

Artículo de investigación



Evaluación hidromorfológica combinando inspección in situ, panorámicas de drones e imágenes de satélite para la restauración y conservación de cabeceras de cuencas en el Parque Nacional de Valle Nuevo (República Dominicana)

Hydromorphological assessment combining in situ inspection, drone panoramas and satellite imagery for the restoration and conservation of headwater watersheds in Valle Nuevo National Park (Dominican Republic)

Georg Lamberty^{1,*}, Juan Luis Ramírez Duval², Agustina García², Juan R. Chalas²

*Autor de correspondencia

HISTORIA DEL ARTÍCULO

Recibido 7 Noviembre 2022

Revisado 13 Junio 2023

Aceptado

Publicado

PALABRAS CLAVE

Hidromorfología, tecnologías emergentes, sistemas aéreos no tripulados (UAS), presiones antropogénicas

KEYWORDS

Hydromorphology, emerging technologies, unmanned aerial systems (UAS), anthropogenic pressures.

Resumen

La evaluación hidromorfológica estudia y evalúa la diversidad estructural de los ríos y arroyos. Los resultados proporcionan un indicador de la integridad del ecosistema acuático y son la base para el seguimiento del estado ecológico, la identificación de las presiones antropogénicas y la derivación de medidas de conservación o restauración. Basándonos en el método alemán de evaluación visual rápida LAWA-OS, se desarrolló un procedimiento que combina la inspección visual in situ con el uso de drones e imágenes satelitales. En un área piloto investigamos tres cuencas en el altiplano central de la República Dominicana aplicando este enfoque de inspección combinada. Situadas en el Parque Nacional Valle Nuevo, las redes de arroyos evaluadas representan las cuencas de los principales ríos responsables de gran parte de la seguridad hídrica del país. Los objetivos fueron los siguientes: evaluar las condiciones hidromorfológicas actuales, identificar las presiones y las estructuras obstaculizadoras, y derivar medidas de conservación y restauración. El método permitió realizar resúmenes estadísticos del estado hidromorfológico de redes de arroyos e identificar con precisión las presiones antropogénicas. En función de la situación de presión, se pudieron derivar medidas diferenciadas para la protección y restauración de determinados tramos de río. Para las aguas predominantemente naturales o muy próximas al estado natural de la zona de estudio, el método de evaluación demostró ser una herramienta eficaz para proporcionar una evaluación hidromorfológica sólida. Vemos un gran potencial para aplicar el método en áreas que están significativamente más influenciadas por el ser humano, como zonas agrícolas y áreas urbanas.

Abstract

The hydromorphological assessment studies and evaluates the structural diversity of rivers and streams. The results provide an indicator of aquatic ecosystem integrity and are the basis for monitoring ecological status, identifying anthropogenic pressures and deriving conservation or restoration measures. Based on the German LAWA-OS rapid visual assessment method, a procedure was developed that combines on-site visual inspection with the use of drones and satellite imagery. In a pilot area we investigated three watersheds in the central highlands of the Dominican Republic applying this combined inspection approach. Located in the Valle Nuevo National Park, the assessed stream networks represent the watersheds of the main rivers responsible for much of the country's water security. The objectives were to assess current hydromorphological conditions, identify pressures and obstructing structures, and derive conservation and restoration measures. The method allowed to prepare statistical summaries of the hydromorphological status of entire stream networks and precise identification of anthropogenic pressures. Depending on the respective pressure situation, differentiated measures for the protection and restoration of specific river sections could be derived. For predominantly natural waters or waters very close to the natural state of the study area, the assessment method proved to be an effective tool to provide a sound hydromorphological assessment. We see great potential for applying the method, especially in areas that are significantly more influenced by humans, such as agricultural and urban areas.

1 Universidad de Ciencias Aplicadas de Colonia, ITT, Betzdorfer Straße 2, 50679 Köln, Alemania. georg.lamberty@th-koeln.de

2 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

1. INTRODUCCIÓN

La degradación de la calidad del agua y el deterioro de la diversidad estructural de los cursos de agua como consecuencia de diversas actividades antropogénicas inciden negativamente en la funcionalidad ecológica de las aguas (Birk et al. 2020). Además de la calidad del agua, la estructura morfológica es esencial para la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos. Esto se aplica tanto a las aguas de las zonas templadas como a las de las regiones tropicales y subtropicales (Tiegs et al. 2019).

Es necesario estudiar la calidad del agua, formular objetivos de calidad, aplicar medidas de restauración y supervisar las posibles mejoras para proporcionar seguridad hídrica (Maasri et al. 2021). En este contexto, la evaluación hidromorfológica sirve de base en los proyectos de restauración de ríos, en la planificación del desarrollo fluvial, así como en la evaluación de las intervenciones que dañan los ríos.

Existe una amplia gama de métodos de evaluación hidromorfológica basados en conceptos básicos comunes, como los estados naturales de referencia (Pardo et al. 2012), la tipología fluvial (Newson et al. 1998; Orr et al. 2008) o los marcos multiescala hidromorfológicos según (Frissell et al. 1986; England y Grunell 2016). Sin embargo, los distintos métodos suelen diferir en aspectos como el objetivo de la evaluación, los marcos legales, las disciplinas técnicas implicadas, el ámbito ecorregional, el detalle de la topografía y el procesamiento de los resultados de la evaluación (Kondolf y Piégay 2005; Davy-Bowker y Furse 2006; Fernández et al. 2011; Scheifhacker et al. 2012; Langhans et al. 2013; Belletti et al. 2014; Rinaldi et al. 2016). Desde hace varios años, las tecnologías de teledetección, como los drones y las imágenes por satélite, se utilizan cada vez más para complementar las inspecciones in situ y las interpretaciones cartográficas tradicionales, o para sustituirlas por análisis de imágenes semiautomatizados o totalmente automatizados (Rhee et al. 2018; Tomsett y Leyland 2019). El uso de drones y el análisis de imágenes por satélite han demostrado ser alternativas aceptables a las inspecciones in situ. Los sistemas aéreos no tripulados (UAS) y los vehículos aéreos no tripulados (UAV) se utilizan para aplicaciones como la clasificación de los hábitats fluviales (Woodget et al. 2017), la evaluación del estado y la degradación de la vegetación ribereña (Latsiou et al. 2021), la observación de la elevación de la superficie del agua

(Bandini et al. 2020) y el seguimiento de las restauraciones de arroyos (Langhammer 2019), especialmente en las regiones con escasez de datos. El uso de drones e imágenes por satélite ofrece oportunidades sin precedentes para apoyar y mejorar la gestión de los recursos hídricos (Sheffield et al. 2018).

La inspección visual sigue siendo el método más fiable de registro hidromorfológico cuando se trata de estudiar en detalle las estructuras locales. Pero en terrenos intransitables con pendientes extremas y vegetación densa, este tipo de cartografía resulta poco eficaz o completamente imposible. El reto consiste en combinar los estudios in situ con los métodos de teledetección de manera que su interacción permita una evaluación eficaz y válida del estado hidromorfológico. En última instancia, los resultados de la evaluación deben servir de base sólida para diversos análisis e interpretaciones, incluida la planificación de proyectos específicos de conservación y restauración.

El objetivo del proyecto es desarrollar una estrategia de restauración y conservación de las fuentes de agua del Parque Nacional Valle Nuevo (República Dominicana) basada en la evaluación hidromorfológica y la integración de tecnologías emergentes. Las metas específicas derivadas del objetivo general fueron introducir y adaptar el Método Alemán de Evaluación Hidromorfológica (LAWA 2000, LAWA 2019) para ríos y arroyos en zonas tropicales/subtropicales de montaña como el Parque Nacional Valle Nuevo, integrar tecnologías emergentes (drones, apps móviles, cámaras térmicas, etc.) y evaluar su aplicabilidad para la evaluación hidromorfológica de los cursos de agua, y desarrollar un plan modelo de medidas basado en los resultados de la evaluación hidromorfológica para restaurar y conservar los recursos hídricos de Valle Nuevo. El proyecto “Renaturalización y Conservación de los Recursos Hídricos del Parque Nacional Valle Nuevo, mediante la Investigación Hidromorfológica” propuesto por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, INDRHI, por intermedio del Centro para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos en los Estados Insulares del Caribe (CEHICA), inició formalmente sus actividades en el mes de Octubre 2018. El proyecto se ejecuta con el apoyo económico del Fondo Nacional de Innovación y Desarrollo Científico y Tecnológico, FONDOCYT, del Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología (MESCYT).

2. METODOLOGÍA

2.1 Área de investigación

La evaluación hidromorfológica se realizó en la cordillera central de la República Dominicana (Figura 1). Aquí se evaluaron las cuencas altas de tres sistemas fluviales: Río Grande, Río Las Cuevas y Río Nizao dentro del Parque Nacional Valle Nuevo.

La Cordillera Central, también llamada "Madre de las Aguas", concentra el mayor número de zonas productoras de agua de la República Dominicana. En esta región nacen 709 ríos, entre ellos el Yuna y el Yaque del Norte (Rodríguez y Barba 2009). El altiplano de Valle Nuevo, ubicado en el centro de la Cordillera con una superficie de aproximadamente 910 km² y una elevación máxima de 2856 m.s.n.m. se estima actualmente con un promedio de 2.000 milímetros de lluvia al año, lo que tipifica al altiplano como una de las principales reservas de agua del país (Cano et al. 2012, Cassá 2012, Izzo et al. 2021). Valle Nuevo (también llamado Parque Juan B. Pérez Rancier) pertenece al Sistema de Áreas Protegidas de la República Dominicana bajo la Categoría II: Parques Nacionales (Ley Sectorial de Áreas Protegidas, No. (202-04).

Sus ríos y arroyos garantizan la seguridad hídrica para los principales asentamientos humanos, para la producción de alimentos y para las presas más importantes del país. La región de Valle Nuevo ha sido afectada por las actividades humanas que explotan los bosques de montaña y ejercen enormes presiones sobre los arroyos de la zona (Martin et al. 2007, Martin et al. 2011). La explotación maderera, las actividades agrícolas, la ganadería y los incendios forestales han devastado decenas de miles de tareas forestales, y han modificado y secado hasta hoy cientos de arroyos que antes contenían abundantes cursos de agua (Kennedy y Horn 2008, Sherman et al. 2008).

Estos sistemas fluviales evaluados tienen una longitud total de 110 km, con Río Grande (36 km), Río Las Cuevas (31 km) y Río Nizao (43 km). Para la evaluación hidromorfológica, los arroyos fueron divididos en secciones estándar de 100 m de longitud y secciones ligeramente más largas en los extremos aguas arriba de los arroyos, de acuerdo con las especificaciones del método (véase más adelante). Así, se dispuso de un total de 1,088 secciones como base para la evaluación hidromorfológica (Río Grande: 330 secciones; Río Las Cuevas: 330 secciones; Río Nizao: 428 secciones).

2.2 Levantamiento de datos-inspección in situ, vuelos de drones e imágenes por satélite

La evaluación hidromorfológica mediante el método LAWA-OS se realiza originalmente mediante una inspección continua in situ de todo el cuerpo de agua estudiado. Este enfoque no es práctico en zonas como el Parque Nacional de Valle Nuevo debido a lo accidentado del terreno y a la densa vegetación. Por lo tanto, se desarrolló un enfoque que consiste en la cartografía in situ, los estudios con drones y el análisis de imágenes aéreas o por satélite.

En el enfoque combinado, la cartografía in situ se lleva a cabo en las secciones del arroyo que son fácilmente accesibles y representativas de las secciones adyacentes. Aguas arriba y aguas abajo de estas secciones accesibles, se utilizan drones para generar imágenes de alta resolución en forma de imágenes verticales y oblicuas.

Dependiendo del terreno y de la línea de visión del dron, es posible una cobertura de unos 2 km a partir del punto de lanzamiento del dron. Las zonas restantes, a las que no se puede acceder ni siquiera con drones, se procesan con imágenes aéreas o por satélite. Lo ideal es disponer de al menos una inspección in situ como punto de control para cada segmento más amplio de una corriente que se caracterice por un patrón relativamente uniforme de uso y cobertura del suelo.

2.3 Evaluación hidromorfológica

La evaluación hidromorfológica en este proyecto se llevó a cabo utilizando una versión adaptada del Método Alemán LAWA-OS (LAWA 2000, LAWA 2019). Las adaptaciones tuvieron lugar en parte en aplicaciones anteriores del método en regiones tropicales y subtropicales (Padilla et al. 2021, Birnbaum y Lamberty 2018).

El método original de evaluación in situ del Grupo de Trabajo Alemán sobre el Agua (método LAWA-OS) sirve como importante fuente de información para una amplia gama de cuestiones relacionadas con la gestión del agua. Especialmente desde la ratificación de la Directiva Marco del Agua (DMA) europea (CE 2000). 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).

Dentro del marco de evaluación del método LAWA-OS, las condiciones hidromorfológicas de los tramos de las corrientes de agua se evalúan en función de un conjunto de 25 parámetros únicos (SP) que consideran una amplia gama de características relevantes desde el punto de vista hidromorfológico, como la sinuosidad, la diversidad del sustrato, los procesos de erosión y el uso del suelo dentro de la llanura de inundación entre otros. La evaluación de estos parámetros se lleva a cabo mediante una inspección visual in situ. Los parámetros individuales se evalúan sobre la base de una comparación entre los estados reales de los parámetros y los estados de referencia predefinidos. Sobre la base de una escala de puntuación de siete pasos, la diferencia entre las condiciones reales y las condiciones naturales de referencia se clasifica para cada parámetro individual de no perturbado (Clase 1) a totalmente perturbado (Clase 7). (Meier et al. 2012).

De acuerdo con unas reglas de agregación predeterminadas basadas en un simple cálculo del valor medio, las puntuaciones de la evaluación de un solo parámetro se resumen en seis parámetros principales (MP) que dan lugar a valores decimales de un índice de puntuación de 1,0 a 7,0. A continuación, las puntuaciones del índice de parámetros principales se clasifican en la mencionada escala ordinal de siete pasos. Finalmente, las puntuaciones de los parámetros principales se combinan en compartimentos del arroyo (lecho del río, márgenes del río y llanura de inundación) y finalmente en una puntuación global para cada sección del arroyo, de nuevo mediante el cálculo del valor medio y la clasificación correspondiente (Kamp et al. 2007).

El método LAWA-OS se estudia con frecuencia en términos de descripciones detalladas del procedimiento (Kamp et al. 2007; Gellert et al. 2014), la identificación de los déficits hidromorfológicos (Feld 2004), las relaciones entre el estado hidromorfológico y ecológico (Böhmer et al. 2004; Hering et al. 2004; Kail y Hering 2009; Kail et al. 2009) y la aplicación de los resultados de la evaluación hidromorfológica para la planificación y el seguimiento de la restauración fluvial (Gellert et al. 2012; Haase et al. 2013; Meier et al. 2013; Pradilla et al. 2021). Resumiendo las publicaciones mencionadas sobre los puntos fuertes y débiles del método LAWA-OS, las siguientes características clave del método lo hacen especialmente adecuado para el proyecto descrito (Lamberty et al. 2016; Meier et al. 2013):

- a. El método LAWA-OS tiene un alto grado de estandarización. Esto hace que sea aplicable en una amplia variedad de entornos naturales y por evaluadores con diferentes antecedentes, lo que resulta en una alta comparabilidad de los resultados de la evaluación entre diferentes áreas de investigación y usuarios.
- b. En el método LAWA-OS, el estudio de las propiedades hidromorfológicas y el análisis de los potenciales y los déficits pueden llevarse a cabo de forma flexible en diferentes escalas espaciales y con la ayuda de diferentes métodos de detección (por ejemplo, inspección in situ, drones, interpretación de datos aéreos y satelitales).
- c. La metodología de evaluación está diseñada de tal manera que el número de parámetros de evaluación o el algoritmo de evaluación pueden adaptarse fácilmente a las condiciones naturales (por ejemplo, diferentes tipos de ríos, evaluabilidad de los parámetros) o a las condiciones socioeconómicas (por ejemplo, leyes, recursos, etc.).
- d. Una ventaja fundamental del método es la aplicabilidad directa de sus resultados de evaluación para la planificación o priorización de las medidas de rehabilitación. Debido al alto grado de estandarización (por ejemplo, valores numéricos para todos los parámetros de evaluación), los resultados pueden integrarse directamente en los procesos de planificación utilizando herramientas como los sistemas de información geográfica SIG.

Debido a estas características, el método LAWA-OS cumple con los aspectos fundamentales y necesarios formulados por Gurnell et al. (2016) para garantizar una robustez, aplicabilidad y relevancia sostenidas dentro de diferentes escenarios y adaptadas a las condiciones locales de la República Dominicana: asimilación de nuevas fuentes de datos (por ejemplo, drones, imágenes satelitales), procesabilidad de los resultados de la evaluación con algoritmos SIG y herramientas de modelado, y la necesidad de incorporar el método en una perspectiva científica multidisciplinaria y de involucrar a las partes interesadas. De este modo, el método LAWA-OS puede contribuir a resolver los problemas de rehabilitación de los ríos y aportar soluciones aceptadas por la sociedad dominicana. Sin embargo, dado que el método LAWA-OS fue desarrollado para el entorno natural de Alemania y el marco legal y

administrativo europeo, es necesario realizar adaptaciones para utilizarlo de manera eficiente e informativa en la República Dominicana. La versión adaptada del método LAWA-OS sigue de cerca el enfoque de procedimiento del método original, pero se ha modificado en lo que respecta a la robustez del método frente a los factores de sesgo (Meier 2016) y su aplicabilidad en regiones tropicales y subtropicales (Birnbäum y Lamberty 2018).

2.4 Adaptación-Tipología de arroyos y condiciones de referencia

Dado que no existe una tipificación hidromorfológica de ríos y arroyos para la República Dominicana, como por ejemplo los 25 tipos de cuerpos de agua de Alemania, la tipología del método adaptado se basa en tres tipos morfológicos básicos en función de la forma del plano y el entorno del valle: en forma de v, meándrico y trenzado. Esta tipología se basa en el concepto de la continuidad de la diversidad fluvial a lo largo de un perfil longitudinal hipotético, con controles asociados (Fryirs y Brierley 2012). Este concepto considera el espectro de la diversidad fluvial como uncontinuo que va desde la interfaz coluvial en la que los sedimentos comienzan a acumularse y el flujo se canaliza en los fondos de los valles hasta los márgenes costeros o los lagos interiores donde terminan los ríos.

- a. *Limitado* (forma de v): Este tipo describe arroyos en cabeceras de montaña. Debido a la estrechez de los valles en forma de v, el curso de las aguas de un solo canal es relativamente recto. Debido a los grandes gradientes, estas aguas se caracterizan por los procesos de erosión. Los sustratos predominantes son la roca madre y los materiales gruesos, como cantos rodados o piedras grandes.
- b. *Trenzado*: Este tipo es el que predomina en las zonas de transición entre colinas y llanuras entre las regiones montañosas y las tierras bajas fluviales. Los cursos fluviales, a menudo multicanal, se caracterizan por los procesos de erosión y deposición. A medida que los gradientes y las velocidades de flujo disminuyen, dominan los sustratos más finos, como la grava y la arena.
- c. *Meándrico*: Este tipo caracteriza las llanuras fluviales poco profundas y de gran extensión hasta la desembocadura en lagos o mares. Debido a la escasa pendiente y a las bajas velocidades de flujo, las aguas se encuentran en un estado

relativamente estable con procesos predominantemente deposicionales. El lecho está dominado por materiales finos como la arena y la arcilla.

La subdivisión de los arroyos en sólo tres tipos sin considerar los subtipos y los tipos transicionales se debe a la falta de datos sobre la diversidad hidromorfológica en la República Dominicana. Además, este primer borrador de un método adaptado para la evaluación hidromorfológica pretende ser ampliamente aplicable sin requerir conocimientos expertos en morfología fluvial.

2.5 Adaptación-Parámetros de evaluación

El método original LAWA-OS registra y evalúa el estado hidromorfológico mediante 25 parámetros individuales. Para una mejor aplicabilidad, el número de estos parámetros se redujo a 19 en el método adaptado (Tabla 1). Esta reducción se basa en las investigaciones relativas a la redundancia y la solidez de los parámetros individuales originales frente a las desviaciones entre los diferentes usuarios (sesgo inter-evaluador) (Meier 2016).

2.6 Adaptación - Esquema de clasificación

La escala de puntuación de siete pasos del método original de la LAWA-OS se redujo a una escala de cinco pasos de acuerdo con las convenciones y normas internacionales relativas a la clasificación de la calidad hidromorfológica (Tabla 2). La clase 1 corresponde a las condiciones de referencia naturales o casi naturales con disminución de la naturalidad o aumento de las presiones humanas hasta la clase 5. La puntuación global se representa como una línea de una sola banda, y las puntuaciones de los tres compartimentos se representan como una línea de cinco bandas que representan el lecho del río (banda interior), la orilla izquierda y derecha del río (bandas medias) y las puntuaciones de la llanura de inundación de dos lados (bandas exteriores). La figura 2 muestra un extracto de la hoja de inspección de campo como ejemplo de la evaluación del primer parámetro principal (desarrollo del cauce) y sus parámetros individuales, así como la agregación de los diferentes niveles para la evaluación global de una sección de río (véase también el apéndice I). El procedimiento de agregación se basa esencialmente en la media de las puntuaciones de los niveles de evaluación subordinados: parámetros individuales-parámetros principales-compartimentos de la corriente de agua-puntuación global.

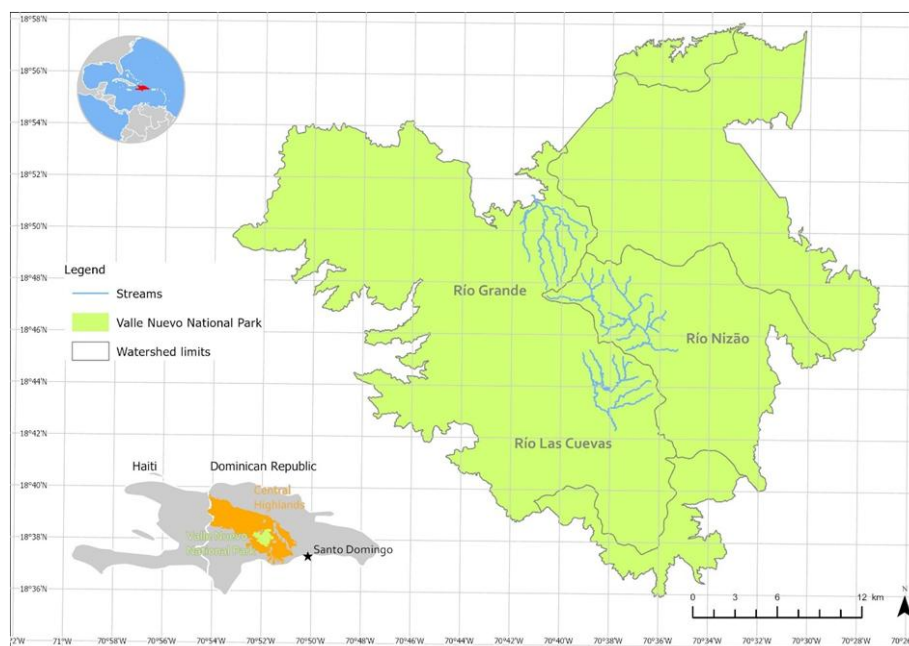


Figura 1. Las tres cuencas evaluadas del Río Grande, Río Las Cuevas y Río Nizao dentro del Parque Nacional de Valle Nuevo

Tabla 1 Diferentes niveles de evaluación del método LAWA-OS adaptado

Parámetro individual (SP)	Parámetro principal (MP)	Compartimiento de la corriente	Clase
1.1 Curvatura			
1.2 Erosión	1. Desarrollo del cauce		
1.3 Estructuras especiales del cauce			
2.1 Estructuras transversales			
2.2 Punte / tubería / alcantarilla	2. Perfil longitudinal	Lecho del río	
2.3 Diversidad del flujo			
2.4 Variación de profundidad			
4.1 Sustrato del lecho	4. Estructura del lecho		La agregación secuencial de los parámetros individuales, los parámetros principales y las puntuaciones de los compartimentos del arroyo en la clase final que representa la calidad hidromorfológica global de una sección del arroyo.
4.2 Protección del cauce			
4.3 Diversidad del sustrato			
3.1 Tipo de perfil	3. Perfil transversal		
3.2 Profundidad del perfil			
3.3 Variación del ancho			
5.1 Vegetación de ribera		Márgenes	
5.2 Protección de los márgenes	5. Estructura de los márgenes		
5.3 Características especiales de los márgenes			
6.1 Uso del suelo	6. Llanura de inundación	Zona ribereña	
6.2 Franjas de vegetación ribereña			
6.3 Estructuras negativas			

2.7 Identificación de las presiones hidromorfológicas y de las medidas

La derivación de las medidas de restauración y conservación se basa en el análisis descendente de los cuatro niveles de evaluación: puntuación global, compartimentos de la corriente, parámetros principales y parámetros individuales. La puntuación global proporciona una primera indicación de las presiones hidromorfológicas. Sin embargo, como la puntuación global es una agregación de niveles de evaluación subordinados, las presiones pueden quedar ocultas por el procedimiento de agregación múltiple. El análisis real de las presiones comienza en el nivel de los compartimentos del arroyo. Aquí, las clases de evaluación proporcionan información sobre si el lecho del río, las riberas o la zona terrestre

adyacente están modificados hidromorfológicamente (\geq clase 2). A continuación, se pueden rastrear e identificar los déficits específicos sobre la base de puntuaciones de los parámetros principales e individuales. En general, se puede deducir que las puntuaciones de clase 2 de los parámetros individuales representan sólo presiones menores que no suelen requerir ninguna medida. En estos casos, si a pesar de todo es necesario tomar medidas, la protección general de los cuerpos de agua mediante la instalación de vallas o el fomento de la dinámica del río puede dar lugar a mejoras hacia la clase 1. Las clases 3 a 5 representan presiones de moderadas a muy pronunciadas que requieren contramedidas adecuadas en función de la intensidad de la presión.

Tabla 2. Esquema de clasificación del método LAWA-OS adaptado

Índice	1.0 - 1.8	>1.8 - 2.6	>2.6 - 3.4	>3.4 - 4.2	>4.2
Clase	1	2	3	4	5
Descripción	alta	buna	moderada	Pobre	Mala
Estado Hidromorfológico	natural o casi natural	ligeramente modificado	moderadamente modificado	muy modificado	completamente modificado
Coloración (RGB)	0-0-255 (azul)	0-128-0 (verde)	255-255-0 (amarillo)	255-128-0 (naranja)	255-0-0 (rojo)

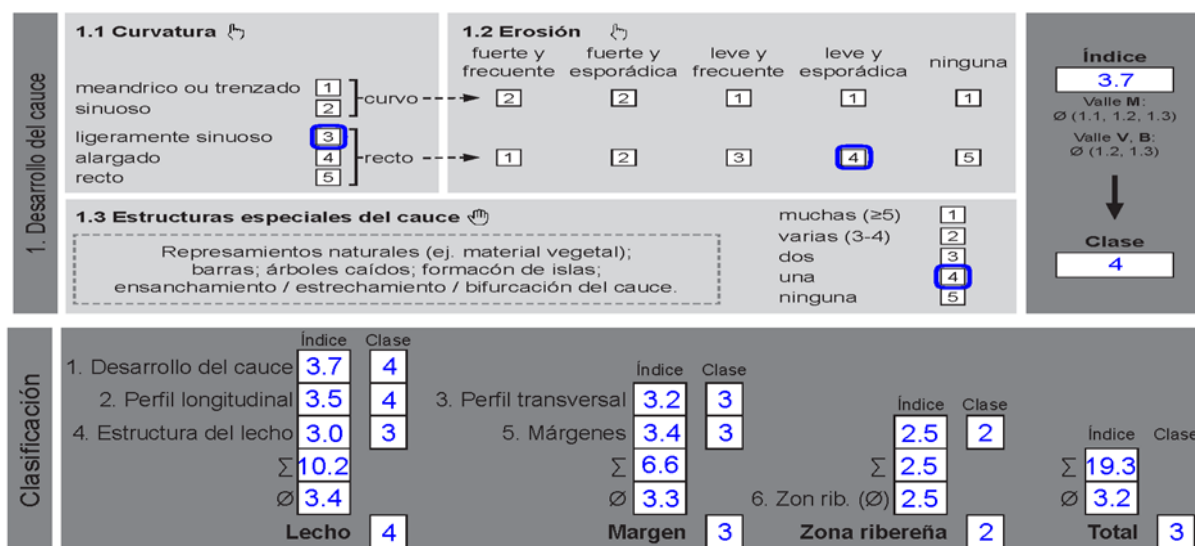











Figura 2. Extracto ejemplar de la hoja de encuesta (versión en español) que muestra los resultados de la evaluación del primer parámetro principal (desarrollo del cauce) (arriba) y la agregación de la puntuación de los parámetros individuales, los parámetros principales, los compartimentos del arroyo y la clase total (abajo) (véase también el Anexo II).

En la práctica, siempre es necesaria una evaluación detallada caso por caso hasta el nivel de los parámetros individuales para la planificación real y la aplicación de medidas concretas, teniendo en cuenta las condiciones y restricciones locales. La tabla 3

muestra las relaciones entre las presiones y las posibles contramedidas. En función de la situación concreta de la presión, son útiles las combinaciones de varias medidas.

Tabla 3 Relaciones entre las presiones hidromorfológicas y las medidas de restauración adecuadas. La "x" indica el efecto positivo de las medidas sobre los parámetros individuales y las presiones correspondientes.

Parámetros Individuales	Medidas de Restauración								
									
1.1 Curvatura					x	x	x		X
1.2 Erosión					x	x			X
1.3 Estructuras del cauce			x	x	x	x	x		X
2.1 Estructuras transversales	x								
2.2 Puente / tubería / alcantarilla		x							
2.3 Diversidad de flujo	(x)	(x)	x	x	x		x		X
2.4 Variación de Profundidad	(x)	(x)	x	x	x		x		X
4.1 Sustrato del lecho	(x)	(x)	x	x	x		x	X	X
4.2 Protección del lecho		(x)		x			x		
4.3 Diversidad del sustrato		(x)	x	x	x		x	X	X
3.1 Tipo de perfil					x	x	x		X
3.2 Profundidad del perfil						x	x		X
3.3 Variación del ancho					x	x	x		X
5.1 Vegetación ribereña						x	x	X	X
5.2 Protección	(x)	(x)				x	x		

de los márgenes									
5.3 Estructuras especiales de los márgenes					x	x	x	X	X
6.1 Uso del suelo								X	
6.2 Franjas de vegetación ribereña								X	
6.3 Estructuras negativas								X	
Rango (porcentaje agregado)	VIII (0,2)	VI (1,0)	II (5,6)	IX (0,2)	V (4,6)	VII (0,5)	III (5,0)	I (6,6)	IV (4,9)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Tipos de mapeo

La distribución de los tipos de mapeo por sistema fluvial varía con respecto a las condiciones dentro de las cuencas (Tabla 3 y Anexo III). En Río Grande, la accesibilidad a los cauces de agua es relativamente alta debido a varios cruces con carreteras y a una alta proporción de tierras agrícolas. Por lo tanto, la proporción de inspección in situ es relativamente alta (27 %). Las otras dos cuencas se encuentran en zonas mucho más inaccesibles del parque nacional. En consecuencia, las proporciones de inspección in situ son bajas aquí. En el Río Las Cuevas, una gran parte de los cauces de agua pudo ser cartografiada con la ayuda de vuelos de drones (68 %), mientras que la cartografía en el Río Nizao se basó principalmente en imágenes de satélite (67 %).

3.2 Evaluación hidromorfológica

Las tres cuencas muestran distribuciones de clases relativamente similares con respecto a la calidad hidromorfológica global y a la calidad de los tres compartimentos lecho del río, riberas y zona terrestre adyacente (Figura 3 y Anexo IV). Las clases 1 y 2 dominan en las tres cuencas y en todas las categorías de evaluación. Esta tendencia general de evaluación es positiva porque los sistemas hídricos se encuentran en una zona relativamente cercana a la naturaleza (Parque Nacional de Valle Nuevo).

Por otro lado, se observan diferencias significativas de evaluación, tanto entre las cuencas como entre los compartimentos del arroyo:

a) En cuanto a la valoración global, el Río Nizao tiene casi el doble de proporción de clase 1 (alta)

que las otras dos cuencas. Al mismo tiempo, la proporción de la clase 3 (moderada) para el Río Nizao es también significativamente mayor que para el Río Grande y el Río Las Cuevas. Así, la calidad hidromorfológica del Río Nizao es mucho más diferenciada que la de los otros dos sistemas.

- b) En cuanto al lecho del río, el Río Las Cuevas presenta resultados de evaluación significativamente mejores que los otros dos sistemas. Aunque la proporción de la clase 1 (alta) para el Río Las Cuevas es comparable a la del Río Nizao, el Río Nizao tiene proporciones significativamente mayores en la clase 3 (moderada) y 4 (pobre) que el Río Las Cuevas. Los cauces del Río Nizao y del Río Grande tienen incluso una proporción, aunque muy baja, de clase 5 (mala).
- c) Las riberas de los ríos son el compartimento con menor puntuación en los tres sistemas, con altos porcentajes de clase 3 y 4 (Río Grande) y porcentajes muy bajos de clase 1 (Río Las Cuevas y Río Nizao). Esto se debe a menudo a la falta de franjas ribereñas con sus arbustos y árboles de sombra.
- d) La zona terrestre adyacente tiende a ser el compartimento del arroyo mejor clasificado. Aquí, las clases 1 y 2 predominan claramente en las tres cuencas. A pesar de las zonas agrícolas aisladas en el parque nacional, la zona terrestre se caracteriza por una vegetación natural o casi natural, lo que tiene un efecto muy positivo en la calificación de la zona terrestre adyacente.

Los niveles más altos de evaluación (la puntuación global y de los compartimentos de las corrientes de agua) muestran relativamente proporciones bajas de secciones bajo presión hidromorfológica. Sin embargo, debido a la agregación de varios niveles de las evaluaciones, las presiones pueden quedar ocultas.

Por lo tanto, para la identificación de las presiones y la derivación de las medidas, es indispensable la consideración de los parámetros principales y especialmente de los parámetros individuales.

3.4 Presiones hidromorfológicas y medidas de restauración

En términos de su proporción en toda el área de investigación de los tres sistemas fluviales Río Grande, Río Las Cuevas y Río Nizao, las principales presiones hidromorfológicas son la falta de características especiales de los márgenes (40 %), la escasa variación de la anchura (32 %) la baja diversidad de caudales (28 %), los procesos de erosión no naturales (28 %), la baja curvatura (27 %), la insuficiente variación de la profundidad (27 %), así como la falta de franjas de protección ribereñas (26 %), de características del cauce (21 %) y de vegetación ribereña (19 %) (Tabla 5).

Otras presiones, como la escasa diversidad del sustrato (13 %), la excesiva profundidad del perfil (8 %), las estructuras terrestres perjudiciales (1 %), la protección de los márgenes (0.5 %) y la protección del lecho del río (0.2 %) sólo se dan de forma esporádica o no se dan (sustrato no natural del río). A pesar de su escaso número o proporción, las estructuras transversales (0.2 %) y los puentes/tuberías/alcantarillas (1 %) ocupan una posición especial en lo que respecta a su impacto

negativo en la integridad ecológica de los sistemas fluviales. Estas estructuras antropogénicas interrumpen la continuidad ecológica dentro de los arroyos y, por lo tanto, tienen un impacto en las secciones de los arroyos aguas arriba y aguas abajo mucho más allá de su ubicación real.

Las medidas de restauración apropiadas para contrarrestar las presiones mencionadas son la creación de franjas de protección ribereñas (rango I), la mejora de la diversidad del lecho fluvial (rango II), la restauración de la forma del plano (rango III) y el fomento o la iniciación de la dinámica intrínseca de las corrientes de agua (rangos IV y V). Estos tipos de medidas tienen varios efectos positivos en múltiples parámetros hidromorfológicos. Estas medidas son, en parte, redundantes y, en parte, se complementan entre sí.

En principio, las medidas que sólo interfieren mínimamente en la integridad del ecosistema, como el fomento o la iniciación de la dinámica, son preferibles a las medidas que también conllevan efectos negativos a través de las actividades de construcción (por ejemplo, la restauración de la forma del plano). Como se ha mencionado anteriormente, es necesario examinar en cada caso concreto qué combinación de medidas es más eficaz y eficiente.

Una combinación especialmente útil, por ejemplo, es la creación de una franja de protección ribereña junto con la iniciación de la dinámica del río o arroyo. Esto fomenta todos los compartimentos de la corriente de agua de forma muy poco invasiva, protege la masa de agua de los usos perjudiciales de la tierra y proporciona el sombreado necesario (Figura 4).

Tabla 4. Distribución de los tipos de cartografía por sistema fluvial

Tipo de mapeo	Proporción del tipo de mapeo (secciones [n], longitud [km], porcentaje [%])								
	Río Grande			Río Las Cuevas			Río Nizao		
Inspección in situ	88	9 km	27 %	12	1 km	4 %	34	4 km	8 %
Vuelos de Dron	159	18 km	48 %	223	21 km	68 %	151	15 km	35 %
Imágenes de satélite	83	9 km	25 %	95	9 km	28 %	243	24 km	67 %
Total	330	36 km	100 %	330	31 km	100 %	428	43 km	100 %

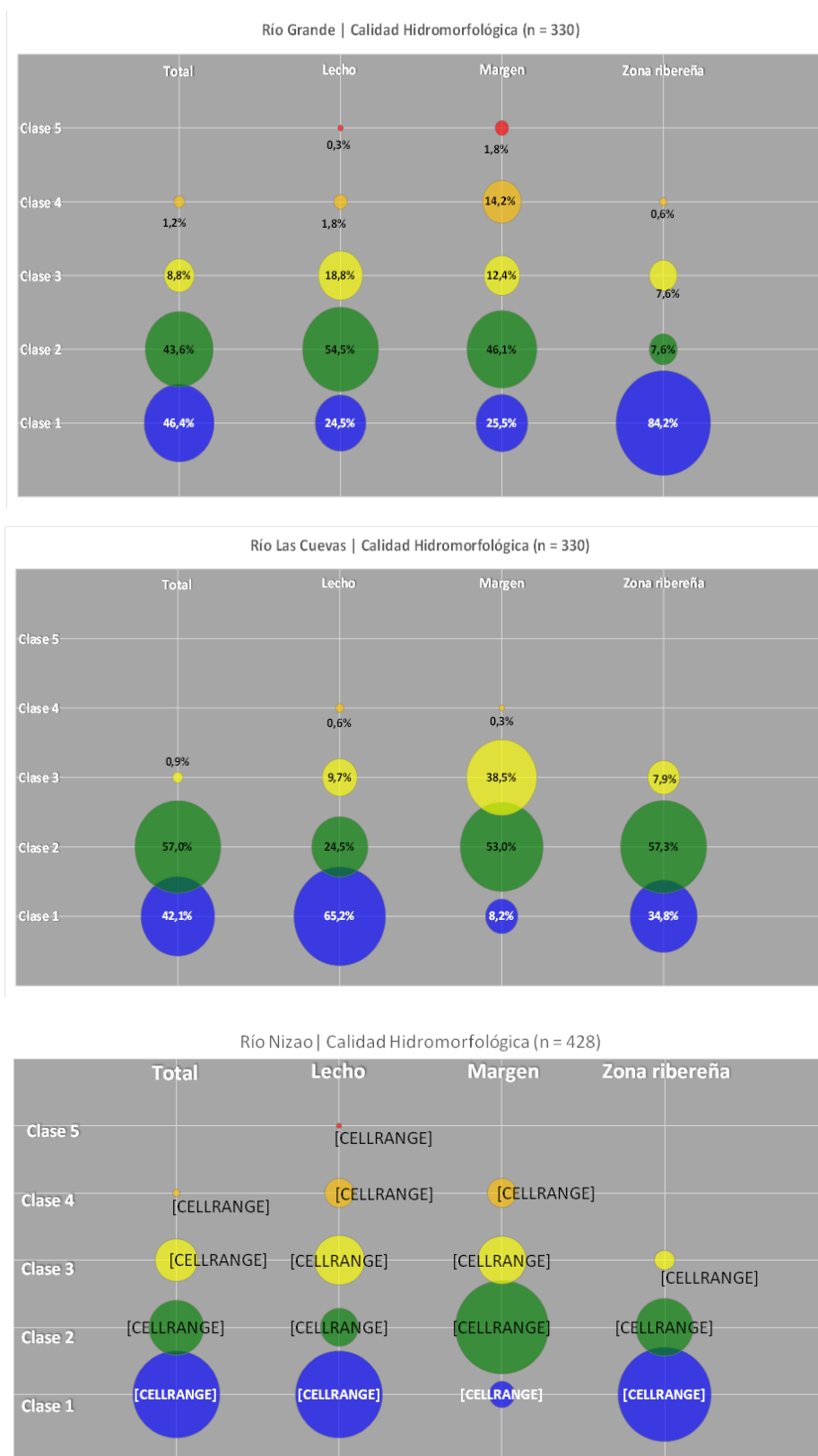


Figura 3. Calidad hidromorfológica del Río Grande (arriba), del Río Las Cuevas (centro) y del Río Nizao (abajo) - Distribución de clases para la calidad hidromorfológica global y la calidad de los compartimentos del arroyo lecho del río, márgenes del río y zona ribereña.



Figura 4. Situación típica de presión de un tramo de arroyo dentro de una zona semi-agrícola de Río Grande: falta de vegetación ribereña, ausencia de sombreado y mala calidad hidromorfológica del lecho y los márgenes.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES


















































La evaluación del estado hidromorfológico de los ríos y arroyos permite identificar las presiones antropogénicas y derivar medidas eficaces de protección y restauración. En este sentido, el proyecto evaluó la hidromorfología de las cabeceras de las cuencas de los ríos Grande, Las Cuevas y Nizao, dentro del Parque Nacional de Valle Nuevo, para identificar las presiones antropogénicas y establecer las prioridades para las medidas adecuadas. A partir de los resultados de la evaluación, se podrían derivar como medidas esenciales de protección y restauración: el abandono o la adaptación del uso agrícola, la creación de franjas ribereñas con bosques de ribera sombreados y el fomento del desarrollo autónomo mediante medidas iniciales. El procedimiento desarrollado para registrar y evaluar el estado hidromorfológico demostró ser un método eficaz para recoger resultados de evaluación fiables con un esfuerzo razonable. Para ello, se adaptó el procedimiento alemán (LAWA-OS) de evaluación hidromorfológica a las condiciones de la República Dominicana. Estas adaptaciones incluyen la definición de los tipos de corrientes morfológicas, la especificación de las condiciones naturales de referencia y la selección de los parámetros de evaluación pertinentes. La integración de las nuevas tecnologías garantizó la



























aplicabilidad y la practicidad del procedimiento cartográfico. Para un registro eficiente de las condiciones hidromorfológicas en el campo y el posterior procesamiento de los datos, el procedimiento de cartografía se implementó como una aplicación móvil. Con la ayuda de esta aplicación, varios usuarios pueden recoger simultáneamente datos sobre el terreno, que se introducen automáticamente en una base de datos central en línea y, por tanto, están disponibles directamente para su posterior procesamiento. Un reto importante en regiones montañosas relativamente vírgenes como el Parque Nacional de Valle Nuevo, con una topografía extrema y una vegetación densa, es la difícil accesibilidad a los cursos de agua. Por lo tanto, el mapeo in situ a menudo sólo es posible en algunos puntos, como las carreteras cercanas a los cursos de agua o las zonas de uso del suelo. Este problema pudo resolverse mediante el uso de drones y la evaluación de imágenes por satélite. Partiendo de los puntos accesibles, se podrían registrar tramos ascendentes y descendentes con la ayuda de drones. Las imágenes obtenidas (orto y oblicuas) y los panoramas de 360° derivados resultaron ser una buena base para un estudio basado en imágenes y la evaluación de las condiciones hidromorfológicas. Todas las demás zonas a las que no se pudo llegar ni siquiera con un

dron se cartografiaron utilizando imágenes aéreas y de satélite. Dado que estas zonas remotas se encuentran en su mayoría en condiciones prístinas y casi naturales, estaba justificado realizar una evaluación basada exclusivamente en imágenes, sin verificación in situ. Tanto en términos de contenido como de tecnología, el método desarrollado es muy adecuado para su uso en la República Dominicana para proporcionar una base de datos fiable para la planificación de medidas de protección y restauración de ríos y arroyos. Esto ha sido demostrado por la aplicación eficiente en un escenario relativamente natural y por lo tanto difícil como es el Parque Nacional Valle Nuevo.

Otras aplicaciones del método desarrollado serían especialmente interesantes en zonas agropecuarias, urbanas, industriales, mineras y lixiviados de desechos sólidos, donde las masas de agua están sometidas a presiones antropogénicas mucho mayores. Aquí, el método podría desplegar todo su potencial para el establecimiento de programas de medidas a gran escala para la protección y restauración de los ríos en la República Dominicana. Ponderamos fortalecer la aplicación de las leyes y normativas relacionadas con la protección de las cuencas hidrográficas del país.

Tabla 5. Relaciones entre las presiones hidromorfológicas y las medidas de restauración adecuadas. La "x" indica el efecto positivo de las medidas sobre los parámetros individuales y las presiones correspondientes. El rango de una medida indica su relevancia para eliminar las presiones existentes.

Parámetro	Presiones		Medidas de restauración									
	Clases	Presión (≥ clase 3)	 Restaurar continuidad	 Restaurar continuidad	 Mejorar lechero	 Quitar protección	 Iniciar dinámicas	 Quitar protección	 Restaurar forma plana	 Crear zona buffer	 Fomentar dinámica	
1.1			27									
Curvatura			%									
1.2			28									
Erosión			%									
1.3			21									
Estructuras del cauce			%									
2.1			0,2									
Estructuras transversales			%									
2.2			1									
Puente / tubería / alcantarilla			%									
2.3			28									
Diversidad de flujo			%									
2.4			27									
Variación de profundidad			%									
4.1			0									
Sustrato del lecho			%									
4.2			0,2									
Protección del lecho			%									
4.3			13									
Diversidad del sustrato			%									

3.1 Tipo de perfil		2 %									
3.2 Profundidad del perfil		8 %									
3.3 Variación del ancho		32 %									
5.1 Vegetación ribereña		19 %									
5.2 Protección de los márgenes		0,5 %									
5.3 Estructuras especiales de los márgenes		40 %									
6.1 Uso del suelo		6 %									
6.2 Franjas de vegetación ribereña		26 %									
6.3 Estructuras negativas		1 %									
Rango (porcentaje agregado)			VIII (0,2)	VI (1,0)	II (5,6)	IX (0,2)	V (4,6)	VII (0,5)	III (5,0)	I (6,6)	IV (4,9)

REFERENCIAS

- Bandini F, Sunding TP, Linde J, Smith O, Jensen IK, Köppl CJ, Butts M, Bauer-Gottwein P (2020) Unmanned Aerial System (UAS) observations of water surface elevation in a small stream: Comparison of radar altimetry, LIDAR and photogrammetry techniques. *Remote Sensing of Environment* 237. doi:10.1016/j.rse.2019.111487
- Belletti B, Rinaldi M, Buijse AD, Gurnell AM, Mosselman E (2014) A review of assessment methods for river hydromorphology. *Environmental Earth Sciences* 73 (5):2079-2100. doi:10.1007/s12665-014-3558-1
- Birk S, Chapman D, Carvalho L, Spears BM, Andersen HE, Argillier C, Auer S, Baattrup-Pedersen A, et al. (2020) Impacts of multiple stressors on freshwater biota across spatial scales and ecosystems. *Nat Ecol Evol* 4 (8):1060-1068. doi:10.1038/s41559-020-1216-4
- Birnbaum D, Lamberty G (2018) Applicability of the German Hydromorphological Assessment Approach to Tropical Rivers. – In: *Strategies and Tools for a Sustainable Rural Rio de Janeiro*. Nehren U, Schlüter S, Raedig C, Sattler D, Hissa H. Cham, Springer International Publishing: 173-189. (ISBN-10: 331989644X)
- Böhmer J, Rawer-Jost C, Zenker A, Meier C, Feld CK, Biss R, Hering D (2004) Assessing streams in Germany with benthic invertebrates: Development of a multimetric invertebrate based assessment system. *Limnologica* 34 (4):416-432. doi:10.1016/s0075-9511(04)80010-0
- Cano E, Cano-Ortiz A, Del Río González S, Alatorre Cobos J, Veloz A (2012) Bioclimatic map of the Dominican Republic. *Plant Sociolo* 49 (1):81-90. doi:10.7338/pls2012491/04

- Cassá C (2012) Valle Nuevo: El Parque Juan B. Pérez Rancier y su Altiplano. Archivo General de la Nación. Santo Domingo. D.N.
- 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
- Davy-Bowker J, Furse MT (2006) Hydromorphology - Major results and conclusions from the STAR project. *Hydrobiologia* 566 (1):263-265
- EC – European Commission (2000) Directive 2000/60/EC of the European Parliament and the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water. *Official Journal of the European Communities* 327:1-72
- England J, Gurnell AM (2016) Incorporating catchment to reach scale processes into hydromorphological assessment in the UK. *Water and Environment Journal* 30 (1-2):22-30. doi:10.1111/wej.12172
- Feld CK (2004) Identification and measure of hydromorphological degradation in Central European lowland streams. *Hydrobiologia* 516 (1-3):69-90. doi:10.1023/B:HYDR.0000025259.01054.f2
- Fernández D, Barquín J, Raven PJ (2011) A review of river habitat characterisation methods: Indices vs. characterisation protocols. *Limnetica* 30 (2):217-234
- Frissell CA, Liss WJ, Warren CE, Hurley MD (1986) A hierarchical framework for stream habitat classification: Viewing streams in a watershed context. *Environmental Management* 10 (2):199-214. doi:10.1007/bf01867358
- Fryirs KA, Brierley GJ (2012) *Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Gellert G, Behrens S, Raschke M (2012) The return of degraded stream ecosystems by using positive impacts from near-natural sections: A new practical guide for restorations. *Water and Environment Journal*. doi:10.1111/j.1747-6593.2012.00307.x
- 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. doi:10.1007/s10661-014-3623-y
- 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
- Haase P, Hering D, Jähnig SC, Lorenz AW, Sundermann A (2013) The impact of hydromorphological restoration on river ecological status: A comparison of fish, benthic invertebrates, and macrophytes. *Hydrobiologia* 704 (1):475-488. doi:10.1007/s10750-012-1255-1
- Hering D, Meier C, Rawer-Jost C, Feld CK, Biss R, Zenker A, Sundermann A, Lohse S, Böhmer J (2004) Assessing streams in Germany with benthic invertebrates: Selection of candidate metrics. *Limnologia* 34 (4):398-415. doi:10.1016/s0075-9511(04)80009-4
- Izzo M, Aucelli PPC, Maratea A (2021) Historical trends of rain and air temperature in the Dominican Republic. *Int J Climatol* 41 (S1):E563-E581. doi:10.1002/joc.6710
- Kail J, Hering D (2009) The influence of adjacent stream reaches on the local ecological status of central European mountain streams. *River Research and Applications* 25 (5):537-550. doi:10.1002/rra.1238
- Kail J, Jähnig SC, Hering D (2009) Relation between floodplain land use and river hydromorphology on different spatial scales - a case study from two lower-mountain catchments in Germany. *Fundamental and Applied Limnology* 174 (1):63-73. doi:10.1127/1863-9135/2009/0174-0063
- Kamp U, Binder W, Hölzl K (2007) River habitat monitoring and assessment in Germany. *Environmental Monitoring and Assessment* 127 (1):209-226. doi:10.1007/s10661-006-9274-x

- Kennedy LM, Horn SP (2008) Postfire vegetation recovery in highland pine forests of the dominican republic. *Biotropica* 40 (4):412-421. doi:10.1111/j.1744-7429.2007.00394.x
- Kondolf GM, Piégay H (2005) *Tools in Fluvial Geomorphology*. John Wiley & Sons.
- Lamberty G, Zumbroich T, Ribbe L, Souvignet M (2016) Quantifying bias in hydromorphological monitoring: an evaluation of the German LAWA-OS method. *Environmental Earth Sciences* 75(22) (22):1-17. doi:10.1007/s12665-016-6241-x
- Langhammer J (2019) UAV monitoring of stream restorations. *Hydrology* 6 (2). doi:10.3390/hydrology6020029
- Langhans SD, Lienert J, Schuwirth N, Reichert P (2013) How to make river assessments comparable: A demonstration for hydromorphology. *Ecological Indicators* 32:264-275. doi:10.1016/j.envsoft.2013.01.017
- Latsiou A, Kouvarda T, Stefanidis K, Papaioannou G, Gritzalis K, Dimitriou E (2021) Pressures and status of the riparian vegetation in greek rivers: Overview and preliminary assessment. *Hydrology* 8 (1). doi:10.3390/hydrology8010055
- 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).
- Martin PH, Fahey TJ, Sherman RE (2011) Vegetation zonation in a neotropical montane forest: Environment, disturbance and ecotones. *Biotropica* 43 (5):533-543. doi:10.1111/j.1744-7429.2010.00735.x
- Martin PH, Sherman RE, Fahey TJ (2007) Tropical montane forest ecotones: Climate gradients, natural disturbance, and vegetation zonation in the Cordillera Central, Dominican Republic. *J Biogeogr* 34 (10):1792-1806. doi:10.1111/j.1365-2699.2007.01726.x
- Maasri A, Jähnig SC, Adamescu MC, Adrian R, Baigun C, Baird DJ, Batista-Morales A, Bonada N, et al. (2021) A global agenda for advancing freshwater biodiversity research. *Ecol Lett*. doi:10.1111/ele.13931
- Meier G, Zumbroich T, Roehrig J (2013) Hydromorphological assessment as a tool for river basin management: The German field survey method. *Journal of Natural Resources and Development* 3:14-26. doi:10.5027/jnrd.v3i0.02
- Meier G, Zumbroich T, Roehrig J, Souvignet M (2012) Application of the radiating effect concept to implement measures stipulated by the European Water Framework Directive. *Water Science and Technology* 66 (12):2793-2799. doi:10.2166/wst.2012.532
- Meier G. (2016) *Bewertungsrobustheit der Gewässerstrukturkartierung nach dem Deutschen Vor-Ort-Verfahren (Rating robustness of hydromorphological assessment according to the German on-site method)*, Bonn University - Department of Geography (Dissertation), 235 pp. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:5n-44240>
- Newson MD, Clark MJ, Sear DA, Brookes A (1998) The geomorphological basis for classifying rivers. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 8 (4):415-430. doi:10.1002/(sici)1099-0755(199807/08)8:4<415::aid-aqc276>3.0.co;2-6
- Orr HG, Large ARG, Newson MD, Walsh CL (2008) A predictive typology for characterising hydromorphology. *Geomorphology* 100 (1-2):32-40. doi:10.1016/j.geomorph.2007.10.022
- Padilla G, Lamberty G, Hamhaber J (2021) Hydromorphological and socio-cultural assessment of urban rivers to promote nature-based solutions in Jarabacoa, Dominican Republic. *Ambio* 50, 1414–1430. doi:10.1007/s13280-021-01565-3

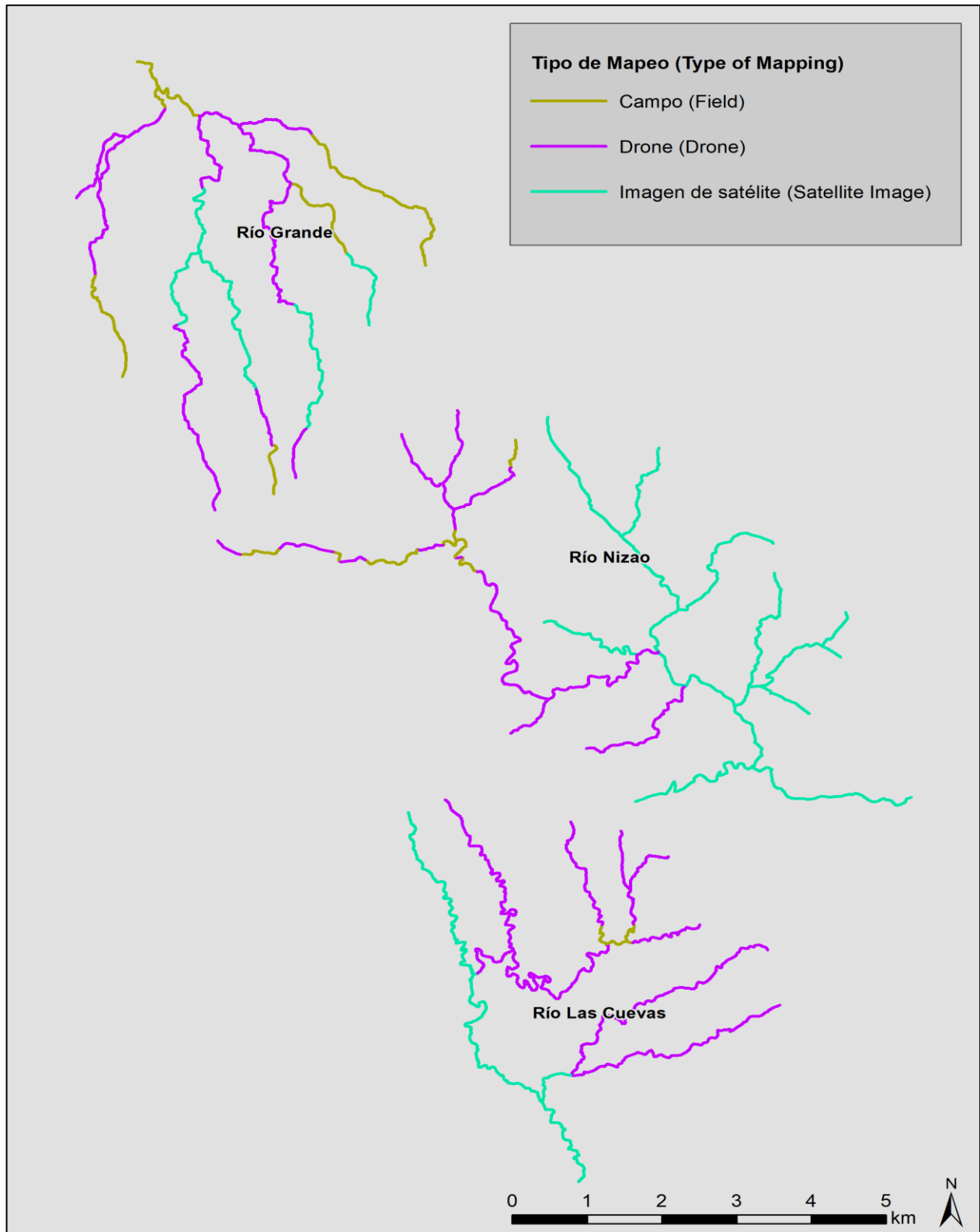
- Pardo I, Gómez-Rodríguez C, Wasson JG, Owen R, van de Bund W, Kelly M, Bennett C, Birk S, Buffagni A, Erba S, Mengin N, Murray-Bligh J, Ofenböeck G (2012) The European reference condition concept: A scientific and technical approach to identify minimally-impacted river ecosystems. *Science of the Total Environment* 420:33-42. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.01.026
- 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
- Rhee DS, Kim YD, Kang B, Kim D (2018) Applications of unmanned aerial vehicles in fluvial remote sensing: An overview of recent achievements. *KSCE J Civ Eng* 22 (2):588-602. doi:10.1007/s12205-017-1862-5
- Rinaldi M, Gurnell AM, del Tánago MG, Bussettini M, Hendriks D (2016) Classification of river morphology and hydrology to support management and restoration. *Aquatic Sciences* 78 (1):17-33. doi:10.1007/s00027-015-0438-z
- Rodriguez M, Barba D (2009) The hispaniola fluvial system and its morphostructural context. *Phys Geogr* 30 (5):453-478. doi:10.2747/0272-3646.30.5.453
- Scheifhacken N, Haase U, Gram-Radu L, Kozovyi R, Berendonk TU (2012) How to assess hydromorphology? A comparison of Ukrainian and German approaches. *Environmental Earth Sciences* 65 (5):1483-1499. doi:10.1007/s12665-011-1218-2
- Sheffield J, Wood EF, Pan M, Beck H, Coccia G, Serrat-Capdevila A, Verbist K (2018) Satellite Remote Sensing for Water Resources Management: Potential for Supporting Sustainable Development in Data-Poor Regions. *Water Resources Research* 54 (12):9724-9758. doi:10.1029/2017WR022437
- Sherman RE, Martin PH, Fahey TJ, Degloria SD (2008) Fire and vegetation dynamics in high-elevation neotropical montane forests of the Dominican Republic. *Ambio* 37 (7-8):535-541. doi:10.1579/0044-7447-37.7.535
- Tiegs SD, Costello DM, Isken MW, Woodward G, McIntyre PB, Gessner MO, Chauvet E, Griffiths NA, et al. (2019) Global patterns and drivers of ecosystem functioning in rivers and riparian zones. *Sci Adv* 5 (1). doi:10.1126/sciadv.aav0486
- Tomsett C, Leyland J (2019) Remote sensing of river corridors: A review of current trends and future directions. *River Research and Applications*. doi:10.1002/rra.3479
- Woodget AS, Austrums R, Maddock IP, Habit E (2017) Drones and digital photogrammetry: from classifications to continuums for monitoring river habitat and hydromorphology. *WIREs Water* 4 (4):e1222. doi:10.1002/wat2.122

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

Anexo I - Distribución de los tipos de mapeo



Anexo II - Resultados de la evaluación hidromorfológica

