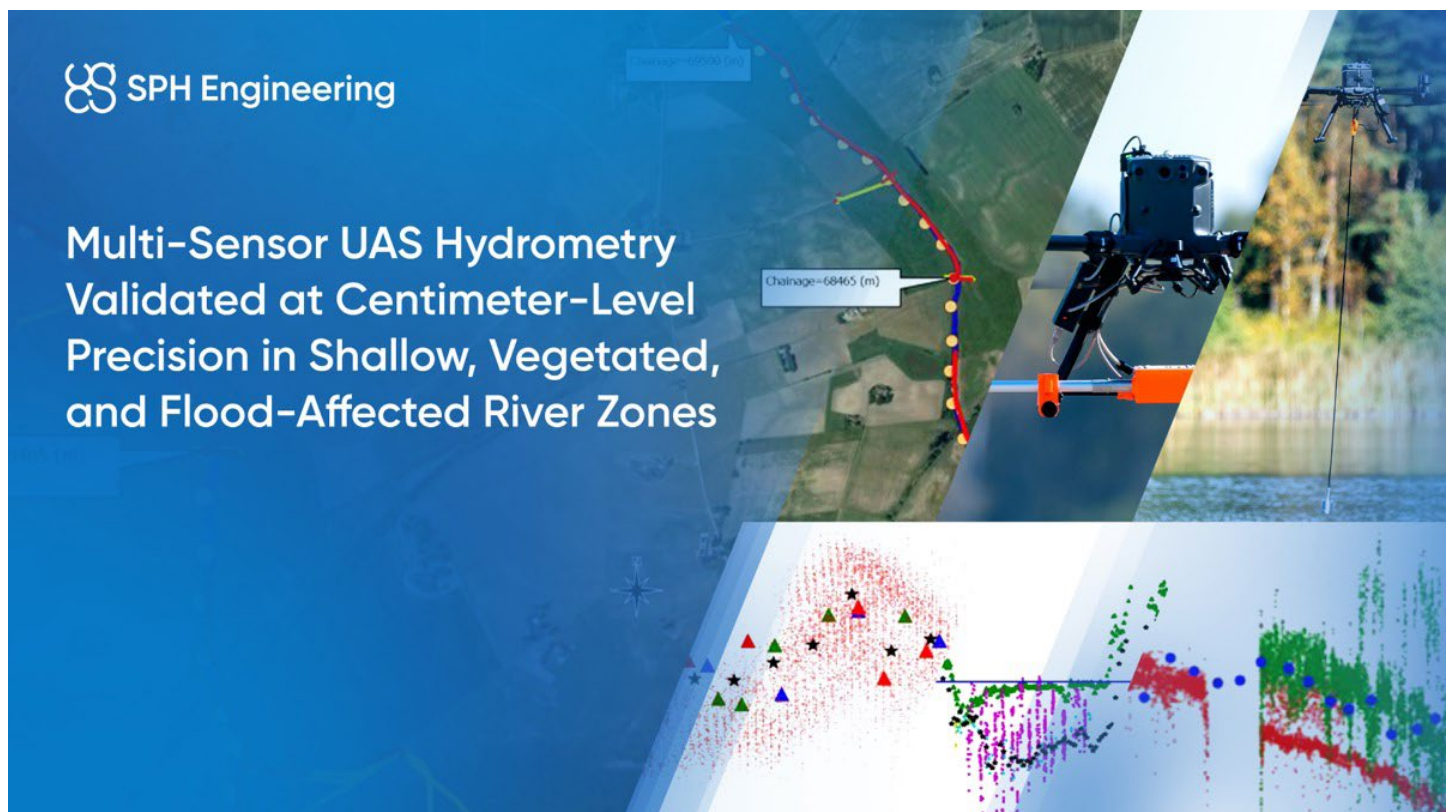


La hidrometría con UAS multisensor validada con precisión centimétrica en zonas fluviales poco profundas, con vegetación y afectadas por inundaciones

16 de junio de 2025

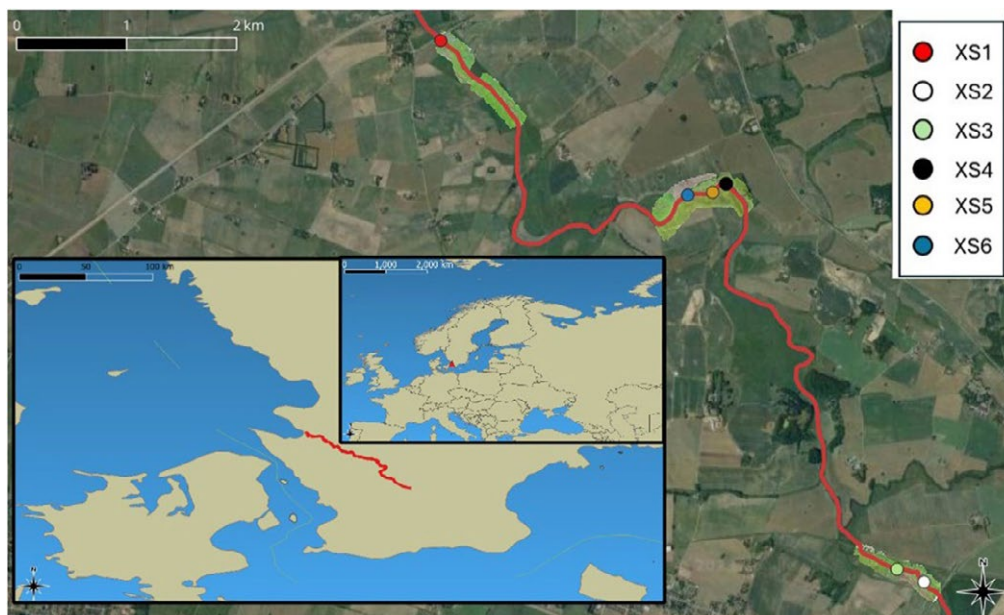


Un sistema transportado por UAV inspeccionó 10 km del río Rönne Å en Suecia, recopilando datos de nivel de agua, profundidad y velocidad de flujo con un conjunto integrado de sensores aéreos. Los resultados se validaron con mediciones terrestres, confirmando un rendimiento preciso y sin contacto.

Antecedentes

El monitoreo fluvial tradicional a menudo depende de equipos terrestres estacionarios o de muestreo manual, los cuales proporcionan una cobertura espacial limitada y son complicados de desplegar en áreas con vegetación o propensas a inundaciones. Como resultado, estos métodos carecen de la resolución y flexibilidad necesarias durante condiciones de flujo dinámico.

Para abordar esto, investigadores del consorcio del [UAWOS project](#), liderado por la Universidad Técnica de Dinamarca, llevaron a cabo un levantamiento con UAS de 10 km del río Rönne Å en Suecia durante el período del 28 de agosto al 1 de septiembre de 2023. El sistema combinó altimetría de radar, ecosondas, radar de penetración terrestre de baja frecuencia (denominado radar de penetración de agua, o WPR por sus siglas en inglés, en la terminología del proyecto UAWOS) y sensores Doppler para medir el nivel del agua, la profundidad y la velocidad superficial. El objetivo era evaluar si los sensores montados en drones podían igualar la precisión de los métodos terrestres en partes del río poco profundas, con vegetación y afectadas por la lluvia.



Ubicación del levantamiento en el Rönne Å (línea roja) con seis secciones transversales medidas marcadas como círculos.

Desafíos

A pesar del potencial tanto de los métodos convencionales de monitoreo fluvial como de **la hidrometría basada en UAS**, el despliegue en campo reveló varias limitaciones técnicas y ambientales que debían abordarse:

- **Cobertura espacial limitada de los sistemas tradicionales.** Las estaciones hidrométricas terrestres generalmente ofrecen mediciones basadas en puntos. En los sistemas fluviales dinámicos, esto resulta en vacíos de datos que limitan la comprensión de cómo cambian el nivel del agua, la profundidad o el flujo a través del espacio, especialmente durante condiciones climáticas extremas.
- **Inaccesibilidad en áreas remotas o con vegetación.** Muchas secciones del Rönne Å son difíciles de acceder debido a la densidad de la vegetación, riberas empinadas o terreno inestable. Los sistemas tradicionales no pueden operar en tales condiciones y podrían plantear riesgos de seguridad para el personal.
- **Inestabilidad del sensor en agua en movimiento.** Los datos de sonar precisos requieren un posicionamiento vertical y estable. Los sonares atados que vuelan desde drones se ven afectados por la inclinación inducida por la corriente y el movimiento del dron. Esto complica las mediciones consistentes de profundidad, particularmente en flujos rápidos o irregulares.
- **Interferencia en el procesamiento de señales de radar.** El radar de penetración de agua (WPR) se ve afectado por la interferencia temprana de señales causada por la vegetación y el desorden en la superficie del agua. Por lo tanto, es difícil aislar las reflexiones del lecho en tiempo real o bajo condiciones de flujo variables.
- **Desafíos de la velocidad Doppler aerotransportada.** Existen pocos precedentes para el uso del radar Doppler aerotransportado en **hidrometría**. Las lecturas de velocidad precisas requieren un vuelo estable, un control de ángulo preciso y una textura de la superficie del agua favorable, es decir, condiciones que no siempre se cumplen durante los levantamientos a baja altitud.

Solución

Para probar si los sensores basados en drones podían igualar la precisión de los equipos terrestres, los investigadores llevaron a cabo un levantamiento de 10 km del Rönne Å utilizando plataformas UAS multisensor. El levantamiento cubrió seis secciones transversales e incluyó mediciones simultáneas de verdad terreno para validación.

Los drones DJI Matrice 300 RTK fueron equipados con el **SkyHub** de SPH Engineering y el **True Terrain Following system** (seguimiento de terreno real) para el vuelo automatizado a baja altitud. Los drones transportaban:

- **Altímetros de radar:** Geolux LX-80 para medir la elevación de la superficie del agua.
- **Ecosonda:** **ECT400S** para el mapeo de profundidad.
- **Radares de penetración de agua (WPR):** **Zond Aero LF** para batimetría sin contacto a través de la vegetación.
- **Sensores de velocidad superficial:** Radar Doppler Geolux RSS-2-300W y GoPro Hero 8 Black para PIV (velocimetría por imágenes de partículas) basada en video.
- **Herramientas de LiDAR y fotogrametría:** DJI Zenmuse L1 para el modelado del terreno.

Cada flujo de sensores se procesó en tres pasos: registro de datos sin procesar, georreferenciación y sincronización, y proyección espacial a las secciones transversales del río. Las precipitaciones del 31 de agosto crearon condiciones similares a inundaciones, lo que permitió la validación bajo estrés hidrológico. Los sistemas terrestres se desplegaron conjuntamente para permitir una comparación directa del rendimiento punto por punto.

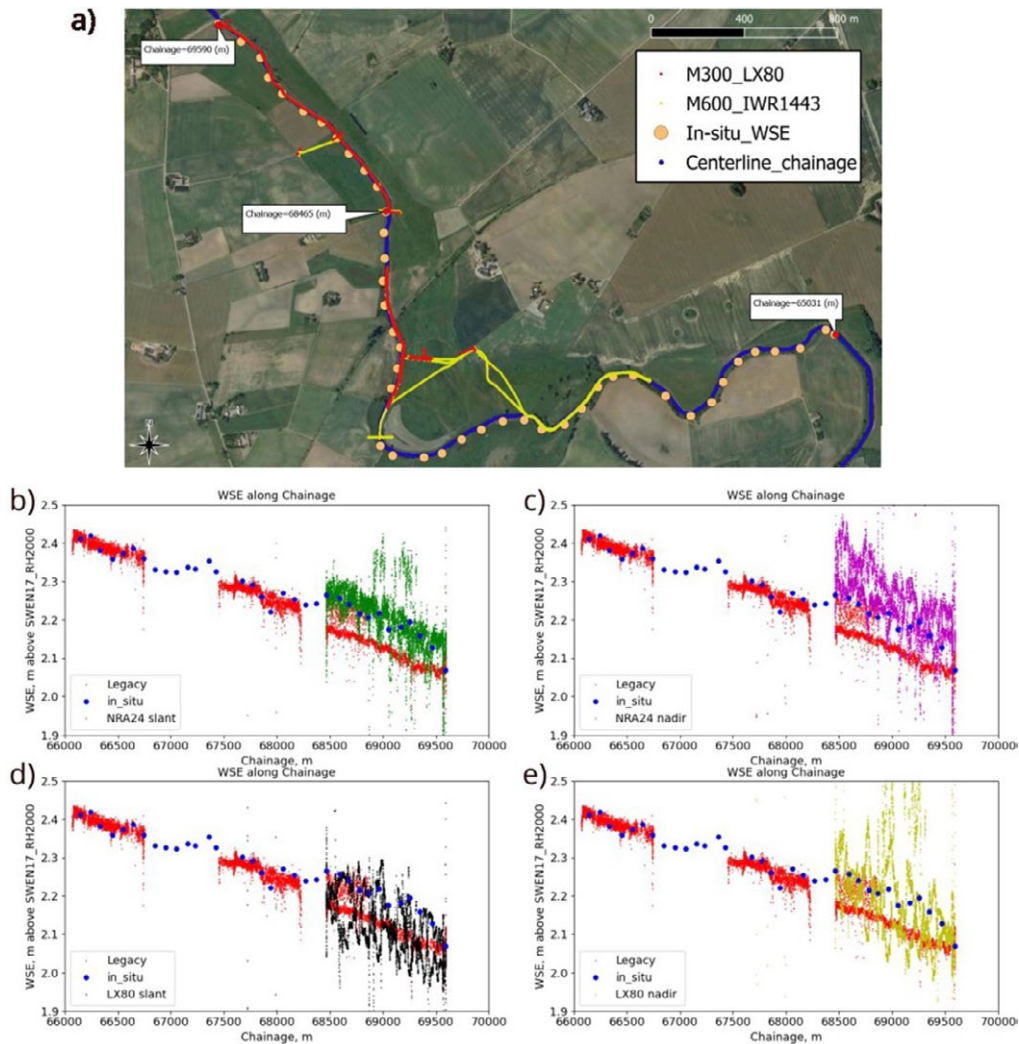


Despliegue en campo del dron M300 con la ecosonda ECT400S (izquierda) y el WPR Zond Aero LF (derecha).

Resultados

Elevación de la Superficie del Agua (WSE)

Los altímetros de radar montados en el DJI Matrice 300 RTK midieron la elevación de la superficie del agua con una precisión vertical inferior a 3 cm. Las comparaciones con puntos de referencia GNSS y sensores de radar anteriores confirmaron una fuerte alineación y consistencia.



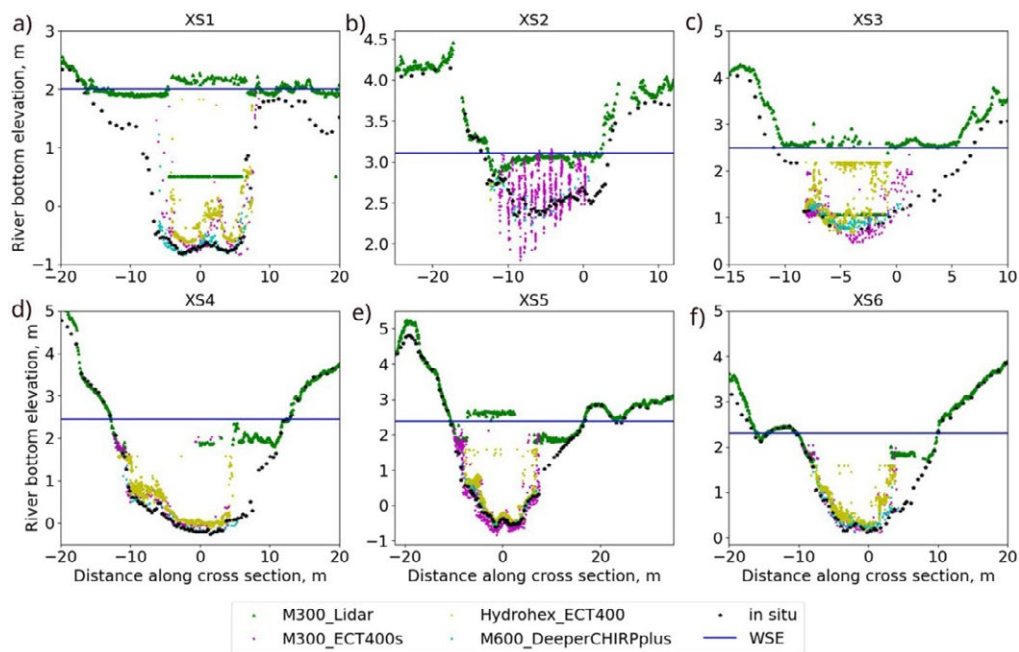
Comparaciones representativas entre datos WSE aerotransportados y terrestres: (a) Rutas de vuelo, puntos WSE in situ y línea central del río. (b–e) Comparaciones de WSE entre la verdad terreno y cuatro configuraciones LX80.

Más información sobre la tecnología GPR montada en drones

Batimetría

Los sistemas de ecosonda y radar de penetración de agua (WPR) proporcionaron mediciones de profundidad complementarias. El ECT400S ofreció perfiles estables basados en sonar con desviaciones inferiores a 10 cm. Por el contrario, el sistema GPR Zond Aero LF (WPR) penetró con éxito la vegetación e identificó contornos del lecho que las ecosondas no pudieron detectar.

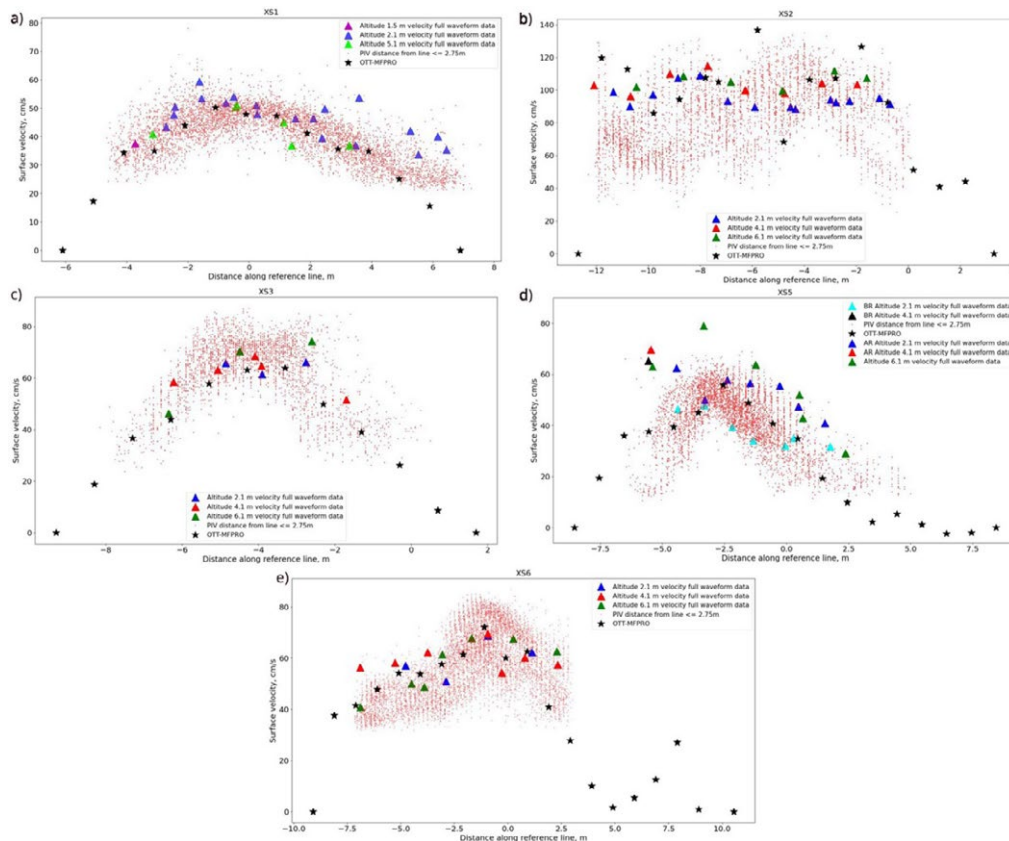
Todas las mediciones de profundidad se validaron frente a lecturas de ADCP, mostrando una precisión del WPR dentro de ± 8 cm.



Comparación de batimetría basada en drones y en tierra a través de seis secciones transversales. Incluye M300 con ECT400s (magenta), Hydrohex con ECT400 (amarillo), M600 con Deeper CHIRP+ (cian), referencia ADCP in situ (estrellas negras) y lidar basado en drones (triángulos verdes). Las líneas azules representan la elevación de la superficie del agua.

Velocidad de Flujo

La velocidad del flujo superficial se capturó utilizando el radar Doppler Geolux RSS-2-300W y se analizó junto con la velocimetría por imágenes de partículas (PIV) basada en video de una cámara de acción resistente al agua (GoPro Hero 8 Black). El sistema Doppler mantuvo una resolución de 7,3 mm/s y logró desviaciones por debajo de 10 cm/s en comparación con los instrumentos OTT MFPPro. Los resultados del PIV mostraron variación, particularmente en la sección transversal XS1 con vegetación, pero se alinearon bien en otros sitios.



Comparaciones de velocidad a través de cinco secciones transversales utilizando radar Doppler (triángulos), OTT MFPPro (estrellas negras) y PIV (puntos rojos, dentro de los 2,75 m de la línea base). En XS5, se muestran los resultados del Doppler para dos altitudes (2,1 m y 4,1 m) antes y después de las precipitaciones.

Conclusión

El levantamiento del río Rönne Å demostró que un sistema multisensor sin contacto basado en drones puede medir con precisión el nivel del agua, la profundidad y la velocidad del flujo, incluso en zonas poco profundas, con vegetación y afectadas por inundaciones. Respaldo por los sensores integrados de SPH Engineering, SkyHub y True Terrain Following, el sistema proporcionó resultados de levantamiento precisos a baja altitud que se asemejaron estrechamente a las referencias terrestres.

El conjunto de datos compartido públicamente respalda una investigación más amplia y muestra el potencial de la hidrometría basada en drones como una alternativa práctica a los métodos convencionales.

[Leer el informe completo](#)

Publicaciones Relacionadas

- Zhen Zhou, Laura Riis-Klinkvort, Emilie Ahrnkiel Jørgensen, et al. (2024): [Measuring river surface velocity using UAS-borne Doppler radar](#). *Water Resources Research*, 60(11):e2024WR037375
- Monica Coppo Frias, Alexander Rietz Vesterhauge, Daniel Olesen, et al. (2025): [Combining UAS Lidar, Sonar and Radar Altimetry for River Hydraulic Characterization](#). *Drones*, 9(1), 31
- Fabian Merk, Timo Schaffhauser, Faizan Anwar, et al. (2024): [The Significance of the Leaf-Area-Index on the Evapotranspiration Estimation in SWAT-T for Characteristic Land Cover Types of Western Africa](#). *HESS*, 28, 5511–5539
- Zhen Zhou, Laura Riis-Klinkvort, Emilie Ahrnkiel Jørgensen, et al. (2025): [UAS Hydrometry: Contactless River Water Level, Bathymetry, and Flow Velocity -The Ronne River Dataset](#). *Scientific Data* 12, 294 <https://doi.org/10.1038/s41597-025-04611-x>
- Peter Bauer-Gottwein, Linda Christoffersen, Aske Musaeus, Monica Coppo Frías, and Karina Nielsen (2024): [Hydraulics of Time-Variable Water Surface Slope in Rivers Observed by Satellite Altimetry](#). *Remote Sensing*, 16(21), 4010
- Musaeus, A. F., Kittel, C. M. M., Luchner, J., Frias, M. C., & Bauer-Gottwein, P. (2024). [Hydraulic River Models From ICESat-2 Elevation and Water Surface Slope](#). *Water Resources Research*, 60(6). <https://doi.org/10.1029/2023WR036428>