

INVENTARIO Y CARACTERIZACIÓN DE BODEGAS SUBTERRÁNEAS MEDIANTE TÉCNICAS GEOESPACIALES. DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA Y APLICACIÓN DE UAV EN LA EVALUACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE RIESGOS NATURALES

Juan Luis Martín ^{1,*}, Enrique Pérez-Martín ¹, Miguel A. Conejo-Martín ¹, Héctor Mateos ² and Esther Isabel Prada ³

¹ Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Departamento de Ingeniería Agroforestal, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, España.

² Technical University of Madrid (UPM), Departamento de Ingeniería Geológica y Minera, Calle Ríos Rosas, 28003 Madrid, España,

³ Universidad Camilo José Cela. Avda. Alfonso XIII, 28016 Madrid, Spain.

ABSTRACT

El estudio de los riesgos caracterizados como naturales en la actual Ley de protección Civil, (Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil), así como el Plan Nacional de Emergencias y Gestión de Riesgos en Patrimonio Cultural, abren el camino hacia el estudio de la aplicación de las nuevas tecnologías cartográficas cuyo resultado sea una mejora del método empleado en la realización de los citados planes.

Tras la aprobación de la Directiva Europea 2007/60/CE sobre evaluación y gestión de riesgos de inundación se determina la vía a seguir en la planificación de este tipo de riesgos por inundación. En este artículo se desarrolla una metodología para la planificación del riesgo por inundación en las bodegas de Atauta, declarado bien de interés cultural (BIC) aplicando un enfoque integral apoyado en la tecnología UAV.

Se desarrollara el modelo 3d del recorrido del agua en caso de gran tormenta que pueda causar amenazas a la población y bienes de interés cultural lo que se tomará como dato práctico virtual en la posterior elaboración del plan de emergencias.

KEYWORDS: UAVs, Patrimonio, Protección Civil, Riesgos Naturales

INTRODUCCION

La Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil delimita las competencias en cuanto a los daños provocados por el riesgo de inundación. Estas afectan a todas las Administraciones públicas en distinta medida. Las normativas sobre planeamiento urbanístico y protección civil son objeto de ordenanzas municipales de la Administración Local. La Administración Autonómica regula en materia de ordenación del territorio, protección civil y gestión del dominio público hidráulico. Así mismo la Administración Estatal gestiona el dominio público hidráulico en cuencas que afectan a más de una comunidad y el dominio público marítimo terrestre en las inundaciones causadas en zonas de transición y las debidas a la elevación del nivel del mar.

En el ámbito de la Comunidad Europea, se aprobó en noviembre de 2007 la Directiva 2007/60, sobre la evaluación y gestión de las inundaciones transpuesta a la legislación

española mediante el Real Decreto 903/2010 de evaluación y gestión de riesgos de inundación verdadero impulsor de la creación del mapeo de zonas con mayor riesgo de inundación, Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs).

La herramienta clave de la Directiva 2007/60 es la elaboración, aprobación e implantación de los planes de gestión del riesgo de inundación regulados por los capítulos 4 y 5 del Real Decreto 903/2010 (artículos 11 al 17).

Los planes de gestión tienen como objetivo lograr una actuación coordinada de todas las administraciones públicas y la sociedad para reducir las consecuencias negativas de las inundaciones, basándose en los programas de medidas que cada una de las administraciones debe aplicar en el ámbito de sus competencias para alcanzar el objetivo previsto.

El objetivo general de estos planes es conseguir que no se incremente el riesgo de inundación actualmente existente y que, en lo posible, se reduzca a través de los distintos programas de medidas, que deberán tener en cuenta todos los aspectos de la gestión del riesgo de inundación, centrándose en la prevención, protección y preparación, incluidos la previsión de inundaciones y los sistemas de alerta temprana, y teniendo en cuenta las características de la cuenca o subcuenca hidrográfica consideradas, lo cual adquiere más importancia al contemplar los posibles efectos del cambio climático.

De este modo, dos de los objetivos generales de estos planes, que cobran especial protagonismo en nuestro estudio, son los siguientes:

- Conseguir una reducción, en la medida de lo posible, del riesgo a través de la disminución de la peligrosidad para la salud humana, las actividades económicas, el patrimonio cultural y el medio ambiente en las zonas inundables. Este objetivo se basa sobre todo en la optimización de los sistemas de defensa frente a inundaciones existentes, la restauración fluvial y la restauración hidrológico-agroforestal de cuencas, la gestión de los embalses existentes, las labores de conservación de las infraestructuras existentes, las actuaciones de prevención en la costa, etc.
- Mejorar la resiliencia y disminuir la vulnerabilidad de los elementos ubicados en las zonas inundables. Puesto que las inundaciones son fenómenos naturales que no pueden evitarse y que hay que convivir con ellas asumiendo un cierto nivel de riesgo, más aún con los previsible efectos del cambio climático, se prevé la necesidad de mejora de la resiliencia de estos bienes, tales como viviendas, infraestructuras, etc.

Los Planes Nacionales de Patrimonio Cultural son instrumentos de gestión compartidos por las diversas administraciones y otras entidades públicas o privadas. Uno de sus objetivos es la programación coordinada de actividades en función de las necesidades del patrimonio, que incluye actuaciones de protección, conservación, investigación, y difusión. El fundamento legal de los Planes Nacionales se encuentra en la Ley 16/1985 de Patrimonio Histórico Español.

La vertiginosa pérdida de los conocimientos y técnicas relacionados con los oficios tradicionales de la construcción, hacen que en el marco de este Plan tengan cabida medidas sobre la recuperación de materiales y sistemas tradicionales [1]. Ello contribuye, por un lado, al mantenimiento de este Patrimonio Inmaterial de los oficios, y por otro, tanto a la conservación de la arquitectura tradicional, como a la aplicación de estas soluciones ecológicas y bioclimáticas en las nuevas construcciones [2].

Factores de riesgo ambientales [3] son tenidos en cuenta dentro de nuestro trabajo como posible desencadenante de posible emergencia. Los principales casos implicados serán:

- Meteorología específica y cambio climático. La alteración de los microclimas, debida al cambio climático global, con el consiguiente desequilibrio hídrico y térmico, constituye un factor de riesgo en una arquitectura adaptada, integrada y fruto de un medio natural determinado.
- Riesgos intrínsecos ligados al emplazamiento de los edificios riesgo sísmico, geotécnico, hidrogeológico, o el estudiado por inundación. que constituyen riesgos latentes desde la construcción del edificio en dicho enclave, pero que en algunos casos se pueden agudizar a tenor de cambios ambientales como despoblación vegetal y consecuente lavado del terreno, variaciones del nivel freático, etc.

En España, la catástrofe natural que mayor número de daños genera es la de INUNDACION. La cuantificación de las pérdidas por este RIESGO, se estiman en una media de 800 millones de euros al año en nuestro país.¹

Es conocido que los efectos destructivos de una inundación dependen de la relación humana con los componentes del Riesgo: Peligrosidad x Vulnerabilidad x Exposición. Por esta razón el actuar sobre cualquiera de los elementos citados con la oportunidad de modificar cualquiera de ellos de manera individual o colectiva puede permitir paliar los efectos de la catástrofe.

Las inundaciones son causadas por una compleja interacción de diferentes causas, especialmente en áreas urbanas [4]. En el espacio físico objeto de nuestro estudio, la principal fuente que pueden causar una inundación es Inundación pluvial: Lluvias de alta intensidad que pueden producir inundaciones en áreas delimitadas. Este tipo de inundación puede ser más peligrosa en aquellas situaciones en las que el sistema de drenaje del paraje sea ineficaz, no exista o esté mal dimensionado.

El análisis del riesgo de inundación consiste en determinar la naturaleza y extensión del riesgo existente mediante el análisis de las amenazas potenciales y evaluación de las condiciones de vulnerabilidad que pueden derivarse de la amenaza potencial, causando daños personales, a la propiedad y al medio ambiente. Analizar el riesgo de inundación existente para la vida humana y la propiedad es fundamental como primer paso para conseguir su reducción.

¹ Según datos del Consorcio de Compensación de Seguros y el Instituto Geológico y Minero de España

Las medidas predictivas y previsoras buscan evitar la exposición y vulnerabilidad al peligro tratando conocer dónde y cuándo se producirá la inundación. ¿Cómo se sabe? Mediante predicciones meteorológicas o predicciones hidrológicas, basadas en la modelación en tiempo real a partir de la información que suministran las redes de medición en cada Cuenca Hidrográfica.

Las medidas preventivas buscan reducir el peligro, y evitar la exposición y vulnerabilidad de los elementos expuestos [5] (personas o bienes y en nuestro caso, patrimonio) al peligro.

Existen numerosas medidas preventivas de reducción del riesgo de inundación [6]. En general, se dividen en dos grupos: medidas estructurales y medidas no estructurales.

Las medidas estructurales engloban todas aquellas construcciones que reducen o evitan el posible impacto de la inundación, incluyendo un amplio rango de obras de ingeniería civil, como, por ejemplo, la construcción de infraestructuras de protección y resistencia a la acción del agua, tales como diques o presas. Las medidas no estructurales incluyen políticas, concienciación, desarrollo del conocimiento, reglas de operación, así como mecanismos de participación pública e información a la población, de modo que puede reducirse el riesgo existente y los impactos derivados de la inundación.

Las medidas no estructurales reducen el riesgo de inundación cuando ésta ya se ha producido, reduciendo las consecuencias de la misma. A tal efecto, pueden emplearse medidas como el planeamiento urbano, sistemas de predicción meteorológica, modelos de pre-caracterización de avenidas, sistemas de aviso y procedimientos de evacuación.

Los sistemas de captación y drenaje se diseñan para la gestión del agua de escorrentía generada por un evento de precipitación en la zona urbana y sus alrededores [7]. Por tanto, son estructuras de protección frente a inundaciones de origen pluvial.

Los sistemas de drenaje sostenibles se desarrollan para la gestión de los riesgos medioambientales resultantes de la escorrentía, minimizando su impacto.

En este trabajo se estudiará el recorrido que con más posibilidad seguirá el agua producida en una gran tormenta, así como los lugares en dónde por acumulación de la misma se pueden plantear obras de drenaje futuras que paliarán en daño causado.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El conjunto de Bodegas de “El Plantío” (figura 1), en Atauta (Soria) ha sido declarado recientemente Bien de Interés Cultural (BIC) con la categoría de Conjunto Etnológico. La Ley de Patrimonio Cultural de Castilla y León (Ley 12/2002 de 11 de julio, de Patrimonio Cultural de Castilla y León) dispone que tendrá la consideración de Conjunto Etnológico “el paraje o territorio transformado por la acción humana, así como los conjuntos de inmuebles, agrupados o dispersos, e instalaciones vinculados a formas de vida tradicional”.

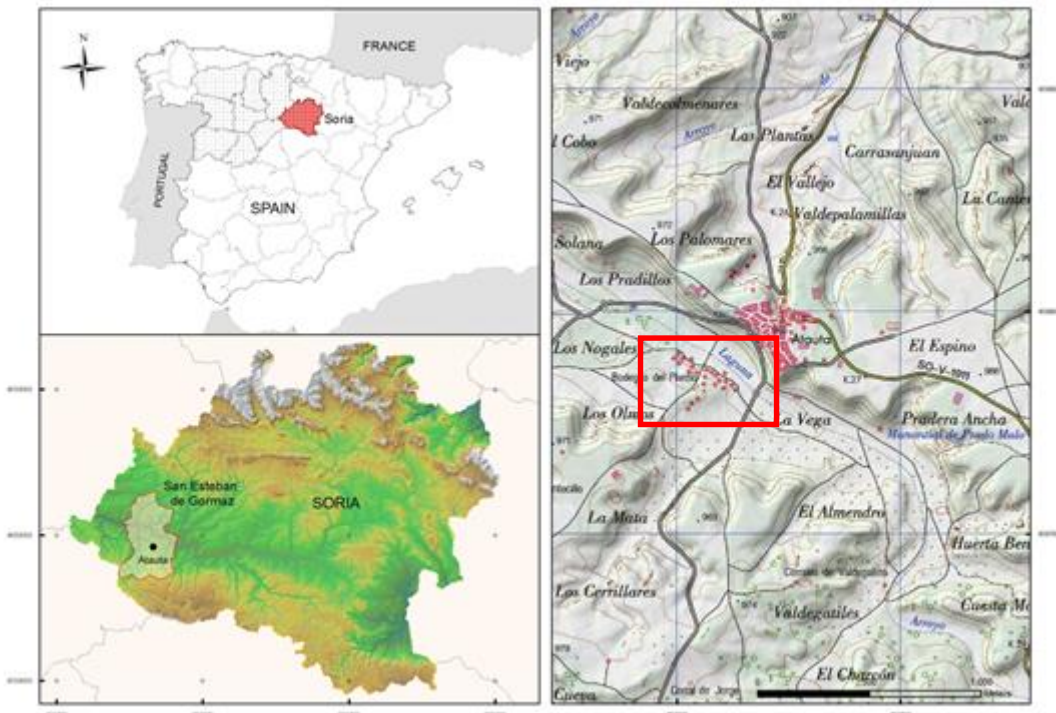


Figura 1. Localización Bodegas de “El Plantío” en Atauta (Soria)

‘El Plantío’ se sitúa en el Paraje del Hondo, a los pies del pueblo de Atauta. En lo alto de una rocosa cornisa de unos 970 metros de altitud se ubica el pueblo, separado del conjunto de bodegas por el Arroyo de la Laguna o Golbán, configurándose dos ámbitos caracterizados por una perfecta interrelación entre patrimonio natural y patrimonio arquitectónico, entre los que se establecen valiosas relaciones visuales y paisajísticas.

La climatología de la zona es de carácter continental con influencia mediterránea, y la pluviometría media es de 450 a 550 litros al año.

En una suave ladera sobre el valle de Atauta, en una extensión de 1.9 hectáreas se encuentran 141 bodegas subterráneas, 9 lagares, 15 lagaretas, 3 casillos y 4 palomares.

Las bodegas subterráneas de Atauta pertenecen al polígono 60, parcela 5676 (1.49 Has) y el polígono 65, parcela 5477 (0.38 Has). Están declaradas de uso agrario en la Dirección General del Catastro.

Para el análisis de inundación por riesgos naturales de la zona correspondiente a las bodegas subterráneas, se han utilizado varias fuentes de información:

De origen abierto:

- Ortofotos del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) más recientes disponibles, sistema geodésico de referencia ETRS89 y proyección UTM del Instituto Geográfico Nacional.
- Ficheros digitales con información altimétrica de la nube de puntos LiDAR (Light Detection and Ranging). Las nubes de puntos han sido capturadas mediante vuelos con sensor LiDAR con una densidad de 0,5 puntos/m², y posteriormente clasificadas de manera automática y coloreadas mediante RGB obtenido a partir de ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) con tamaño de pixel de 25 o 50cm.

De elaboración propia:

- Trabajo de campo. Se realizaron varias visitas a las bodegas subterráneas para comprobar en situ, hipótesis de partida y posteriormente contrastar resultados obtenidos.
- Utilización de Vehículo aéreo no tripulado (UAV). Se realizó un vuelo a 80 metros de altitud sobre la zona de estudio, obteniéndose 30 imágenes. Se ha procesado mediante el software Photoscan de la marca Agisoft, realizando una triangulación fotogramétrica ayudándose de ciertos puntos de apoyo (figura 2), nube de puntos densa, modelo digital de elevación y una ortofotografía de la zona con una **precisión de 0.13 m.**



Figura 2. Puntos de apoyo sobre la ortofotografía resultante

Los datos obtenidos se integraron en un SIG para analizar el estudio de riesgo por inundación. El software utilizado ha sido Arcgis de la marca ESRI. Se activó para utilizar en el estudio la extensión Spatial Analyst y distintas herramientas relacionadas con temas hidrológicos.

Se ha realizado el modelo digital del terreno a partir del UAV, editando la nube de puntos densa y filtrando puntos por la necesidad de utilizar solamente puntos del terreno. Se generó un Modelo Digital del Terreno (MDT) raster de igual precisión que el obtenido a través de la nube de puntos LiDAR (IGN). El proceso posterior de análisis por inundación se ha aplicado tanto al MDT del IGN como al MDT del UAV, obteniéndose resultados similares. El proceso de análisis por inundación ha consistido en los siguientes procesos:

- Generación de mapa de pendientes de la zona de estudio.
- A partir del MDT se ha utilizado herramientas relacionadas con hidrología como son las referidas a la dirección de flujo como de acumulación de flujo.

Mediante la herramienta “dirección de flujo”, a partir de un MDT de entrada proporciona un ráster de salida que muestra la dirección del flujo que sale de cada celda [8]. La dirección del flujo está determinada por la dirección del descenso más empinado, o la caída máxima, desde esa celda [9].

La herramienta Acumulación de flujo calcula el flujo acumulado como el peso acumulado de todas las celdas que fluyen en cada celda de pendiente descendente en el ráster de salida [9]. Si no se proporciona un ráster de peso, se aplica un peso de 1 a cada celda, y el valor de celdas en el ráster de salida es el número de celdas que fluye en cada celda. Las celdas con una acumulación de flujo alta son áreas de flujo concentrado y pueden ser útiles para identificar canales de arroyos [10].

La aplicación en el MDT de la zona de estudio puede representar la cantidad de lluvia que puede fluir por cada celda, asumiendo que toda la lluvia se convirtió en escorrentía y que no hubo intercepción, evapotranspiración o pérdida al agua subterránea.

El resultado de la aplicación de las distintas herramientas es el raster presentado en la figura 3a. Posteriormente y tras visita de nuevo a la zona de estudio se inspeccionó las posibles salidas de agua en caso de lluvia torrencial y en base al raster obtenido de acumulación de agua, se proyectaron los posibles arroyos o avenidas de agua (figura 3b y 3c).

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos, se planificará una recogida de aguas a través de una zanja de drenaje en la zona más baja de las bodegas subterráneas con el fin de evitar su acumulación (figura 3c, línea roja).

El estudio de acumulación y posibles trayectos de avenidas de agua en el caso de lluvia torrenciales sobre la zona de estudio servirá como apoyo en la elaboración del plan de emergencias.

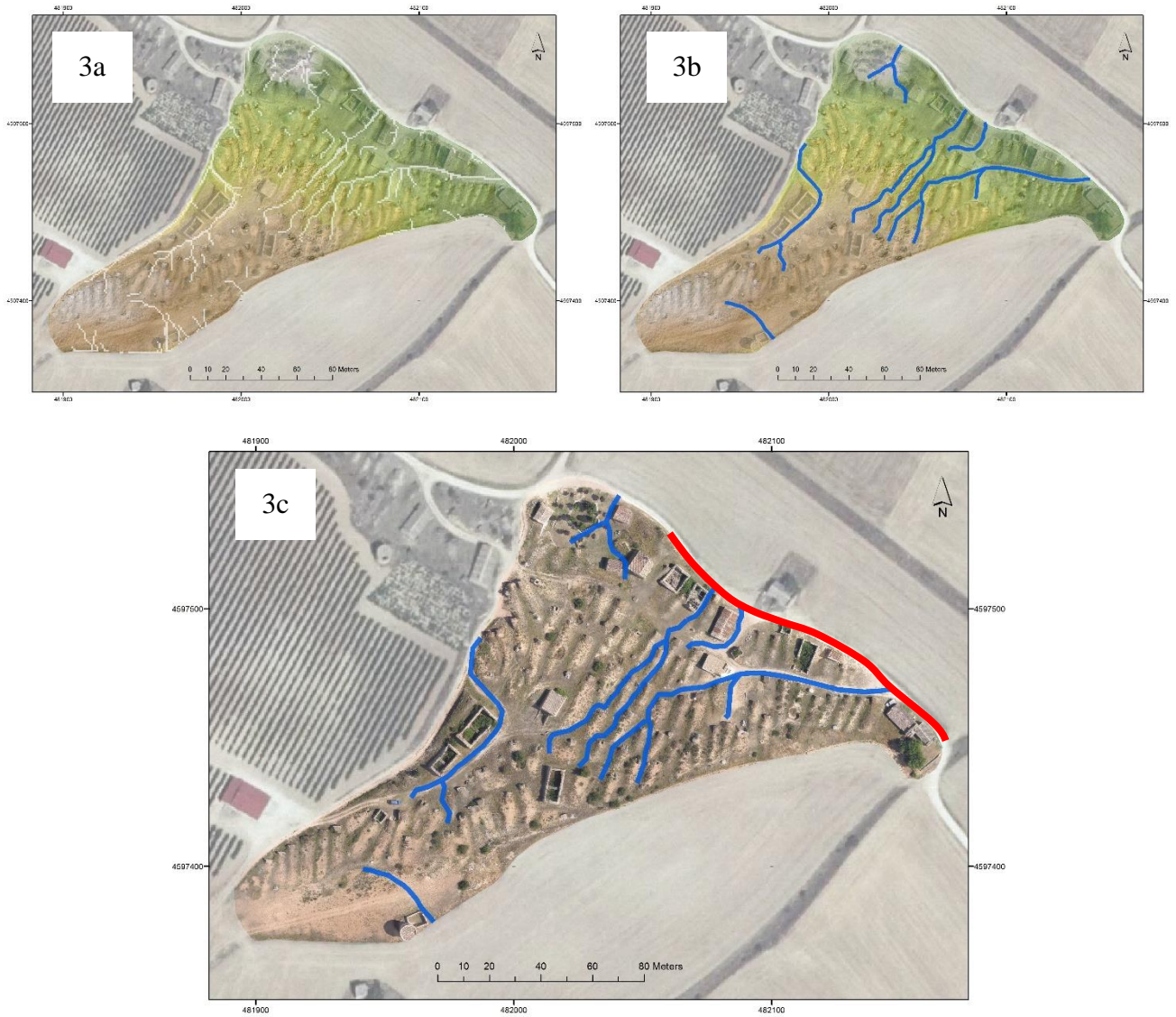


Figura 3. Flujos de acumulación y recogida de agua sobre ortofotografía.

Bibliografía

1. Ramos, L.M.; Gámez, D.R.; Cossío, F.V. *Arquitectura y construcción con tierra: Tradición e innovación*. Mairea Libros: 2002.
2. Fuentes, J.; Jiménez, M.; Cañas, I. Construcciones agrarias tradicionales en la ribera del duero soriana. *Asociación Tierras Sorianas del Cid, Soria* **2007**.
3. Gárate Rojas, I. *Artes de la cal*. Instituto de conservación y restauración de bienes culturales: 1993.
4. Maldonado, R.J. Arquitectura popular manchega. *Cuadernos de estudios manchegos* **1982**, 71-82.
5. Castells, B.; Cinta, S.; Hormias Laperal, E. In *Informes de la construcción, nº 523 monográfico la tierra material de construcción: Una aproximación contemporánea*, Construcción con tierra, tecnología y arquitectura: Congreso de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2010/11, 2011; Universidad de Valladolid: pp 335-344.
6. Lasaosa-Castellanos, M.-J. *Arquitectura subterránea. Cuevas de andalucía. Conjuntos habitados*. Consejería de Obras Públicas y Transportes: 1989.
7. Flores, C. La España popular. *Raíces de una arquitectura vernácula*. Aguilar, Madrid **1979**.
8. Greenlee, D.D. Raster and vector processing for scanned linework. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **1987**, 53, 1383-1387.
9. Jenson, S.K.; Domingue, J.O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric engineering and remote sensing* **1988**, 54, 1593-1600.
10. Tarboton, D.G.; Bras, R.L.; Rodriguez - Iturbe, I. On the extraction of channel networks from digital elevation data. *Hydrological processes* **1991**, 5, 81-100.