

Escobar Villanueva, J.; Pérez Montiel, J.; Nardini, A. Reconstrucción del cauce usando altimetría fotogramétrica SfM: El "Método del Dominio Fluvial"

Reconstrucción del cauce usando altimetría fotogramétrica SfM: El "Método del Dominio Fluvial"

Escobar Villanueva, Jairo ¹ Pérez Montiel, Jhonny ¹ Nardini, Andrea ²

¹ Universidad de La Guajira, Colombia

² Fundación CREACUA—Centro Recuperación Ecosistemas ACUÁTICOS, Colombia

ORCID: Escobar Villanueva [0000-0002-2558-3500](https://orcid.org/0000-0002-2558-3500) Pérez Montiel [0000-0003-0826-5452](https://orcid.org/0000-0003-0826-5452) Nardini [0000-0002-8486-7597](https://orcid.org/0000-0002-8486-7597)

Correspondencia: jrescobar@uniguajira.edu.co jpemon@uniguajira.edu.co nardini@gmail.com

RESUMEN

En planicies aluviales, un buen modelo digital de elevación (MDE) es decisivo para simular inundaciones. El problema es que la fotogrametría (con UAV/SfM) suele "perder" el fondo del cauce cuando hay agua, dejando un canal poco realista y afectando la conectividad del flujo. Presentamos una versión resumida del Método de Dominio Fluvial, que aprovecha la altimetría obtenida por fotogrametría (llano y bordes del canal en estiaje) y la complementa con pocos datos de campo para reconstruir una geometría de cauce idealizada e integrada al MDE del llano. El caso de estudio es el delta del río Ranchería (Riohacha, Caribe colombiano) en un tramo de ~26 km. Se combinaron productos SfM-MVS de (2017; GSD ~20 cm) con GNSS-RTK (2022–2023), secciones transversales (2015) y puntos del fondo (2023). Se reconstruye el perfil longitudinal aplicando principios de consistencia hidráulica (pendiente monótonica) e integra en el MDT de la llanura de inundación. La validación mostró una discrepancia del 11.7% en el perfil longitudinal del cauce respecto a secciones transversales medidas y un RMSE de 0.38 m en la llanura de inundación frente a datos GNSS-RTK. El método ofrece una solución accesible y costo-efectiva para la gestión del riesgo de inundaciones en contextos donde tecnologías activas como LiDAR no son viables.

Palabras clave: Fotogrametría aérea; SfM-MVS; cauce fluvial; MDT; modelación hidráulica.

Fecha de recepción: 26 enero 2026 · Fecha de aceptación: 26 enero 2026


Reconstrucción del cauce usando altimetría fotogramétrica SfM: El "Método del Dominio Fluvial"

Escobar Villanueva, Jairo ⁽¹⁾, Pérez Montiel, Jhonny ⁽¹⁾, Nardini, Andrea ⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidad de La Guajira, Colombia.

 0000-0002-2558-3500, jrescobar@uniguajira.edu.co;  0000-0003-0826-5452, jpemon@uniguajira.edu.co.

⁽²⁾ Fundación CREACUA—Centro Recuperación Ecosistemas ACUÁTICOS, Colombia,

 0000-0002-8486-7597, nardini@gmail.com.

Resumen: En planicies aluviales, un buen modelo digital de terreno (MDT) es decisivo para simular inundaciones. El problema es que la fotogrametría (UAV/SfM) suele “perder” el fondo del cauce cuando hay agua, dejando un canal poco realista y afectando la conectividad del flujo. Presentamos una versión resumida del Método de Dominio Fluvial, que aprovecha la altimetría obtenida por fotogrametría (llano y bordes del canal en estiaje) y la complementa con pocos datos de campo para reconstruir una geometría de cauce idealizada e integrada al MDT del llano. El caso de estudio es el delta del río Ranchería (Riohacha, Caribe colombiano) en un tramo de ~26 km. Se combinaron productos SfM-MVS de (Ultra CAM 2017; GSD ~20 cm; ~1400 imágenes; ~279 km²) con GNSS-RTK (2022–2023), secciones transversales (2015) y puntos del fondo (2023). Se reconstruye el perfil longitudinal aplicando principios de consistencia hidráulica (pendiente monótonica) e integra en el MDT de la llanura de inundación. La validación mostró una discrepancia del 11.7% en el perfil longitudinal del cauce respecto a secciones transversales medidas y un RMSE de 0.38 m en la llanura de inundación frente a datos GNSS-RTK. El método ofrece una solución accesible y costo-efectiva para la gestión del riesgo de inundaciones en contextos donde tecnologías activas como LiDAR no son viables.

Palabras clave: Fotogrametría aérea; SfM-MVS; cauce fluvial; MDT.

Channel reconstruction using SfM photogrammetric altimetry: The “Fluvial Domain Method”.

Abstract: In alluvial plains, an accurate Digital Elevation Model (DEM) is critical for flood modeling. A major challenge is that photogrammetry (UAV/SfM) typically fails to capture submerged riverbeds, yielding unrealistic channel representations that compromise flow connectivity. We present a summarized version of the Fluvial Domain Method, which leverages photogrammetric altimetry (floodplain and channel banks during low-flow conditions) supplemented by sparse field data to reconstruct an idealized channel geometry integrated into the floodplain DEM. The case study focuses on a ~26 km reach of the Ranchería River delta (Riohacha, Colombian Caribbean). SfM-MVS products (UltraCam 2017; GSD ~20 cm; ~1400 images; ~279 km²) were combined with GNSS-RTK data (2022–2023), cross-sections (2015), and riverbed points (2023). The longitudinal profile was reconstructed by applying principles of hydraulic consistency (monotonic slope) and integrated into the floodplain DEM. Validation revealed an 11.7% discrepancy in the channel longitudinal profile relative to measured cross-sections and an RMSE of 0.38 m in the floodplain compared to GNSS-RTK data. The method offers an accessible and cost-effective solution for flood risk management in contexts where active technologies, such as LiDAR, are not feasible.

Keywords: airborne photogrammetry; SfM-MVS; river channel; DEM; flood

1. INTRODUCCIÓN

El modelado del terreno es fundamental para la gestión de recursos hídricos y la evaluación de riesgos de inundación (Toschi & Remondino, 2018; Schumann & Bates, 2020). Si bien tecnologías como LiDAR aerotransportado ofrecen alta precisión, sus costos y logística limitan su implementación en regiones con recursos escasos, donde tradicionalmente prevalecen levantamientos de campo o fotogrametría convencional

(Forlani *et al.*, 2015; Brasington *et al.*, 2012). La fotogrametría *Structure from Motion* (SfM-MVS) ha facilitado la adquisición de topografía de alta resolución a bajo costo (Eltner *et al.*, 2019). No obstante, la reconstrucción de cauces enfrenta limitaciones críticas: la vegetación, sombras y turbidez del agua degradan la detección del lecho, introduciendo ruido significativo (Watanabe & Kawahara, 2016; Dietrich, 2017). La conversión directa de estas nubes de puntos a ráster suele generar artefactos que distorsionan la

conectividad hidrológica entre el canal y la llanura de inundación (Merwade *et al.*, 2008; Arrighi & Campo, 2019).

En ausencia de batimetría densa, es necesario maximizar la altimetría fotogramétrica confiable en zonas expuestas y combinarla con información de campo distribuida para corregir la incertidumbre subacuática (Dietrich, 2017; James *et al.*, 2019). Este estudio presenta el "Método del Dominio Fluvial", diseñado para integrar cauces en MDT de áreas planas evitando distorsiones por interpolación directa (Escobar Villanueva *et al.*, 2025). El método reconstruye una geometría idealizada y coherente a partir de perfiles longitudinales y secciones tipo, priorizando la representatividad hidráulica por encima del detalle fino no observable en imágenes RGB (Saksena & Merwade, 2015).

En este manuscrito se presenta una versión divulgativa del método presentado por Escobar *et al.* (2025) en la revista *Hydrology*, enfatizando en la práctica de procesamiento y mostrando su efecto en métricas de exactitud y en la coherencia geométrica del canal.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

Se centró en la cuenca baja del río Ranchería, Península de La Guajira, Colombia (11°32'39"N 72°54'25"O). El tramo abarca 26 km de un río con patrón meándrico y pendiente suave (< 0.1%), rodeado de bosque seco tropical y manglares que dificultan la observación directa del terreno. En el tramo final se encuentra el delta, su llanura de inundación exhibe una dinámica activa con bancos de arena, paleocauces y lagunas costeras, rodeadas de densa vegetación ribereña y manglares en la zona distal.

2.2. Datos empleados

- Imágenes aéreas disponibles: Adquiridas en la temporada seca de 2017 con sensores UltraCam (GSD de 20 cm). Vuelo gubernamental del Fondo de Adaptación (2017).
- Validación en cauce: 8 secciones transversales topográficas disponibles. Validación en llanura: 593 puntos de control (checkpoints) obtenidos mediante GNSS-RTK en 2022.
- Levantamientos batimétricos complementarios: fue necesario adquirir información del fondo del cauce vía GNSS en el último tramo del río y brazos para verificación del método y/o posibles ajustes puntuales.

2.3. Procesamiento Fotogramétrico SfM-MVS y productos derivados

El flujo de trabajo SfM-MVS se realizó con Agisoft Metashape. Tras la alineación y optimización de la nube de puntos dispersa (error de proyección de 0.47 píxeles), se generó una nube densa. Se aplicó una clasificación de suelo muy estricta para eliminar la vegetación densa, utilizando algoritmos de curvatura del terreno y edición manual en zonas críticas como terraplenes. Esto generó

un MDT (modelo a nivel de terreno) preliminar que sirvió como insumo base.

2.4. El Método del Dominio Fluvial

La metodología se basa en la premisa de que el uso directo de la nube de puntos en el cauce es insatisfactorio, luego se proponen cuatro etapas (Fig 1):

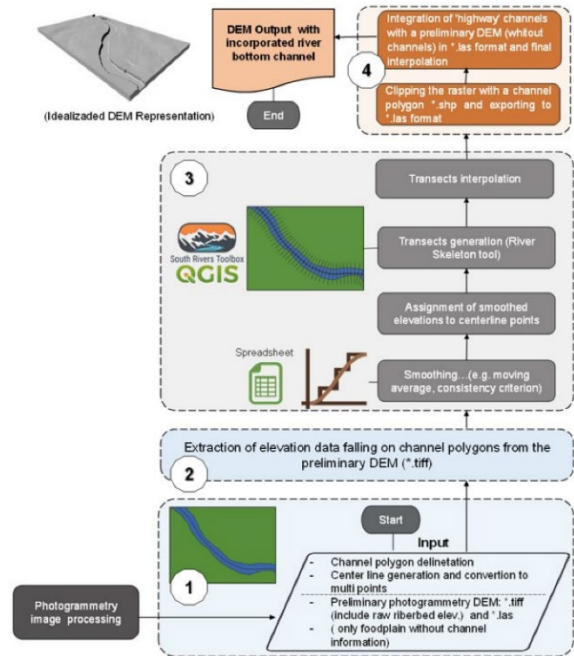


Figura 1. Flujo de trabajo general del método propuesto.

1 Preprocesamiento y enmascaramiento: Se identifican y excluyen los puntos que caen dentro del polígono del canal fluvial para evitar la distorsión ("hundimiento") de la llanura de inundación adyacente debido a puntos anómalos bajos en el río. Se genera un MDT exclusivo de la llanura. **2 Extracción del perfil longitudinal:** Se extrae la línea central del cauce y las elevaciones correspondientes del MDT preliminar. **3 Corrección batimétrica:** Dado que el perfil crudo presenta "baches" irreales, se aplica un suavizado mediante media móvil ponderada e imposición de pendiente hidráulica descendente (el agua no sube). La corrección sigue la lógica de que el fondo no puede ascender significativamente salvo por geomorfológicos evidentes (proximidad a línea o barra costera). Se generan transectos perpendiculares a la línea central corregida. Y se interpolan estos transectos para crear una superficie raster continua y suave del fondo del canal (similar a una "autopista"). **4 Integración:** Finalmente, el MDT de la llanura de inundación y la superficie suavizada del canal se fusionan obteniendo el MDT final,

3. RESULTADOS

Precisión del MDT en llanura de inundación: La comparación entre el Modelo Digital de Superficie (MDS) y el MDT final procesado mostró mejoras significativas tras la clasificación de puntos (Tabla 1).

Tabla 1. Mejora de exactitud vertical (m) entre el MDS inicial y el MDT final integrado.

Producto	ME / MAE / RMSE (m)
MDS inicial	0.12 / 0.62 / 0.991
MDT final	-0.05 / 0.28 / 0.387

Mientras que el MDS presentaba un Error Medio de 0.12 m y un RMSE de 0.99 m (debido a la vegetación), el MDT final redujo el sesgo a -0.05 m y el RMSE a 0.38 m. Esto representa una mejora del 60.94% en la precisión vertical, cumpliendo con los estándares para aplicaciones de resolución moderada (clase de precisión vertical de 1 m). Lo anterior sugiere que el refinamiento del llano y la integración controlada del cauce eliminan parte importante de los errores sistemáticos y de los artefactos asociados al paso nube-a-ráster (Fig 2).

Representación del Cauce Fluvial: Para el cauce, la discrepancia porcentual media del perfil longitudinal fue ~11.7%. El coeficiente de determinación (R^2) entre las profundidades observadas y estimadas fue de 0.86, con un Error Medio Absoluto (MAE) de 0.459 m. Estos valores son afines con un enfoque de generalización que prioriza la preservación del gradiente hidráulico global y la eliminación de escalones artificiales, resultando en una geometría idealizada pero coherente frente a la inestabilidad de una interpolación directa sobre superficies de agua.

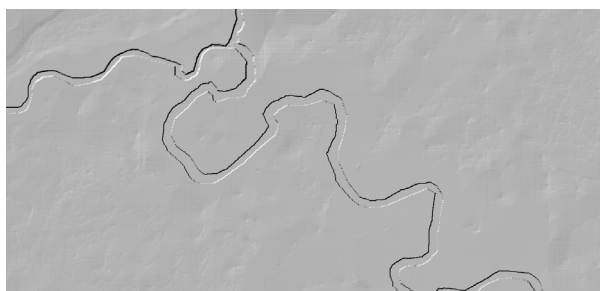
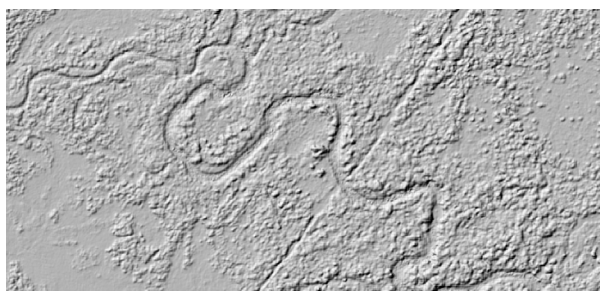


Figura 2. MDS (arriba) y MDT (Abajo) en visualización Hillshade de un sector representativo del Rancharía.

La aplicación del método eliminó las discontinuidades abruptas presentes en el perfil longitudinal original derivado de la fotogrametría (Fig 3). En la zona distal (cerca de la desembocadura), donde la vegetación de manglar y el agua son predominantes, se realizaron ajustes adicionales utilizando datos GNSS-RTK puntuales en el cauce para corregir la sobreestimación de la elevación del fondo batimétrico.

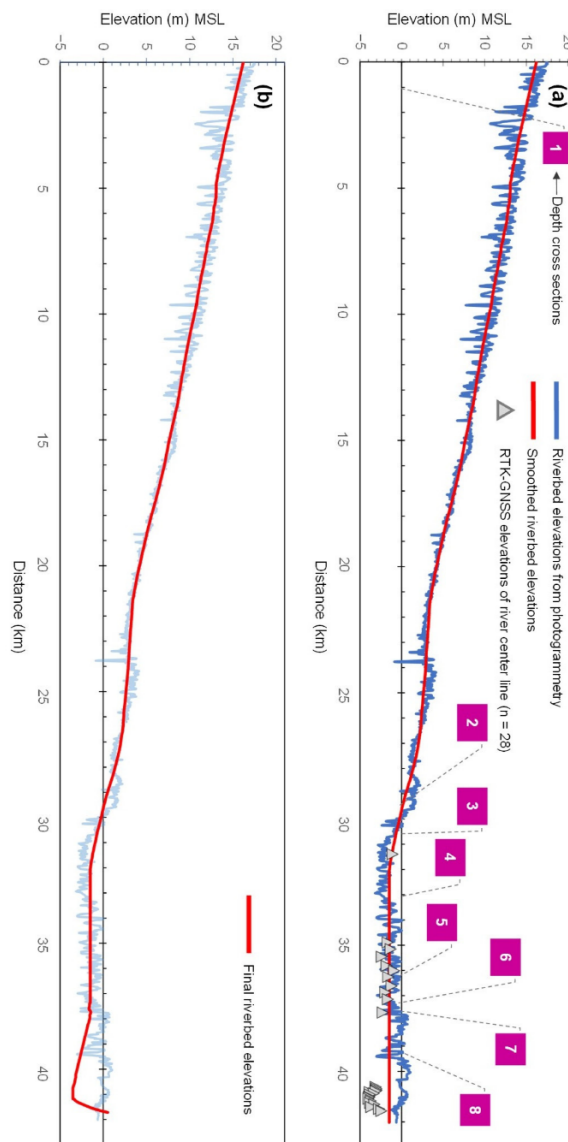


Figura 3. Perfiles longitudinales del río caso de estudio: (a) sin ajuste. (b) perfil suavizado aplicando el método propuesto.

4. DISCUSIÓN

Los resultados demuestran que el Método del Dominio Fluvial permite generar un MDT geoméricamente coherente en entornos complejos y con escasez de datos (Escobar Villanueva *et al.*, 2025; Saksena & Merwade, 2015). A diferencia de soluciones basadas en LiDAR —de alta calidad pero con mayores costos operativos— o del uso exclusivo de MDT globales de resolución más gruesa, este enfoque aprovecha imágenes aéreas existentes o de bajo costo (UAV) para producir insumos topográficos útiles en modelación de inundaciones (Legleiter, 2012; Monteiro *et al.*, 2018).

Es importante notar que el método simplifica la morfología del canal; asume una forma “idealizada” y suavizada, omitiendo detalles geomorfológicos finos como barras de arena o dunas de fondo, a menos que sean muy evidentes en imágenes de época seca. Sin embargo, para evaluación de riesgos de inundación —donde la consistencia topográfica y la conectividad

hidráulica suelen ser más determinantes que la micro-topografía del lecho— esta simplificación resulta aceptable y funcional (Merwade *et al.*, 2008; Saksena & Merwade, 2015).

Las limitaciones principales radican en la dependencia de la calidad de la clasificación/filtrado de la nube de puntos y en la necesidad de cierta intervención manual para definir los polígonos del canal, tareas comunes en flujos SfM-MVS/UAV cuando existen agua, sombras o cobertura vegetal (Zeybek & Şanlıoğlu, 2019; Watanabe & Kawahara, 2016; Casado *et al.*, 2015). Además, en zonas con agua profunda permanente o vegetación de galería muy densa que ocluye totalmente el terreno, se requiere información complementaria (p. ej., sondeos puntuales u otras aproximaciones de batimetría) para refinar el modelo y reducir la incertidumbre bajo la lámina de agua (Legleiter, 2012; Legleiter, 2021).

5. CONCLUSIONES

Este estudio valida el "Método del Dominio Fluvial" como una alternativa robusta para la generación de MDT en contextos de datos escasos. Para la comunidad de teledetección, el aporte central es metodológico: explicitar la incertidumbre bajo el agua y reemplazarla por una geometría idealizada controlada, evitando artefactos que degradan conectividad. Al separar el tratamiento del cauce y la llanura, se evitan los errores comunes de la fotogrametría directa en cuerpos de agua.

En la llanura de inundación, la clasificación rigurosa de puntos permite precisiones comparables a levantamientos convencionales (RMSE ~0.38 m). En el cauce, la imposición de restricciones hidráulicas y el suavizado del perfil longitudinal eliminan artefactos, logrando un error relativo del 11.7% en la estimación de profundidades. El producto final es un MDT híbrido potencialmente adecuado para simulaciones hidráulicas, aportando a la gestión de riesgo de inundación en países en desarrollo. Trabajos futuros deberían enfocarse en la automatización de la delineación del cauce y la integración de algoritmos de aprendizaje automático para mejorar la clasificación de puntos en zonas de vegetación densa.

6. AGRADECIMIENTOS

A Minciencias (Proyecto 82207, Conv. 890) e ICETEX de Colombia. Se reconoce el apoyo de la Universidad de La Guajira (Vicerrectoría y Dirección de Investigación), Fundación CREACUA y el Fondo de Adaptación (imágenes para fotogrametría DEM).

7. REFERENCIAS

Arrighi, C., & Campo, L. (2019). Effects of Digital Terrain Model Uncertainties on High-Resolution Urban Flood Damage Assessment. *J. Flood Risk Manag.*, 12, e12530.

Brasington, J., Vericat, D., & Rychkov, I. (2012). Modeling River Bed Morphology, Roughness, and Surface Sedimentology Using High Resolution Terrestrial Laser Scanning. *Water Resour. Res.*, 48, 1–18.

Casado, M.R., Gonzalez, R.B., Kriechbaumer, T., & Veal, A. (2015). Automated Identification of River Hydromorphological Features Using UAV High Resolution Aerial Imagery. *Sensors*, 15, 27969–27989.

Dietrich, J.T. (2017). Bathymetric Structure-from-Motion: Extracting Shallow Stream Bathymetry from Multi-View Stereo Photogrammetry. *Earth Surf. Process. Landf.*, 42, 355–364.

Eltner, A., Kaiser, A., Castillo, C., Rock, G., Neugirg, F., & Abellán, A. (2016). Image-Based Surface Reconstruction in Geomorphometry- Merits, Limits and Developments. *Earth Surf. Dyn.*, 4, 359–389.

Escobar Villanueva, J. R., Pérez-Montiel, J. I., & Nardini, A. G. C. (2025). DEM Generation Incorporating River Channels in Data-Scarce Contexts: The "Fluvial Domain Method". *Hydrology*, 12(2), 33.

Forlani, G., Roncella, R., & Diotri, F. (2015). Production of High-Resolution Digital Terrain Models in Mountain Regions to Support Risk Assessment. *Geomat. Nat. Hazards Risk*, 6, 379–397.

James, M. R., Chandler, J. H., Eltner, A., Fraser, C., Miller, P. E., Mills, J. P., Noble, T., Robson, S., & Lane, S. N. (2019). Guidelines on the Use of Structure-from-Motion Photogrammetry in Geomorphic Research. *Earth Surf. Process. Landf.*, 44, 2081–2084.

Legleiter, C.J. (2012). Remote Measurement of River Morphology via Fusion of LIDAR Topography and Spectrally Based Bathymetry. *Earth Surf. Process. Landf.*, 37, 499–518.

Legleiter, C.J. (2021). The Optical River Bathymetry Toolkit. *River Res. Appl.*, 37, 555–568.

Merwade, V., Cook, A., & Coonrod, J. (2008). GIS Techniques for Creating River Terrain Models for Hydrodynamic Modeling and Flood Inundation Mapping. *Environ. Model. Softw.*, 23, 1300–1311.

Monteiro, E.S.V., Fonte, C.C., & de Lima, J.L.M.P. (2018). Analysing the Potential of OpenStreetMap Data to Improve the Accuracy of SRTM 30 DEM on Derived Basin Delineation, Slope, and Drainage Networks. *Hydrology*, 5, 34.

Saksena, S., & Merwade, V. (2015). Incorporating the Effect of DEM Resolution and Accuracy for Improved Flood Inundation Mapping. *J. Hydrol.*, 530, 180–194.

Schumann, G.J.P., & Bates, P.D. (2020). The Need for a High-Accuracy, Open-Access Global Digital Elevation Model. *Front. Earth Sci.*, 8, 225.

Toschi, I., & Remondino, F. (2018). Geomatics Mapping of Natural Hazards: Overview and Experiences. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII, 505–512.

Watanabe, Y., & Kawahara, Y. (2016). UAV Photogrammetry for Monitoring Changes in River Topography and Vegetation. *Procedia Eng.*, 154, 317–325.

Zeybek, M., & Şanlıoğlu, İ. (2019). Point Cloud Filtering on UAV Based Point Cloud. *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, 133, 99–111.