el interior como en la periferia de la Comunidad Autónoma Vasca. A partir de esta información básica se han establecido para cada estación las precipitaciones interanuales para años medios, secos y húmedos cuyos resultados se resúmen en los correspondientes mapas de isoyetas.

Así mismo, se ha abordado un breve estudio de precipitaciones máximas en 24 horas como paso previo e indispensable para el establecimiento, en términos probabilísticos, del orden de magnitud de las aportaciones esperadas en distintos puntos del territorio, con aplicación directa en la planificación hidráulica en general y, fundamentalmente en nuestro caso, para el análisis y modelización de hidrogramas de manantiales asociados a acuíferos carbonatados de tipo kárstico, estos últimos de gran transcendencia e interés en el panorama hidrogeológico de la Comunidad Autónoma. En este sentido, se presentan los resultados de un análisis comparativo entre algunas de las funciones teóricas ya clásicas (Gumbel y Log-Pearson III), hasta ahora más comunmente utilizadas, y una nueva función de distribución de orden superior (Beta-Jacobi). En segundo lugar se analizan las temperaturas medias mensuales y anuales, a partir de las cuales, y en combinación con las precipitaciones, se han calculado las evapotranspiraciones potenciales y reales por los métodos más usuales. Finalmente, se esboza un intento de clasificación climática en base a una serie de índices climáticos e hidrológicos que, en general, muestran una significativa variación de acuerdo con la latitud geográfica en correspondencia a la notable diversidad orográfica del territorio.

PRECIPITACIONES ANUALES

Las precipitaciones constituyen sin duda uno de los elementos principales del conjunto de datos previos al cálculo de los recursos hidráulicos. Su estudio se ha abordado con la recopilación de los datos pluviométricos de las estaciones situadas tanto en el interior como en las inmediaciones de la superficie estudiada, y a tal fin se ha dispuesto de la información debidamente recogida en diferentes organismos oficiales (Servicio Nacional de Meteorología, Gobierno Vasco) y entidades privadas (Iberduero, Diputación Foral de Alava), así como en el proyecto PROSER (1983) previo a la elaboración del Plan Hidrológico Vasco. Sin embargo, todo este acúmulo de información se caracteriza por una desigual calidad y longitud de sus registros motivadas por diversas circunstancias y hechos acaecidos durante los propios periodos de muestreo, como interrupciones temporales durante el periodo de observación, modificaciones de las condiciones climáticas en el entorno de una estación, etc. En este sentido, se ha prestado una atención especial al análisis de los datos de partida (series históricas) ya que la veracidad de las conclusiones del estudio depende en gran manera de la calidad de la información disponible.

Por este motivo en una primera fase se ha procedido a un procesamiento primario de la calidad de los registros (Llamas, 1989). Dicho procesamiento consiste en tratar de detectar los errores cometidos durante la obtención y consignación de los valores de las muestras (errores en la lectura y escritura, instrumentación inadecuada, cambios de escala, etc.), la mayor parte de los cuales pueden ser detectados con facilidad. Así, de las 239 estaciones pluviométricas en un principio disponibles se excluyeron 42 por alguna de estas razones, además de por carecer de datos durante un período mínimo de tiempo aconsejable. Posteriormente se comprobó la consistencia de los datos al objeto de corregir errores sistemáticos y deducir los valores medios anuales de las series incompletas, utilizando el método de correlación ortogonal de las curvas de dobles acumulaciones, también llamado de dobles masas.

Este procedimiento, ya conocido y frecuentemente aplicado, consiste en comparar los valores de precipitación anuales, acumulados de una estación, con los respectivos valores acumulados correspondientes a otra estación previamente controlada o incluso a los valores medios, igualmente acumulados, de un grupo de estaciones próximas con datos homogéneos entre sí e integrantes de una misma región climática. El resultado final es una línea cuya inclinación constituye la constante de proporcionalidad para cada estación y observatorio de referencia, o grupo afín correspondiente, de manera que un cambio de su pendiente representa una modificación en el régimen de los registros de precipitación de la estación cuya serie se comprueba. La representación de esta recta nos indica el grado de inconsistencia de la serie, esto es, si contiene errores sistemáticos entorno al valor real, o de heterogeneidad, que apuntan a cambios en las condiciones de la estación y que, en consecuencia, afectan a la estructura de la serie.

Para ello se subdividió la zona de estudio en áreas más restringidas y climáticamente homogéneas, en concreto se definieron 9 distintos agrupamientos atendiendo principalmente a criterios de relieve, morfológicos, dirección preferente de los frentes de lluvia, etc, considerando finalmente a las estaciones de Oyarzun, Igueldo, Eibar, Sondica, Amurrio, Aranzatzu, Vitoria, Miranda de Ebro y Haro como observatorios pluviométricos base, ya que presentan una mayor extensión y fiabilidad de sus series temporales. Posteriormente, dentro de cada zona, se efectuó el cálculo de la correlación ortogonal a nivel anual, de cada estación con el observatorio de referencia, desechándose básicamente por la inconsistencia de los registros 52 estaciones. En general, en aquellas estaciones consideradas como aceptables (145) no ha sido necesario efectuar correcciones en profundidad, si bien en alguna de ellas se detectaron errores en su estructura de cierta importancia a partir de un determinado período, que coincidió con el cambio del dispositivo de medida de la estación y que, en consecuencia, hubo que subsanar. Con todo ello se eligió el período 1945-1985, suficientemente amplio para poder analizar adecuadamente posteriores parámetros climáticos.

No obstante, existen numerosas estaciones que presentan importantes lagunas de información, generalmente correspondientes a períodos cortos, y que, por consiguiente, han tenido que ser completadas. El procedimiento seguido consistió en establecer la matriz de correlación a nivel mensual entre las estaciones consideradas. Posteriormente, en base a los criterios de sectorización climática ya descritos, se seleccionó para cada estación con déficit de información la ecuación de regresión múltiple, de tipo lineal, más ajustada prefijando coeficientes de correlación no inferiores a 0.85. Además, se tuvo en cuenta la información relativa de las diferentes muestras, las originales y la completada, determinando previamente en cada caso el número máximo de datos posibles a completar, ya que para que la generación de nuevos datos tenga sentido es condición indispensable que exista una ganancia en la

información, lo que en términos estadísticos implica que la muestra completada deba presentar igual o menor varianza que las originales.

Como ya se ha esbozado, entre los métodos estadísticos para la estimación de valores mensuales se ha utilizado el de regresión múltiple por el que se trata de definir para cada estación a completar (a nivel mensual) un modelo que describa la relación entre una variable dependiente (la incompleta) y otras independientes (estaciones con valores comunes), también llamadas explicativas, expresado mediante una ecuación matemática o combinación lineal de variables que posea el mayor coeficiente de correlación o de determinación. El establecimiento de estas ecuaciones se ha efectuado de forma automática por el procedimiento de regresión *Pas à Pas* también conocido como *Stepwise Multiple Regression* (Neter et al., 1985).

Se trata de un método interactivo que permite la búsqueda de la combinación de variables independientes más adecuada para la ecuación de regresión, de tal modo que en cada etapa de cálculo una nueva variable es seleccionada para ser añadida a la combinación previa, siempre y cuando esta variable proporcione una ecuación más ajustada con el resto de las variables y un mayor coeficiente de determinación. Este proceso de optimización se continúa hasta que se alcanza un número fijo de variables de suerte que la adición de cualquier otra variable no suponga una mejora de la información o lo que es lo mismo no aporte en términos estadísticos una contribución significativa a la varianza explicada.

De acuerdo con esta metodología el análisis se aplicó a los registros mensuales de los 145 asentamientos pluviométricos considerados como aceptables, obteniéndose finalmente los totales anuales para cada año hidrológico, por suma de las mensualidades parciales, y la precipitación media en cada estación para el periodo de tiempo prefijado de 40 años (1945-1985). En la figura 3, se suministran, entre otros, los valores de las precipitaciones totales anuales correspondientes a algunas de las estaciones estudiadas. Se observa que la precipitación máxima para años medios corresponde a los asentamientos de Elduayen y Gorbea (estación de Zastegui; GEV, 1993) con 1995 y 1864 mm. respectivamente, que desciende significativamente hasta los 656 mm y 443 mm de los observatorios más meridionales de Salinas de Añana y Villabuena.

La distribución de la precipitación a lo largo del año, se muestra de forma gráfica en la figura 14, en las que se han reflejado las precipitaciones medias mensuales de 10 de las estaciones que se han retenido como significativas por sus resultados en el cálculo de la evapotranspiración y en el estudio de balances anuales medios de agua en el suelo, aspectos estos que se tratarán posteriormente. Así, en líneas generales se observa que las máximas precipitaciones por término medio tienen lugar en invierno, durante los meses de Noviembre a Febrero, y las mínimas se suceden dentro de la época estival, especialmente en el mes de Julio. Sin embargo, a nivel de vertientes se observan sensibles diferencias entre las estaciones situadas a uno y otro lado de la divisoria hidrográfica principal. Así, mientras en la vertiente cantábrica el periodo más húmedo corresponde a los meses de Noviembre y Diciembre, en la mediterránea comparativamente se observa un ligero desplazamiento hacia los meses de Enero y Febrero.

Para el estudio de la distribución areal de las precipitaciones se ha confeccionado el mapa de isoyetas (figura 1) por simple interpolación, mediante un sistema de cartografía asistida por ordenador (*kriging*), utilizando la información ya procesada y ajustada de las 145 estaciones consideradas. Además, para ciertos sectores (caso de las Sierras de Aitzgorri y Aralar principalmente), cuya especial orografía ha supuesto de antaño una barrera para la

generación de información de forma continuada, se utilizaron registros fragmentarios de precipitaciones obtenidas por totalización durante periodos cortos de observación creándose los correspondientes ficheros que se complementaron mediante extrapolaciones de carácter fundamentalmente geográfico y topográfico a partir de registros observados o deducidos en las estaciones adyacentes (Llanos et al., 1997).

La clasificación entre años secos y húmedos se ha efectuado a partir de los registros anuales, deducidos en la fase anterior, considerándolos como una variable aleatoria cuya distribución puede ajustarse a una ley de tipo frecuencial. Como ley apropiada para la estimación de valores medios se ha utilizado la Función Normal con dos momentos, de modo que la separación por categorías pluviométricas se efectúa con arreglo a diferentes intervalos de frecuencia en valor absoluto (Heras, 1970). Por este procedimiento se han definido para la totalidad de las estaciones las características pluviométricas, sucesivamente esperadas, para años muy secos, secos, medios, húmedos y muy húmedos. En la figura 2, y a modo de ejemplo, se muestra de forma gráfica la aplicación práctica de este método para 3 de las estaciones consideradas, a partir de los registros muestrales ordenados en sentido decreciente (puntos de la gráfica) y el correspondiente ajuste matemático a la citada Función Normal (línea continua).

Así mismo, en la figura 3 se recogen algunos resultados parciales para los diferentes intervalos estadísticos, establecidos en 10 estaciones representativas de las diferentes zonas climáticas de la Comunidad Autónoma, comprobándose, en líneas generales, una mayor dispersión de las precipitaciones en los asentamientos correspondientes a áreas montañosas que en el resto del territorio. Este comportamiento se patentiza aún más si cabe si analizamos los mapas de isoyetas para los años húmedos y secos definidos para el conjunto de la Comunidad (figuras 4 y 5), a pesar de que excepcionalmente existen zonas no excesivamente elevadas que muestran los más altos índices de dispersión y mayor pluviosidad, caso del extremo nororiental de la provincia de Guipuzcoa, lo que se explica por su especial posición en continuidad con la Cadena Pirenaica, y, por tanto, sometida al influjo del clima, de tipo subalpino, reinante a lo largo de esta megaestructura.

Además, existe un segundo aspecto que no debemos olvidar y que afecta igualmente al orden de magnitud de estas variaciones. Se trata de la influencia de las características y del desigual predominio de los eventos meteorológicos dominantes en diferentes sectores del territorio (Llamas, 1989), que básicamente responden a dos tipos de fenómenos de generación de lluvias, asociados bien a mecanismos convectivos (lluvias locales) o a frentes de lluvia regionales (lluvias afectando a grandes áreas). En este sentido, particular interés muestran las precipitaciones intensas asociadas a circulaciones atmosféricas de tipo convectivo concentradas sobre pequeñas superficies del territorio cuya contribución al volumen de la precipitación anual puede llegar a ser importante, en especial en las estaciones situadas en la vertiente cantábrica, al Norte de la alineación montañosa comprendida entre la sierra de Aralar y las elevaciones de Ordunte, estas últimas localizadas ya en el occidente vasco.

La diferente distribución de procesos irregulares (convectivos) existente en el conjunto de la Comunidad Autónoma explicaría además los desiguales resultados obtenidos a partir del análisis del gradiente pluviométrico abordado a nivel de vertientes. Dicho gradiente, también llamado factor orográfico, por el que se establece la variación de la precipitación con la altura, puede definirse mediante una ecuación matemática de tipo lineal. En la figura 6 se muestran los resultados de dicho análisis para las vertientes por separado constatándose para la vertiente cantábrica una relación escasamente consistente definida por un bajo valor del coeficiente de correlación ($r=0.22$), a diferencia de la mediterránea en la que existe una

relación más estable caracterizada por un coeficiente de correlación francamente significativo ($r=0.70$). Estos resultados, por tanto, apuntarían a un mayor irregularidad de las precipitaciones, con predominio de fenómenos convectivos, en la vertiente cantábrica y, en especial, en la franja costera, que contrasta, en términos de uniformidad meteorológica, con la mayor homogeneidad existente en la vertiente mediterránea, básicamente la Provincia de Alava si exceptuamos el Valle de Ayala ocupado por la cuenca alta del río Nervión, caracterizada por mecanismos que responden más bien a esquemas de lluvias frontales de orden regional, como corresponde a una región de mayor continentalidad (Ruiz Urrestarazu, 1982).

La aplicación práctica de estos aspectos, escasamente reportados, es de una gran importancia en la planificación hidrológica, ya que en buena parte de los estudios hidrometeorológicos realizados hasta el presente se parte invariablemente de una pretendida consideración poco verosímil, por la que imperativamente debe de haber un incremento constante de la precipitación con la altura, de modo que muy comunmente se utilizan relaciones empíricas sin la necesaria validación para extrapolar y, finalmente, asignar valores de precipitaciones en zonas en las que no existe información alguna. Este hecho, extensible de algún modo a los estudios hidrogeológicos en particular, pudiera dar lugar en ciertos casos a la sobreestimación de los recursos subterráneos interanuales de determinadas unidades hidrogeológicas, especialmente las asociadas a los principales accidentes orográficos como los macizos de Gorbea y Aratz-Aitzgorri, entre otros, de ahí la urgente necesidad de disponer de documentos actualizados, como los presentes (mapas de isoyetas para diferentes regímenes pluviométricos anuales), que posibiliten una más adecuada y realista caracterización climatológica de la Comunidad Autónoma Vasca.

PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS

El análisis de precipitaciones máximas es uno de los objetivos prioritarios para el diseño y toma de decisiones de toda política hidráulica. A nivel mundial existen numerosos ejemplos que ilustran adecuadamente la importancia socio-económica de la previsión de eventos extremos, cuyas consecuencias gravitan pesadamente sobre la economía de gran número de países, sin contar con las pérdidas humanas cuyo valor no tiene precio. En este sentido, la Comunidad Autónoma Vasca no constituye una excepción a esta regla, baste recordar los fuertes episodios lluviosos que tuvieron lugar durante el mes de Agosto de 1983 que ocasionaron importantes y extensos daños particularmente en la vertiente cantábrica, situación que parcialmente se ha venido reproduciendo aunque de forma puntual hasta el presente. En tales situaciones se suele considerar que la onda de la crecida únicamente está asociada a la generación de escorrentías superficiales a nivel de cuencas hidrográficas independientes. Esta suposición que subestima la contribución de las componentes subterráneas al hidrograma resultante es en cierto modo correcta en cuencas en las que la composición litológica es mayoritariamente de carácter impermeable.

Sin embargo, en el País Vasco existen ciertos casos que no se corresponden del todo con este esquema de generación de crecidas, en los que las aportaciones subterráneas pueden llegar a ser volumétricamente importantes. Tal es el caso de algunas unidades hidrogeológicas como las de los macizos de Gorbea y Aitzgorri, por solo citar algunas de ellas, localizadas en cabeceras de cuenca, en las que la precipitación, especialmente cuantiosa, es recargada a través de afloramientos karstificados de elevada permeabilidad y escaso recubrimiento edáfico. En dichos casos el agua subterránea puede llegar a circular con flujo turbulento y a velocidades inusualmente altas a lo largo de una compleja red de conductos y

fracturas que internamente poseen estos materiales, presentando finalmente un régimen de descarga a través de manantiales análogo al de la escorrentía superficial, el cual ocasionalmente puede llegar incluso a ser superado en importancia.

Por estos motivos, y teniendo en cuenta el carácter aleatorio de la precipitación parece justificado abordar el presente análisis bajo un punto de vista probabilístico, ya que es el procedimiento científico más adecuado para la estimación de eventos que puedan producirse en un futuro y cuyo período de ocurrencia y magnitud no pueden en principio predecirse con exactitud. Existen, no obstante, algunas objeciones que pueden aducirse cara a la correcta aplicación de estos métodos de análisis, y es que en ocasiones muestran escasa relación con las hipótesis de partida. En efecto, estas leyes están a menudo fundamentadas sobre hechos que no representan la realidad física del fenómeno y principalmente el punto más discutible para su utilización es la escasa información que algunas de ellas necesitan para la elaboración de la función explicativa del fenómeno. Por ello, actualmente en los estudios hidrometeorológicos se tiende a tener en consideración la información global, tanto física como numérica de un fenómeno, de manera que el conjunto de estas características contribuya a optimizar el resultado de los mismos.

En general, el análisis de un fenómeno como el que aquí se trata, se aborda a partir de datos u observaciones previas, las cuales pueden ser tratadas como variables aleatorias (Llamas, 1978), esto es, como realizaciones parciales de un fenómeno (muestra) en el conjunto de resultados posibles (población). Además, todos los conocimientos estadísticos que pueden adquirirse de este tipo de fenómenos están contenidos en su función de distribución, la cual concentra toda la información en términos de frecuencia, de modo que el conocimiento o la evaluación de esta función, o de su derivada, función de densidad de probabilidad, es el objetivo principal de todo análisis estadístico. Numerosas funciones de distribución han sido adaptadas al análisis de frecuencias en estudios hidrometeorológicos cuya elección, en cada caso, depende de las propias características físicas del fenómeno que se investiga y de la calidad de las muestras disponibles (Chow, 1964).

De las diferentes funciones apropiadas para el tratamiento de valores extremos, se han utilizado dos funciones clásicas con un número reducido de momentos, Gumbel tipo I y Log-Pearson III (Gumbel, 1969; Kite, 1977; Bobée et al., 1991), cuyos resultados se han complementado con la aplicación de una tercera función de distribución de orden superior, Beta Jacobi (Díaz Delgado, 1991), la cual en principio permite extraer la máxima información posible contenida en una muestra. El análisis, por tanto, se inició con la selección y la recopilación de la información que se centró en los registros pluviométricos correspondientes a los eventos de máxima precipitación anual. El siguiente paso consistió en determinar para cada estación las precipitaciones teóricas esperadas, en términos frecuenciales, mediante el ajuste a las funciones de distribución ya mencionadas. El cálculo de la probabilidad de la función experimental en todos los casos fue común, en base a la fórmula de Weibull (Chow, 1964), y la comprobación de su grado de ajuste a las funciones teóricas se realizó de acuerdo con el Test de Kolmogorov-Smirnov (Llamas, 1989), para un nivel de confiabilidad del 95%.

En la figura 7 se muestra, a título de ejemplo para el observatorio de Igueldo, la función experimental (secuencia de puntos) y las curvas de variación de frecuencia de las diferentes funciones teóricas utilizadas correspondientes a las precipitaciones máximas habidas en 24 horas. Hay que indicar que para su representación se ha empleado como base el papel probabilístico tipo Gumbel, razón por la que su ley teórica, doblemente exponencial, presenta un trazado recto. En general, las tres funciones de distribución reproducen satisfactoriamente el mismo fenómeno, por lo que en principio la aplicación de una u otra estaría perfectamente

justificada. Además, en conjunto las funciones de Log-Pearson III y Beta-Jacobi no parecen tener entre sí diferencias de estimación importantes en todo su desarrollo y en general convergen con la ley de Gumbel tipo I para los valores de frecuencias intermedios. En la figura 8 se recogen algunos resultados analíticos obtenidos para diferentes estaciones incluyendo para cada función ensayada los valores de las precipitaciones teóricas para distintos supuestos de probabilidad o periodo de retorno, esto es, la esperanza matemática del intervalo de tiempo (en años) en que un determinado valor sea alcanzado al menos una vez. En ella se observa una disminución de las precipitaciones desde la costa hacia el interior y zona meridional de la Provincia de Alava, destacando los altos valores deducidos para la estación de Sondica, como corresponde a una zona de elevada irregularidad meteorológica caracterizada por una mayor ocurrencia de fenómenos convectivos.

Los resultados obtenidos para el conjunto de los asentamientos permiten la confección de mapas de isoyetas para eventos de diferente periodo de ocurrencia e igual duración (24 horas). Sin embargo, para que este tipo de documentos muestre adecuadamente la realidad física del fenómeno, las muestras deben poseer una longitud mínima aconsejable, en años, al menos igual que el periodo de retorno para el que se desea efectuar una predicción, y además deben corresponder deseablemente a un mismo periodo de observación común. Desgraciadamente esta situación no es la más habitual en la Comunidad Autónoma Vasca, existiendo una elevada cantidad de estaciones en las que el número de datos es insuficiente para predecir la ocurrencia de un evento no registrado, si bien siempre es posible extrapolar hasta un periodo de retorno superior, pero teniendo en cuenta que su magnitud es inversamente proporcional a la fiabilidad en la predicción. Por este motivo, y a modo de ejemplo, en la figura 9 se muestra uno de los supuestos pluviométricos fundamentado en la utilización de la ley de Gumbel y deducido en un estudio precedente (Llanos et al., 1995). En concreto se trata de la distribución de la precipitación para un aguacero con un periodo de retorno de 25 años y 24 horas de duración, correspondiente a un ámbito geográfico de aplicación que cubre la totalidad de la Provincia de Alava y parte de los sectores meridionales de Vizcaya y Guipuzcoa ocupados por las unidades kársticas de Gorbea y Aitzgorri, ya comentadas, en las que especialmente este tipo de fenómenos reviste gran interés.

TEMPERATURAS

El estudio de las temperaturas es de una gran importancia ya que constituyen el punto de partida para el cálculo de la evapotranspiración en una cuenca o región, de modo que su análisis se ha efectuado paralelamente al de las precipitaciones siguiendo un esquema metodológico análogo. En consecuencia, su estudio se ha estructurado en las distintas fases ya descritas, desde la propia recopilación de la información hasta la confección de mapas de isovalores, en este caso de isotermas, pasando por el procesamiento primario, corrección y restitución de series, por lo que no vamos a incidir en sus aspectos descriptivos. No obstante, en el análisis de las temperaturas existe, en comparación con el de las precipitaciones, una dificultad añadida y es que, en general, los datos termométricos suelen ser más escasos que los de precipitación y, por tanto, más complejos de tratar. En este sentido, el presente estudio no ha supuesto una excepción a esta regla de modo que de partida sólo se han dispuesto de los datos termométricos de 70 estaciones, habiéndose eliminado posteriormente 15 estaciones por diferentes motivos, quedando finalmente 55 estaciones cuya información se ha homogeneizado y completado a un periodo común de 30 años de observación (1950-1980).

Es obvio que con esta escasez de estaciones no pueden establecerse con exactitud los valores medios de aquellas zonas en las que particularmente se requiere el conocimiento de este parámetro. Podría, sin embargo, haberse intentado asignar valores termométricos teóricos a algunas de las estaciones pluviométricas que no los poseyeran, en base a un estudio de correlación de las temperaturas con la altitud, similar al desarrollado para el establecimiento del gradiente pluviométrico. Este método, que se aplica en casos extremos de absoluta falta de información en los que es necesario restituir de algún modo los datos termométricos a estaciones donde sólo existen datos de precipitación, resulta en ocasiones excesivamente artificioso, dando lugar a errores de estimación importantes, por lo que no se ha creído oportuno su aplicación.

La evolución de las temperaturas mensuales medias a lo largo del año, se muestra gráficamente en la figura 16, para 10 de las estaciones consideradas como representativas para el conjunto de la Comunidad Autónoma, observándose que oscilan ampliamente entre los 2.4°C de la granja experimental de Iturrieta (Sierra de Entzia) en el mes de Enero y los 22.2°C en la estación de Villabuena durante el mes de Julio. A nivel anual las temperaturas muestran una cierta homogeneidad en lo referente a su distribución espacial, con máximos y mínimos netamente diferenciados, si bien básicamente comprendidas entre los 10°C y los 14°C, como se deduce del mapa de isotermas medias anuales de la figura 10.

Los valores mínimos se corresponden con la alineación montañosa de Aralar-Gorbea y con las elevaciones adyacentes de la Sierra de Urbasa, localizadas inmediatamente al Sur, cuyas medias oscilan en torno a los 9°C (9.18°C en la estación de Iturrieta, figura 14). Además se observa un aumento gradual de las temperaturas al Norte y Sur de estos accidentes orográficos pudiendo existir algún máximo relativo como el individualizado en el sector de Villabona. De acuerdo con este esquema de distribución, las temperaturas más suaves se localizan hacia el límite meridional de la Comunidad Autónoma, en concreto en la comarca de La Rioja Alavesa, con temperaturas medias cercanas a los 13°C (12.67°C en la estación de Villabuena, figura 14), y a lo largo de la zona costera en la que puntualmente se llegan a alcanzar los 14°C (13.65°C en el observatorio de Sondica, figura 14).

EVAPOTRANSPIRACIONES

La evaporación y la evapotranspiración son fenómenos naturales de gran importancia y constituyen uno de los componentes principales del ciclo del agua cuya estimación, tanto a nivel de cuenca como de unidad hidrogeológica, por lo general, se suele realizar por simple diferencia con el resto de parámetros hidrometeorológicos. Es indudable el interés de conocer y cuantificar estas variables ya que representan las pérdidas de agua que deberán necesariamente integrarse en el tratamiento del balance hídrico. Para ello, se ha partido del tratamiento de datos meteorológicos y climáticos siguiendo un esquema de análisis que se inicia con el cálculo de la evapotranspiración potencial y real para finalizar con la estimación de la lluvia útil.

EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

La evapotranspiración potencial es un concepto de enorme interés ya que permite cuantificar el grado de evaporación que tiene lugar en una cuenca o región sin necesidad de acudir a estimaciones indirectas, eliminando así la incertidumbre y los propios errores que entraña la aplicación de estos últimos procedimientos. Dicho concepto se define como el total de

agua evaporada y transpirada cuando la vegetación existente dispone en el suelo de la necesaria para su desarrollo y existe en el suelo agua suficiente para mantener la evaporación.

Existen diferentes métodos, todos ellos basados en formulaciones empíricas más o menos complejas, para el cálculo de la evapotranspiración potencial, como el método de Penman, Turc y Thornthwaite. Sin embargo, en el presente estudio se ha utilizado el de Thornthwaite, el cual requiere un menor número de parámetros climáticos a diferencia de los anteriores que consideran determinadas variables, como la humedad relativa, la velocidad del viento, etc., únicamente disponibles en aquellos asentamientos dotados del instrumental científico adecuado, como es el caso de los observatorios base de la red primaria. Además, el método de Thornthwaite (Thornthwaite y Mather, 1955) es un procedimiento suficientemente contrastado a nivel mundial y ampliamente utilizado en el campo de los estudios hidrometeorológicos que permite en nuestro caso en concreto determinar la evapotranspiración potencial en todas y cada una de las estaciones termopluviométricas seleccionadas, proporcionando así una red de registros lo suficientemente densa que permita el exámen areal de esta variable a nivel de la Comunidad.

De acuerdo con este autor, para la determinación de la evapotranspiración potencial en cada estación solamente se han de considerar las temperaturas medias mensuales y anuales registradas y otros datos, como el índice de calor mensual, ya estandarizado para cada asentamiento, y la latitud geográfica de cada uno de éstos. El cálculo de la evapotranspiración potencial se ha realizado por tanto para las 55 estaciones termopluviométricas seleccionadas en el presente estudio y sus resultados se muestran parcialmente de forma numérica en la figura 14 para 10 de estas estaciones, y de manera global para el conjunto de la Comunidad Autónoma mediante líneas de isovalores en la figura 11. Dado que la evapotranspiración potencial depende únicamente de la temperatura del lugar, el trazado de las isolíneas correspondientes muestra una distribución sensiblemente coincidente al de las isotermas medias anuales, con unos valores mínimos cercanos a los 640 mm en las áreas montañosas inmediatas a la divisoria hidrográfica principal, que se incrementan paulatinamente hasta los 740 mm deducidos para el sector más meridional de la Comunidad y para buena parte del litoral cantábrico.

EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL

La evapotranspiración real representa el porcentaje de precipitación perdido por la evaporación y el consumo de la vegetación. Para la determinación de la evapotranspiración real se han seguido los métodos de Thornthwaite y de Turc. El primero parte de los valores de evapotranspiración potencial ya calculados, contrastándolos con los de precipitación en cada una de las estaciones, a partir del balance hídrico a nivel mensual en el suelo, obteniendo finalmente la evapotranspiración real y los déficits y excedentes de agua correspondientes. Este cálculo debe necesariamente establecerse para una determinada capacidad de campo en función de diferentes valores de retención del terreno. En general, la determinación de los valores de retención no es sencilla debido al elevado número de factores que los condicionan. Entre éstos, los que más directamente intervienen son la textura y el diferente grado de desarrollo del suelo, así como la densidad y distribución de la vegetación en el entorno de cada una de las estaciones termopluviométricas. Los cálculos de la evapotranspiración real se han realizado para el año medio correspondiente al periodo de 30 años (1950-1980) para el que se han completado las series termométricas, considerando una sola hipótesis de capacidad de campo o reserva del agua directamente utilizable por las plantas de 100 mm.

Para la estimación directa de la evapotranspiración real se ha seguido el método empírico de Turc (1961), en función de la precipitación y de la temperatura media anuales. Además, se ha utilizado un tercer método alternativo (Becerril) por el que la evapotranspiración real se determina de forma indirecta a partir de la llamada escorrentía total, esta última definida empíricamente, como veremos posteriormente. Los resultados obtenidos por los diferentes métodos para las distintas estaciones se presentan en la figura 14. Los valores de evapotranspiración real calculados por el procedimiento de Thornthwaite, para la capacidad de campo mencionada, oscilan entre los 372 mm./año en Villabuena y los 709 mm./año de Oyarzun. De igual modo puede observarse que los obtenidos por el método de Turc varían entre los 391 mm./año y los 680 mm./año para las mismas estaciones respectivamente, valores todos ellos comparables con los deducidos por el método de Becerril (Heras, 1970).

La distribución espacial de la evapotranspiración real se muestra en la 12. En ella se han incluido las isóneas, en mm de precipitación, correspondientes a los métodos de Thornthwaite y de Turc constantándose, en líneas generales, una gran analogía entre las mismas con un trazado predominante, salvo excepciones, de dirección Este-Oeste. En valor absoluto ambos métodos muestran un franco incremento de Sur a Norte de la Comunidad Autónoma con valores mínimos en La Rioja Alavesa y máximos hacia la costa, en especial en el extremo nororiental de Guipuzcoa. Así mismo se observa como norma general un claro desfase entre los resultados obtenidos por uno y otro método, de modo que los valores establecidos por el procedimiento de Thornthwaite son siempre ligeramente inferiores a los deducidos por el método de Turc salvo en las zonas de una mayor pluviosidad, como la representada por el macizo del monte Gorbea, en las que esta relación tiende a igualarse, e incluso a invertirse como sucede en el área correspondiente al extremo occidental de la Cadena Pirenaica (Pirineos Vascos) en torno al macizo de Peñas de Aya.

LLUVIA ÚTIL

Una vez conocidas la evapotranspiración real y la precipitación es posible estimar la lluvia útil, esto es la fracción de la precipitación que contribuye a la aparición y mantenimiento de flujos en una cuenca o región. Esta componente del ciclo del agua, conocida como escorrentía total, posteriormente va a dar lugar a dos componentes que se diferencian por el modo en que tiene lugar el flujo del agua: superficial, circulando en dirección a los cauces por encima de la superficie topográfica, y subterránea, a través del terreno aprovechando la permeabilidad de los materiales allí existentes. La proporción correspondiente a cada una de estas componentes, entre las que puede distribuirse el volumen total de agua útil precipitada durante un ciclo hidrológico anual, dependerá, por tanto, de las características geológicas y geográficas, así como de las condiciones físicas, especialmente hidrodinámicas, de la red hidrográfica. Por este motivo ha parecido oportuno determinar este concepto para el conjunto de la Comunidad ya que, en última instancia, y a falta de las necesarias estaciones de aforos para el establecimiento de las aportaciones, tanto en manantiales como en cursos superficiales, va a permitir, de acuerdo con el diferente grado de infiltración, la cuantificación de los recursos subterráneos interanuales a nivel de unidades hidrogeológicas.

La lluvia útil se ha calculado para la totalidad de estaciones termopluviométricas por los métodos ya indicados de Thornthwaite y de Turc, mediante simple diferencia entre las precipitaciones anuales medias y la correspondiente evapotranspiración real anual, y los resultados se han contrastado con el procedimiento de Becerril (Heras, 1970), por el que se establece empíricamente la lluvia útil en función de la precipitación anual media y de un coefi-

ciente o parámetro que depende de las características climáticas de cada estación. En este último caso la lluvia útil se ha calculado considerando a las zonas sobre las que se asientan las estaciones pluviométricas como correspondientes a regiones climáticas medias que progresivamente hacia el Norte se tornan húmedas.

Los resultados numéricos para 10 de las estaciones se incluyen en la figura 14, con valores mínimos en la estación de Villabuena (51-93 mm de precipitación) y máximos en el entorno de localidad de Oyarzun (1380-1409 mm de precipitación). A pesar de estas oscilaciones numéricas hay que indicar que los resultados obtenidos por los diferentes métodos, en general, resultan ser bastante homogéneos si bien se observan unas mayores desviaciones porcentuales en las zonas más meridionales de la Provincia de Alava (estaciones de Zambrana y Villabuena). La repartición de la lluvia útil calculada por el método de Thornthwaite se muestra en la figura 13. En ella se reconoce un incremento de la lluvia útil desde las zonas relativamente más secas a las más húmedas con un trazado de las isólinas que en cierto modo recuerda la distribución de las precipitaciones anuales medias (figura 1), con máximos absolutos en torno a la divisoria hidrográfica principal y a lo largo de las elevaciones costeras de los macizos de Oiz y Peñas de Aya, que alternan con áreas y depresiones intramontañosas (valles de los ríos Urola y Nervión-Ibaizabal) en las que la lluvia útil es cuantitativamente mucho menor.

BALANCES DE AGUA EN EL SUELO

A fin de complementar el estudio de datos climatológicos se ha efectuado un análisis pormenorizado del balance hídrico para un determinado número de estaciones termopluviométricas. Dicho análisis se realiza gráficamente a partir de las relaciones existentes entre las precipitaciones y las evapotranspiraciones potenciales y reales, estas últimas obtenidas por el método de Thornthwaite, considerando la evolución simultánea de sus valores medios mensuales. La representación de estas variables en función del tiempo para 10 de las estaciones correspondientes a diferentes ámbitos climáticos de la Comunidad se incluyen en la figura 15. De este modo para cada estación se obtienen tres curvas, por lo que el área encerrada entre ellas, además del exceso o el déficit de agua, representa diferentes situaciones intermedias correspondientes al período, generalmente corto, durante el que se detraen las reservas de agua existentes en el terreno para cubrir la demanda de evapotranspiración potencial, así como a los momentos, bien finales o iniciales del ciclo hidrológico en los que tiene lugar la recarga de agua en el suelo, hasta que nuevamente se equilibran las evapotranspiraciones potenciales y reales.

De la observación de la figura 15 se deduce que una sola de las estaciones consideradas (Oyarzun) muestra un claro balance positivo a lo largo de todo el año. En el resto de las estaciones por el contrario se constata que los balances para las evapotranspiraciones potenciales son negativos a partir de un determinado mes que varía con la ubicación y el grado de pluviosidad de los asentamientos. Así, mientras en las áreas próximas a la divisoria hidrográfica principal y en la región costera el déficit de agua se inicia a finales de primavera generalmente Mayo y, ocasionalmente, Junio (Arantzazu), en los asentamientos más meridionales, caso de Zambrana y Villabuena, el déficit de agua puede presentarse casi desde finales de invierno, siendo además comparativamente mucho mayor.

Por lo que se refiere a las evapotranspiraciones reales, y salvo en la ya mencionada estación de Oyarzun cuyos valores coinciden con los correspondientes a los de las potenciales a lo largo de todo el ciclo hidrológico, para el conjunto de la Comunidad Autónoma Vasca se

observa que, en general, no se incrementan del mismo modo que las potenciales, básicamente durante los meses de verano, al no disponer de suficiente reserva de agua el terreno, por lo que los déficits anuales son inferiores a los superávits, relación que, sin embargo, se invierte en aquellas estaciones donde las precipitaciones son las más bajas de toda la Comunidad (Zambrana y Villabuena, figura 15).

CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

Los numerosos sistemas concebidos para establecer los límites climáticos de una zona se basan principalmente en criterios de aridez/humedad y de temperatura. La aridez no es solo consecuencia de una precipitación escasa, sino que depende también de la que podríamos denominar precipitación efectiva (comparable al concepto de lluvia útil ya tratado: precipitación menos evaporación) y del tipo de vegetación y de su diferente grado de crecimiento. Este hecho ha motivado el considerar, en diversas clasificaciones, el llamado índice de efectividad de precipitación, que genéricamente se define como el cociente precipitación temperatura, ya que cuanto más elevada es ésta más intensa es la evaporación. En línea con estas consideraciones se han seguido diferentes clasificaciones climáticas dos de ellas con arreglo a los índices de aridez de Martonne y de Lang, una tercera en base a los diagramas ombrotérmicos de Gaussen y, finalmente, una cuarta a partir de los índices hidrológicos de Blair y de Thornthwaite, cuyos resultados, considerados de forma conjunta, permiten diferenciar los distintos regímenes de humedad existentes en la Comunidad Autónoma Vasca.

El índice de aridez de Martonne (Martonne, 1973) permite establecer la humedad relacionando a nivel anual la precipitación y la temperatura en diferentes estaciones termoplumiométricas. Los resultados obtenidos (figuras 14 y 16) arrojan escasa información ya que únicamente permiten fijar las zonas de clima árido en donde el índice de efectividad de la precipitación es menor (Villabuena), quedando englobado el resto de la Comunidad bajo la categoría genérica de clima húmedo ($I_a > 20 \text{ mm}/^\circ\text{C}$). De igual modo pueden hallarse los índices de aridez mensuales, y sus resultados pueden analizarse gráficamente. Las representaciones efectuadas para 10 de las estaciones termoplumiométricas (figura 16) indican que en siete u ocho meses (octubre-mayo), dependiendo de la localización de cada asentamiento, el índice mensual supera al índice de aridez anual medio. Se trata por tanto de aquellos meses en los que las precipitaciones son máximas y las temperaturas mínimas.

El índice de Lang (Aguilera et al., 1990) es en cierto modo análogo al de Martonne, estando expresado por el simple cociente entre la precipitación y temperatura del lugar. Presenta no obstante ciertas ventajas ya que a diferencia del anterior permite establecer una clasificación climática en tres diferentes grupos desde climas áridos a superhúmedos. De acuerdo con esta clasificación (figura 14) nuevamente la estación de Villabuena y en general la comarca de La Rioja Alavesa estaría caracterizada por un clima en el límite de la aridez ($I_a = 0-40 \text{ mm}/^\circ\text{C}$), la mayor parte del territorio correspondería a zonas francamente húmedas y un pequeño sector en torno a la estación de Oyarzun, así como áreas puntuales asentadas sobre las elevaciones que determinan la divisoria hidrográfica principal (Gorbea-Aitzgorri), estarían incluidas en la categoría de climas superhúmedos.

Por su parte, el índice de Gaussen (Viers, 1981) deriva conceptualmente del de Lang, si bien establece el límite de la aridez considerando como crítico el momento en que la relación precipitación temperatura es inferior a dos, en valor absoluto. A pesar de su sencillez es de gran utilidad ya que las correspondientes relaciones mensuales pueden expresarse bajo la forma del llamado diagrama ombrotérmico de Gaussen permitiendo definir los períodos de

tiempo biológicamente secos en una estación a lo largo de un ciclo hidrológico completo. Dicho diagrama muestra en realidad la evolución simultánea de los valores medios mensuales de las precipitaciones y temperaturas, y su representación se efectúa, una vez dibujada la curva de variación mensual de la temperatura, por superposición a ella de la curva de distribución mensual de la precipitación en mm, si bien esta última con arreglo a una escala doble respecto de la utilizada para representar la temperatura.

En la figura 16 se ilustran las curvas ombrotérmicas obtenidas para 10 de las estaciones consideradas pudiendo definir para cada una de ellas el número de meses sujetos a unas condiciones climáticas muy determinadas. En este sentido, las zonas pertenecientes a la vertiente cantábrica están caracterizadas por presentar meses húmedos a lo largo de todo el año (la temperatura siempre es superada por la precipitación), existiendo un único caso (estación de Amurrio) con un comportamiento, probablemente extrapolable a buena parte del Valle de Ayala, en el que esta relación se invierte durante el mes de Julio, aunque de manera incipiente. Por el contrario, en la vertiente mediterránea, y salvo el asentamiento de Iturrieta afectado de un régimen pluviométrico propio de un clima de montaña (Sierra de Urbasa), el resto de las estaciones muestran una clara inversión durante la época estival (la escala de temperaturas supera la de la precipitación), con un período árido que se acentúa gradualmente desde la latitud de Vitoria (mes de Julio) hasta posiciones más meridionales en las que dicho período llega a extenderse entre los meses de Julio y Septiembre (Villabuena, figura 16).

La notable influencia que la precipitación tiene en la generación de escorrentías, así como en el mantenimiento de humedad en los suelos, es el punto de partida del índice de Blair (Castiella et al., 1982; Strahler, 1984) que considera la distribución y altura de las lluvias como base de una clasificación climática alternativa. De acuerdo con este autor, en la Comunidad Autónoma existen cuatro tipos de clima, desde semiárido al Sur (250-500 mm, Villabuena) a muy húmedo al Noreste (>2000 mm, Oyarzun), pasando por las categorías intermedias de climas subhúmedo y húmedo, con lo que un mapa climático según este esquema de clasificación coincidiría básicamente con el mapa de precipitación anual media (mapa de isoyetas, figura 1). Sin embargo, esta clasificación, a priori de simple aplicación, es excesivamente parcial ya que no considera el diferente grado de evaporación que condiciona, a la postre, el porcentaje de precipitación que entra a formar parte de las reservas de agua en el suelo. En consecuencia, para poder disponer de una descripción lo más real y efectiva de nuestro medio climático parece más acertado acudir a un sistema de clasificación que tenga en cuenta simultáneamente la precipitación y la temperatura, a pesar de que el número de tipos climáticos sea comparativamente mayor.

En línea con estas últimas consideraciones se ha adoptado finalmente la clasificación de Thornthwaite (Barry et al., 1980; Jansa, 1983). Esta clasificación se fundamenta en el conocimiento del índice hídrico anual de cada estación (Im), a su vez deducido empíricamente a partir de otros dos índices con los que se trata de evaluar la eficacia de la precipitación y de la temperatura, respectivamente. El primero de ellos constituye realmente un índice de humedad en tanto que el segundo define el grado de aridez, de modo que si analizamos sus resultados separadamente para una misma estación dichos índices son incompatibles entre sí y solo permiten calificar cada punto del territorio como húmedo o árido. De esta particular disyuntiva y en el modo de relacionar matemáticamente ambos índices, dando una mayor importancia al índice de humedad en la estimación del índice hídrico anual, radica el éxito de la clasificación de Thornthwaite.

Según esta clasificación en la Comunidad Autónoma existirían casi la totalidad de los grupos hidrológicos o provincias de humedad posibles, excepción hecha del tipo árido, cuya

separación (figura 17) está determinada por los valores del índice hídrico anual (Im). En la figura 14 se consignan los resultados obtenidos para algunas de las estaciones termopluviométricas cuyos valores se encuentran dentro de una amplia gama numérica, con valores más bajos y negativos hacia el Sur de la Provincia de Alava (Zambrana y Villabuena) y máximos en el Norte, destacando sobremanera el correspondiente a la estación de Oyarzun. Ello da idea de la gran diversidad climática presente en la Comunidad Autónoma con regímenes de humedad que van desde semiárido a muy húmedo y, excepcionalmente, extremadamente húmedo que, en líneas generales, concuerdan con la no menos rica diversidad orográfica del territorio.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del Proyecto de Investigación UPV-EHU: 001.154EA.061-95 financiado por la Universidad del País Vasco. Así mismo, los autores desean expresar su más vivo agradecimiento al Centro Territorial del País Vasco del Servicio Nacional de Meteorología en Igueldo, en las personas de Don Carlos García de Salazar y de Doña Isabel Castellanos, al Servicio Vasco de Meteorología y al Departamento de Hidrología de Iberdrola SA.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA M.J., BORDERIAS M.P., GONZALEZ M.P. y SANTOS J.M. (1990). Ejercicios Prácticos de Geografía Física. Ed. Universidad Nacional de Educación a Distancia. 490 pp. Madrid.
- BARRY R.G. y CHORLEY R.J. (1980). Atmósfera, Tiempo y Clima. Ed. Omega. 350 pp. Barcelona.
- BOBÉE B. and ASHKAR F. (1991). The Gamma Family and Derived Distributions. Ed. Water Resources Publications. 203 pp. Littleton, Colorado.
- CASTIELLA J., SOLE J., NIÑEROLA S. y OTAMENDI A. (1982). Las Aguas Subterráneas en Navarra (Proyecto Hidrogeológico). Ed. Diputación Foral de Navarra. 229 pp. Pamplona.
- CHOW V.T. (1964). Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York.
- DIAZ DELGADO C. (1991). Application de la Fonction Béta et des Polynômes de Jacobi en Hydrologie. Thèse de doctorat, Université Laval. 362 p. Quebec.
- GEV (1993). Estación Meteorológica de Gorbea. Ed. Eusko Ikaskuntza Sociedad de Estudios Vascos, Cuadernos de Sección, Historia 20 en homenaje al investigador Félix María de Ugarte, pp. 297-309. Donostia-Sansebastián.
- GUMBEL E.J. (1969). Statistics of Extremes. Columbia University Press.
- HERAS R. (1970). Métodos Prácticos para el Estudio Hidrológico Completo de una Cuenca. Ed. Dirección General de Obras Hidráulicas. 180 pp. Madrid.
- JANSA J.M. (1983). Curso de Climatología. Ed. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. 245 pp. Madrid.
- KITE G.W. (1977). Frequency and Risk Analyses in Hydrology. Ed. Water Resources Publications. 1-23 pp. Fort Collins, Colorado.
- LLAMAS J. (1978). Principes et Applications de l'Hydrologie Paramétrique. Rapport GCE-78-01, Université Laval, Quebec.
- LLAMAS J. (1989). Hidrología General. Principios y Aplicaciones. Ed. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca.

- LLANOS H., DIAZ DELGADO C., GARFIAS J. ANTIGÜEDAD I y LLAMAS J. (1995). Contribución al Estudio de Precipitaciones Máximas en la Provincia de Alava (País Vasco). Análisis de Diferentes Funciones de Distribución. Rev. Ingeniería Civil (CEDEX MOPT), vol. 98, 120-128 pp. Madrid.
- LLANOS H., LLAMAS J., GARFIAS J., Bâ KM. y ANTIGÜEDAD I. (1995). 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 Alava. Rev. Ingeniería Civil (CEDEX MOPT), vol. 99, 119-125 pp. Madrid.
- LLANOS H., BÂ K., DIAZ C., GARFIAS J., LLAMAS J. (1997). Generación Estadística de las Series de Precipitaciones Mensuales en el País Vasco. Hidrogeología, vol.: 14, pp. 45-59. Madrid.
- LLANOS J., BÂ K., DIAZ C., GARFIAS J., LLAMAS J. (1997). La Modelización Estocástica de Precipitaciones Mensuales. Aplicación al País Vasco. ITSON-DIEP, vol.: II-6, pp. 5-24. Sonora, Ciudad Obregón. México.
- MARTONNE E. (1973). Tratado de Geografía Física. Ed. Juventud 853 pp. Barcelona.
- NETER J., WASSERMAN W. and KUTNER M.H. (1985). Applied Linear Statistical Models. Ed. Univ. Irwin. 212 pp. Homewood, Illinois.
- P.R.O.S.E.R. (1983). Plan Hidrológico Vasco, Informe 1 - Eusko Hidrologia Egitasmoa, 1 Argipidea. Dpto. Política Territorial y Transportes, Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz.
- RUIZ URRESTARAZU E. (1982). La Transición Climática del Cantábrico Oriental al Valle Medio del Ebro. Ed. Excm. Diputación Foral de Alava, Vitoria-Gasteiz.
- STRAHLER A.N. (1984). Geografía Física. Ed. Omega. 767 pp. Barcelona.
- THORNTHWAITE C.W. y MATHER J.R. (1955). The Water Balance. Climatology, vol. 8, nº 1. Drexel Institute of Technology, Centerton N.J.
- TURC L. (1961). Evaluation des Besoins en Eau d'Irrigation, Evapotranspiration Potentielle. Ann. Agrom., 12 (1), pp. 13-49.
- VIERS G. (1981). Climatología. Ed. Oikos-Tau. 350 pp. Barcelona





