

Artículo de investigación



Integración y Evaluación de Tecnologías Emergentes en la Evaluación Hidromorfológica: Caso de Estudio en el Parque Nacional Valle Nuevo, República Dominicana

Integration and Evaluation of Emerging Technologies in Hydromorphological Assessment: A Case Study in the National Park Valle Nuevo, Dominican Republic

Juan Luis Ramírez Duval^{1,*}, Georg Lamberty², Agustina García¹, Juan R. Chalas¹

*Autor de correspondencia

HISTORIA DEL ARTÍCULO

Recibido 19 Enero 2023
Revisado 23 Enero 2023
Aceptado 20 Junio 2023
Publicado 10 Octubre 2023

PALABRAS CLAVE

Evaluación hidromorfológica, tecnologías emergentes, SIG, ODK, drones, EasyFlow, cámaras térmicas

KEYWORDS

Hydromorphological assessment, emerging technologies, GIS, ODK, drones, EasyFlow, thermal cameras

Resumen

Dentro de la Cordillera Central de la República Dominicana está situado el Parque Nacional Valle Nuevo. Valle Nuevo ha sufrido del impacto de las actividades humanas durante décadas, como son: la deforestación y agricultura en zonas de laderas y cumbres de montañas, la construcción de pozos de agua subterránea, y la construcción de represas e instalación de bombas para la toma de agua de los ríos. Debido a esto, se desarrolló un proyecto en cuencas cabeceras de tres ríos (Río Grande, Río Nizao y Río Las Cuevas), a fin de introducir y adaptar el método alemán de evaluación hidromorfológica (LAWA-OS). Como forma de complementar el método tradicional, el proyecto incluyó el uso de tecnologías emergentes como herramientas de trabajo. En total se utilizaron y probaron cinco tecnologías que incluyen: i) sistemas de información geográfica (SIG), para el manejo de los datos espaciales, ii) sistema ODK Android, para apoyar la colecta y el envío de los datos; iii) vehículos aéreos no tripulados (UAV) o drones, para la inspección de zonas de vegetación densa y difícil acceso; iv) sensor de medición de caudal en ríos (método de dilución), para definir zonas prioritarias en base al caudal de aporte; y finalmente v) cámaras térmicas para visualizar arroyos secos (temporales) en zonas de vegetación densa. Los resultados muestran el potencial que ofrecen las tecnologías emergentes para preparar la información cartográfica necesaria, para apoyar la captura de datos en campo y/o la inspección visual, y para definir áreas prioritarias para los trabajos posteriores de re-naturalización y protección de ríos.

Abstract

Valle Nuevo National Park is located in the Central Mountain Range of the Dominican Republic. Valle Nuevo has suffered from the impact of human activities for decades, such as: deforestation and agriculture in hillside and mountaintop areas, the construction of groundwater wells, and the construction of dams and installation of pumps to take water from the rivers. Because of this, a project was developed in the headwater basins of three rivers (Río Grande, Río Nizao and Río Las Cuevas), in order to introduce and adapt the German method of hydromorphological evaluation (LAWA-OS). As a way to complement the traditional method, the project included the use of emerging technologies as working tools. In total, five technologies were used and tested including: (i) geographic information systems (GIS), for spatial data management; (ii) ODK Android system, to support data collection and sending; (iii) unmanned aerial vehicles (UAV) or drones, for inspection of areas of dense vegetation and difficult access; (iv) flow measurement sensor in rivers (dilution method), to define priority areas based on inflow; and finally (v) thermal cameras to visualize dry (temporary) streams in areas of dense vegetation. The results show the potential offered by emerging technologies to prepare the necessary cartographic information, to support field data capture and/or visual inspection, and to define priority areas for subsequent renaturation and river protection works.

1 Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), Centro para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos en los Estados Insulares del Caribe (CEHICA). juanduval@hotmail.com ; agustinagarciaacastillo@gmail.com ; jrchalas@gmail.com
2 Universidad de Ciencias Aplicadas de Colonia, ITT, Betzdorfer Straße 2, 50679 Köln, Alemania. georg.lamberty@th-koeln.de

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto “Renaturalización y Conservación de los Recursos Hídricos del Parque Nacional Valle Nuevo mediante la Investigación Hidromorfológica” fue ejecutado en el período 2018-2022 por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), a través del Centro para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos en los Estados Insulares del Caribe (CEHICA). Este proyecto se desarrolló con el apoyo económico del Fondo Nacional de Innovación y Desarrollo Científico y Tecnológico, FONDOCYT, del Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología (MESCYT). Los objetivos específicos del proyecto fueron: introducir y adaptar el método alemán de evaluación hidromorfológica, integrar las tecnologías emergentes y desarrollar una estrategia de re-naturalización y conservación de las fuentes de agua. Las tecnologías emergentes ofrecen nuevas oportunidades para los estudios de evaluación hidromorfológica. Por ejemplo, las diferentes funciones incluidas dentro de los sistemas de información geográfica (SIG) o el diseño de aplicaciones móviles para la colecta de datos de campo con teléfonos inteligentes, permiten la preparación, la colecta y la presentación de todos los datos requeridos. Igualmente, las nuevas tecnologías como los drones ayudan a cubrir áreas de difícil acceso. En este artículo presentamos la metodología de trabajo para la integración de las tecnologías emergentes, así como los resultados alcanzados. Además, el análisis de las conclusiones sobre el aporte que pueden brindar las nuevas tecnologías a los estudios de evaluación hidromorfológica y re-naturalización de ríos.

2. METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

En República Dominicana, la Cordillera Central, región llamada también “Madre de las Aguas”, concentra la mayor cantidad de zonas productoras de agua. En este sistema nacen 709 cauces de ríos y arroyos, entre ellos el Río Yuna y el Río Yaque del Norte (MIMARENA, 2004). Dentro de la Cordillera Central está situado el altiplano de Valle Nuevo (figura 1), este ocupa una superficie de aproximadamente 910 kilómetros cuadrados y tiene elevaciones que alcanzan los 2,837 metros sobre el nivel del mar (msnm). Valle Nuevo (también llamado Parque Juan B. Pérez Rancier) pertenece al Sistema de Áreas Protegidas de la República Dominicana

dentro de la Categoría II: Parques Nacionales (Ley Sectorial de Áreas Protegidas, No. 202-04). Desde Valle Nuevo se nutren los caudales de los ríos Yaque del Norte, Yaque del Sur, Yuna, Nizao, Blanco, Tireo, Grande, Blanco y Las Cuevas, así como otros. Estos ríos a su vez alimentan las presas e hidroeléctricas de Sabana Yegua, Hatillo, Jigüey, Aguacate, Valdesia, Blanco, Tireo, Pinalito, Tireito y Arroyín, así como los acueductos de Santo Domingo, San Cristóbal, Baní, Villa Altagracia, Bonao, Rancho Arriba y Constanza. Además, a los sistemas de irrigación Marcos A. Cabral y Yuna-Caracol. Debido a esto, Valle Nuevo tiene una importancia vital para la seguridad hídrica, la seguridad energética y la seguridad alimentaria de la República Dominicana. El Parque Nacional Valle Nuevo ha sufrido del impacto de las actividades humanas durante décadas, como son: la deforestación y agricultura en zonas de laderas y cumbres de montañas (quedando los suelos expuestos a la erosión), la construcción de pozos de agua subterránea, y la construcción de represas e instalación de bombas para la toma de agua de los ríos. (ACRD y UASD, 2016). Estas actividades tienen un impacto directo en la calidad hidromorfológica de las corrientes de agua. Por esta razón, se desarrolló un proyecto en cuencas cabeceras de tres ríos (Río Grande, Río Nizao y Río Las Cuevas), a fin de introducir y adaptar el método alemán de evaluación hidromorfológica, integrar las tecnologías emergentes y desarrollar una estrategia de re-naturalización y conservación de las fuentes de agua.

2.2 Metodología de evaluación hidromorfológica

La evaluación hidromorfológica en este proyecto se llevó a cabo utilizando una versión adaptada del Método Alemán LAWA-OS (Lamberty 2022, LAWA 2000, LAWA 2019). Las adaptaciones tuvieron lugar en parte en aplicaciones anteriores del método en regiones tropicales y subtropicales (Pradilla et al. 2021, Birnbaum y Lamberty 2018). Los datos hidromorfológicos se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones como la evaluación de los cuerpos de agua, el análisis del déficit y la planificación o el seguimiento de proyectos de restauración (Cron et al. 2015; Gurnell et al. 2016; Poppe et al. 2016). La evaluación hidromorfológica se realiza a través de una inspección visual in situ. Los cauces o corrientes superficiales se dividen en segmentos. La longitud de una unidad depende de la anchura del cauce. (Gellert et al., 2014). El sondeo se realiza desde la boca (desembocadura) hasta la fuente (origen). Un formulario de campo estándar se utiliza

para registrar cada característica durante la inspección. Además del formulario, cada segmento está documentado con dos fotografías. La evaluación se basa en un inventario objetivo y reproducible de las estructuras y procesos dentro del curso de agua y sus alrededores mediante un conjunto de parámetros predefinidos. Estas estructuras y procesos están representados por los denominados parámetros individuales como "curvatura" (parámetro 1.1) y "variabilidad del ancho" (parámetro 3.3). En total se cubren 19 parámetros individuales. Estos parámetros individuales se agrupan según sus características de indicador y se asignan a los seis parámetros principales: 1) desarrollo del cauce, 2) perfil longitudinal, 3) perfil transversal, 4) estructura del lecho, 5) estructura de los márgenes y 6) zona ribereña. Estos seis parámetros se agregan en tres compartimentos fluviales "Lecho fluvial", "Márgenes" y "Zona adyacente o ribereña" y, por último, a la evaluación global de una sección fluvial. Al final, la determinación de la calidad hidromorfológica está representada por cinco clases:

desde clase 1 (alta) representando un estado natural o casi natural, hasta clase 5 (baja) representando un estado completamente modificado. Los resultados se almacenan en una base de datos utilizando software de información geográfica y se visualizan en mapas de ríos por bandas coloreadas.

2.3 Integración de las tecnologías emergentes

A fin de implementar el método de evaluación hidromorfológica en cuencas cabeceras del Parque Nacional Valle Nuevo, el proyecto incluyó el uso de tecnologías emergentes como herramientas de trabajo para apoyar la colecta, envío y análisis de diferentes tipos de datos. Igualmente, debido a las características topográficas y de la vegetación del área de estudio (zona de alta montaña y bosque denso), así como la ubicación de muchos nacientes y cauces temporales de agua se presentan oportunidades para la aplicación de nuevas tecnologías, como forma de apoyar y complementar el método tradicional. En total se incluyeron cinco tecnologías dentro del proyecto.

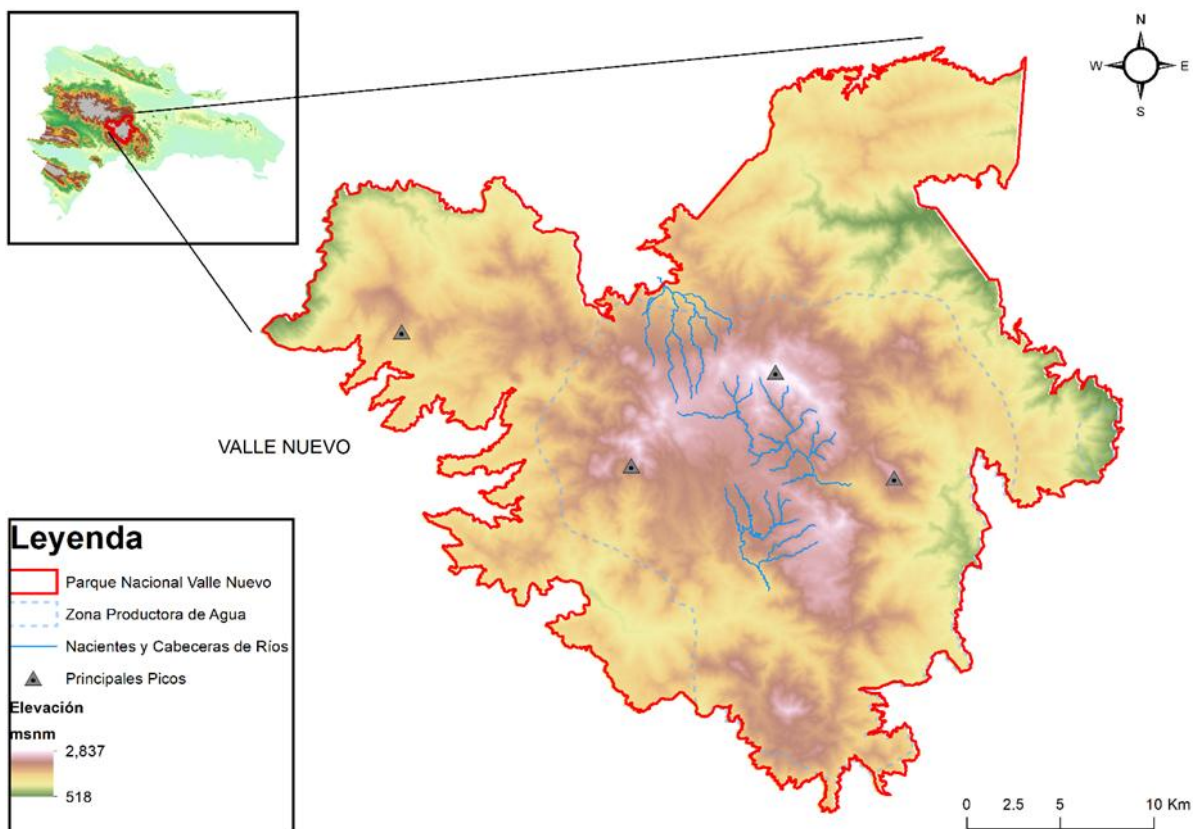


Figura 1. Área de estudio en los arroyos y ríos cabeceras del Río Grande, Río Nizao y Río Las Cuevas

a. Sistemas de información geográfica (SIG)

Siguiendo la definición clásica, se puede considerar un SIG como una forma particular de un sistema de información, que además de incluir dentro de sus componentes las bases de datos tradicionales (descriptivas), incluye el manejo simultáneo de bases de datos espaciales o gráficas. (Sáenz Saavedra, 1992). Además, los sistemas de información geográfica son sistemas asistidos por ordenador para la captura, almacenamiento, recuperación, análisis y visualización de datos espaciales (Clarke, 1986). La compañía *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), la principal empresa que comercializa este tipo de herramientas informáticas, los define como “un sistema que crea, gestiona, analiza y mapea todo tipo de datos. Los SIG conectan los datos con un mapa, integrando los datos de localización (dónde están las cosas) con todo tipo de información descriptiva (cómo son las cosas en ese lugar)”. Esto proporciona una base para la creación de mapas y el análisis que se utiliza en la ciencia y en casi todas las industrias. La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. También, se pueden resolver problemas complejos de planificación y análisis espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla. Con respecto a la evaluación hidromorfológica, tanto los datos de sondeo de campo (parámetros de la inspección visual), como los datos de teledetección (imágenes de drones o de satélite) pueden integrarse fácilmente en un SIG. Además, un SIG puede proporcionar una interfaz común para otros datos que se obtengan (ej. medición de sensores). Para el estudio en Valle Nuevo se utilizaron los sistemas de información geográfica de la empresa ESRI, el sistema ArcGIS Desktop y el sistema ArcGIS Pro.

b. Sistema ODK para teléfonos inteligentes Android

Open Data Kit (ODK) es un conjunto de herramientas modulares de código abierto que permite a las organizaciones crear servicios de información específicos para su uso en entornos con recursos limitados. ODK es una de las principales soluciones de recopilación de datos disponibles y ha sido desplegada por una amplia variedad de organizaciones en docenas de países de todo el mundo (Brunette et al., 2013). ODK ayuda a las organizaciones, a los investigadores y a los trabajadores de campo a gestionar soluciones de recogida de datos móviles. (Purbasari et al. 2020). ODK permite la recolección de datos a través de teléfonos móviles con sistema operativo Android y la

transmisión de los mismos a un servidor en línea. Para utilizar la aplicación no se necesitan habilidades de programación, se pueden elaborar formularios en formato .xls y después exportar a formato .xml. Además, si no se dispone de un servidor para la recepción de los datos, se necesita únicamente una cuenta de Google Drive para crear un servidor en línea y guardar los datos. ODK ofrece dos herramientas básicas de trabajo. La herramienta ODK Build permite la elaboración de formularios dentro de la aplicación en la cual el usuario puede definir las preguntas o los datos según se requiera. Esta aplicación sustituye los formularios de papel por datos electrónicos que a su vez son guardados en un servidor en línea. Una vez creado el formulario es necesario subirlo al servidor para que esté disponible para los recolectores de datos. ODK Build es una aplicación web HTML5. La aplicación móvil ODK Collect permite la recolección de varios datos incluyendo datos de texto, datos numéricos, coordenadas de GPS, fotos, videos, archivos de audio o incluso códigos de barra. Esto permite almacenar grandes cantidades de información en el lugar de la recolección con el fin de no perder ningún detalle.

c. Vehículos aéreos no tripulados (UAV) o drones

La teledetección o sensoramiento remoto implica obtener información a través de imágenes de la superficie de nuestro planeta a distancia, sin entrar en contacto directo con la misma, para posteriormente realizar un procesamiento, clasificación e interpretación de una determinada zona de estudio (Labrador et al., 2012). Con un dron se puede capturar imágenes de alta precisión, con una resolución mucho mayor de lo que proporciona las imágenes satélites, incluso cuando hay cobertura de nubes. Un dron está usualmente equipado con cámara de alta resolución y GPS inercial. Al juntar estas dos tecnologías se pueden tomar múltiples imágenes de una ubicación y luego combinar todas las imágenes mediante el uso de software de fotogrametría para hacer una gran imagen "ortomosaico". También se pueden crear modelos 3D o modelos de elevación digital DEM. La reciente popularidad de los drones ha contribuido cada vez más a su aplicación en áreas como la gestión del medio ambiente y los recursos naturales. En el caso de la hidromorfología, los drones pueden apoyar la inspección visual y los trabajos de campo en tramos de difícil acceso, como es el caso del Parque Nacional Valle Nuevo. Para los trabajos de colecta imágenes se utilizaron los modelos DJI Phantom 4 Pro y DJI Mavic 2 Pro.

d. Sensor de caudal para ríos (método de dilución)

El caudal de los ríos y arroyos puede medirse con varios métodos, que pueden verse afectados por las características naturales de la corriente. El método convencional para medir el caudal de los arroyos es el método del molinete, basado en la determinación de la descarga media mediante la velocidad y el área de la sección transversal. Este método permite medir rápidamente el caudal de los arroyos. Sin embargo, en arroyos de montaña, durante condiciones de flujo turbulento, o en caso de profundidades de flujo, menores que los límites de rendimiento recomendados para molinetes convencionales, puede dar mediciones poco fiables. Un método alternativo de medición del caudal es el método de dilución, que consiste en inyectar un trazador artificial (normalmente sal) y determinar su dilución, tras la mezcla completa en el flujo, mediante la integración de la conductividad eléctrica en función del tiempo (Ferranti, 2015).

Las siguientes condiciones son necesarias para la aplicación del método de dilución:

- El caudal del río debe permanecer aproximadamente constante durante la medición;
- El trazador debe pasar totalmente por el sector de aforo;
- En el punto de medición, la mezcla debe ser tal que en cada punto del tramo del río debe pasar la misma cantidad de trazador.

La sal de cocina, el cloruro de sodio (NaCl), es un trazador ideal: es muy fácil de encontrar, barato y tiene un alto grado de dilución en el agua. Además, no es perjudicial para la fauna y la flora en las concentraciones utilizadas y es poco absorbida por la vegetación y los materiales del lecho del río. Por último, es muy fácil medir su concentración con una sonda de conductividad. Las recientes mejoras en la instrumentación (sensores) han aumentado la precisión y simplificado la aplicación práctica, haciendo que el método sea más adecuado (en muchas circunstancias) que otras alternativas más utilizadas. Para el proyecto en Valle Nuevo se utilizó el sensor EasyFlow de la empresa suiza Madd Technologies. El EasyFlow es un equipo que permite la medición de caudales utilizando el método de dilución sin necesidad de cálculos adicionales.

e. Cámaras térmicas para teléfonos móviles

Las cámaras térmicas o termográficas portátiles de alta resolución pueden ser utilizadas en estudios de

interacción agua subterránea/agua superficial. Las cámaras se pueden utilizar para visualizar cauces de agua, lagos y estructuras adyacentes (por ejemplo, bancos, barras, filtraciones, etc.) para localizar y caracterizar rápidamente anomalías térmicas en tiempo real a una escala que va desde centímetros a decenas de metros. Las variaciones de temperatura pueden usarse para rastrear el calor o frío transportado por el agua que fluye, por ejemplo, durante la descarga de agua subterránea en una corriente superficial (Brigs et al., 2013). Aunque el uso de imágenes aéreas y satelitales para estudios de recursos hídricos es común, la disponibilidad de cámaras térmicas de mano para apoyar los estudios hídricos es relativamente nueva. Las cámaras pueden utilizarse para:

- Localizar puntos de interacción de agua superficiales y subterráneas,
- Ayudar a caracterizar las condiciones hidrogeológicas locales, y
- Optimizar lugares de muestreo y monitoreo.

Recientemente, con el avance de las tecnologías emergentes, se ha logrado desarrollar cámaras térmicas externas para teléfonos móviles (celulares). El pequeño tamaño de las cámaras las convierte en herramientas convenientes para estudios en sitios de campo remotos (zonas de bosque o de montañas apartadas o de vegetación densa), lo que abre una ventana de oportunidades para nuevas aplicaciones. Para el área de estudio en Valle Nuevo se utilizaron los modelos Seek Thermal y FLIR ONE Pro para sistema operativo Android.

3. RESULTADOS

3.1 Edición y geoprocesamiento de datos espaciales

Los sistemas de información geográfica (SIG) son utilizados de manera rutinaria en los trabajos de evaluación de la calidad hidromorfológica de ríos y arroyos. Un SIG permite preparar la cartografía de los tramos a evaluar, así como almacenar, procesar y analizar los datos de los parámetros colectados. Por otro lado, los SIG ofrecen herramientas adicionales que permiten la edición de los datos espaciales existentes (por ej., los shapefiles) y además la creación de nuevos datos (geoprocesamiento). Estas herramientas de edición y geoprocesamiento tuvieron una gran utilidad para la evaluación hidromorfológica de ríos. Para el estudio en Valle Nuevo se utilizaron los datos (shapefiles) de los ríos y arroyos de la base de datos del Ministerio de Medio Ambiente y

Recursos Naturales de la República Dominicana (MIMARENA). Estas capas tienen una resolución espacial (precisión) muy baja para el trazado de los ríos. Especialmente en zonas de pendiente elevada y cauces temporales de agua (cauces secos) se volvía una tarea muy difícil la correcta ubicación de los tramos (puntos de inicio-final) con errores de localización mayores a 30 o 40 m. Debido a esto se utilizaron las imágenes satelitales disponibles dentro del sistema ArcGIS (mapas base), como forma de editar los vértices de los ríos y mejorar el trazado. Este procedimiento se llevó a cabo para las tres

cuencas cabeceras del Río Grande, Río Las Cuevas y Río Nizao (figura 2). Al completar el proceso de edición de los vértices, se utilizaron otras herramientas de edición y gestión de datos para dividir los ríos en tramos de 100 m de longitud, y para determinar el punto de inicio de cada tramo (ver figura 3). Después, estos puntos fueron exportados desde ArcGIS como archivos .gpx, los cuales pueden ser utilizados en los equipos GPS (ej.: Garmin GPSMAP).

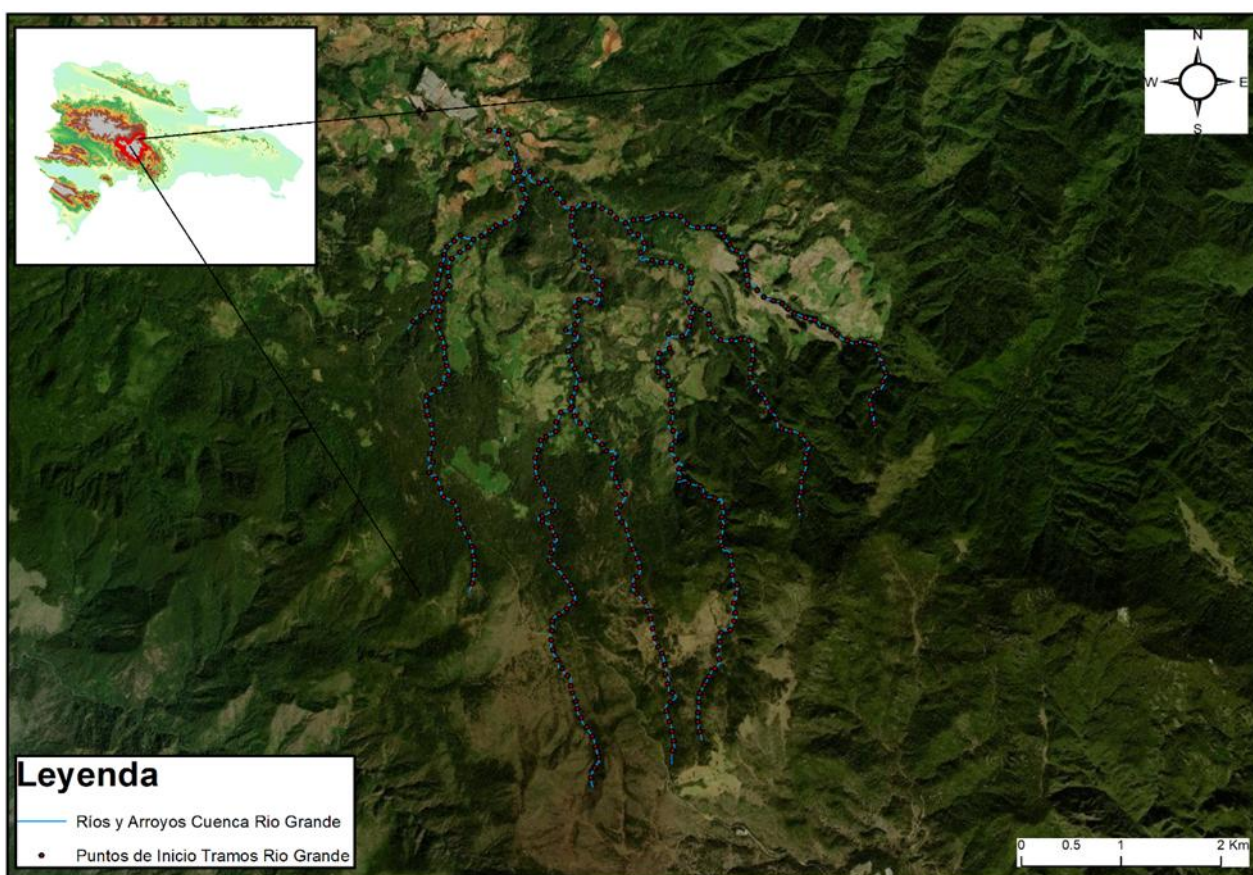


Figura 2. Ubicación del punto de inicio de los tramos del Río Grande

3.2 Desarrollo de formularios digitales; captura y transferencia de datos

Como ya se mencionó, la evaluación de la calidad hidromorfológica se realiza a través de una inspección visual in situ. Un formulario de campo (en papel) se utiliza para registrar cada parámetro durante la inspección. Además de la encuesta, cada segmento está documentado con dos fotografías (al inicio y al final del tramo). El sistema ODK se utilizó de manera exitosa como herramienta para la creación de los

formularios de campo en formato digital, y luego para la colecta de datos utilizando los teléfonos móviles. La aplicación ODK Build permitió integrar todos los parámetros de evaluación hidromorfológica, así como el valor correspondiente (1-5) de cada opción a seleccionar. Se pudieron incluir todos los datos relacionados a la identificación de los tramos, así como a los parámetros individuales. También se pudieron agrupar los parámetros individuales en los seis parámetros principales para organizar la información de acuerdo al formulario de campo

original. Además, se pudieron añadir los comentarios (explicaciones) incluidos en algunos parámetros en el formulario. Igualmente, la aplicación ODK Collect permitió la colecta de datos con mayor facilidad y rapidez utilizando los teléfonos móviles. Además, la utilización de la cámara del móvil desde la misma aplicación permitió la captura de imágenes de cada tramo (al inicio, al final y para situaciones especiales), sin necesidad de una cámara externa, reduciendo el transporte de equipos y el riesgo a cometer errores en los trabajos de campo. Los formularios pudieron ser llenados por los inspectores con o sin acceso a internet, y después fueron subidos y compartidos con los investigadores mediante la plataforma Google Drive. El proceso de descarga de los datos también funcionó de una manera muy eficiente y rápida. Finalmente, se utilizó también la aplicación ODK para la colecta de datos relacionados al monitoreo de caudales con el método de salinidad. Se desarrolló un formulario para colecta de datos de: coordenadas geográficas, No. de tramo, temperatura (°C), salinidad (mg/l) y valor del caudal (l/s), entre otros.

3.3 Imágenes de drones

En el Informe 14 se presentaron los resultados de la evaluación hidromorfológica, incluyendo el mapeo (captura de imágenes) realizado con drones para cubrir zonas de difícil acceso dentro de las tres cuencas cabeceras. En efecto, esta tecnología emergente fue seleccionada en el proyecto como forma de expandir el método de evaluación hidromorfológica y poder realizar una inspección

visual desde el aire de los tramos donde la pendiente es muy alta (alta peligrosidad) o la vegetación es muy densa y no hay caminos de acceso (figura 3). En el proyecto se utilizaron dos modelos de drones, el DJI Phantom 4 Pro y el DJI Mavic 2 Pro. Estos modelos son de bajo costo y fácil operación. El DJI Mavic 2 Pro mostró tener ventaja al ser más pequeño y más fácil de transportar en el campo; además mostró un mayor rendimiento de las baterías. Se tomaron imágenes georeferenciadas en modo individual y en modo panorama en tramos donde los inspectores de campo no pudieron llegar con vehículos todoterreno o a pie. Al final, se descargaron las imágenes de los drones en el computador y se importaron a los sistemas de información geográfica como archivos GeoTiff, para ser visualizados juntos a los shapefiles de los ríos y los tramos correspondientes. En total se tomaron imágenes de dron para cubrir 159 tramos en Río Grande, 223 tramos en Río Las Cuevas y 151 tramos en Río Nizao, que representan un 48%, 68% y 35% respectivamente del total de tramos analizados en cada cuenca. El total de tramos trabajado en las tres cuencas fue de 1,088 lo que quiere decir que el 49% se pudo inspeccionar gracias a las imágenes de los drones. En total se tomaron imágenes de dron para cubrir 159 tramos en Río Grande, 223 tramos en Río Las Cuevas y 151 tramos en Río Nizao, que representan un 48%, 68% y 35% respectivamente del total de tramos analizados en cada cuenca. El total de tramos trabajado en las tres cuencas fue de 1,088, lo que quiere decir que el 49% se pudo inspeccionar gracias a las imágenes de los drones.

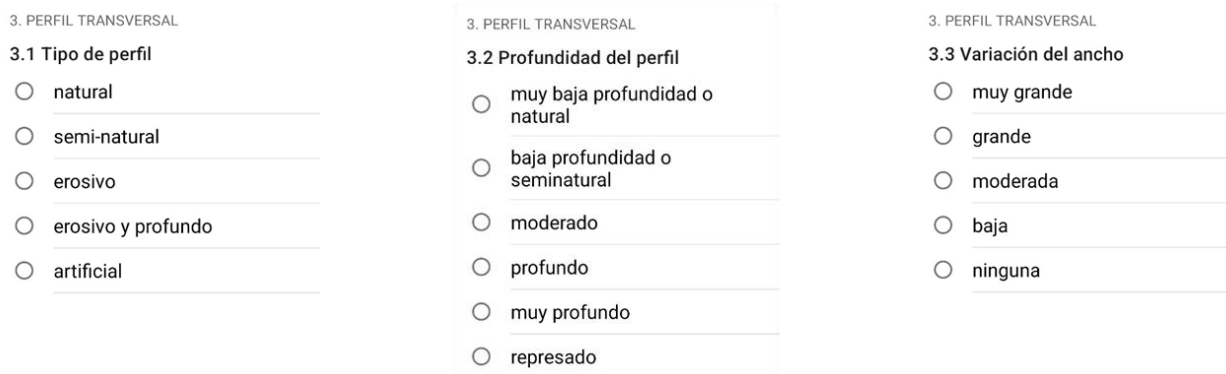


Figura 3. Captura de pantallas en la aplicación ODK para el parámetro principal No.3 “Perfil Transversal”

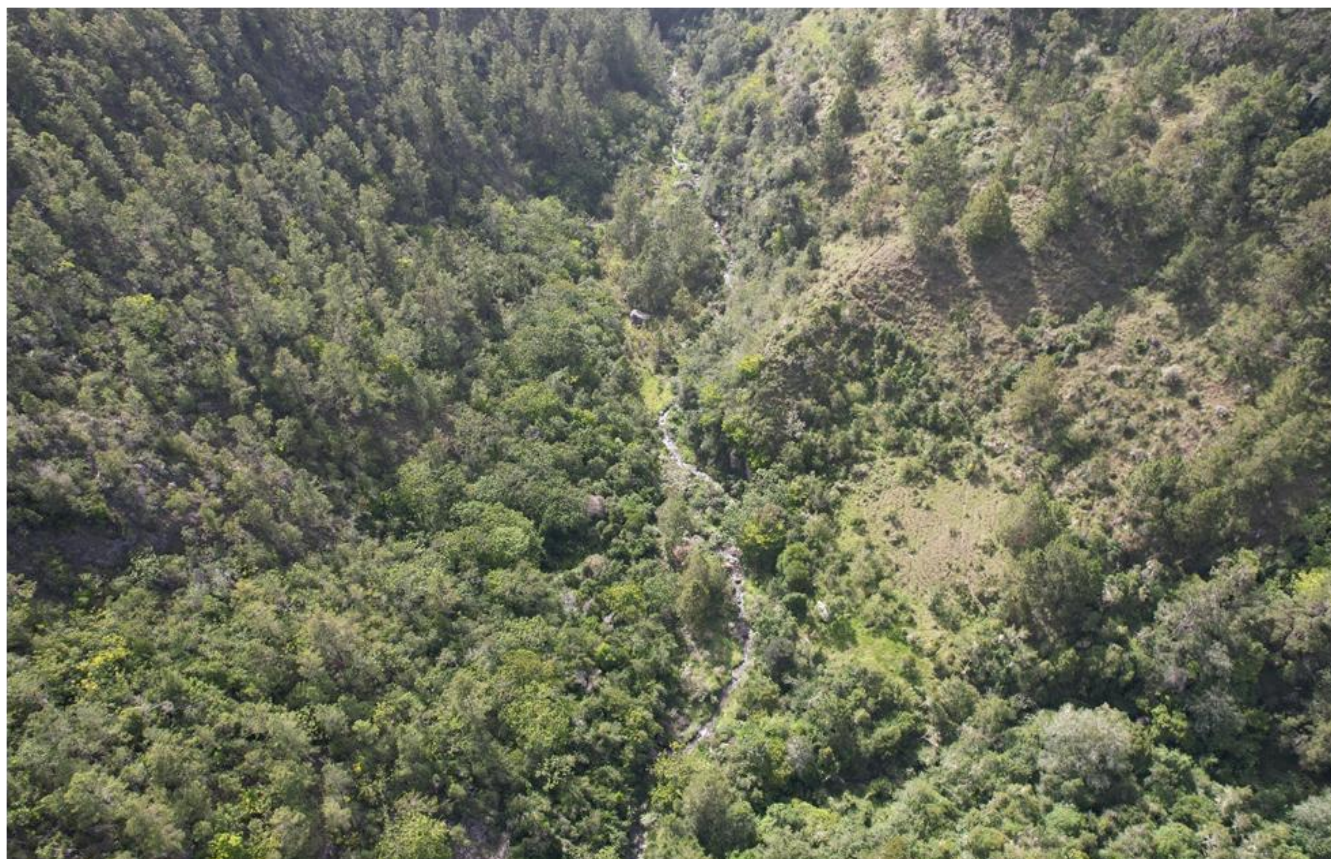
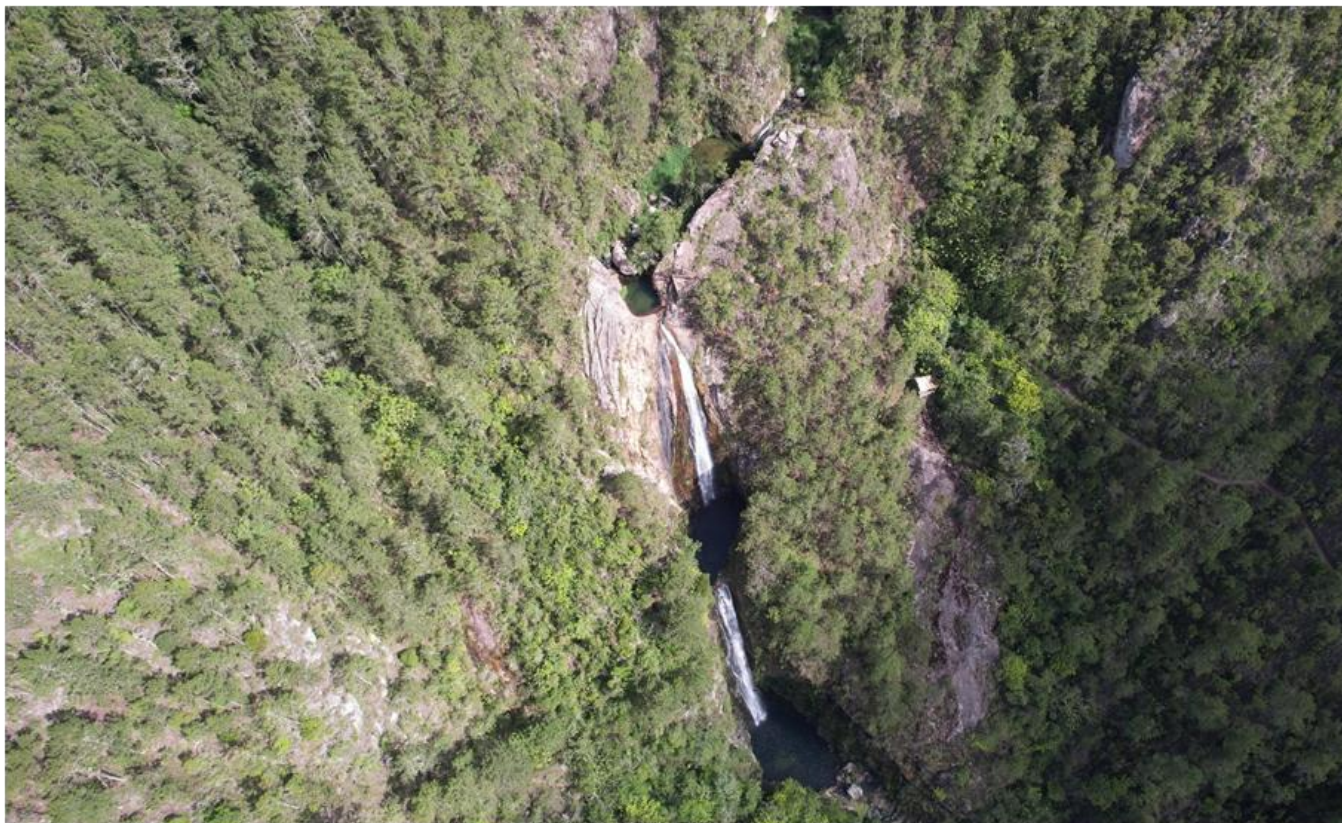


Figura 4. Imágenes tomadas con dron en tramos de alta pendiente (saltos) y densa vegetación del Río Grande

3.4 Medición de caudales

Dentro de las actividades del proyecto, se llevó a cabo un entrenamiento de campo sobre el método de medición de caudales a través de la salinidad (método de dilución con trazadores) utilizando el equipo EasyFlow. Además, se desarrolló un formulario digital para manejar los datos de la medición de

caudales a través de la aplicación móvil ODK Collect. Se hicieron mediciones en puntos seleccionados en las tres cuencas de estudio (figura 4), con el objetivo de medir el aporte de caudal de distintas microcuencas por unidad de área y después analizar los resultados con respecto a la calidad hidromorfológica de esos tramos.



Figura 5. Medición de caudales con el método de salinidad (sensor EasyFlow) en nacientes de la cuenca del Río Nizao

La medición de caudales se llevó a cabo con tiempo seco (sin lluvia) y dedicando un día de trabajo para cada cuenca, para garantizar las mismas condiciones climáticas. Debajo se presentan los resultados de la medición de los caudales y el análisis por microcuenca (tabla 1).

En la tabla 1, se presenta el aporte de caudal por unidad de área (caudal unitario) y también la calidad hidromorfológica promedio de los tramos en cada microcuenca.

En el caso de las microcuencas en Río Grande (microcuenca 4) y Río Nizao (microcuenca 2), se observa que los mayores aportes de caudal (9.30 y 10.34 respectivamente) coinciden con los menores valores de la calidad hidromorfológica (2.08 y 2.84).

En el caso del Río Las Cuevas ocurre lo contrario, la microcuenca con el mayor caudal unitario (13.78) también tiene la mejor calidad hidromorfológica promedio (1.25).

Estos resultados pueden ser utilizados para seleccionar las zonas prioritarias; ya sea para obras de renaturalización de ríos o para la protección de los cauces en buen estado.

3.5 Imágenes de cámaras térmicas

Las cámaras térmicas fueron utilizadas para identificar la zona del cauce de los ríos y/o arroyos temporales (tramos secos y con pequeñas pozas de agua estancada). Dentro del Parque Nacional Valle Nuevo existen muchos arroyos temporales en zonas de vegetación densa, donde la vegetación (arbustos, grama, árboles) llega a cubrir todo y no es posible distinguir los cauces en la temporada seca. La aplicación de esta tecnología es un trabajo experimental dentro de los objetivos planteados en el presente estudio, a fin de probar nuevas tecnologías emergentes que sirvan de apoyo al método de evaluación hidromorfológica. Se seleccionaron tramos secos en la parte alta de la cuenca del Río Grande y el Río Nizao, donde el personal de campo no encontró agua y tenía dificultades para orientarse. Se realizó un descenso a pie y después una visualización y colecta de fotos con cámaras térmicas para detectar mejor la ubicación de los cauces y el flujo subsuperficial por la diferencia de temperatura registrada. En total se identificaron correctamente los cauces para 15 tramos secos gracias a las cámaras térmicas (figura 5) y se procedió a marcarlos para la evaluación hidromorfológica.

Tabla 1. Resultados de la calidad hidromorfológica y los caudales por unidad de área (caudal unitario) para las microcuencas seleccionadas

Nombre Cuenca	Micro-cuenca	Nombre Río	Promedio EvHiMo	Clase	Q (l/s)	Área (km ²)	Q Unitario Q/A
Río Grande	1	Río Grande	1.95	2	16.36	4.81	3.40
Río Grande	2	Arroyo de Agua Blanca	1.74	1	56.46	8.03	7.03
Río Grande	3	Arroyo Aguas Blancas	2.01	2	74.77	9.04	8.27
Río Grande	4	Arroyo Primera Cañada	2.08	2	45.10	4.85	9.30
Río Las Cuevas	1	S/N	1.25	1	16.12	1.17	13.78
Río Las Cuevas	2	Cañada de los Chivos	1.63	1	12.24	1.25	9.79
Río Las Cuevas	3	Cañada de los Quéliz	2.62	3	10.20	1.61	6.34
Río Nizao	1	S/N	2.41	2	30.85	4.89	6.31
Río Nizao	2	S/N	2.84	3	36.18	3.50	10.34

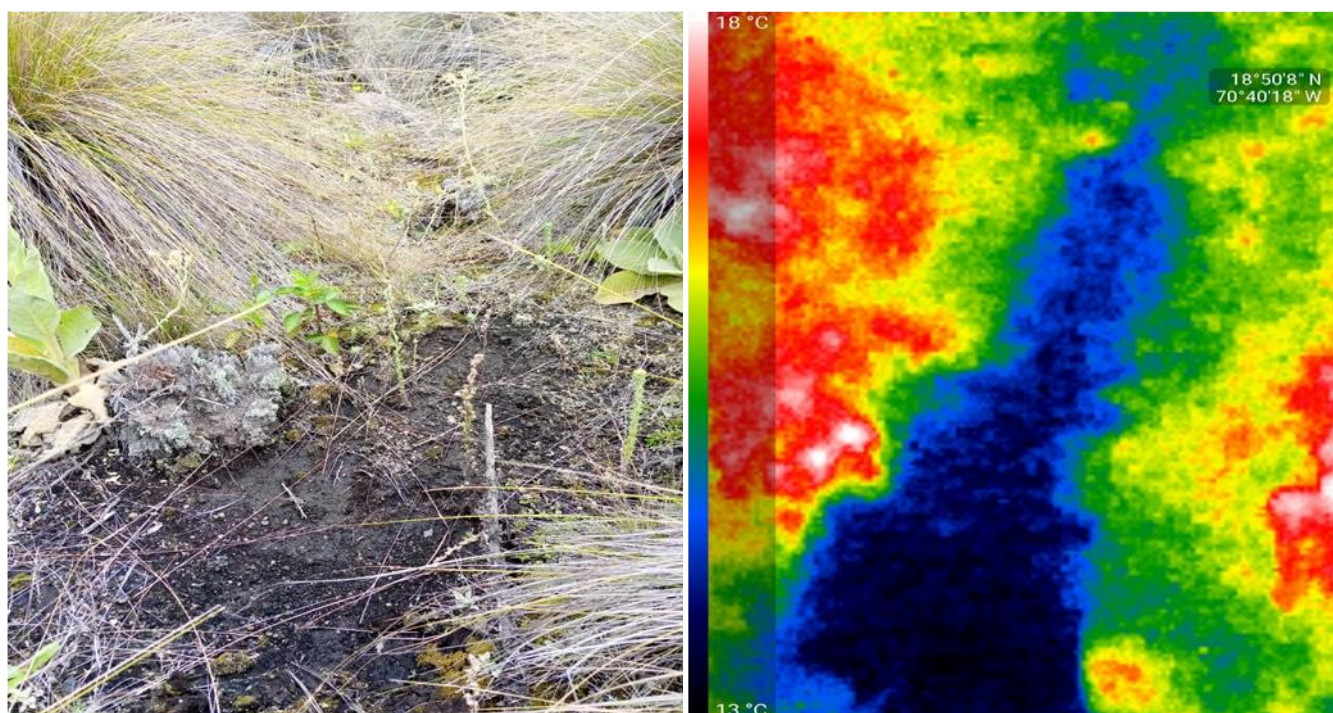


Figura 6: Imagen de cámara RGB y cámara térmica de un cauce seco en Río Nizao

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las tecnologías emergentes pueden ayudar considerablemente a realizar estudios de evaluación hidromorfológica, desde su fase de planeación, hasta la fase de colecta y análisis de los datos. Gracias a las herramientas disponibles en los sistemas de información geográfica (SIG), como son: los mapas

base, las imágenes satelitales, las herramientas de edición y las herramientas de conversión de datos; se puede editar y aumentar la resolución de los datos espaciales (capas de los ríos y arroyos), a fin de preparar toda la cartografía para los trabajos de campo. Incluso si no se cuenta con los datos espaciales necesarios del área de estudio, se pueden

obtener capas de las bases de datos abiertos (ej.: DIVA-GIS; HydroRIVERS) y realizar el mismo procedimiento. Las aplicaciones para teléfonos inteligentes como es el sistema ODK (Android), permiten la digitalización de formularios de campo, así como la integración de fotos y otros archivos. Esta herramienta posibilita desarrollar los trabajos de sondeo (inspección visual) de una manera muy eficiente y segura. Los formularios pueden salvados en los teléfonos móviles para trabajar en campo y después pueden ser subidos a una plataforma en línea (ej. GoogleDrive) y pueden ser accesados por otros técnicos e investigadores para el análisis de los mismos. Todas estas propiedades hacen que ODK sea una herramienta que pueda ser muy aprovechada en este tipo de estudio. La utilización de vehículos aéreos no tripulados (UAV) o drones sirvió como una excelente herramienta para la inspección visual en zonas de difícil acceso. Los drones pueden garantizar imágenes de alta resolución para toda el área de estudio, lo que no siempre está disponible con imágenes satelitales por problemas de nubosidad o cobertura disponible. Los drones brindan más

seguridad al personal de campo en zonas de pendientes elevadas, además pueden cubrir muchos tramos con una sola imagen, los cuales pueden ser luego analizados en el escritorio. Lo que aumenta la rapidez de los trabajos de campo. La integración de sensores para la medición de caudales como el EasyFlow, y la delimitación de microcuencas en SIG, sobre todo en zonas de nacientes de ríos, puede ayudar a la definición de áreas prioritarias para las obras de renaturalización de ríos y/o para establecer las áreas más importantes de conservación, a fin de obtener el mayor retorno en relación a los caudales aportados. Esta metodología puede servir de apoyo a la toma de decisiones junto con los datos de calidad hidromorfológica. Finalmente, las imágenes de cámara térmica pueden ser utilizadas para mapear los ríos y arroyos en condiciones secas (ríos temporales) y con vegetación densa. De manera que se defina lo mejor posible la zona del cauce y los respectivos bordes y zonas ribereñas. Lo cual es muy importante antes de capturar los datos de calidad hidromorfológica, ya sea en el presente y/o en las evaluaciones futuras.

REFERENCIAS

- Academia de Ciencias de la República Dominicana -ACR y Universidad Autónoma de Santo Domingo –UASD (2016). Peligra la Madre de las Aguas. Cordillera Central: Las montañas de Constanza camino a la desertificación. Santo Domingo, D.N.
- Birnbaum D, Lamberty G (2018) Applicability of the German Hydromorphological Assessment Approach to Tropical Rivers. – In: Strategies and Tools for a Sustainable Rural Río de Janeiro. Nehren U, Schlüter S, Raedig C, Sattler D, Hissa H. Cham, Springer International Publishing: 173-189. (ISBN-10: 331989644X)
- Briggs, M.A., Voytek, E.B., Day-Lewis, F.D, Rosenberry, D.O., and Lane, J.W. (2013). The hydrodynamic controls on thermal refugia for endangered mussels in the Delaware River: Environmental Sciences and Technology: v. 47, no. 20, p. 11423-11431.
- Brunette, Waylon & Sundt, Mitchell & Dell, Nicola & Chaudhri, Rohit & Breit, Nathan & Borriello, Gaetano. (2013). Open Data Kit 2.0: Expanding and refining information services for developing regions. ACM HotMobile 2013: The 14th Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. 10.1145/2444776.2444790.
- Clarke, Keith. (1986). Advances in Geographic Information Systems. Computers, Environment and Urban Systems. 10. 175-184. 10.1016/0198-9715(86)90006-2.
- Cron N, Quick I, Zumbroich T (2015) Assessing and predicting the hydromorphological and ecological quality of federal waterways in Germany: development of a methodological framework. Hydrobiologia. doi:10.1007/s10750-015-2484-x
- Ferranti, Flavia. (2015). Validation Of Salt Dilution Method For Discharge Measurements In The Upper Valley Of Aniene River (Central Italy). Recent Advances in Environment, Ecosystems and Development.
- Gellert G, Pottgiesser T, Euler T (2014) Assessment of the structural quality of streams in Germany - Basic description and current status. Environmental Monitoring and Assessment 186 (6):3365-3378.
- Gurnell AM, Rinaldi M, Buijse AD, Brierley G, Piégay H (2016) Hydromorphological frameworks: emerging trajectories. Aquatic Sciences 78 (1):135-138. doi:10.1007/s00027-015-0436-1

- LAWA - German Working Group on water issues (2000) Water bodies quality mapping in the Federal Republic of Germany: Procedures for small and medium sized rivers – Recommendation. German Working Group on water issues of the Federal States and the Federal Government (LAWA). Berlin: Kulturbuch-Verlag GmbH (in German, English summary).
- LAWA - German Working Group on water issues (2019) Water bodies quality mapping in the Federal Republic of Germany: Procedures for small and medium sized rivers – Recommendation (revised version). German Working Group on water issues of the Federal States and the Federal Government (LAWA). Berlin: Kulturbuch-Verlag GmbH (in German, English summary).
- Labrador García, Mauricio & Brondo, Juan & Arbelo, Manuel. (2012). Satélites de teledetección para la gestión del territorio.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales- MMARN (2004). Atlas de los Recursos Naturales de la República Dominicana.
- Poppe M, Kail J, Aroviita J, Stelmaszczyk M, Gielczewski M, Muhar S (2016) Assessing restoration effects on hydromorphology in European mid-sized rivers by key hydromorphological parameters. *Hydrobiologia* 769 (1):21-40. doi:10.1007/s10750-015-2468-x
- Purbasari, Ayi & Gusdya, Wanda & Mulyanto, Ferry & Nurlatifah, Vina. (2020). Application of the Open Data Kit for Data Collection Presence of Primary School Teachers. *IAIC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI)*. 2. 158-168. 10.34306/itsdi.v2i2.409.
- Sáenz Saavedra, N. (1992). Los sistemas de información geográfica (SIG) una herramienta poderosa para la toma de decisiones. *Ingeniería e Investigación*, (28), 31–40. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.n28.20790>

Las denominaciones que se emplean en esta publicación y la presentación de los datos que en ella figuran no suponen por parte de la UNESCO la adopción de postura alguna en lo que se refiere al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni en cuanto a sus fronteras o límites. Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores y no representan, necesariamente, el punto de vista de la UNESCO, y no comprometen a la Organización.



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license