

EROSIÓN DEL SUELO ACENTUADA POR UN ACOLCHADO DE GRAVILLA EN UNA LADERA EN RESTAURACIÓN EN CANTERAS DE ALMERÍA (SEDE ESPAÑA)

✉ LOURDES LUNA RAMOS¹
ALBERT SOLÉ BENET²

RESUMEN

Uno de los principales procesos de degradación de suelos en ambientes restaurados es la erosión causada por el agua, a la que son especialmente sensibles las laderas mineras. Los substratos empleados para la restauración de estas superficies se caracterizan por su baja capacidad de infiltración y alta erodibilidad. Sumado a este hecho pueden concurrir otros factores como la presencia de áreas de contribución de escorrentía en la cabecera de las laderas restauradas que favorezcan la acumulación de escorrentía; asimismo las laderas con excesiva pendiente también favorecen la aceleración de flujos superficiales que pueden provocar procesos de erosión. En un diseño experimental de restauración de suelos en parcelas de 10 x 5 m en canteras de rocas calcáreas implementado en marzo del 2012 en Almería (SE de España) se probó un acolchado con gravilla (4-8 mm) entre 5 y 10 cm de espesor y se comparó con un no-acolchado juntamente con la adición al substrato inerte de enmiendas orgánicas y la plantación de especies autóctonas. Los acolchados en ambientes Mediterráneos semiáridos mitigan la temperatura y la evaporación del suelo, favorecen la infiltración, y reducen la escorrentía y la erosión. Sin embargo, un solo episodio de lluvia intensa a principios del otoño de 2012 ($P = 40$ mm; $I_{30} = 51,2$ mm/h) causó una fuerte escorrentía en parcelas con pendientes entre 15 y 30 % y una erosión lineal del acolchado y del substrato de restauración que alcanza un promedio de $0,224$ m³ por parcela ($63,5$ t ha⁻¹) frente a la mitad de estos valores en las parcelas no acolchadas. Este hecho obliga a replantearse la bondad de los acolchados de gravilla como medida antierosiva en laderas sometidas a lluvias mediterráneas torrenciales.

PALABRAS CLAVE: Discrete Event Systems; DEVS; SimEvents®.

SOIL EROSION EXACERBATED BY A GRAVEL CUSHION ON A HILLSIDE UNDERGOING RESTORATION IN CANTERAS DE ALMERIA (SPAIN SITE)

ABSTRACT

One of the main soil degradation processes that occur in environments undergoing restoration is water erosion, to which mining hillsides are especially sensitive. The substrates used for restoration of these surfaces typically have a low infiltration capacity and high erodibility. Other factors can be combined with these conditions, including the presence of runoff contribution areas at the head of the restored hillsides, favoring the accumulation of runoff. Likewise,

¹ Ingeniera de Montes, PhD. Universidad de Córdoba. Estación Experimental Zonas Áridas, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

² PhD. en Ciencia del Suelo, Universidad Paris VI (Pierre et Marie Curie), Francia. Licenciatura en Ciencias Geológicas, Universidad de Barcelona, España. Estación Experimental Zonas Áridas, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

✉ *Autor de correspondencia:* Luna-Ramos, L. (Lourdes). Estación Experimental de Zonas Áridas, CSIC Carretera de Sacramento s/n 04120 La Cañada de San Urbano - Almería, España. Tel: (+34) 950281045 Ext. 792. Correo electrónico: lourdes@eeza.csic.es

Historia del artículo:

Artículo recibido: 15-XII-2013 / Aprobado: 1-VIII-2014

Disponibile online: 30 de agosto de 2014

Discusión abierta hasta diciembre de 2016

hillsides with steep slopes lead to surface flow acceleration, which can cause processes of erosion. In an experimental soil restoration design in 10 x 5 m parcels on limestone quarries implemented in March, 2012 in Almeria (SE of Spain), a gravel cushion (4-8 mm) between 5 and 10 cm thick was tested and compared with a non-cushion terrain along with the addition of organic amendment to the inert substrate and planting of native species. Cushions in semiarid Mediterranean environments mitigate soil temperature and evaporation, encourage infiltration, and reduce runoff and erosion. However, a single intense rain at the beginning of fall, 2012 ($P = 40$ mm; $I30 = 51.2$ mm/h) caused a great deal of runoff on parcels with slopes between 15 and 30% and linear erosion of the cushion and the restoration substrate that reached an average of 0.224 m³ per parcel (63.5 t ha⁻¹) compared to half these values on non-cushioned parcels. This fact forces us to reconsider the benefits of gravel cushions as an anti-erosion measure on hillsides subject to torrential Mediterranean rains.

KEYWORDS: Substrates; Soil Degradation; Linear Erosion; Restoration.

EROSÃO DO SOLO ACENTUADA POR PREENCHIMENTO DE CASCALHO EM UMA LADEIRA NA RESTAURAÇÃO DE PEDREIRAS DE ALEMERIA (SEDE ESPANHA)

RESUMO

Um dos principais processos de degradação do solo em ambientes restaurados é a erosão provocada pela água, que são especialmente sensíveis nas ladeiras das minas. Os substratos utilizados para restabelecer estas superfícies são caracterizados pela sua baixa capacidade de infiltração e alta erodibilidade. Adicionado a este fato pode haver outros fatores, tais como a presença de áreas de contribuição de escoamento na cabeça das ladeiras restauradas favorecendo o acúmulo de escoamento; também as ladeiras com inclinação excessiva também favorecem os fluxos de aceleração superficiais que pode causar erosão. Em um projeto experimental de restauração dos solos em parcelas de 10 x 5 m em pedreiras de rocha aplicadas em março de 2012 em Almeria (SE da Espanha) aprovou se um preenchimento com cascalho (4-8 mm) entre 5 e 10 cm de espessura e foi comparado com uma não acolchoada em conjunto com a adição ao substrato inerte e aditivos orgânicos plantio de espécies nativas. Os acolchoados em ambientes mediterrâneos semiáridos mitigam a temperatura e a evaporação do solo, promovem a infiltração e reduzem o escoamento e a erosão. No entanto, um único episódio de chuva forte no início do Outono de 2012 ($P = 40$ mm; $I30 = 51,2$ milímetros / h) causou um escoamento forte em parcelas com ladeiras entre 15 e 30% e erosão linear do acolchoado e do substrato de restauração que atinge médias de $0,224$ m³ por parcela ($63,5$ t ha⁻¹) versus á metade destes valores nas ladeiras não acolchoadas. Isso nos obriga a reconsiderar a bondade dos acolchoados de cascalho como a medida de cobertura em ladeiras sob chuvas mediterrâneas torrenciais.

PALAVRAS-CHAVE: Substratos; A degradação do solo; Erosão linear; Restauração.

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades extractivas provocan importantes impactos paisajísticos y la degradación de la cubierta vegetal y del suelo así como la alteración de la topografía. El objetivo de los procesos de restauración o rehabilitación obligatoria en la gran mayoría de territorios es ayudar a devolver al ecosistema degradado las condiciones originales en términos de productividad vegetal y biodiversidad. Sin embargo, esta restauración de los espacios afectados por actividades extractivas resulta muy difícil de lograr en ambientes mediterráneos semiáridos, con precipitaciones insuficientes, estacionales, irregulares y muchas veces torrenciales que dificultan el establecimiento de la vegetación (Bainbridge, 2007; Clemente, *et al.*, 2004) que compite, además, con una elevada evaporación.

Por otro lado, el acondicionamiento topográfico previo a las labores de restauración suele dejar pendientes muy propicias a procesos de erosión hídrica que se manifiestan en regueros, surcos, cárcavas e incluso movimientos en masa como se puede observar en la **Figura 1** y **Figura 2**. Estos elementos erosivos impiden la distribución óptima del agua sobre la superficie a restaurar, producen cicatrices en el terreno difíciles de corregir y sedimentaciones aguas abajo que pueden causar perjuicios diversos tanto sobre suelos naturales como en la vegetación o infraestructuras.

A pesar de todas estas limitaciones, los nuevos conocimientos en restauración ecológica y tecnologías de prevención y mitigación de la erosión ofrecen elementos técnicos (Bainbridge, 2007; Jorba y Vallejo, 2008) que permiten un elevado grado de éxito. Algunas de las estrategias de restauración se basan en la obtención de un substrato edáfico mediante la incorporación de enmiendas orgánicas, la implantación de acolchados y prácticas mecánicas de modificación de la topografía y/o microtopografía original para incrementar el agua disponible y reducir y controlar la erosión y la implementación de tratamientos adicionales para garantizar el agua durante la fase inicial de la revegetación.

En ensayos preliminares en la restauración de suelos de canteras de rocas calcáreas en la provincia de Almería (SE de España), dos tipos de enmiendas orgánicas, lodos de EDAR (estación depuradora de aguas residuales urbanas) y compost de RSU (residuos sólidos

Figure 1. Surcos de erosión en una ladera de pendiente moderada antes de restaurar



Figure 2. Disposición de las parcelas durante la plantación (con mallas protectoras antiroedores)



urbanos) y dos tipos de acolchado, gravilla y astillado forestal, demostraron su papel positivo y significativo en el crecimiento vegetal (Solé-Benet, *et al.*, 2009) y en la evolución positiva del substrato (Luna, *et al.*, 2013). El acolchado en primer lugar y las enmiendas en segundo consiguen mantener más elevada la humedad del suelo durante el primer año desde la plantación (Solé-Benet, *et al.*, 2009). Sin embargo, el papel antierosivo del acolchado con gravilla no pudo demostrarse debido al pequeño diámetro de la gravilla y a su contaminación con tierra fina que, tras unas pocas lluvias intensas generó una costra filtrante (Solé-Benet, Pini y Raffaelli, 2003) que acentuó la escorrentía y la erosión del substrato.

Sin embargo, algunos autores afirman el papel antierosivo de los acolchados (Prats, *et al.*, 2012; Díaz-Raviña, *et al.*, 2012; Badía y Martí, 2000) junto a su papel conservador de la humedad del suelo (Bautista, Bellot, y Vallejo, 1996; Benigno, Dixon y Stevens, 2013). Por ello, en un nuevo ensayo de restauración iniciado en 2012 se probó una gravilla calibrada cuyo tamaño 4-8 mm había demostrado un efecto óptimo contra la evaporación del suelo (Yuan, *et al.*, 2009).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo pretendía probar 4 factores en la supervivencia y posterior evolución de las plantas: dos tipos de enmiendas (un lodo EDAR y un compost de residuos vegetales hortícolas al que se le había incorporado zeolita), un acolchado (gravilla calibrada) y riego de apoyo (dos dosis), todo ello con los consiguientes tratamientos control. Se prepararon 54 parcelas de 10 m x 5 m en una ladera relativamente homogénea de pendientes entre 10° y 20° orientada al E, para tener 3 repeticiones por cada tratamiento. Los substratos se prepararon a partir de una marga muy abundante en la zona y que cumple con los requisitos mínimos de granulometría apta para restauración (arena = 34 %, limo = 42 %, arcilla = 24 %). Las enmiendas orgánicas se incorporaron y mezclaron con la marga mediante la pala de una retroexcavadora.

Con la finalidad de controlar la evolución geomorfológica de la ladera y de todas las parcelas se lleva a cabo de manera periódica un seguimiento fotográfico. La estación meteorológica instalada en la zona proporciona datos de precipitación, temperatura y humedad del aire, así como la velocidad y la dirección del viento.

Dado que el crecimiento de la vegetación plantada y espontánea no permite la medición precisa de los surcos producidos por erosión mediante métodos de no contacto (p.e. escáner láser, fotogrametría) se procedió a una medición manual de todos y cada uno de los surcos en las 54 parcelas con cinta métrica. Para ello, desde la cabecera de cada surco se midieron sus secciones rectangulares o trapezoidales cada metro lineal, o a intervalos que el observador considerara que podían aportar mayor precisión en la medida, hasta la salida del surco de la parcela. El volumen de cada surco se obtuvo de multiplicar las distintas secciones por

Figure 3. Surcos de erosión causados por el evento extremo del 28/9/2012

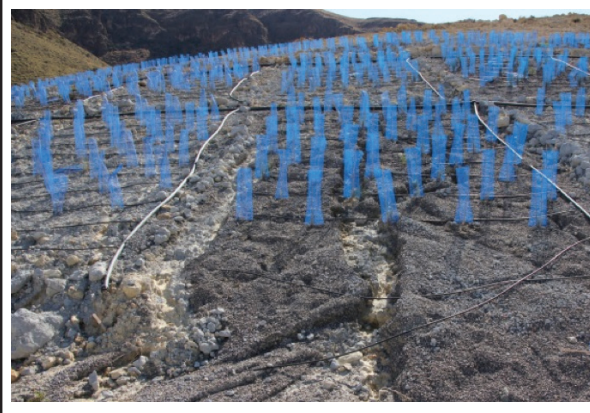
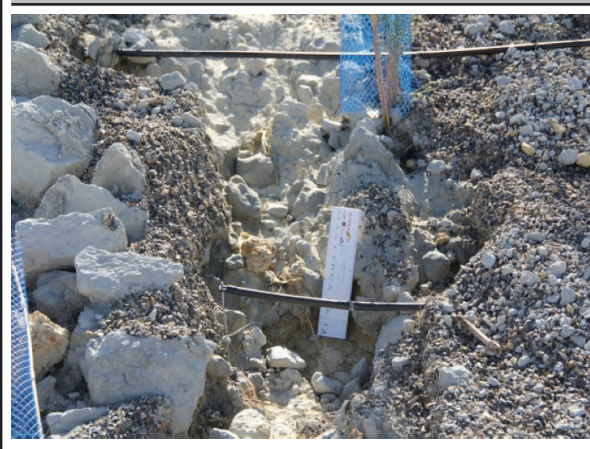


Figure 4. Detalle de la Figura 3 en la que la regla indica la profundidad del surco (21 cm).



las longitudes entre ellas. Se sumaron los volúmenes de todos los surcos de cada una de las 54 parcelas y se analizó estadísticamente su relación con los factores enmienda, acolchado y riego mediante Anova con Statística (Statsoft, 2005).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de una primavera y un verano secos (P = 9 mm y 5,2 mm respectivamente), el 28 de septiembre de 2012 se produjo en todo el SE peninsular un evento extremo de precipitación que en la zona de estudio fue de 39,6 mm, concentrado en un corto intervalo

de tiempo, con intensidades máximas $I_{30} = 51,2 \text{ mm h}^{-1}$ e $I_{10} = 90 \text{ mm h}^{-1}$.

Si bien el acolchado disminuye el impacto directo de las gotas de lluvia, en este caso no pudo frenar la abundante escorrentía procedente de la ladera, muy probablemente por flujo subsuperficial por debajo de la capa de gravilla, concentrándose en el sustrato subyacente y causando surcos que llegaron incluso a dejar al descubierto la roca madre que se encuentra a unos 20 cm de profundidad, medidos desde la superficie del acolchado como se representa en la **Figura 3 y Figura 4**.

3.1. MEDICIÓN DE LOS SURCOS

La medición de todos los surcos en las 54 parcelas ha permitido conocer el volumen de acolchado más el del sustrato arrastrado por erosión y relacionarlo con los factores que se estaban ensayando: tipo de enmienda, acolchado y riego. El factor especie vegetal plantada no se considera en este caso puesto que las plantas se dispusieron más o menos al azar y equidistantes entre sí en todas las parcelas.

La **Figura 5** y la **Figura 6** indican los promedios y error estándar de los volúmenes erosionados respecto a los factores enmienda y acolchado respectivamente. Los resultados del Anova indican que el volumen erosionado no está relacionado significativamente con la enmienda, como se observa en la **Figuras 5** ($p = 0,68$), pero sí lo está con el acolchado de gravilla ($p = 0,03$), como lo ilustra la **Figura 6**, pero negativamente: el volumen promedio erosionado por parcela con y sin gravilla es $0,224 \text{ m}^3 \pm 0,054$ y $0,116 \text{ m}^3 \pm 0,0295$ respectivamente, indicando que la gravilla en vez de tener un efecto protector frente a la erosión, la acentuó. Este resultado se interpreta por el intenso flujo subsuperficial por encima del sustrato y por debajo de la capa de gravilla, que erosionó tanto a la gravilla como al propio sustrato de restauración. La gravilla erosionada fue a parar al pie de las parcelas o aguas abajo en el camino de acceso.

El factor riego, que podía haber influido en una mayor cobertura de vegetación, tanto plantada como espontánea, con efecto protector frente a la erosión, tampoco influyó significativamente ($p = 0,13$) en el volumen erosionado en las parcelas, como se observa en la **Figura 7**, porque la primavera y el verano anteriores habían sido muy secos y las coberturas generales eran

Figura 5. Promedio y error estándar del volumen erosionado en las parcelas (m^3) con y sin enmiendas

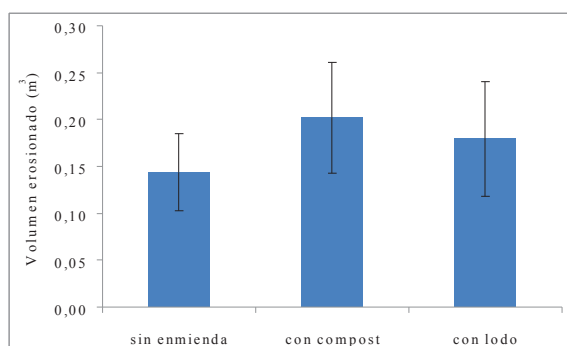


Figura 6. Promedio y error estándar del volumen erosionado en las parcelas (m^3) con y sin acolchado de gravilla

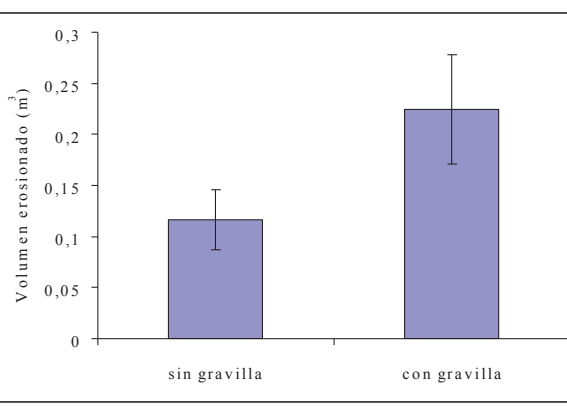
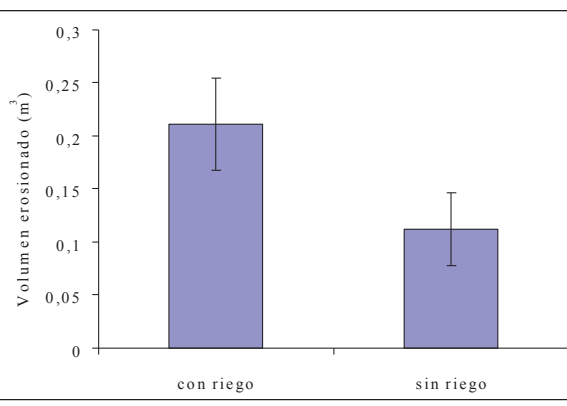


Figura 7. Promedio y error estándar del volumen erosionado en las parcelas (m^3) con y sin riego



muy escasas. Pero el promedio de volumen erosionado en las parcelas sin riego es inferior al de las parcelas con riego, como lo ilustra la **Figura 7**, lo que se interpreta porque el área de contribución de las parcelas sin riego parece inferior (dato estimado, no medido) a la de las parcelas con riego que se encuentran aguas abajo y por tanto reciben mayor escorrentía.

Los anteriores resultados obligan a replantar la bondad de los acolchados de gravilla como medida antierosiva en laderas sometidas a lluvias mediterráneas torrenciales, o al menos a seguir ensayando otros tamaños de gravilla y/o grava que permitan determinar la combinación óptima de los efectos antievaporativos y antierosivos.

5. CONCLUSIÓN

La gravilla calibrada ha demostrado su papel conservador del agua del suelo durante el 1er año del proyecto. Sin embargo y contrariamente a lo esperado, no ha conseguido proteger al suelo subyacente de la erosión producida por un evento extremo de elevada intensidad producido a principios de otoño del 2012 (P = 39,6 mm; I10 = 90 mm/h), evento que en la zona tiene un período de retorno aproximado de 8 años.

AGRADECIMIENTOS

A Holcim-España S.A. por su inestimable contribución, incluida la económica, en todas las fases del proyecto de restauración, como preparación de los substratos y de las parcelas experimentales; a la Junta de Andalucía por financiar el Proyecto RNM-5887 (convocatoria 2010) y la beca-contrato de la autora Lourdes Luna Ramos. A Sofia Kostopoulou por su ayuda en la toma de datos de campo.

REFERENCIAS

- Badía, D.; Martí, C. (2000). Seeding and Mulching Treatments as Conservation Measures of Two Burned Soils in the Central Ebro Valley, NE Spain. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 13, pp. 219-232.
- Bainbridge, D.A. (2007). *A Guide for Desert and Dryland Restoration*. Washington: Inland Press.

- Bautista, S.; Bellot, J.; Vallejo, V.R. (1996). Mulching Treatment for Post-Fire Soil Conservation in a Semiarid Ecosystem. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 10, pp. 235-242.
- Benigno, S.M.; Dixon, K.W.; Stevens, J.C. (2013). Increasing Soil Water Retention with Native-Sourced Mulch Improves Seedling Establishment in Post-fire Mediterranean Sandy Soils. En *XIII Reunión Nacional de Geomorfología, Cáceres, 2014*.
- Clemente, A. S.; Werner, C.; Maguas, C.; Cabral, M.S.; Martins-Loucao, M.A.; Correia, O. (2004). Restoration of a Limestone Quarry: Effect of Soil Amendments on the Establishment of Native Mediterranean Sclerophyllous Shrubs. *Restoration Ecology*, 12(1), pp. 20-28.
- Díaz-Raviña, M.; Martín, A.; Barreiro, A.; Lombao, A.; Iglesias, L.; Díaz-Fierros, F.; Carballas, T. (2012). Mulching and Seeding Treatments for Post-Fire Soil Stabilisation in NW Spain: Short-Term Effects and Effectiveness. *Geoderma* 191, pp. 31-39.
- Jorba, M., Vallejo, V.R. (2008). La restauración ecológica de canteras: un caso con aplicación de enmiendas orgánicas y riegos. *Ecosistemas* 17 (3), pp. 119-132.
- Solé-Benet, A.; Contreras, S.; Miralles, I.; Lázaro, R. (2009). Organic Wastes as Amendments for Limestone Quarry restoration in Semiarid Environments. En *1st Spanish National Conference on Advances in Materials Recycling and Eco-Energy*, septiembre 2-4, 2009. Madrid.
- Luna, L.; Miralles-Mellado, L.; Kostopoulou, S.; Solé-Benet, A. (2013). Propiedades físico-químicas y evolución de la estructura en suelos restaurados de canteras de roca calcárea en clima semiárido en el sede España. En *ISCO-2013*, Medellín: Fondo Editorial EIA, Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- Prats, S.A.; MacDonald, L.H.; Monteiro, M., Ferreira, A.J.D.; Coelho, C. O.A.; Keizer, J.J. (2012). Effectiveness of

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /
PARA CITAR ESTE ARTIGO /**

Luna-Ramos, L.; Solé-Benet, A. (2015). Erosión del suelo acentuada por una acolchado de gravilla en una ladera en restauración en canteras de Almería (sede España). *Revista EIA*, 12(E2) junio, pp. E13-E19. [Online]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14508/reia.2015.12.E2.13-19>.

Forest Residue Mulching in Reducing Post-Fire Runoff and Erosion in a Pine and a Eucalypt Plantation in North-Central Portugal. *Geoderma* 191, pp. 115-124.

Statsoft. 2005. Statistica 7.0. Statsoft Inc., Tulsa, OK, USA.

Solé-Benet, A.; Pini, R.; Raffaelli, M. (2003). Hydrological Consequences of Soil Surface Type and Condition in Colluvial Mica-Schist Soils after Agricultural Abandonment. En J.L.Rubio, R.P.C.Morgan, S.Asins, V.Andreu (eds.) *Man and Soil at the Third Millenium* (3rd Int. Congress of the European Society for Soil Conservation), vol I, Geoforma Ediciones, Logroño, Spain. 2003, pp. 523-533.

Yuan, C., Lei, T., Mao, L., Liu, H., Wu, Y. (2009). Soil Surface Evaporation Process under Mulches of Different Sized Gravel. *Catena* 78, pp. 117-121.