

Determinación de la rugosidad de lechos de grava mediante láser terrestre de alta resolución

D. Vericat (1), J. Brasington (1), J. Wheaton (1), I. Rychov (1)

- (1) Centre for Catchment and Coast Research, Institute of Geography and Earth Sciences, Aberystwyth University, Llandinam Building, Penglais Campus, SY23 3DB, UK; Tel: +44 (0)1970 621862; Fax: +44 (0)1970 622659; E-mail: ddv@aber.ac.uk

Abstract

Analysis of alluvial bed roughness by means of Terrestrial Laser Scanning

We outline a methodology to derive local bed roughness from detailed 3D point cloud data, acquired using a terrestrial laser scanner (TLS) in a 1 km long study reach of the River Feshie. Unlike hand-held scanners, a TLS can be tripod mounted and acquire data over ranges exceeding 100 m and achieve data densities well above 1000 points/m². In this study, a Leica ScanStation was deployed to acquire a point cloud comprising over 200 million points, with total RMS errors of 2-11 mm. An experimental design using a combination of grain-size counts and TLS data was developed to test a range of algorithms designed to retrieve patch-scale roughness metrics from the 3D point cloud. Results indicate that after local detrending, the standard deviation of elevations can be successfully correlated to ground mapping and offer potential for improved parameterization of hydraulic models.

Palabras clave: rugosidad, técnicas láser, scanner, topografía de alta resolución, río gravas

Key words: bed roughness, laser scan, high resolution topography, gravel bed river

1. INTRODUCCIÓN

La rugosidad del lecho del río controla la resistencia al flujo, el transporte de sedimentos y los procesos ecológicos que en él se desarrollan. Las técnicas de campo habitualmente empleadas para determinar la rugosidad son intrusivas, laboriosas y de difícil extrapolación a escalas superiores (i.e. *reach scale*, ~ 1000 metros). Estudios recientes demuestran como el análisis textural y estadístico de fotografías aéreas de alta resolución permite la obtención de valores granulométricos del material de lechos de ríos de gravas a escalas de tramo de río y con resoluciones aceptables (e.g. Carbonneau et al., 2004; Verdu et al. 2005). Aunque dichas técnicas permiten la obtención de valores de rugosidad a escala de cauce (2D), no aportan información topográfica (3D) que permita relacionar la resistencia de partícula y de forma

con distintos niveles de agua circulantes. Recientemente, Aberle y Nikora (2006) demuestran, mediante la utilización de scanners láser de mano a escala de detalle (i.e. *patch scale*, ~ 1 m²), como el análisis estadístico de valores topográficos de alta resolución permite obtener valores de rugosidad que incorporan dicha complejidad. La ampliación de este enfoque a escala de tramo fluvial sigue sin embargo sin resolver.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es presentar una metodología para la estimación de la rugosidad de lechos de ríos de grava a escalas de tramo de río mediante nubes de puntos 3D obtenidas utilizando técnicas topográficas láser.

2. TÉCNICAS LÁSER

La base del funcionamiento de los sistemas de escaneo tridimensional (de aquí en adelante TLS, i.e. *terrestrial laser scanning*) es la misma que la de las convencionales estaciones totales con reflexión directa (i.e. no prisma). El TLS captura valores topográficos tridimensionales mediante la reflexión de un haz láser (Figura 1). Contrariamente a las estaciones topográficas, dichos sistemas permiten adquirir altas densidades de puntos por unidad de superficie (i.e. 10^2 - 10^6 puntos/m²). De la misma forma, son capaces de registrar entre 2000 y 4000 puntos por segundo dentro de un rango de longitud de alrededor de los 300 metros y con una cobertura de 360 grados.

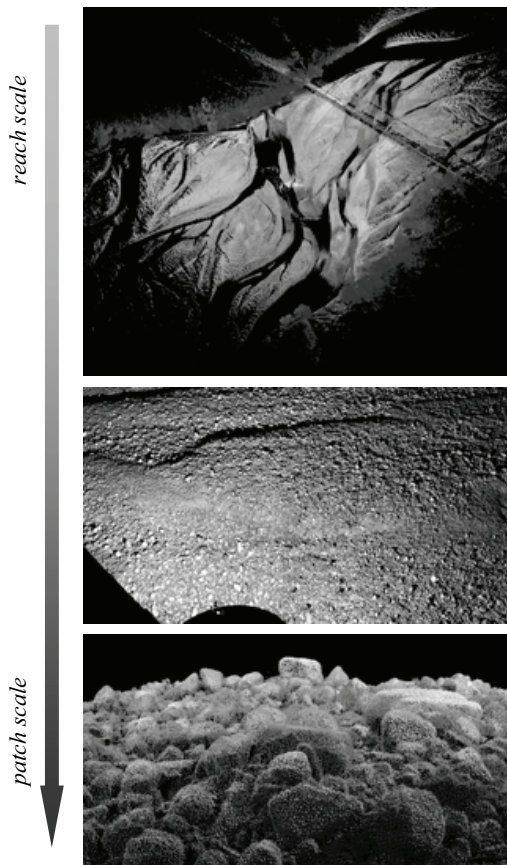


Fig. 1. Visualización de datos obtenidos mediante un TLS. Cada punto contiene información tridimensional (i.e. x, y, z). La información corresponde a una única base de datos, de esta forma, la información obtenida a escala de detalle (i.e. patch scale) está integrada a escala de tramo de río (i.e. reach scale).

3. ADQUISICIÓN DE DATOS

Para el presente estudio se han obtenido datos topográficos mediante la utilización de un TLS (modelo *Leica Geosystems Scanstation*) en un tramo de aproximadamente 1000 metros en el río Feshie (Figura 2) en verano de 2006 y 2007. El río Feshie es un río trenzado de gravas y cantos ($D_{50-s} = 40$ - 90 mm) situado en las *Highlands*, Escocia (Reino Unido).



Fig. 2. Vista del tramo de estudio en el río Feshie (Escocia, Reino Unido).

Cada una de las bases de datos (i.e. año 2006 y 2007) constan de un total de 19 series de escaneo. En cada una de las series de escaneo se ubican puntos de control. Parte de los puntos de control son comunes entre las series y son utilizados para la unión de éstas. Mediante un RTK-GPS y una estación total se obtienen los valores reales de posicionamiento de los puntos de control. De esta forma, se puede georeferenciar la base de datos y registrarse en un sistema de coordenadas común que permite la comparación entre años. El error medio cuadrático total (x,y,z) de la base de datos final se estima entre 2 y 11 mm, dependiendo de la calidad de los puntos de control. La densidad de puntos por unidad de superficie de las bases de datos una vez las series de escaneo se han unido y registrado en el mismo sistema de coordenadas oscila entre los 1000 y 1400 puntos/m². Cada una de las bases de datos dispone de alrededor de 200 millones de puntos (x,y,z).

4. ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de los datos obtenidos con TLS requiere la utilización de códigos informáticos para el tratamiento de archivos de gran tamaño (i.e. 1-10 Gigabyte, Gb). Se han desarrollado diferentes algoritmos que permiten filtrar y analizar los datos. Dichos algoritmos permiten definir una malla regular que se superpone a la nube de puntos y, para cada una de las celdas se calcula (Figura 3): a) el número total de observaciones (n), b) el valor mínimo de elevación z_{min} y su posición exacta x,y , c) el valor máximo de elevación z_{max} y su posición exacta, d) la elevación media z_{mean} dentro de la celda, e) la desviación estándar σ de los valores z , y f) la desviación estándar corregida (de aquí en adelante σ_d). Se considera σ_d (i.e. *detrended standard deviation*) la desviación estándar de los valores z una vez sustraído en éstos la parte de la elevación causada por el efecto de la pendiente topográfica. Los valores σ_d se consideran representativos de la rugosidad de partícula (Figura 3).

5. ESTIMACIÓN DE LA RUGOSIDAD

Durante la campaña de verano de 2007 se seleccionaron tres zonas de control/muestro en el área de estudio. En cada una de ellas se realizó la caracterización granulométrica superficial mediante el método de los transectos lineales (Wolman, 1954). Se midió el eje b de un total de 300 partículas. El valor medio de las distribuciones granulométricas (i.e. D_{50-s}) fue de 54, 24 y 17 mm. Dichos valores, conjuntamente con las observaciones de campo en cuanto a la proporción de arenas, caracterizan las áreas de control como de cantos, de gravas, y de gravas y arenas (i.e.

estructura de gravas con relleno parcial de arenas).

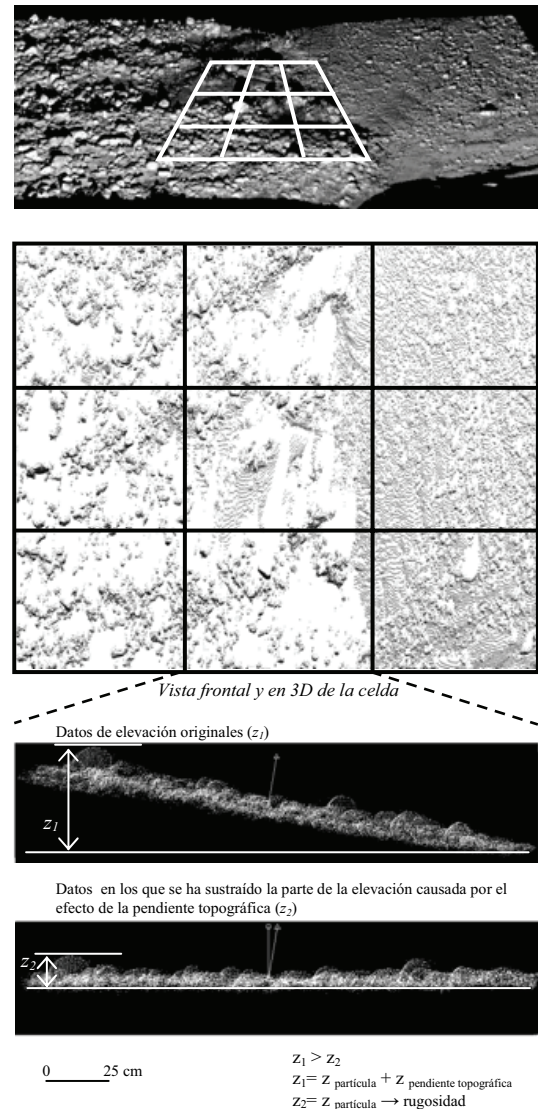


Fig. 3. Esquema del análisis de datos de los algoritmos desarrollados. El cálculo de la σ_d se basa en los valores de elevación (z_2) en los que se ha sustraído la parte de la elevación causada por el efecto de la pendiente topográfica ($z_1 - z_2 = z_{pendiente\ topográfica}$). Una vez sustraído dicho valor se considera el valor de elevación relativo al tamaño de partícula. De esta forma, los valores σ_d se consideran representativos de la rugosidad de partícula (ver texto para más detalles).

La base de datos de 2007 ha sido analizada mediante los algoritmos descritos anteriormente y con un tamaño de celda de 0,5 metros. El valor medio de la desviación estándar corregida (σ_d) de las celdas que delimitan cada una de las áreas de control/muestreo se ha comparado con los valores

granulométricos obtenidos mediante el método de los transectos lineales (Figura 4).

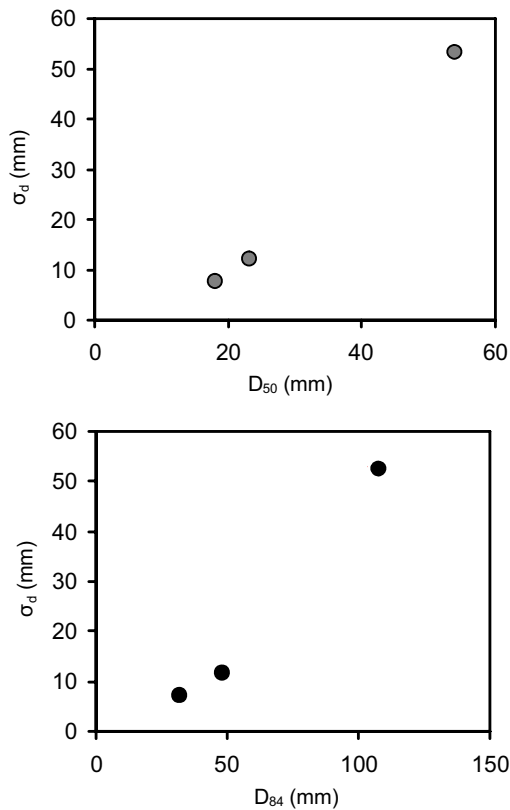


Fig. 4. Relación entre la desviación estándar corregida (σ_d) y los percentiles granulométricos (50 diagrama superior y 84 diagrama inferior) de las zonas de control/mesura.

Las tendencias que se presentan en la figura 4 sugieren que los valores de la σ_d pueden ser utilizados para calcular valores granulométricos (i.e. rugosidad de partícula) a escala de detalle. De esta forma, por primera vez existe la posibilidad de obtener mapas granulométricos y de rugosidad a escala de tramo de río y con una alta resolución. La figura 5 muestra la rugosidad relativa del lecho del río Feshie para el año 2006 y 2007. Dichos mapas se han realizado mediante la aplicación de los algoritmos descritos en este estudio en cada una de las bases de datos para la obtención de los valores de σ_d , y la relación entre σ_d y D_{50} para la estimación de la rugosidad relativa de cada una de las celdas.

Aunque las relaciones entre la desviación estándar corregida (σ_d) y el tamaño de partícula (Figura 4) parecen ser significativas y claras, es necesario apuntar que se tratan de resultados preliminares y no se disponen de suficientes observaciones para un completo análisis estadístico.

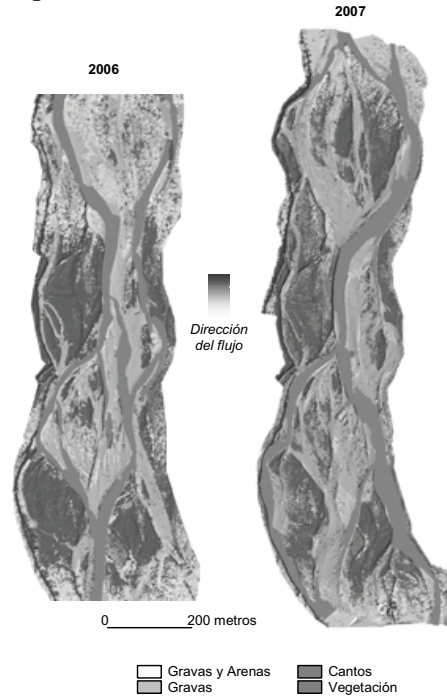


Fig. 5. Río Feshie (2006-2007): mapas de rugosidad relativa derivados a partir de la relación presentada en la figura 5 (i.e. D_{50}).

Agradecimientos

Los autores agradecen la ayuda de las personas que colaboraron en el trabajo de campo y los comentarios recibidos de Ramon J. Batalla y de un revisor anónimo.

REFERENCIAS

- Aberle J., Nikora, V., (2006). Statistical properties of armored gravel bed surfaces. *Water Resources Research*, 42 (11).
- Carbonneau, P.E., Lane, S.N., Bergeron, N.E., (2005). Catchment-scale mapping of surface grain size in gravel bed rivers using airborne digital imagery. *Water Resources Research*, 40, 1-11.
- Verdu, J.M., Batalla, R.J., Martínez-Cassanovas, J.A. (2006). High resolution grain-size characterisation of gravel bars using imagery analysis and geo-statistics. *Geomorphology* 72, 73-93.
- Wolman, M.G., (1954). A method of sampling coarse bed material. *American Geophysical Union Transactions*, 35: 951-956.