

ANALISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES SUELO Y VEGETACION EN LA GENERACION DE ESCORRENTIAS MEDIAS ANUALES EN CUENCAS DE LA ESPAÑA PENINSULAR.

R.PIZARRO TAPIA* C. GONZALEZ GARCIA** & J.L.GARCIA RODRIGUEZ***

* UNIVERSIDAD DE TALCA (CHILE)

** DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA Y GESTIÓN FORESTAL. E.T.S. ING. DE MONTES, U.P.M.

*** DEPARTAMENTO DE INGENIERIA FORESTAL. E.T.S. ING. DE MONTES, U.P.M.

RESUMEN

El estudio analiza el grado de influencia de las variables suelo y vegetación en el proceso de transformación precipitación-escorrentía a escala interanual. El análisis se desarrolla en 22 cuencas en regimen natural, donde se han estudiado los modelos lineales más importantes basados en métodos de regresión.

P.C.: Precipitación, Escorrentía, Regimen natural en cuencas.

SUMMARY

This study analyzes the influence of soil and vegetation in the rainfall-runoff transformation process at interannual scale. This analysis is developed in twenty-two basins with natural regime, where the most important linear models based in regression methods have been studied.

K.W.: Rainfall, Runoff, Natural regime in basin.

INTRODUCCION

El suelo y la vegetación son dos de las variables que explican el proceso precipitación-escorrentía. En este marco si se contara con la información adecuada, se podría definir el peso relativo de dichas variables, mediante un análisis estadístico-matemático y su incidencia diferencial en el proceso.

No obstante, es importante destacar que cuando se trata de un conjunto de cuencas, sólo es posible un estudio de este tipo en términos interanuales, pues de forma anual, la variabilidad del tipo de suelo y del tipo de vegetación, son inapreciables desde una perspectiva estadística.

La orientación de una investigación de este tipo, según una metodología de análisis estadístico de datos, no es la única, ni la más citada por la literatura especializada. Sin embargo, su utilización es válida por razones de disponibilidad de los datos básicos; por las posibilidades que ofrece a un número importante de hidrólogos y, finalmente, por la facilidad de estructurar conclusiones en un contexto determinístico.

ANTECEDENTES

La influencia de la vegetación en la relación precipitación-escorrentía es un hecho indiscutible. La literatura muestra que las investigaciones se han dirigido, en primer lugar, a conseguir registros históricos en cuencas forestales poco perturbadas y, a continuación, a analizar la respuesta de la escorrentía en función de la cubierta vegetal, y de las alteraciones realizadas por las actividades forestales (HIBBERT, 1966). Posteriormente, se ha estudiado la influencia de reforestaciones en la escorrentía total (AYER, 1968), así como la repercusión en los caudales punta generados por el aumento de la escorrentía causada por las explotaciones forestales SINGH (1982), más tarde, RODIER (1985) corrobora ésta influencia.

En otras zonas, cabe destacar los estudios de SHARDA et al. (1988), LINDHOLM y STENBECK (1993) en cuencas de Africa y los de LAVABRE et al. (1991) en una cuenca del Mediterráneo francés. CALDER (1992), integra autores y cuencas de todo el mundo, tratando de obtener la relación en el aumento o disminución de escorrentías.

Los estudios sobre la influencia en los caudales, del tipo de suelo según su permeabilidad son más escasos y, aún se reduce más su número si se añade la cubierta vegetal. concretándose a una o, a lo sumo, dos cuencas.

En cuanto a los métodos estadísticos de análisis de datos empleados, destaca la frecuencia en la utilización de técnicas de regresión, en las relaciones precipitación-escorrentía-vegetación (KITAMURA, 1989; BERG, et al., 1991; GIUPPONI, 1993, ...).

En este trabajo, se dispone de datos anuales de precipitación-escorrentía en 22 cuencas distribuidas por todo el territorio español peninsular. En tales cuencas se posee información a nivel interanual. Esta información se tratará de relacionar con la disponible, al mismo nivel, para la vegetación y el tipo de suelo, mediante técnicas de regresión.

DATOS EMPLEADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para llevar a cabo el estudio, se dispuso de pares de datos reales precipitación-escorrentía de 22 cuencas de cabecera facilitados por el Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX, Madrid), en virtud de un proyecto que desarrolla el Grupo de Hidrología Regional Alpina y Mediterránea (AMHY), en el cual participa España a través del Comité Nacional del Programa Hidrológico Internacional. Este proyecto ha sido acogido por el Programa Hidrológico Internacional de UNESCO, 1990-1995, fase IV, a través del proyecto específico FRIEND (Flow Regimes from International Experimental and Network Data).

Los datos corresponden al período 1960-1989, aunque no todas las cuencas consideradas son homogéneas a este período. Antes del análisis de las relaciones entre las variables seleccionadas, se depuraron las series de datos, eliminándose los pares con posibles errores de medida o transcripción, y, aquéllos en donde faltaba el correspondiente del par (precipitación-escorrentía); en definitiva, se trabajó con datos reales sin recurrir a procedimientos para completar estadísticas.

Las cuencas seleccionadas aparecen en la tabla1, donde se aprecian algunas características físicas y administrativas. El análisis descriptivo inicial con el cálculo de los valores medios, la desviación típica y el coeficiente de variación de la precipitación y la aportación específica, muestra una variabilidad importante. Así por ejemplo, destaca el comportamiento de los coeficientes de escorrentía, notablemente más altos en la región hidrográfica del Norte (Sella, Dubra y Cabe), que en el resto de la península; también se observan diferencias entre las cuencas ubicadas en la zona norte, según que viertan al mar

Cantábrico o al Mediterráneo. Por otra parte, los coeficientes de escorrentía en la región pirenaica oriental, son más bajos que en la región Norte y los coeficientes de variación denotan una menor variabilidad en la región Norte que en el resto del territorio. Estos coeficientes muestran también una variación promedial más alta de los datos analizados, corresponde a la aportación específica, seguida del coeficiente de escorrentía en casi 10 puntos porcentuales y en más de 30 puntos porcentuales, las precipitaciones. Esto permite decir que la variabilidad de las aportaciones promediales duplica la de las precipitaciones.

RESULTADOS

En este apartado se realiza un análisis global a nivel interanual, de las influencias del binomio suelo-vegetación, en el proceso precipitación-escorrentía a partir de los datos medios calculados anteriormente.

En la metodología se emplea el análisis de regresión, basado en el aporte de diversas variables para conseguir la explicación de la variación total de los datos de aportación.

En este marco, PIZARRO (1996) define para esta información, y a nivel de valores medios, el modelo lineal simple del tipo $A = a + bP$, consigue explicar en un 87% la variación total. De igual forma, el modelo parabólico $A = a + bP^2$, explica en un 91% dicha variación total. Por consiguiente, sólo con la variable precipitación es posible conseguir una buena aproximación a la explicación de la variación total; restaría conseguir alguna variable, suelo y/o vegetación, que acercase los valores presentados al valor del 100%.

Para ello, se determinaron los tipos de cobertura vegetal para las cuencas en estudio a partir del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (M.C.A.) de España, elaborado por el Ministerio de Agricultura (1989) a escala 1: 1.000.000. Las categorías que incorpora esta cartografía son las siguientes:

Cultivos de secano	Arroz	Cultivos forzados	Cítricos o agrios
Frutales en regadío	Frutales/cítricos	Labor intensiva	Labor extensiva
Frutales en secano	Olivar	Viñedo	Olivar/viñedo
Praderas	Pastizal	Matorral	Fronosas
Coníferas	Coníferas/fronosas	Improductivo tierra	Improductivo agua

El primer paso es reagrupar estas categorías, descartando aquellas que no existen o no intervienen en la producción de las escorrentías, por tanto se crean las siguientes variables, que agrupan categorías establecidas en función de criterios de pendiente.

Variable 1: Cultivos en secano, Arroz, Cultivos forzados, Cítricos o agrios, Frutales en regadío y Frutales/cítricos

Variable 2: Labor intensiva, Labor extensiva y Viñedo

Variable 3: Frutales en secano, Olivar y Olivar/viñedo

Variable 4: Praderas y Pastizal.

Variable 5: Matorral, Fronosas, Coníferas, Coníferas/fronosas e Improductivo

Posteriormente las 22 cuencas se dibujaron a escala 1:1.000.000 y se superpusieron al M.C.A.. Es notable el hecho de que no se encontró ninguna categoría correspondiente a la Variable 1, lo que señalaría la fiabilidad del análisis realizado, dado que por ser cuencas de cabecera son zonas que normalmente no se destinan a regadíos, por tanto, se corrobora que las mayores proporciones de territorio son ocupadas por la Variable 5, como corresponde a la ubicación señalada.

A partir del Mapa Hidrogeológico (M.H.) de España, elaborado por el Instituto Tecnológico Geominero (1991), se determinaron los tipos de suelo para las cuencas en estudio. De esta manera se establecieron las siguientes:

1) Formaciones detríticas permeables en general no consolidadas. 2) Formaciones carbonatadas permeables por fisuración-karstificación. 3) Formaciones permeables en terrenos volcánicos. 4) Formaciones de baja permeabilidad o impermeables.

Las categorías señaladas, incluyen importantes subcategorías, que no son relevantes para los objetivos de este trabajo. Por ello, el elemento central desde un punto de vista hidrológico y a la escala en que se está trabajando, es agrupar las categorías en función del nivel de permeabilidad de los suelos, con lo que resultaron las siguientes variables:

Variable 6: Agrupa las tres primeras Categorías señaladas (zonas permeables) y Variable 7: Correspondiente a la última de las Categorías (zonas impermeables).

A continuación, se digitalizaron las 22 cuencas y se dibujaron a escala 1:1.000.000, y se superpusieron al M.H., consiguiendo así la territorialización para cada una de estas dos variables y para cada cuenca estudiada.

El siguiente paso, es el análisis estadístico de la influencia del tipo de suelo y de la cubierta vegetal en la generación de escorrentías, en términos anuales. El análisis de la explicación de la variación total de las siete variables anteriormente estudiadas, se realiza mediante el método de regresión paso a paso, donde, a partir del modelo base $A=a+bP$, se van agregando cada una de las variables definidas.

Por otra parte, en virtud de lo ya explicado, se descarta la variable 1 (regadíos), y se utiliza una única variable en representación del tipo de suelos, en este caso la variable 7 por ser complementaria de la 6. Los modelos analizados son los siguientes:

$$(1) A=a+bP; (2) A=a+bP+cV_2; (3) A=a+bP+cV_2+dV_3; (4) A=a+bP+cV_2+dV_3+eV_4; (5) A=a+bP+cV_2+dV_3+eV_4+fV_5; (6) A=a+bP+cV_2+dV_3+eV_4+fV_5+gV_7$$

donde, A, es la aportación específica en mm, P, es la precipitación areal en mm y V_i , representa a cada una de las variables y las letras a,b,c,d,e,f,g, son parámetros de ajuste.

Los resultados (Tabla 2), a la vista del valor de R^2 y de los errores de los coeficientes estimados, dan a la variable 4 y a la variable 7 los mejores resultados en cuanto a la explicación de la variación total de las aportaciones, a saber, un 3,5% y un 3,3%, respectivamente. El resto no presentan contribución significativa, incluida la variable 5, representativa de masas arboladas y/o matorrales. Por ello, con los datos analizados, salvo la P, la V_4 y la V_7 , las restantes variables presentan un aporte despreciable a la explicación (sólo en algo más del 1%) y, por tanto, el modelo final con las variables P, V_4 y V_7 , presenta el siguiente resultado.

$$A = -231+0,94 \cdot P+377 \cdot V_4-311 \cdot V_7 \quad R^2=0,934 \quad EEE=106$$

donde, EEE, es el Error Estándar Estimado.

Para las variables P, V_4 y V_7 , se trataron modelos no lineales, del tipo de los analizados por PIZARRO (1996), para relacionar A y P, y comprobar la mejora de ajuste al incluir variables vegetación (V_4)-suelo (V_7). También se consideró en estos modelos, la V_5 por su carácter forestal y para comprobar la sensibilidad de estos modelos frente a los lineales.

Los modelos que resultaron con coeficientes $R^2 \geq 0,75$, fueron:

$$\begin{aligned} A &= a+b \cdot V_5 \cdot P^2 \quad (R^2 = 0,8) & A &= a+b \cdot V_7 \cdot P^2 \quad (R^2 = 0,75) \\ A &= a+b \cdot (P/V_7)+c \cdot (P^2/V_5) \quad (R^2 = 0,85) & A &= a+(b \cdot P^2/(V_7+V_5)) \quad (R^2 = 0,85) \end{aligned}$$

A la vista de los resultados, se destaca que la contribución de la V_4 en estos modelos es menor que el esperado. Asimismo, llama la atención el aporte de la V_5 en este tipo de modelos frente a los resultados obtenidos ante los lineales. Por todo ello, dada la sencillez del modelo lineal simple, basado en las precipitaciones, $A=a+bP$, que alcanza un valor del $R^2=0,87$, no parece justificable una búsqueda de modelos más complejos.

CONCLUSIONES

1) La información analizada a nivel interanual, establece que la cobertura vegetal y el tipo de suelo no son variables determinantes en la variación de las aportaciones.

2) En los modelos lineales estudiados la variable principal asociada a la vegetación la constituyen las praderas y los pastizales, en cambio, en los modelos no lineales la representación corresponde a matorrales y bosques. En cuanto a la variable precipitación, la proporción de praderas y pastizales, y la proporción de suelo impermeable, convendría ensayar otros modelos de estimación de aportaciones medias.

3) Se aprecia la importancia de la utilización de las variables suelo-vegetación, así como la necesidad de mejorar la calidad de la información de dichas variables, con el fin de conseguir una mejor percepción de la influencia de las mismas en el proceso precipitación-escorrentía.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AYER, G. (1968). *Reforestation with conifers; its effect on streamflow in Central New York*. Water Resources Bulletin, Vol 4, N°2, p 13.

CALDER, I. (1992) *Hydrologic effects of land-use change*. Handbook of Hydrology, Editor R. Maidment. McGraw-Hill, U.S.A.

GIUPPONI, C. (1993). *Tillage system effects on runoff and soil losses*. Rivista di Ingegneria Agraria, Vol. 24, N° 4: 244-253. Italia.

HIBBERT, A. (1966). *Forest treatment effects on water yield*. Proceedings of a National Science Foundation advanced science seminar, International Symposium on Forest Hydrology. Pergamon Press: 527-543. U.S.A.

LAVABRE, J; SEMPERE-TORRES, D. & CERNESSON, F. (1991). *Etude du comportement hydrologique d'un petit bassin versant mediterraneen après la destruction de l'écosysteme forestier par un incendie*. Journal de Hidrologie Continentale, Vol. 6, N° 2: 121-132, Francia.

LINDHOLM, P. & STENBECK, I (1993). *Rainfall, soil loss and the effect of vegetation cover; Results of measurements in a tree plantation area in West Pokot District of Kenya*. International Rural Development Centre, University of Agricultural Sciences, Working Paper N° 244. Uppsala, Suecia.

PIZARRO, R. (1996). *Análisis comparativo de modelos matemáticos precipitación-escorrentía en cuencas de la España peninsular*. Tesis Doctoral. E.T.S.ING. MONTES, U.P.M.

RODIER, J. (1985). *Aspects of arid zone hydrology*. Facets of Hydrology II: 205-247 (Ed. J. Rodda) Ed. Wiley

SHARDA, V et al. (1988). *Hydrological behaviour of the Nilgiri sub-watersheds as affected by Bluegum plantations, part II, monthly water balances at different rainfall and runoff probabilities*. Journal of Hydrology, vol. 103, N°3-4: 347-355

SINGH, V. (1982) *Applied modeling in catchment hydrology*. Water Resources Publication. Colorado, U.S.A.

SOLIN, L. (1990) *Factors controlling the spatial variability of direct annual runoff as a percentage of total runoff*. Proceedings of Two Lausanne Symposia. International Association of Hydrological Sciences, IAHS Press, Publication N° 193, Institute of Hydrology of Wallingford. U.K.

RIO	COM. AUTONOMA	AREA (km2)	PDPA (*)	CUENCA HIDROGRAFICA	ALTI-TUD
Sella	Asturias	486	24	Norte	58
Dubra	Galicia	91	17	Norte	162
Cabe	Galicia	353	26	Norte	305
Riaza	Castilla-León	36	22	Duero	1040
Esgueva	Castilla-León	271	26	Duero	872
Moros	Castilla-León	35	26	Duero	1250
Tajo	Aragón - Castilla La Mancha	410	27	Tajo	1140
Azuer	Castilla La Mancha	470	28	Guadiana	730
Arochete	Andalucía	48	17	Guadiana	280
Córcoles	Castilla La Mancha	92	22	Guadiana	790
Ruecas	Extremadura	42	22	Guadiana	550
Ugíjar	Andalucía	120	26	Sur	420
Turón	Andalucía	211	26	Sur	346
Alcaucín	Andalucía	67	28	Sur	150
Perea	Murcia	43	9	Segura	390
Marimota	Castilla La Mancha	187	20	Júcar	830
Alfambra	Aragón	478	24	Júcar	1060
Ega I	País Vasco	87	20	Ebro	630
Jalón	Castilla-León	196	23	Ebro	895
Foix	Cataluña	279	23	Pirineo Oriental	148
Llemana	Cataluña	79	18	Pirineo Oriental	125
Francolí	Cataluña	338	23	Pirineo Oriental	310

Tabla 1. (*) Pares de valores precipitación-aportación.

MODELOS RESULTANTES	R ²
$A = -433 + 0,9 \cdot P$ (73) (0,08)	0,87
$A = -418 + 0,9 \cdot P - 40,1 \cdot V_2$ (95) (0,10) (156)	0,87
$A = -443 + 0,9 \cdot P - 20,4 \cdot V_2 + 69,5 \cdot V_3$ (113) (0,10) (166) (170)	0,87
$A = -481 + 0,9 \cdot P - 80,6 \cdot V_2 + 181 \cdot V_3 + 484 \cdot V_4$ (101) (0,09) (152) (156) (193)	0,90
$A = 17674 + 0,9 \cdot P - 1,8E4 \cdot V_2 - 1,8E4 \cdot V_3 - 1,8E4 \cdot V_4 - 1,8E4 \cdot V_5$ (1,5E4) (0,10) (1,5E4) (1,5E4) (1,5E4) (1,5E4)	0,91
$A = 13007 + 1 \cdot P - 1,3E4 \cdot V_2 - 1,3E4 \cdot V_3 - 1,3E4 \cdot V_4 - 1,3E4 \cdot V_5 - 297 \cdot V_7$ (1,2E4) (0,08) 1,2E4 (1,2E4) (1,2E4) (1,2E4) (97)	0,95

Tabla 2. Donde, R², es el coeficiente de determinación y (), son los números que señalan el error estándar de cada coeficiente estimado.