

Impactos urbanos en la funcionalidad fluvial: ríos semiáridos de América y Europa

Aylet Vega-Aguilar 

Universidad Autónoma de Nuevo León
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México

Universidad de Zaragoza
Zaragoza, Aragón, España

aylet.vegaglr@uanl.edu.mx

Alfredo Ollero Ojeda 

Universidad de Zaragoza
Zaragoza, Aragón, España

aollero@unizar.es

Fabiola Doracely Yépez-Rincón 

Universidad Autónoma de Nuevo León
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México

fabiola.yepezn@uanl.edu.mx

Kevin David Rodríguez González 

Universidad Autónoma de Nuevo León
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México

krodriguezge@uanl.edu.mx

Daniel Salas Limón 

Universidad Autónoma de Nuevo León
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México

daniel.salaslm@uanl.edu.mx

RESUMEN

Los ríos urbanos presentan profundas alteraciones en su dinámica hidrológica y geomorfológica como consecuencia de la expansión urbana, la ocupación de llanuras de inundación y la construcción de infraestructura. Este estudio evalúa la calidad hidrogeomorfológica de dos ríos urbanos de regiones semiáridas de América (México) y Europa (España), mediante el Índice Hidrogeomorfológico. La metodología integra análisis espacial, trabajo de campo, datos hidrológicos históricos y la delimitación de tramos funcionales. Los resultados revelan un marcado contraste entre los tramos urbanos y periurbanos, donde los primeros presentan los valores más bajos de calidad hidrogeomorfológica, asociados a la fragmentación del cauce, la alteración de los regímenes de caudal y la degradación del corredor ripario. Con base en el diagnóstico realizado, se discuten las implicaciones para la gestión y mejora de los ríos urbanos, a través de un conjunto de medidas orientadas a la recuperación funcional y a la mejora de la resiliencia socioambiental.

PALABRAS CLAVE: ríos urbanos; geomorfología fluvial; cuencas semiáridas.

INTRODUCCIÓN

Los ríos constituyen sistemas naturales altamente dinámicos que desempeñan un papel estructurante en la organización territorial, la regulación hidrológica y la conectividad ecológica en una cuenca. Su funcionamiento integra procesos de transporte de agua, sedimentos y nutrientes desde la cabecera hasta los sistemas receptores, articulando interacciones entre relieve, clima, vegetación y usos del suelo. En este sentido, la cuenca hidrográfica se reconoce ampliamente como la unidad funcional y espacial más adecuada para el análisis de los sistemas fluviales, permitiendo la integración entre procesos físicos y presiones antrópicas (He & James 2021).

Esta funcionalidad natural se ve alterada por la expansión de la mancha urbana, la ocupación de la llanura de inundación, la regulación de caudales y la construcción de infraestructuras. Estas intervenciones modifican la conectividad longitudinal, lateral y vertical del sistema fluvial, reducen su capacidad de autorregulación e incrementan su vulnerabilidad. Además, la pérdida de espacio fluvial, la desconexión de las llanuras de inundación y los cambios en la movilidad sedimentaria pueden aumentar la susceptibilidad del sistema frente a inundaciones, procesos erosivos e inestabilidad de las márgenes. En conjunto, la artificialización de los cauces urbanos conduce a la simplificación morfológica, la fragmentación del corredor ribereño y la alteración de la dinámica hidrosedimentaria (Martínez, 2021; Pirchi et al., 2023; Ollero et al., 2024).

En regiones semiáridas, esta problemática adquiere una dimensión adicional. La variabilidad interanual de las precipitaciones (do Nascimento and Vale, 2019), los eventos torrenciales concentrados y la fragilidad edáfica y vegetal incrementan la sensibilidad de los sistemas fluviales frente a las transformaciones territoriales. Bajo este paradigma, la pérdida de cobertura riparia y la alteración de la dinámica del cauce pueden intensificar procesos de erosión y desequilibrios morfodinámicos (Sobrinho & Falcão, 2013). La combinación entre variabilidad climática natural y presión urbana convierte a los ríos semiáridos en sistemas particularmente vulnerables.

La geomorfología fluvial ha adquirido un papel central en la evaluación y gestión de estos sistemas, al proporcionar herramientas para interpretar la relación entre formas, procesos y presiones antrópicas. En este marco, la evaluación de la calidad hidrogeomorfológica se ha consolidado como un instrumento clave para diagnosticar el estado funcional de los ríos, identificar procesos de degradación y establecer prioridades de restauración (Ollero et

al., 2011; Segura-Beltrán; Ollero, 2021). Entre los instrumentos disponibles, el Índice HidroGeomorfológico (IHG) destaca por su enfoque integrador, al evaluar el régimen hidrológico, la dinámica sedimentaria, la morfología del cauce y el estado del corredor ribereño.

Si bien el IHG ha sido aplicado en diversos contextos europeos y latinoamericanos, los estudios comparativos entre ríos urbanos de regiones semiáridas situadas en distintos continentes siguen siendo escasos. La comparación América-Europa permite identificar patrones convergentes de alteración fluvial asociados a la urbanización, así como diferencias derivadas de las estrategias de gestión y las condiciones hidrológicas regionales. Este enfoque comparativo no solo amplía la base empírica, sino que también favorece la transferibilidad de metodologías y criterios de restauración.

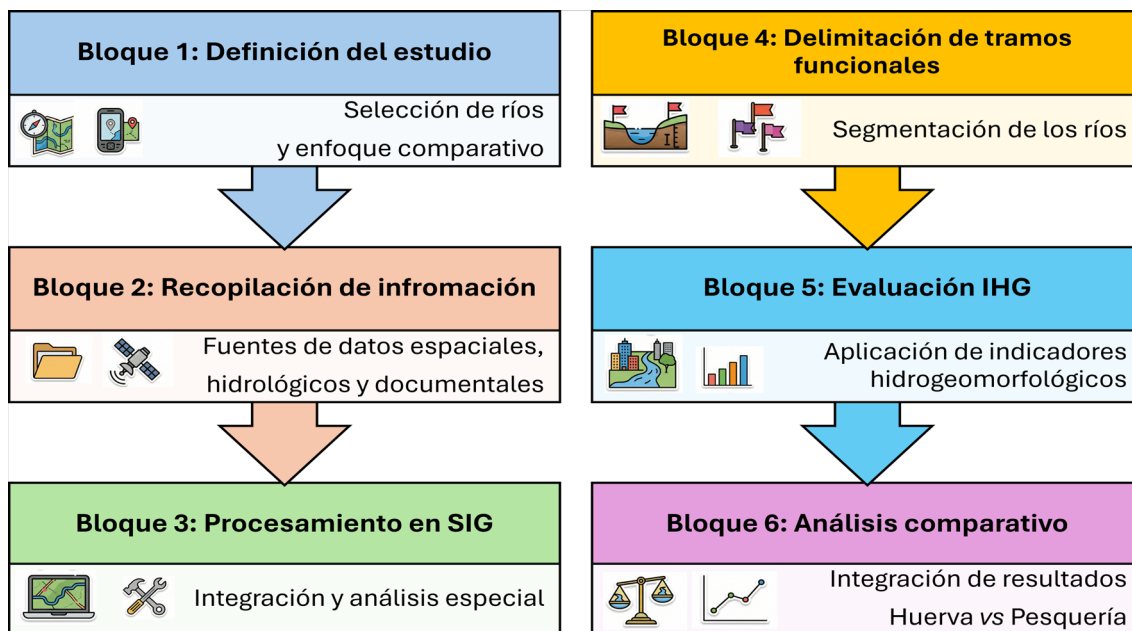
Los ríos Pesquería y Huerva, además de localizarse en regiones semiáridas, ambos presentan alteraciones antrópicas del régimen de caudales y están sometidos a presiones asociadas con infraestructuras, ocupación de riberas y reducción del espacio fluvial. Estas similitudes permiten aplicar un mismo marco diagnóstico y comparar la respuesta hidrogeomorfológica frente a la presión urbana, sin asumir una equivalencia completa entre sus condiciones naturales o institucionales. A partir de estas consideraciones, el objetivo de este trabajo es evaluar y comparar su calidad hidrogeomorfológica mediante el IHG, identificando las principales presiones e impactos asociados a la urbanización y sus implicaciones para la gestión ambiental.

METODOLOGÍA

Enfoque metodológico general

Este estudio adopta un enfoque comparativo y aplicado, basado en la evaluación de la calidad hidrogeomorfológica de ríos urbanos mediante el Índice HidroGeomorfológico. La metodología combina análisis espacial, imágenes aéreas, revisión de información hidrológica y trabajo de campo (Figura 1). El IHG se utiliza como herramienta de diagnóstico, dada su capacidad para integrar componentes hidrológicos, geomorfológicos y ribereños, así como para identificar alteraciones funcionales relacionadas con una mayor susceptibilidad frente a determinados procesos de riesgo. Su aplicación no constituye una evaluación formal del riesgo, sino una valoración del estado y funcionamiento del sistema fluvial (Ollero et al., 2011; Pirchi et al., 2023).

Figura 1 - Esquema metodológico simplificado para la evaluación hidrogeomorfológica mediante el índice IHG en los ríos Pesquería (México) y Huerva (España)



Áreas de estudio

La metodología se aplicó a dos ríos urbanos localizados en regiones semiáridas: el Pesquería, en México, y el Huerva, en España. Ambos atraviesan sectores periurbanos y urbanos, presentan regímenes hidrológicos modificados y están sometidos a presiones asociadas con infraestructuras, ocupación de las riberas y reducción del espacio fluvial. Aunque difieren en escala, configuración fisiográfica, litología y posición dentro de la red hidrográfica, estas diferencias permiten contrastar la respuesta hidrogeomorfológica de sistemas sometidos a presiones urbanas comparables.

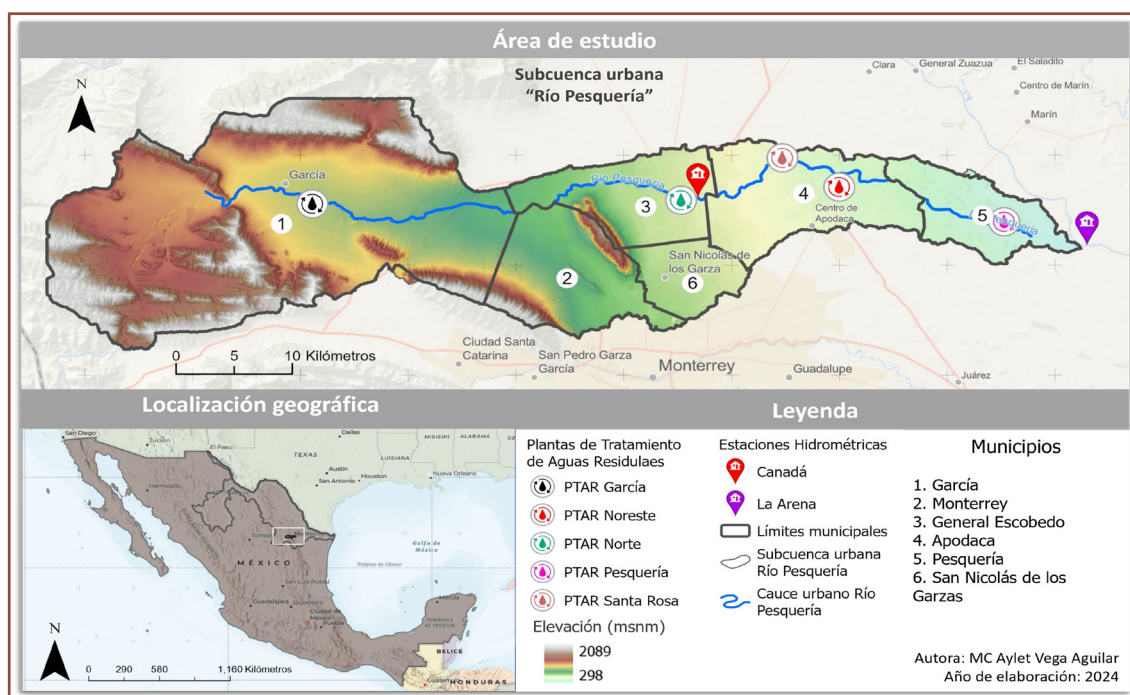
Río Pesquería (México)

El río Pesquería se ubica en el estado de Nuevo León, dentro de la región hidrológica Bravo-Conchos, al noreste de México (Figura 2). Esta zona se caracteriza por una alta densidad poblacional, al ser la segunda área metropolitana más poblada de México (Gaxiola-Beltrán et al., 2021). También es considerada el epicentro industrial – económico de México (Mora et al., 2017).

La subcuenca urbana tiene una superficie aproximada de 912 km² y un cauce principal aproximado de 80 km que atraviesa el Área Metropolitana de Monterrey (AMM) de oeste a este (Castro-López et al., 2019). La región presenta un clima semiárido, caracterizado por baja precipitación y marcada

variabilidad climática (Magaña et al., 2021). Según datos de la carta geológica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI), la mayor parte de la superficie de la zona corresponde a materiales sedimentarios mesozoicos y en segundo lugar a suelos modernos y depósitos superficiales. Esta predominancia de materiales sedimentarios y suelos poco consolidados condiciona la dinámica hidrológica de la subcuenca urbana. La zona se ubica entre dos grandes provincias fisiográficas (Sierra Madre Oriental y Llanura Costera del Golfo Norte) generando un contraste entre zonas montañosas de alta pendiente y llanuras aluviales, lo que explica los procesos de escurrimiento rápido durante tormentas.

Figura 2 – Ubicación de la subcuenca urbana del río Pesquería (Cuenca del río Bravo, México)

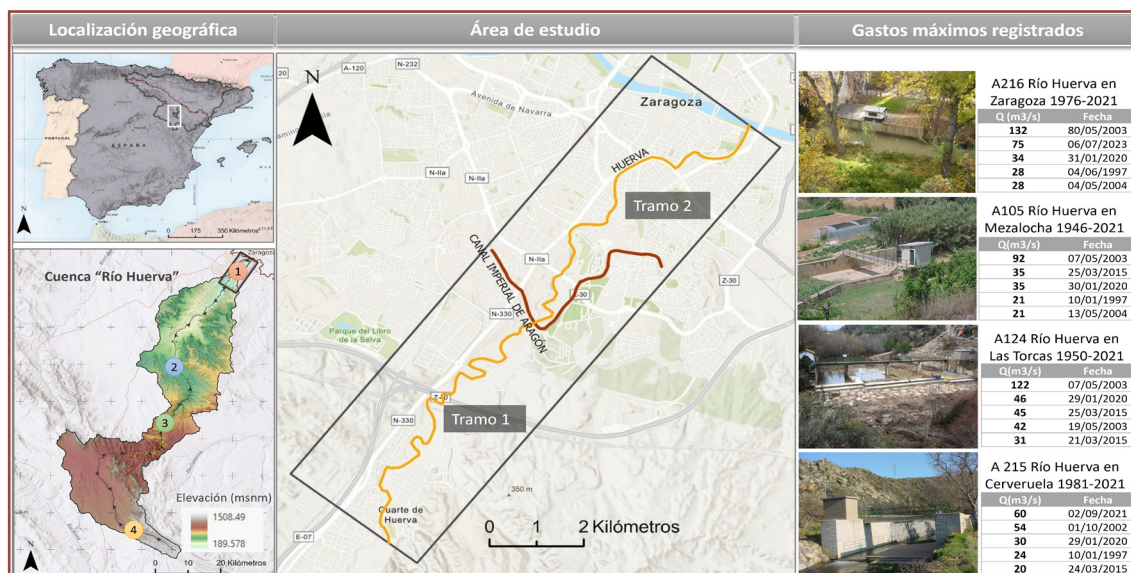


Río Huerva (España)

El río Huerva es un afluente de la margen derecha del río Ebro situado en el noreste de la península Ibérica (Figura 3). Tiene una cuenca hidrográfica de aproximadamente 1170 km² y una longitud de casi 150 km, desde su nacimiento en la Sierra de Cucalón hasta su desembocadura en Zaragoza (Lázaro & Navarro 2011). Su caudal está regulado por los embalses de Mezalocha y Las Torcas, y presenta una importante alteración en su tramo urbano, ya que ha sido parcialmente encauzado y cubierto. La combinación de regulación hidráulica, aportaciones artificiales de caudal y una intensa

urbanización lo convierte en un ejemplo de río urbano mediterráneo (Hanna et al., 2023).

Figura 3 – Localización del área de estudio y las estaciones de aforo dentro de la cuenca del río Huerva (Cuenca del río Ebro, España). Elaboración propia



En su curso bajo atraviesa el sector central de la depresión del Ebro, donde ha excavado un valle sobre materiales miocenos compuestos principalmente por yesos, arcillas y areniscas, litologías fácilmente erosionables que favorecen el desarrollo de una densa red de barrancos afluentes. El relieve del valle está condicionado por dos grandes plataformas estructurales calcáreas, La Muela y La Plana, que dominan topográficamente el fondo aluvial del río. La evolución geomorfológica del valle está marcada por procesos de erosión y sedimentación durante el Holoceno, asociados tanto a cambios climáticos como a la acción antrópica sobre el territorio (Peña et al., 2004).

El clima de la región es semiárido, con precipitaciones medias anuales entre 320 y 350 mm y un elevado déficit hídrico. Estas condiciones climáticas, junto con la fragilidad de los materiales yesíferos y la degradación de la cubierta vegetal, favorecen una elevada actividad erosiva y una notable dinámica geomorfológica en el sistema fluvial (Peña, et al., 2004).

Fuentes de información y técnicas de análisis

El análisis se realizó mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitiendo integrar información espacial, hidrológica y geomorfológica (Tabla 1). Para el río Pesquería los datos LiDAR permitieron analizar a detalle la morfología del cauce, la ocupación de la llanura de inundación y las altera-

ciones del corredor ribereño. En el caso del río Huerva, el análisis espacial se apoyó en imágenes aéreas, complementando con trabajo de campo. El análisis hidrológico se basó en registros históricos de estaciones de aforo. Para el río Pesquería se utilizaron datos de las estaciones El Canadá (1974–1993) y La Arena (1962–1992), por representar condiciones cercanas al régimen natural. Para el río Huerva se emplearon datos de estaciones gestionadas por el SAIH-Ebro, que permiten caracterizar el régimen de caudales regulado tras la construcción de embalses.

Tabla 1. Fuentes de información utilizadas en la evaluación hidrogeomorfológica. Elaboración propia

Tipo de información	Fuente	Resolución / periodo	Río	Uso principal
Modelo Digital de Elevación	Datos LiDAR 2023	0,06 m	Pesquería	Identificación de morfología del cauce, llanura de inundación y alteraciones geomorfológicas
Ortoimágenes de alta resolución	LiDAR 2023	Alta resolución	Pesquería	Delimitación de tramos funcionales y análisis de ocupación de riberas
Imágenes satelitales	Google Earth	Multitemporal	Huerva / Pesquería	Identificación de cambios morfológicos y presiones antrópicas
Imágenes a nivel de calle	Google Street View	Multitemporal	Huerva / Pesquería	Verificación de estructuras hidráulicas y estado de riberas
Trabajo de campo	Campañas 2023–2025	Observación directa	Huerva / Pesquería	Validación de información espacial y caracterización hidrogeomorfológica
Series hidrológicas históricas	CONAGUA	1962–1993	Pesquería	Análisis del régimen hidrológico natural
Series hidrológicas históricas	SAIH-Ebro. Estaciones A215, A124, A105, A216	Series disponibles	Huerva	Caracterización del régimen hidrológico regulado
Bibliografía científica	Literatura especializada	—	Huerva / Pesquería	Contextualización metodológica

Índice Hidrogeomorfológico (IHG)

El Índice HidroGeomorfológico (IHG) desarrollado por Ollero et al. (2011) evalúa la calidad hidrogeomorfológica de ríos y arroyos, para diagnosticar su estado funcional y apoyar la gestión y restauración fluvial. El índice se estructura en tres bloques principales (Tabla 2). Cada bloque se compone de tres parámetros, totalizando nueve elementos evaluativos.

La asignación de puntuaciones se realiza en una escala de 0 a 10, donde los valores más bajos representan una alteración severa y los más altos indican condiciones cercanas a la naturalidad (Tabla 3). El resultado final puede

expresarse de forma parcial (por bloques) o integrada, proporcionando una valoración global del estado hidrogeomorfológico del tramo analizado.

Tabla 2 – Indicadores y parámetros de evaluación (Ollero et al., 2011)

Indicadores de calidad		Parámetros	
I	Calidad funcional del sistema - CFS	A	Naturalidad del régimen de caudal
		B	Disponibilidad y movilidad de sedimentos
		C	Funcionalidad de la llanura de inundación
II	Calidad del cauce CC	D	Naturalidad del trazado y de la morfología en planta
		E	Continuidad y naturalidad del lecho, de los procesos longitudinales y verticales
		F	Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral
III	Calidad de las riberas CR	G	Continuidad longitudinal
		H	Anchura del corredor ribereño
		I	Estructura, naturalidad y conectividad transversal

Para controlar la subjetividad asociada a la aplicación del IHG, un segundo evaluador asignó de manera independiente las puntuaciones en los tramos analizados. Se utilizan las mismas fichas y evidencias cartográficas, hidrológicas y de campo. La concordancia de las 72 puntuaciones pareadas se evalúa mediante el coeficiente Kappa ponderado lineal de Cohen. Las diferencias fueron revisadas posteriormente para establecer las puntuaciones definitivas por consenso.

Tabla 3 – Escala colorimétrica e intervalo de puntuación para la valoración del IHG. Elaboración propia

Calidad	Muy mala	Deficiente	Moderada	Buena	Muy buena
Puntuación de indicadores	0-6	7-13	14-19	20-24	25-30
Puntuación Total IHG	0-20	21-41	42-59	60-74	75-90

Delimitación de tramos funcionales

Ambos ríos fueron divididos en tramos funcionales, entendidos como sectores longitudinales con condiciones relativamente homogéneas desde el punto de vista hidrogeomorfológico y de presión antrópica (Ollero et al., 2011; Rinaldi et al., 2013; Gurnell et al., 2016). La delimitación se realizó mediante la integración de la pendiente longitudinal, el índice de sinuosidad, la configuración del valle y del cauce; el contexto territorial dominante, el grado de urbanización y ocupación de las riberas; la presencia de infraestructura transversal y las discontinuidades hidrológicas, como confluencias, canales, derivaciones y efluentes de plantas de tratamiento.

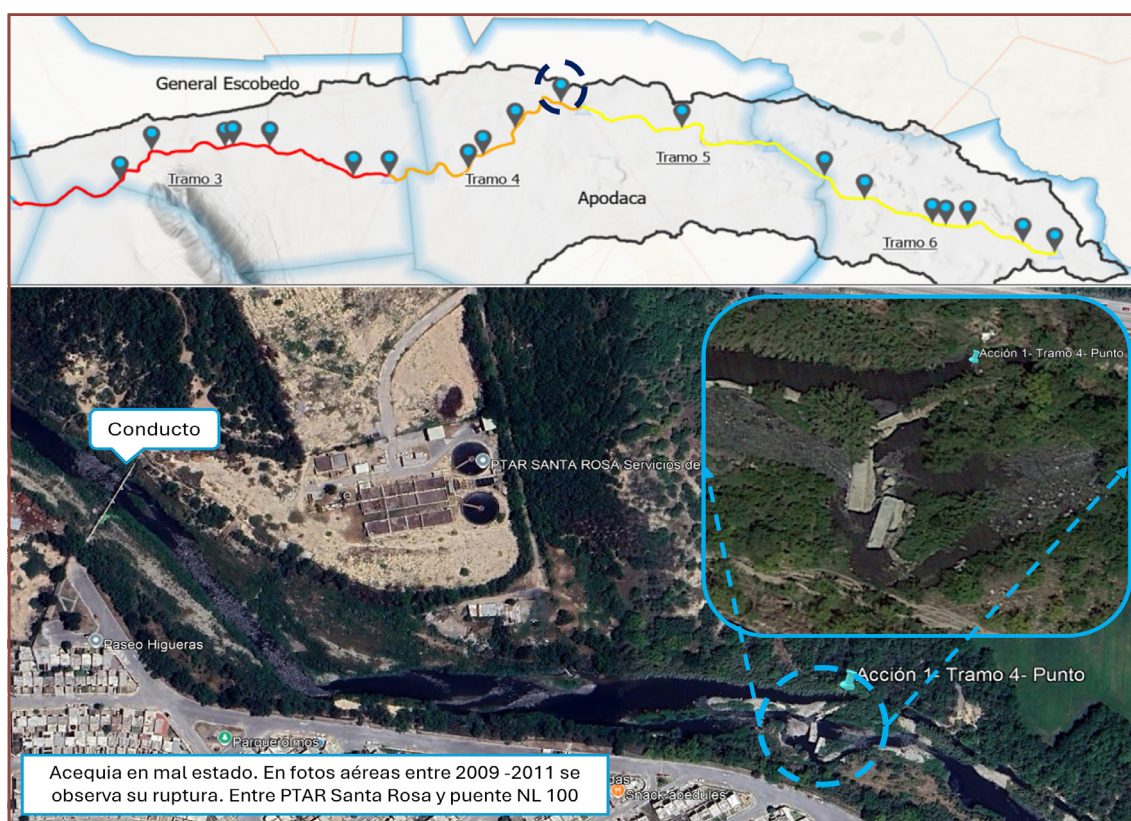
Los límites preliminares se ubicaron en los puntos donde se identificó un cambio relevante en una o varias de estas variables. Posteriormente, fueron

verificados mediante imágenes aéreas, cartografía disponible y observaciones de campo. El mismo procedimiento fue aplicado en ambos ríos, por lo que las diferencias en el número y longitud de los tramos responden a las características territoriales e hidrogeomorfológicas de cada sistema.

RESULTADOS

Presiones antrópicas en los sistemas fluviales analizados

Figura 4 – Puntos identificados con elementos para valorar su retirada (Imagen superior). Detalle del punto 11 con acequia en mal estado y sin funcionalidad (Imagen inferior). Elaboración propia con imágenes satelitales de Google Earth, 2025



En ambos ríos analizados se identificaron elevados niveles de presión antrópica, especialmente en los tramos urbanos, asociados a infraestructuras hidráulicas, obras de canalización, ocupación de riberas y alteraciones del régimen hidrológico. Estas presiones afectan principalmente la continuidad longitudinal, lateral y transversal del sistema fluvial, así como la funcionalidad del corredor ripario. En el río Pesquería, se registra un elevado número de estructuras (Figura 4), incluyendo presas de acequias, vados, puentes, canales tributarios y descargas de plantas de tratamiento

de aguas residuales. Estas intervenciones se concentran en los tramos donde la urbanización invade directamente la llanura de inundación. En el río Huerva, las principales presiones están asociadas a la regulación hidráulica mediante los embalses de Mezalocha y Las Torcas (Figura 3), la presencia de azudes y puentes, y la canalización parcial del cauce en su tramo urbano dentro de la ciudad de Zaragoza. Asimismo, se identifican aportaciones artificiales de caudal del Canal Imperial de Aragón, que modifican el régimen hidrológico natural.

Ante eventos hidrometeorológicos intensos, ambos cauces presentan respuestas condicionadas por su alteración antrópica. En el Pesquería, la impermeabilización y la canalización de la escorrentía favorecen aumentos rápidos del caudal, mientras que la ocupación de la llanura y los obstáculos reducen la capacidad de expansión y disipación de energía. En el Huerva, los embalses y las aportaciones del Canal Imperial modifican el régimen de caudales y la dinámica sedimentaria, y la canalización del tramo urbano limita la conectividad lateral. Así, ambos sistemas presentan una menor capacidad de ajuste ante eventos extremos, aunque por mecanismos diferentes.

Resultados del IHG en el río Pesquería

Delimitación de tramos funcionales en el río Pesquería

En el río Pesquería se delimitaron seis tramos funcionales. Las pendientes medias variaron entre 0,31 y 0,70 %, mientras que el índice de sinuosidad presentó valores entre 1,08 y 1,32. Estas variables mostraron un comportamiento relativamente homogéneo a lo largo del cauce, por lo que fueron utilizadas como criterios de control, pero no determinaron por sí solas la ubicación de los límites. La segmentación respondió principalmente a la intensidad de urbanización, la ocupación del corredor fluvial, la presencia de infraestructura y las discontinuidades hidrológicas (Tabla 4).

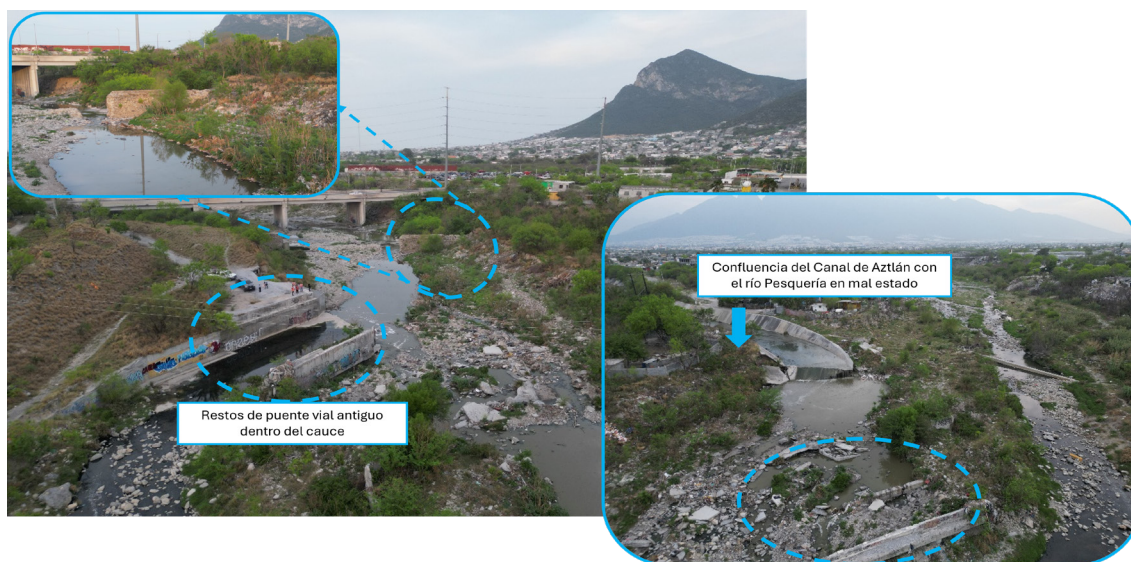
El tramo 1 corresponde al sector alto de la subcuenca. El tramo 2 representa una transición periurbana hacia el tramo 3, localizándose el núcleo urbano más consolidado y con la mayor concentración de presiones sobre el cauce y las riberas. El tramo 4 mantiene un carácter urbano, aunque menos consolidado, mientras que el tramo 5 constituye una transición periurbana a la salida del núcleo metropolitano. Finalmente, el tramo 6 corresponde a la parte baja de la subcuenca, donde los usos agrícolas tradicionales coexisten con un proceso de expansión urbana.

Tabla 4 – Presiones antrópicas identificadas en el área de estudio del río Pesquería. Elaboración propia

Sectores funcionales	Longitud (km)	Pendiente/Sinuosidad	Elementos de alteración de continuidad fluvial			
			Presas/Acequia	Afluentes	Puentes	Vados y otros
Tramo 1	14,27	0,70/1,27	-	Canal escurrimiento Efluente PTAR	8	13
Tramo 2	13,84	0,59/1,08	-	Escurrimiento urbano	6	7
Tramo 3	19,73	0,53/1,17	2	Canal Aztlán Efluente PTAR Canal de escurrimiento Efluente Manantiales	11	13
Tramo 4	12,28	0,57/1,32	3	Canal escurrimiento Efluente PTAR	4	1
Tramo 5	9,98	0,31/1,15	-	Arroyo Topo Chico Efluente PTAR	2	1
Tramo 6	15,05	0,38/1,09	3	Desagües urbanos Efluente PTAR	6	4

Calidad funcional del sistema fluvial (CF)

Figura 5 – Confluencia del Canal de Aztlán con el río Pesquería. Pilares de antiguos puentes viales y restos de obras de fabrica sin utilidad ni valor patrimonial. Fotos tomadas por los autores, 2024



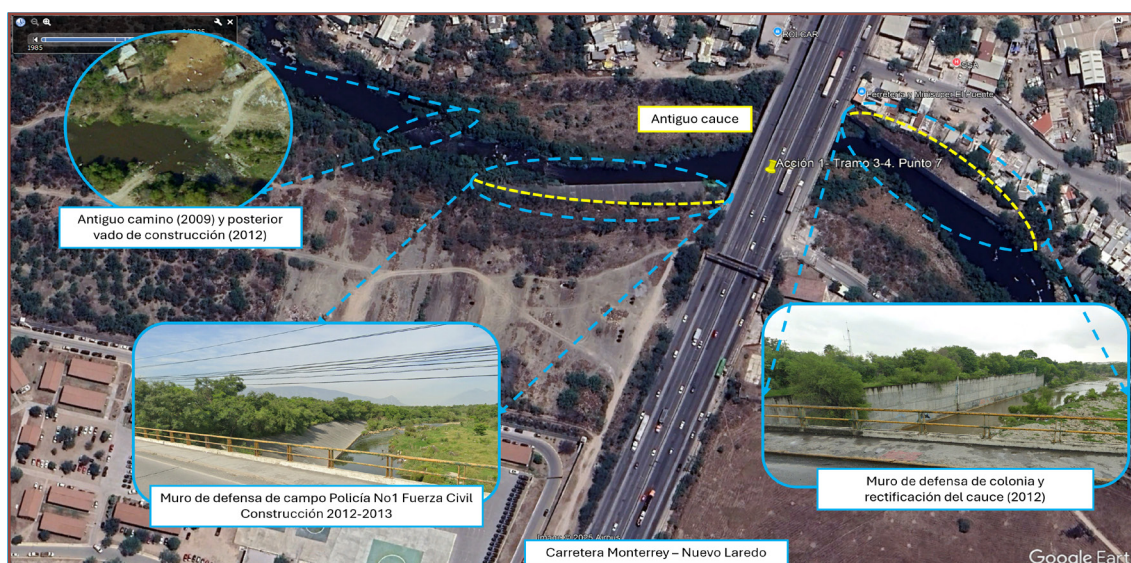
El régimen de caudales del río Pesquería se considera alterado a lo largo de todo su recorrido por el Área Metropolitana de Monterrey. Las principales causas incluyen la impermeabilización del territorio, la canalización de

escurrimientos urbanos, la presencia de múltiples PTAR y la regulación mediante acequias y derivaciones de caudal. Los valores más bajos de calidad funcional se registran en las zonas urbanas centrales, donde la ocupación de la llanura de inundación, la presencia de relleno antropogénico y de obstáculos transversales limitan la movilidad de los sedimentos, reduciendo la capacidad del sistema para disipar la energía de las inundaciones (Figura 5). En contraste, algunas zonas periurbanas presentan valores relativamente más altos, asociados con una menor presión antropogénica y una mayor conectividad con el valle fluvial.

Calidad del cauce (CC)

El río Pesquería muestra un patrón de degradación progresivo en sectores urbanos, caracterizado por el estrechamiento del cauce funcional, la compactación de márgenes, y la interrupción de la continuidad longitudinal por la presencia de vados, puentes y acequias (Figura 6).

Figura 6 – Modificación del cauce natural por muros de defensa, puente de la Carretera Monterrey – Nuevo Laredo. Elaboración propia con Imágenes de Google Earth y Street View, 2025

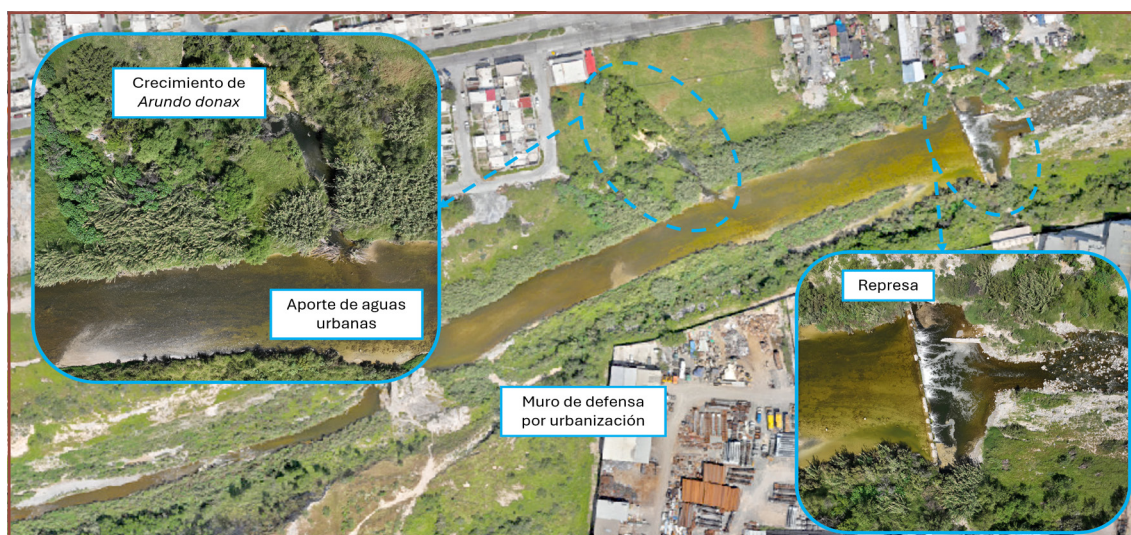


En los tramos urbanos más alterados se identificaron procesos de acumulación de residuos sólidos y escombros que modifican la morfología natural del cauce, generando desequilibrios entre márgenes erosivas y sedimentarias. En contraste, los tramos periurbanos presentan una mayor naturalidad del trazado y del lecho, con una menor densidad de estructuras artificiales y una movilidad lateral relativamente más activa.

Calidad de las riberas (CR)

En las zonas urbanas, el bosque ripario está gravemente degradado o incluso ausente, con una reducción significativa del ancho potencial del corredor y una alta fragmentación longitudinal. La presencia de infraestructura lineal (carreteras y asentamientos humanos) limita la conectividad transversal y promueve la proliferación de especies invasoras (Figura 7). En las zonas periurbanas, si bien el bosque ripario es naturalmente más discontinuo debido a las condiciones climáticas semiáridas, se conservan algunas áreas con una estructura vegetal más funcional.

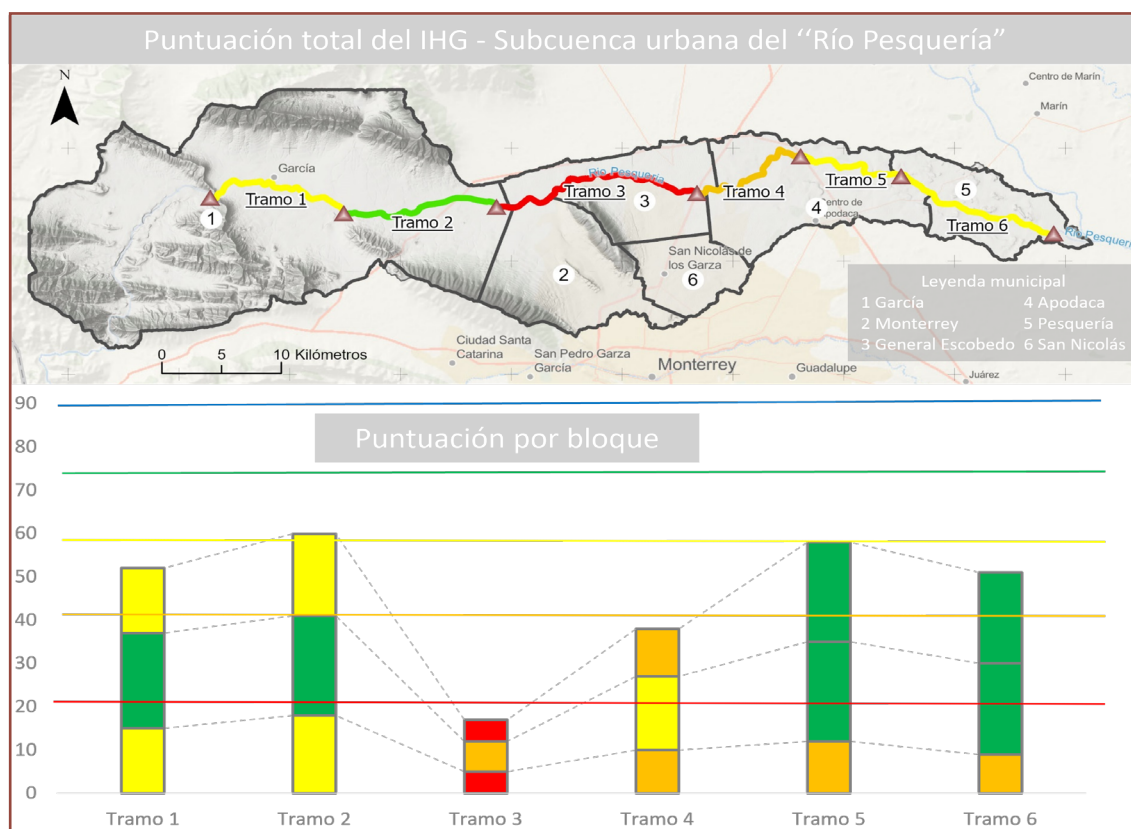
Figura 7 – Presiones antrópicas sobre el corredor ribereño en el tramo 2 del río Pesquería, (Infraestructura hidráulica, aportes de aguas urbanas y expansión de *Arundo donax*). Elaboración propia con imágenes de drones proporcionadas por la Universidad Autónoma de Nuevo León



Evaluación global del IHG en el río Pesquería

La evaluación integrada del IHG muestra un claro contraste entre tramos urbanos y periurbanos. Los tramos periurbanos alcanzan valores de calidad Moderada a Buena, mientras que los tramos urbanos presentan valores Deficientes o Muy Malos, reflejando el impacto directo de la urbanización sobre la funcionalidad hidrogeomorfológica del sistema (Figura 8). En contraste no se identifican tramos con de Muy Buena calidad, indicando una alteración generalizada en el sistema fluvial, incluso en sectores con menor presión antrópica.

Figura 8 – Resultados de la aplicación del IHG en la subcuenca urbana del río Pesquería en los 6 tramos funcionales de evaluación. Elaboración propia



Resultados del IHG en el río Huerva

Delimitación de tramos funcionales

En el río Huerva se delimitaron dos tramos funcionales bajo el mismo procedimiento aplicado en el río Pesquería. El límite se estableció en el Ojo del Canal, donde se disponen aguas procedentes del Canal Imperial de Aragón al río Huerva, modificando el régimen natural de caudales. Este punto es a su vez, una transición entre el sector periurbano, con mayor disponibilidad de espacio fluvial y menor densidad de infraestructura; y el sector urbano (Tabla 5). La urbe se caracteriza por un incremento de puentes, canalizaciones y una mayor artificialización de las riberas.

Tabla 5 – Presiones antrópicas identificadas en el área de estudio para el río Huerva

Río Huerva	Sectores funcionales	Identificación	Longitud (km)	Elementos de alteración de continuidad fluvial		
				Azud	Puentes	Otros
	Tramo 1	Zona periurbana (PU)	8,0	2	5	3
	Tramo 2	Zona urbana (ZU)	6,7	-	13	-

Resultados del IHG por bloques

Figura 9 – Resultados de la aplicación del IHG en el área de estudio de la cuenca del río Huerva

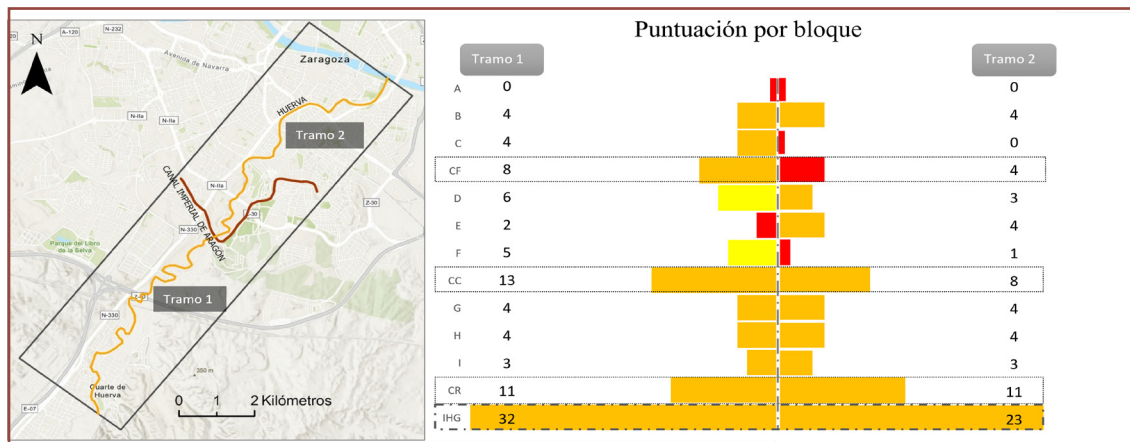


Figura 10 – Evidencia de alteraciones de la calidad hidromorfológica en el Tramo 1 “ZPU de Zaragoza”, en el río Huerva. Fotos tomadas por los autores



Ambos tramos evaluados presentan una calidad hidrogeomorfológica deficiente según el IHG (Figura 9). Sin embargo, se observan diferencias internas entre los tramos periurbanos y urbanos. El tramo periurbano presenta alteraciones asociadas a la regulación hidráulica aguas arriba, la presencia de azudes y la desconexión parcial de la llanura de inundación (Figura 10).

El tramo urbano, por otro lado, presenta un grado de alteración significativamente mayor, con canalizaciones, cobertura parcial del cauce, alta densidad de infraestructuras y aportaciones artificiales de caudal del Canal Imperial de Aragón (Figura 11). La evaluación de este tramo se sitúa cercano al límite inferior de la categoría Deficiente, indicando un riesgo potencial de transición hacia estados de calidad Muy Mala en ausencia de medidas correctoras.

Figura 11 - Evidencia de alteraciones de la calidad hidrogeomorfológica en el Tramo 2 “ZU de Zaragoza”, en el río Huerva. Fotos tomadas por los autores (2025)



Considerando conjuntamente los nueve parámetros evaluados en los ocho tramos de ambos ríos (Pesquería y Huerva), la comparación de las 72 puntuaciones asignadas independientemente por los dos evaluadores produjo un Kappa ponderado lineal de $k_w = 0.93$, indicando una concordancia

muy alta. El acuerdo exacto fue de 81 % y la diferencia media absoluta entre evaluadores fue de 19 puntos. Las discrepancias fueron posteriormente revisadas mediante las evidencias disponibles y resueltas por consenso.

DISCUSIÓN

La urbanización como factor dominante de degradación hidrogeomorfológica

Los resultados obtenidos indican que la urbanización constituye la principal presión crónica sobre la calidad hidrogeomorfológica de los ríos analizados, independientemente de su ubicación geográfica. Tanto en el río Pesquería como en el río Huerva, los tramos urbanos presentan los valores más bajos del IHG, lo que refleja una pérdida significativa de la funcionalidad fluvial, conectividad del sistema y calidad del corredor ripario. Este patrón coincide con lo documentado en numerosos estudios sobre ríos urbanos, donde la ocupación de las llanuras de inundación, la canalización del cauce, la regulación del caudal y la presencia de infraestructura lineal generan una fragmentación progresiva del sistema fluvial y una simplificación de su morfodinámica (Martínez, 2021; Pirchi et al., 2023; Álvez et al., 2022).

Sin embargo, las avenidas extraordinarias actúan como pulsos hidrogeomorfológicos capaces de producir erosión de márgenes, remoción y redistribución de sedimentos y vegetación, ensanchamientos locales y ajustes en el trazado y la sinuosidad del cauce (Yousefi et al., 2018). En el río Pesquería, los registros históricos muestran avenidas extraordinarias asociadas con los huracanes Beulah (1967) y Gilberto (1988). Estos eventos contribuyen al reajuste periódico del cauce; no obstante, sus efectos morfológicos individuales no fueron cuantificados mediante comparaciones pre y posevento en este estudio.

En ambos casos, la reducción de la movilidad lateral y la desconexión entre el cauce y el valle fluvial limitan la capacidad del sistema para adaptarse a eventos extremos, aumentando la vulnerabilidad ambiental y social.

Tramos periurbanos como espacios clave de funcionalidad residual

Un hallazgo clave de este estudio es la mejora del comportamiento hidrogeomorfológico de los tramos periurbanos en comparación con los tramos urbanos consolidados. En el río Pesquería, estos tramos alcanzan valores de calidad entre Moderados y Buenos, mientras que en el río Huerva, aunque la calidad general es Deficiente, el tramo periurbano presenta menos perturba-

ciones que el tramo urbano. Estos tramos actúan como zonas de transición, donde persisten procesos fluviales relativamente activos y el corredor ripario mantiene una mayor continuidad. Este comportamiento ha sido identificado por otros autores como un elemento estratégico para la restauración fluvial, ya que los tramos periurbanos pueden funcionar como centros de resiliencia y puntos de partida para los procesos de recuperación (Segura-Beltrán y Ollero, 2021; Volonté y Gil, 2023).

Alteraciones del régimen hidrológico y de la dinámica sedimentaria

Las alteraciones del régimen fluvial es uno de los principales factores que explican los bajos valores del bloque de calidad funcional del sistema fluvial (CF) en ambos ríos. En el río Pesquería, el vertido de efluentes de las depuradoras, la canalización de la escorrentía urbana y la regulación mediante acequias modifican sustancialmente el régimen hidrológico natural. En el río Huerva, la presencia de embalses y la aportación de caudal del Canal Imperial de Aragón crean un régimen altamente regulado, desconectado de las condiciones naturales de la cuenca. Estas alteraciones inciden directamente en la dinámica sedimentaria, reduciendo su disponibilidad y movilidad; y favoreciendo procesos de incisión, sedimentación o acumulación de materiales. La literatura ha indicado que, en ríos urbanos y regulados, estas disfunciones hidrosedimentarias son responsables de una pérdida progresiva de complejidad morfológica y la degradación de los hábitats fluviales (Ollero et al., 2011; Yuste y Ferrández, 2024; Rodrigues & de Souza 2025).

Degradación del corredor ribereño y pérdida de conectividad ecológica

El bloque de calidad riparia (CR) presenta una degradación especialmente marcada en los tramos urbanos de ambos ríos. La reducción de la anchura potencial del corredor ripario, la fragmentación longitudinal y la presencia de infraestructura lineal limitan la conectividad transversal y promueven la pérdida de biodiversidad y la proliferación de especies invasoras. En el caso del río Pesquería, esta degradación se ve agravada por la ocupación irregular de las riberas y la acumulación de residuos sólidos, que alteran la morfología del cauce y deterioran la calidad del agua. Estos procesos son consistentes con los descritos en estudios de ríos urbanos mediterráneos

y semiáridos, donde la vegetación riparia desempeña un papel clave en la estabilidad del sistema fluvial y en la regulación de los flujos (Sanchis-Ibor y Segura-Beltrán, 2020).

Valor del IHG como herramienta diagnóstica en ríos urbanos

Los resultados obtenidos confirman la utilidad del IHG como herramienta de diagnóstico para la evaluación de ríos urbanos en contextos semiáridos, tanto en América como en Europa. El IHG permite identificar claramente las presiones dominantes, diferenciar tramos con comportamientos contrastantes y establecer una base objetiva para comparar sistemas fluviales bajo diferentes condiciones territoriales. Además, la estructura del índice facilita la traducción de los resultados científicos a criterios operativos para la gestión y restauración fluvial, al vincular los valores obtenidos con procesos específicos (régimen de caudal, dinámica de sedimentos, continuidad del cauce y estado de las riberas). Este aspecto es especialmente relevante en ríos urbanos, donde las decisiones de intervención deben basarse en diagnósticos integrados (Ollero et al., 2011; Pirchi et al., 2023). Sin embargo, varios estudios recientes señalan la conveniencia de complementar los indicadores hidrogeomorfológicos con índices socioambientales emergentes, donde se incorporen dimensiones sociales y territoriales (Lespez et al., 2022).

Implicaciones para la gestión y la restauración fluvial urbana

Los resultados del estudio demuestran que la restauración fluvial en entornos urbanos no puede abordarse únicamente mediante intervenciones estructurales aisladas. Por el contrario, se requiere un enfoque integral que combine la recuperación del espacio fluvial, la mejora del régimen hidrológico, la restauración de la vegetación riparia y la integración del río en la planificación urbana y territorial. La literatura reciente destaca un cambio de paradigma en la restauración fluvial, orientado a la recuperación de procesos y funciones en lugar de la recreación de formas estáticas del cauce (Palmer et al., 2014; Ollero et al., 2024). Además, la comparación entre ambos ríos pone de manifiesto que muchos de los problemas hidrogeomorfológicos detectados son comunes a diferentes contextos geográficos, lo que refuerza la transferibilidad de las metodologías de evaluación. No obstante, la aplicación de las medidas de gestión está condicionada por los marcos normativos e institucionales de cada territorio.

Aunque ambos ríos presentan patrones convergentes de degradación hidrogeomorfológica, sus marcos de gestión son diferentes. El río Huerva se encuentra sujeto a la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (European Parliament and Council, 2000) y al Plan Hidrológico del Ebro (Gobierno de España, 2023), que establece objetivos de buen estado o potencial ecológico, monitoreo periódico y programas de medidas. En contraste, la gestión del río Pesquería se distribuye entre instrumentos federales, estatales y municipales relacionados con aguas nacionales (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2025), calidad del agua, caudal ecológico (Secretaría de Economía, 2012), protección ambiental (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2026) y ordenamiento territorial, sin un sistema equivalente de evaluación integrada por masa de agua. Estas diferencias no invalidan la comparación hidrogeomorfológica, pero condicionan la capacidad institucional para traducir el diagnóstico en acciones de restauración. La convergencia identificada debe entenderse en términos biofísicos, mientras que las estrategias de recuperación deben adaptarse a los contextos normativos y de gobernanza de cada territorio.

Propuesta de intervención prioritaria para el tramo 3 del río Pesquería

El tramo 3 del río Pesquería obtuvo la menor puntuación del Índice HidroGeomorfológico y fue clasificado con calidad de **Muy Mala**, por lo que se considera prioritario para implementar acciones de mejora y restauración. Se propone la evaluación técnica y retirada selectiva de obras de fábrica, muros, vados y antiguas acequias que no mantengan una función hidráulica, vial o de servicio ni posean valor patrimonial (Figura 6). Estos elementos limitan la dinámica lateral del río, interrumpen la continuidad longitudinal y transversal del corredor fluvial y dificultan la regeneración de la vegetación ribereña. Otra acción prioritaria es la retirada de rellenos y materiales antrópicos depositados en el entorno del cauce. A partir de las nubes de puntos generadas mediante vuelos de dron con sensor LiDAR, se identificaron acumulaciones con alturas de entre 6,2 y 8,6 m. Estas modifican la topografía de la planicie fluvial y representan riesgos potenciales para la población asentada en sus proximidades, por lo que se recomienda su caracterización, cuantificación y posterior disposición en sitios autorizados.

Asimismo, se propone el control de las especies invasoras presentes en el corredor ribereño, principalmente *Arundo donax*, además de *Ricinus communis* y *Tamarix aphylla*, seguido de la revegetación con especies nativas. Debido a las diferencias en su crecimiento y capacidad de regeneración, se reco-

mienda combinar métodos de extracción manual, corte y control mecánico. Estas acciones favorecerían la recuperación de la vegetación ribereña y la conectividad ecológica del corredor fluvial.

CONCLUSIONES

La aplicación del Índice HidroGeomorfológico en los ríos Pesquería y Huer-va permitió realizar una evaluación integrada de la funcionalidad fluvial en contextos urbanos semiáridos de América y Europa, evidenciando su utilidad como herramienta de diagnóstico para sistemas sometidos a fuertes presiones antrópicas. Los resultados confirman que la urbanización constituye el principal factor de degradación, manifestándose en la fragmentación del cauce, la alteración de los regímenes de caudal y la degradación del corredor ripario, especialmente en tramos urbanos consolidados. En contraste, los tramos periurbanos presentan una funcionalidad relativamente mejor conservada, actuando como espacios estratégicos para la resiliencia fluvial y como áreas prioritarias para orientar procesos de restauración.

El análisis comparativo América – Europa permitió identificar patrones bio-físicos convergentes de degradación hidrogeomorfológica asociados con la urbanización, particularmente la alteración del régimen de caudales, la fragmentación del cauce y la degradación del corredor ribereño. Sin embargo, estas similitudes se desarrollan bajo marcos normativos y capacidades institucionales diferentes. Por ello, el IHG constituye una herramienta de diagnóstico transferible entre ambos contextos continentales, mientras que las estrategias de restauración deben adaptarse a las condiciones de gobernanza y planificación de cada territorio.

El estudio aporta una base técnica para jerarquizar tramos, identificar las presiones dominantes y orientar acciones diferenciadas de conservación, restauración y monitoreo. Además de priorizar los sectores más degradados, permite reconocer los tramos periurbanos que deben protegerse por conservar una mayor funcionalidad y proporciona una línea base para integrar el espacio fluvial y la conectividad del sistema en la planificación territorial y el manejo integral de la cuenca. ●

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvez, A.; Espinosa, P.; Castillo, R.; Iglesias, K.; Bañales-Seguel, C. (2022). An Urgent Dialogue between Urban Design and Regulatory Framework for Urban Rivers: The Case of the Andalién River in Chile. *Water*, 14, 3444. <https://doi.org/10.3390/w14213444>

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2025). Ley de Aguas Nacionales. *Diario Oficial de la Federación* (11/12/2025) México.

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2026). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. *Diario Oficial de la Federación* (19/01/2026) México.

Castro-López, D., Rodríguez-Lozano, P., Arias-Real, R., Guerra-Cobián, V., Prat, N. (2019). The influence of riparian corridor land use on the Pesqueria River's macroinvertebrate community (NE Mexico). *Water* 11(9), 1930. <https://doi.org/10.3390/w11091930>

Do Nascimento, Fabricio Holanda & do Vale, Cláudia Câmara. (2019) Efeito orográfico em um transecto entre Fundão e Santa Teresa no estado do Espírito Santo no ano hidrológico 2015/2016, *Geografares*, 29. URL: <http://journals.openedition.org/geografares/579>

European Parliament and Council. (2000). Directive 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, L327.

Gaxiola-Beltrán, A. L., Narezo-Balzaretti, J., Ramírez-Moreno, M. A., Pérez-Henríquez, B. L., Ramírez-Mendoza, R. A., Krajzewicz, D., & Lozoya-Santos, J. D. J. (2021). Assessing urban accessibility in Monterrey, Mexico: a transferable approach to evaluate access to main destinations at the metropolitan and local levels. *Applied sciences*, 11(16), 7519.

Gobierno de España. (2023). Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro.

Gurnell, A. M., Rinaldi, M., Belletti, B., Bizzi, S., Blamauer, B., Braca, G., et al. (2016). A multi-scale hierarchical framework for developing understanding of

river behaviour to support river management. *Aquatic Sciences*, 78(1), 1–16. doi: 10.1007/s00027-015-0424-5

Hanna, E., Bruno, D., & Comín, F. A. (2023). Evaluating naturalness and functioning of urban green infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening*, 80, 127825. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127825>

He, C., & James, L. A. (2021). Watershed science: Linking hydrological science with sustainable management of river basins. *Science China Earth Sciences*, 64(5), 677-690.

Lázaro, J. M., & Navarro, J. Á. S. (2011). Análisis de circulación de crecidas mediante el programa SHEE. Aplicación a la cuenca del río Huerva, España. *Revista de la sociedad geológica de España*, 24(3), 187-196.

Lespez, L., Germaine, M. A., Gob, F., Tales, E., Thommeret, N., De Milleville, L., ... & Archaimbault, V. (2022,). A new tool to characterize the socio-environmental dimensions of Urban rivers: Urban River Socioenvironmental index (URBS). *Landscape and Urban Planning*, 261 (2025) 105388. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2025.105388>

Magaña, V., Herrera, E., Ábrego-Góngora, C. J., Ávalos, J. A. (2021). Socioeconomic drought in a mexican semi-arid city: Monterrey Metropolitan Area, a case study. *Frontiers in Water*, 3, 579564. doi: 10.3389/frwa.2021.579564

Martínez, B. G. (2021). Alteración hidromorfológica y estado ecológico del tramo bajo del río Bembézar. Cuenca del Guadalquivir, España. *Estudios geográficos*, 82(291), 1. DOI: <https://doi.org/10.3989/estgeogr.202182.082>

Mora, A., Mahlknecht, J., Rosales-Lagarde, L., & Hernández-Antonio, A. (2017). Assessment of major ions and trace elements in groundwater supplied to the Monterrey metropolitan area, Nuevo León, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(8), 394.

Ollero, A., Ibisate, A., Gonzalo, L. E., Acín, V., Ballarín Ferrer, D., Díaz Bea, E., and Sánchez, M. (2011). The IHG index for hydromorphological quality assessment of rivers and streams: updated version. *Limnetica*, 30(2), 0255-262.

Ollero, A., Espinosa, P., García, H., Ibisate, A., Chanove, A., Lazreg, A., Pirchi, V.N. et Vega-Aguilar, A. (2024). Rehabilitación fluvial urbana: conectividad y resiliencia. Evaluación de algunos casos y propuestas. *Sud-Ouest européen*, 57-58, 185-199. <https://doi.org/10.4000/1635q>

Palmer, M. A., Hondula, K. L., & Koch, B. J. (2014). Ecological restoration of streams and rivers: shifting strategies and shifting goals. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45(1), 247-269. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091935>

Pirchi, V. N., Zapperi, P. A., & Volonté, A. (2023). Calidad hidrogeomorfológica en áreas fluviales de expansión urbana. Aplicación del Índice Hidrogeomorfológico (IHG) en un tramo antropizado del arroyo Napostá Grande (Argentina). *Investigaciones Geográficas*, (80), 129-149. <https://doi.org/10.14198/INGEO.23931>

Peña, J. L., Julián, A., Chueca, J., Echeverría, M. T., & Ángeles, G. (2004). Etapas de evolución holocena en el valle del río Huerva: Geomorfología y Geoarqueología. *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos. Zaragoza: Univ. Zaragoza-Institución Fernando el Católico*, 289-302.

Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., & Bussettini, M. (2013). A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology*, 180-181, 96-108. doi: 10.1016/j.geomorph.2012.09.009

Rodrigues, J. M., & de Souza, J. O. P. (2025). Parameterization of flow intermittency and river styles in two hydrographic basins in the semiarid region of Paraíba. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 26(3).

Sanchis-Ibor, C. & Segura-Beltrán, F. (2020). Procesos de colonización vegetal en ramblas: crecimiento y destrucción de parches y alineaciones. En Farinós, J., Escribano, J., Peñarrubia, M. P., Serrano, J., & Asins, S. (eds.). *Desafíos y oportunidades de un mundo en transición: una interpretación desde la Geografía* (pp. 161-171). Universitat de València.

Secretaría de Economía. (2012). NMXAA 159 SCFI 2012 que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. *Diario Oficial de la Federación* (20/09/2012). Mexico.

Segura-Beltrán, F., & Ollero, A. (2021). Cambios ambientales en los sistemas fluviales: nuevas metodologías, diversidad de casos e implicaciones para la gestión. *Cuadernos de geografía*, (107), 7-20. DOI: <https://doi.org/10.7203/CGUV.107.23741>

Sobrinho, José Falcão & Falcão, Cleire Lima da Costa. (2013). Efeitos da precipitação na erosão do solo em ambiente de mata ciliar às margens do canal fluvial da sub-bacia do Riacho do Meio, Coreaú (CE, *Geografares*, 15. URL: <http://journals.openedition.org/geografares/17314>

Volonté, A., & Gil, V. (2023). Diagnóstico y monitoreo de ambientes fluviales a partir de geoindicadores. Cuenca del Oro (Argentina). *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 62(1), 130-149. DOI: <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v62i1.25343>

Yousefi, S., Mirzaee, S., Keesstra, S., Surian, N., Pourghasemi, H. R., Zakizadeh, H. R., & Tabibian, S. (2018). Effects of an extreme flood on river morphology (case study: Karoon River, Iran). *Geomorphology*, 304, 30-39. [10.1016/j.geomorph.2017.12.034](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.12.034)

Yuste, M. P. R., & Ferrández, G. B. (2024). Análisis hidromorfológico de ríos efímeros utilizando teledetección y machine learning: Monográfico Geomorfología. *Geographica*, (76), 149-162. DOI: [10.26754/ojs_geoph/geoph.20247611401](https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.20247611401)

CONTRIBUCIONES DE AUTORÍA

Aylet Vega-Aguilar: contribuyó a la conceptualización, metodología, desarrollo de la investigación, análisis formal, curaduría de datos, visualización, redacción del manuscrito original, revisión y edición.

Alfredo Ollero Ojeda: participó en la conceptualización, metodología, supervisión, revisión y edición del manuscrito.

Fabiola Doracely Yépez-Rincón: participó en la gestión del proyecto, captación de fondos, supervisión, revisión y edición del manuscrito.

Kevin David Rodríguez González: contribuyó a la supervisión, revisión y edición del manuscrito.

Daniel Salas Limón: contribuyó a la supervisión, revisión y edición del manuscrito.

EDITOR DEL ARTÍCULO

Cláudio Luiz Zanotelli

Universidade Federal do Espírito Santo

Vitória, Espírito Santo, Brasil

claudio.zanotelli@ufes.br

Artículo recibido: 01/04/2026

Artículo aprobado: 20/07/2026

Artículo publicado: 12/08/2026