

**ESTUDIO MORFOMÉTRICO Y VOLUMÉTRICO DEL RETROCESO DE ACANTILADOS MEDIANTE ESCÁNER LÁSER TERRESTRE Y MODELADO 3D. APLICACIÓN AL ACANTILADO DE TORRE BERMEJA (CÁDIZ)**  
*Morphometric and volumetric study of cliff retreat through terrestrial laser scanner and 3d modeling. Application to Torre Bermeja cliff (Cádiz)*

**A.M. Pérez (1), F.J. Gracia (2), I. Vallejo (3), J.A. Barrera (4) y J. Ojeda (5)**

- (1) Dpto. de Ingeniería Gráfica, E.T.S.I.A., Universidad de Sevilla, Carretera Utrera, Km.1, Sevilla. *e-mail:* tao@us.es
- (2) Dpto. de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, 11510, Puerto Real, Cádiz. *e-mail:* javier.gracia@uca.es
- (3) Dpto. de Geografía Física y A.G.R., Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla, C/ Doña María de Padilla, s/n, Sevilla. *e-mail:* ivallejo@us.es
- (4) Dpto. de Ingeniería Gráfica, E.T.S.I.E., Universidad de Sevilla, Avenida de Reina Mercedes, 4 A. *e-mail:* barrera@us.es
- (5) Dpto. de Geografía Física y A.G.R., Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla, C/ Doña María de Padilla, s/n, Sevilla. *e-mail:* zujar@us.es

**Resumen**

En el presente trabajo se establece un protocolo técnico de actuación para la realización de levantamientos georreferenciados, mediante la combinación de escáner láser 3D y GPS-GNSS, que permita realizar un seguimiento morfométrico del acantilado objeto de estudio, y que pueda ser de aplicación general en otros tramos costeros. El levantamiento específico de datos mediante escáner láser 3D se realizó en dos campañas, para la construcción de sendos modelos digitales correspondientes a la zona de estudio. El tratamiento de los datos se realizó con técnicas de análisis espacial (álgebra de mapas y análisis de superficies), para la cuantificación de los volúmenes asociados a los sectores de erosión y acumulación, así como para el tratamiento cartográfico de los resultados. Finalmente se procedió a una valoración de los resultados desde la perspectiva aplicada en relación al uso de estas técnicas en el contexto del desarrollo territorial y local de sectores litorales acantilados.

**Palabras clave:** acantilados, protocolo técnico, escáner láser 3D, modelos digitales, análisis espacial.

**Abstract**

*The objectives pursued in this work include the establishment of a technical protocol of action to carry out geo-referenced surveys by combining 3D laser scanner and GPS-GNSS, which provides for tracking the cliff morphometric study object, but that may be of general application to other sections coastal. The specific survey data using 3D laser scanner were taken in two campaigns for the construction of two separate computer models for the study area. The data processing techniques of spatial analysis (map algebra and surface analysis) were used to quantify the volumes associated with areas of erosion and accumulation, and cartographic treatment of the results. Finally, the assessment of the results was considered from the applied perspective regarding the use of these techniques in the context of regional and local development of coastal areas cliffs.*

**Key words:** cliffs, technical protocol, 3D laser scanner, digital models, spatial analysis.

**1. INTRODUCCION**

En el presente trabajo se realiza un estudio morfométrico, volumétrico y diacrónico sobre la evolución reciente de un sector acantilado de la provincia de Cádiz, aplicando las tecnologías de levantamientos topográficos más avanzadas (LIDAR terrestre), así como diferentes herramientas de análisis

espacial (álgebras de mapas) para cuantificar su balance volumétrico (erosión/acumulación) entre dos fechas de referencia.

Las escalas de trabajo y el nivel de detalle de los datos levantados garantizan que los resultados del mismo puedan ser utilizados en los procesos de gestión, por lo que tiene sentido que la tecnología utilizada (escáner láser,

también conocido como LIDAR terrestre, y GPS; Abellán et al., 2005) sea la más precisa en la actualidad, para garantizar su adecuada caracterización morfométrica a las escalas de gestión e intervención sobre el territorio.

Por último, el trabajo realizado aporta un conjunto de datos que pueden ser incorporados a un SIG para servir de ayuda en la planificación y gestión de cualquier otro tipo de iniciativa que favorezca el desarrollo local de estos espacios.

Los objetivos concretos que pretendemos alcanzar en el presente trabajo son cuatro:

1. El establecimiento de un protocolo técnico de actuación para la realización de levantamientos georreferenciados mediante escáner laser 3D (LIDAR terrestre) que permita realizar un seguimiento morfométrico del acantilado objeto de estudio, pero que pueda ser de aplicación general en otros tramos costeros.

- 2.- El levantamiento específico de datos mediante escáner láser 3D en dos campañas (Julio de 2009 y Junio de 2010), para la construcción de sendos modelos digitales correspondientes a la zona de estudio.

- 3.- El tratamiento de los datos con técnicas de análisis espacial (álgebra de mapas y análisis de superficies -*surface modelling*-), para la obtención del balance volumétrico del acantilado entre las fechas de referencia, así como el tratamiento cartográfico de los resultados.

- 4.- Valoración de los resultados desde la perspectiva aplicada en relación al uso de estas técnicas en el contexto del desarrollo territorial y local de sectores litorales acantilados.

## 2. AREA DE ESTUDIO

El acantilado de Torre Bermeja se encuentra en el tramo de costa que corresponde al parque periurbano "Pinar de La Barrosa", perteneciente al término municipal de Chiclana de la Frontera, municipio de la provincia de Cádiz. De todo el acantilado, se ha escogido una zona de aproximadamente 20 metros de longitud, por ser donde se han apreciado mayores tasas de retroceso mediante métodos convencionales (principalmente clavos de erosión y ortofotografías aéreas) en estudios anteriores a este que nos ocupa (Del Río, 2007; Rendón et al., 2009).

El acantilado objeto de estudio, con una altura que oscila entre 8 y 9 metros, presenta una estructura bastante compleja, compuesta por varias unidades pliocenas en disposición horizontal (un conglomerado cuarcítico muy heterogéneo mitad basal, correspondiente a la unidad Roca Ostionera (Aguirre, 1991), un glacis compuesto de arcillas y gravas en la zona media y arenas eólicas históricas algo cementadas en la parte superior.

Hoy día el acantilado se ve sujeto a un retroceso en el que predominan los procesos erosivos de origen hídrico, principalmente la reguerización y en casos puntuales también se aprecian fenómenos de sufosión o "piping", frente a otros procesos de origen marino como descalces por el oleaje y movimientos de masas.

La escasa incidencia de los mencionados procesos de origen marino se debe en gran medida a la presencia de grandes bloques rocosos, procedentes en su mayoría de desprendimientos de la pared del acantilado.

El "lavado" de los materiales blandos del glacis por el agua de escorrentía genera cárcavas y deja al descubierto en algunas zonas la roca infrayacente.

### 3. MATERIAL Y METODOS

Para realizar este trabajo se combinaron diversos métodos, orientados a lograr la máxima precisión posible, tanto en la materialización de un marco de referencia estable como en el levantamiento detallado de los puntos que finalmente se utilizarían para generar los modelos digitales.

Para realizar un correcto ajuste de las nubes de puntos tomados con el escáner láser, contamos con una serie de vértices de apoyo para efectuar con garantías el ajuste de las nubes de puntos que se obtendrán.

Para medir dichos puntos se emplearon, una estación total Leica TCR 705 y un equipo GNSS Leica 1200 con la referencia conectada a la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP). El ajuste para la obtención de las cotas ortométricas se realizó empleando el modelo de ondulación del geoide EGM2008-REDNAP.

Para asegurar que las condiciones de trabajo (oclusiones, inclinación con respecto a las superficies, etc.) de los barridos realizados con el escáner fueran las mismas en cada una de las mediciones, se procedió a seleccionar y medir los puntos de estacionamiento.

Para poder situar el escáner en el mismo lugar en la segunda medición se emplearon técnicas de replanteo.

Las posiciones del escáner se seleccionaron atendiendo a criterios de cobertura sobre la superficie del acantilado a estudiar, abarcando con cada nuevo estacionamiento zonas de sombra provocadas por oclusiones que hubiesen afectado a otras posiciones (Fig. 1).

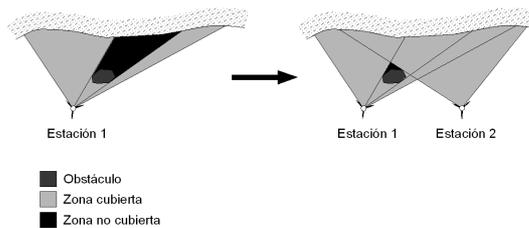


Fig. 1. Ejemplo de distribución de estaciones para cubrir una zona.

La captura de la nube de puntos en el terreno se efectuó con un escáner láser **Leica Scan Station 2**, con resolución milimétrica. Una vez obtenidas las nubes de puntos fue necesario realizar ajustes de posición de éstas con apoyo en los puntos de control obtenidos en el proceso anterior. Por último, se procedió a generar una triangulación de los puntos con objeto de obtener un modelo digital.

El software elegido para esta operación fue 3D Reshaper Technodigit SARL, que permite trabajar con enormes nubes de puntos presentando una baja exigencia respecto a las capacidades del hardware empleado.

En la figura 2 se puede observar un fragmento de la zona de estudio, junto al modelo digital.

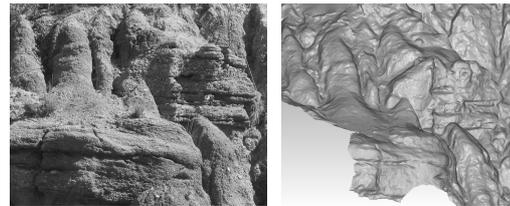


Fig. 2. Comparación fotografía - modelo digital.

### 4. RESULTADOS Y DISCUSION

Entre otros resultados, se generó un "MDT de inspección", proyectado sobre la superficie de 2010 (Fig. 3), donde con distintos colores se representaron las zonas inalteradas o procesos de erosión como el desprendimiento de una cornisa.

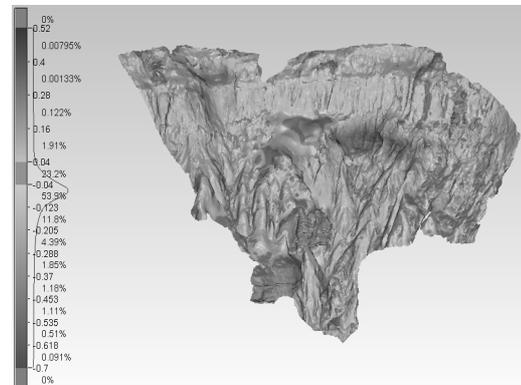


Fig. 3. Comparación entre los MDT de 2009 (origen) y 2010 para detectar avances, retrocesos y zonas poco o nada modificadas mediante distintas tonalidades de color.

Una vez generados los modelos digitales de 2009 y 2010 se pudo realizar una cubicación de los balances volumétricos producidos a lo largo del año. El software empleado permitió hacer estos cálculos mediante la comparación entre ambos modelos, fijando el MDT de 2009 como origen y realizando operaciones booleanas.

El resultado gráfico (Fig. 4) se ha presentado en forma de dos esferas, una pequeña, que representa el volumen de acumulación y que se ha ubicado delante de las superficies empleadas para el cálculo y otra más grande, que representa el volumen de erosión y que se ha situado detrás de los modelos.

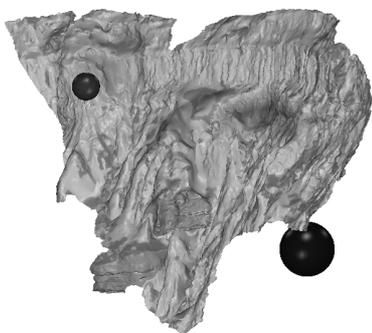


Fig. 4. Representación gráfica de los volúmenes de erosión (esfera grande) y de acumulación (esfera pequeña).

Los valores numéricos obtenidos han sido los siguientes:

- Acumulación: 0,29 m<sup>3</sup>
- Erosión: 9,80 m<sup>3</sup>

## 5. CONCLUSIONES

Por lo que respecta al tratamiento de los datos mediante técnicas de análisis espacial, estimamos que los resultados obtenidos son muy satisfactorios en cuanto a la precisión de los modelos digitales de las superficies del acantilado se refiere. El nivel de detalle alcanzado permite deducir el funcionamiento de las dinámicas erosivas que han actuado sobre la zona de estudio y, lo que es más importante, con un periodo de control más amplio, sería posible predecir el comportamiento futuro del acantilado.

Una vez generados los MDT, la obtención del balance volumétrico entre las fechas de referencia es prácticamente automática ya que el cálculo se hace por comparación entre el modelo de referencia y el estado actual.

La información generada podría ser de gran utilidad para la adecuada gestión del Dominio Público Marítimo Terrestre, en especial a la hora de proponer la ampliación de la “zona de influencia” debido a los procesos erosivos detectados.

En general, podríamos extraer como conclusión que el levantamiento de datos con escáner láser para sectores costeros acantilados sobre rocas deleznable, pone a disposición de los agentes y gestores locales un conjunto de datos de gran precisión, versatilidad y de enorme interés aplicado.

## REFERENCIAS

- Abellán Fernández, A.; Vilaplana Fernández, J.M.; Martínez Morales, J. (2005). Aplicación del *terrestrial laser scanner* en estudios de caídas de rocas (Vall de Núria, Pirineo Catalán). *VI Simposio Nacional sobre Taludes y laderas Inestables, Valencia*. Vol. I, pp. 3-16.
- Aguirre, J. (1991). Estratigrafía del Plioceno de la costa de Cádiz entre Chiclana y Conil. *Geogaceta*, 9: 84-47
- Del Río, L. (2007). Riesgos de erosión costera en el litoral atlántico gaditano. Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz (inérita), 496 pp.
- Rendón, J.J.; Gracia, F.J. y Del Río, L. (2009). Los procesos de erosión hídrica en el retroceso erosivo de acantilados sobre rocas blandas en la provincia de Cádiz. En A. Romero, F. Belmonte, F. Alonso & F. López Bermúdez (eds.): *Advances in studies on Desertification: Contributions to the international Conference on Desertification in Memory of profesor John B. Thornes*, Murcia, pp. 387 – 390.