

INTERACCIÓN ENTRE LA EROSIÓN EN REGUEROS, CONTENIDO DE HUMEDAD EDÁFICA Y COLONIZACIÓN VEGETAL EN LADERAS RESTAURADAS DE LA MINERÍA A CIELO ABIERTO DEL CARBÓN EN AMBIENTE MEDITERRÁNEO-CONTINENTAL (TERUEL)

M. Moreno de las Heras; J. M. Nicolau y T. Espigares

Departamento de Ecología. Universidad de Alcalá. Facultad de Ciencias. Campus universitario de Alcalá. Ctra. Madrid-Barcelona, km. 33,600. 28871 Alcalá de Henares (Madrid); mariano.moreno@uah.es

RESUMEN. Los mecanismos de control de la humedad del suelo por la erosión están relacionados con la formación de costras superficiales, la reducción de la rugosidad superficial del suelo y la evacuación eficiente de la escorrentía por las redes de regueros. Todos ellos reducen las tasas de infiltración, bien a escala de pedión o de ladera. Se ha monitorizado durante un año la humedad del suelo y la dinámica de la comunidad herbácea en tres laderas con diferente desarrollo de redes de regueros (0.52 m/m², 0.39 m/m² y 0 m/m²) y de similares características edáficas, topográficas y tratamiento de revegetación. Se han encontrado diferencias tanto en la humedad del suelo como en la emergencia de plántulas herbáceas, producción de semillas y abundancia en los bancos de semillas del suelo. El efecto de las redes de regueros en la humedad del suelo fue también comprobado en dos laderas con diferente densidad de regueros (cercana a 0 y 0.52 m/m²) y similares características del suelo, midiendo la humedad del suelo a 3 y 10 cm de profundidad tras una tormenta de 17.9 mm. Los resultados presentaron grandes diferencias entre las dos situaciones. El estrés hídrico (debido al clima y características de los suelos) es acentuado por la erosión en regueros. Esta reducción adicional en la disponibilidad de agua para las plantas puede resultar decisiva en la supervivencia y desarrollo de las especies introducidas, así como en el patrón temporal de colonización natural, al reducirse el número de años en que se pueden dar episodios de colonización.

ABSTRACT. Soil erosion affects soil moisture content in different ways: crust development, soil roughness reduction and rill network development, draining runoff efficiently at the slope scale. Soil water content and annual plant dynamics have been monitored in three rilled slopes of similar characteristics, representing a rill density gradient (0.52 m/m², 0.39 m/m² and 0 m/m²). Soil moisture content as well as plant emergence, seed production and seed abundance of soil seed bank were negatively affected by rill erosion. Moreover, the effect of rill erosion on soil moisture content was analysed after a storm (17.9 mm) on two slopes showing different rill density (near to 0 and 0.52 m/m²) and similar type of soil. The results show great

differences (16.81% for 3 cm and 11.83% for 10 cm on low rilled slope and 5.49% for 3 cm and 5.41% for 10 cm on high rilled slope). Hydric stress (related to climate and soil properties) can be increased by soil erosion. This additional soil water reduction can be critical for vegetation dynamics and reclamation process in Mediterranean-Continental environments.

1. Introducción

La humedad del suelo ha sido identificada como factor clave para la estructura, organización, dinámica y función de los ecosistemas (Puigdefàbregas *et al*, 1999; Rodríguez-Iturbe *et al*, 2001; Cantón *et al*, 2004). De esta manera, el estrés hídrico, limitante para la colonización vegetal (García Fayos *et al*, 2000), actúa como factor de control en las restauraciones desarrolladas en medios mediterráneo-continuales (Nicolau, 1996).

Con relación a los factores de control sobre el régimen hidrológico de laderas artificiales, se han descrito dos trayectorias diferentes: aquéllas en las que domina el control biológico y aquéllas en las que domina el control abiótico (Nicolau y Asensio, 2000; Nicolau, 2002).

Las características físico-químicas particulares de algunos materiales geológicos utilizados como sustrato en las restauraciones mineras tienden a favorecer la compactación y el encostramiento, lo que propicia el control físico de las respuestas hidrológicas (Stiller *et al*, 1980). En general, estos procesos dan lugar a altas tasas de erosión hídrica superficial, desarrollándose densas redes de regueros (Nicolau, 2002). La canalización de la superficie por regueros –reguerización– acentúa el déficit hídrico natural de origen climático, lo que puede comprometer seriamente el desarrollo y éxito de las comunidades vegetales restauradas y condicionar el patrón temporal de la colonización natural.

Se han identificado diferentes mecanismos (figura 1) por los que la erosión disminuye la disponibilidad de agua para las plantas, acentuando el déficit hídrico (Pimentel y Harvey, 1999; Nicolau, 2002):

- La reducción del espesor del suelo que disminuye la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.
- La degradación de la estructura del suelo y formación de costras superficiales que reducen la infiltración.
- La disminución de las oportunidades de re-infiltración de la escorrentía a lo largo de la ladera por causa de la erosión laminar, que reduce la rugosidad del suelo. Entendemos por re-infiltración a la reducción de las tasas de escorrentía que se produce al cambiar de escala de pedión a escala de ladera (Kirkby, 2001).
- La evacuación rápida de la escorrentía producida por las redes de regueros, que también reducen las oportunidades de re-infiltración a escala de ladera.

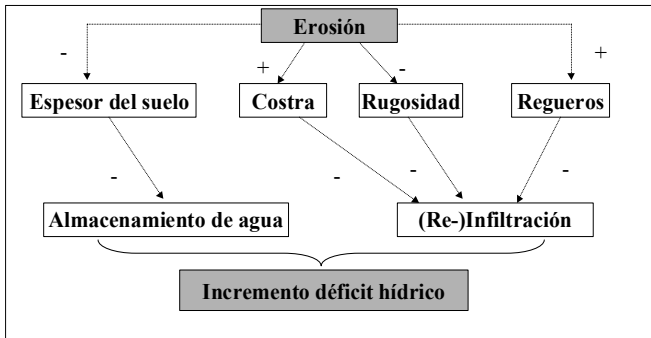


Fig. 1. Mecanismos de aumento del déficit hídrico generados por la erosión. (tomado de Moreno, 2005).

El incremento del déficit hídrico generado por la erosión condiciona todas las fases del desarrollo vegetal (emergencia, establecimiento, floración y producción de semillas).

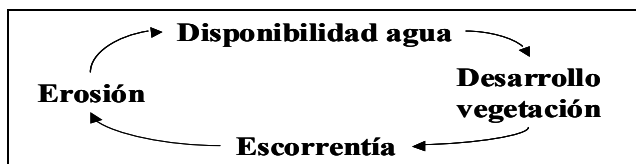


Fig. 2. Proceso de retroalimentación positiva erosión-vegetación

La reducción de la actividad biológica genera, asimismo, un reforzamiento de la degradación del sistema (Sarah, 2004) desencadenada por el proceso de retroalimentación erosión-vegetación (figura 2). De este modo, la reducción de la entrada neta de agua en el suelo, generada por el proceso erosivo, reduce la cantidad de agua disponible para el desarrollo de la vegetación. La disminución en el desarrollo de la vegetación, en consecuencia, incrementa la escorrentía y, a su vez, la intensidad del proceso erosivo (Wilcox *et al.*, 2003).

Es cada vez mayor la superficie construida de laderas artificiales, derivadas de la minería a cielo abierto así como de otras actividades (construcción, ingeniería civil y movimientos de tierra en general). Se estima que la minería a cielo abierto cubre el 1% de la superficie continental de la Tierra (Walker y del Moral, 2003). Aunque se ha

progresado notablemente en el desarrollo de técnicas de restauración en las últimas décadas, los fallos en la práctica han sido numerosos (Haigh, 2000), por lo que es necesario aumentar los esfuerzos de investigación (Plass, 2000). En el contexto mediterráneo continental es importante conocer las implicaciones que la erosión pueda tener sobre la colonización vegetal, en virtud de la relación que este proceso tiene con la disponibilidad y distribución del agua del suelo para las plantas (Moreno, 2005).

En este trabajo se muestran los resultados preliminares obtenidos en la estación experimental “Utrillas” referentes a la interacción entre desarrollo de redes de regueros con el contenido de humedad del suelo, y la dinámica de la vegetación. La hipótesis de partida es que el déficit hídrico natural (debido a las características climáticas regionales y características físico-químicas de los sustratos) se ve acentuado por el desarrollo de las redes de regueros, lo cual a su vez limita la dinámica de la vegetación.

2. Área de estudio

La estación experimental “Utrillas” para la restauración de áreas mineras” se encuentra situada en la mina “El Moral”, localizada en el término municipal Utrillas de la provincia de Teruel, a 1100 m de altitud sobre el Sistema Ibérico (Fig. 3).

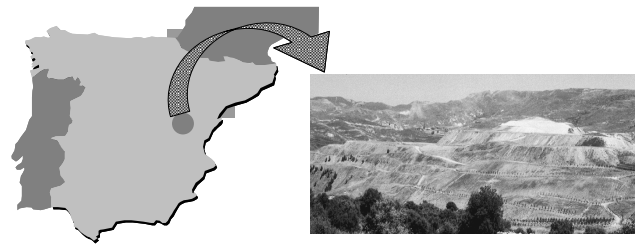


Fig. 3. Localización y vista general: mina “El Moral” (Utrillas, Teruel).

El régimen climático regional *sensu* Papadakis es Mediterráneo-Seco, de carácter continental (Papadakis, 1966). La temperatura media anual es de 11°C (6.8 °C en Diciembre y 23.5 °C en Julio). El periodo libre de heladas se establece entre los meses de Mayo y Octubre. La pluviometría media anual es de 466 mm, el 28% de los cuales caen entre Mayo y Junio y el 20% en Septiembre. El déficit hídrico es de 292 mm y se establece entre los meses de Junio y Octubre (Nicolau, 2002).

La mina “El Moral” fue restaurada entre 1986 y 1989. La pendiente general es de 15°, dividida en ocho tramos, cada uno de 18-20° y 25-100 m de longitud. El sustrato que cubre las superficies restauradas consiste en 100 cm de materiales geológicos (estériles mineros principalmente) compuestos por arcillas grises, arenas y limos arenosos. Las operaciones de revegetación se llevaron a cabo mediante la siembra de una mezcla gramíneas perennes y leguminosas (*Festuca rubra*, *Festuca arundinacea*, *Poa pratensis*, *Lolium perenne* y *Medicago sativa*). De forma generalizada se produjo el desarrollo temprano de redes de regueros en

las laderas restauradas. Las pérdidas por erosión durante los dos primeros años tras la siembra fueron de 50-160 t/ha/año (Nicolau, 2002).

3. Material y métodos

3.1. Toma de datos

La toma de datos sistemática se ha realizado en tres laderas que representan un intervalo de erosión en regueros y se ha complementado con un muestreo puntual tras una tormenta en dos laderas contiguas con y sin regueros.

3.1.1. Medición de la humedad edáfica y seguimiento de la dinámica vegetal en tres laderas en un intervalo de erosión en regueros

Tres laderas han sido monitorizadas durante el ciclo vegetal 2003-04 (Lad 1, 2 y 3; Tablas 1 y 2). Estas presentan un intervalo de densidad de regueros (0.52, 0.39 y 0 m lineales de regueros/ m² de superficie respectivamente). La topografía, propiedades del suelo y tratamientos de restauración aplicados en las mismas han sido muy similares (Tablas 1 y 2). Las diferencias en el desarrollo de las redes de regueros están relacionadas con la presencia de fuentes de escorrentía externas situadas en las cabeceras de las laderas. Así, la ladera 1 presenta conexión directa con una pista en la parte superior y la ladera 2 presenta una rampa muy pendiente (40°) en la cabecera. No existen fuentes externas de escorrentía en la ladera 3.

Tabla 1. Media y desviación típica (en cursiva) de las características generales de las laderas. * Laderas empleadas en el muestreo de humedad para la tormenta de primavera.

	Lon (m)	Incl (°)	Cubierta vegetal (%)	S	Nº Regueros	Sección Regueros (cm ²)	Densidad Regueros (m / m ²)
Lad A*	50	21	22.16 24.27	15	0.00	0.00	0.00
Lad 1*	40	20	8.54 9.46	5	16.00 6.93	680.02 233.39	0.52
Lad 2	78	20	26.59 13.44	14	7.66 3.21	572.52 563.71	0.39
Lad 3	80	20	35.48 12.88	20	0.00	0.00	0.0

Lon: longitud; Incl: inclinación; S: Riqueza específica.

En estas tres laderas ha sido monitorizada la dinámica vegetal (dinámica del banco de semillas, emergencia en campo y producción de semillas), así como el régimen de humedad edáfica durante un ciclo productivo vegetal (Octubre-Julio):

- Seguimiento de la humedad edáfica:

Durante el mes de Octubre de 2003 se establecieron una serie de parcelas permanentes en campo, sobre las que se realizó un seguimiento de la humedad edáfica (1 registro cada 15 días aproximadamente) en los primeros 25 cm del suelo mediante el uso de técnicas TDR (Topp y Davis, 1985) con un equipo Imko TRIME FM. Los cuadros permanentes se colocaron de forma sectorizada (superior-

interreguero, superior-reguero, inferior-interreguero, inferior-reguero) y al azar. La densidad de medidas fue de 32 en la ladera 1, 32 en la ladera 2 y 16 en la ladera 3.

- Dinámica del banco de semillas (abundancia):

Durante el mes de Septiembre de 2003 se recogieron y se dejaron secar al aire una serie de muestras de banco de semillas, distribuidas y extraídas del siguiente modo:

En cada ladera se establecieron al azar un total de 10 parcelas cuadradas (de 5 m de lado), situadas de forma sectorizada (parte superior de la ladera y parte inferior) y al azar. Dentro de cada una de las parcelas se extrajeron 8 tepes de suelo (60.8 cm² de área y 3 cm de profundidad cada unidad) distribuidos sectorizadamente en áreas de interregueros y de regueros (exceptuando la ladera en la que no aparecían regueros) y al azar.

Se desagregaron los tepes extraídos y se colocaron en alveolos (con una dilución 1 tepe por cada 4 alveolos). Las muestras de banco de semillas se colocaron en los alveolos sobre una capa de vermiculita y una gasa dejando un espacio de 2 cm de profundidad en superficie para la muestra.

Tabla 2. Media y desviación típica (en cursiva) de las características generales de los sustratos de las laderas. * Laderas empleadas en el muestreo de humedad para la tormenta de primavera.

	MO (%)	N (%)	pH	Pedr. (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura
Lad A*	0.74	0.03	7.39	17.09	34.18	29.26	36.55	F-a
Lad 1*	0.09	0.01	0.56	4.05	3.28	1.80	3.00	
Lad 2	0.52	0.02	7.62	15.72	32.71	28.51	38.77	F-a
Lad 3	0.08	0.01	0.45	2.00	6.82	6.41	2.61	
Lad 2	1.54	0.05	8.44	27.71	36.44	28.41	35.15	F-a
Lad 3	0.07	0.01	0.07	5.43	0.92	0.92	1.84	
Lad 3	1.70	0.07	8.48	24.47	42.2	27.49	30.41	F-a
Lad 3	0.41	0.02	0.04	4.45	1.91	1.38	0.57	

MO: materia orgánica; N: nitrógeno; Pdr.: pedregosidad.

Las bandejas de alveolos se colocaron en un invernadero desde el mes de Octubre de 2003 hasta Julio de 2004 con un régimen de riego óptimo. Se contabilizó el número de semillas que emergieron (semillas viables).

- Emergencia de plántulas en campo:

Durante la primera quincena del mes de Noviembre de 2003 se establecieron una serie de cuadros de muestreo (20 cm de lado), distribuidos de forma sectorizada (superior-interreguero, superior-reguero, inferior-interreguero, inferior-reguero) y al azar, en los que se contabilizó el número de individuos emergidos y clase (monocotiledónea o dicotiledónea). El número de cuadros en cada ladera se estableció atendiendo al incremento de la heterogeneidad que la erosión podría producir en la distribución del banco de semillas y su emergencia (80 cuadros en ladera 1, 60 en ladera 2 y 20 en ladera 3).

- Producción de semillas:

Se seleccionó una gramínea anual con una distribución relativa abundante en las tres laderas (*Aegilops ovata*), cuyos frutos fueron recogidos y contabilizados en cuadros de muestreo (50 cm de lado o una superficie equivalente en los regueros) distribuidos de forma sectorizada (superior-interreguero, superior-reguero, inferior-interreguero, inferior-reguero) y al azar. El momento de recogida se estableció atendiendo al momento de maduración de los

frutos (finales de Julio de 2004 para *Aegilops ovata*). La densidad de medidas fue de 24 en la ladera 1, 24 en la ladera 2 y 12 en la ladera 3.

3.1.2. Efecto del desarrollo de las redes de regueros sobre la humedad edáfica tras una tormenta de primavera

Como medida preliminar se determinó el contenido de humedad del suelo mediante el método gravimétrico tras una tormenta de primavera (fecha 17 de Junio de 2003; precipitación 17.9 mm) en dos laderas de características muy similares que se diferencian por la presencia o no de una red de regueros formada (Lad A y Lad 1; Tablas 1 y 2). Se realizó un muestreo sectorizado por transecto y regular dentro de los mismos a dos profundidades 3 y 10 cm). El número de muestras recogidas fue de 30 (15 a 3 cm y 15 a 10 cm) en la ladera más erosionada con regueros y de 60 (30 a 3 cm y 30 a 10 cm) en la menos erosionada. El número de muestras en esta última se aumentó con respecto al establecido en la ladera con regueros para atender al incremento de heterogeneidad que en esta se producía por la presencia inalterada de la microtopografía original de la superficie restaurada (pequeñas bermas o microterrazas transversales a la pendiente). Estas estructuras han sido desmanteladas en la ladera con presencia de regueros debido a las altas tasas de erosión.

3.2. Análisis de datos

Los resultados preliminares que aquí se presentan han sido obtenidos mediante el uso de los test ANOVA Kruskal-Wallis para la comparación de las variables monitorizadas en las tres laderas sometidas al intervalo de erosión (Lad 1, 2 y 3). En este caso, las comparaciones *post hoc* entre grupos se han realizado mediante el test de la U de Mann-Whitney a p crítica de 0.05. El efecto de los diferentes factores (presencia de regueros en ladera y profundidad) sobre la humedad del suelo ha sido analizado mediante el empleo del test de la U de Mann-Whitney.

4. Resultados

4.1. Monitorización de la humedad edáfica y dinámica vegetal en tres laderas en un intervalo de erosión en regueros

Los valores medios estacionales de humedad edáfica, para los primeros 25 cm de suelo, están fuertemente condicionados por el desarrollo de las redes de regueros (figura 4). Respecto a los suelos de una ladera sin regueros una red de regueros de $0.39 \text{ m}^2/\text{m}^2$ produce una disminución de los valores de humedad estacionales medios del 7-16% (12.9% en otoño, 15.9% en invierno y 6.7% en primavera). Una red de regueros de $0.52 \text{ m}^2/\text{m}^2$ de densidad produce una reducción de los valores de humedad estacionales medios del 16-30% (18.9% en otoño, 29.1 en invierno y 16.0% en primavera). No se han registrado diferencias en los valores de humedad edáfica en verano.

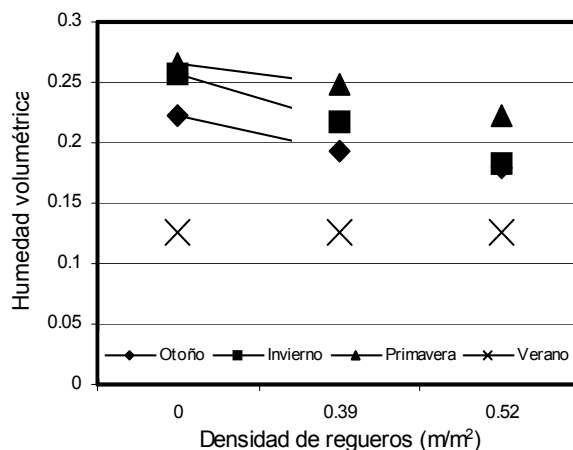


Fig. 4. Variación de los valores medios estacionales de humedad (m^3/m^3) con la densidad de regueros (m^2/m^2).

La Fig. 5 muestra con mayor resolución la distribución temporal y espacial de la humedad edáfica en los primeros 25 cm de suelo. Son mayores los valores en la ladera sin redes de regueros (3) que en las áreas de interregueros de las laderas reguerizadas (2IR y 1IR). Del mismo modo, el contenido de agua en los regueros (2R y 1R) es mayor que en las áreas de interregueros (2IR y 1IR) para la misma ladera. Estas tendencias se mantienen durante todo el ciclo productivo vegetal hasta el inicio del verano, momento en que los valores de humedad se reducen al mismo nivel en todas las áreas monitorizadas.

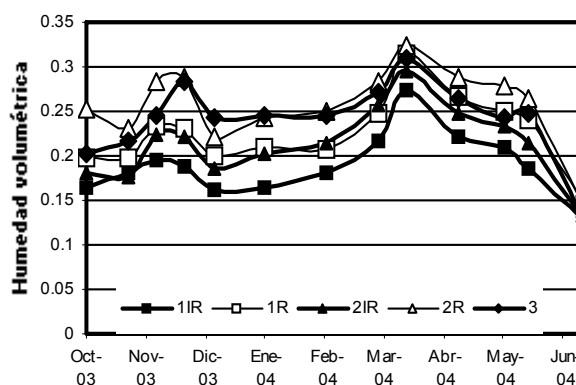


Fig. 5. Evolución anual de los valores medios de humedad (m^3/m^3).

Todos los indicadores de la dinámica vegetal analizados muestran grandes diferencias (Fig. 6), mayores en casi todos los casos a un orden de magnitud, en consonancia con el intervalo de densidad de las redes de regueros en las laderas (ladera 1: $0.52 \text{ m}^2/\text{m}^2$; ladera 2: $0.39 \text{ m}^2/\text{m}^2$; ladera 3: $0 \text{ m}^2/\text{m}^2$). De este modo, existen diferencias significativas en la densidad de semillas (semillas/ m^2) entre las tres laderas estudiadas ($H(2, N=50)=26.73$; $P<0.0001$). Así mismo, se pueden encontrar diferencias similares entre las tres laderas en la tasa de emergencia otoñal ($H(2, N=160)= 98.77$; $P<0.0001$) y en la producción de semillas de *Aegilops ovata* ($H(2, N=62)= 13.35$; $p=0.001$).

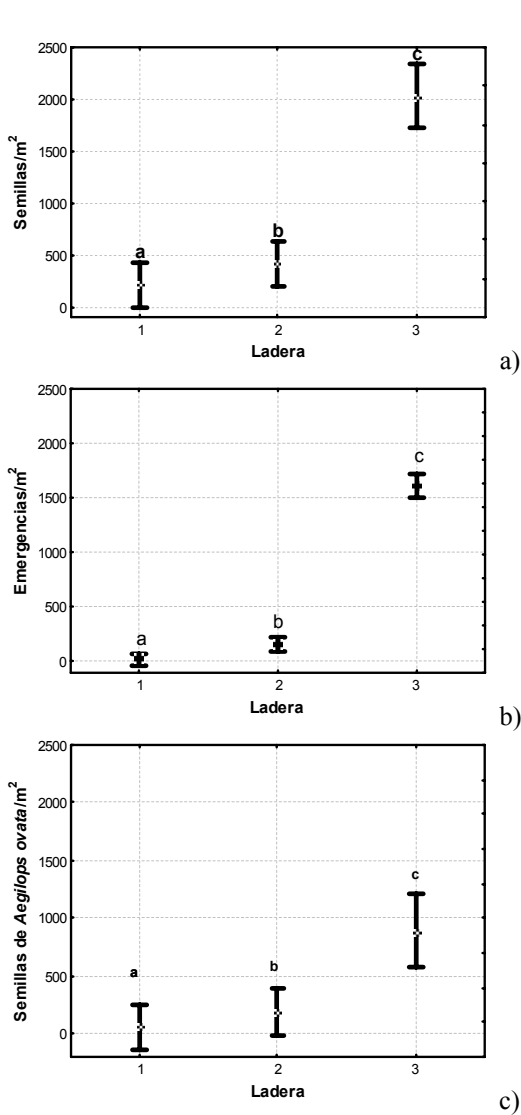


Fig. 6. Diagramas (media y 95 % intervalo de confianza) para variables indicadoras de la dinámica vegetal (a) N° de semillas/ m²; b) N° emergencias en otoño/ m²; c) N° semillas producidas de *Aegilops ovata*/ m² en laderas sometidas a un gradiente de densidad de regueros (ladera 1: 0.52 m/m²; ladera 2: 0.39 m/m²; ladera 3: 0 m/m²). Las diferencias señaladas entre grupos han sido confirmadas con U de Mann-Whitney a p<0.05.

4.2. Efecto del desarrollo de las redes de regueros sobre la humedad edáfica tras una tormenta de primavera

El contenido gravimétrico de agua en el suelo tras una tormenta de final de primavera (17.9 mm) en dos laderas con diferente desarrollo de las redes de regueros (ladera A sin red de regueros formada y ladera 1 con una red de regueros de 0.52 m lineales de regueros/ m² de superficie) está negativamente relacionado con la presencia de las redes de regueros (Fig. 7) tanto a 3 cm de profundidad (U= 44.0; Z= 4.36; p<0.00001) como a 10 cm (U= 75.00; Z= 3.61; p=0.0003).

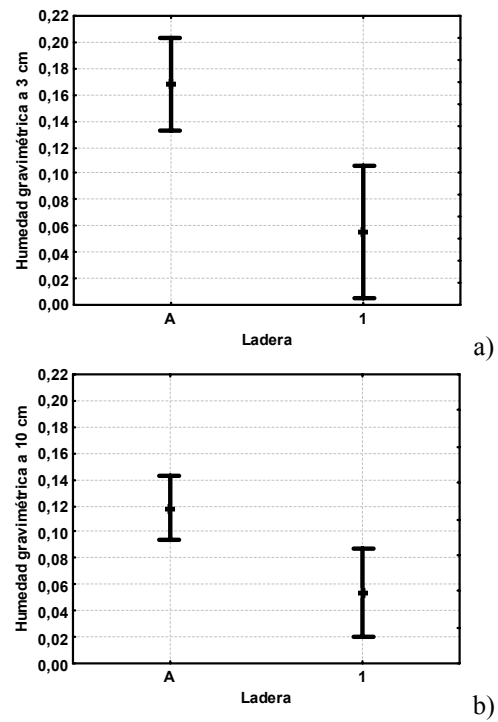


Fig. 7. Diagramas (media y 95 % intervalo de confianza) para el contenido gravimétrico (kg/kg) de humedad del suelo (a) 3 cm de profundidad; b) 10 cm de profundidad) en dos laderas con diferente desarrollo de redes de regueros (ladera A sin red de regueros y ladera 1 con 0.52 m / m²).

5. Discusión

Entre los efectos de la erosión, ha concentrado mayor interés la pérdida de fertilidad de los suelos que la disminución en la humedad edáfica. Sin embargo, en laderas derivadas de la restauración de la minería a cielo abierto en ambientes secos y, probablemente, en los taludes artificiales de las obras de ingeniería civil, la intensificación del déficit hídrico ocasionada por las redes de regueros es una de las principales fuerzas directrices de la sucesión ecológica y de las revegetaciones. En efecto, la infiltración a escala de ladera (que implica una reducción de la tasa de escorrentía por unidad de superficie con la longitud recorrida) está controlado por el desarrollo de las redes de regueros (Nicolau, 2002). Esta reducción de las tasas de re-infiltración tiene consecuencias directas sobre la humedad de los primeros centímetros del suelo. De este modo, la erosión en regueros produce una intensificación del déficit hídrico propio de las áreas mediterráneo-continuales. La reducción en la disponibilidad de agua en el suelo se produce durante todas las estaciones del año, exceptuando el verano, momento en el que las altas tasas de evaporación y transpiración igualan la humedad del suelo independientemente del nivel de reguerización. Los efectos ecológicos de esta intensificación del déficit hídrico pueden resultar críticos en otoño y primavera.

La respuesta al aumento del estrés hídrico, de acuerdo con la teoría de Davis *et al* (2000), que liga la colonización vegetal con incrementos en la disponibilidad de agua en ambientes con fuertes restricciones sobre este recurso, sería

la ausencia de implantación de individuos de nuevas especies. El resultado final estaría caracterizado por el empobrecimiento neto de las comunidades vegetales (Guerrero-Campo y Montserrat-Martí, 2004). De este modo, la reguerización limita todas las fases del desarrollo vegetal; así, la emergencia en otoño, del mismo modo que la producción de semillas son muy limitadas en las laderas reguerizadas. Como consecuencia, la abundancia de semillas y riqueza de los bancos de semillas se ven drásticamente reducidas. Todas estas limitaciones hacen casi imposible la colonización y establecimiento de nuevos individuos a través de semillas por el efecto de las redes de drenaje, comprometiendo seriamente el éxito de las operaciones de revegetación.

Las redes de regueros, además de reducir el contenido de humedad del suelo, modifican su distribución espacial, de tal manera que es superior en los regueros que en los interregueros. Ello se podría explicar por la re-infiltración que puede tener lugar en el lecho de los regueros –mayor cuanto mayor rugosidad tengan- y la menor evaporación. La existencia de áreas localizadas de mayor humedad a 30-50 cm de profundidad en el entorno de los regueros podría explicar la presencia de individuos de *Medicago sativa* en áreas de todas las laderas, independientemente del nivel de reguerización, fotosintetizando en verano, es decir consumiendo agua. Se trata de una planta herbácea perenne de raíz muy profunda que fue introducida en las operaciones de revegetación y que es la única superviviente de entre las introducidas.

Para abordar estas preguntas y elaborar un modelo sobre el efecto de las redes de regueros en el contenido y distribución espacial de la humedad, se ha implementado un protocolo experimental en cinco laderas que representan un intervalo de reguerización. Se monitoriza la humedad edáfica mediante TDR en perfiles de hasta 60 cm de profundidad (4 en cada ladera). Asimismo se han establecido parcelas de escorrentía y sedimentos a nivel de interregueros y microcuencas de regueros, que se complementarán con experimentos de lluvia artificial. Las conclusiones de este trabajo permitirán contribuir al diseño de revegetaciones más apropiadas para las condiciones de déficit hídrico de estos ambientes.

6. Conclusiones

Las redes de regueros desaguan eficientemente la escorrentía a escala de ladera, aumentando el déficit hídrico en los primeros centímetros del suelo.

La colonización vegetal mediante semillas en laderas reguerizadas se ve impedida debido a las limitaciones hídricas existentes para todas las fases del ciclo vegetal.

La presencia localizada de individuos perennes de raíz profunda, introducidos en las operaciones iniciales de revegetación, en crecimiento incluso en los meses en que se produce la sequía estival, podría ser explicada por la existencia de humedad “profunda” en el entorno de los regueros debido a la re-infiltración que tiene lugar en el lecho de los regueros.

Referencias

- Cantón, Y., Solé-Benet, A. y Domingo, F. 2004. Temporal and spatial patterns of soil moisture in semiarid badlands of SE Spain. *Journal of Hydrology*, 285: 199-214 pp.
- Davis, M. A., Grime, J. P. y Thompson, K. 2000. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *Journal of Ecology*, 88: 528-534 pp.
- García- Fayos, P., García-Ventoso, B. y Cerdà, A. 2000. Limitations to plant establishment on eroded slopes in southeastern Spain. *Journal of Vegetation Science*, 11: 77-86 pp.
- Guerrero-Campo, J. y Montserrat-Martí, G. 2004. Comparison of floristic changes on vegetation affected by different levels of soil erosion in Miocene clays and Eocene marls from Northeast Spain. *Plant Ecology*, 173: 83-93 pp.
- Haigh, M. J. 2000. Erosion Control: Principles and Some Technical Options. In: Haigh, M. J. (ed.), *Reclaimed land. Erosion control, soils and ecology*. 75-110 pp. AA. Balkema, Rotterdam.
- Kirkby, M. 2001. Modelling the interactions between soil surface properties and water erosion. *Catena*, 46: 89-102 pp.
- Moreno, M. 2005. *Patrones de sucesión ecológica en laderas restauradas de la minería a cielo abierto del carbón en ambiente mediterráneo-continental*. Memoria del Trabajo de Investigación Tutelado. Programa de Doctorado Cambio Global y Desarrollo Sostenible. Universidad de Alcalá. No publicado.
- Nicolau, J. M. 1996. Effects of topsoiling on erosion rates and processes in coal-mine spoil banks in Utrillas, Teruel, Spain. *International Journal of Surface Mining Reclamation and Environment*, 10: 73-78 pp.
- Nicolau, J.M. 2002. Runoff generation and routing on artificial slopes in a Mediterranean-continental environment: The Teruel coalfield, Spain. *Hydrological Processes*, 16: 631-647 pp.
- Nicolau, J.M. y Asensio, E. 2000. Rainfall erosion on Opencasting Coal-mine Lands: Ecological Perspective. In: Haig (ed.), *Land Reconstruction and Management Vol 1, Reclaimed Land. Erosion Control, Soils and Ecology*. 51-73 pp. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- Papadakis, J. 1966. *Climates of the world and their agricultural potentialities*. Buenos Aires.
- Pimentel, D. y Harvey, C. 1999. Ecological effects of erosion. In: Walker, L.R. (ed.), *Ecosystems of Disturbed Ground, Ecosystems of the World*, 16. 123-136 pp. Elsevier.
- Plass, W. T. 2000. History of Surface Mining Reclamation and Associated Legislation. In: Barnhisel, R. I., Darmody, R. G. and Daniels, W. L. (eds.) *Reclamation of Drastically Disturbed Lands*. 1-20 pp. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc. and Soil Science Society of America Inc, Madison, Wisconsin.
- Puigdefábregas, J., Solé, A., Gutiérrez, L., del Barrio, G. y de Boer, M. 1999. Scales and processes of water redistribution in drylands: results from the Rambla Honda Field Site in South East Spain. *Earth Science Reviews* 48: 39-70 pp.
- Rodríguez-Iturbe, I; Porpotato, A; Laio, F y Ridolfi, L. 2001. Plants in water-controlled ecosystems: active role in hydrologic processes and response to water stress I. Scope and general outline. *Advances in Water Resources*, 24: 695-705 pp.
- Sarah, P. 2004. Nonlinearity of ecogeomorphic processes along Mediterranean-arid transect. *Geomorphology*, 60: 303-317 pp.
- Stiller, D. M., Zimpfer, G. L. y Bishop, M. 1980. Application of geomorphic principles to surface mine reclamation in the semiarid West. *Journal of Soil and Water Conservation*, 35: 274-277 pp.
- Topp, G. C. Y Davis, J. L. 1985. Measurement of soil water content using time-domain reflectometry (TDR): A field evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 19-24 pp.
- Walker, L. R. y del Moral, R. 2003. *Primary Succession and Ecosystem Rehabilitation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Wilcox, B. P., Breshears, D. D. y Allen, C. D. 2003. Ecohydrology of a resource-conserving semiarid woodland: Effects of scale and disturbance. *Ecological Monographs*, 73: 223-239 pp.