

Evaluación hidrogeomorfológica: un abordaje histórico en los siglos XX y XXI

Eberval Marchioro¹

¹Universidade Federal do Espírito Santos, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Vitória, ES, Brasil.

E-mail: ebervalm@gmail.com

 0000-0003-0207-6087

Alfredo Ollero²

²Universidad de Zaragoza, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Zaragoza, España

E-mail: aollero@unizar.es

 0000-0002-9745-5866

e-204803

Como citar esse artigo:

MARCHIORO, E.; OLLERO, A. Evaluación hidrogeomorfológica: un abordaje histórico en los siglos XX y XXI. **Geosp**, v. 27, n. 3, e-204803, maio/ago. 2023. ISSN 2179-0892. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/204803>. doi: https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892_geosp.2023.204803.es.



Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons CC-BY 4.0

Evaluación hidrogeomorfológica: un abordaje histórico en los siglos XX y XXI

Resumen

La cuenca hidrográfica del río Duas Bocas (CHRDB) ha pasado por cambios en su paisaje a lo largo del tiempo y, en función de ello, este artículo tiene como objetivo evaluar su calidad hidrogeomorfológica entre los siglos XX y XXI. La CHRDB se encuentra en la Región Metropolitana de la Gran Vitória, en el Estado de Espírito Santo (Brasil). Para la realización del trabajo se han utilizado fotografías aéreas del siglo XX con resolución espacial de 1 m y ortofotos del siglo XXI con resolución espacial de 50 cm. Para la clasificación hidrogeomorfológica del río principal de la CHRDB, han sido establecidos cinco tramos con una longitud media de 5,66 km. Los resultados apuntaron un empeoramiento en la calidad hidrogeomorfológica del río Duas Bocas entre los siglos XX y XXI, excepto en el tramo I, que ha mejorado su calidad, siendo el mejor calificado en los dos momentos evaluados. Así, es importante en la cuenca abordar la reforestación del corredor ribereño y la restauración fluvial para mejorar su calidad hidrogeomorfológica.

Palabras clave: IHG; Degradación; Cauce.

Hydrogeomorphological assessment: an historical approach in the 20th and 21st centuries

Abstract

The Duas Bocas River Watershed (BHRDB) has undergone landscape changes over time and, as a result, this work aims to evaluate its hydrogeomorphological quality between the 20th and 21st centuries. The BHRDB is located on the Grande Vitória Metropolitan Region, in the Espírito Santo state. To carry out this work aerial photographs from the 20th century was used, with 1 m spatial resolution, and ortophotos from 21st century, with 0.5 m spatial resolution. To classify the BHRDB main river 5 sectors were established with 5.66 km long. The results show, in general, a deterioration in the hydrogeomorphological quality of the Duas Bocas river between the 20th and 21st centuries, except for the sector I, which improved its quality and had the best quality over the two centuries evaluated. Given the hydro-geomorphological deterioration of the other sectors, it is recommended to promote reforestations of the riparian corridor and the river restoration to improve the hydrogeomorphological quality of the river.

Keywords: IHG; Degradation; Riverbed.

Avaliação hidrogeomorfológica: uma abordagem histórica nos séculos XX e XXI

Resumo

A bacia hidrográfica do rio Duas Bocas (BHRDB) tem passado por mudanças na paisagem ao longo do tempo e, em função disso, este artigo tem como objetivo avaliar a sua qualidade hidrogeomorfológica entre os séculos XX e XXI. A BHRDB situa-se na Região Metropolitana da Grande Vitória, no estado do Espírito Santo (Brasil). Para a realização deste trabalho foram utilizadas fotografias aéreas do século XX, com resolução espacial de 1 m e ortofotos do século XXI, com resolução espacial de 50 cm. Para a classificação do rio principal da BHRDB, foram estabelecidos 05 (cinco) setores com 5,66 km de comprimento. Os resultados apontam, de maneira geral, para uma deteriorização na qualidade hidrogeomorfológica do rio Duas Bocas entre os séculos XX e XXI, com exceção do setor I, que melhorou a sua qualidade, sendo a melhor qualificada nos dois séculos avaliados. Em função da deteriorização hidrogeomorfológica dos demais setores, recomenda-se promover o reflorestamento do corredor ribeirinho e a restauração fluvial para melhorar a qualidade hidrogeomorfológica do rio.

Palavras-chave: IHG; Degradação; Leito.

Introducción

Los estudios hidrogeomorfológicos en cuencas hidrográficas con diferentes escalas espacio-temporales están, en las más recientes décadas, intentando verificar su proceso evolutivo y/o realizando valoraciones con el uso de índices, para averiguar las condiciones geoambientales de los ríos (BELLETTI *et al.*, 2015, BALLARÍN, 2022).

Hasta donde se sabe, la primera definición del término hidrogeomorfología puede atribuirse a Scheidegger (1973), como el estudio de las formas del relieve que han sido producidas por la acción del agua. Sin embargo, Goudie (2004) define la hidrogeomorfología como la interacción entre la hidrología y la geomorfología, por lo que es un área del conocimiento de la geomorfología.

Desde la edición especial de la revista *Journal of Hydrology* en 2004, derivada de la *Fifth Internacional Conference on Geomorphology* en Tokyo (Japón) en 2001 y de la directiva marco del agua de la Unión Europea o Directiva 2000/60/CE (CE, 2000), es posible verificar el crecimiento en el uso de índices que buscan valorar la calidad hidrogeomorfológica de cursos fluviales.

Autores como Morgan (2005); Pimentel (2006); Hackspacher (2011); Souza *et al.* (2017); Hoffmann y Oliveira (2018); Bierman y Montgomery (2019), indican que las interrelaciones hidrogeomorfológicas en las cuencas hidrográficas han sido modificadas por la acción antrópica, que altera las condiciones naturales envolviendo agua-suelo-vegetación, siendo en este caso muy importante hacer uso de índices hidrogeomorfológicos para clasificación retrospectiva. Además, la aplicación de índices contribuye a valorar en el tiempo histórico y en el espacio geográfico transformaciones antrópicas, subsidiando la planificación y la gestión de los cursos fluviales (OLLERO, 2010).

Entre este conjunto de alteraciones provocadas por la acción antrópica en las cuencas hidrográficas, se pueden destacar aquellas en las laderas, con las prácticas agrícolas sin manejo y conservación del suelo adecuado, apertura de carreteras, impermeabilización, ocupación por las viviendas, deforestación, minería. Hay también otras realizadas directamente sobre el cauce fluvial, como las presas, canalizaciones, rectilinización, puentes, carreteras, ferrocarriles y extracción de arenas, entre otros (HUGGETT, 2011).

Así, son cada vez más necesarios, en el contexto de la evolución histórica en cuencas hidrográficas con múltiples paisajes, los estudios hidrogeomorfológicos (GOUDIE; VILES, 2016; GOUDIE, 2020). Además, la evaluación de la calidad antigua y actual es clave para comprender cómo tuvieron lugar los cambios hidrogeomorfológicos sobre la cuenca hidrográfica, haciendo uso de índices con variables que reflejen los elementos presentes en la hidrogeomorfología fluvial (HORACIO; OLLERO, 2011).

A la vista de lo anteriormente expuesto, este trabajo tiene como objetivo evaluar la calidad hidrogeomorfológica histórica de la cuenca hidrográfica del río Duas Bocas (ES), entre el siglo XX y el XXI, con la intención de servir como base para la planificación y la restauración fluvial.

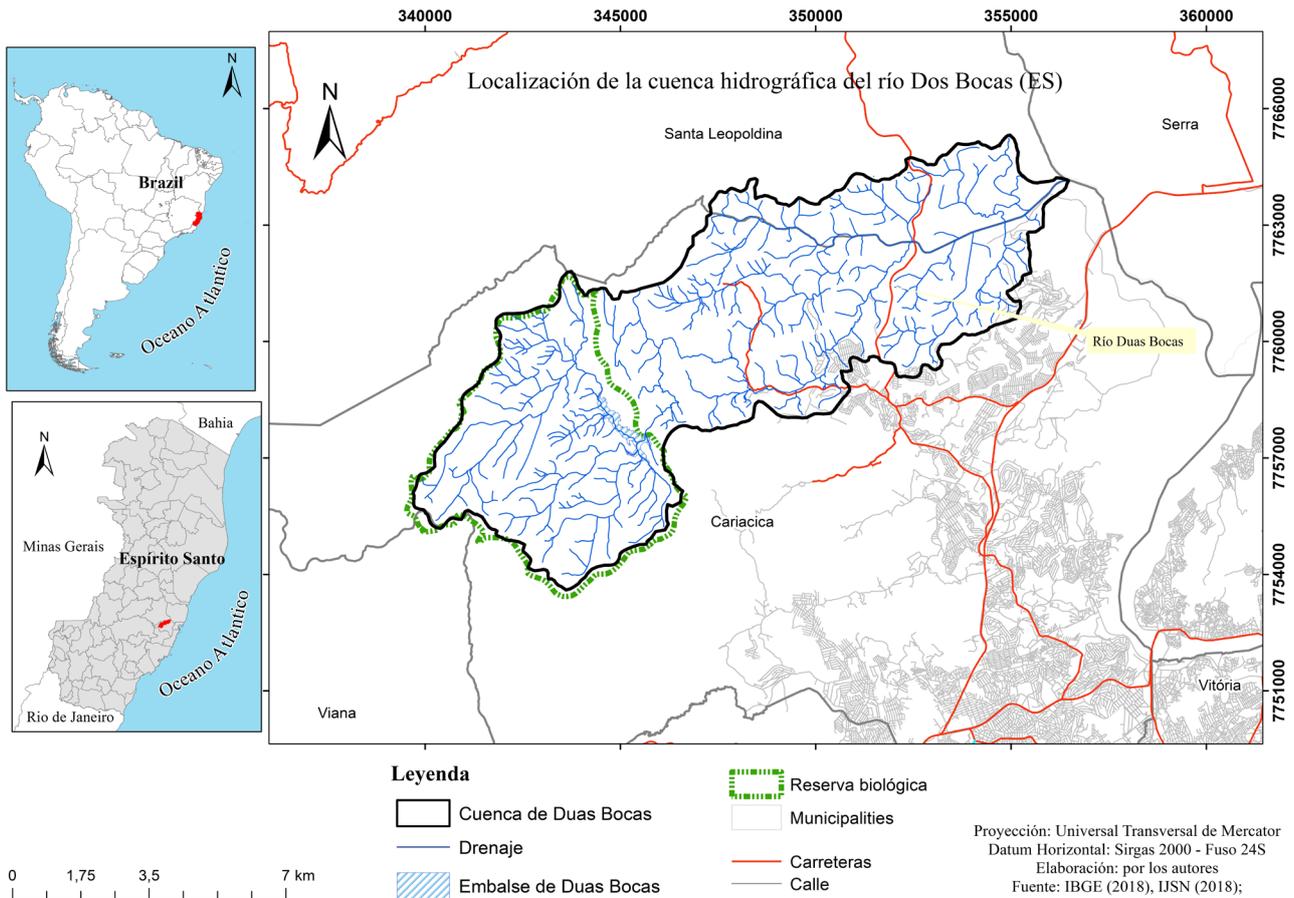
Área de estudio

La cuenca hidrográfica del río Duas Bocas (CHRDB) tiene la mayor parte de sus tierras en la Región Metropolitana de la Grande Vitória (RMGV) del Espírito Santo (ES), siendo una subcuenca de la cuenca hidrográfica del Santa María de la Vitória, principal responsable del abastecimiento del agua potable de la RMGV.

La CHRDB se sitúa entre las coordenadas geográficas 20°12'01.28" S 40°23'06.35" W y 20°17'24.90" S 40°32'07.88" W, teniendo un área total de 82,83 km², compartidos por los municipios de Cariacica, con 73,45 km² (88,68% del área), Viana con 0,23 km² (0,28% del área), que pertenecen a la RMGV (Figura 1) y Santa Leopoldina, con 9,14 km² (11,04% del área) que no pertenece a la RMGV (MARCHIORO *et al.*, 2022). El río Duas Bocas tiene 28,30 km de longitud y anchura media de 3,07 m en el cauce de la porción arriba y en el cauce inferior, la anchura media es de 3,66 m.

De acuerdo con la clasificación de Köppen, la CHRDB tiene clima Tropical lluvioso. Bastos *et al.* (2015) han verificado que las precipitaciones anuales están entre 1.307 mm y 1.656 mm, con temperatura media de 24 °C, aunque en la estación de verano las temperaturas pueden ser superiores a 33 °C. El clima de la CHRDB es dinamizado por la acción de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur y por la ocurrencia de la Masa de Aire Polar (MATTIUZZI; MARCHIORO, 2012; MARCHIORO *et al.*, 2016).

Figura 1 – Localización de la cuenca hidrográfica del río Duas Bocas, en relación a la RMGV (ES) y Brasil.



Fuente: Los autores.

Las unidades geológicas de la CHRDB son el Complejo Nueva Venécia (Complexo Nova Venécia), Macizo Granítico de Vitória (Maciço Granito Vitória), Grupo Barreira (Grupo Barreiras) y Depósitos Fluvio-lagunares (Depósito Flúvio-lagunares) (CPRM, 2014). En cuanto a la geomorfología, se encuentran los niveles escalonados Sur Capixaba (Patamares Escalonados Sul Capixaba), Colinas y Macizos Costeros (Colinas e Maciços Costeiros), Tablero Costeros (Tabuleiros Costeiros) y Llanura fluvio-lagunar (Planície Fluvio-Lagunar) (GATTO *et al.*, 1983).

De acuerdo con Santos y Marchioro (2018; 2020) y Lobo (2022), la CHRDB en su curso medio y bajo pasó por transformaciones en el uso y cobertura del terreno, debidas a la expansión de las áreas agrícolas, urbanización y pastos, lo que no ocurre en su curso alto, que está en los límites de la Reserva Biológica de Duas Bocas (ReBio), con Bosque Atlántico (Mata Atlântica).

La preservación del Bosque Atlântico (Mata Atlântica) es debida a la creación de la Reserva Florestal de Duas Bocas en 1965, por la ley Lei Estadual nº 2.095 de 1965, que después fue modificada como Reserva Biológica de Duas Bocas (ReBio), por la ley nº 4.503 de 1991. Esta ReBio cuenta con una exuberante Selva Ombrófila Densa Submontana o Bosque Atlântico (Mata Atlântica) (LÓPEZ; MARCHIORO, 2018).

Como consecuencia de este proceso de transformación en el uso y cobertura de la tierra que tuvo lugar en las porciones medias y bajas de la CHRDB, ha habido una expansión de las áreas de fragilidad ambiental emergente y una pérdida de suelos por la erosión hídrica, ocasionando un aumento de la producción de los sedimentos y de la sedimentación en los cauces fluviales (SANTOS; MARCHIORO, 2020).

También en el interior de la ReBio de Duas Bocas, hay una presa en las cabeceras fluviales del río Duas Bocas, llamada presa vieja, que se inauguró en 1918, y otra aguas abajo, que se denomina presa de Duas Bocas y empezó a funcionar en 1954 (BONI *et al.*, 2009; CUPERTINO, 2018).

Metodología

La CHRDB fue elegida para la realización de este trabajo a raíz de haber sido objeto de investigaciones en las últimas décadas por Ferreira (2019); Marchioro y Barroso (1996); Marchioro y Coutinho (2020) y Santos y Marchioro (2020), debido a las alteraciones antrópicas que han ocurrido en el cauce fluvial del río Duas Bocas en el periodo estudiado.

Además, es una cuenca representativa de los compartimentos geológicos, geomorfológicos y del uso y cobertura de la tierra (con la presencia de Mata Atlântica) del estado de Espírito Santo, siendo clasificada como una cuenca experimental, representativa y estratégica para el desarrollo de trabajos que contribuyen a la planificación, gestión y restauración de cursos fluviales.

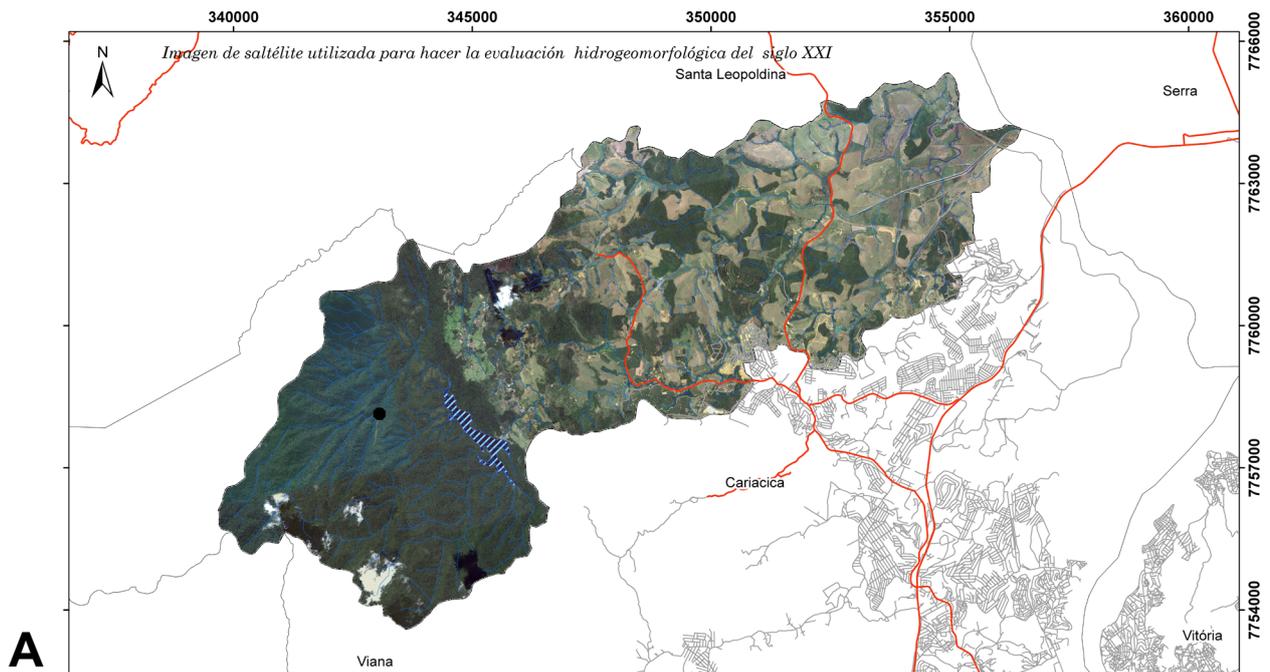
Para la realización de este trabajo fueron utilizadas las siguientes fuentes cartográficas:

- a)** Ortofotomosaico de imágenes Kompsat – 3/3A 2019-2020, del siglo XXI, con resolución espacial de 50 cm, que fue obtenido en el marco del proyecto de Evaluación del Programa de Reforestación, realizado por el Instituto Jones de los Santos Neves (IJSN, 2022);
- b)** fotografías aéreas pancromáticas del año 1970, del siglo XX, obtenidas del aerofotolevantamiento realizado por el entonces Instituto Brasileño del Café (IBC), por medio de su Grupo Ejecutivo de Racionalización de la Cafeicultura (GERCA), que se pusieron a disposición por el Instituto de Defensa Agropecuaria y Forestal del Estado de Espírito Santo (IDAF), a escala 1:25.000.

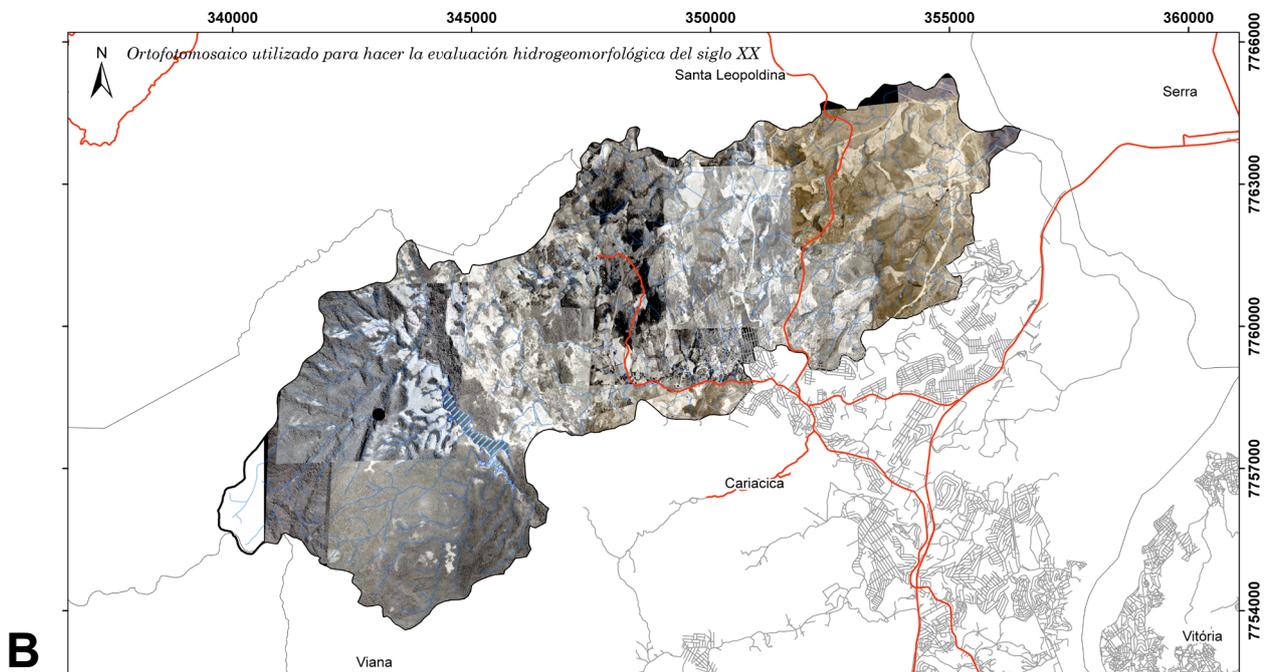
Las fotografías aéreas fueron digitalizadas en el equipo Ricoh Afício Pro 8120S, con resolución de 600 puntos por pulgada (DPI) o 1 metro y fueron interpretadas con el auxilio de estereoscopio (Figura 2). Estas fotografías aéreas han sido utilizadas, ya que son las más antiguas disponibles para los estudios en la CHRDB.

También con la intención de apoyar la clasificación hidrogeomorfológica fue utilizado el modelo digital de elevaciones con resolución espacial de 5 m, que fue aportado por el Geobases. La red hidrográfica y los límites de la CHRDB fueron adaptados del IJSN, utilizándose las ortofotos mencionadas, fotografías obtenidas en campo y observación visual de las interacciones antrópicas en cada tramo para el siglo XXI, teniendo como referencia el año 2019/2020.

Figura 2 – Ortofotos que fueron utilizadas para la clasificación hidrogeomorfológica del río principal de la BRHDB.



Leyenda



Leyenda



Fuente: Los autores.

Para el siglo XX los análisis fueron realizados con base en las imágenes del año 1970 y por conversaciones en campo con la población ribereña entre 2015 y 2018, que ayudaron a comprender la antigua situación de las características del cauce, de la llanura de inundación, del corredor ribereño y de la cobertura vegetal del río Duas Bocas.

En función de las informaciones obtenidas, fue realizada la evaluación y, en el caso de 2019, la validación de la clasificación hidrogeomorfológica de los tramos de la cuenca. Después de realizada la clasificación y valoración para cada siglo, se procedió a la comparación de los resultados.

Para la evaluación hidrogeomorfológica de la CHRDB se utilizó el curso principal del río Duas Bocas, que fue definido por medio de la mayor extensión longitudinal entre la desembocadura y el nacimiento, y se aplicó la propuesta metodológica de Ollero *et al.*, (2007; 2008; 2009) y el Índice Hidrogeomorfológico (IHG).

El IHG está siendo aplicado en diferentes países ibero-americanos, como fue mostrado por Ollero *et al.* (2021), para la evaluación de la calidad de las cuencas hidrográficas. El índice IHG está compuesto por tres parámetros principales: a) calidad funcional del sistema fluvial; b) calidad del cauce y c) calidad de las riberas.

En el parámetro calidad funcional del sistema fluvial, son evaluados la naturalidad del régimen de caudal, la disponibilidad y movilidad de sedimentos y la funcionalidad de la llanura de inundación (Tabla 1).

Para la calidad del cauce (Tabla 2), en la naturalidad del trazado y de la morfología en planta son evaluadas interrelaciones entre los elementos naturales y los procesos geomorfológicos de cada tramo del río. En la continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales se evalúan la continuidad del cauce como forma de relieve y la naturalidad de su fondo o lecho; la naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral valora el estado natural para la perfecta interconexión entre todos los ecotopos y biocenosis y, además, se puede asistir a procesos de erosión y sedimentación que conforman una dinámica geomorfológica lateral activa (OLLERO *et al.*, 2009).

Para determinar la calidad de las riberas se utilizan como indicadores la continuidad longitudinal, la anchura del corredor ribereño y su estructura, naturalidad y conectividad transversal (Tabla 3).

El primero evalúa la continuidad del corredor ribereño a largo del fondo de valle fluvial y su naturalidad y funcionalidad hidrogeomorfológica, ecológica y paisajística; el segundo evalúa su anchura, ya que un corredor ribereño extenso garantiza todas las funciones hidrogeomorfológicas y ejerce de forma efectiva como ecotono y eje de interconexiones entre el cauce, la llanura de inundación, el freático y el valle; el tercer indicador evalúa la distribución de los estratos (herbáceos, arbustivos, arbóreos), la adecuación de las especies vegetales al medio ribereño y la conectividad entre hábitats o ambientes dentro del corredor ribereño y en sentido fundamentalmente transversal, como valor ecológico relevante (OLLERO *et al.*, 2009).

Para cada uno de los tres grandes apartados del índice se atribuye un sistema de valoración en el que el máximo es de 30 puntos, ya que cada uno de sus tres subapartados pueden alcanzar un máximo de 10 puntos, presentando el índice IHG una puntuación final de 0 hasta 90 puntos. Los puntos asignados para cada apartado son realizados por medio de una tabla desarrollada por Ollero *et al.* (2007 y 2008) (Tabla 1, 2 y 3).

Tabla 1 – Modelo de evaluación de la calidad del funcionamiento del sistema fluvial

Calidad funcional del sistema fluvial		
Naturalidad del régimen de caudal (Nrc)		
Tanto la cantidad de caudal circulante por el sector como su distribución temporal y sus procesos extremos responden a la dinámica natural, por lo que el sistema fluvial cumple perfectamente su función de transporte hidrológico		10
	si hay alteraciones muy importantes de caudal, de manera que se invierte el régimen estacional natural, o bien circula de forma permanente un caudal ambiental estable	-10
Aguas arriba o en el propio sector funcional hay actuaciones humanas (embalses, derivaciones, vertidos, detracciones, retornos, trasvases, urbanización de la cuenca, incendios, repoblaciones, etc.) que modifican la cantidad de caudal circulante y/o su distribución temporal	si hay alteraciones marcadas en la cantidad de caudal circulante, al menos durante algunos periodos, lo cual conlleva inversiones en el régimen estacional de caudales	-8
	si hay variaciones en la cantidad de caudal circulante pero las modificaciones del régimen estacional son poco marcadas	-6
	si hay algunas variaciones en la cantidad de caudal circulante pero se mantiene bien caracterizado el régimen estacional de caudal	-4
	si hay modificaciones leves de la cantidad de caudal circulante	-2
Disponibilidad y movilidad de sedimentos (Dms)		
El caudal sólido llega al sector funcional sin retención alguna de origen antrópico y el sistema fluvial ejerce sin cortapisas la función de movilización y transporte de esos sedimentos.		10
Hay presas con capacidad de retener sedimentos en la cuenca vertiente y en los sectores superiores del sistema fluvial	si más de un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-5
	si entre un 50% y un 75% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-4
	si entre un 25% y un 50% de la cuenca vertiente hasta el sector cuenta con retención de sedimentos	-3
	si hay presas que retienen sedimentos, aunque afectan a menos de un 25% de la cuenca vertiente hasta el sector	-2
En el sector se registran extracciones de áridos o dragados que reducen la disponibilidad de sedimentos y alteran su movilidad	Importantes y frecuentes	-4
	Puntuales	-2

Tabla 1 – Cont.

Calidad funcional del sistema fluvial			
En el sector hay síntomas o indicios de dificultades en la movilidad de los sedimentos (<i>armouring, embeddedness</i> , alteraciones de la potencia específica, crecimiento de ciertas especies vegetales...) y pueden atribuirse a factores antrópicos		Notables	-2
		Puntuales	-1
Funcionalidad de la Llanura de inundación (Fli)			
La llanura de inundación puede ejercer sin restricción antrópica sus funciones de disipación de energía en crecida, laminación de caudales-punta por desbordamiento y decantación de sedimentos			10
La llanura de inundación cuenta con defensas longitudinales que restringen las funciones naturales de laminación, decantación y disipación de energía	si son defensas continuas	si son discontinuas pero superan el 50% de la longitud de la llanura de inundación	si alcanzan menos del 50% de la longitud de la llanura de inundación
si predominan defensas directamente adosadas al cauce menor	-5	-4	-3
si están separadas del cauce pero restringen más del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-4	-3	-2
si sólo hay defensas alejadas que restringen menos del 50% de la anchura de la llanura de inundación	-3	-2	-1
La llanura de inundación tiene obstáculos (defensas, vías de comunicación elevadas, edificios, acequias...), generalmente transversales, que alteran los procesos hidrogeomorfológicos de desbordamiento e inundación y los flujos de crecida		si hay abundantes obstáculos	-2
		si hay obstáculos puntuales	-1
La llanura de inundación presenta usos del suelo que reducen su funcionalidad natural o bien ha quedado colgada por dragados o canalización del cauce	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados superan el 50% de su superficie		-3
	si los terrenos sobreelevados o impermeabilizados constituyen entre el 15% y el 50% de su superficie		-2
	si hay terrenos sobreelevados o impermeabilizados aunque no alcanzan el 15% de su superficie		-1

Fuente: Ollero *et al.* (2009).

Tabla 2 – Modelo de evaluación de la calidad del cauce.

Calidad del cauce				
Naturalidad del trazado y de la morfología en planta (Ntmp)				
El trazado del cauce se mantiene natural, inalterado, y la morfología en planta presenta los caracteres y dimensiones acordes con las características de la cuenca y del valle, así como con el funcionamiento natural del sistema				10
Se han registrado cambios de trazado artificiales y modificaciones antrópicas directas de la morfología en planta del cauce	si afectan a más del 50% de la longitud del sector	si afectan a una longitud entre el 25% y el 50%	si afectan a una longitud entre el 10% y el 25%	si afectan a menos del 10% de la longitud del sector
si hay cambios drásticos (desvíos, cortas, relleno de cauces abandonados, simplificación de brazos...)	-8	-7	-6	-5
si, no habiendo cambios drásticos, si se registran cambios menores (retranqueo de márgenes, pequeñas rectificaciones...)	-6	-5	-4	-3
si, no habiendo cambios recientes drásticos o menores, sí hay cambios antiguos que el sistema fluvial ha renaturalizado parcialmente	-4	-3	-2	-1
En el sector se observan cambios retrospectivos y progresivos en la morfología en planta derivados de actividades humanas en la cuenca o del efecto de infraestructuras			notables	-2
			leves	-1
Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales (Cnlp)				
El cauce es natural y continuo y sus procesos hidrogeomorfológicos longitudinales y verticales son funcionales, naturales y acordes con las características de la cuenca y del valle, del sustrato, de la pendiente y del funcionamiento hidrológico				10
En el sector funcional hay infraestructuras transversales al cauce que rompen la continuidad del mismo	si embalsan más del 50% de la longitud del sector	si embalsan del 25 al 50% de la longitud del sector	si embalsan menos del 25% de la longitud del sector	

Tabla 2 – Cont.

Calidad del cauce			
si hay al menos una presa de más de 10 m de altura y sin bypass para sedimentos	-5	-4	-3
si hay varios azudes o al menos una presa de más de 10 m con bypass para sedimentos	-4	-3	-2
si hay un solo azud	-3	-2	-1
Hay puentes, vados u otros obstáculos menores que alteran la continuidad longitudinal del cauce	más de 1 por cada km de cauce		-2
	menos de 1 por cada km de cauce		-1
La topografía del fondo del lecho, la sucesión de resaltes y remansos, la granulometría-morfometría de los materiales o la vegetación acuática o pionera del lecho muestran síntomas de haber sido alterados por dragados, extracciones, solados o limpiezas	en más del 25% de la longitud del sector		-3
	en un ámbito de entre el 5 y el 25% de la longitud del sector		-2
	de forma puntual		-1
Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral (Nmml)			
El cauce es natural y tiene capacidad de movilizarse lateralmente sin cortapisas, ya que sus márgenes naturales presentan una morfología acorde con los procesos hidrogeomorfológicos de erosión y sedimentación			10
	en más del 75% de la longitud del sector		-6
El cauce ha sufrido una canalización total o hay defensas de margen no continuas o infraestructuras (edificios, vías de comunicación, acequias...) adosadas a las márgenes	entre un 50% y un 75% de la longitud del sector		-5
	entre un 25% y un 50% de la longitud del sector		-4
	entre un 10 y un 25% de la longitud del sector		-3
	entre un 5 y un 10% de la longitud del sector		-2
	en menos de un 5% de la longitud del sector		-1

Tabla 2 – Cont.

Calidad del cauce		
Las márgenes del cauce presentan elementos no naturales, escombros o intervenciones que modifican su morfología natural	notables	-2
	leves	-1
En el sector se observan síntomas de que la dinámica lateral está limitada o no hay un buen equilibrio entre márgenes de erosión y de sedimentación, pudiendo ser efecto de actuaciones en sectores funcionales aguas arriba	notables	-2
	leves	-1

Fuente: Ollero *et al.* (2009).

Tabla 3 – Modelo de evaluación de la calidad del corredor ribereño.

Calidad del corredor ribereño			
Continuidad longitudinal (CI)			
El corredor ribereño es continuo a lo largo de todo el sector funcional y en ambas márgenes del cauce menor, siempre que el marco geomorfológico del valle lo permita			10
La continuidad longitudinal de las riberas naturales puede estar interrumpida bien por usos del suelo permanentes (urbanización, naves, granjas, graveras, edificios, carreteras, puentes, defensas, acequias...) o bien por superficies con usos del suelo no permanentes (choperas, cultivos, zonas taladas, caminos...).	si más del 70% de las discontinuidades son permanentes	si entre un 30% y un 70% de las discontinuidades son permanentes	si menos del 30% de las discontinuidades son permanentes
si las riberas están totalmente eliminadas	-10	-10	-10
si la longitud de las discontinuidades supera el 85% de la longitud total de las riberas	-10	-9	-8
si las discontinuidades suponen entre el 75% y el 85% de la longitud total de las riberas	-9	-8	-7
si las discontinuidades suponen entre el 65% y el 75% de la longitud total de las riberas	-8	-7	-6
si las discontinuidades suponen entre el 55% y el 65% de la longitud total de las riberas	-7	-6	-5
si las discontinuidades suponen entre el 45% y el 55% de la longitud total de las riberas	-6	-5	-4
si las discontinuidades suponen entre el 35% y el 45% de la longitud total de las riberas	-5	-4	-3
si las discontinuidades suponen entre el 25% y el 35% de la longitud total de las riberas	-4	-3	-2
si las discontinuidades suponen entre el 15% y el 25% de la longitud total de las riberas	-3	-2	-1
si las discontinuidades suponen menos del 15%	-2	-1	-1
Anchura del corredor ribereño (Acr)			
Las riberas naturales supervivientes conservan toda su anchura potencial, de manera que cumplen perfectamente su papel en el sistema hidrogeomorfológico.			10

Tabla 3 – Cont.

Calidad del corredor ribereño				
La anchura de la ribera superviviente ha sido reducida por ocupación antrópica	si la anchura media del corredor ribereño actual es inferior al 40% de la potencial		-8	
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 60% y el 80% de la anchura potencial		-6	
	si la anchura media del corredor ribereño actual se encuentra entre el 40% y el 60% de la anchura potencial		-4	
	si la anchura media del corredor ribereño actual es superior al 80% de la potencial		-2	
	si la Continuidad longitudinal ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)		-10	
si la Continuidad longitudinal ha resultado 1		-2		
si la Continuidad longitudinal ha resultado 2 ó 3		-1		
Estructura, naturalidad y conectividad transversal (Enct)				
En las riberas supervivientes se conserva la estructura natural (orlas, estratos, hábitats), la naturalidad de las especies y toda la complejidad y diversidad transversal, no existiendo ningún obstáculo antrópico interno que separe o desconecte los distintos hábitats o ambientes que conforman el corredor.			10	
Hay presiones antrópicas en las riberas (pastoreo, desbroces, talas, incendios, explotación del acuífero, recogida de madera muerta, relleno de brazos abandonados, basuras, uso recreativo...) que alteran su estructura, o bien la ribera se ha matorralizado por desconexión con el freático (cauces con incisión)	si se extienden en más del 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden entre el 25% y el 50% de la superficie de la ribera actual	si se extienden en menos del 25% de la superficie de la ribera actual	
	si las alteraciones son importantes	-4	-3	-2
	si las alteraciones son leves	-3	-2	-1
La naturalidad de la vegetación ribereña ha sido alterada por invasiones o repoblaciones	si las alteraciones son significativas		-2	
	si las alteraciones son leves		-1	

Tabla 3 – Cont.

Calidad del corredor ribereño		
En el sector hay infraestructuras lineales, generalmente longitudinales o diagonales, (carreteras, defensas, acequias, pistas, caminos...) que alteran la conectividad transversal del corredor	si se distribuyen por todo el sector y la suma de sus longitudes supera el 150% de la longitud de las riberas	-4
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 100% y el 150% de la longitud de las riberas	-3
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 50% y el 100% de la longitud de las riberas	-2
	si la suma de sus longitudes es inferior al 50% de la de las riberas	-1
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 100% y el 150% de la longitud de las riberas	-3
	si la suma de sus longitudes da un valor entre el 50% y el 100% de la longitud de las riberas	-2
	si la suma de sus longitudes es inferior al 50% de la de las riberas	-1
	si la Continuidad longitudinal ha resultado 0 (ribera totalmente eliminada)	-10
	si la Continuidad longitudinal ha resultado 1	-2
	si la Continuidad longitudinal ha resultado 2 ó 3	-1

Fuente: Ollero *et al.* (2009).

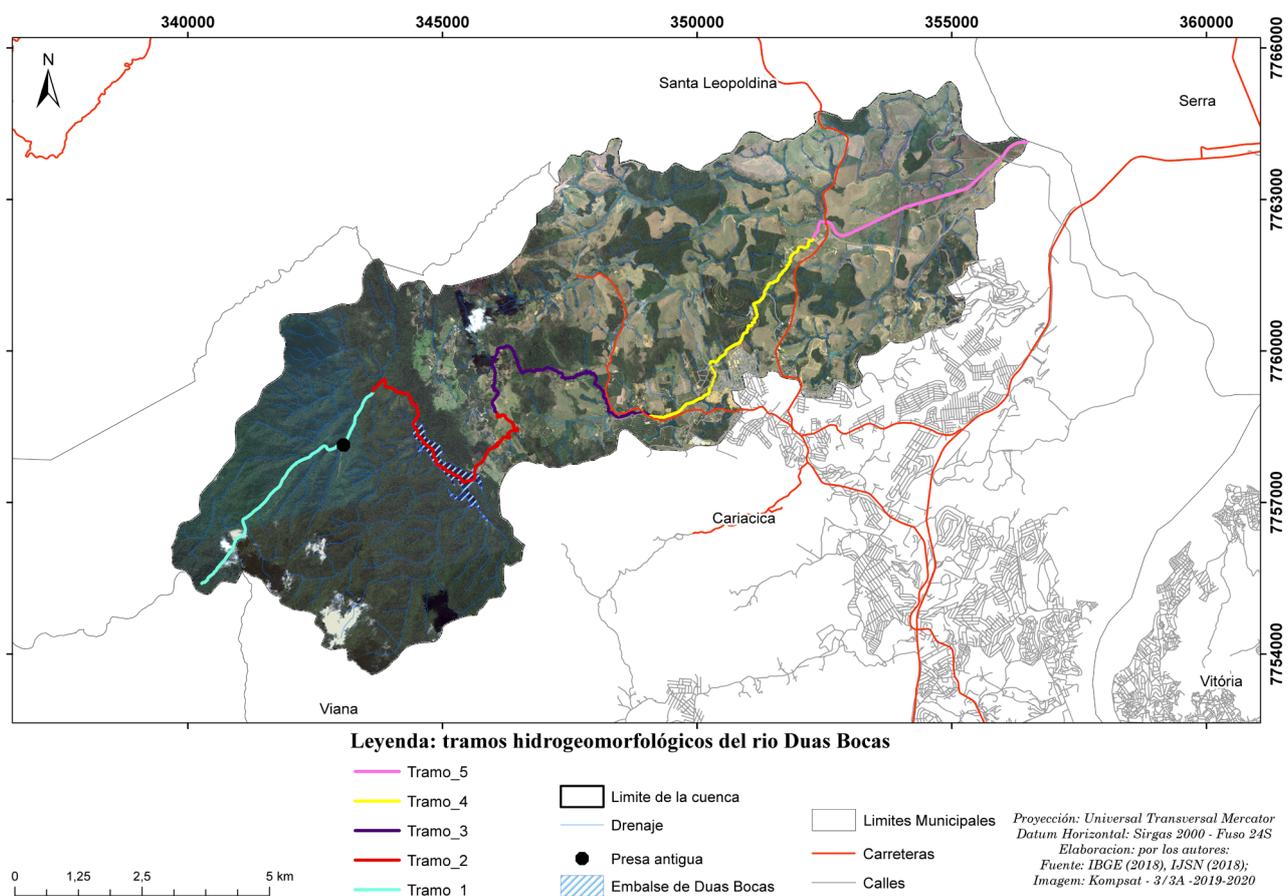
Para sectorizar el curso principal del río Duas Bocas que tiene 28,30 km, fueron utilizados los criterios de Díaz e Ollero (2005), analizando las características internamente homogéneas de cada tramo, criterios fisiográficos de los mismos, longitud del curso principal, características del valle y cambio antrópicos en el río.

Con esos criterios y considerando la longitud del río principal del Duas Bocas, se establecieron cinco tramos con una longitud media de 5,66 km, con el objeto de establecer, de forma lo más próxima posible, condiciones que pueden evaluar los procesos naturales y antrópicos que actúan en la cuenca y pueden cambiar la calidad hidrogeomorfológica (Figura 3).

Una vez concluido el proceso explicado hasta aquí, fue obtenida la valoración de la calidad hidrogeomorfológica de los tramos del curso principal del río Duas Bocas. Después, los mismos fueron categorizados conforme a la Directiva 2000/60/CE (CE, 2000) y la propuesta de Ollero *et al.* (2009) (Tabla 4).

Las operaciones de geoprocésamiento para la elaboración de mapas, categorización de los tramos, adaptación de la drenaje y de los límites de la cuenca de Duas Bocas fueron realizadas con Sistema de Información Geográfica libre, con el uso del sistema de coordenadas Sirgas 2000/24S. Para la elaboración de gráficas y tablas fue utilizado el paquete *Microsoft Excel*[®].

Figura 3 – Localización de los tramos hidrogeomorfológicos del río principal de la CHRDB



Fuente: Los autores.

Tabla 4 – Modelo de evaluación de la calidad hidrogeomorfológica del río Duas Bocas (ES).

Evaluación hidrogeomorfológica del río		
Puntuación por apartado	Calidad hidrogeomorfológica del río (OLLERO <i>et al.</i> , 2009)	Puntuación total del IHG del río
0 – 6	Muy mala	0-20
7 – 13	Deficiente	21-41
14 – 19	Moderada	42-59
20 – 24	Buena	60-74
25 – 30	Muy buena	75-90

Fuente: Ollero *et al.* (2009).

Resultados y discusión

Con los datos obtenidos son presentados los resultados en orden, para la calidad funcional del sistema fluvial (Cfsf), la calidad del cauce fluvial (Ccf) y la calidad de la riberas o zona riparia o selva ciliar (Cr).

Calidad funcional del sistema fluvial (Cfsf)

Como se representa en la figura 4, la calidad funcional en el siglo XX fue más alta que la verificada en el siglo XXI, con excepción del tramo 1, que resultaba peor en el siglo XX.

La evaluación de la calidad funcional del sistema fluvial del tramo 1 para el siglo XX ha resultado moderada, mientras en el siglo XXI se ha recuperado y alcanzado una calidad muy buena. En el siglo XX las notas más bajas con relación al siglo XXI fueron obtenidas por Nrc y Dms, debido a presencia de la presa vieja (construida entre 1912 y 1918), que en el siglo XX provocaba muchos impactos sobre el régimen de flujo y transporte de sedimentos del río en el tramo 1.

Actualmente, sin embargo, la presa vieja está totalmente colmatada con sedimentos que fueron erosionados de las laderas y en las orillas y retenidos a lo largo del tiempo, disminuyendo sus efectos sobre la hidrosedimentología del tramo (Figura 3). Además, Ferreira (2019) destaca que en el tramo 1 está presente la selva de Mata Atlântica, en los límites de la ReBio de Duas Bocas, que es importante para mantener las principales cabeceras de drenaje de primer hasta el tercer orden fluvial de la CHRDB.

Sin embargo, la funcionalidad de la llanura de inundación (Fli) no es muy diferente, resultando 7 puntos para el siglo XX y 10 puntos para el siglo XXI. La menor puntuación del siglo XX es debida a la pequeña ocupación humana que había en la llanura del tramo, como han destacado Boni *et al.* (2009).

En el caso del tramo 2, con la presa de Duas Bocas desde 1951, que cierra un embalse de 50 hectáreas, se produjo el anegamiento del valle y del curso fluvial, que desaparecieron en el paisaje, impactando en toda su hidrogeomorfología de laderas y del cauce, de manera que los procesos que actuaban en este tramo han tenido que adaptarse a un nuevo nivel de base antrópico presente hasta la actualidad. La valoración resultante es muy mala para ambos siglos,

con nota cero (Figura 4). Esto también ha sido encontrado por Barboza *et al.* (2017) en una cuenca hidrográfica del río Utcubamba (Perú) y por Ollero *et al.* (2009) en la cuenca del río Ebro.

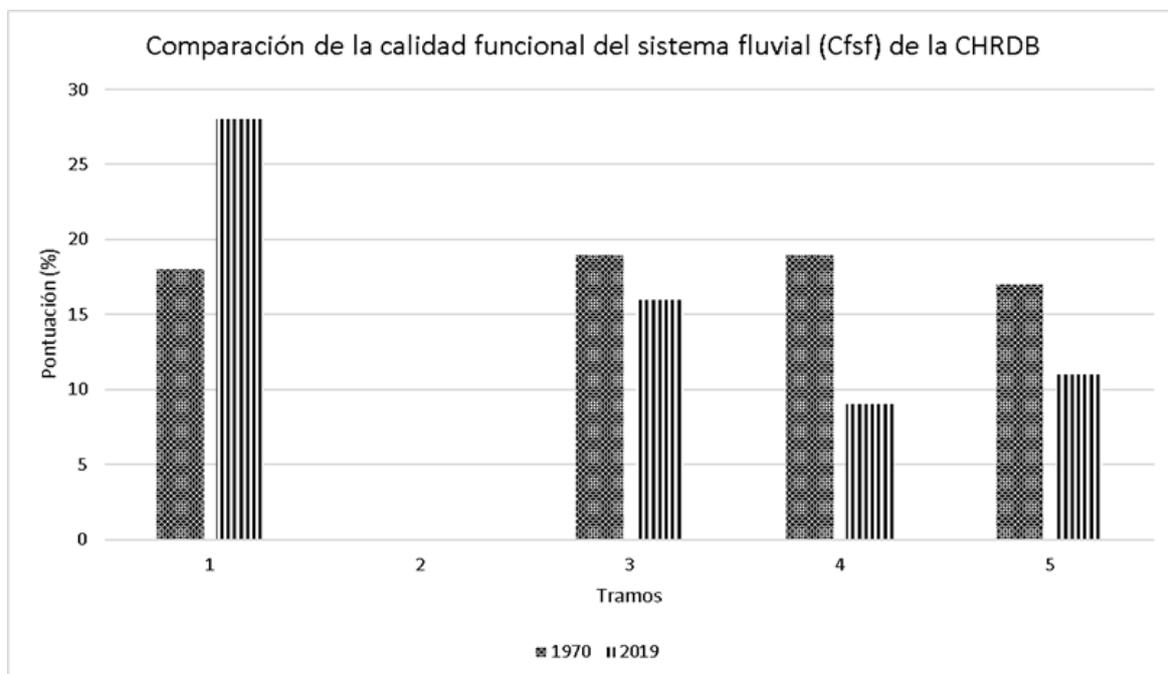
El tramo 3 fue el que obtuvo una menor diferencia en los resultados de la evaluación entre los dos siglos, manteniendo una similar apropiación del espacio geográfico a lo largo del tiempo, siendo posible mantener una calidad hidromorfológica moderada. Esto indica que no ocurrieron severas alteraciones en el cauce fluvial y en las laderas, capaces de cambiar su evaluación.

En los tramos 4 y 5 con el avance de las transformaciones en los usos del suelo entre los siglos XX y XXI, con construcciones de azudes no oficiales, puentes, expansión agrícola y aumento de las carreteras, se ha registrado la disminución de la puntuación del Nrv, Dms y Fli y de la calidad hidromorfológica del cauce principal de la CHRDB, bajando la evaluación de 19 a 14 puntos en el tramo 4, lo cual es moderado en ambos casos, mientras en el tramo 5 la calidad ha descendido de moderada a deficiente (Figura 5).

También en el tramo 5 fue posible verificar y comprobar en campo y por medio de la ortofoto de 2019 que meandros activos y abandonados fueron eliminados por la construcción de carreteras, ferrocarriles, canalización y actividades agropastoriles, provocando prejuicios significativos al tramo.

Las alteraciones en la calidad funcional en la CHRDB son observadas también en otros sitios de América del Sur, como por Díaz Presas (2022) en Argentina, donde se han encontrado el efecto de las presas en la dinámica del río, así como por Ollero *et al.* (2011) en el río Ebro.

Figura 4 – Comparación de la calidad funcional del sistema fluvial de la CHRDB entre los siglos XX y XXI.



Fuente: Los autores.

Figura 5 – Embalses en el cauce principal de la CHRDB.



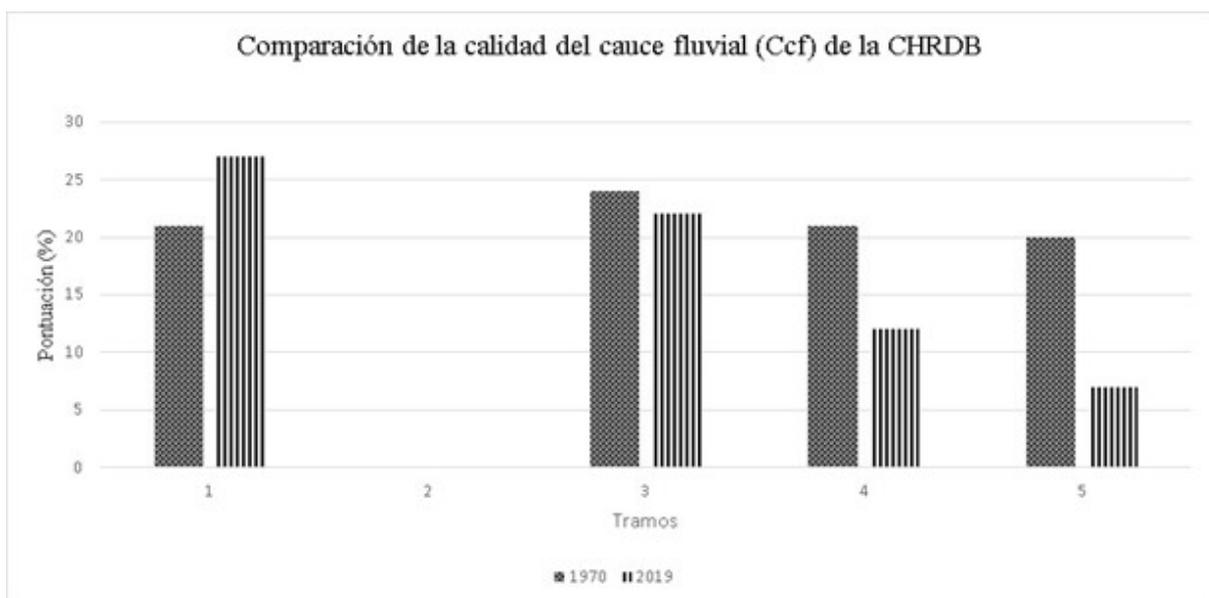
A: Presa Vieja en la cabecera de drenaje (tramo 1); **B:** Embalse de Duas Bocas (tramo 2).
Fuente: Los autores.

Calidad del cauce fluvial (Ccf)

Considerando lo apuntado en la figura 5, y nuevamente con excepción del tramo 1, todos los demás tramos obtuvieron un valor más alto en el siglo XX en relación al siglo XXI. Tal hecho no se aplica al tramo 2, que permanece con la misma calidad en los dos períodos, debido a la presa y el embalse presente en el tramo (Figura 6).

Con relación al tramo 1, en función de las alteraciones por la construcción de la presa antigua y la ocupación antrópica, se registró peor evaluación en el siglo XX, toda vez que el curso fluvial tuvo que reordenar su morfología, que fue anegada por la pequeña presa y redujo la sinuosidad. Sin embargo, con la colmatación del mismo al largo del tiempo, fue nuevamente

Figura 6 – Comparación de la calidad del cauce fluvial (Ccf) de la CHRDB.



Fuente: Los autores.

restaurado para una condición de equilibrio alrededor de la antigua y promovió el aumento del valor hidromorfológico, de bueno en siglo XX a muy bueno en siglo XXI.

En el caso del parámetro Cnlp, en el tramo 1 también ocurrió una alteración en el mecanismo de transporte de sedimentos en rodamiento, saltación y suspensión debido a las alteraciones antrópicas, cuando se analiza la situación del siglo XXI.

El tramo 3 fue el que tuvo la menor diferencia en la evaluación de la calidad funcional del cauce fluvial (Ccf), obteniendo para los dos siglos una valoración moderada, consolidándose como un tramo de transición entre las porciones más alta y baja de la CHRDB.

Los tramos 4 y 5 fueron los que presentaron la mayor diferencia entre los siglos XX y XXI (Figura 6), debido las transformaciones e intervenciones en el cauce que ocurrieron en el siglo XXI. El tramo 5 sufrió la rectilinización, recorte de meandros activos y abandonados, con lo que cambió la naturalidad del trazado y de la morfología del río. Así los tramos 4 y 5 han sido evaluados con calidad hidrogeomorfológica buena en el siglo XX y deficientes en el siglo XXI.

También en el siglo XXI ha tenido lugar en el tramo 5 la expansión de las carreteras en el sentido longitudinal y paralelo al cauce fluvial, que según Blanton y Marcus (2009) alteran la conectividad lateral y la dinámica natural del río, cambiando su morfología en relación a los procesos hidrogeomorfológicos actuantes.

La menor valoración de los tramos 3, 4 y 5 en el siglo XXI en relación al siglo XX está en conformidad a las valoraciones de Santos y Marchioro (2020), Lobo (2022), Souza (2022) y Lemos (2018), ya que, de acuerdo con los autores citados, la CHRDB estaba en condiciones más cerca de las naturales en el siglo XX, con pequeños impactos ambientales.

Calidad de corredor ribereño, zona ribera o bosque de ribera (Cr)

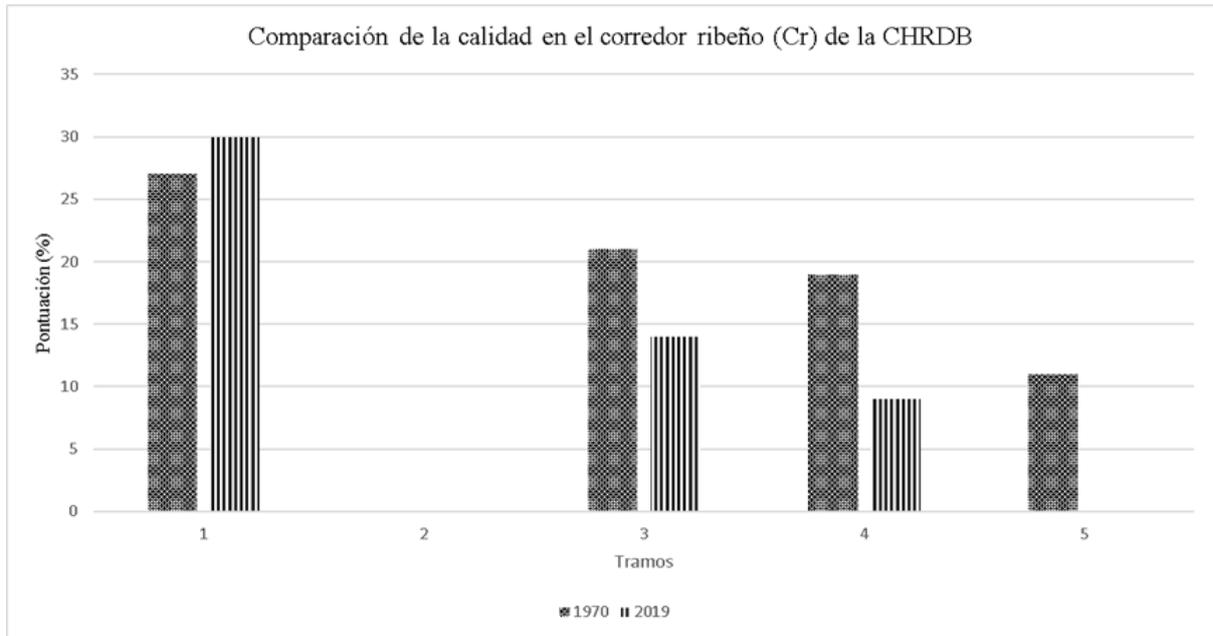
De acuerdo con Ollero *et al.* (2008), el corredor ribereño o zona de ribera es el espacio en que se ha movido el cauce menor en las últimas décadas. El papel hidrogeomorfológico de esta banda natural es disminuir la velocidad de la corriente, favoreciendo la sedimentación diferencial y reforzando y estabilizando las orillas (Figura 7).

El comportamiento verificado en los parámetros anteriores fue encontrado también en este ítem, en el que, con excepción del tramo 1, siempre en el siglo XX la valoración fue más alta. Es muy importante señalar que los tramos 4 y 5 en el siglo XXI presentaron una valoración muy baja y en el caso de lo tramo 5, una nota de cero, debido a deforestación del tramo por la acción antrópica.

La mejor valoración del tramo 1 en el siglo XXI es debida a la creación de la Reserva Forestal, por la Ley estadual de nº 2.095, de 12 de enero de 1965, cambiada para Reserva Biológica de Duas Bocas por la Ley estadual de nº 4.503 de 02/01/1991.

Además, con la protección del área se ha asistido a una alta regeneración natural de la cobertura vegetal, toda vez que, en su interior, había hasta 1965 actividades de pastoreo, plátano y café que disminuyeron la nota en el siglo XX. Pero es muy importante indicar que la diferencia entre los dos periodos fue de solo 3 puntos, la más baja entre todas las diferencias de los demás tramos, lo que indica la importancia de la selva en las laderas y en las riberas para la protección ambiental.

Figura 7 – Comparación de la calidad del corredor ribereño de la CHRDB.



Fuente: Los autores.

Con relación al tramo 2, nuevamente la valoración en los dos tramos fue cero, pues el embalse ahogó la vegetación del corredor ribereño eliminando este hasta el momento presente.

El tramo 3 obtuvo la segunda menor diferencia entre las valoraciones, lo que indica un tramo de transición entre las condiciones del siglo XX y XXI, incluso con las apropiaciones del territorio de este tramo de la cuenca hidrográfica.

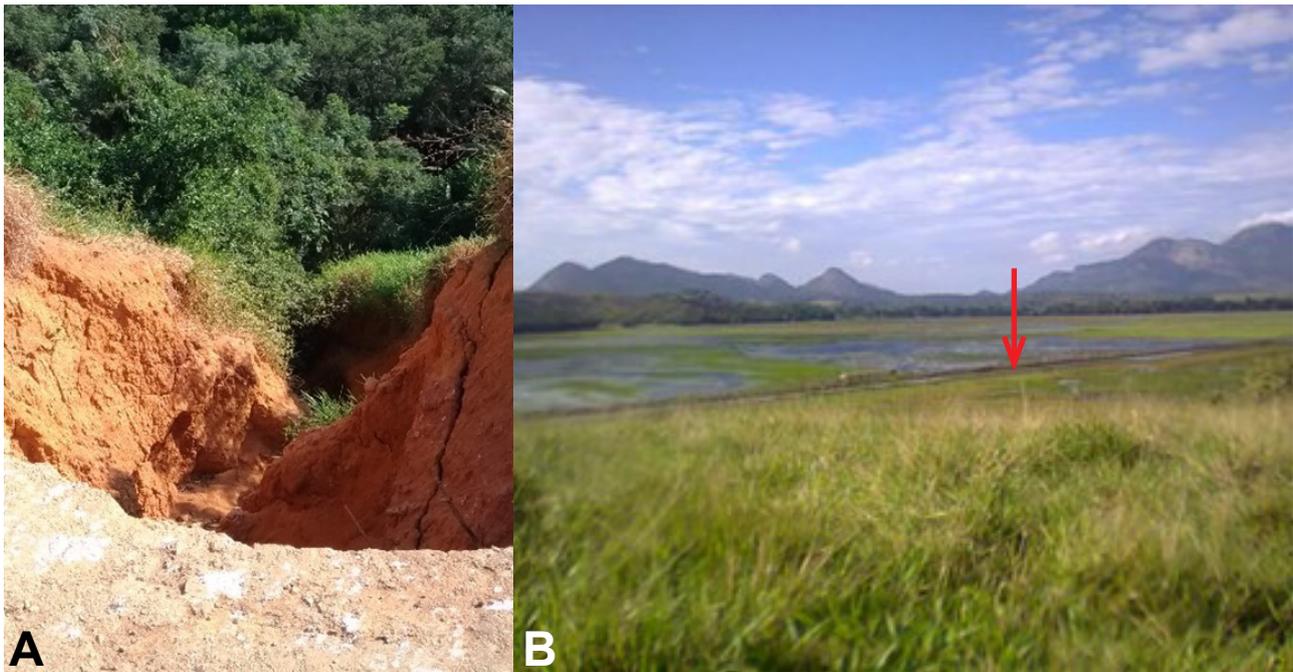
La valoración de los sectores 4 y 5 obtuvo las mayores diferencias de entre todos los tramos evaluados, debido a la deforestación para múltiples fines, eliminando la cobertura forestal del corredor ribereño, y sustituyéndola por actividades agropastoriles, carreteras, urbanización, azudes y rectilinearización del cauce del río (Figura 8), lo que contribuye a una baja evaluación, disminuyendo entre los siglos XX y XXI, pasando el tramo 4 de moderada a deficiente y el tramo 5 de deficiente a muy mala.

En el caso del tramo 4, con las transformaciones entre los siglos XX y XXI se generó la formación de cárcavas debido a los cambios de las condiciones hidrogeomorfológicas en las laderas, creciendo la producción de los sedimentos que llegan al cauce fluvial.

Otro hecho muy importante es que, con las carreteras y ferrocarriles que están dispuestos en el sentido longitudinal y transversal, se produjo la disminución de la conectividad lateral y longitudinal del cauce, ocasionando la reducción de su función geohidroecológica (FRYIRS, 2013; KINDLMANN; BUREL, 2008; POEPPL *et al.*, 2019; WOHL *et al.*, 2019).

En función de la erosión de los suelos y de la importancia del corredor ribereño, en 1965 fue creado el Código Forestal Brasileño, que fue modificado en 25 de mayo de 2012 para su protección ambiental. Aunque existe esta legislación ambiental, en algunos sectores del cauce no es posible verificar su implantación, por su destrucción por las actividades antrópicas.

Figura 8 – Ejemplos de algunas alteraciones hidrogeomorfológicas en la CHRDB



A: Cárcava en el tramo 3; **B:** rectilización en el tramo 5.

Fuente: Los autores.

Ollero *et al.* (2009) apuntan que el papel hidrogeomorfológico principal de la vegetación de ribera es el de filtro de los procesos fluviales, disminuyendo la velocidad de la corriente, favoreciendo la sedimentación diferencial y reforzando y estabilizando las orillas.

Así, la destrucción del corredor ribereño tiene impacto sobre la hidrogeomorfología de los ríos, contribuyendo a una mayor erosión de las orillas, a aumentar la energía de las crecidas, no ejerciendo la ribera su función efectiva como ecotono y eje de interconexiones entre el cauce, la llanura de inundación, el freático y el valle.

La valoración hidrogeomorfológica de la cuenca hidrográfica del río Duas Bocas (ES)

La valoración hidrogeomorfológica de la cuenca hidrográfica del río Duas Bocas es el resultado final de la suma de la calidad funcional del sistema fluvial (Cfsf), de la calidad del cauce fluvial (Ccf) y de la calidad de las riberas (Cr).

En la figura 8 se puede observar la valoración final de la calidad hidrogeomorfológica de los tramos de la CHRDB entre los siglos XX y XXI. Entre el siglo XX y el siglo XXI ha sido posible valorar una disminución de la calidad hidrogeomorfológica de la CHRDB, del cauce medio y bajo del río Duas Bocas. Estos cambios de la calidad hidrogeomorfológica del cauce de la CHRDB están asociados a la acción antrópica con múltiples fines, desde agropastoriles hasta carreteras y ferrocarriles.

Tal como ha resultado evaluado, el tramo 1 en el siglo XX alcanzó una valoración más baja que en el siglo XXI, y para los dos momentos temporales el tramo 1 de la CHRDB ha sido el mejor calificado de la cuenca, con una calidad buena y muy buena.

También es muy importante señalar que en el tramo 1 las laderas son pendientes y de poca extensión, lo que disminuyó la posibilidad de ocupación por las actividades agropastoriles en el siglo XX, que después ya tampoco pudieron ser desarrolladas a causa de la declaración de Reserva Biológica de Duas Bocas.

La importancia de la cobertura vegetal para las cabeceras fluviales en la CHRDB ha sido destacada también en los trabajos de Santos y Marchioro (2018 y 2020), Lobo (2022), Souza (2022), Marchioro *et al.* (2022), que apuntan sobre la importancia de la cobertura vegetal para disminuir la pérdida de suelo y para la alimentación de los arroyos de primer y segundo orden fluvial, que son muy sensibles a los cambios climáticos y del uso y cobertura de la tierra.

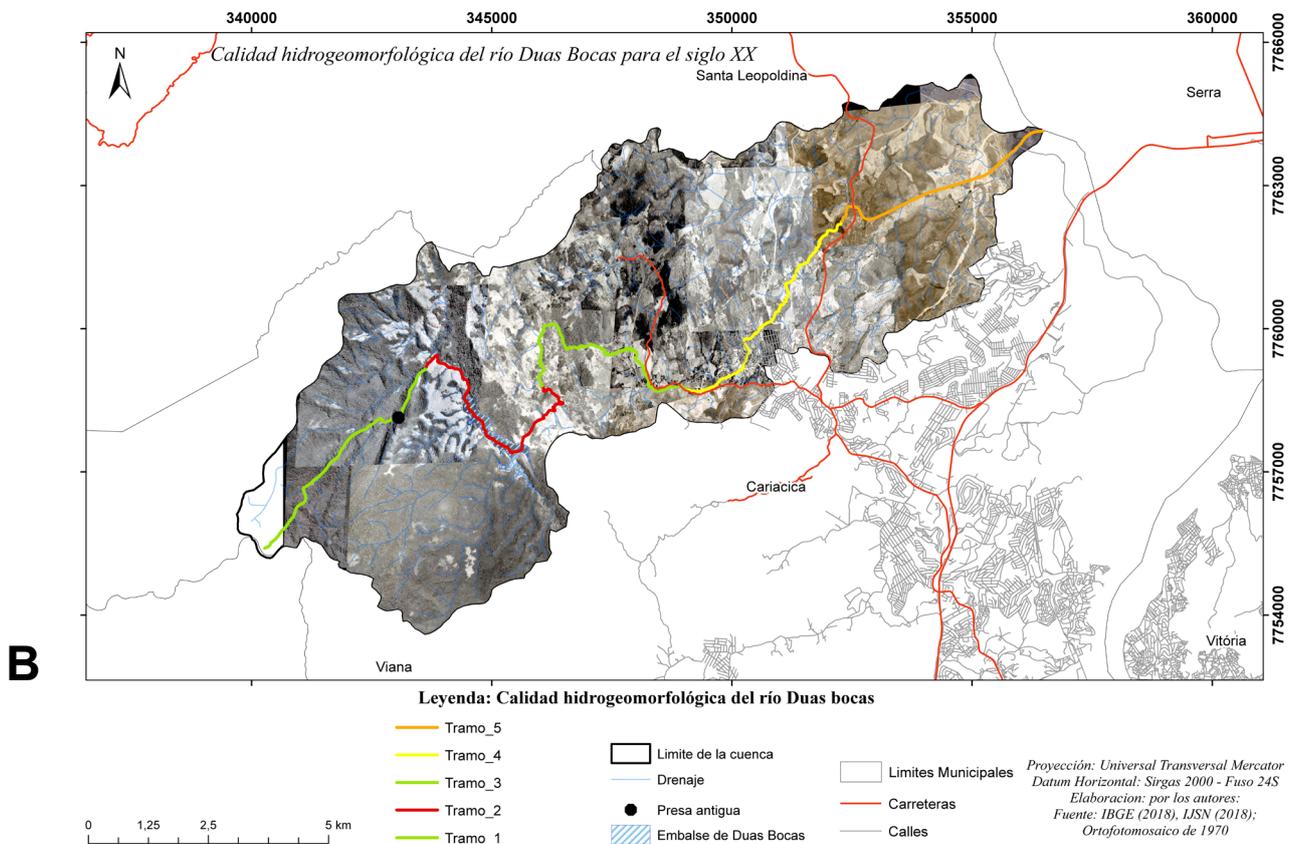
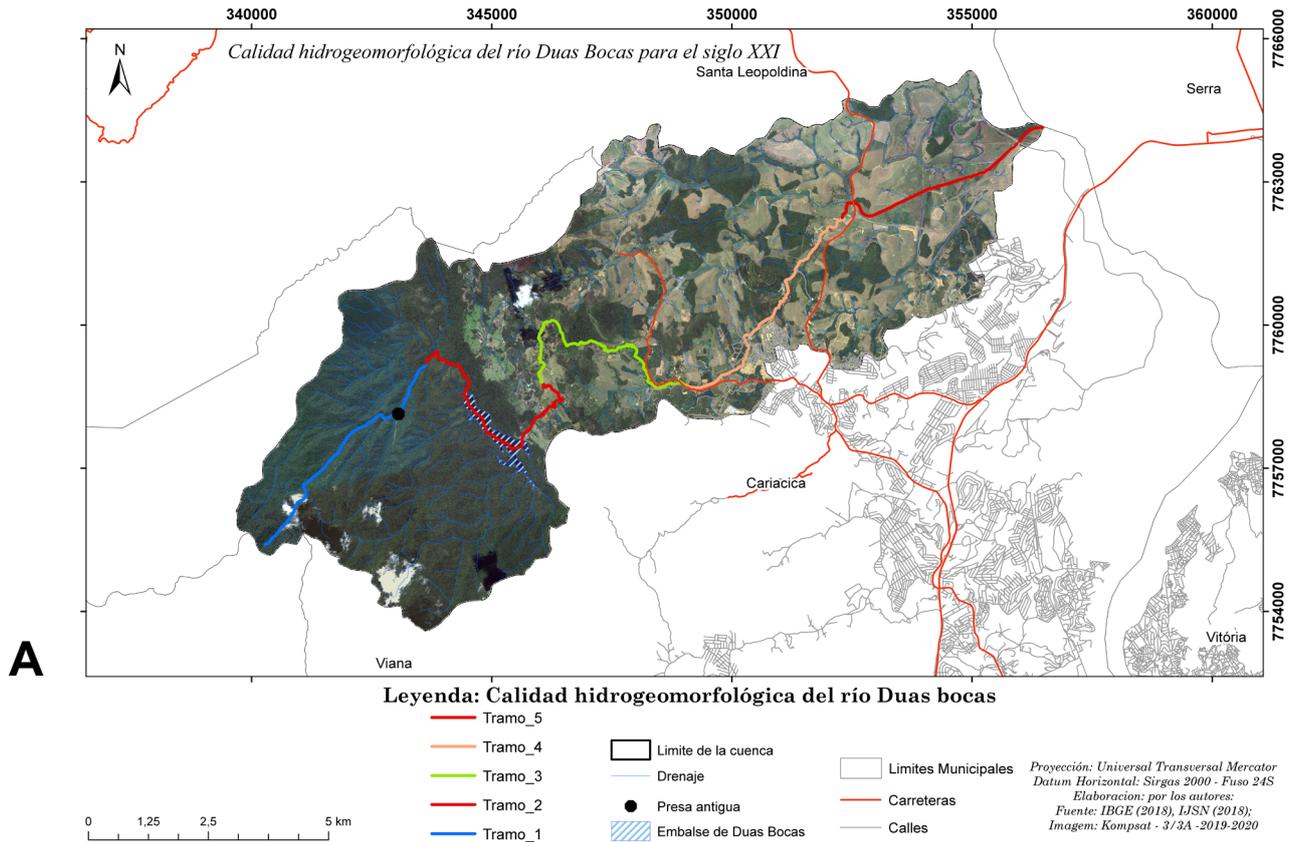
En los tramos 4 y 5 la deforestación de las riberas es un problema que rebaja mucho la valoración entre los siglos XX y XXI (Figura 9), por lo que sería muy importante la reforestación para mejorar su calidad. Pero es importante implantar especies autóctonas y adaptables a las condiciones ambientales de estos tramos, teniendo en cuenta las condiciones del nivel freático, que es muy alto en el caso del tramo 5.

Así, con los cambios en los espacios geográficos de los tramos 4 y 5, se ha registrado, respectivamente, el cambio de moderado a deficiente y de deficiente a muy malo entre los siglos XX y XXI. También en esos tramos fueron encontrados problemas de modificación del cauce natural entre el siglo XX y el siglo XXI, como la canalización, la rectilinización y la ruptura de los meandros.

Las modificaciones en estos tramos han sido verificadas también los estudios de Volonté y Gil (2021), en Argentina, y Parra *et al.*, (2015), en Chile, que han encontrado que los procesos de deforestación, monocultivo forestal y malas prácticas agrícolas, rectilinización, disminuyen la calidad hidrogeomorfológica del río. Así, en estos casos, es muy relevante intentar aplicar medidas de restauración fluvial para lograr el pleno funcionamiento de las cuencas hidrográficas.

Cuando se observa el tramo 2, no han sido verificadas alteraciones en su calidad, muy mala para los dos periodos, debido a la presa de Duas Bocas. Eso también ha sido encontrado en trabajo de Martí y Nova (2019) debido la construcciones de presas y canalizaciones. Además, trabajos de Morris y Fan (1998), Ollero (2010), Annandale *et al.* (2016); Chong *et al.*, (2021) apuntan que los embalses generan demasiadas alteraciones en la hidrosedimentología e hidrogeomorfología del río, como la creación de niveles de base antrópicos aguas arriba e incisiones aguas abajo de las presas.

Figura 9 – Comparación de la valoración hidrogeomorfológica del río Duas Bocas (ES).



Fuente: Los autores.

Conclusiones

El estudio ha demostrado que la cobertura vegetal es muy importante para la calidad hidrogeomorfológica de las cuencas hidrográficas, ya que afecta a la hidrogeomorfología de la cuenca del río Duas Bocas. Sin embargo, el tramo 1 fue el que obtuvo la más alta valoración para los dos siglos en la CHRDB, debido a la restauración natural del bosque con la creación de la Reserva Biológica de Duas Bocas.

La presa y el embalse que se instalaron en el tramo 2 constituyen un elemento del paisaje que alteró la hidrogeomorfología del cauce del río y su conectividad con las laderas del río Duas Bocas, aunque es útil para el abastecimiento de agua para la población de la RMGV.

El estudio evidencia que las actividades antrópicas con diferentes escalas espacio-temporales disminuyen la calidad hidrogeomorfológica de la cuenca entre los siglos XX y XXI para la mayor parte de la misma y hacen necesarias algunas intervenciones para que se logre una restauración fluvial, la preservación ambiental y la mejora de la calidad hidrogeomorfológica de la CHRDB.

Por fin, para desarrollar un estudio retrospectivo como este, son necesarios buenos conocimientos de la cuenca hidrográfica, buenas imágenes aéreas y satelitales, trabajo de campo con los ribereños y mucha experiencia de investigación con el tema en el momento de la calificación.

Referencias

- ANNANDALE, G.; MORRIS, G.; KARKI, P. **Extending the Life of Reservoirs**. New York: The World Bank, 2016.
- BALLARÍN, D. **Revisión crítica de indicadores hidrogeomorfológicos fluviales y análisis de aplicabilidad sobre el terreno**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Grado en Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Universidad de Zaragoza, 2022.
- BARBOZA, E. *et al.* Hidrogeomorfología en áreas tropicales: aplicación del índice hidrogeomorfológico (IHG) en el río Utcubamba (Perú). **Ecología Aplicada**, v. 16, n. 1, p. 39, 2017. <https://doi.org/10.21704/rea.v16i1.902>
- BASTOS, K. V. *et al.* Ritmo Pluviométrico da Bacia do Rio Duas Bocas (ES). I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias – SASGEO. **Anais...Uberaba (MG)**, 2015
- BELLETTI, B. *et al.* A review of assessment methods for river hydromorphology. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 5, p. 2079–2100, 2015. <https://doi.org/10.3390/hydrology8040143>
- BIERMAN, P.R.; MONTGOMERY, D. R. **Key concepts in geomorphology**. New York: W. H. Freeman, 2019.
- BLANTON, P.; MARCUS, W. A. Railroads, roads and lateral disconnection in the river landscapes of the continental United States. **Geomorphology**, v. 112, n. 3-4, p. 212–227, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.06.008>

- BONI, R.; NOVELLI, F.Z.; SILVA, A. G. Um alerta para os riscos de bioinvasão de jaqueiras, *Artocarpus heterophyllus* Lam., na Reserva Biológica Paulo Fraga Rodrigues, antiga Reserva Biológica Duas Bocas, no Espírito Santo, Sudeste do Brasil. **Natureza on line**, v. 7, n. 1, p. 51-55, 2009.
- CE – COMUNIDADE EUROPEIA. **Directiva 2000/60/CE - Marco Comunitario de actuación política de aguas**. 2000. Disponível em: <https://www.boe.es/doue/2000/327/L00001-00073.pdf>.
- CHONG, X. Y. *et al.* A review of the impacts of dams on the hydromorphology of tropical rivers. **Science of The Total Environment**, v. 794, 148686, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148686>
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo**: Carta Geológica: Folha SF-24-VB-I. 2014. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/18379/mapa_geologico_vitoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- CUPERTINO, W. **Área de contribuição e aporte hidrossedimentológico no reservatório de Duas Bocas - Cariacica - ES**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, 2018.
- DÍAZ, E.; OLLERO, A. Metodología para la clasificación geomorfológica de los cursos fluviales de la cuenca del Ebro. **Geographicalia**, n. 47, p. 23-45, 2005. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2005471328
- DÍAZ PRESAS, S. **Caracterización geomorfológica y aplicación del índice hidrogeomorfológico (IHG) en el Alto Valle del río Negro**. Monografía – Departamento de Geología, Universidad Nacional del Rio Negro, 2022.
- FERREIRA, I. G. **Dinâmica da água subsuperficial em uma cabeceira de drenagem do rio Duas Bocas (Reserva Biológica de Duas Bocas - ES)**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, 2019.
- FRYIRS, K. (Dis)Connectivity in catchment sediment cascades: A fresh look at the sediment delivery problem. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 1, p. 30-46, 2013. <https://doi.org/10.1002/esp.3242>
- GATTO, L.C.S.; RAMOS, V.L.S.; NUNES, B.T.A.; MAMEDE, L.; GÓES, M.H.; MAURO, A.; ALVARENGA, S.M.; FRANCO, E.M.S.; QUIRICO, A.F.; NEVES, L.B. Geomorfologia. **Projeto Radam Brasil**. Folhas 23/24, Rio de Janeiro/Vitória. V 32. Rio de Janeiro, 1983.
- GOUDIE, A. **Eyclopedia of geomorphology**. London: Taylor & Francis e-Library, 2004.
- GOUDIE, A. The human impact in geomorphology - 50 years of change. **Geomorphology**, v. 366, 106601, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.12.002>

- GOUDIE, A. S.; VILES, H. A. **Geomorphology in the Anthropocene**. Cambridge: Cambridge University Press, 2016.
- HACKSPACHER, P.C. Tectônica x sedimentação. In: HACKSPACHER, P.C. (org.). **Dinâmica do relevo - Quantificação de processos formadores**. São Paulo: Editora Unesp, 2011. p. 26-52.
- HOFFMANN, T. C. P.; OLIVEIRA, F. A. Influence of land use in rural and urban areas on the production and transport of suspended sediments in the drainage basin of the Capivari River, Lapa-Pr. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, p. 821-836, 2018. <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1340>
- HORACIO, J.; OLLERO, A. Clasificación geomorfológica de cursos fluviales a partir de sistema de información geográfica (S.I.G.). **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**, v. 56, p. 373-396, 2011.
- HUGGETT, R. J. **Fundamentals of Geomorphology**. 3a ed. New York: Routledge, 2011. <https://doi.org/10.4324/9780203860083>
- IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. **Ortofotomosaico ES - Imgs satélite Kompsat 3/3A - 2019-2020**. 2022. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/contents/item/display/1234>
- KINDLMANN, P.; BUREL, F. Connectivity measures: A review. **Landscape Ecology**, v. 23, n. 8, p. 879-890, 2008. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9245-4>
- LEMOS, F. H. **Fluxos hidrossedimentológicos e de nutrientes no rio Duas Bocas, Cariacica – ES**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, 2018.
- LOBO, I. A. **Perda de solo por escoamento superficial: uma abordagem retrospectiva para uma bacia hidrográfica na Região Metropolitana**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, 2022.
- LÓPEZ, J. F. B.; MARCHIORO, E. **Interceptação de águas pluviais na Reserva Biológica de Duas Bocas: a capacidade da floresta em suportar períodos de seca**. Letônia: Novas Edições Acadêmicas, 2018.
- MARCHIORO, E. BARROSO, G. F. Avaliação de sólidos transportados, parâmetros da morfometria e solos de seções fluviais do córrego Naiá-Assú (Reserva Biológica de Duas Bocas/ES). **Caderno de Pesquisa (PPGE/UFES)**, v. 1, n. 1, p. 185-195, 1996.
- MARCHIORO, E. *et al.* **Morphological and morphometrical analysis : a case study on the Vitória Metropolitan Area (ES/Brazil)**. Particles in the Americas Conference. Anais...Valparaíso, Chile: 2022.

- MARCHIORO, E.; COUTINHO, F. N. Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Duas Bocas (ES): um evento extremo em 2013. **Geografia (Londrina)**, v. 30, n. 1, p. 477, 2020. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2021v30n1p477>
- MARCHIORO, E.; SILVA, G. M.; CORREA, W. S. A zona de convergência do atlântico sul e a precipitação pluvial do município de Vila Velha (ES): repercussões sobre as inundações. **Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo**, v. 31, p. 101-117, 2016. <https://doi.org/10.11606/rdg.v31i0.108447>
- MARTÍ, J.; NOVA, R. Aplicación del Índice Hidrogeomorfológico (IHG) en la cuenca del Segura: embalse de la Fuensanta-Llano de la Vida (Desembocadura del río Taibilla). GeoGraphos. **Revista Digital para Estudiantes de Geografía y Ciencias Sociales**, v. 10, p. 238-268, 2019. <https://doi.org/10.14198/GEOGRA2019.10.120>
- MATTIUZZI, H. V.; MARCHIORO, E. O comportamento dos ventos em vitória (ES): a gestão e interpretação dos dados climáticos. **Revista Geonorte**, v. 3, p. 983-993, 2012.
- MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3a. ed. Victoria (Australia): Blackwell Publishing, 2005.
- MORRIS, G. L.; FAN, J. **Reservoir sedimentation handbook**: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use. New York: McGraw-Hill, 1998.
- OLLERO, A. *et al.* Un índice hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales. **Geographicalia**, v. 52, p. 113-141, 2007.
- OLLERO, A. *et al.* IHG: Un índice para la valoración hidrogeomorfológica de sistemas fluviales. **Limnetica**, v. 27, n. 1, p. 171-187, 2008. <https://doi.org/10.23818/limn.27.14>
- OLLERO, A.; BALLARÍN, D.; MORA, D. **Guía Metodológica: aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG**. Zaragoza: Confederación Hidrográfica del Ebro; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009.
- OLLERO, A. Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain. **Geomorphology**, v. 117, n. 3-4, p. 247-260, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.01.015>
- OLLERO, A. *et al.* The IHG index for hydromorphological quality assessment of rivers and streams: Updated version. **Limnetica**, v. 30, n. 2, p. 255-262, 2011.
- OLLERO, A. *et al.* Diagnóstico fluvial, impactos en cauces y cambio global: aplicaciones del índice hidrogeomorfológico IHG. **Geographicalia**, n. 73, p. 295-316, 2021. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2021735191
- PARRA, J. *et al.* **Caracterización y evaluación hidrogeomorfológica para la restauración fluvial urbana en la cuenca del Andalién (Región Biobío, Chile)**. II Congreso Ibérico de Restauración Fluvial. Actas del Congreso. **Anais...** Centro Ibérico de Restauración Fluvial; España, 2015.

- PIMENTEL, D. Soil erosion: A food and environmental threat. **Environment, Development and Sustainability**, v. 8, n. 1, p. 119-137, 2006. <https://doi.org/10.1007/s10668-005-1262-8>
- POEPPL, R. E. *et al.* Combining soil erosion modeling with connectivity analyses to assess lateral fine sediment input into agricultural streams. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 9, 1793, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11091793>
- SANTOS, J. R. U.; MARCHIORO, E. Fragilidade emergente da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo: uma análise integradora da paisagem. **Revista GEOgrafias**, v. 26, n. 2, p. 8-30, 2018.
- SANTOS, J. R. U.; MARCHIORO, E. Análise empírica da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo, Brasil. **Revista do departamento de Geografia**, v. 39, p. 72-87, 2020. <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.160946>
- SCHEIDEGGER, A. E. Hydrogeomorphology. **Journal of Hydrology**, v. 20, n. 3, p. 193-215, 1973. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(73\)90061-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(73)90061-9)
- SOUZA, A. G. **Hidrossedimentolgia de uma bacia hidrográfica Tropical Intramontana**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, 2022.
- SOUZA, N. S.; SOUZA, W. DE J.; CARDOSO, J. M. S. Caracterização hidrológica e influência da cobertura do solo nos parâmetros de vazão do rio das Fêmeas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 453-462, 2017. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017155279>
- VOLONTÉ, A.; GIL, V. El Índice Hidrogeomorfológico como herramienta para la gestión del territorio fluvial. Cuenca del Arroyo San Bernardo, Argentina. **Finisterra**, v. 56, n. 117, p. 199-214, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107723>
- WOHL, E. *et al.* Connectivity as an emergent property of geomorphic systems. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 44, n. 1, p. 4-26, 2019. <https://doi.org/10.1002/esp.4434>
<https://doi.org/10.1002/esp.4434>

Declaración de contribución

Ambos autores contribuyeron por igual a este trabajo.

Editor del artículo:

Fernando Nadal Junqueira Villela

Recibido en: 23 nov. 2022
Aceptado en: 23 ago. 2023