

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRECIPITACIÓN Y EL BALANCE DE AGUA EN GALICIA

Antonio Martínez Cortizas

Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Santiago.

Francisco Castillo Rodríguez

Departamento de Geografía. Universidad de Santiago.

Augusto Pérez Alberti

Departamento de Geografía. Universidad de Santiago.

RESUMEN

En el presente artículo se analiza el balance hídrico en Galicia. Para ello, se tratan en primer lugar los factores que influyen en la oferta de agua (precipitación): los tipos de tiempo que originan lluvias en nuestra comunidad y los factores geográficos que modifican el reparto local de la lluvia. A continuación se da una visión general de la variabilidad de los valores medios tanto de oferta como de demanda hídrica (evapotranspiración potencial), para establecer el balance global medio.

Basándonos en un modelo matemático simple se ofrecen, finalmente, índices de aportación hídrica calculados como relación entre la aportación teórica máxima (precipitación anual acumulada) y la cantidad libre para alcanzar los cursos de agua. Estos índices se sintetizan en un mapa esquemático, a fin de obtener una visión de la variabilidad geográfica de la aportación hídrica en Galicia.

Palabras clave: climatología, bioclimatología, balance de agua, índices de aportación, Galicia.

ABSTRACT

This paper describes the water balance for Galicia (NW Spain). First of all, factors influencing precipitation, i.e. weather systems that generate rainfall and topographic factors which modify its spatial distribution, are taken into account. Rainfall and

potential evapotranspiration variability is also analyzed as a way to establish the climatic water balance parameters.

Finally, water contribution indices are calculated based on a simple mathematical model. These indices represent the proportion of total accumulated rainfall that potentially reaches water courses. A map, delineating different water contribution areas, synthesizes the spatial variability of our region.

Key words: climatology, bioclimatology, rainfall, water balance, water contribution indices, Galicia (NW Spain).

INTRODUCCIÓN

La situación de Galicia en el extremo noroccidental de la Península y la configuración de su relieve, la convierten en un interesante ejemplo de transición climática desde el dominio oceánico hiperhúmedo hasta aquellos calificables de submediterráneos, situados en los enclaves del valle del Sil. Desde antiguo, la opinión pública asoció la lluvia como su fenómeno más característico de Galicia. Aquí, aunque es necesario matizar, la oferta hídrica proviene tanto de las abundantes precipitaciones asociadas al paso de perturbaciones y frentes, como de la humedad provocada por las numerosas nubes y nieblas que pasan pegadas a las laderas, gracias a que los flujos húmedos atlánticos alcanzan su nivel de condensación a baja altitud.

La lluvia es un fenómeno extremadamente irregular en el tiempo y en el espacio. Esta característica provoca numerosas dificultades para su estudio y análisis. En las regiones del Noroeste peninsular, el período de mayor abundancia de precipitaciones recogidas se localiza a finales de otoño-principios del solsticio de invierno, en el trimestre noviembre-diciembre-enero, con un máximo mensual mal localizado, de noviembre o de diciembre. La estación invernal recoge, aproximadamente, el 35,2% del total pluviométrico; seguida del otoño con un 29,6%, mientras que, a nivel espacial, el contraste es también muy elevado, existiendo puntos con valores anuales medios de precipitación acumulada superior a 1.800 mm y otros en los que no se llega a los 700 mm año.

En este trabajo se describen sucintamente los tipos de tiempo que dan origen a las precipitaciones en Galicia, los factores orográficos que influyen en la distribución de la precipitación y se hace una aproximación al balance de agua y las aportaciones hídricas a nivel espacial. Consideramos que el estudio de estos aspectos es de gran relevancia para poder establecer pautas de uso y una planificación adecuada de los recursos hídricos en nuestra Comunidad; sobre todo, cuando están en discusión conceptos tales como el de caudal ecológico, agricultura de riego, etc...

1. LA PRECIPITACIÓN

Nos ha parecido fundamental, para entender el aporte de agua en Galicia, analizar en primer lugar los tipos de tiempo lluviosos para, posteriormente, pasar en segundo lugar, a presentar las líneas maestras del relieve que condicionan la precipitación y, por último, centrarnos en la variabilidad de la precipitación de la demanda (ETP).

1.1. Los tipos de tiempo lluviosos en el Noroeste de la Península Ibérica: La oferta hídrica

Respecto a los dispositivos sinópticos generalizados responsables de precipitaciones, podemos afirmar que las depresiones de tipo atlántico, bien afectando directamente, bien a través de frentes o depresiones secundarias que circulan por latitudes próximas a las costas gallegas, son las responsables de más del 60% de las precipitaciones anuales. Porcentaje que se elevaría, si sólo consideramos el período Otoño-Invierno. Las borrascas de origen atlántico aparecen asociadas al Frente Polar; se trata, por tanto, de depresiones ondulatorias que se relacionan con distintos regímenes circulatorios:

- Circulaciones intensas de índice zonal con la corriente en chorro a latitudes inferiores a lo normal.
- Circulaciones meridianas, en las que una vaguada depresiva atlántica y una dorsal *anticiclónica continental* posibilitan la entrada de un flujo de componente oeste sobre Galicia.

En tales casos, los sistemas frontales asociados barren el territorio provocando abundantes precipitaciones. La duración media de tales configuraciones es aproximadamente de una semana en series sucesivas de 3-4 días. Estos tipos de dispositivos circulatorios son característicos del período central de la estación invernal, lo que explicaría el máximo pluviométrico recogido en dicha estación.

El estudio de los aportes pluviométricos de los tipos de tiempo aporta los resultados siguientes (Castillo Rodríguez, 1994):

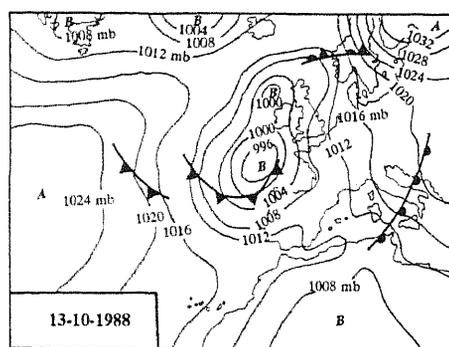
- Los tipos de tiempo con mayor capacidad pluviométrica son los ciclónicos advectivos del W en circulación zonal (CW_i).
- En segundo lugar, aparecen los ciclónicos advectivos de componente suroeste asociados a la masa de aire tropical marítima muy inestable.
- Finalmente, con unos porcentajes muy parecidos, aparecen los ciclónicos advectivos de poniente no intensos (CW) y los ciclónicos de componente NW.

Durante el otoño y la primavera, las condiciones planetarias de la circulación presentan un aumento en la frecuencia de aparición de grandes meandros anticiclónicos sobre Europa continental y de vaguadas instaladas sobre el Atlántico asociadas a perturbaciones de componente meridiana. Estas últimas favorecen la entrada de aire frío sobre nuestra vertical, provocando un violento contraste entre el aire cálido y el aire frío de las células depresionarias. Dicho contraste intensifica el potencial pluviométrico de las borrascas, de modo que las masas de aire de origen marítimo que arriban a nuestras costas resultan más inestables, con un mayor contenido en humedad y más cálidas que las que nos afectan, bajo los mismos dispositivos circulatorios, en la primavera.

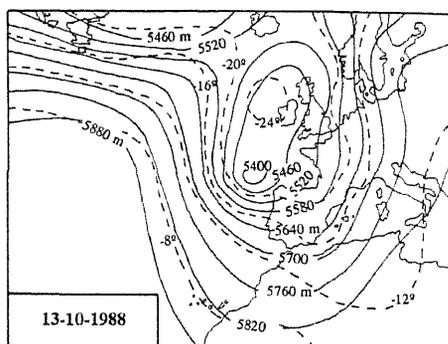
Esta estación está caracterizada por una gran irregularidad interanual de las precipitaciones, como consecuencia de la traslación de la célula de altas presiones subtropicales, anticiclón de las Azores, a latitudes meridionales. Si dicho traslado hacia el sur se retrasa, el otoño suele comportarse pluviométricamente como una prolongación del verano; es decir, nos encontraremos con una significativa ausencia de precipitaciones. Por contra, el origen de la fuerte pluviosidad de comienzos del otoño, está relacionada con un aumento en la actividad de las perturbaciones ciclónicas; aumento propiciado por un incremento de las transferencias océano-atmósfera.

Entre los tipos de tiempo que provocan precipitaciones en otoño, los más característicos son, como señalábamos, los asociados a depresiones atlánticas desprendidas y aisladas de la circulación general (figura 1a). Éstos suelen corresponder en altura con depresiones frías que inestabilizan la atmósfera a tales niveles y que canalizan vientos húmedos del tercer y cuarto cuadrante (W-SW) con gran capacidad higrométrica por su procedencia subtropical o polar de retorno-tropicalizado. Estos tipos ciclónicos: CSW, CW, Csw son los responsables de importantes aportes hídricos. Destacando sobre nuestra área los ciclónicos direccionales de poniente intensos: CWi (figura 1b).

Excepcionalmente Galicia puede verse afectada por profundas perturbaciones atlánticas, responsables de fuertes vientos y copiosos aguaceros. Perturbaciones que anteriormente fueron ciclones tropicales que, tras salir de las aguas cálidas, se incorporan a la circulación de los vientos del oeste de la zona templada, convirtiéndose en borrascas ondulatorias del Frente Polar. Un ejemplo muy significativo de tales procesos meteorológicos, lo constituyó el «ciclón tropical Hortensia»: 23 de septiembre al 3 de octubre de 1984.

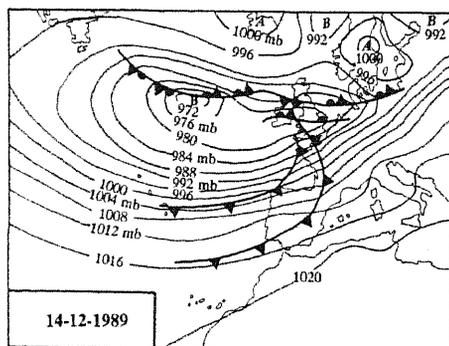


ANÁLISIS EN SUPERFICIE

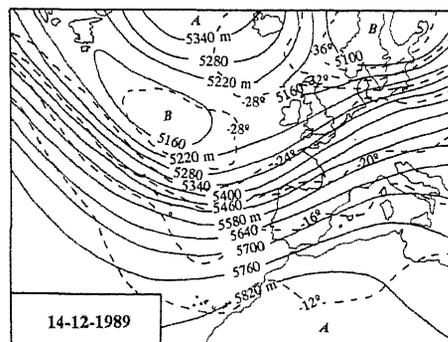


TOPOGRAFÍA DE LOS 500 HPa

Figura 1A



ANÁLISIS EN SUPERFICIE



TOPOGRAFÍA DE LOS 500 HPa

Figura 1B

Durante el solsticio de invierno, la célula anticiclónica de Azores se ha desplazado latitudinalmente hacia posiciones más meridionales, siguiendo el balance estacional que imponen las condiciones astronómicas del sol en esta estación. Igualmente, en el invierno el contraste térmico entre el interior continental europeo (zona manantial de una masa de aire fría) y el océano se acentúa de manera considerable.

Este contraste térmico favorece la intensificación de la circulación zonal rápida de la corriente en chorro. El vórtice circumpolar se expansiona y, esporádicamente, puede llegar a afectar de forma directa a nuestras latitudes. Los tipos ciclónicos son menos frecuentes que las situaciones de estabilidad anticiclónica, pero sin embargo, aumentan considerablemente su eficacia pluviométrica, manteniendo los volúmenes mensuales de precipitación recogidos ostensiblemente altos. Como demuestran los estudios realizados (Mounier, 1977) la expansión latitudinal del vórtice posibilita el paso de sistemas frontales asociados a perturbaciones ondulatorias que arrastran aire polar marítimo inestable. Estos particulares tipos de tiempo, los ciclónicos advectionales de poniente en régimen zonal, son los responsables de los más importantes episodios de precipitación sobre Galicia.

Las situaciones perturbadas de componente NW, a pesar de ser relativamente poco frecuentes en cuanto a su aparición, apenas el 6% de los días, aportan cantidades importantes a los totales mensuales durante la estación fría, alrededor del 10% del total. Evidentemente, son situaciones asociadas a vaguadas planetarias de amplio radio que favorecen entradas de aire frío a nuestras latitudes, aire polar marítimo inestable por su recorrido oceánico hacia latitudes más bajas y, por tanto, más cálidas.

1.2. Condicionantes geográficos

Todas aquellas precipitaciones, cuya causa no podemos asociar a mecanismos sinópticos generalizados, constituyen el 12,43% del total de lluvias. Estas precipitaciones, ocasionales y de carácter local, se derivan de fenómenos de estancamiento, del paso de colas marginales de frentes, de nieblas, de tormentas de desarrollo vertical, en este caso, sobre todo en las regiones del interior etc... Las transformaciones adiabáticas de las masas de aire a lo largo de las ascensiones forzadas por los obstáculos montañosos, las deformaciones de los frentes y las desviaciones de las líneas de corriente varían fuertemente, en función de la disposición de los conjuntos topográficos respecto a los vientos dominantes. Ese considerable porcentaje viene a demostrar la importancia, en los volúmenes anuales, de los condicionamientos geográficos: altitud, alejamiento de la costa, barreras orográficas, curvatura del perfil costero, estancamiento en el fondo de las rías, abundancia de vegetación, etc...

A grandes rasgos, dentro del relieve, podemos individualizar cinco grandes áreas: la costa, el prelitoral, las sierras centrales y septentrionales, el interior y las sierras orientales y surorientales (figura 2). El elemento fundamental de la costa son las rías. Dentro de ellas hay que distinguir la Rías Baixas, más amplias y estiradas de SO a NE generalmente, de las Rías Altas, cuya dirección dominante es la N-S. En ocasiones las rías están separadas por pequeñas sierras que alcanzan los 600 metros introduciendo un elemento diversificador en el litoral.

El prelitoral se extiende entre la costa y las Sierras Septentrionales y Centrales. En el podemos diferenciar, por una parte, una serie de superficies aplanadas y, por otra, una densa red de valles fluviales que, bien en dirección NE-SO, bien N-S, se encajan progresivamente

UNIDADES DE RELIEVE

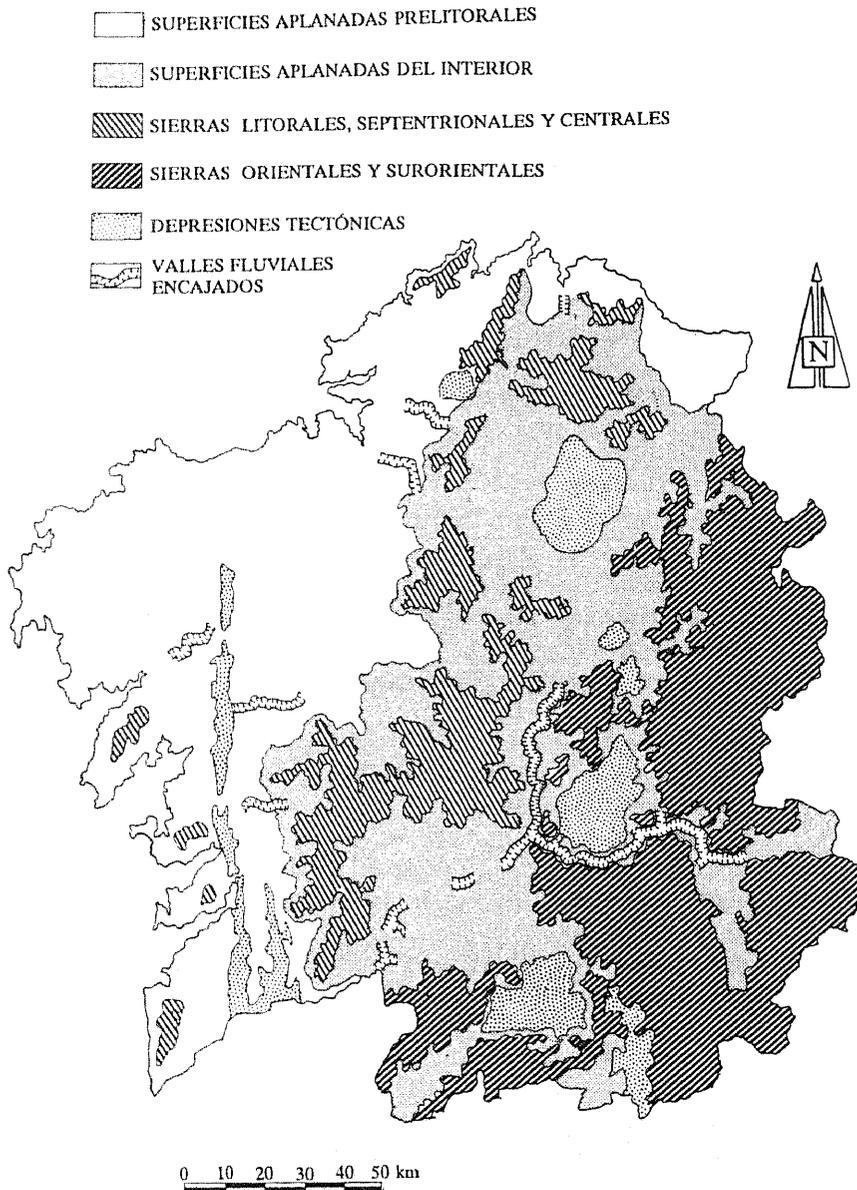


Figura 2

a medida que se acercan al mar. Orientación y encajamiento introducen variables muy importantes para entender ciertas condiciones biogeográficas.

Las sierras Centrales y Septentrionales forman una primera muralla orográfica entre el Cantábrico y el Atlántico y las tierras del interior. Con altitudes que oscilan entre los 800 y los 1.100 metros, su papel de protección es, como veremos, evidente. Por el Este se alzan las sierras Orientales y Sudorientales, un segundo murallón emplazado entre los 1.500 y los 2.100 metros de altitud.

El interior de Galicia se constituye, por todo ello, como un espacio cerrado y protegido. Y dentro de él la diversidad de formas del relieve es grande. Las superficies aplanadas se encadenan con depresiones tectónicas y valles profundamente encajados como los del Miño o del Sil potenciando un gran número de parcelas perfectamente diferenciadas desde el punto de vista climático.

Nos encontramos, pues, que el sector de las Rías Baixas, al sur del cabo Fisterra, por ejemplo, están especialmente expuestas a los vientos templados y húmedos asociados a dispositivos ciclónicos de componente oeste y suroeste. En especial, a los frentes cálidos de estas borrascas atlánticas. Los valles fluviales, que se introducen hacia el interior, canalizan y dirigen la nubosidad asociada a dichos frentes y la detiene al fondo, provocando un ascenso forzado de ese aire inestable dando lugar a abundantes precipitaciones en las estaciones de Vigo, Pontevedra, Arousa, etc... Las Rías Altas de La Coruña, Ares-Betanzos y Ferrol, por el contrario, están mejor expuestas a los flujos de componente W-NW, asociados a borrascas ondulatorias del Frente Polar. Finalmente, en el litoral cantábrico, las rías de Ortigueira, O Barqueiro, Foz y del Eo, se orientan en sentido norte sur, de modo que el mecanismo de refuerzo se hace más evidente con las entradas de aire polar marítimo a través de frentes fríos en dispositivos meridianos: norte-sur.

La configuración del interior de Galicia introduce una enorme variabilidad a los fenómenos de lluvia. Así las Sierras Occidentales y Septentrionales, aunque no excesivamente altas, como ya hemos dicho, constituyen una primera línea de obstáculos para las perturbaciones atlánticas de componente oeste-suroeste y norte. Los flujos asociados a estas depresiones se ven obligados a elevarse e inician un mecanismo de enfriamiento adiabático. Gracias a la elevada proporción de mezcla de vapor que suelen presentar estos dispositivos ciclónicos de origen oceánico, asociados a masas de aire tropical húmedo, el fenómeno de la precipitación se desencadena a los pocos centenares de metros, una vez iniciado el ascenso forzado. Evidentemente, las laderas de barlovento de estos sectores contrastan con las de sotavento, donde los volúmenes de precipitación recogidos se resienten por el efecto föehn que se desencadena. Así, cuando los vientos traspasan las sierras han perdido parte de su carga de humedad primitiva, aunque no en un porcentaje elevado, y se disponen a descender siguiendo la adiabática seca, lo que le lleva a experimentar un recalentamiento y el consiguiente alejamiento del punto de rocío.

Trasadas las Sierras Centrales y Septentrionales, nos encontramos con evidentes fenómenos de continentalización materializados en un claro descenso de las precipitaciones respecto a la costa, que se hace más acusado hacia las regiones del sudeste, con un aumento de las temperaturas máximas y un descenso de las mínimas y con una mayor amplitud térmica. Sin embargo, la gran variedad de formas, la combinación de áreas hundidas y levantadas, el encajamiento de los valles fluviales, configura un mosaico de microclimas difícilmente cartografiable.

En la Galicia oriental, la presencia del amplio murallón de sierras, propicia óptimos pluviométricos con abundantes precipitaciones. Sin embargo de nuevo el efecto föehn se deja sentir y así nos encontramos con una clara disimetría entre las fachadas occidentales y las orientales de Ancares, O Cebreiro, Courel o Queixa con amplias zonas de sombras pluviométricas.

1.3. Variabilidad de la precipitación

Los extremos de precipitación están representados por la estación de Barbanza en la costa atlántica, con 3.372 mm anuales, y Pumares en el valle del Sil, con 595 mm. Como valor medio para Galicia se podría dar el de 1.414 mm/año con un error estandar de unos 43 mm, un rango intercuartílico de 717 mm, una mediana de 1.381 mm y una moda de 1.038 mm.

En la tabla 1 se resumen los valores medios y extremos para la distribución y contribución estacional de la precipitación. En ella puede verse como la variación a nivel geográfico es muy similar para las cuatro estaciones astronómicas, siendo un poco mayor para el verano. En términos de contribución estacional Galicia es muy estable, con otoños e invierno de tendencia húmeda o muy húmeda y primaveras y veranos de tendencia subseca o seca. Hecho éste que se aprecia bien en el carácter de la precipitación.

Para caracterizar las estaciones meteorológicas según su precipitación hemos empleado las siguientes clases:

- A. **Muy húmeda:** precipitación superior al percentil del 90%.
- B. **Húmeda:** precipitación superior al percentil del 75% y menor al percentil del 90%.
- C. **Subhúmeda:** precipitación comprendida entre la mediana y el cuartil superior.
- D. **Subseca:** precipitación comprendida entre la mediana y el cuartil inferior.
- E. **Seca:** precipitación comprendida entre el cuartil inferior y el percentil del 10%.
- F. **Muy Seca:** precipitación inferior a la del percentil del 10%.

Tabla 1

Valores medios, máximo, mínimo y contribución estacional de la precipitación en Galicia.

	Media	Máximo	Mínimo	CV
v	500,6	1.241 Barbanza	244 Pumares	36
v	263,4	559 Fornelos	94 Pumares	33
r	157,7	435 Fornelos	61 Ourense	39
Ot	492,5	1.330 Barbanza	191 Pumares	35

	Contrib(%)	Máximo	Mínimo	CV
Iv	35,2	42,8 A Cañiza	27,4 Folgueiras	8
Pv	18,8	25,7 Folgueira	12,3 Rianxo	12
Vr	11,1	16,1 Castropol	6,9 Pedreiriño	17
Ot	34,8	42,7 Guitiriz	27,0 Bugalleira	35

C.V: coeficiente de variación.

Para la precipitación anual las estaciones empleadas en el estudio (figura 3) se agruparían:

- MUY HÚMEDAS: Barbanza, Boiro, Negreira, Pedrafita, Camba, Castiñeira, Monte Aloja (Tui), Xende, Bugarín, A Cañiza, Cuntis, Castriño y Fornelos.
- HÚMEDAS: A Capela, Eume, Labacolla, Muros, Tambre, Montaos, Rianxo, Vímianzo, Labrada, Fonsagrada, Alto do Rodicio, Campobecerros, Cenza, Lourizán, A Estrada, Mos, Zamar.
- SUBHÚMEDAS: Corcubión, Herbón, As Pontes, Présaras, Noia, Fene, Mántaras, Montaos, Regos, Sobrado, Teixeira, Sarria, O Caurel, As Conchas, A Gudiña, Carballiño, Pedrouzos, Portocamba, San Esteban, Louro, Guillarei, Ponteareas, Pontevedra, Portodemouros, Salcedo, Vigo, Muiños, Marco da Curra, Vicaludo, Pedreiriño.
- SUBSECAS: Cañas, Bares, Santiago, Bugalleira, O Burgo, Narón, Guitiriz, Mondoñedo, Guntín, Punto Centro, Castro do Rei, Ferreira, O Bao, Chandrexa, Guístolas, San Sebastián, Vilarinho, Allariz, Boimorto, Leira, Vila do Rei, Frieira, A Garda, Lalín, S. Eixo, O Xipro, Penedo do Galo y Mouriscade.
- SECAS: Betanzos, A Coruña, Fisterra, Monteventoso, Belesar, Lugo, Outeiro do Rei, Veiga, Bóveda, Trives, Vidueira, Manzaneda, Santa Eulalia, Illas Cies, Castropol, Rubiás, Mabegondo, Folgueiras.
- MUY SECAS: Monforte, Montefurado, Peares, As Rozas, Sequeiros, Ourense, Pumarés, A Rúa, Velle, Sobradelo, Castelo da Pena.

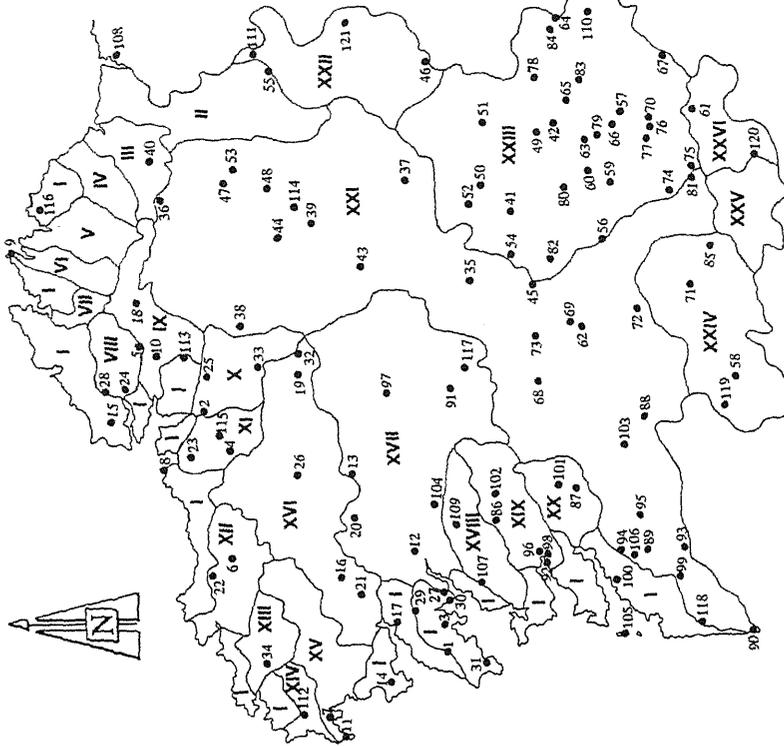
A nivel anual destacan las sierras de Barbanza, que se levanta entre las rías de Noia y Arousa, y Suido, en el sector meridional de las sierras centrales, con precipitaciones acumuladas medias superiores a los 2.000 mm/año; seguidas de las sierras orientales y surorientales de Ancares, Caurel, Queixa y San Mamede, con precipitaciones superiores a los 1.800 mm/año. Los rangos más bajos aparecen en las cuencas de los ríos Miño y Sil, pudiendo encontrarse áreas extensas con menos de 1.000 mm anuales. Es en estas últimas zonas donde el verano resulta más seco, con precipitaciones globales inferiores a los 150 mm durante los tres meses, e incluso muy por debajo de los 100 mm.

1.4. Variabilidad de la demanda (ETP)

La ETP anual acumulada oscila entre los 854 mm de Corcubión —en la costa oriental— y los 509 mm en Cenza —en la Galicia sudoriental—, con una media de 687 mm para Galicia, una desviación típica de 88 mm y un coeficiente de variación del 13%. Estacionalmente el reparto sería el detallado en la tabla 2.

La variabilidad geográfica de la ETP anual es especialmente baja durante el verano, con un coeficiente de variación del 8%, asimismo, el reparto es bastante homogéneo para todas las estaciones. Conviene destacar que más de las dos terceras partes de la demanda hídrica tiene lugar durante los meses de abril a septiembre (primavera y verano), en los cuales apenas se recoge un tercio de la precipitación total anual. Ello quiere decir, que con independencia del agua presente en el suelo, se va a producir una situación de déficit que puede llegar a ser extremo durante el verano, de tal forma que disminuya la transferencia de agua hacia los acuíferos siendo nula la aportación total.

SECTORIZACIÓN HIDROGRÁFICA
Y ESTACIONES METEOROLÓGICAS



ESTACIONES METEOROLÓGICAS

1 O Barbanza	36 Fraga Vella	68 Scaoane de Carbaliño	99 Tui
2 Benzaños	37 Grama de Barreiros	69 Velle (Embalse)	106 Vigo
3 Boiro	38 Guitiriz	70 Vilariño de Couso	101 Xende
5 A Capela	39 Lugo	71 Xinzo de Limia	102 Bugarin
6 Carbalo	40 Mondotecto	72 Allariz	103 A Estrada
7 Corubián	41 Montforte	73 Boimorto	104 A Estrada
8 A Coruña	42 Montefrío	74 Camba	105 Ilijas Cies
9 Escaea de Bares	43 Monte Ladaíro	75 Campoboceros	106 Mos
10 Eume (Embalse)	44 Outeiro de Rei	76 Castiñeira	107 Zamar de Rubián
11 Paderne	45 Os Peares	77 Cenza	108 Castropol
12 Herbón	46 Pedrafraita do Cebreiro	78 Leira	109 Cuntis
13 Labacolla	47 Punto Centro	79 Manzaneda	110 O Pico
14 Mte. Costa Grande	48 As Rozas (Aerop.)	80 Pedrouzos	111 O Xipro
15 Monteventoso	49 Sequeiros	81 Portocamba	112 Castelo
16 Negreira	50 Veiga	82 San Esteban (Emb.)	113 Marca de Curra
17 Noia	51 Vilar do Caurel	83 Sta. Eulalia	114 Rubiás
18 As Pontes	52 Boveda	84 Sobradelo	115 Mabeogoño
19 Présaras	53 Castro de Rei	85 Vila do Rei	116 Penedo do Galo
20 Santiago	54 Ferreira	86 Castrizo	117 Mouriscande
21 Tambre	55 Fonsagrada	87 Fornelos de Montes	118 Castro Vistado
22 Bugallieira	56 Aho do Rodiño	88 Friteira	119 Pedreirín
23 O Burgo	57 Bao (Embalse)	89 Grama do Louro	120 Castelo da Pena
24 Fene	58 As Conchas (Emb.)	90 A Guarda	121 Folgueira de Aigas
25 Méntaras	59 Chandraxa de Queixa (Embalse)	91 Lalín	
26 Montaos	60 Guistóns (Embalse)	92 Lourizán	
27 Mte. Pena de Eianxo	61 Mison de Pentes	93 Páramos de Guiliarei	
28 Nardón	62 Ourense	94 Peinador	
29 Reges	63 Tobra de Trives	95 Ponteceras	
30 Rianxo	64 Pumaraz	96 Pontevedra	
31 Ribeira	65 A Rúa-Petín	97 Portodemouros (Mantecado)	
32 Sobrado	66 San Miguel	98 Salcedo	
33 Teixeiro	67 S. Sebastián (Emb.)		
34 Vimiango			
35 Belazar			

CUENCAS

I	Pequeñas cuencas
II	Eo
III	Masma
IV	Ouro
V	Landro
VI	Sor
VII	Mera
VIII	Xuvia
IX	Eume

XX	Olivén
XXI	Miño
XXII	Navia
XXIII	Sil
XXIV	Limia
XXV	Támega
XXVI	Duero

Tabla 2

Valores medios, máximo, mínimo y contribución estacional de la ETP en Galicia.

	Media	Máximo	Mínimo	CV
Iv	82,0	118 Corcubión	46 Cenza	21
Pv	258,5	325 Corcubión	192 Cenza	12
Vr	281,5	331 Guillarei	232 Cenza	8
Ot	69,0	98 Corcubión	40 O Caurel	20

	Contrib(%)	Máximo	Mínimo	CV
Iv	12,3	15,5 Teixeira	9,0 Cenza	13
Pv	33,8	39,9 P. Centro	27,8 Teixeira	8
Vr	42,1	47,5 Regos	36,7 Corcubión	6
Ot	9,9	12,7 Teixeira	7,2 O Caurel	13

C.V: coeficiente de variación.

A nivel anual los valores mas altos de ETP se registran en la costa (con más de 750 mm/año), en especial en las Rías Baixas donde se superan los 800 mm/año. Estos valores disminuyen gradualmente de Oeste a Este, hacia el interior de Galicia.

En invierno, siguiendo este mismo gradiente, se distinguen tres grandes sectores: uno interno con menos de 75 mm, un sector costero con más de 100 mm y otro intermedio (ocupando la costa lucense, la mayor parte de la provincia de La Coruña y zonas interiores de la de Pontevedra) con valores entre 75 y 100 mm. En la primavera la situación es comparable, aumentando los niveles de ETP total hacia las isolíneas de 250 mm y 300 mm; al igual que ocurre en verano, si bien en esta época prácticamente toda Galicia supera los 250 mm, a excepción de los enclaves mas orientales de Lugo y Ourense. Destaca en conjunto la alta demanda de agua que tiene lugar durante la primavera y el verano, sobre todo en las Rías Baixas y la zona de Fisterra.

2. EL BALANCE HÍDRICO

Para el estudio de la distribución espacial de la oferta y demanda hídrica climáticas en Galicia, hemos recogido los datos meteorológicos medios de precipitación y ETP (evapotranspiración potencial) de 121 estaciones meteorológicas. De ellas 107 pertenecen a las descritas por Carballeira y colaboradores (1983), mientras que las restantes han sido facilitadas por el Departamento Forestal de Zonas Húmedas de Lourizán (Pontevedra). La localización de dichas estaciones aparece en la figura 3; junto con la delimitación de cuencas hidrográficas.

2.1. El modelo de aportación hídrica potencial

El balance hídrico de una zona dada se define habitualmente como el resultado de comparar las ganancias y pérdidas de agua ocurridas en un intervalo temporal determinado:

$$BH = \text{GANANCIAS} - \text{PÉRDIDAS}$$

En ausencia de un control por parte del hombre, las ganancias están representadas por la oferta pluviométrica del clima: la precipitación; y las pérdidas, por el agua consumida por la vegetación junto con la que se evapora directamente hacia la atmósfera desde el suelo y las superficies de agua libre. Expresado de un modo global sería (Driessen, 1986):

$$RSM = (IM + (CR-D) - T)/RD$$

en donde RSM es la tasa de cambio del contenido de humedad del suelo, IM es la tasa neta de flujo en la superficie del suelo, (CR-D) es la tasa neta de flujo en límite inferior del suelo, T es la tasa de transpiración de la vegetación y RD es la profundidad de suelo considerada. A su vez la infiltración en la superficie se puede describir como sigue:

$$IM = P + I_e - E_a + DS - SR$$

de tal forma que P es la precipitación, I_e es el agua de riego, E_a es la evaporación, DS es la tasa de disminución de la reserva de agua superficial y SR es la tasa de escorrentía superficial.

La reserva de agua del suelo

En el ciclo hidrológico, el suelo desempeña un papel muy importante, al servir de zona de tránsito entre la atmósfera y los cauces de agua, subterráneos o superficiales. Pero además, interviene en calidad de reservorio, ya que es capaz de almacenar un volumen determinado de agua. La cantidad de agua que almacena cada tipo de suelo se denomina **reserva de agua útil** (RAU) y es función de diversas propiedades edáficas. Puede calcularse mediante experimentos de campo o laboratorio, aunque los procedimientos empleados son bastante complejos y tediosos. Esto es lo que ha llevado a que diversos investigadores hayan desarrollado fórmulas estimativas, que permiten aproximaciones más o menos razonables de dicha variable (Salter y Williams, 1965 y 1966; Gardner, 1968; Reeve et al., 1973; Hall et al., 1977; Rivers y Shipp, 1977). Recientemente se ha definido un modelo más adecuado a la naturaleza de los suelos de Galicia (Martínez Cortizas, 1989), en el cual se tienen en cuenta las propiedades edáficas más importantes para el cálculo de la RAU:

1. La textura de los diversos horizontes o capas, que refleja la distribución del tamaño de poros y con ello el agua que puede ser retenida a cada nivel de presión succión.
2. El contenido de materia orgánica, que influye tanto en el tamaño de los poros, al agregar partículas de suelo, como en la cantidad de agua que es retenida por los grupos hidrofílicos (-OH, -COOH). Interviene tanto un factor de cantidad como de calidad de la materia orgánica.

3. La proporción de materiales gruesos, gravas y piedras, que no contribuyen a la retención de agua.
4. La profundidad de cada horizonte o capa con una combinación particular de textura, contenido de materia orgánica y materiales gruesos.

El modelo se expresa como sigue:

$$RAU = \sum_{i=1}^n RA_i P_i$$

donde P_i es la profundidad del horizonte (en dm) y RA_i se define para cada capa u horizonte en particular:

$$RA_i = (24.06 + 10.83 \ln IFG + 6.8 \ln C) \times (1 - MG)$$

siendo IFG un índice textural (proporción de elementos finos frente a elementos gruesos de la fracción tierra fina), C es el contenido de carbono orgánico y MG es la proporción de materiales gruesos que no intervienen en la retención de agua (en tanto por uno).

Las fases del balance hídrico

A lo largo del año el balance de agua pasa por distintas etapas, en las cuales la relación entre la oferta y la demanda hídrica se puede definir del modo siguiente:

- Período de infiltración y escorrentía: tiene lugar cuando la oferta (precipitación más reserva del suelo) supera a la demanda (ETP) y el suelo está totalmente saturado de agua. En estas condiciones el exceso de agua circula en la vertical por infiltración o superficialmente por escorrentía. El predominio de un modo sobre el otro está regulado por la permeabilidad del suelo —su conductividad hidráulica— y la pendiente del terreno —que cuando es elevada facilita los movimiento laterales—.
- Período de utilización: la precipitación no cubre la demanda total de agua, por lo que la vegetación se ve obligada a consumir la reserva del suelo, llegando a agotarla totalmente en caso de que la aportación sea insuficiente durante un período largo de tiempo.
- Período de sequía absoluta: la reserva del suelo es nula y la demanda supera a la oferta pluviométrica.
- Período de recarga: una vez que la precipitación vuelve a ser excedentaria, inicialmente el exceso sobre la demanda es aceptado por el suelo hasta que se alcance su nivel máximo de reserva. A partir de ese momento comenzará el período de infiltración y escorrentía.

En el caso de las aportaciones hídricas, será pues necesario determinar el comienzo y cese de los distintos períodos, el volumen total de agua que es transferida a los cauces en cada circunstancia y la eventual carencia de aportes y en qué momento del año se produce.

Procesos de humectación y desecación

Po ello, otro aspecto clave del modelo es fijar las pautas de humectación y desecación del suelo. En este sentido, conviene tener en cuenta que la energía con la que el agua es retenida en el suelo, aumenta de forma progresiva al avanzar el proceso de desecación. Según Thornthwaite esto puede expresarse por medio de una función exponencial, de la forma:

$$R = R_0 e^{-d/R_0}$$

donde R es el agua disponible en el suelo, R_0 es el valor de su reserva total (RAU) y d es la evapotranspiración potencial. Si se despeja d se obtiene la cantidad de energía necesaria para consumir una unidad de reserva en cada momento del proceso de desecación. También es importante destacar que, como d es dependiente de R_0 , los tipos particulares de suelos tendrán una evolución diferente de la sequía, aún bajo idénticas condiciones climáticas.

Teniendo pues en cuenta que el suelo no desempeña un papel pasivo en el proceso de transferencia del agua entre los reservorios principales —atmósfera y cauces—, podremos diseñar un modelo de flujo que nos permita obtener los volúmenes de aportación potencial máxima.

La tasa de transferencia va a estar regulada por un lado por la reserva de agua del suelo y, por otro, por la oferta climática. Siempre suponiendo que el volumen de agua recibido directamente por los cauces superficiales es despreciable, comparado con el que procede de la tierra.

Consideramos que un balance a nivel mensual es adecuado para un trabajo de síntesis. También se acepta, por considerarlo razonable y porque algunas comprobaciones realizadas por nosotros así lo indican, que la distribución mensual de la precipitación sigue un patrón de tendencia homogénea en todos los meses del año, sin concentrarse específicamente en unos días concretos (a diferencia de lo propuesto en otros modelos, como el de Newhall 1975).

2.2. Las aportaciones hídricas potenciales

A fin de sistematizar el conjunto de propiedades del suelo que intervienen tanto en la cantidad de agua que éste es capaz de retener, como en los movimientos de la misma a través de él, hemos considerado los materiales geológicos dominantes en Galicia y los suelos tipo que pueden desarrollarse a partir de los mismos. En la tabla 3 se resumen las propiedades más importantes.

En base a estos datos puede considerarse que los suelos evolucionados a partir de materiales graníticos, situados en áreas con pendientes inferiores al 10% presentan perfiles ABC, a excepción de las áreas costeras en las cuales la fuerte degradación actual del suelo (erosión) hace que los perfiles dominantes cuando la pendiente es superior al 10% sean los de tipo AR. En áreas interiores los suelos dominantes en superficies con inclinación superior al 10% son los de perfil AC.

En las áreas esquistas el perfil predominante es el de tipo ABC, a excepción de los esquistos de la Costa da Morte y los pequeños enclaves de zonas costeras de las rías de Arousa, Pontevedra y Vigo, donde dominan los perfiles AC y AR.

Sobre rocas básicas y ultrabásicas los perfiles tipo son ABC, excepto en áreas de gran

TABLA 3

Síntesis de los tipos de suelos en función de los materiales geológicos de partida y propiedades de los mismos en relación a la reserva de agua útil.

		Hor	%C	Text	GR	FN	Prof	AU	RAU
GRANITO	AR	A	6,0	FA	30	25	20	17,07	34,15
	AC	A	6,0	FA	30	25	30	17,07	
		C	0,0	FA	40	25	30	7,29	73,09
	ABC	A	6,0	FA	10	25	30	21,95	
		B	1,0	FA	20	25	20	9,72	
		C	0,0	FA	30	25	50	8,51	127,82
ESQUISTO	AR	A	5,0	F	20	45	20	26,30	52,60
	AC	A	5,0	F	20	45	30	26,30	
		C	0,0	F	30	45	100	15,32	232,00
	ABC	A	5,0	F	0	45	30	32,88	
		B	0,5	F	30	45	50	12,01	
		C	0,0	F	10	45	100	21,88	377,46
PIZARRA	AR	A	6,0	F	10	45	20	30,71	61,42
	AC	A	6,0	F	10	45	20	30,71	
		C	0,0	FL	50	55	30	13,12	100,77
	ABC	A	6,0	F	10	45	30	30,69	
		B	1,0	FL	30	55	30	18,36	
		C	0,0	FL	50	55	30	13,12	186,50
BASICAS	AR	A	5,0	F	0	45	20	32,88	65,75
	AC	A	5,0	F	0	45	20	32,88	
		C	0,0	FP	0	60	100	28,45	350,25
	ABC	A	5,0	F	0	45	30	32,88	
		B	0,5	F	20	45	20	13,72	
		C	0,0	FP	0	60	100	28,45	410,57
SEDIMT.	AC	A	5,0	F	10	45	20	32,88	
		C	0,0	F	10	45	150	19,69	361,05
	ABC	A	5,0	F	10	45	20	29,59	
		B	0,5	F	10	45	20	15,44	
		C	0,0	F	10	45	150	19,69	385,35

Hor: horizonte de suelo; %C: carbono orgánico; Text: textura; GR: porcentaje de piedras y gravas; FN: porcentaje de limos finos y arcillas; AU: agua útil del horizonte en mm H₂O/dm prof.; RAU: reserva total del perfil en mm.

COEFICIENTES DE APORTACIÓN HÍDRICA

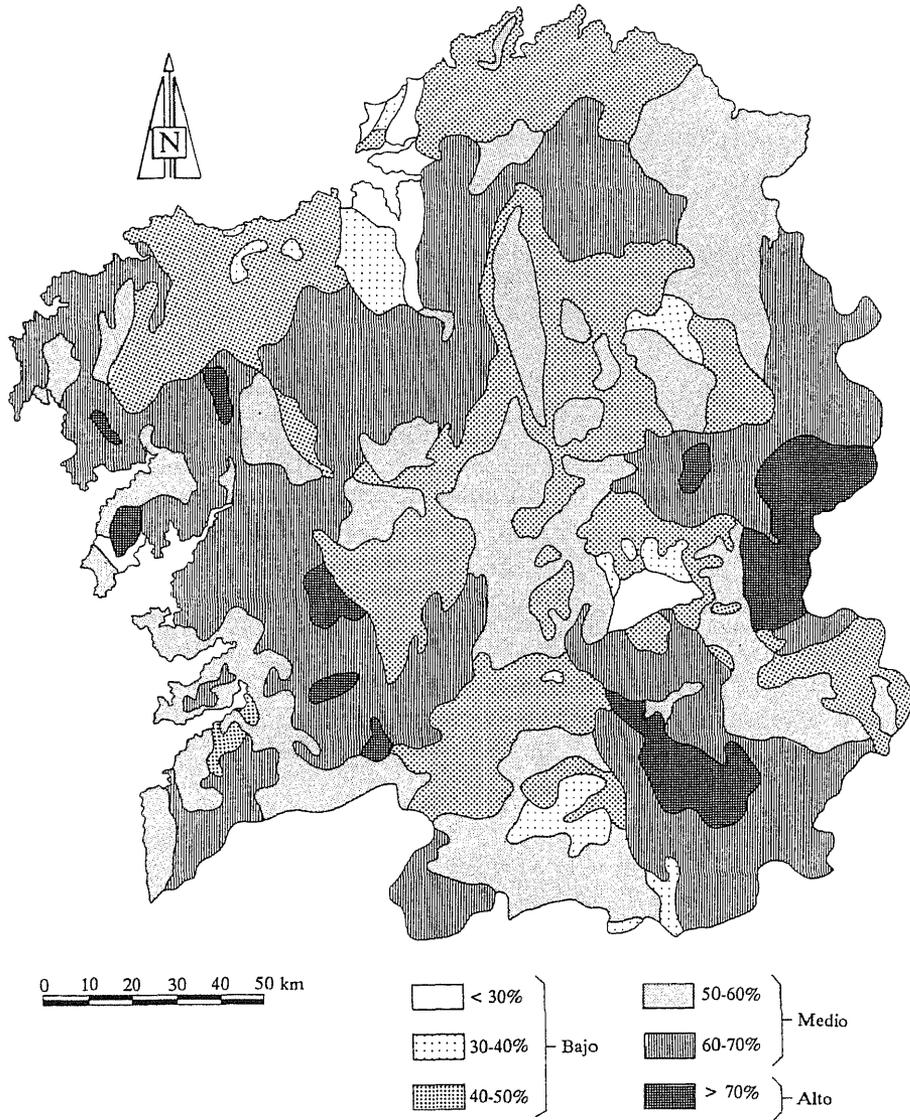


Figura 4

inclinación (superior al 30%). En los materiales pizarrosos los perfiles AR son típicos de zonas con pendientes del 30% o mayores, los AC en superficies con inclinaciones entre el 10% y el 30% y los suelos bien desarrollados (ABC) en áreas con inclinación inferior al 10%. Por último, los suelos desarrollados en áreas sedimentarias son mayoritariamente de tipo ABC.

En el mapa de la figura 3 aparecen las cuencas hidrológicas junto con las estaciones meteorológicas en ellas englobadas y en el de la figura 4 se dan las distintas áreas de aportación hídrica en función de los niveles de reserva de agua para perfiles tipo desarrollados sobre los distintos materiales de partida. El coeficiente de aportación, reflejado en esta última figura, representa el porcentaje de agua que potencialmente alcanza los cauces, una vez ajustado el balance de agua para cada tipo de suelo, respecto de la precipitación media total observada de las distintas estaciones meteorológicas.

En una primera aproximación, hemos considerado que aquellas áreas que tienen un coeficiente inferior al 50% (es decir, menos de la mitad precipitación anual alcanza los cauces) la aportación es baja, si se halla entre el 50-70% la aportación es media y si supera este valor la aportación es alta.

3. CONCLUSIONES

Los tipos de tiempo perturbados, altamente inestables, causantes de episodios significativos de precipitación en Galicia aparecen asociados a dispositivos advectivos de componente oeste. Dicha advección viene propiciada por una circulación zonal de la corriente en chorro a latitudes más bajas de lo habitual, 45°-43°N, aprovechando el desplazamiento hacia el sur del anticiclón de las Azores. Junto a este mecanismo, típico de la estación invernal, aparecen otros en los que borrascas profundas, asociadas en altura a vaguadas de la corriente, propician la entrada de aire frío sobre nuestra vertical y canalizan, en superficie, masas de aire húmedas de procedencia oceánica. Estas situaciones sinópticas dan pie a una abundante precipitación sobre el conjunto del Noroeste, aunque el reparto espacial de las mismas está mediatizado por el relieve.

La distribución de las formas del terreno, la existencia de una costa muy articulada y, sobre todo, el encadenamiento de bloques levantados (sierras)/bloques hundidos (depresiones tectónicas) unido a la presencia de una amplia red fluvial profundamente encajada, potencian las acusadas diferencias regionales. Éstas se plasman, tanto en lo referente a la precipitación como a la ETP, en máximos pluviométricos sobre el fondo de las rías mejor orientadas y sobre las vertientes de barlovento de los distintos conjuntos montañosos que generan, por efecto föehn, vertientes de «sombra pluviométrica» a sotavento.

Además del control climático y topográfico en la oferta de agua en Galicia, el modelo de balance hídrico aquí aplicado revela la importancia que la naturaleza de los suelos parece desempeñar en el ciclo hidrológico. En general, cuanto menores sean la reserva de agua útil de los suelos y la ETP, mayor será la proporción de la precipitación total que pasará a los cauces de agua —coeficientes de aportación elevados—; mientras que a mayor reserva de agua y menor ETP, menor aportación hídrica. Esto se refleja en el hecho de que, aun siendo considerada Galicia como una región húmeda, la mayor parte del territorio podría calificarse como de aportación relativa media y una buena parte, como es el caso de amplias zonas del interior de Lugo y Ourense y el sector noroccidental de la costa, serán zonas de baja aportación potencial. Tan sólo unas pocas áreas situadas en las sierras litorales, como el

Barbanza, en las fachadas occidentales de las centrales, Faro de Avión, Suido y Testeiro y, sobre todo, en las orientales y surorientales, Ancares, Courel y Manzaneda, pueden considerarse como de elevada aportación hídrica.

No obstante, cabe señalar, por último, que esta situación podría enmascarar en parte un déficit de agua mayor al supuesto, ya que las áreas de elevada aportación coinciden con aquellas con abundantes precipitaciones anuales. Sin embargo, éstas poseen una marcada depresión pluviométrica durante los meses de primavera y verano, al igual que el resto de las estaciones meteorológicas de Galicia.

BIBLIOGRAFÍA

- CARBALLEIRA, A.; DEVESA, C.; RETUERTO, R.; SANTILLÁN, E.; UCIEDA, F. (1983): *Bioclimatología de Galicia*. Fundación Pedro Barrié de La Maza, La Coruña. 391 pp y anexo de mapas.
- CASTILLO RODRÍGUEZ, F. (1994): *Condicionamientos climáticos de la costa noroccidental gallega. Tipos de tiempo durante el período otoño-invierno (1988-1991)*. Memoria de Licenciatura. Departamento de Geografía. Universidad de Santiago de Compostela. (Inédita).
- DRIESSEN, P. (1986): The water balance of the soil. En: H. Van Keulen y J. Wolf (Eds.): *Modelling of Agricultural Production*, 76-117. Pudoc, Wageningen.
- GARDNER, W.R. (1968): Availability and measurement of soil water. *Water Deficits and Planta Growth*, Vol. I: 107-135. Academic Press, New York.
- HALL, D.G.M.; REEVE, M.J.; THOMASSON, A.J.; WRIGHT, V.F. (1977): Water retention, porosity and density of fields soils. *Soil Survey of England and Wales, Soil Survey Monograph 9*. Harpenden.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A. (1988): «La reserva de agua útil de los suelos de Galicia. I. Relación con la textura y el contenido de materia orgánica». *Anales de Edafología y Agrobiología*, 45: 561-572.
- MOUNIER, J. (1964): «La saison pluviométrique indigente dans les régions océaniques de Sud-Ouest de l'Europe. Bretagne et Galice». *Rev. Norois*.
- MOUNIER, J. 1977: *Les climats océaniques des régions atlántiques de l'Espagne et de Portugal*. Lille, Univ.
- PÉREZ ALBERTI, A. (1982): «Climatología». En PÉREZ ALBERTI, A. (Dir.): *Xeografía de Galicia*. Tomo I: O Medio. Ed. Sálvora. Santiago de Compostela.
- NEWHALL, F. (1976): Calculation of moisture regimes from the climatic record. USDA Soil Conservation Service, Soil Survey Investigation Reports. Washington.
- REEVE, M.J.; SMITH, P.D.; THOMASSON, A.J. (1973): «The effect of density on water retention properties of field soils». *Journal of Soil Science*, 24: 355-336.
- RIVERS, E.D.; SHIPP, R.F. (1977): «Soil water retention as related to particle size in selected sand and loamy sands». *Soil Science*, 126: 94-100.
- SALTER, P.J.; WILLIAMS, J.B. (1965): «The influence of texture on the moisture characteristics of soils. II. Available-water capacity and moisture release characteristics». *Journal of Soil Science*, 16: 310-317.
- SALTER, P.J.; WILLIAMS, J.B. (1966): «The influence of texture on the moisture characteristics of soils. IV. A method for estimating the available water capacities of profiles in the field». *Journal of Soil Science*, 18: 174-181.