

Fragoso-Campón, L.; Rodríguez Mayoral, J.; Antolín Salazar, A.; Quirós, E. Reto de la Cartografía en las Vegas Cultivadas: Impacto de Errores de los MDE Oficiales en la elaboración de Mapas de Riesgo de Inundación

# Reto de la Cartografía en las Vegas Cultivadas: Impacto de Errores de los MDE Oficiales en la elaboración de Mapas de Riesgo de Inundación

Fragoso-Campón, Laura <sup>1</sup> Rodríguez Mayoral, Javier <sup>1</sup> Antolín Salazar, Alicia <sup>1</sup> Quirós, Elia <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Extremadura, España

ORCID: Fragoso-Campón 0000-0003-0397-6247 Antolín Salazar 0000-0002-9869-8149 Quirós 0000-0002-8429-045X

Correspondencia: [laurafragoso@unex.es](mailto:laurafragoso@unex.es) [jrodriguvh@alumnos.unex.es](mailto:jrodriguvh@alumnos.unex.es) [asalazar@unex.es](mailto:asalazar@unex.es) [equiros@unex.es](mailto:equiros@unex.es)

## RESUMEN

La modelización hidráulica en aguas someras conlleva la resolución de ecuaciones diferenciales a través de las cuales se determinan, para un caudal de avenida especificado, la profundidad y velocidades del flujo de agua sobre el terreno. Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) constituyen la representación discreta del espacio sobre el que se calculan gradientes, direcciones de flujo y profundidades; de su exactitud dependen directamente los resultados de calados y velocidades, y por tanto, la veracidad de los Mapas de Riesgo de Inundación. La exactitud de un MDE derivado de datos LiDAR está condicionada por los errores de clasificación de la nube de puntos dependiendo de la capacidad de penetración del láser en áreas con cobertura vegetal densa, aspecto especialmente crítico en vegas cultivadas. Este trabajo realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos en la modelización hidráulica a partir de tres productos cartográficos digitales oficiales españoles comparando sus resultados respecto de la cartografía oficial de peligrosidad del SNCZI (Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables) y evalúa su influencia en la elaboración de cartografía de riesgo bajo la Directiva Europea 2007/60/EC.

**Palabras clave:** IBER, MDE, SNCZI, LiDAR

Fecha de recepción: 13 enero 2026 · Fecha de aceptación: 18 febrero 2026

# Reto de la Cartografía en las Vegas Cultivadas: Impacto de Errores de los MDE Oficiales en la elaboración de Mapas de Riesgo de Inundación

Fragoso-Campón, Laura <sup>(1)</sup>, Rodríguez Mayoral, Javier <sup>(2)</sup>, Antolín Salazar, Alicia <sup>(3)</sup>, Quirós, Elia <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad de Extremadura, España,  0000-0003-0397-6247, laurafragoso@unex.es.

<sup>(2)</sup> Universidad de Extremadura, España, jrodriguvh@alumnos.unex.es.

<sup>(3)</sup> Universidad de Extremadura, España,  0000-0002-9869-8149, asalazar@unex.es.

<sup>(4)</sup> Universidad de Extremadura, España,  0000-0002-8429-045X, equiros@unex.es.

**Resumen:** La modelización hidráulica en aguas someras conlleva la resolución de ecuaciones diferenciales a través de las cuales se determinan, para un caudal de avenida especificado, la profundidad y velocidades del flujo de agua sobre el terreno. Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) constituyen la representación discreta del espacio sobre el que se calculan gradientes, direcciones de flujo y profundidades; de su exactitud dependen directamente los resultados de calados y velocidades, y por tanto, la veracidad de los Mapas de Riesgo de Inundación. La exactitud de un MDE derivado de datos LiDAR está condicionada por los errores de clasificación de la nube de puntos dependiendo de la capacidad de penetración del láser en áreas con cobertura vegetal densa, aspecto especialmente crítico en vegas cultivadas. Este trabajo realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos en la modelización hidráulica a partir de tres productos cartográficos digitales oficiales españoles comparando sus resultados respecto de la cartografía oficial de peligrosidad del SNCZI (Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables) y evalúa su influencia en la elaboración de cartografía de riesgo bajo la Directiva Europea 2007/60/EC.

**Palabras clave:** LiDAR, MDE, Inundaciones, ARPSI

## ***Challenge of Cartography in Cultivated Floodplains: Impact of Errors in Official DEMs on Flood Risk Map Production***

**Abstract:** *Shallow-water hydraulic modelling involves the solution of differential equations through which, for a specified flood discharge, water depth and flow velocities over the terrain are determined. Digital Elevation Models (DEMs) provide the discrete representation of the surface on which gradients, flow directions, and water depths are computed; their accuracy directly controls the reliability of simulated water depths and velocities and, consequently, the validity of Flood Risk Maps. The accuracy of DEMs derived from LiDAR data is strongly conditioned by point-cloud classification errors, which depend on the laser's penetration capability in areas with dense vegetation cover, an aspect that is particularly critical in cultivated floodplains. This study performs a comparative analysis of hydraulic modelling results obtained using three official Spanish digital cartographic products, comparing their outputs against the official flood hazard maps of the SNCZI (National System for Floodplain Cartography). Furthermore, the influence of these DEM products on flood risk mapping developed under the European Floods Directive 2007/60/EC is evaluated.*

**Keywords:** *LiDAR, DEM, Flood, ARPSI*

## **1. INTRODUCCIÓN**

La representación topográfica del terreno es un componente fundamental en la modelización hidráulica de sistemas fluviales, y de su exactitud dependen directamente los resultados obtenidos en un estudio hidráulico. La modelización hidráulica de un cauce conlleva la resolución de las ecuaciones diferenciales de Saint-Venant, a partir de las cuales se obtienen los valores de calado y velocidad del flujo de agua sobre el terreno. Estas ecuaciones son extremadamente sensibles a la topografía del cauce y llanura de inundación (Ali, Solomatine, & Di Baldassarre, 2015).

Los avances en las tecnologías de adquisición de datos han incrementado notablemente la disponibilidad de Modelos Digitales de Elevación (MDE), y en España destacan los productos oficiales del Instituto Geográfico Nacional (IGN), como los MDT05 y MDT02 derivados de coberturas LiDAR del proyecto PNOA (Proyecto PNOA-LiDAR, 2026), ampliamente utilizados en modelización hidráulica. Su uso generalizado responde tanto a la confianza en la calidad asociada a su origen institucional como a limitaciones técnicas y computacionales que hacen más operativo el empleo de productos cartográficos procesados frente al uso directo de nubes de puntos LiDAR.

La exactitud con la que un MDE, obtenido a partir de datos LiDAR representa el terreno, depende de la densidad de pulsos, la penetración láser y los algoritmos de filtrado. Uno de los problemas que afectan a los estudios hidráulicos es la existencia de sesgo positivo en las cotas en parcelas con alta densidad de vegetación en las que la cota superior del dosel se clasifica erróneamente como terreno desnudo (Wallace *et al.*, 2016). Este factor resulta de vital importancia en la elaboración de mapas de riesgo de inundación en llanuras fluviales cultivadas donde la vegetación densa compromete la exactitud de los MDE y su aplicación directa puede comprometer la veracidad de los resultados en la implementación de la Directiva 2007/60/CE para la delimitación de Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI).

El objetivo de este trabajo es analizar comparativamente tres MDE obtenidos a partir de productos cartográficos oficiales españoles evaluando su impacto en la elaboración de los mapas de riesgo conforme a la Directiva 2007/60/CE.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

El tramo estudiado corresponde al río Ruecas a su paso por Madrigalejo (Cáceres), catalogado como área de riesgo potencial significativo de inundación (ARPSI ES040\_EXT\_006), con posibles impactos humanos, ambientales y económicos. Sus vegas se destinan a cultivos herbáceos, predominando el maíz entre los usos agrarios de las zonas regables del Guadiana.

### 2.2. Modelo Digitales de Elevaciones

#### 2.2.1. Modelo digital de elevaciones oficiales del IGN (ING\_MDT02 y ING\_MDT05)

Se ha trabajado con dos MDE disponibles en el catálogo de productos del centro de descargas del IGN (Instituto Geográfico Nacional [IGN], 2026): MDT05 y MDT02. Según la descripción facilitada en la web del Proyecto (Proyecto PNOA-LiDAR, 2026) la generación de estos modelos, se realizó a partir de la clase terreno (clase 2) de la nube de puntos LiDAR en cada caso:

- MDT05: es el un modelo digital del terreno con una resolución espacial de 5 metros obtenido a partir de la 1ª Cobertura (2010), que tiene una densidad de 0.5 puntos por m<sup>2</sup>.
- MDT02: es el modelo digital del terreno con una resolución espacial de 2 metros obtenido a partir de la 2ª Cobertura (2018) que tiene una densidad de 2 puntos por m<sup>2</sup>.

#### 2.2.2. Modelo digital de elevaciones procesado *ad-hoc* a partir de datos LiDAR 3ª cobertura (MDE\_LiDAR)

Se ha elaborado un MDE *ad-hoc* a partir de la nube de puntos LiDAR de la 3ª cobertura (2023), nivel de procesamiento NPC02, que cuenta con una densidad de 5 puntos/m<sup>2</sup>. Para cubrir la zona de estudio se han procesado un total 24 archivos LAZ, con ayuda del software ArcGISPRO se ha generado el MDE a partir de la clase del terreno a una resolución espacial de 2 m, coincidiendo con la mejor de las resoluciones ofertadas

por el IGN. Para su obtención se ha aplicado una interpolación mediante *binning*, asignando el valor medio de las cotas en cada celda.

### 2.3. Modelo Hidráulico

La modelización hidráulica se ha realizado utilizando el software IBER v3.3.1 (Bladé *et al.*, 2014) y se ha implementado un modelo bidimensional en el tramo ARPSI del río Ruecas, generando tres escenarios que difieren únicamente en la cota asignada a la malla según la cartografía empleada.

#### 2.3.1. Caudal

Se ha estudiado la zona de inundación de la avenida de 100 años de período de retorno tomando caudal de referencia de 206 m<sup>3</sup>/s, coincidiendo con la información disponible en la cartografía oficial disponible.

#### 2.3.2. Estimación de las pérdidas de carga por fricción (Manning)

La asignación del número de Manning se ha realizado conforme a las recomendaciones del Anexo 5 de la Guía de Elaboración de Cartografía de Zonas Inundables (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2026b) tomando como referencia los usos del suelo de la base de datos SIOSE AR obtenida del centro de descargas del IGN.

#### 2.3.3. Parámetros de la modelización en IBER

Se ha definido una malla no estructurada con discretización variable para representar con mayor precisión los gradientes de velocidad y las variaciones locales del flujo en zonas inundadas. Se ha adoptado un tamaño de 2 m en el cauce, 5 m en las riberas y entre 10–20 m en áreas periféricas.

### 2.4. Evaluación de las llanuras de inundación

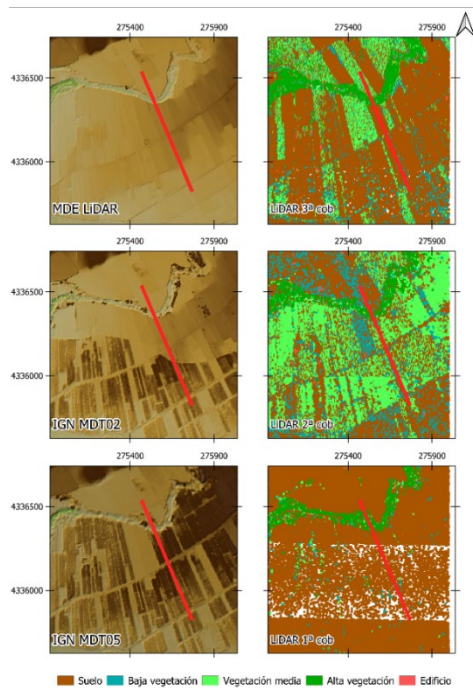
La evaluación de las llanuras de inundación se realizó mediante una matriz de confusión que cuantifica las coincidencias y discrepancias las distintas cartografías, evaluándose específicamente el *F1-score*, una métrica que ofrece una visión integrada de la capacidad de detección de zonas inundables y de los errores de omisión y comisión asociados al análisis espacial.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Valoración de los MDE

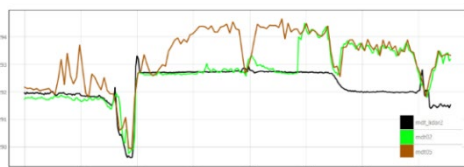
En la Figura 1 se representa una zona representativa de cada MDE y la nube de puntos desde la que se han generado. Se observa claramente como el modelo IGN MDT05 (1ª cobertura LiDAR), presenta importantes errores de clasificación en parcelas con cultivos vigorosos, en las que la cota superior del cultivo se clasifica como terreno, sin que el láser llegue a penetrar hasta la superficie real del suelo, confirmando que el MDE presenta un sesgo positivo de la altitud en las áreas cultivadas (Wallace *et al.* 2016). En caso del MDE IGN MDT02 (2ª cobertura LiDAR), se observa un patrón similar en ciertas parcelas con vegetación vigorosa, sin embargo, las deficiencias del MDE no parecen deberse exclusivamente a errores en la clasificación de los puntos, si no, también a errores en el filtrado de puntos a la hora de generar el MDE, ya que se observa la superficie del terreno en zonas clasificadas como

vegetación, correspondiéndose a un modelo de superficie y no de terreno. En este sentido aclarar que desconocemos, si posibles errores en la clasificación de la nube de puntos, se hayan podido subsanar en el archivo LAZ con posterioridad a la fecha de elaboración del MDE. Por último, la 3ª cobertura, sí que tiene una correcta clasificación de la nube de puntos y esto se traduce en un MDE\_LiDAR mucho más exacto en la representación del terreno en las zonas cultivadas.



**Figura 1.** Detalle de las nubes de puntos LiDAR y los MDE elaborados a partir de ellas. MDE-LiDAR (elaborado ad-hoc), IGN MDT02 (producto oficial del IGN derivado de la 2ª cobertura), y IGN MDT05 (producto oficial del IGN derivado de la 1ª cobertura). La línea roja representa la sección transversal que se visualiza en el Figura 2.

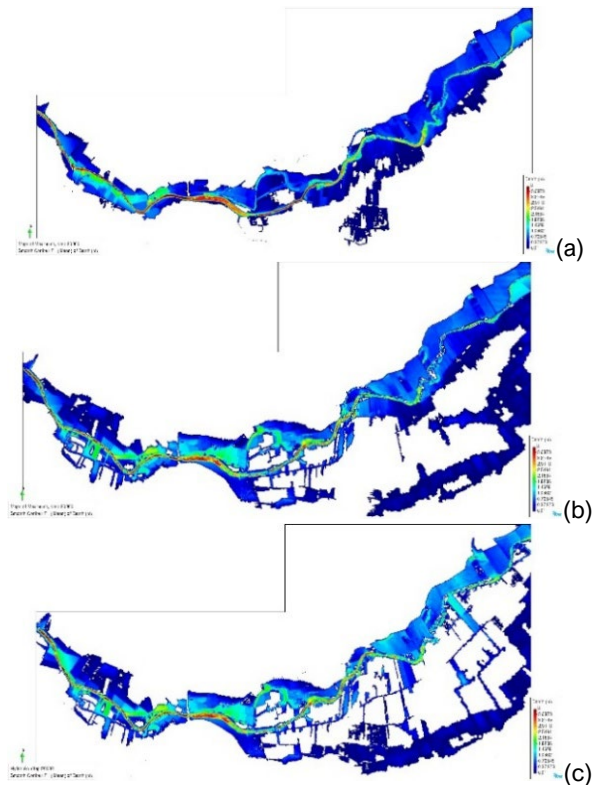
En cualquier caso, estas deficiencias en la generación de los modelos suponen cambios de cota notables en la topografía de la llanura de inundación, dependiendo además de la estacionalidad de los cultivos y fecha de vuelo LiDAR, observándose desfases del orden 1.5 m en las cotas (Fig. 2).



**Figura 2.** Perfil transversal comparativo de los MDE derivados de datos LiDAR: en negro MDE-LiDAR (ad-hoc de la 3ª cobertura), en verde el MDE IGN MDT02 (2ª cobertura), y en marrón el MDE IGN MDT05 (1ª cobertura)

### 3.2. Resultados de la modelización hidráulica y evaluación de las llanuras de inundación

Los resultados obtenidos en los modelos hidráulicos bidimensionales confirman que las extensiones de la llanura de inundación varían de forma significativa en función del MDE empleado (Fig. 3), poniendo de manifiesto la sensibilidad de las simulaciones a las variaciones de la topografía de la zona inundable.



**Figura 3.** Resultados del calado (m) y extensión de la inundación (a) MDE LiDAR, (b) MDE IGN MDT02 (c) MDE IGN MDT05

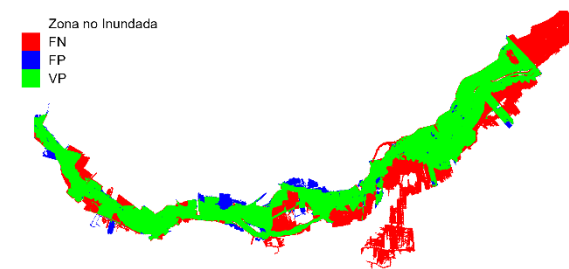
El análisis comparativo de los MDE confirma que el modelo *ad-hoc* generado a partir de la 3ª cobertura LiDAR ofrece la representación topográfica más exacta del área de estudio y por tanto, resulta ser el más fiable para analizar la inundación más probable en caso de avenida (Bodoque *et al.*, 2023). Tomando esta referencia, la Figura 4 muestra los resultados de la matriz de confusión.

En el primer caso, llanura obtenida del LiDAR frente la llanura oficial ARPSI se alcanza un F1-score de 0.74, evidenciando una detección muy completa de las áreas inundables si bien, en ciertos tramos, se subestima la extensión real de la llanura, implicando una posible infravaloración de los daños potenciales en términos socioeconómicos y ambientales (Bodoque *et al.*, 2023b; Dottori *et al.*, 2022).

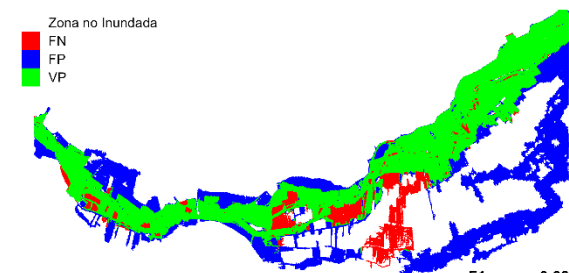
Por el contrario, la cartografía oficial del IGN tiende a generar extensiones de inundación mayores y muestran un rendimiento notablemente inferior, obteniéndose unos valores del F1-score de 0.66 y 0.62 para las llanuras derivadas del MDT02 (Fig. 4b) y del MDT05 (Fig. 4c) respectivamente. Estos valores evidencian un incremento de errores de comisión asociados a errores topográficos, especialmente debidos a la elevación artificial de cotas en parcelas cultivadas, lo que provoca

una redistribución irreal del flujo y amplifica el área inundada (Saksena & Merwade, 2015; Muthusamy *et al.*, 2021; Bodoque *et al.*, 2023). Estas diferencias resaltan la importancia de utilizar MDE realistas para realizar los mapas de riesgo conforme a la Directiva de Inundaciones (2007/60/CE). Es importante subrayar que este trabajo no evalúa la influencia de la resolución del MDE en la modelización hidráulica, ya documentada (Muthusamy *et al.*, 2021), sino el uso de cartografía oficial en la delimitación de zonas inundables; aunque la precisión del MDE *ad hoc* podría mejorarse con la alta densidad LiDAR, este aspecto queda fuera del alcance del estudio.

Inundación MDE LiDAR vs ARPSI



Inundación MDE LiDAR vs MDE IGN MDT02



Inundación MDE LiDAR vs MDE IGN MDT05

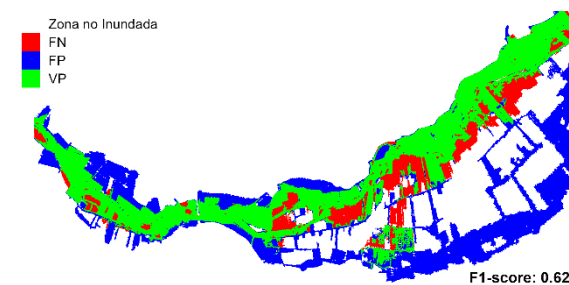


Figura 4. Mapas de las matrices de confusión.

#### 4. CONCLUSIONES

Los MDE analizados muestran diferencias significativas en la representación topográfica del cauce y las vegas de cultivo. Los MDE derivados de las primeras coberturas LiDAR oficiales del IGN (MDT05 y MDT02) presentan errores sistemáticos en áreas con vegetación densa que distorsionan la llanura de inundación. Sin embargo, el MDE-LiDAR elaborado *ad hoc* a partir de la tercera cobertura logra proporcionar una topografía más fiable del área de estudio. Estas variaciones topográficas se trasladan directamente a los modelos hidráulicos bidimensionales, donde las extensiones de inundación difieren notablemente según el MDE empleado, debido a

su influencia en la resolución de las ecuaciones de Saint-Venant, afectando a la propagación del flujo, las profundidades y el alcance de la llanura inundable.

En comparación con la llanura ARPSI oficial, el MDE LiDAR de referencia revela subestimaciones de la cartografía oficial en tramos críticos, mientras que los productos IGN generan sobreestimaciones por redistribución artificial del flujo hacia parcelas accesibles por gravedad. Ello subraya la necesidad de MDE realistas y validados localmente para cumplir la Directiva 2007/60/CE, evitando tanto infravaloraciones, que comprometen la prevención como sobreestimaciones que incrementan costes innecesarios de mitigación.

#### 5. REFERENCIAS

- Ali, A. M., Solomatine, D. P., & Di Baldassarre, G. (2015). Assessing the impact of different sources of topographic data on 1-D hydraulic modelling of floods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(2), 631–643. <https://doi.org/10.5194/hess-19-631-2015>
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, M. E., Dolz, J., & Coll, A. (2014). IBER: River modelling simulation tool (Versión 3.3.1) [Software]. Universitat Politècnica de Catalunya. <https://www.iberaula.es>
- Bodoque, J. M., Aroca-Jiménez, E., Eguibar, M. Á., & García, J. A. (2023). Developing reliable urban flood hazard mapping from LiDAR data. *Journal of Hydrology*, 617. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128975>
- Dottori, F., Szewczyk, W., & other. (2022). A new dataset of river flood hazard maps for Europe and the globe. *Earth System Science Data*, 14(4), 1549–1569. <https://doi.org/10.5194/essd-14-1549-2022>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2026b). Guía de elaboración de cartografía de zonas inundables: Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI). Gobierno de España. <https://www.miteco.gob.es>
- Proyecto PNOA-LiDAR. (s.f.). PNOA-LiDAR: Plan Nacional de Ortofotografía Aérea – LiDAR. Instituto Geográfico Nacional. <https://pnoa.ign.es/pnoa-lidar> (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea)
- Muthusamy, M., Casado, M. R., Butler, D., & Leinster, P. (2021). Understanding the effects of Digital Elevation Model resolution in urban fluvial flood modelling. *Journal of Hydrology*, 596. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126088>
- Saksena, S., & Merwade, V. (2015). Incorporating the effect of DEM resolution and accuracy for improved flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, 530, 180–194. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.069>
- Wallace, L. O., Lucieer, A., Malenovsky, Z., Turner, D., & Vopěnka, P. (2016). Assessment of UAV-LiDAR accuracy in vegetated terrain. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.008>