

Incidencia del stress hídrico en las relaciones suelo-agua-planta a lo largo de un gradiente pluviométrico en el sur de España.

J.D. Ruiz-Sinoga, E. Ferre Bueno, J.F. Martínez-Murillo, M.A. Gabarrón-Galeote.

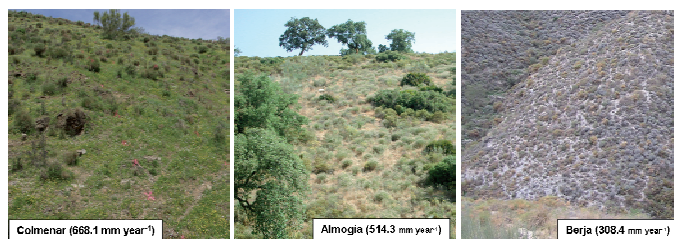
Departamento de Geografía, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos, 29.071 Málaga (España).
E-mail: sinoga@uma.es

ABSTRACT

The Andalusian Mediterranean Watershed, in the South of the Iberian Peninsula, shows a climatic gradient from the Straits of Gibraltar ($1,600 \text{ mm year}^{-1}$) to the Cabo de Gata (150 mm year^{-1}). Climate conditions differences are translating into variations in the elements of the eco-geomorphological system at hillslope scale. In this study has been analysed the immediate consequences of a period of two years drought (2004-06) on several elements of the Mediterranean eco-geomorphological system at three hillslopes (sub-humid, dry Mediterranean and semi-arid). The soil water content, the pattern of vegetation and some soil properties (organic matter content, aggregate stability and permeability) were analysed before (Nov-2003) and during (Nov-2005) the drought period. Final results have shown: i) reduction in soil water content which reached in the wet seasons values below wilting point, affecting negatively to the water available for vegetation and especially in the wettest sites; ii) reduction in vegetation cover and in the number of plants, especially at semi-arid field site; iii) changes in the organic matter content which aggravates the loss of stability of soil aggregates, a process seen more clearly under more arid conditions; and iv) reduction of soil permeability in all situations in the climate gradient studied, which supposes *a priori* an increase in erosive processes due to surface runoff. These results indicate increased vulnerability of the eco-geomorphological system because of the rainfall drought situation.

INTRODUCCION.

Muchos estudios han mostrado la variable respuesta del sistema ecogeomorfológico a lo largo de un gradiente pluviométrico, que desde el punto de vista funcional, se concreta en un empobrecimiento de las relaciones suelo-agua-planta. En esta investigación constatando como punto de partida dicha variabilidad espacial, se analiza la adaptación de los diferentes parámetros integrantes del sistema ecogeomorfológico a una situación de stress hídrico. El área de estudio considerada es el sur de España, en donde se definió un gradiente pluviométrico plasmado en 3 laderas experimentales, Colmenar (CO)(668 mm/y^{-1}), Almogía (AL)(514 mm/y^{-1}) y Berja (BE)(308 mm/y^{-1}). En cada una de las laderas se instaló una parcela experimental abierta, de 5 m de anchura y cuya longitud coincidía con la de la ladera desde el interfluvio al thalweg, que fue monitorizada durante cuatro años (sept. 2002 a sept. 2006): las precipitaciones con un pluviómetro totalizador, el contenido de agua del suelo en puntos de muestreo fijos situados cada 10 m desde el interfluvio al thalweg mediante sondas TDR, (Tektronix 1502C) tanto en superficie como a 15 cm de profundidad, las propiedades físico-químicas del suelo mediante análisis de muestras en los mismos puntos de medición de la humedad y la cubierta vegetal y el número de plantas mediante fotografiado de la misma a una altura de 5 m utilizando una cámara digital de alta resolución. La observación de un periodo de sequía desde 2004-2006 permitió analizar su incidencia sobre los parámetros que constituyen el sistema ecogeomorfológico de cada una de las laderas.



Los objetivos de este estudio han sido: i) determinar la variabilidad interanual del contenido de agua en el suelo y de la disponibilidad de agua útil para la vegetación, y ii) analizar la respuesta, la adaptación y el grado de vulnerabilidad de los restantes elementos del sistema eco-geomorfológico, vegetación y suelos, a una situación de stress hídrico, como la sucedida entre 2004-2006 en el sur de España.

RESULTADOS.

Incidencia en la humedad del suelo.

El contenido de humedad del suelo disminuyó desde la ladera más húmeda (CO) a las más secas (BE) para cada uno de los cuatro años hidrológicos considerados, con una mayor proximidad entre los valores medios de las laderas de una mayor pluviometría (6.71% y 6.15%) en relación a BE (4.34%).

Esta reducción mostró las consecuencias inmediatas de la sequía, puesto que la alternancia de las estaciones secas y húmedas y el desarrollo de rachas secas alcanzando valores mínimos, y a pesar de la extraordinaria variabilidad espacio-temporal, son apreciables las mayores diferencias entre laderas en los periodos secos, mientras que en los periodos húmedos esta variabilidad es mayor a nivel intra-ladera. Los efectos de los factores que controlan las variaciones espaciales del contenido de humedad, como son el patrón de vegetación (Lavee et al., 1998), la materia orgánica (Sarah P., 2004), la estabilidad de los agregados (Boix, 1999) o la permeabilidad del suelo (Martínez-Fernández, 1996), son muy variables a lo largo de la ladera.

La variabilidad intra-ladera tiene consecuencias hidrológicas puesto que es un factor clave en las variaciones estacionales de los mecanismos de generación de escorrentía y procesos erosivos hídricos (Martínez-Murillo and Ruiz-Sinoga, 2007): controla la generación de escorrentía a escala de ladera (Ward and Robinson, 2000) y por tanto, el movimiento de sedimentos ladera abajo (Calvo et al., 2003, 2005).

Incidencia en la cubierta vegetal y el patrón de vegetación.

Las continuas modificaciones de los aportes pluviométricos y su incidencia en el estado hídrico de los suelos supusieron alteraciones en la composición de la cubierta vegetal y del número de individuos en las tres laderas.

Después del periodo de sequía, las laderas estaban más desprotegidas y en consecuencia pudieron intensificarse los procesos de generación de escorrentía hortoniana por sellado de la superficie del suelo sin cubierta vegetal, y por tanto podrían activarse los procesos de erosión hídrica con movilizaciones de sedimentos. Sin embargo, este descenso de la cubierta vegetal debe ser matizado: la cubierta vegetal sufre una mayor reducción en términos porcentuales conforme se incrementa la aridez, es decir, es más acusada en la ladera donde la biodiversidad es menor (BE). En CO la cubierta vegetal se redujo de 46.5% a 43.0% pero afectó al 34% de los individuos, incidiendo tanto en el matorral como en las plantas muertas conectadas al suelo, de escasa superficie y distribuidas homogéneamente a lo largo de la ladera. En AL la cubierta vegetal pasó de 46.9% a 37.3% y afectó al 56.1% de los individuos, siendo los más afectados aquellos de un tamaño inferior a 0.20 m². En la mayor parte de las clases de vegetación consideradas hubo una reducción del área ocupada pero esta fue especialmente importante en las plantas muertas conectadas con el suelo y en la vegetación herbácea anual. En BE las clases de vegetación dominantes son el matorral de baja densidad, la vegetación herbácea anual y las plantas muertas conectadas al suelo.

Se produjo una pérdida de casi un 20% de la cubierta vegetal, traduciéndose en una reducción considerable del número de individuos (46.5%).

Incidencia en el contenido de materia orgánica y la estabilidad de agregados.

Ambas propiedades del suelo se incrementan con la pluviometría por término medio sufriendo modificaciones bajo diferentes condiciones climáticas y de vegetación y a lo largo del año (Boix et al., 1995; Cerdà, 1998a; Boix-Fayos, 1999), por lo que están sujetas a una extraordinaria variabilidad temporal, siendo reconocidas como propiedades de ciclo corto. Fueron constatadas diferencias en los valores obtenidos de ambas propiedades entre periodos secos y húmedos. Esta variabilidad conjunta manifiesta que existe una relación positiva entre materia orgánica y estabilidad de agregados (Tisdall and Oades, 1982; Imeson and Verstraten, 1989; Lavee et al., 1998; Cerdà, 1998b; Sarah P., 2004). Tanto en CO como en AL el contenido de materia orgánica del suelo varió de 5,7% a 4,3% y de 4,1% a 3,6% respectivamente, mientras que en BE apenas si se modificó, si bien sus valores son muy bajos. (1,89% en 2003 y 1,91% en 2005). La estabilidad de agregados se redujo durante la sequía en las 3 laderas. (CO, 87% en 2003 y 73% en 2005; AL, 79% en 2003 y 67% en 2005, y BE, 68% en 2003 y 59% en 2005), lo que significa un empobrecimiento de los suelos conforme se incrementan las condiciones de aridez.

A la variabilidad mostrada en el análisis y evolución de ambas propiedades, no solo a lo largo del gradiente y durante el periodo de tiempo considerado, debe añadirse la existencia de importantes variaciones intra-ladera en los valores de ambas propiedades, sobre todo bajo condiciones más semiáridas, debido al control que ejerce el patrón de vegetación y el contenido de humedad sobre ellas.

Incidencia sobre la conductividad hidráulica saturada (Ksat)

La Ksat se incrementó con la pluviometría, al mejorar las condiciones favorables para el predominio de los factores bióticos del sistema: la mayor cubierta vegetal favorece mayores contenidos de OM en el suelo que a su vez mejoran la estructura del suelo y su permeabilidad (Lavee et al., 1998).

Se produjeron importantes modificaciones de condiciones normales a secas, que fueron mayores en las laderas donde las precipitaciones se redujeron más drásticamente durante la sequía (CO y AL, reduciéndose de 1049 cm/h⁻¹ a 359 cm/h⁻¹, y de 961cm/h⁻¹ a 295 cm/h⁻¹ respectivamente), mientras que en BE apenas si tuvo incidencia (264 cm/h⁻¹ a 261 cm/h⁻¹). Aún tratándose de una propiedad muy variable, nos puede hacer sospechar acerca de modificaciones en el comportamiento hidrológico de las laderas, que podrían suponer el incremento de los procesos de escorrentía superficial así como los de erosión del suelo en las laderas de una mayor pluviometría.

CONCLUSIONES.

1. La repercusión más inmediata sobre el sistema eco-geomorfológico se produce sobre el contenido de humedad del suelo. La reducción de los aportes pluviométricos provocó un descenso generalizado en el contenido de agua del suelo, que afectó en mayor medida a las laderas más húmedas, y que durante las estaciones húmedas llegó a situarse en situación de punto de marchitez, lo que se tradujo en un descenso del agua disponible para el consumo de la vegetación.
2. Esto supuso una reducción de la biomasa y del número de individuos vegetales en las 3 laderas, con una incidencia directa sobre el patrón de vegetación y sobre las condiciones de vulnerabilidad del suelo. Aunque esta modificación fue más grave bajo condiciones semiáridas. Después se constató una mayor desprotección del suelo aumentando su erodibilidad.
3. La pérdida de biomasa supone un empobrecimiento de los suelos representado por el contenido de materia orgánica y por la estabilidad de agregados. Dentro del periodo de sequía, ambas propiedades ofrecen una notable variabilidad espacio-temporal entre estación seca y húmeda: los valores son siempre inferiores al final de los periodos secos, como manifestación del empobrecimiento de los suelos conforme se incrementan las

condiciones de aridez y la falta de agua. En esta situación la relación entre ambas variables aumenta, poniéndose de manifiesto la importancia de la presencia de OM para los agregados del suelo, sobre todo bajo condiciones climáticas más áridas.

4. Durante la sequía se produce una pérdida de permeabilidad del suelo, lo que puede hacer suponer un favorecimiento de los procesos de escorrentía superficial, por reducción de la capacidad de infiltración del suelo, y por tanto del arrastre de sedimentos. La Ksat del suelo es mayor conforme se acentúan las condiciones húmedas, sin embargo, la sequía supone una drástica reducción de la misma en la ladera donde las condiciones de permeabilidad del suelo eran mayores antes de ella (CO). Esta pérdida de capacidad de transmisividad de los suelos hace sospechar en el dominio de los procesos de escorrentía sobre los de infiltración y por consiguiente en los procesos de degradación del suelo a consecuencia de la erosión hídrica, lo que a corto plazo puede ser el primer paso hacia la aparición de procesos de desertificación.

5. Los indicadores analizados muestran una degradación inversamente proporcional a la disminución de la pluviometría. Todos los elementos del sistema eco-geomorfológico analizados pueden ser utilizados como indicadores de degradación del sistema y de la incidencia en el sistema de modificaciones en las condiciones climáticas, y como en anteriores investigaciones, la metodología de aproximación desde el gradiente climático resulta muy útil para tales efectos.

REFERENCIAS

- ❖ Boix, C., Soriano, M.M., Tiemessen, I.R., Calvo, A., Imeson, A.C., 1995. Properties and erosional response of soils in a degraded ecosystem in Crete (Greece). *Environmental Monitoring Assessment* 37, 79-92.
- ❖ Boix-Fayos, C., 1999. Procesos geomórficos en diferentes condiciones ambientales mediterráneas: el estudio de la agregación y la hidrología de suelos. Thesis, Universidad de Valencia, 394 pp.
- ❖ Boix, C., Calvo, A., Imeson, A.C., Soriano, M.D., Tiemessen, I.R., 1998. Spatial and short-term temporal variations in runoff, soil aggregation and other properties along a mediterranean climatological gradient. *Catena* 33, 123-138.
- ❖ Calvo, A., Boix, C., Imeson, A.C., 2003. Runoff generation, sediment movement and soil water behaviour on calcareous (limestone) slopes of some Mediterranean environments in Southeast Spain. *Geomorphology* 50, 269-291.
- ❖ Calvo-Cases, A., Boix-Fayos, C., Arnau-Roselen, E., 2005. Pattern and thresholds of runoff generation and sediment transport on some Mediterranean hillslopes. In: C. García and R. Batalla (editors), *Catchment Dynamics and River Processes: Mediterranean and Other Climate Regions*, 31-51 pp.
- ❖ Cerdà, A., 1998a. The influence of geomorphological position and vegetation cover on the erosional and hydrological processes on a Mediterranean hillslope. *Hydrological Processes* 12, 661-671.
- ❖ Cerdà, A., 1998b. Soil aggregate stability under different Mediterranean vegetation types. *Catena* 32, 76-86.
- ❖ Imeson, A.C., Verstraten, J.M., 1989. The microaggregation and erodibility of some semi-arid Mediterranean soils. *Catena supplement* 14, 11-24.
- ❖ Lavee, H., Imeson, A.C., Sarah P., 1998. The impact of climate change on geomorphology and desertification along a Mediterranean arid transect. *Land Degradation and Development* 9, 407-422.
- ❖ Martínez-Fernández, J., 1996. Variabilidad especial de las propiedades físicas e hídricas de los suelos en medio semiárido mediterráneo. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. 191 pp.
- ❖ Martínez-Murillo, J.F., Ruiz-Sinoga, J.D. 2007. Seasonal changes in the hydrological and erosional response of a hillslope under dry-Mediterranean climatic conditions (Montes de Málaga, South of Spain). *Geomorphology* 88, 69-83.
- ❖ Sarah P., 2004. Nonlinearity of ecogeomorphic processes along Mediterranean-arid transect. *Geomorphology* 60, 303-317.
- ❖ Tisdall, J.M., Oades, J.M., 1982. Stabilization of soil aggregates by root systems of ryegrass. *Australian Journal of Soil Science* 17, 429-441.
- ❖ Ward, R.C., Robinson, M., 2000. *Principles of Hydrology*. 4th edition, McGraw-Hill, 450 pp.