

GESTIÓN DE LAS ZONAS AGRÍCOLAS A PARTIR DE LA RED AGROMETEOROLÓGICA DE CATALUNYA (XAC). ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA AGRESIVIDAD DE LA LLUVIA

Antonio GÁZQUEZ*, M^a Carmen LLASAT** y Juan Carlos PEÑA*

* *Servei Meteorològic de Catalunya (METEOCAT). Dep. de Medi Ambient. Gener. de Catalunya.*

** *Departament d'Astronomia i Meteorologia. Universitat de Barcelona.*

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta la distribución de la agresividad de la lluvia con el objetivo de proporcionar datos para una correcta gestión a nivel de parcela por parte del sector agrario catalán. Con ello se pretende evitar, la pérdida de nutrientes debida a la escorrentía superficial y, de esta manera, corregir el diseño de la parcela para una correcta conservación de los suelos, aspecto que puede evitar importantes pérdidas económicas dentro del sector agrario. La base del estudio serán las intensidades diezminutales procedentes de la Red Agrometeorológica de Catalunya (XAC), a partir de las que se calculará un índice que describa la agresividad de la lluvia a partir de la metodología propuesta por WISCHMEIER y SMITH (1978) y corregida para las zonas del ámbito mediterráneo por ZANCHI y TORRI (1980).

Palabras clave—erosividad, agresividad de la Lluvia, Red Agrometeorológica de Catalunya (XAC).

ABSTRACT

Distribution of rainfall aggressivity is analysed in order to obtain data for a better smallholding management in the Catalan agricultural sector. This information is used to avoid nutrients loss due to run-off processes and, consequently, to adjust the smallholding design for an appropriate soil conservation, as this fact may involve dramatic economical impacts on the agricultural sector. Rainfall intensity measured every ten minutes from the Catalan Agrometeorological Network (XAC) has been used for the calculation of an aggressivity precipitation index. Such index has been obtained from previous works (WISCHMEIER and SMITH, 1978) and corrected for the Mediterranean area by ZANCHI and TORRI (1980).

Key words: *erosivity, rainfall aggressivity, Catalan Agrometeorological Network (XAC).*

1. INTRODUCCIÓN

En 1987 se puso en funcionamiento la Red Agrometeorológica de Catalunya (a partir de ahora se designará como XAC) fruto de las necesidades que tenía el departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Generalitat de Catalunya de disponer de datos de medida continua de un elevado número de variables meteorológicas, como instrumento auxiliar pero necesario en diversas aplicaciones agrícolas. En estos momentos la red consta de 90 estaciones y habría que insistir en el hecho que su razón de existir es el dinamismo, como norma obligada de cumplimiento, y en la

creación continua de diferentes aplicaciones que son de utilidad en el mundo agrario (GÁZQUEZ, 1996). De esta manera, a fecha de 2002, se han implementado diferentes programas de los que hay que destacar: un software para la optimización del agua en el riego, aplicación para la prevención de infección de determinadas plagas y enfermedades que afectan a los cultivos, la predicción de heladas nocturnas, la implementación de índices de riesgo de propagación de incendios forestales, cálculo automático de grados-día y horas de frío y registros de intensidad máxima de precipitación en diez minutos.

En base a estas aplicaciones, en 1998 se empezó un estudio de distribución de la intensidad de la precipitación con el objetivo de utilizar el análisis para solucionar los problemas medioambientales generados por esta variable climática en el sector agrícola, especialmente en temas referentes a la gestión de los espacios agrarios. Este análisis permitía la previsión de los eventos extremos que pueden llegar a la aniquilación total de una cosecha (GÁZQUEZ *et al.*, 1999).

El presente estudio pretende completar el análisis y ampliarlo para ser utilizado para la corrección de las parcelas a fin de garantizar una eficaz conservación de los suelos y evitar la pérdida de nutrientes por escorrentía superficial que puede llegar a producirse en crisis hidrometeorológicas graves. La base del trabajo será la definición de un parámetro que nos califique la agresividad de la lluvia como descriptor único de la incidencia de esta variable en todos los procesos de erosión y degeneración de los suelos. No cabe duda, que ambos aspectos, previsión de la eventos extremos y erosividad de los aguaceros, pueden llegar a suponer importantes pérdidas económicas dentro del sector agrario.

2. PROBLEMÁTICA PLANTEADA

Es necesario recordar que la fachada mediterránea se caracteriza por precipitaciones de distribución muy irregular en el espacio y en el tiempo que en numerosas ocasiones causan graves daños, y no tan sólo en los cultivos, por efecto de su impetuosidad en pequeños lapsos de tiempo (LLASAT, 1998; GAZQUEZ *et al.*, 1999). De esta manera, el mencionado estudio realizado en 1998 y presentado en el I Congreso de la AEC se llegaba a las siguientes conclusiones, referidas a cada una de las zonas agroclimáticas cartografiadas en la figura 1:

- La distribución de la intensidad se caracterizaba por eventos que superaban los 50 mm/h especialmente en las estaciones de verano y otoño, siendo en invierno cuando presentaban una muy baja frecuencia, excepto para la Zona 3, donde la probabilidad de aparición de este tipo de sucesos intensos era muy parecida en cualquier estación del año.
- La duración media en que la lluvia se mantenía por encima del umbral de los 50 mm/h tenía un rango de variación entre los 7 minutos de la Zona 1 a los 24 minutos de la Zona 2.
- Por último, la frecuencia de aparición de un suceso extremo era bastante constante en las tres zonas, muestra de la homogeneidad dada por el clima Mediterráneo en lo que se refiere a las intensidades máximas: de esta manera un suceso de intensidad de 70 mmh^{-1} en diez minutos nos puede aparecer uno al menos cada dos años. Para que aparezca un suceso superior a los 90 mmh^{-1} , la frecuencia sería cada 5 años, mientras para que el aguacero supere los 105 mmh^{-1} , nos encontraríamos al menos con uno cada 10 años.

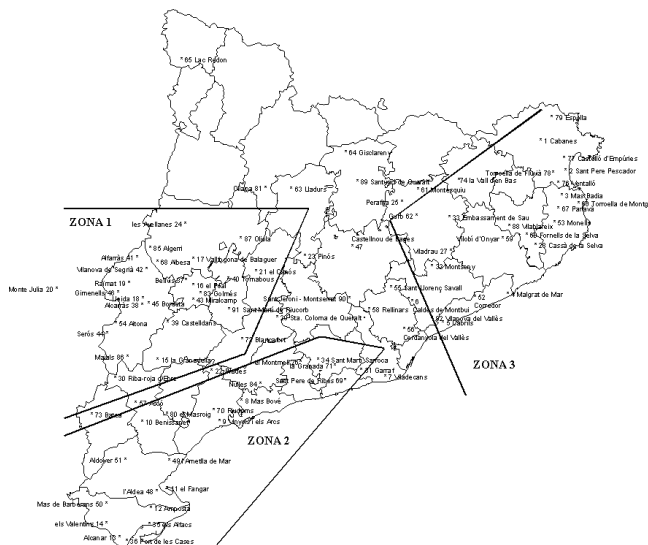


Figura 1: Mapa de situación de las zonas agroclimáticas y de los observatorios que componen la XAC.

En consecuencia, la energía que generan estos aguaceros es muy grande, con efectos negativos cuando interactúa con el terreno produciendo efectos hidromorfológicos devastadores. La erosión del suelo sería uno de éstos, la cual conlleva a una pérdida del suelo y, por consiguiente, a una pérdida de los nutrientes que lo componen y a una continuada pérdida de calidad del suelo, siempre y cuando no se tomen medidas correctoras contra el fenómeno. La erosión producida por la precipitación resulta de la interacción de dos factores, lluvia y suelo, los cuales influyen sobre la intensidad de la erosión, si bien en el estudio de los procesos erosivos suelen considerarse por separado. Al efecto de la lluvia se denomina erosividad y al del suelo erosionabilidad (ELÍAS CASTILLO *et al.*, 1996).

La erosividad es la capacidad potencial de la precipitación para producir erosión y es función de las características del aguacero (HUDSON, 1971). En un mismo suelo, la comparación de los efectos producidos por dos sucesos de precipitación distintos dará una medida de la distinta erosividad de cada uno de ellos. La importancia en el conocimiento y el funcionamiento de este parámetro estriba en que dará las pautas de actuación y de corrección para reducir al máximo la erosionabilidad del suelo.

3. OBJETIVOS

Como se ha indicado, el objetivo principal será el conocimiento, el funcionamiento y la distribución de la erosividad de la lluvia en las zonas agrícolas catalanas, de manera que, los datos aportados sean de utilidad a los gestores e ingenieros agrícolas para que reduzcan al máximo la

erosionabilidad de los suelos y evitar las posibles pérdidas económicas que se puedan producir por el efecto de este fenómeno. Pérdidas debidas especialmente, a la desaparición de nutrientes de las capas fértiles del suelo y a los costes de recomposición y llenado de los surcos producidos por la precipitación.

4. METODOLOGÍA

La calificación de la erosividad de la lluvia mediante un parámetro único ha sido una de las tareas que han ocupado a los hidromorfólogos que investigan los procesos de erosión del suelo asociado a las precipitaciones (GONZÁLEZ-HIDALGO, 1996). Las aproximaciones son numerosas, si bien la aplicación indiscriminada de estos parámetros fuera de las condiciones originales donde fueron validados ha de ser siempre cautelosa. La más utilizada es la estimación de la erosividad a partir de datos pluviométricos que obtuvo Wischmeier en 1959, la cual después ha estado mejorada en diversos estudios (HUDSON, 1963; WISCHMEIER y SMITH, 1978; ZANCHI y TORRI, 1980; SEMPERE, 1992). La estimación se basa en tres consideraciones:

- La correlación entre la pérdida de suelo en distintas tormentas y la cantidad de lluvia caída o la cantidad máxima en distintos intervalos temporales es pequeña.
- El factor que mejor correlaciona con la erosión es la energía cinética de la lluvia, la cual se relaciona con la intensidad de lluvia de manera semilogarítmica según la siguiente expresión:

$$EC = a + b \log_{10} I \quad (1)$$

donde, EC es la energía cinética liberada en cada mm de precipitación ($\text{Jm}^{-2}\text{mm}^{-1}$) e I es la intensidad de lluvia en mmh^{-1} , mientras que a y b son los parámetros de ajuste.

- El mejor estimador de la erosividad viene dado por un parámetro igual al producto de la energía cinética liberada por la tormenta y la intensidad máxima registrada en 30 minutos (ésta última multiplicada por dos para expresarla en mmh^{-1}).

El índice de erosividad así obtenido es el *Índice EI30*, que puede ser calculado para cada tormenta aislada y los valores resultantes pueden sumarse para obtener los valores mensuales y anuales de erosividad, si bien, hay que tener en cuenta que la estimación es buena para pérdidas de suelo medias anuales. La popularidad del índice radica en que es utilizado para calcular el factor de erosividad de la lluvia (R), uno de los componentes que intervienen en la *Ecuación Universal de Pérdidas del Suelo (USLE)*, que es el modelo más aceptado para la estimación de la pérdida de suelo anual media por erosión laminar en parcelas agrícolas.

La dificultad del procedimiento de cálculo para la estimación de la erosividad de la lluvia a partir de la ecuación de Wischmeier estriba en el cálculo de la energía cinética de los aguaceros (E). El desconocimiento de los diámetros y de las velocidades de las gotas de agua que participan en los diferentes aguaceros (SEMPERE, 1992), no permite el cálculo directo de la variable E, sino a partir de una estimación, que viene dada a partir de la expresión (1), ajustada y parametrizada

por Zanchi y Torri (1980), para el cálculo de la energía cinética en las zonas y regiones del ámbito mediterráneo:

$$EC = 9,81 + 11,25 \log_{10} I \quad (2)$$

Esta expresión permite el cálculo de EC en $Jm^{-2}cm^{-1}$, con notación igual a (1), para un aguacero o chubasco aislado, siempre y cuando se dispongan de registros de lluvias para intervalos cortos de tiempo. El sumatorio de la aplicación de la expresión (2) multiplicado por la cantidad de precipitación registrada en cada uno de los intervalos, será la estimación de la energía cinética generada por el aguacero en Jm^{-2} :

$$E = \sum_{i=1}^n (9,81 + 11,25 \log_{10} I_i)(p_i) \quad (3)$$

donde, i será el intervalo temporal de lluvia (1,2,3, ..., n) y p la precipitación registrada en dicho intervalo. El Índice $EI30$ del Factor R de la USLE se calculará a partir de:

$$R = \frac{I_{30}}{170,13} E \quad (4)$$

Las unidades de R serán $Jm^{-2}cmh^{-1}$ y 170,13 es el factor de conversión de las unidades inglesas en unidades del S.I. La suma de los índices de cada uno de los chubascos para un año concreto será el índice de erosividad de lluvia anual.

La utilización de este factor R permite la comparación con otros estudios para saber la magnitud del fenómeno, haciendo notar que las unidades de precipitación no son mm sino que se trabaja en cm.

Elegido el método sólo hace falta elegir que episodios se han de considerar como realmente erosivos. De esta manera, se elegirán aquellos aguaceros o episodios lluviosos que han superado los 10 mmh^{-1} , umbral a partir del cual, parece que comienza a existir una erosión efectiva en los suelos desprovistos de vegetación (MORGAN, 1986).

5. RESULTADOS

A partir del umbral establecido de 10 mmh^{-1} , se ha formado una base de datos donde se han analizado del orden de 2000 episodios para las 14 estaciones que, en estos momentos, se encuentran por encima de los 10 años de observación. Los resultados obtenidos se han cartografiado en función de las zonas agrícolas de Catalunya, intentando visualizar de manera rápida la distribución del factor R en primer lugar, en base a las medias y los máximos anuales y, en segundo lugar, lo que aporta cada estación astronómica al total anual junto al máximo esperado para ese lapso de tiempo. Así, se puede conocer como se distribuye anualmente la agresividad de la lluvia y a partir de esta premisa qué medidas se tendrían que tomar, teniendo en cuenta el cultivo a analizar al no comportarse de la misma forma a lo largo del año por motivos fenológicos, por lo que no será lo mismo que el máximo anual aparezca en invierno, primavera, verano o en otoño.

La figura 2 analiza la distribución del total anual medio y el máximo absoluto registrado en cada una de las estaciones analizadas en las distintas zonas agrícolas de Catalunya.

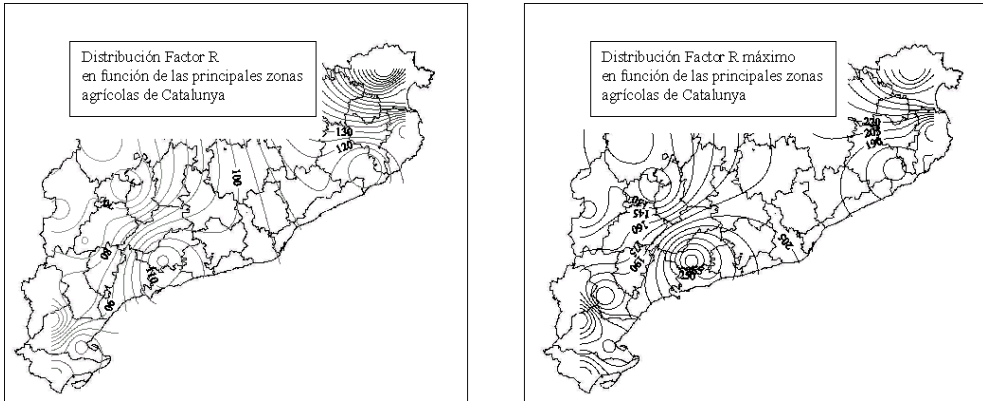


Figura 2: Distribución del Factor R anual medio y el máximo absoluto registrado en función de las principales zonas agrícolas de Catalunya.

En lo que se refiere al total anual medio, la erosividad de los aguaceros se distribuye de forma longitudinal aumentando de sur a norte siendo la línea formada por las cordilleras del Garraf y de Montserrat la que marca la diferencia entre las zonas por debajo de los $110 \text{ Jm}^{-2} \text{ cmh}^{-1}$ de aquellas otras donde el índice comienza a tener una cierta entidad. Esta disposición sólo se ve alterada por la presencia de la línea montañosa formada por el sistema orográfico Prades-Montsant donde se dan los valores más elevados en la parte sur de Catalunya. Los máximos anuales se dan en la zona agroclimática número 3 que correspondería básicamente a las comarcas del Alt y el Baix Empordà, donde el índice de erosividad sería del orden de los $250 \text{ Jm}^{-2} \text{ cmh}^{-1}$.

La capacidad de erosión de los aguaceros queda reflejada en la distribución del máximo absoluto registrado por los observatorios, teniendo un rango de variación entre los 130 y los más de $400 \text{ Jm}^{-2} \text{ cmh}^{-1}$.

La figura 3 representa la distribución porcentual con respecto al total anual para la estación de primavera y el máximo absoluto registrado en cada uno de los observatorios.

- La distribución porcentual nos enseña como la configuración es también longitudinal pero los valores más bajos se dan en las partes más septentrionales, encontrando el máximo en todo lo que sería la zona agroclimática número 1.
- Si se pone en relación con el máximo registrado, vemos como los valores máximos se siguen dando en la zona agroclimática número 3, haciéndonos sospechar que la alta aportación de este tipo de aguaceros al total anual en la zona 2, se deben a episodios de corta duración pero de muy alta intensidad, en algunos casos acompañados de piedra, capaces de arrasar una cosecha en un lapso temporal muy corto. Por lo tanto, se está introduciendo un tema nuevo, la frecuencia y distribución del pedrisco que escapa al objetivo del presente trabajo.

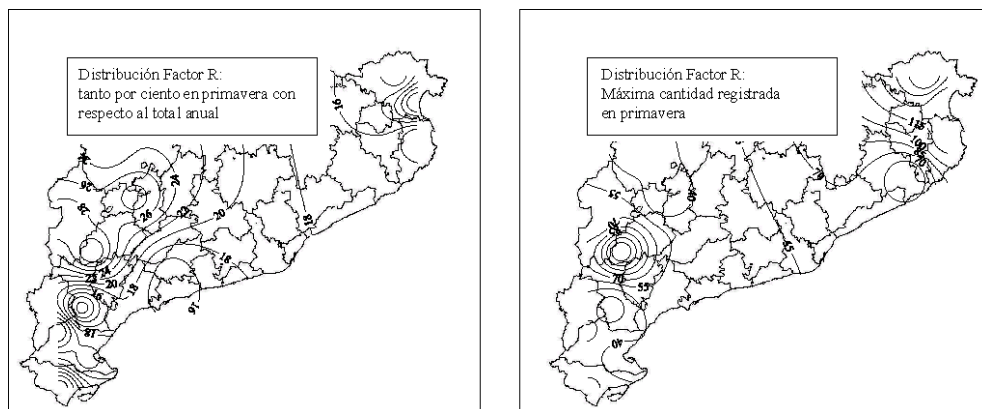


Figura 3: Distribución del Factor R porcentual y máximo absoluto en función de las principales zonas agrícolas de Catalunya para la estación de primavera.

Las características erosivas estivales de los aguaceros aparecen en la figura 4: el aporte máximo en esta estación sigue correspondiendo a la zona agroclimática número 1, si bien, la 2, se le equipara bastante. En contra de lo esperado, los máximos absolutos son más bajos que los registrados en primavera, por lo que, la idea apuntada de aguaceros de corta duración y alta intensidad, algunos acompañados de piedra, han de tener una presencia muy importante en la estructura fina de los episodios.

El otoño es la estación más conflictiva desde un punto de vista de erosividad de los aguaceros tal como muestra la figura 5: el aporte al total anual supera en todos los casos el 30 %, significando más del 50 % en las zonas agroclimáticas 2 y 3. Igualmente los máximos registrados corresponden al poder erosivo más importante del año, como ha de corresponder a estas zonas de carácter mediterráneo. Salvo en las zonas más interiores de la zona agroclimática 1, el resto de zonas superan los $100 \text{ Jm}^{-2}\text{cmh}^{-1}$, alcanzando, incluso, los $300 \text{ Jm}^{-2}\text{cmh}^{-1}$ en la comarca del Alt Empordà. La característica principal de los meses de otoño es que se juntan aguaceros de corta duración junto aquellos episodios de varios días que pueden superar los 50 mmh^{-1} con gran poder destructivo. Es por esta razón, que las medidas protectoras en esta estación han de ser máximas.

Por último, la figura 6 muestra los resultados para los meses invernales. El aporte anual es mínimo (por debajo del 20 %) y se deben normalmente a episodios de lluvia de varios días de duración que en algún momento pueden superar los 25 mmh^{-1} de intensidad. En las comarcas interiores el índice es muy bajo (por debajo de los $30 \text{ Jm}^{-2}\text{cmh}^{-1}$), alcanzándose los máximos valores en las comarcas empordanesas, donde la erosividad de la lluvia podría alcanzar en crisis graves los $110 \text{ Jm}^{-2}\text{cmh}^{-1}$.

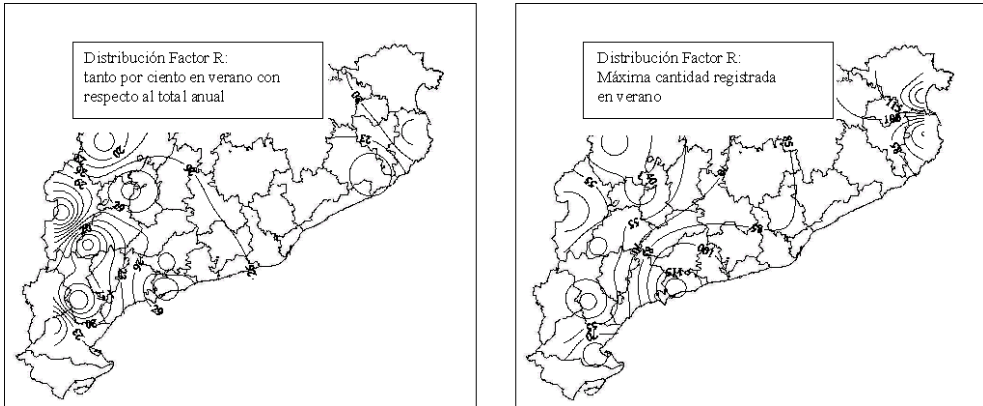


Figura 4: Distribución del Factor R porcentual y máximo absoluto en función de las principales zonas agrícolas de Catalunya para la estación de verano.

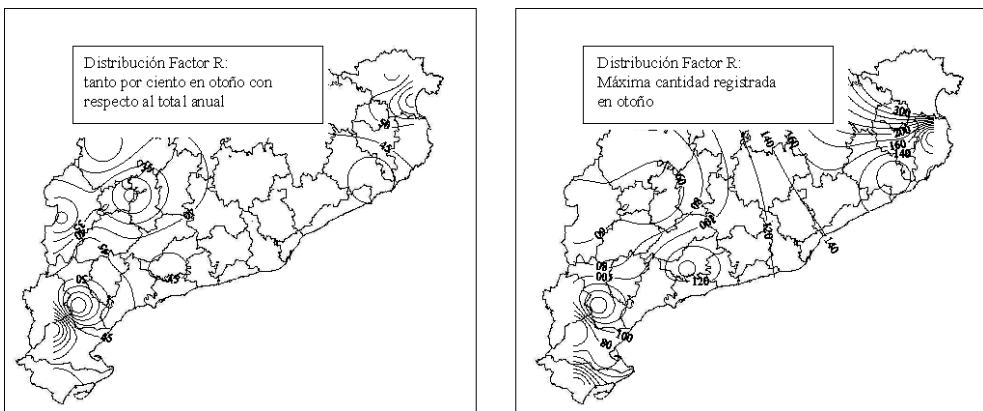


Figura 5: Distribución del Factor R porcentual y máximo absoluto en función de las principales zonas agrícolas de Catalunya para la estación de otoño.

6. DISCUSIÓN

Se ha presentado una aproximación a la distribución de la erosividad de la lluvia en las principales zonas agrícolas de Catalunya a partir de las estimaciones realizadas a partir del *Índice EI30*. Es importante remarcar que para completar estos trabajos que se vienen realizando en el seno del Servei Meteorològic de Catalunya, se tendría que profundizar en temas referentes a los diámetros y las velocidades terminales de las gotas que componen cada uno de los aguaceros con el objetivo de analizar y caracterizar la energía cinética que se puede llegar a generar, variable básica para caracterizar el fenómeno erosivo.

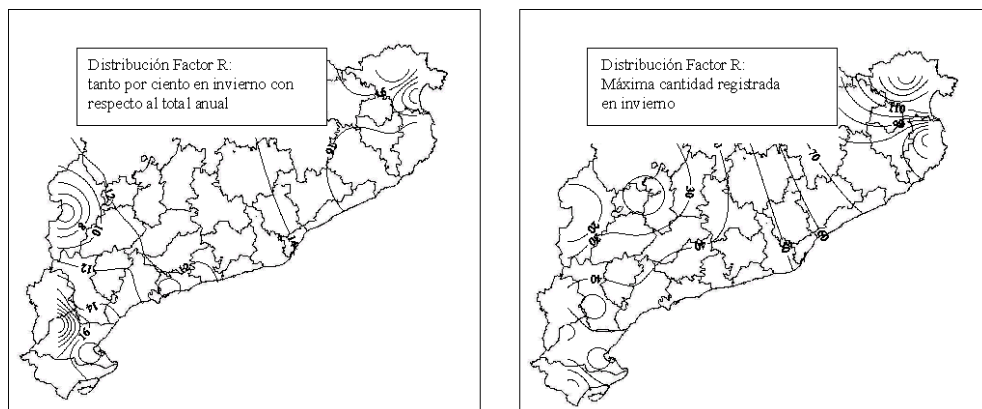


Figura 6: Distribución del Factor R porcentual y máximo absoluto en función de las principales zonas agrícolas de Catalunya para la estación de invierno.

A pesar de que, en esta primera aproximación, los resultados sean estimaciones para caracterizar el proceso, se pueden llegar a una serie de conclusiones de especial relevancia:

1. La zona agroclimática número 3 es donde incide más el parámetro analizado y, es en principio, donde las medidas protectoras tendrían que ser más severas.
2. El otoño es la estación que sufre un mayor porcentaje de episodios erosivos. Dadas las características fenológicas de muchos de los cultivos que se labran, especialmente frutales y cereales, el suelo está descubierto durante esta época del año, por lo que las medidas correctivas deberán ser importantes.
3. Pero quizás la conclusión de más trascendencia es el alto porcentaje de este tipo de episodios que se registran en la primavera y parte de verano en la zona agroclimatológica número 2. Las rentas agrarias de esta zona vienen fundamentalmente del frutal, cultivo que en esta época se encuentra en pleno desarrollo, por lo que estos episodios pueden, más que afectar a una pérdida de nutrientes del suelo, a la aniquilación parcial o total de las cosechas, hecho que puede afectar gravemente a la evolución normal de la cosecha y a unas importantes pérdidas económicas del sector. Medidas preventivas contra estos fenómenos serían básicas en el periodo comprendido entre los meses de marzo a julio que se tendrían que ver complementadas con un análisis frecuencial de la aparición de la piedra en las zonas interiores del territorio catalán.

7. BIBLIOGRAFÍA

ELÍAS CASTILLO, F.; CASTELLVÍ, F. (1996): *Agrometeorología*. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, 517 pp.

GÁZQUEZ, A (1996): Xarxa Agrometeorològica de Catalunya. *Catalunya Rural i Agraria*, nº 22. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Barcelona, pp. 14-18.

GÁZQUEZ, A.; PEÑA RABADÁN, J.C.; JARDÍ, M. (1999): La red agrometeorológica de Catalunya (XAC). Análisis de algunas series de intensidad de precipitación. En RASO, J.M: y MARTÍN-VIDE, J.: *La climatología española en los albores del siglo XXI*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie A, nº 1. Oikus-Tau. Vilassar de Mar, pp. 109-208.

GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C. (1996): *Los índices de agresividad de la lluvia y su aplicación en la valoración de la erosión del suelo*. Cuadernos técnicos de la S.E.G., nº 10. Sociedad Española de Geografía. Geofoma Ediciones. Logroño, 37 pp.

HUDSON, N.W. (1963): Raindrops size distribution in high intensity storms. *Rhod. Journal Agricultural Resources*, 1. pp. 6-11

HUDSON (1971): *Soil conservation*. Cornell University Press. Ithaca, 320 pp.

LLASAT, C (1998): Una clasificación de los episodios pluviométricos para su utilización en Hidrología. Aplicación a la serie de intensidad de lluvia en Barcelona. *Ingeniería Civil*, 112. Madrid, pp. 35-46.

MORGAN, R.P.C. (1986): *Soil erosion and conservation*. Longan. Harlow, 298 pp.

PEÑA, J.C.; JARDÍ, M. (1996): Agresividad de la lluvia en la comarca del Maresme (Barcelona-España). En *Desertización y erosión de suelos en España*. Asociación Meteorológica Española (A.M.E.). Vilaseca, pp. 81-85.

SEMPERE (1992): La precipitación como agente erosivo. Formación, distribución, erosividad e intercepción. En PÉREZ GONZÁLEZ, A y LÓPEZ BERMÚDEZ, J.: *Métodos y técnicas para el estudio de procesos de erosión*. Publicaciones del C.S.I.C.

WISCHMEIER, W.H. (1959): A rainfall erosion index from Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society American*, 24. pp. 323-326.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. (1978): *Predicting rainfall erosion losses*. Agricultural Handbook, 537. USDA. Washington D.C.

ZANCHI, C; TORRI, D. (1980): Evaluation of rainfall energy in central Italy. En de BOODT, M. Y GRABIELS, D. (eds): *Assesemnt of Erosion*. pp. 133-140.