

---

---

**XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica  
25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.**

---

---

**Propuesta metodológica para la restitución topográfica de  
espacios intensamente transformados**

Marcos Moll Barber y Pablo Giménez Font<sup>a1</sup>

*<sup>a</sup>Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante*

---

**Resumen**

La siguiente propuesta metodológica plantea la posibilidad de restituir la topografía alterada como resultado de cambios de uso del suelo (la urbanización, el trazado de infraestructuras y el desmantelamiento de campos de cultivo), como paso previo para análisis hidrológicos. En la propuesta se ha tomado como área piloto una pequeña cuenca fluvial del litoral mediterráneo (Barranc de la Cala de Finestrat, Alacant), en la cual se ha llevado a cabo una remodelación topográfica a partir de la interpolación de cotas históricas extraídas de la cartografía histórica (1898-1989) y productos derivados de datos LiDAR que han sido tratados con SIG libres y de código abierto. Los resultados, aplicados a dos pequeños sectores diferenciados de la cuenca, permiten comprobar la topografía histórica anterior a las intensas transformaciones antropogénicas e identificar espacios ocupados por terrazas de cultivo que hoy son difícilmente reconocibles.

Palabras clave: SIG; restitución topográfica; cambios de uso; LiDAR; terrazas de cultivo

---

---

<sup>1</sup> E-mail: [pablo.gimenez@ua.es](mailto:pablo.gimenez@ua.es).

## 1. Introducción

La propuesta metodológica que se plantea nace de las necesidades surgidas a raíz de la realización de un estudio sobre las superficies de escorrentía y la generación de caudales de salida ante ciertas intensidades pluviométricas en la cuenca del Riu Girona (Moll, 2013). Los resultados del mismo, basados en la aplicación de la *Instrucción de carreteras-5.2.IC «Drenaje superficial»* del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU, 1990), atendían a los usos del suelo y coberturas de la vegetación actuales, pero ofrecían interesantes perspectivas de trabajo si los resultados se proyectaban sobre escenarios históricos. Para ello, no era suficiente atender únicamente a la reconstrucción de los usos del pasado, mediante documentación y cartografía histórica, sino que había que conseguir recomponer la topografía de la cuenca antes de que la expansión urbana, el trazado de infraestructuras de comunicación o el desmantelamiento y abandono de terrazas de cultivo la modificara sensiblemente.

Efectivamente, en los análisis hidrológicos la pendiente es un factor fundamental al intervenir en las tasas de infiltración y en la concentración y velocidad de la escorrentía (López *et al.* 2007; Fereshte *et al.* 2011). Por ello, con el fin de lograr una comparación válida de secuencias espacio-temporales, era necesario atender al restablecimiento de la topografía histórica con escalas de detalle próximas a las empleadas con los datos actuales.

Partiendo de estos requerimientos, se han ideado varias soluciones prácticas en materia de cartografía y gestión de bases de datos SIG. Por una parte, se ha modelado la topografía a partir de la interpolación de cotas extraídas del MDE LiDAR, procedimiento que se asimila bastante al estudio desarrollado por Orengo *et al.* (2011), donde se toman como referencia las cotas que se corresponden con superficies de roca descubierta para con ello confeccionar una red de triángulos irregulares (TIN). Por otro lado, se pretende aportar herramientas que sirvan para restaurar usos del suelo vinculados con sistemas de terrazas en laderas y cañadas, ya que éstos determinan modificaciones históricas de la topografía y favorecen la infiltración y el laminando de la escorrentía superficial (Morales y Marco, 1995).

Para desarrollar el método se ha seleccionado como área piloto la cuenca del Barranc de la Cala de Finestrat, ubicada en la Marina Baixa (Alacant), atendiendo a las siguientes razones: a) a sus pequeñas dimensiones; b) los importantes cambios de uso y coberturas del suelo que han tenido lugar en las últimas décadas (Peña *et al.* 2005) y que han comportado importantes alteraciones topográficas; y c) a que en la actualidad la cuenca presenta serios problemas de inundaciones periódicas -con dos víctimas mortales en 2011 y cuantiosos daños económicos- que derivan precisamente de los profundos cambios en las superficies de escorrentía (Ortega, 2008; CHJ, 2013), que a su vez han contribuido en la generación de avenidas relámpago (Camarasa, 2008).

El análisis retrospectivo que se plantea se centra en diversos aspectos: a) muchas de las antiguas cañadas aterrazadas con cultivos arbóreos de secano y los espacios de monte se han convertido hoy en espacios intensamente urbanizados y surcados por una compleja red de infraestructuras viarias; b) dichas transformaciones han alterado la topografía y consecuentemente las pendientes; c) las terrazas de cultivo marginales -construidas fundamentalmente en el siglo XIX- están en proceso de desaparición; y d) que la suma de los factores mencionados han desestructurado la red hidrográfica.

De cara a futuras investigaciones, la propuesta puede servir para cuantificar, valorar y evaluar la evolución diacrónica de las superficies de escorrentía de una forma más precisa, con el fin de analizar la repercusión de

las modificaciones topográficas vinculadas a cambios de usos del suelo (expansión urbana, desmantelamiento y abandono de terrazas de cultivo...) en el comportamiento hidrológico de una cuenca fluvial a lo largo del tiempo.

## 2. Metodología

### 2.1. Datos y software

Las propuestas que se plantean para restituir la topografía histórica se centran principalmente en el tratamiento del archivo MDE LiDAR y en el análisis de la Ortofotografía PNOA, ambos de 2009. No obstante, en la Tabla 1 se hace una recopilación de las fuentes de información que se han revisado, incluyendo las complementarias. Para efectuar la restitución topográfica ha sido de gran ayuda la revisión que se ha hecho de los bosquejos planimétricos municipales (1897 y 1938), las fotografías aéreas (1956, 1978 y 1998) y los Mapas Topográficos Nacionales (1953 y 1989). Su consulta ha sido muy útil para modelar, de una manera aproximada, la topografía previa a las transformaciones de la segunda mitad del siglo XX.

**Tabla 1.** Documentos consultados (IGN: Instituto Geográfico Nacional; CNIG: Centro Nacional de Información Geográfica; IIG: Instituto Interuniversitario de Geografía. Universitat d'Alacant; ICV: Institut Cartogràfic Valencià)

Tipo	Año	Documento	Fuente
Mapas Topográficos	1897	Bosquejos planimétricos de los términos municipales de <i>Finestrat</i> y <i>Villajoyosa</i> (Zona E). E. 1:25.000. Instituto Geográfico y Catastral. Trabajos Topográficos.	IGN. Archivo histórico
	1938	<i>Bosquejo planimétrico del término municipal de Finestrat</i> , 1:25.000. Instituto Geográfico y Catastral, Hojas 847-848.	IGN. Archivo histórico
	1938	(Altimetría) Término municipal de La Vila Joiosa. Zona E. Hoja 847, E. 1:25.000. Instituto Geográfico y Catastral. Trabajos Topográficos	IGN. Archivo histórico
	1953	Mapa Topográfico Nacional, 1:50.000. Instituto Geográfico Nacional, Hojas 847-848.	CNIG
	1989	Mapa Topográfico Nacional, 1:25.000. Instituto Geográfico Nacional, Hojas 847-848.	CNIG
Fotografías aéreas	1956/57	Vuelo Americano	IIG
	1978	Vuelo Interministerial IRYDA	IIG
	1998	Vuelo SIG Oleícola	IIG
MDE	2009	LiDAR, píxel 1 metro, CRS: ETRS89.	ICV
Ortofotografía	2009	Vuelo 2009, CRS: ETRS89, PNOA.	ICV

Los software empleados para la siguiente propuesta son gvSIG (v. 1.1.2. y v. 1.11.0), QGIS (v. 1.8.0 y v. 2.0.1) y SEXTANTE. Se trata, por tanto, de programas libres y de código abierto, que por el momento carecen de un editor gráfico que facilite la remodelación 3D que permitiría realizar un suavizado o reajuste de las bases de datos altimétricos que se manejan actualmente.

## 2.2. Planteamiento metodológico y zonas de estudio

La propuesta consiste en analizar y reconstruir la topografía de dos sectores diferenciados de la cuenca, que hemos denominado Zona 1 y Zona 2 (figura 1). En el primer caso, el objetivo se centra en modelar la topografía a partir de la relación estadística de aquellas cotas consideradas como históricas de un sector ubicado en el tramo medio de la cuenca del Barranc de la Cala de Finestrat (Zona 1), por donde discurre la autopista AP-7 desde finales de la década de 1970 y una urbanización construida a principios de la década de 2000. En el segundo caso, se ha pretendido facilitar herramientas para restaurar aquellos usos del suelo vinculados a terrazas de cultivo que en distintas cronologías supusieron una modificación topográfica, tal y como se constata en el sector de la cabecera del barranco, en la Serra de la Cortina (Zona 2). Sobre pequeñas vagadas llegaron a construirse sistemas de terrazas de cultivo durante el siglo XIX que actualmente están abandonadas.

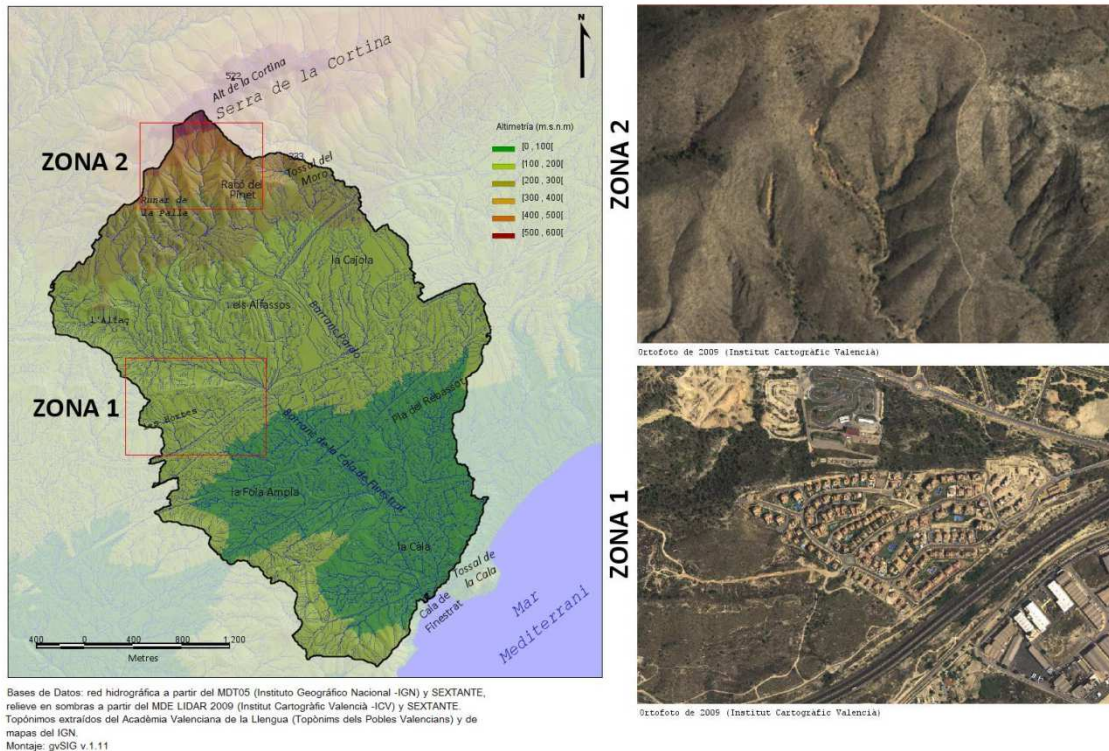


Fig. 1. Cuenca hidrográfica del Barranc de la Cala de Finestrat y ortofoto del año 2009 de las dos zonas de estudio.

En la Zona 1 se ha realizado una fotointerpretación de la ortofoto PNOA y del MDE LiDAR, procesado con el *Índice de elevaciones del relieve*, para poder extraer las cotas que se han conservado hasta la actualidad. Para ello se han establecido múltiples puntos alrededor de espacios transformados para poder realizar una interpolación de las cotas consideradas como históricas. Además, se ha intentado complementar con cotas extraídas de mapas topográficos históricos, pero sin el éxito esperado debido a la escala de trabajo, al sistema de proyección y al margen de error que deriva de la georreferenciación (Rumsey y Williams, 2002; Stäuble *et al.* 2008). El método geoestadístico propuesto para ejecutar la modelación topográfica de las cotas establecidas es el algoritmo de interpolación Kriging Universal. Se ha optado por este método porque el

conjunto de valores que se utilizan presentan una tendencia definida y porque el método procesa el conjunto de datos como si se tratase de una función lineal (Melo, 2012). El método de interpolación se ha aplicado tres veces utilizando siempre las cotas históricas, a las que se le han ido uniendo aquéllas cotas deseadas procedentes de la interpolación.



Fig. 2. Propuesta metodológica para la modelación topográfica y reconocimiento de antiguas terrazas de cultivo.

La Zona 2 se ha sometido a un análisis de la información contenida en los datos LiDAR que pudiera complementar el proceso de fotointerpretación de los distintos vuelos (1956, 1978 y 1998), ya que con la sola fotointerpretación algunos sistemas de terrazas no pueden ser reconocidos correctamente, puesto que a mediados del siglo XX ya se encontraban abandonados, parcialmente desmantelados y en muchos casos cubiertos por formaciones vegetales naturales, hecho que se ve incrementado en las ortofotografías más recientes. Partiendo de esta premisa, al MDE LiDAR se le han aplicado distintos algoritmos (*Pendiente*, *Índice de elevación-relieve* y *Relieve en sombras*) para identificar y delimitar antiguos sistemas de terrazas y así determinar la máxima expansión agraria en la cuenca, alcanzada en la segunda mitad del siglo XIX. Puntualmente se han contrastado los resultados con una descarga de datos LiDAR (a partir del portal *Terrasit* del ICV) en formato .xyz.

### 3. Resultados

La remodelación topográfica a la que se ha sometido la Zona 1 demuestra que se puede, de una forma efectiva, restaurar la topografía anterior a la década de 1970 a partir de la interpolación de cotas históricas (figura 3).

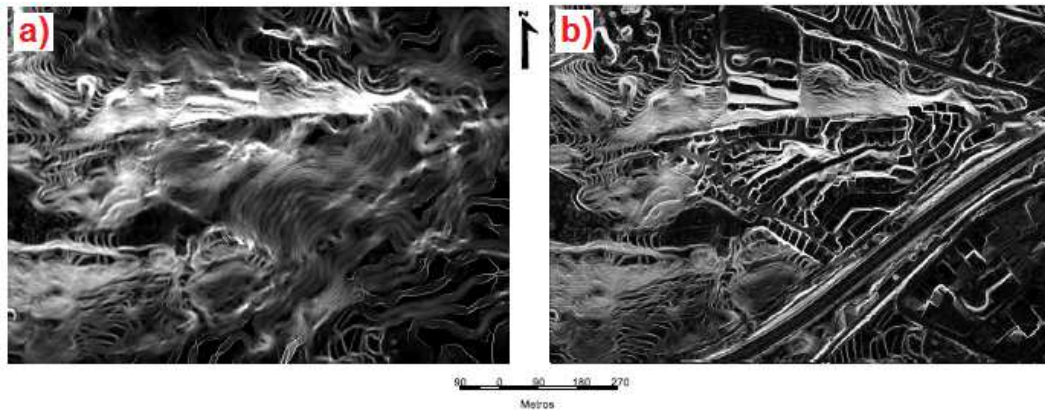


Fig. 3. Comparación de pendientes del MDE derivado (a) y del MDE LiDAR (b). En ambas capas se ha calculado la pendiente mediante el método de ajuste polinómico de segundo grado de Zevenbergen & Thorne 1986 que permite SEXTANTE.

El margen de error que se puede cometer con la interpolación de cotas “históricas”, fluctúa entre los 10 metros negativos y los 8 metros positivos. Esto evidencia que las alturas negativas se corresponden con los espacios que han sido excavados y las positivas con espacios sobreelevados (figura 4).

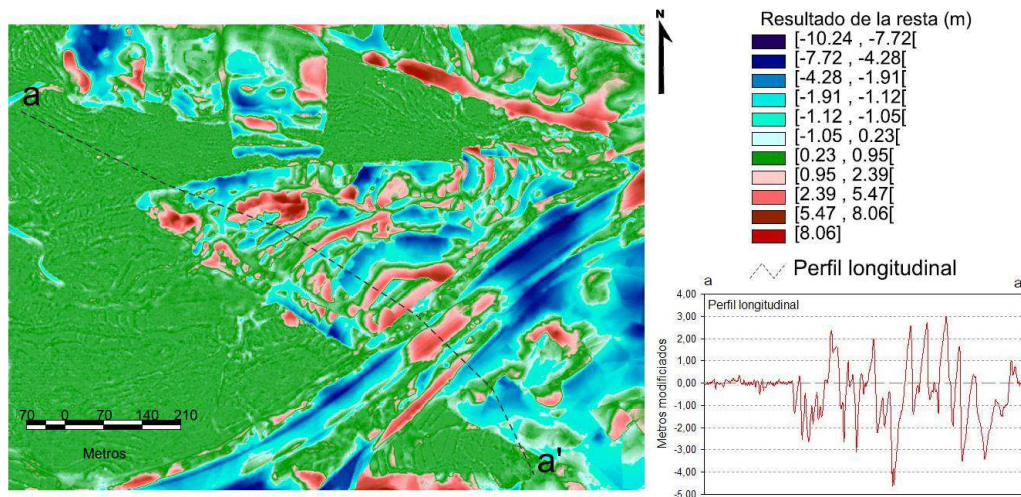


Fig. 4. Diferencias altitudinales entre el MDE LiDAR y el MDE derivado. El perfil longitudinal permite visualizar las alteraciones positivas o negativas respecto a la topografía histórica.

En cuanto a la reconstrucción histórica de topografías transformadas por la implantación de sistemas de terrazas, experimentada en la Zona 2, se comprueba que con el tratamiento del MDE LiDAR se pueden restablecer y delimitar antiguos usos del suelo de una forma bastante más precisa que la mera fotointerpretación de vuelos históricos y ortofotos (Fig. 5). Sin embargo, en algunos sectores, conviene trabajar directamente con los datos LiDAR para poder realizar interpretaciones más precisas sobre la dinámica de las terrazas una vez abandonadas, lo que permite reconocer con exactitud un sistema de terrazas

prácticamente imperceptible en la ortofoto de 2009 y que se observan en la fotografía aérea de 1956 y en la de 1978 (Fig. 6).

Los resultados obtenidos pueden considerarse aceptables para reconstruir la topografía anterior a la segunda mitad del siglo XX, habida cuenta de los intensos cambios sufridos en la Zona 1 por la construcción de la autopista y la urbanización y por la perduración, en la Zona 2, de los sistemas de terrazas desarrollados en cañadas y que actualmente están abandonados y en proceso de desmantelamiento.

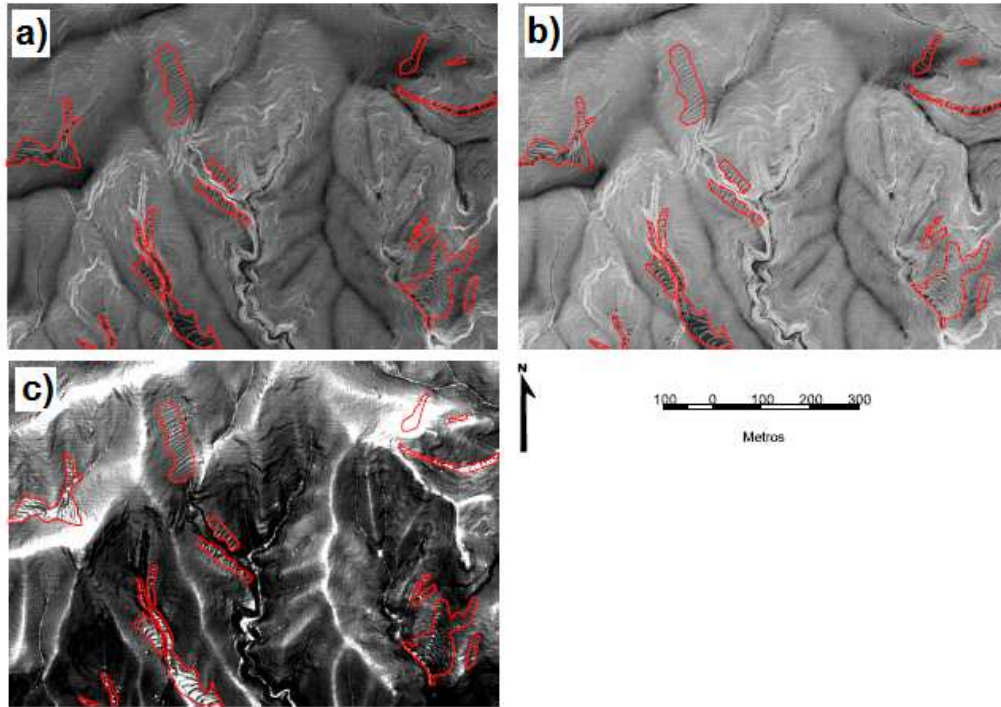


Fig. 5. Posibles visualizaciones de terrazas de cultivo marginales (delimitadas en rojo y a mano alzada) a partir del LiDAR 2009: (a) Pendientes; (b) Relieve sombreado; (c) Índice de elevación del relieve.

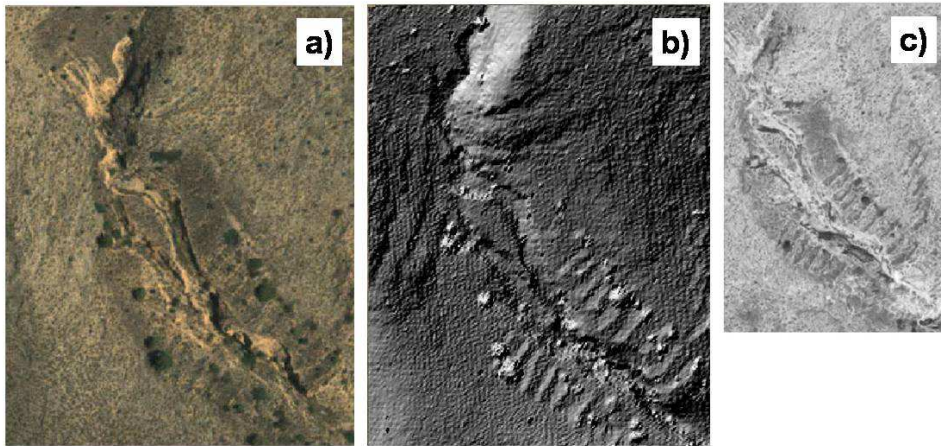


Fig. 6. Comparativa del resultado del tratamiento de la nube de puntos LiDAR (b) con la ortofoto de 2009 (a) y la fotografía aérea de 1978 (c).

#### 4. Discusión y conclusiones preliminares

La propuesta metodológica que se plantea pretende aportar nuevas herramientas para la interpretación histórica del territorio y la reconstrucción de escenarios del pasado. En el caso que nos ocupa, el objetivo final sería obtener una sucesión evolutiva de datos sobre superficies de escorrentía (atendiendo a la pendiente y a los usos y coberturas del suelo) susceptibles de introducirse en programas de modelización hidráulica como HEC-RAS, con el fin de comprobar el funcionamiento histórico de la cuenca y hasta qué punto las alteraciones topográficas han agravado las consecuencias de inundaciones ligadas a precipitaciones copiosas e intensas.

Pero la composición de escenarios históricos presenta diversas aplicaciones más allá de la hidrología, como pudieran ser los cambios ecológicos o geomorfológicos derivados de las transformaciones antropogénicas. En todos ellos, la pendiente es un factor básico a la hora de realizar estos análisis y dado que la zona de estudio ha sufrido importantes variaciones a causa de los procesos de urbanización, se ha tratado de solucionar un primer paso: restituir la topografía anterior a dichos cambios utilizando soluciones prácticas, ingeniosas y relativamente sencillas.

Para ello se ha dispuesto de fuentes documentales (cartografía histórica) de cierta calidad, pero la presencia de LiDAR y productos derivados del mismo, como el MDE, han ayudado a maximizar los resultados. Aunque la georreferenciación de cartografía histórica no ha dado los resultados esperados, su consulta ha sido una referencia importante para la restitución topográfica, realizada a partir de la extracción, interpolación y/o triangulación de cotas obtenidas de LiDAR. Con el método propuesto los resultados se pueden considerar altamente aceptables, sin descartar los posibles errores topológicos que pueden surgir de la combinación de cotas derivadas de las interpolaciones y/o triangulaciones de cotas históricas, que representan aspectos a mejorar.

En cuanto a las herramientas que se plantean para identificar alteraciones topográficas relacionadas con los sistemas de terrazas, los resultados obtenidos facilitan la correcta localización y delimitación de estos espacios, con lo que se puede determinar la máxima expansión agraria en la cuenca y estimar la modificación



que sobre el régimen hidrológico produjeron laderas aterrazadas y cañadas en el momento en que se encontraban cultivadas. La propuesta presenta, además, nuevos retos en materia de computarización, como podría ser la formulación de un algoritmo que reconociera e identificase antiguos sistemas de terrazas de manera automatizada.

En definitiva, se trata de aportaciones dirigidas a obtener una mayor precisión en la reconstrucción de escenarios históricos, que debería atender no solo a usos y coberturas del pasado, sino especialmente a la topografía. Tanto en un caso como en el otro, la combinación de cartografía histórica y la información proveniente de los datos LiDAR de alta precisión ofrece posibilidades muy interesantes para este fin.

## Agradecimientos

Este trabajo no se hubiera podido realizar sin la información geográfica facilitada por del *Institut Cartogràfic Valencià* y el Instituto Geográfico Nacional. También es de agradecer los colectivos que han desarrollado y desarrollan nuevas versiones para QGIS, gvSIG y SEXTANTE, sin los cuales no se hubiese podido procesar las *geodatabase*. Por último las acertadas puntualizaciones de los revisores han permitido mejorar sustancialmente el documento original.

## Referencias

- Orengo, H.; Fiz Fernández, I. y Macías Solé, J.M. (2011): “Restitución 3D de la topografía de la antigua ciudad de Tarraco en un entorno SIG. Propuestas metodológicas y primeros resultados”. en Mayoral, V. y Celestino, S. (eds.): *Tecnologías de información geográfica y análisis arqueológico del territorio: Actas del V Simposio Internacional de Arqueología de Mérida*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. pp. 713-722.
- Camarasa Belmonte, A.; Soriano García, J. (2008): “Peligro, vulnerabilidad y riesgo de inundación en ramblas mediterráneas: los llanos de Carraixet y Poyo”. *Cuadernos de Geografía*, nº 81, pp. 1-26. València
- CHJ (2013): Plan Director de defensa contra las avenidas en la Comarca de la Marina Baixa, Alicante. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. P. 187. URL: <http://www.chj.es/Descargas/ProyectosDT/MARINA%20BAJA%20DEFINITIVA/PLAN%20DIRECTOR%20MARINA%20BAIXA/DOCUMENTO%201.%20MEMORIA/MEMORIA.pdf>
- Fereshte H., Mirmasoud K. y Bahram S. (2011). “Evaluation of Soil Hydraulic Parameters in Soils and Land Use Change” *Earth and Environmental Sciences*, Dr. Imran Ahmad Dar (Ed.), ISBN: 978-953-307-468-9, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/earth-andenvironmental-sciences/evaluation-of-soil-hydraulic-parameters-in-soils-and-land-use-change>
- López García, M. J.; Camarasa Belmonte, A.M. y Mateu Bellés, J.F. (2007): “Cambios en los usos del suelo y producción de escorrentía en ramblas mediterráneas: Carraixet y Poyo (1956-1998)”. *Boletín de la A.G.E.*, nº44, pp. 69-94.
- Melo Martínez, C. E. (2012): *Análisis geoestadístico espacio tiempo basado en distancias y splines con aplicaciones*. Univeritat de Barcelona. 276 p. URL: <http://tdx.cesca.cat/handle/10803/101202>
- Moll Barber, M. (2013): “Aplicaciones cartográficas para la valoración de superficies de escorrentía. Riu Girona (Alicante)”. *Investigaciones Geográficas*, nº 60. pp 111-116. URL: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/34747>
- MOPU (1990): Orden de 14 de mayo de 1990 por la que se aprueba la Instrucción de carreteras 5.2-IC «Drenaje superficial». BOE núm. 123. URL: <http://www.boe.es/boe/dias/1990/05/23/pdfs/A14036-14082.pdf>
- Morales, A. y Marco Molina, J.A. (1995): “Terrazas de cultivo abandonadas en el sureste peninsular. Aspectos evolutivos” *Investigaciones Geográficas*, 13: 81-90. URL: <http://hdl.handle.net/10045/486>
- Ortega Álvarez, J.M. (2008): “Riesgo de inundación y ordenación territorial en el área litoral sur de la Marina Baixa (Alicante)” *Investigaciones Geográficas*, 45: 203-227. URL: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/12748>
- Peña, J.; Poveda, R. M.; Bonet, A.; Bellot, J. Escarré, A. (2005): “Cartografía de las coberturas y usos del suelo de la Marina Baixa (Alicante) para 1956, 1978 y 2000”. *Investigaciones Geográficas*, nº 37, pp. 93-107. URL: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/274>
- Rumsey, D. y Williams, M. (2002): “Historical maps in GIS”, en Knowless, A.K. (ed.) *Past Time, Past Place: GIS for History*. California: ESRI Press, 1-18 pp. URL: <http://downloads2.esri.com/ESRIpress/images/53/ch01.pdf>

Stäubli, S.; Martin, S. y Reynard, E. (2008): "Historical Mapping for Landscape reconstruction. Examples from the Canton of Valais (Switzerland)". 6th ICA Mountain Cartography Workshop, Mountain Mapping and Visualisation. pp. 211-207. URL: [http://www.mountaincartography.org/publications/papers/papers\\_lenk\\_08/staeuble.pdf](http://www.mountaincartography.org/publications/papers/papers_lenk_08/staeuble.pdf)