

Cita bibliográfica: Brugnolli, R. M., Berezuk, A. G., Pinto, A. L., & Silva, C. A. da (2022). Calidad de las aguas superficiales en sistemas kársticos. Un estudio de la cuenca hidrográfica del río Formoso, Bonito, Mato Grosso do Sul – Brasil. *Investigaciones Geográficas*, (78), 107-129. <https://doi.org/10.14198/INGEO.20241>

Calidad de las aguas superficiales en sistemas kársticos. Un estudio de la cuenca hidrográfica del río Formoso, Bonito, Mato Grosso do Sul – Brasil

*The quality of surface water in karst systems.
A study on the River Formoso basin, Bonito, Mato Grosso do Sul – Brazil*

Rafael Brugnolli Medeiros^{1*} 

André Geraldo Berezuk² 

André Luiz Pinto³ 

Charlei Aparecido da Silva⁴ 

Resumen

Analizar las particularidades que rodean un sistema kárstico es el objetivo principal de este estudio. La cuenca del río Formoso presenta desequilibrios en la relación sociedad-naturaleza, que se materializan en el uso de los cursos hídricos, cuya belleza escénica de sus aguas viene presentando un aumento de su turbidez e indicios de contaminación. Por esta razón este trabajo se propone analizar y clasificar las aguas superficiales según la resolución del Consejo Nacional del Medio Ambiente, un instrumento de la legislación ambiental brasileña. Se analizaron los parámetros físico-químicos y la velocidad del flujo en treinta y seis puntos de colecta. Los resultados demuestran que las aguas insertas en este karst presentan concentraciones químicas de calcio, magnesio y carbonato, que condicionan en ellas particularidades especiales como son: alta conductividad, alcalinidad y baja turbidez. En contrapartida, hay puntos donde se registra contaminación por monocultivos, pastos y zonas urbanas. Se considera que el estudio y sus resultados contribuirán en tres sentidos: en la comprensión de las particularidades que rigen el agua que atraviesa el karst; en los impactos del uso antrópico sobre los recursos hídricos; y en la planificación territorial en un karst que tiene importantes valores ambientales, turísticos, económicos y sociales para el estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Palabras clave: caracterización de las aguas superficiales; sistema kárstico; uso y cobertura del suelo en Brasil; transparencia de las aguas superficiales.

Abstract

The main objective of this research is to analyse the unique aspects of a karstic system. The River Formoso watershed presents an unbalanced social-nature relationship because of the use of its drainage and its scenic beauty is threatened because of increased turbidity and other signs of pollution. This work analyses and classifies the surface waters in the area according to the Brazilian Environmental Council recommendations (physicochemical parameters and flow velocity were analysed from 36 collection

1 Universidad del Estado de Maranhão, São Luís, Brasil. rafael_bmedeiros@hotmail.com. * Autor para correspondencia

2 Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Federal da Grande Dourados. Dourados, Brasil. andreberzuk@ufgd.edu.br.

3 Universidad Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, Brasil. andrepintofontanetti@gmail.com.

4 Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Federal da Grande Dourados. Dourados, Brasil. chgiu@hotmail.com.

points). The results indicate that waters arriving in this karstic system show chemical concentrations of calcium, magnesium, and carbonate, which account for high conductivity, alkalinity, and low turbidity. However, there is evidence of contamination from monocultures, cattle farms, and urban areas). The results of this research can be useful in three main ways: understanding aspects that influence the water quality of a karst area; understanding the environmental impacts related to the anthropic use of water in the study area; and assisting in the territorial planning strategies of this area – which features important environmental, touristic, economic, and social values for the state of Mato Grosso do Sul, Brazil.

Keywords: surface water characterization; karst system; land use and land cover in Brazil; surface water transparency.

1. Introducción

Este artículo analiza un sistema kárstico único en el estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. La cuenca hidrográfica del río Formoso (CHRF), está ubicada en la región que incluye la ciudad de Bonito, que representa la idea de naturaleza preservada ligada a la belleza escénica de sus aguas superficiales. Sin embargo, es una cuenca donde sus paisajes han sido alterados por las actividades antrópicas actuales, especialmente el monocultivo de soya y los pastos, que concentran el 52% de su superficie total.

Introduciendo este estudio con los aportes de la Geografía Física, más específicamente de las Geociencias y de la Hidrogeografía, surge una creciente preocupación por la disponibilidad y calidad de las aguas y la comprensión de las cuencas hidrográficas desde una perspectiva integradora, con sus componentes naturales y la sociedad interrelacionados, que se presenta como una cuestión necesaria e inevitable para el sustento de la sociedad humana y para lograr un desarrollo sostenible en nuestro planeta.

La relación entre la sociedad y la naturaleza proporciona un enfoque adecuado para establecer modelos de planificación integrada del territorio en los cuales los componentes naturales y sociales sean analizados en el contexto de sus relaciones sistémicas. Razón que apoya la consideración de la cuenca hidrográfica como unidad fundamental para la gestión del territorio y para la optimización de los usos múltiples de los recursos naturales y humanos.

Un hecho que genera en las cuencas una (re)definición y (re)estructuración de sus elementos naturales, dejándolas potencialmente degradadas debido al uso y ocupación desordenada. La comprensión de dicha dinámica es fundamental para los estudios desarrollados en el ámbito de la ciencia geográfica, tanto en su investigación básica como aplicada.

Esta afirmación no difiere de la dinámica de Mato Grosso do Sul (centro-oeste brasileño), estado en el que hay una inserción masiva de actividades económicas que alteran significativamente la dinámica y las interrelaciones de los componentes en sus cuencas hidrográficas. El monocultivo en Mato Grosso do Sul está relacionado, desde finales del siglo XX, con la implantación de cultivos comerciales (agronegocio), que en el caso del suroeste del estado (región de Bonito), está representado por la soya.

Ante el avance de la antropización y la consecuente presión sobre los recursos naturales, se incrementa la necesidad de comprender esta relación (sociedad y naturaleza) y tratar de minimizar los posibles problemas ambientales resultantes, debido la importancia de estos estudios en Brasil, especialmente en las cuencas hidrográficas kársticas, es fundamental. Estas zonas están sometidas a diversos peligros, entre ellos: la disolución química acelerada de las rocas calizas y, en consecuencia, la propensión al hundimiento del terreno; el incremento de las actividades recreativas, el turismo, el riego, la agricultura, el uso de pesticidas, la minería, el vertido de efluentes y el enturbiamiento de los ríos, entre otros. Todos estos se vuelven perjudiciales para el karst si no se toman medidas para su gestión.

Frente a estos problemas, los sistemas fluviales kársticos en particular, presentan algunas particularidades en que los impactos son más evidentes, tanto en los procesos superficiales como subterráneos. Por esta razón el uso sostenible de los recursos hídricos en zonas kársticas, especialmente sometidas a la intensa presión ejercida por la sociedad, es esencial. En este debate, el sector agrícola entra con vehemencia, especialmente porque es una importante fuente de ingresos para gran parte de las regiones kársticas (Van Beynen et al., 2012). Así, la gestión de los recursos hídricos en las mismas se convierte en algo importante para mantener el equilibrio, la cantidad y la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

La información recopilada sobre los temas abordados en este artículo y sobre el área de estudio, permite señalar que la gran mayoría de los estudios recientes relacionados con el agua en regiones kársticas

se refieren a los aspectos hidrogeológicos, entre ellos destacan los trabajos de Ravbar (2004), Goldscheider & Drew (2007), Krešić (2013), Stevanović (2015), De Waele et al. (2015), Parise et al. (2015), Kalhor et al. (2019), entre otros. Son pocos los estudios que abordan el análisis de las aguas superficiales en las regiones kársticas, como Wu et al. (2009) y Brugnolli (2020); menos aún son los estudios que se encaminan a comprender la íntima relación entre el uso antrópico y las aguas superficiales en estos sistemas raros, complejos y sensibles.

Las particularidades de estas cuencas condicionan el flujo del agua hacia los conductos y fracturas de las rocas. Esta relación origina las particularidades de las aguas superficiales kársticas que tienen en su esencia aspectos ligados a su hidrogeología. El carbonato de calcio CaCO_3 y de magnesio $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, que por la reacción de hidrólisis de la calcita da lugar al bicarbonato de calcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), están presentes en las aguas superficiales que, a su vez, presentan un carácter alcalino-térreo y cálcico-magnesiano, además de aumentar la conductividad eléctrica por la influencia de las reacciones químicas de la disolución de estas rocas. Lo que hace que los sistemas fluviales hasta en situaciones naturales no se comporten según lo recomendado por el Consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), en la Resolución 357/2005, sobre las directrices ambientales para la clasificación de los mismos.

El CONAMA es el órgano ambiental brasileño responsable de la adopción de medidas de conservación/preservación de la naturaleza y tiene entre sus reglamentos, la resolución 357/2005 que es la norma que establece los parámetros ambientales para la clasificación de los cursos fluviales y las recomendaciones para su uso. Según Machado et al. (2019) y Padovesi-Fonseca & Faria (2020) existen diversos principios detrás de esta clasificación, por esta razón que es necesario entender no sólo las variables utilizadas en el propio proceso, sino además las condiciones ambientales, ecológicas y biológicas que mediante sus relaciones y dinámica pueden afectar los parámetros analizados.

Así, no interpretar y no tomar en cuenta las particularidades kársticas de una cuenca condiciona la mala gestión del agua, tanto superficial como subterránea (Parise, 2012). Debido a esto el uso sostenible de los recursos hídricos kársticos, debido a la intensa presión ejercida por la sociedad humana es muy importante. En este debate, el sector agrícola entra de manera especial porque es una importante fuente de recursos para gran parte de los territorios kársticos especialmente tropicales (Van Beynen et al., 2012).

Se observa que el monocultivo comercial está entrando cada vez más en estos sistemas, y en la CHRF mostró un aumento del 658% en el área de cubierta por plantaciones de soya desde 1980 hasta el año 2017. La fertilidad de sus suelos y la poca pendiente, hacen que los cultivos sean la actividad económica más importante en estos espacios, lo que contribuye significativamente al agotamiento directo y/o indirecto de estos paisajes y de sus recursos hídricos (Gillieson & Thurgate, 1999; De Waele et al., 2011; Van Beynen & Van Beynen, 2011).

1.1. Problemática, hipótesis y objetivo

Dado que la CHRF presenta las particularidades que son propias a los territorios kársticos tropicales, surgen importantes preguntas sobre sus aguas superficiales, por ejemplo: ¿el análisis de las aguas aportará información capaz de identificar la inestabilidad de dichos paisajes? ¿Cómo este estudio puede contribuir a mejorar la calidad y la resiliencia de esta sensible y compleja cuenca hidrográfica? ¿Los parámetros físico-químicos no aceptables están influidos por el sustrato o por otros componentes, como el uso antrópico? ¿Y en qué medida la turbidez puede afectar el contexto ambiental, social y económico del municipio? Estas son cuestiones que permean el estudio de este ambiente kárstico en contraposición con el uso y ocupación del suelo y la legislación ambiental vigente en Brasil.

Estas preguntas sin respuesta y sin propuestas efectivas para la mejora de la calidad ambiental de la CHRF han transformado una zona conocida mundialmente por sus aguas cristalinas, cada vez más utilizada para el turismo de naturaleza en Brasil, en una cuenca impactada y, en cierta medida, de cada vez más difícil y lenta reversión. Por esta razón este estudio que ahora se presenta puede aportar la concepción de su “*modus operandi*”, como soporte indispensable para su uso y gestión sostenible.

Desde esta perspectiva, el trabajo tuvo como objetivo monitorear y analizar la calidad de las aguas superficiales en la CHRF, según la clasificación presentada en la resolución 357/2005 del CONAMA, en el año 2017. Así, se buscó no sólo evaluar los cauces principales, sino estudiar todos sus afluentes, lo que aporta información para conocer la calidad ambiental, especialmente la calidad del agua, con el fin de elaborar propuestas más eficaces para mejorar el contexto ambiental, turístico y socioeconómico de Bonito (MS).

1.2. Condiciones ambientales del sistema fluvial: calidad y clasificación de los recursos hídricos

Considerar las cuencas hidrográficas como unidades de estudio es un punto clave para comprender la importancia que tienen los recursos hídricos en el sistema ambiental. Las particularidades de las cuencas son consecuencia de la manifestación de sus componentes, sus interacciones físicas y socioeconómicas, es decir, sus procesos dinámicos. Por esta razón se analizaron los recursos hídricos como uno de los elementos donde se encontraron los resultados de estas interacciones.

Tales relaciones son caracterizadas y calificadas de acuerdo con las normas establecidas por la sociedad, que a partir de estudios orientados a comprender el comportamiento e interacción de los elementos que componen las cuencas, formulan los aspectos legales que buscan mitigar y/o prevenir la degradación ambiental de las mismas. Con relación a la Política Pública Nacional vigente, relacionada con la preservación, conservación y mantenimiento de las fuentes de agua, se analizó la Ley 9.433/1997, que resultó a partir de sus instrumentos, en la formulación de nuevas regulaciones, como son: la Resolución CONAMA n° 357/2005 y la Resolución CONAMA n° 430/2011, entre otras.

La Resolución n° 357/2005 del CONAMA se encarga de la clasificación de los recursos hídricos, y es un ejemplo de reglamento que determina, según su artículo 7, las normas de calidad del agua, estipulando los límites admisibles para cada sustancia. Este instrumento pretende garantizar que la calidad del agua sea compatible con los usos más exigentes a los que se destina, así como reducir los costos de la lucha contra la contaminación del agua, mediante acciones preventivas permanentes (Brasil, 1997).

A nivel del estado, Mato Grosso do Sul se apoya en la Deliberación del Consejo Estatal de Control Ambiental n° 36/2012 para la clasificación de los recursos hídricos en clases, que, según su Art. 8, compete al Instituto Ambiental del Mato Grosso do Sul (IMASUL), quien analiza y evalúa los parámetros de calidad del agua. Además, los valores máximos de las normas relacionadas con la misma son similares a los expuestos por la Resolución 357/2005, donde la Clase Especial gana protagonismo, ya que se prohíbe el vertido de efluentes, aunque sean tratados (Alves, 2019).

Con este fin, el marco regulatorio debe desarrollarse de acuerdo con los Planes de Recursos Hídricos de la Cuenca Hidrográfica, estableciendo el diagnóstico y las metas propuestas en relación con las alternativas de uso, así como los programas de efectividad y sugerencia de cambios (Brasil, 1997). Desde esta perspectiva, los Planes de Recursos Hídricos son la base de la Política Nacional de Recursos Hídricos (Ley 9433/1997) y aportan datos e información de suma relevancia para la elaboración de las nuevas regulaciones, acciones de mitigación de la degradación socioeconómica e intervención en los conflictos preexistentes causados por el uso múltiple del agua, entre otros aspectos.

En Mato Grosso do Sul, IMASUL es responsable de la elaboración, actualización y aplicación del Plan Estatal de Recursos Hídricos, que reúne a los órganos estatales y municipales y a la sociedad civil. En el caso de la cuenca hidrográfica del río Formoso, este corresponde al Comité Estatal del río Miranda, aprobado en el año 2005 mediante la Resolución CERH n° 002/2005, donde la Agencia Nacional del Agua (ANA) y el Comité también pueden actuar para actualizar los planes y manejar los recursos hídricos. Según IMASUL (s/f), la etapa preparatoria para la creación de dicho comité se inició en 2001, a través de las acciones del Consorcio Intermunicipal para el Desarrollo Integral de las Cuencas Hidrográficas de los ríos Miranda y Apa en conjunto con la Secretaría de Recursos Hídricos del Ministerio del Medio Ambiente.

Teniendo en cuenta los instrumentos normativos utilizados, se puede percibir la fuerza de los instrumentos y directrices en Mato Grosso do Sul, sin embargo, sigue siendo un estado que carece de su aplicación. Las políticas públicas continúan influenciadas por el avance de las actividades económicas, la propia Zonificación Ecológico-Económica (2009) del estado y, a nivel local, el Plan Director Municipal de Bonito (2010) - Ley n° 85 del 1 de diciembre de 2010 - sitúa al municipio en cuestión como una zona propicia para el avance del agronegocio, dejando de lado las debilidades inherentes a esa región.

Este enfoque desarrollista trae consigo un uso depredador de los recursos naturales y, en particular, de la mayor riqueza que tiene el territorio: el agua. Esta visión simplista del agua como un bien con valor económico tiende a identificarla como una *commodity*. Hechos que comprometen la dinámica de las cuencas hidrográficas y se desconectan de una de las condiciones básicas establecidas en la Constitución Brasileña (Brasil, 1988), que es garantizar un “medio ambiente ecológicamente equilibrado” y una “calidad de vida saludable”, para “las generaciones presentes y futuras”.

Debido a esto, trabajar para formular directrices dirigidas a la utilización de los distintos usos del agua, evaluando las necesidades de cada usuario y la resiliencia de los recursos hídricos frente a dichos

usos, entre otras variables, se convierte en una tarea ardua y compleja. En Mato Grosso do Sul, existen muchos conflictos por los usos del agua y su clasificación actúa como uno de los instrumentos presentes en el PNRH para minimizar los mismos y establecer las reglas para su uso.

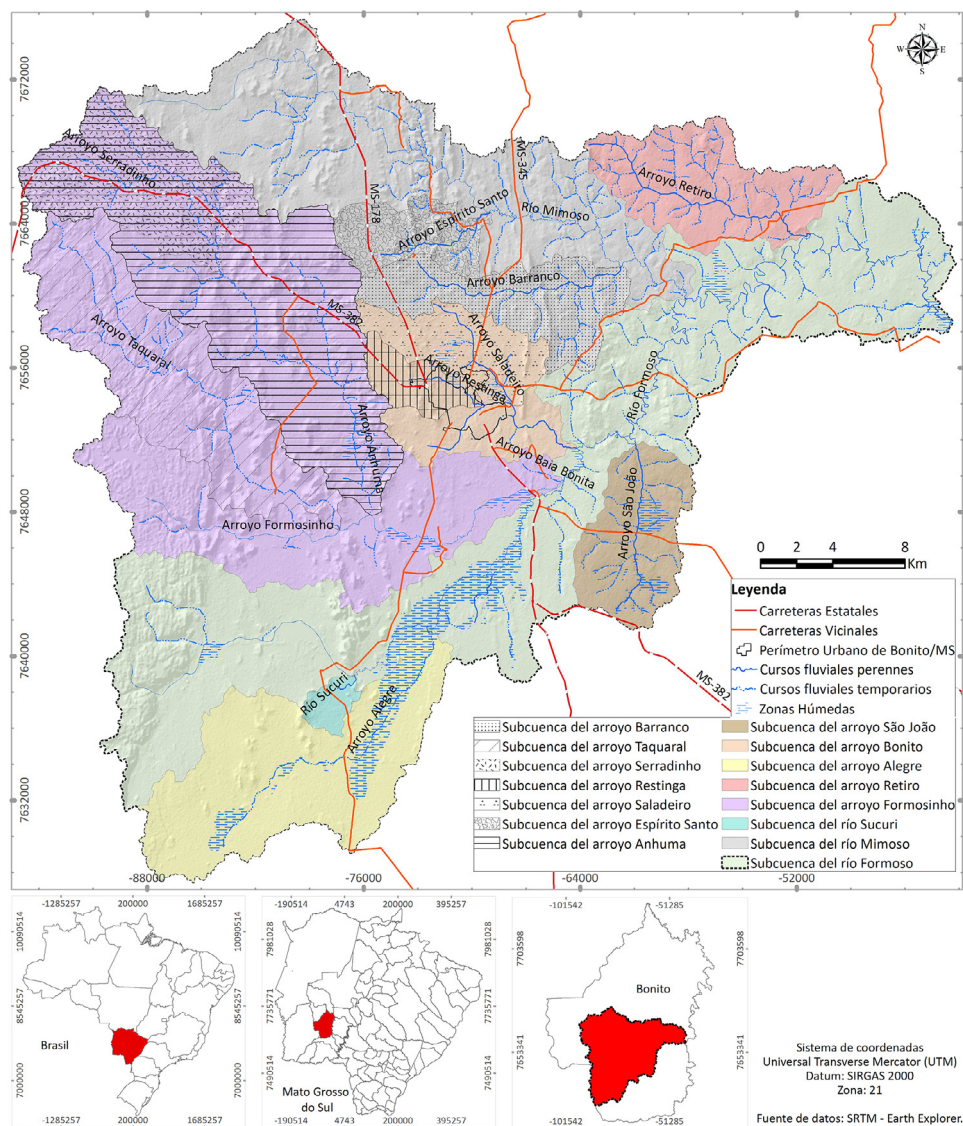
En ese sentido, investigaciones como esta y otras realizadas en el estado, como son: Oliveira et al. (2011), Pinto et al. (2014), Lelis et al. (2015), Alves (2019), se encaminan a evaluar la situación actual de los recursos hídricos y aplicar y/o formular nuevos instrumentos para la ordenación territorial, especialmente ante el avance antrópico, considerado bajo la perspectiva de la sociedad. La minimización de sus presiones favorece la mejora de la calidad ambiental y social de una cuenca hidrográfica.

2. Metodología

2.1. Área de Estudio

La cuenca está ubicada en el municipio de Bonito, al suroeste del estado de Mato Grosso do Sul (Figura 1), y un área de 1.324,67 km², y con sus fuentes en varios manantiales situados en el Parque Nacional Serra da Bodoquena, un importante y rico reservorio de agua subterránea que a través de varias resurgencias kársticas drena las aguas hacia la planicie oriental (CHRF).

Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Formoso, Bonito/MS – Brasil



Fuente: SRTM – Earth Explorer (2000). Elaboración propia

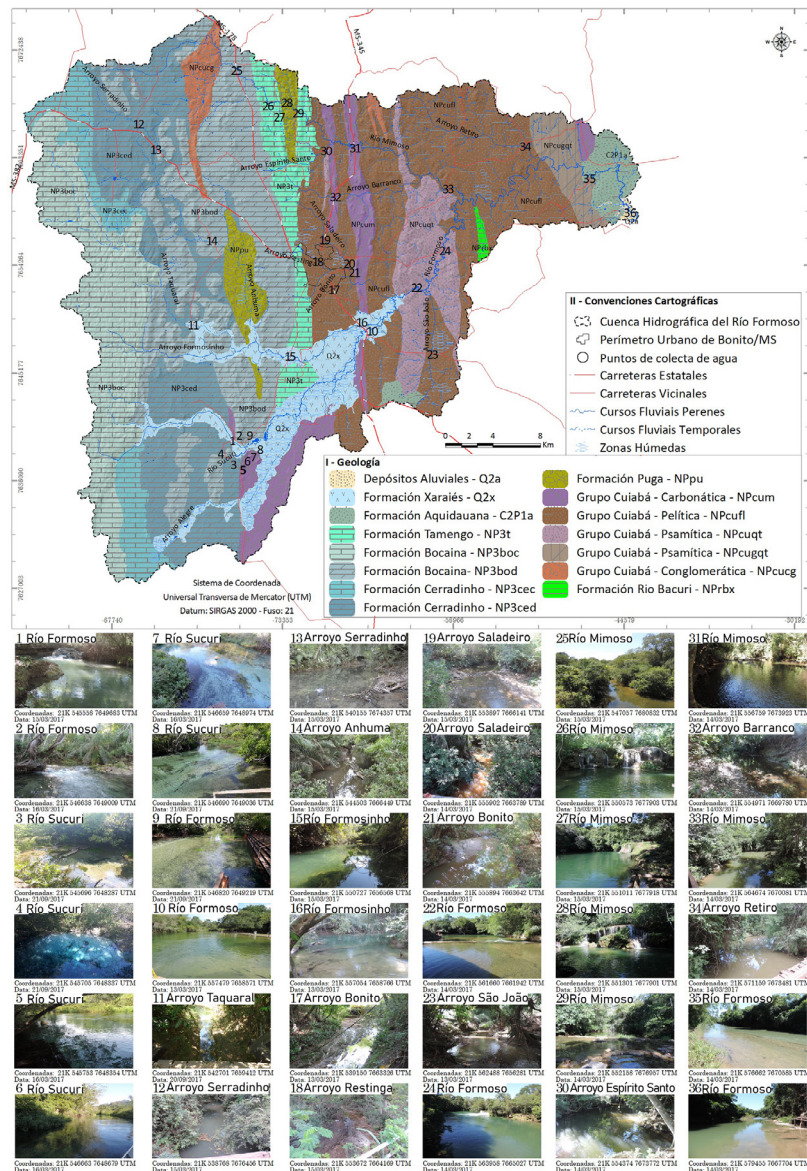
2.2. Materiales y Métodos

La metodología se inició con la definición de los puntos de colecta de las aguas superficiales *in situ* a lo largo de dos estaciones del año 2017 (lluviosa y seca). La idea inicial fue separar del análisis sólo los principales recursos hídricos y/o atractivos turísticos, lo que se hace comúnmente en los estudios sobre Bonito, como Silva (2015) y Lelis et al. (2015), ambas enfocadas en el ámbito del turismo.

Por esta razón se buscó una interpretación de los recursos hídricos de la cuenca: siendo escénicos o no; en terrenos kársticos o terrígenos; puntos rodeados de pastos, cultivos y vegetación forestal; y puntos susceptibles de contaminación como la proximidad a la planta de tratamiento de aguas residuales, la zona urbana y lugares de interés turístico, entre otros. Es decir, lugares y actividades que acaban transmitiendo información para que se pueda conocer la dinámica fluvial de la cuenca.

Se analizaron treinta y seis puntos de colecta, que abarcan los ríos Formoso, Mimoso y Sucuri y los arroyos Formosinho, Serradinho, Taquaral, Anhuma, Saladeiro, Barranco, Espírito Santo, São João, Retiro, Bonito y Restinga (Figura 2). El único manantial que no contó con puntos de colecta fue el arroyo Alegre, que estaba seco en ambos periodos.

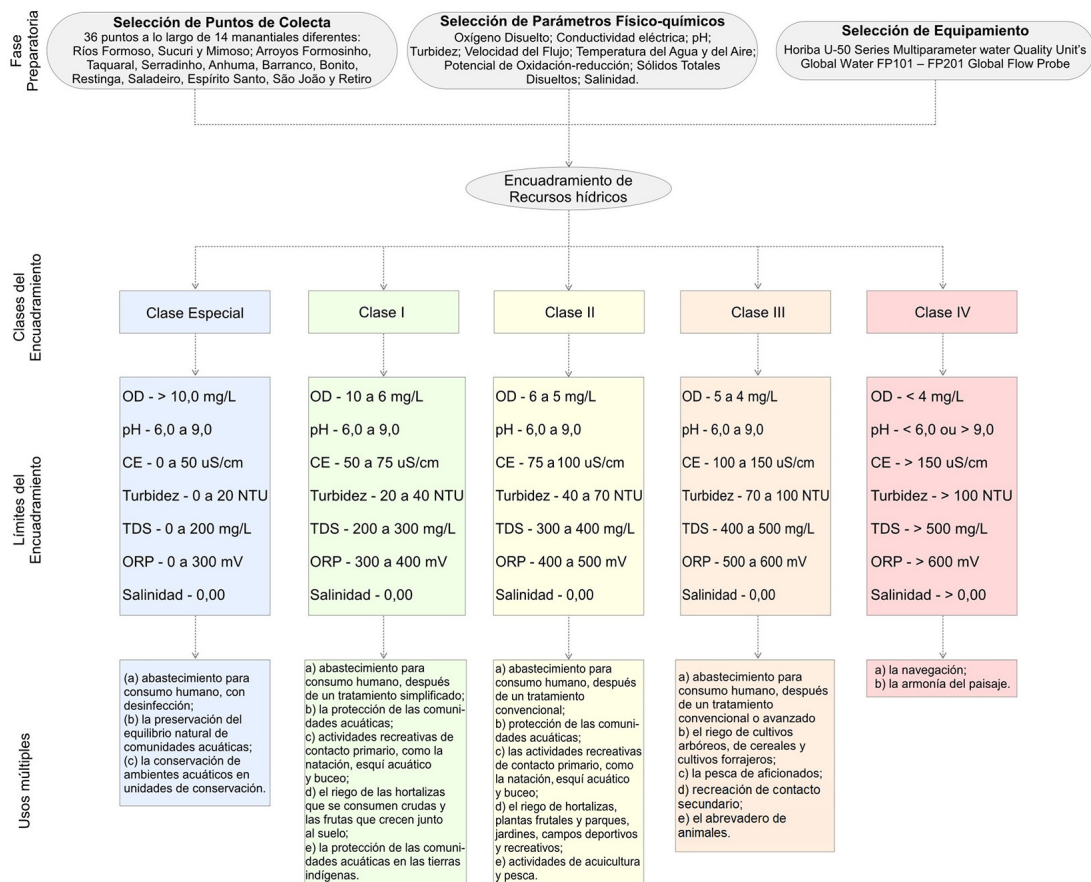
Figura 2. Localización de los puntos de colecta de aguas superficiales y la geología del CHRF



Fuente: SRTM – Earth Explorer (2000); CPRM (2006). Elaboración propia

El análisis de la calidad de las aguas a lo largo de estos puntos tomó en cuenta cuatro aspectos principales: parámetros físicos (turbidez, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales); parámetros químicos (oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno, potencial de oxidación-reducción y salinidad); interpretación de la velocidad de las aguas superficiales y el encuadramiento de los recursos hídricos de la CHRF.

Figura 3. Metodología para la clasificación de las aguas superficiales de la CHRF, Bonito/MS



Fuente: Adaptada de CONAMA (2005) y Brugnolli (2020). Elaboración propia

Es importante señalar que dichos parámetros fueron seleccionados mediante criterios preestablecidos como: el oxígeno disuelto (OD), considerado como el principal indicador de la calidad del agua, ya que muestra la cantidad de materia orgánica y contaminantes en el medio acuático, y la reducción de este elemento tiene una respuesta negativa para los organismos vivos presentes en el sistema fluvial; el potencial de hidrógeno (pH), la conductividad eléctrica (CE) y los sólidos totales disueltos (TDS) fueron utilizados por la presencia de aguas alcalinas, con alta conductividad eléctrica y sólidos disueltos, de modo que la comprensión de estos parámetros permite evaluar el papel del karst en la dinámica fisicoquímica de las aguas; la temperatura del agua es importante porque es un factor que incide en la regulación de las particularidades físicas y bióticas de los sistemas fluviales, acelera las reacciones químicas, reduce la solubilidad de los gases y acentúa el olor, estando también relacionada con la posible pérdida de la vegetación ribereña, que produce un aumento de la temperatura del agua y una disminución de la capacidad de solución del oxígeno; la turbidez fue elegida porque es lo principal parámetro que llama la atención de las aguas kársticas; su alta transparencia es importante para la entrada de la luz solar y favorece la fotosíntesis de la vegetación acuática; la velocidad fue seleccionada por la influencia que tiene en la oxigenación del agua; el potencial de oxidación-reducción (ORP) fue seleccionado por la influencia que tiene en la pérdida o recepción de electrones cuando hay algún tipo de contaminación y proliferación bacteriana; y la salinidad expresa la densidad del agua, la fauna y la flora de su entorno y sobre todo los potenciales usos del agua por la sociedad.

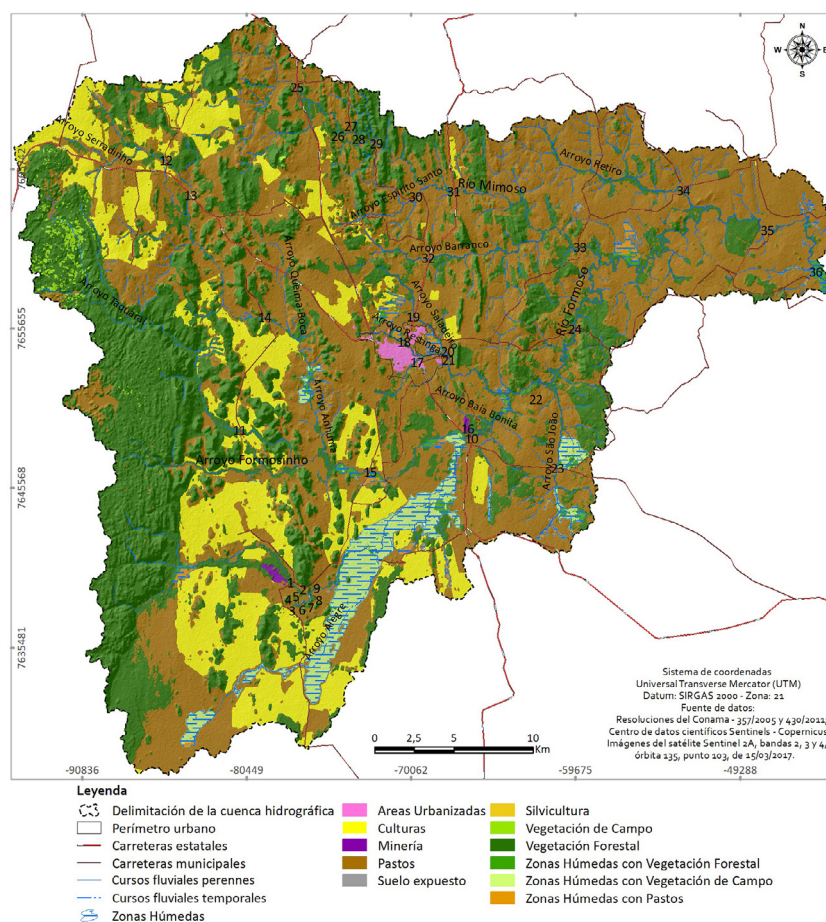
Para estos análisis fueron utilizados el *Horiba U-50 Series Multiparameter water Quality Unit's*, y para la obtención de la velocidad de flujo, fue empleado el equipo *Global Water FP101 - FP201 Global Flow Probe*. La última etapa consistió en la clasificación de las aguas según la resolución 357/2005 del CONAMA. La Figura 3 muestra los límites para la clasificación de las aguas dulces brasileñas. Dichos parámetros pueden identificar la contaminación de los recursos hídricos, y el resultado encontrado fue decisivo para los objetivos de este estudio.

Cabe señalar que la resolución de CONAMA (357/2005) presenta las restricciones para cada una de las clases, siguiéndose, en este estudio, estrictamente las mismas clases e intervalos establecidos en la misma. Sin embargo, hay que destacar que la propia legislación no explica cómo se realiza esta clasificación, así, es posible seguir tres líneas de análisis: utilizando el parámetro más restrictivo (Alves, 2019); utilizando la media entre los parámetros (Oliveira, 2014; Silva et al., 2014; Lelis et al., 2015; Silva, 2015); o empleando uno de los parámetros (normalmente el OD) como principal indicador y quien define las clases (Pinto et al., 2014). Así, teniendo en cuenta las particularidades kársticas y el método aplicado, se decidió utilizar las medias, empleando para la clasificación el valor medio entre todos los parámetros analizados en cada punto de colecta.

3. Resultados

Los resultados se basaron en la medición del OD, la CE, la turbidez, el pH, la temperatura, el ORP, los TDS, la salinidad y la velocidad del agua. Simultáneamente, se abordó la relación de estos puntos con los sistemas kársticos y las rocas terrígenas, señalados como potenciales modificadores de los parámetros físico-químicos de la CHRF (Tabla 1), junto con la influencia de los usos y ocupación del suelo existentes en la cuenca (Figura 4).

Figura 4. Uso y ocupación del suelo de la CHRF (2017)



Elaboración propia

Tabla 1. Resultados del análisis de los parámetros de calidad del agua y sus respectivas clasificaciones en la CHRf en 2017

	Recurso Hídrico	OD (mg/L)		CE (µS/cm)		pH		Turb. (NTU)		Veloc. (m/s)		Temp. Ar (°C)		Temp. Agua (°C)		ORP (mV)		TDS (mg/L)		Salin. (%)		Enquad.	
		Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.
1	Río Formoso	8,35	6,96	428,50	154,00	8,14	7,03	4,69	0,76	1,94	4,31	30,08	27,76	27,08	25,28	165,50	104,00	278,50	100,00	0,02	0,01	I	I
2		9,37	9,19	477,00	166,00	7,05	7,63	0,94	1,54	40,83	31,94	27,32	25,44	26,06	23,19	173,00	184,00	308,00	107,00	0,02	0,01	I	I
3	Río Sucuri	8,88	8,43	538,00	284,00	7,50	7,02	0,55	0,19	0,83	0,08	28,36	24,57	26,21	24,50	200,00	197,00	344,00	120,00	0,03	0,02	I	I
4		5,03	6,51	538,00	281,00	7,79	5,08	0,62	0,64	0,01	0,01	27,25	24,77	25,47	23,08	192,00	213,00	345,00	118,00	0,03	0,02	II	II
5		6,17	9,11	539,00	215,00	7,70	6,01	0,73	0,35	7,08	10,97	26,60	23,67	24,77	24,26	163,00	228,00	344,00	118,00	0,03	0,02	I	I
6		8,44	9,13	539,00	191,00	7,92	7,12	0,88	0,39	19,17	23,75	29,31	26,13	25,31	24,60	151,00	212,00	344,00	117,00	0,03	0,01	I	I
7		8,17	9,65	537,00	182,00	7,73	7,12	0,16	0,45	18,33	15,00	28,02	25,56	25,27	24,65	155,00	186,00	346,00	118,00	0,03	0,01	I	I
8		7,70	8,89	481,00	175,00	7,50	7,72	0,83	0,45	8,05	9,72	26,92	24,72	26,03	24,04	171,00	168,00	312,00	114,00	0,02	0,01	I	I
9	Río Formoso	8,34	10,42	267,85	180,00	7,45	7,37	0,92	0,55	9,73	22,22	27,39	25,89	25,55	24,65	176,00	199,00	324,50	116,00	0,03	0,01	I	Esp.
10		8,79	9,44	463,33	165,33	8,53	7,95	1,06	2,15	9,12	8,03	27,83	24,78	27,16	23,81	240,00	146,33	307,33	107,33	0,02	0,01	I	I
11	Arroyo Taquaral	*	3,45	*	185,00	*	7,78	*	3,18	*	0,00	*	25,16	*	24,65	*	202,00	*	121,00	*	0,01	*	II
12	Arroyo Serradinho	7,41	8,41	543,00	183,00	8,20	7,94	11,60	6,24	0,03	0,57	34,85	25,62	27,84	26,96	285,50	186,00	347,50	118,00	0,03	0,01	I	I
13		*	7,35	*	143,00	*	8,18	*	1,81	*	15,83	*	27,08	*	23,98	*	175,00	*	193,00	*	0,01	*	I
14	Arroyo Anhumã	*	7,45	*	204,00	*	7,74	*	1,24	*	0,08	*	25,17	*	23,62	*	204,00	*	123,00	*	0,01	*	I
15	Arroyo Formosinho	6,67	6,81	603,00	213,00	8,18	7,61	1,72	0,65	3,13	5,83	32,67	25,62	27,65	24,56	272,00	171,00	393,00	139,00	0,03	0,01	I	I
16		9,00	8,68	554,50	185,00	7,75	7,71	1,31	1,24	3,64	15,28	28,65	33,51	26,94	27,38	296,50	182,00	354,50	120,00	0,03	0,01	I	I
17	Arroyo Bonito	6,71	3,04	727,67	262,50	7,70	7,84	7,14	1,87	10,44	7,43	28,02	28,69	28,32	27,35	182,67	131,00	465,33	169,50	0,04	0,01	II	II
18	Arroyo Restinga	6,26	3,99	709,50	225,50	8,44	8,01	4,21	0,73	25,00	12,50	28,16	25,32	27,37	24,67	321,50	158,00	429,50	146,00	0,04	0,01	II	II
19	Arroyo Saladeiro	8,63	6,24	616,00	236,00	8,39	7,77	6,08	1,17	5,28	4,17	29,99	25,55	29,19	24,71	282,00	162,00	394,50	154,00	0,03	0,01	I	I
20		6,59	5,99	324,50	222,00	8,16	7,76	41,40	6,88	0,25	0,97	31,05	24,35	28,52	22,85	334,50	126,50	210,50	244,50	0,02	0,01	II	II
21	Arroyo Bonito	6,42	6,77	569,50	303,00	7,95	7,47	10,97	2,32	8,06	0,22	26,42	25,20	26,25	24,56	294,50	175,00	404,50	249,00	0,03	0,02	II	II
22	Río Formoso	7,90	8,63	467,33	170,33	6,16	7,92	2,16	0,69	8,38	11,26	26,05	23,60	26,42	23,73	244,33	140,67	304,33	111,33	0,02	0,01	I	I
23	Arroyo São João	7,48	7,40	63,67	23,00	7,97	7,84	42,50	21,51	0,21	10,84	31,02	39,53	28,16	30,44	455,00	148,00	39,33	15,00	0,00	0,00	I	Esp.
24	Río Formoso	6,70	9,19	465,50	165,00	7,60	8,08	2,10	1,35	15,56	11,67	27,05	25,11	27,12	24,74	242,50	129,00	306,00	106,00	0,02	0,01	I	I
25	Río Mimoso	6,45	5,09	615,00	234,00	8,50	8,03	5,61	1,89	0,03	0,08	27,69	24,97	28,46	26,30	291,00	178,00	394,50	152,00	0,03	0,01	I	I
26		8,50	7,92	620,00	229,00	8,14	8,03	2,11	1,66	0,14	0,28	26,34	24,92	26,89	23,50	317,00	203,00	396,00	249,00	0,03	0,01	II	I
27		9,41	7,63	605,00	217,00	8,17	8,01	0,81	2,78	0,03	0,08	26,83	24,27	26,77	23,56	301,00	198,00	387,00	142,00	0,03	0,01	II	I
28		8,90	6,82	588,00	211,00	8,24	7,99	1,50	1,05	0,03	0,08	26,92	23,89	27,02	22,89	301,00	202,00	376,00	135,00	0,03	0,01	II	I
29		8,92	9,30	553,00	194,50	8,35	8,12	2,11	3,67	10,83	21,81	28,44	26,78	29,35	24,60	249,00	142,50	354,00	127,50	0,03	0,02	I	I
30	Arroyo Espírito Santo	8,39	6,67	702,00	251,50	8,28	7,82	5,03	4,04	2,85	13,40	29,17	25,49	27,33	23,60	450,00	155,50	449,50	163,50	0,03	0,02	II	I
31	Río Mimoso	7,52	7,30	632,50	215,50	8,27	7,92	3,69	1,88	4,03	7,57	28,91	25,11	28,91	24,57	262,00	152,50	404,50	140,00	0,03	0,02	II	I
32	Arroyo Barranco	6,39	5,01	512,00	244,50	8,37	7,95	4,15	2,04	0,03	0,06	28,67	25,05	28,43	24,95	274,50	156,00	327,50	159,00	0,02	0,02	I	I
33	Río Mimoso	6,40	7,18	623,00	218,00	8,57	8,04	7,39	3,09	0,17	0,08	31,49	28,71	30,31	26,30	293,00	150,50	402,00	141,50	0,03	0,02	II	I
34	Arroyo Retiro	3,97	3,78	327,50	124,50	8,38	8,21	43,65	21,13	0,03	0,06	30,43	25,70	29,55	26,53	442,00	146,50	312,50	81,00	0,01	0,03	III	II
35	Río Formoso	8,11	8,67	431,50	157,00	8,13	7,95	3,73	2,79	10,19	16,39	28,66	24,67	28,95	25,17	225,00	149,00	280,50	102,00	0,02	0,01	I	I
36		9,69	8,29	434,50	156,50	8,25	7,97	6,42	3,32	15,69	27,36	30,13	26,37	30,04	25,54	214,00	145,00	582,50	102,00	0,02	0,01	II	I
	--	7,41	7,25	509,79	195,14	7,73	7,41	5,99	1,81	7,03	8,64	27,84	25,33	26,61	24,16	251,85	162,50	336,08	126,53	0,02	0,01	I	I

* Canal Fluvial Seco.

Sistema kárstico (grey square) Sistema terrígeno (light grey square) Clase Especial (blue square) Clase I (green square) Clase II (yellow square) Clase III (orange square) Clase IV (red square)

Elaboración propia

Los resultados parten del río Sucuri (con seis puntos de colecta), que desde sus fuentes difusas (punto 3) hasta la desembocadura (punto 8), presenta altos valores de OD (aspectos positivos para el sistema fluvial), por otro lado, el pH alcalino y la alta CE son el resultado del contacto con las rocas calizas de las formaciones Cerradinho y Xaraiés, que, debido a la gran cantidad de sales disueltas como el calcio y el magnesio, hacen que el agua sea salobre.

Cerca de este punto 3, hay una zona húmeda donde destacan varias resurgencias, una de ellas es el punto 4, que mostró una calidad del agua hasta cierto punto preocupante, especialmente en lo que se refiere al OD, ocasionada por la gran cantidad de vegetación acuática y hojas existentes (materia orgánica muerta), que al descomponerse consume oxígeno. Al mismo tiempo, el pH también se degrada debido a la materia orgánica, dejándolo fuera de los estándares aceptables de CONAMA (Clase IV). Esta descomposición, que se produjo antes de las lluvias de mayo (100 mm por encima de la norma climatológica), en el periodo en que el bicarbonato disuelto ya se ha agotado (acción del “efecto tampón”), hace que el pH disminuya antes de las precipitaciones. Las lluvias mejoran el nivel de OD, debido al aumento del flujo de agua y a la turbulencia de las mismas (que contribuye a la aireación), pero el pH aún no se restablece en invierno (septiembre) a niveles más alcalinos.

Estas particularidades quedan relegadas a un segundo plano cuando se analiza el río Sucuri. Llama la atención su transparencia, con los índices más bajos de toda la cuenca, incluso con un TDS elevado. Esto es resultado del pH alcalino que hace que los sedimentos sean más densos, decantándose en el lecho del río, lo que reduce su turbidez a niveles dentro de la Clase Especial. Su vegetación acuática también favorece la baja turbidez, ya que actúan como un filtro natural a la llegada de los sedimentos. Lo que es preocupante es que en todo su curso superior y medio está ocupado por cultivos y pastos y, de forma recurrente, sufre un aumento de la turbidez en la época de alta concentración de las lluvias. Desde esta perspectiva, Silva et al. (2014) afirman que el río Sucuri necesita un monitoreo sistemático, dado el aumento de agroquímicos en los cultivos cercanos.

Con un aspecto diferente del río Sucuri, el arroyo Taquaral (con un punto de colecta – Punto 11), perteneciente a la subcuenca del arroyo Formosinho, merece ser destacado en la CHRF porque sus fuentes se encuentran en las áreas preservadas del Parque Nacional Serra da Bodoquena. Sin embargo, en cuanto llega a los pólderes, los cultivos entran en las zonas de preservación permanente (ZPP) de algunos de sus afluentes temporales, lo que repercute en la calidad y cantidad de sus aguas superficiales. Sus parámetros presentaron índices que se desvían de lo aceptable según CONAMA, su OD fue del orden de 3,45 mg/L debido a la baja velocidad de sus aguas y la gran cantidad de materia orgánica existente, hizo que la clasificación del OD fuera de Clase IV.

Todavía, en esta subcuenca del arroyo Formosinho, el arroyo Serradinho (puntos 12 y 13) corren en un ambiente kárstico, que, debido a sus propiedades, le proporcionan baja turbidez de sus aguas. El punto 12 presenta una CE que se mantuvo alta y que, según CONAMA (2005), estarían encuadradas en la Clase IV, pero su turbidez (causada por la alta alcalinidad), el alto OD y el reducido ORP, favorecen a su clasificación en clases mejores.

Hay que señalar la preocupación por el volumen y la velocidad del flujo. Mientras uno presenta un gran volumen de agua, con alta velocidad y consecuente turbulencia y oxigenación (punto 12), el otro, el punto 13, durante el verano del 2017, permaneció seco. Esto fue resultado de la gran captación de aguas arriba de este punto para abastecer un centro de producción de alimento para el ganado lo que ocasiona un fuerte impacto al ecosistema de la subcuenca del arroyo Serradinho, no sólo al agua, sino también a su fauna y flora. Además, los cultivos de todas sus subcuencas avanzan hacia las regiones que bordean los cursos de agua y, a veces, invaden las zonas de vegetación forestal.

El arroyo Formosinho (con dos puntos de colecta, 15 y 16), presentó una reducción de la velocidad del flujo de agua en el primer punto monitoreado en esta subcuenca, el punto 15, con una disminución del OD y de la turbidez, en comparación con los demás puntos analizados, con 1,72 NTU y 0,65 NTU en verano e invierno, respectivamente, debido al largo contacto con las rocas carbonatadas de las Formaciones Bocaina y Cerradinho en el curso alto y de la Formación Xaraiés en el curso medio. Sólo se encontró en este punto, la elevación de la CE, a 603,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en verano y 213,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en invierno 2017, y la salinidad.

El OD del arroyo Formosinho mejoró a medida que se acercaba a su desembocadura (punto 16), ya que la ligera elevación de la velocidad del flujo de agua y las diversas cascadas existentes provocan

turbulencia y la consecuente oxigenación, lo que hizo que el OD se elevara a 9,00 mg/L y 8,68 mg/L, en las estaciones de verano e invierno, respectivamente. La subcuenca del arroyo Formosinho presenta extensas porciones de tierra ocupadas por cultivos de soya y sus riberas presentan una vegetación riparia típica del Cerrado y vestigios de la Mata Atlántica, con grandes árboles con extensos sistemas radiculares, que son eficaces para filtrar naturalmente los sedimentos de los cultivos, protegiendo y manteniendo la calidad del agua en niveles aceptables.

La subcuenca del arroyo Bonito, que incluye los arroyos Bonito (puntos 17 y 21), Restinga (punto 18) y Saladeiro (puntos 19 y 20), sufren la influencia de la zona urbana de la ciudad de Bonito y muestran que sus parámetros físico-químicos tienen profundas relaciones con la constante descarga de residuos sólidos y líquidos en sus cursos fluviales. Estos residuos son ricos en nutrientes y compuestos químicos, que provocan reacciones bioquímicas que consumen OD y aumentan la CE y la turbidez. Además, la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Bonito, instalada en el arroyo Saladeiro, que vierte una gran cantidad de aguas residuales tratadas, y debido a su pequeño caudal y a la velocidad del flujo del agua, la autodepuración o dilución de estos contaminantes es lenta, interfiriendo sobre todo en el OD y la turbidez (punto de control 20).

Las mayores concentraciones de CE en el arroyo Saladeiro se deben a dos razones principales: la entrada de efluentes domésticos e industriales, y el paso de la red hidrográfica por rocas carbonatadas, que propician reacciones químicas particulares, haciendo que las aguas sean mejores conductoras de electricidad por la concentración de sales, que también influyen en la reducida turbidez y la alta alcalinidad. También ocurre el aumento del proceso de oxidación-reducción - ORP, que fue superior a 400mV, clasificando a este curso fluvial en la clase III de CONAMA. Cuanto mayor sea el potencial oxidoreducción (ORP) más deficiente es el saneamiento básico.

En el arroyo Restinga, afluente de la margen izquierda del arroyo Bonito, que corta la ciudad del mismo nombre, se constató la existencia de residencias en sus márgenes, que pueden estar arrojando residuos sólidos y líquidos directamente a este cuerpo de agua. Sin embargo, debido a que corre en rocas carbonatadas (que proporcionan, a pesar del bajo flujo, alta velocidad y turbulencia de sus aguas), no hubo una reducción significativa del OD en el verano. En invierno, la reducción de la velocidad y el volumen del agua da lugar a una mejora en la turbidez; sin embargo, hubo una fuerte reducción de la concentración de OD, hasta 3,99 mg/L, clasificándolo como clase IV. El arroyo de la Restinga es un importante afluente del arroyo Bonito (puntos 16 y 21) y desemboca en el río Formoso cerca de varios atractivos turísticos.

Sin la influencia antrópica de la zona urbana, el arroyo de São João (punto 23, en el curso medio de la CHRF), es uno de los arroyos (junto con el arroyo del Retiro, en el curso bajo) que responden a una de las preguntas que surgieron en este estudio: ¿es importante la influencia de la litología en la calidad físico-química de sus aguas superficiales? La subcuenca del arroyo São João se desarrolla sobre rocas terrígenas, en que las particularidades del agua son diferentes, pero no afectan necesariamente a su clasificación. Presentó una mayor turbidez, que alcanza 42,50 NTU en verano y baja a 21,51 NTU en invierno de 2017, por el contacto con rocas pelíticas del Grupo Cuiabá, además de que su fuente se encuentra en areniscas de la Formación Aquidauana.

Esto trae consigo una dinámica diferente para el desarrollo de actividades turísticas, no siendo un arroyo utilizado para este fin, pero aún así es esencial para mantener el equilibrio del complejo ecosistema de la cuenca del río Formoso, ya que su clasificación está en la Clase I y Especial, en los períodos de verano e invierno, respectivamente. Es necesario destacar, en este punto, la significativa reducción de los valores de CE, por no tener contacto con rocas carbonatadas, llegando a 63,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y posteriormente a 23,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Continuando con el análisis de las aguas del curso medio y bajo, en la región norte de la cuenca existe una importante zona hidrográfica utilizada para el turismo de naturaleza por la existencia de cascadas y tufas calcáreas. Se trata de la cuenca hidrográfica del río Mimoso. La cual tiene particularidades, como son los altos niveles de alcalinidad, que dan lugar a la formación de importantes tufas calcáreas, uno de los principales atractivos turísticos de Bonito.

Estas tufas se diferencian de otras rocas carbonatadas por su contenido de calcio, que acaba formando, mediante la deposición de algas, vegetación e invertebrados en el lecho del río, incrustaciones con el flujo del agua alcalina. Boggiani et al. (2011) afirman que las tufas son extensas deposiciones modernas y antiguas, asociadas al carbonato de calcio disuelto en el agua, a la reducción de la turbidez y a la intensa

actividad biológica. Sin embargo, se trata de depósitos carbonatados fluviales frágiles y naturalmente erosionables, en los que su formación y estabilización dependen de las condiciones físico-químicas y biológicas de las aguas.

La cuenca del río Mimoso es una de las más afectadas cuando se producen lluvias concentradas, donde el aumento de la turbidez perjudica el desarrollo de estas tufas calcáreas y se erosionan las existentes. En el río Mimoso se colectaron muestras en siete puntos (25, 26, 27, 28, 29, 31 y 33), de los cuales en los puntos 26, 27 y 28, se encontraron grandes cantidades de aceites procedentes de cosméticos, como lociones bronceadoras y productos de protección solar en las aguas superficiales. Estos residuos aún no se evalúan como impactantes, ya que el volumen de agua es considerable, produciéndose su rápida auto-depuración. Sin embargo, es un factor que debería tomarse en cuenta, apuntando a una limpieza gradual de las proximidades de las márgenes, lugares donde se acumulan estos residuos.

El arroyo Espíritu Santo (punto 30), principal afluente del río Mimoso en volumen de agua, presentó una CE elevada (702,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 251,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$), explicada tanto por la influencia del sistema kárstico como por las evidencias de eutrofización en sus aguas. Hay una gran cantidad de materia orgánica debido a las plantaciones de soya, que en algunos casos desprotege al suelo y aporta sedimentos a los manantiales, lo que alteró el OD, la CE, el TDS y el ORP (450,00 mV y 155,50 mV) de las aguas. Las carreteras que atraviesan esta subcuenca concentran importantes puntos de erosión y necesitan un mejor mantenimiento y control, ya que el transporte de sedimentos hacia el río provoca un aumento de la turbidez, los TDS y la CE.

Una de estas carreteras da acceso al arroyo el Barranco (punto 32), que tiene un volumen de agua menos significativo, corre sobre rocas carbonatadas y debido a ello, su CE se mantiene alta con 512,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en verano y 244,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en invierno. El OD tuvo un descenso considerable en sus valores (6,39 mg/L en verano y 5,01 mg/L en invierno), debido principalmente a la baja oxigenación causada por la baja velocidad del agua. Esta baja velocidad del flujo provoca que una gran cantidad de materia orgánica proveniente de las hojas que no son arrastradas por el curso fluvial, se acumule en este punto y absorba oxígeno. Hay que decir que hay varias presas agrícolas que bloquean el flujo natural del curso, lo que reduce la velocidad de las aguas y provoca cambios en la cantidad y calidad de las mismas, especialmente el OD, el TDS y la CE. Con esta reducción del volumen de agua, el punto 33 (último punto del río Mimoso), situado después de la desembocadura del arroyo Espíritu Santo, no presentó grandes alteraciones.

Llegando al curso bajo del CHRF, la subcuenca del arroyo del Retiro (punto 34) se presenta como la más impactada negativamente. Pastos con falta de manejo, ingreso de ganado (en algunos puntos) hasta las orillas de sus afluentes y azolvamiento, entre otros problemas ambientales, además de una importante remoción de la vegetación ribereña y de los afluentes. Junto a estas acciones antrópicas y un sustrato predominante de rocas terrígenas (no kársticas) del Grupo Cuiabá, trae una influencia significativa en el agua, como es la reducción del pH y el aumento de la turbidez.

Las acciones antrópicas y naturales se reflejan directamente en las aguas. La turbidez, incluso "alta", muestra 43,65 NTU (verano) y 21,13 NTU (invierno), considerándose necesario contextualizar que este índice de turbidez es alto para los estándares de la CHRF. Luego, la entrada de materiales fragmentados en los cursos fluviales, provoca reacciones bioquímicas que alteran el ORP a 442,00 mV. Sin embargo, en invierno el ORP se mantiene dentro de los estándares aceptables frente al descenso de la temperatura, la CE y el TDS, alcanzando 146,50 mV. Otro elemento destacado fue la CE en verano (327,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ya que la alta CE suele deberse a un agua con altos niveles de sales como el calcio y el magnesio, en que la alta CE en zonas no kársticas es algo que llama la atención, y puede explicarse por la gran cantidad de materia orgánica, signos de contaminación y eutrofización, que modifica todos los parámetros de análisis.

Debido a esto se analizaron los afluentes del río Formoso, es posible entender la dinámica desde sus nacientes en las áreas preservadas de la Serra da Bodoquena, así como a través de las áreas donde el paisaje ha sido antropizado por los cultivos y los pastos hasta su desembocadura en el río Miranda, incluyendo las particularidades de sus afluentes y su sustrato rocoso. El río Formoso es escénico por su baja turbidez, pH alcalino, alta conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos, siendo evaluados en este trabajo ocho puntos de colecta hasta su desembocadura.

Desde el primer punto, en las cercanías de la Serra da Bodoquena, ya se advierten estos elementos, todavía el punto 1 está rodeado de cultivos y ya presenta algunas algas en el lecho del río, que son signos de eutrofización, un proceso (generalmente antrópico) de multiplicación de algas debido al aumento del

contenido de materia orgánica en el agua. Sin embargo, el OD seguía siendo alto en ambos periodos de análisis debido a la turbulencia que se produce por una pequeña cascada aguas arriba, que eleva ligeramente la velocidad del agua en este punto y provoca cambios positivos en los niveles de OD, que proporcionaron un mejor encuadramiento debido a su CE en la clase IV.

En el punto 9, que recibe las aguas transparentes del río Sucuri, se observaron cambios positivos en las aguas, con una reducción de la CE (267,00 $\mu\text{S/cm}$) y un ligero aumento del OD (8,34 mg/L), resultado de la turbulencia de las mismas por el aumento de la velocidad (9,73 m/s). En invierno el OD de este punto alcanzó una de las mayores concentraciones en las aguas entre todos los puntos monitoreados (10,42 mg/L), originado por la considerable elevación de la velocidad del flujo de agua a 22,22 m/s. La turbidez en este punto se mantuvo muy baja tanto en verano como en invierno debido al gran aporte de las aguas del río Sucuri.

Debido a esto la turbidez del río Formoso tiende a aumentar a partir de este punto, ya que a medida que se aleja de sus fuentes, recibe afluentes de áreas con predominio de cultivos de soya. Desde este punto hasta el punto 10, existe una extensa zona de humedales denominada Bañado del río Formoso, un importante refugio de la biodiversidad en la región central de la cuenca.

El bañado del río Formoso se desarrolla sobre rocas de la Formación Xaraiés cubiertas por gleissoles háplicos eutróficos, su relieve aplanado favorece la permanencia del agua en los períodos secos, lo que ayuda a la recarga de los acuíferos, la retención de nutrientes, el mantenimiento de la biodiversidad y la gran belleza escénica, haciendo que la Fundación Neotrópica de Brasil - FNB (2016) priorizara la preservación de esta área, manteniendo el refugio de especies silvestres migratorias, incluso con algunas especies en riesgo de extinción.

Cabe destacar el papel que desempeña esta área como excelente filtro natural, trayendo un equilibrio de las aguas superficiales del río Formoso, sin embargo, todo su entorno ha sido ocupado por plantaciones de soya, lo que ha disminuido su capacidad de recarga de agua. Incluso en este contexto, surgió la propuesta de reconocer al bañado como una Unidad de Conservación, en la categoría de "Refugio de Vida Silvestre del Bañado del río Formoso - RVSBF", lo que haría su protección más amplia, dada la normativa del Sistema Nacional de Unidades de Conservación - SNUC (Ley 9985/2000). No obstante, esta propuesta sigue encontrando resistencia porque el área se encuentra en trece propiedades rurales, todas ellas dedicadas al agronegocio.

Esto aumenta el riesgo de la ocurrencia de impactos ambientales negativos. Lo preocupante es precisamente la ubicación de estos cultivos, la mayoría de ellos situados en regiones cercanas al bañado del río Formoso, avanzando hacia las orillas del mismo y reduciendo su capacidad de recarga. Este artículo se propone también llamar la atención del poder público para contribuir al tema y mostrar la importancia del bañado, colaborando con la designación de esta zona como Unidad de Conservación.

Después del bañado, se encuentra el Balneario Municipal (punto 10) y el Balneario del Sol (punto 22), que se ubican poco después de la confluencia con los arroyos Formosinho y Bonito, ambos en el curso medio de la margen izquierda del río Formoso. Tras un descenso de la calidad del agua en el punto 10, el río comienza a mejorar de nuevo su calidad cerca del punto 22, debido a su propia capacidad de autodepuración, ligada al aumento de su flujo. Destaca su buena concentración de OD, el ligero aumento de la turbidez (causada por la entrada de aguas más turbias de otros afluentes), así como la entrada en zonas de pastos sin ningún tipo de gestión de la tierra, siendo señalada, según Silva (2015) y Ribeiro (2017), como una de las principales causas del aumento recurrente de la turbidez de las aguas.

Ambos puntos fueron clasificados como Clase I según CONAMA (2005), pero el punto 22, Balneario del Sol, se destaca como el único sitio con un pH con cierta acidez (6,16), todavía dentro de los estándares de CONAMA, ya que se encuentra dentro del intervalo 6 y 9 del pH suficiente para mantener la vida acuática, según la resolución 357/2005. Como comparación, Lelis et al. (2015) señalan valores del pH cercano a 8 en los ríos Formoso y Mimoso (kársticos). Ya Oliveira (2014) y Berlanda et al. (2021) registraron valores cercanos a 6 y 6,50 como promedio en otras subcuencas predominantemente terrígenas, mostrando el efecto alcalino del medio kárstico en las aguas de la cuenca del río Formoso.

Hay que tener en cuenta que el pH también está influenciado por la temperatura del agua, ya que a medida que la temperatura aumenta, el pH disminuye en la mayoría de los casos, pero como el sistema kárstico presenta una dinámica diferente, principalmente geoquímica, y esto se aplica sólo ocasionalmente. En invierno el pH presentó una mayor influencia de las aguas subterráneas, y volvió a la normalidad

con 7,92, lo que demuestra que este cambio se produjo en verano debido a algún factor relacionado con las precipitaciones que se produjeron una semana antes de la recogida de la muestra, en la que, según la información de los empleados del atractivo turístico se produjo un aumento de la turbidez y el balneario tuvo que cerrarse a los bañistas.

Después del Balneario del Sol se encuentra la confluencia del arroyo São João en la margen derecha del río Formoso, en su curso medio, en un tramo de 8,10 km hasta el punto 24, que es suficiente para depurar los sedimentos arrastrados por las aguas turbias del arroyo São João. Las aguas del río Formoso vuelven a tener las mismas particularidades de los puntos anteriores al arroyo São João. En el punto 24, la CE vuelve a aumentar hasta 465,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en verano y 165 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en invierno y aunque presenta contacto con las rocas terrígenas desde el Balneario del Sol, no fue suficiente para disminuir las concentraciones de CE, ya que la presencia de grandes volúmenes de agua que provienen de sistemas kársticos como el propio río Formoso, el río Sucuri y el arroyo Formosinho, mantienen las propiedades de las aguas de la zona kárstica.

Tras la confluencia de los ríos Mimoso y Formoso, no fue posible tomar muestras de agua debido a la falta de vías de acceso. El punto 34 (arroyo del Retiro) es el más impactado negativamente y tiene la peor clasificación de la cuenca. Los dos últimos puntos muestreados, el 35 y el 36, siguen caracterizándose por el ambiente kárstico y la gran belleza paisajística, sin embargo, debido al gran volumen de agua que entra desde el arroyo Retiro y el sustrato formado por sedimentos aluviales no consolidados que se asientan sobre la litología calcárea, rica en arenas, gravas, limos y gravilla, hubo una ligera elevación de la turbidez hasta 6 NTU, todavía muy baja en comparación con las cuencas terrígenas, como señalan Oliveira (2014) y Alves (2019), que están en torno a 20 a 30 NTU llegando hasta 60 NTU, mientras que Medeiros et al. (2018) señalaron valores que alcanzan hasta 75 NTU, todos en condiciones naturales.

Los altos TDS con aguas ricas en carbonato de calcio y magnesio, buenos conductores de la electricidad, provocan que la conductividad eléctrica se mantenga siempre por encima de los 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que, en las cuencas terrígenas, como señalan Oliveira et al. (2011), Schautz (2015) y Pereira et al. (2020), la conductividad está en torno a los 30 a 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estas comparaciones son sólo algunas que muestran las particularidades de las aguas que atraviesan las rocas carbonatadas y solubles como las calizas y los mármoles calcíticos y dolomíticos.

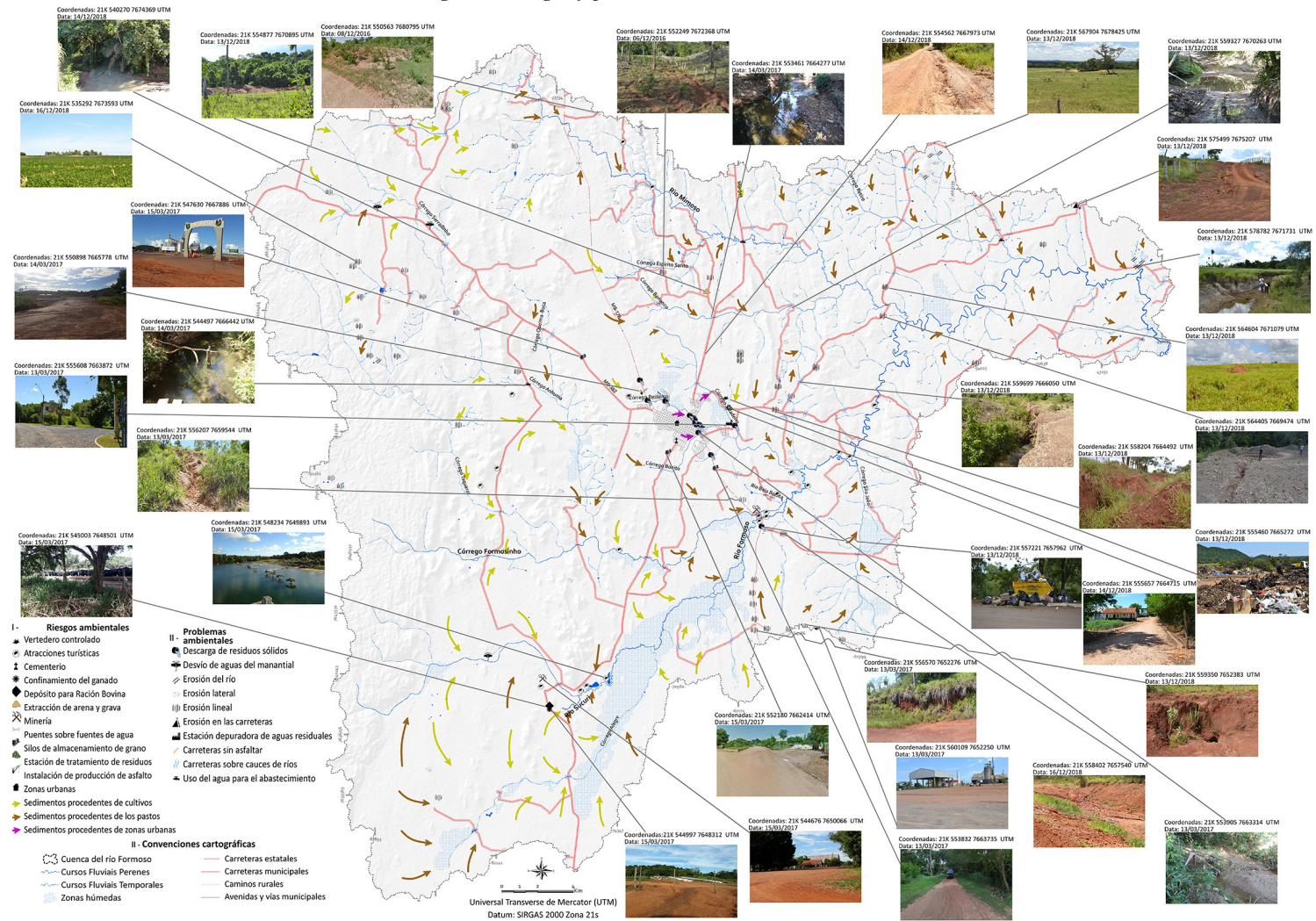
4. Discusión de los resultados

En general, la CHRF presenta una buena clasificación de sus aguas, con cambios ocasionales. A la luz de lo anterior, el agua es el punto de unión entre el medio físico y el antrópico, ya que siempre indicará cualquier tipo de modificación en la cuenca. De este modo, se comprobó que el avance de las actividades económicas ha causado un aumento recurrente de la turbidez de los cursos hídricos. Según Ribeiro (2017), esta región está experimentando un profundo proceso de cambio en su patrón de uso del suelo, con una tendencia al aumento progresivo y desordenado de las áreas de cultivo, que aumentan el riesgo a impactos ambientales negativos. En este contexto, la proliferación de los cultivos con su producción enfocada al mercado global de *commodities* es un proceso que no solo vive el CHRF, sino que también se observa en otras partes del estado de Mato Grosso do Sul.

Esta relación uso antrópico versus karst pone en evidencia su fragilidad y propensión a la inestabilidad del terreno si no se conocen sus particularidades. Estas cuestiones son el centro de constantes discusiones entre ecologistas, ruralistas y empresarios vinculados al sector turístico de Bonito. Por un lado, los ecologistas aportan la idea de que la turbiedad de las aguas está ligada a la mala gestión del suelo en las áreas de cultivo, por otro lado, los propietarios de estos cultivos, a través del Sindicato Rural, presentan la hipótesis de que la falta de mantenimiento de las carreteras sería el principal generador, que se suma a los diversos riesgos y problemas ambientales como: vertido de residuos sólidos, plantas de tratamiento de aguas residuales, desarrollo de la erosión, vertedero controlado, entre otros (Figura 5).

En los recorridos de campo realizados se pudo identificar que existe una preocupación por parte de los empresarios del sector turístico con la preservación y el mantenimiento de la calidad del agua y, en consecuencia, del medio ambiente, ya que dichos atractivos están profundamente relacionados con el paisaje y los manantiales hídricos, y mostraron temor por el futuro ambiental del municipio. Estos empresarios son conscientes de que la preservación y conservación del medio ambiente es esencial para garantizar el atractivo de sus empresas.

Figura 5. Riesgos y problemas ambientales en la CHRF



Elaboración propia

Todavía, a pesar de que las áreas de cultivos realizan gestión de la tierra, el principal problema ambiental al que se enfrentan los manantiales de la cuenca, se refieren a la temporada de cosecha, es decir, al momento en el que la mayor parte de la tierra permanece durante algunos meses con el suelo desprotegido y la acción de la lluvia, sobre todo en las épocas de primavera y verano, arrastra los sedimentos hacia los fondos de los valles, donde se encuentran los cursos de agua.

A su vez, los pastos presentan problemas en cuanto a la gestión de la tierra, tanto por su ineficacia (al no soportar la dinámica hídrica local) como por la falta total de gestión en los mismos. Se trata de regiones en las que existen diversas formas erosivas (surcos y erosión laminar) en la CHRF. Por ello, también se convierten en agentes importantes en los procesos hidrosedimentológicos, que arrastran grandes cantidades de sedimentos a los cursos hídricos, comprometiendo la cantidad y calidad del agua de los mismos.

Las carreteras sin asfaltar también desempeñan un papel importante en estos procesos, ya que, aunque son zonas menos extensas, su dinámica hidrológica facilita la entrada de sedimentos en los cursos fluviales (Macdonald et al., 2001; La Marche & Lettenmaier, 2001; Sheridan & Noske, 2007; Rijsdijk et al., 2007). Los caminos sin pavimentar en la cuenca presentan serios problemas en sus sistemas de drenaje, y muchos de ellos ni siquiera tienen cajas de retención y cuencas de contención, entre otras formas que servirían para disipar y/o contener el agua de lluvia que escurre.

Es necesario aclarar además algunas cuestiones importantes: el aumento de la turbidez se inicia con la agricultura extensiva en el alto curso de la cuenca, cerca de la Serra da Bodoquena; los pastos están vinculados al aumento en una segunda fase porque las cuencas de drenaje donde predominan estos se localizan en el curso medio; las carreteras también están vinculadas al aumento de la turbidez sólo en los cursos medio y bajo, donde se encontraron varias formas erosivas lineales en su recorrido. Por último, la zona urbana no está directamente vinculada al aumento de la turbidez del agua, pero entra en la discusión desde otro ángulo, el de la contaminación y eliminación de residuos sólidos de forma puntual y en los afluentes de la subcuenca del arroyo Bonito, aunque aún no hay evidencia de que actúe efectivamente en este aumento.

El “enturbiamiento de las aguas” conlleva impactos significativos en este sistema kárstico, ya sea reduciendo su resiliencia o modificando su equilibrio ambiental, social y económico. Las lluvias ocurridas desde el periodo de este estudio (año 2017) han traído varios episodios de enturbiamiento del agua, un hecho recurrente desde principios del siglo XXI. Así, además de la vertiente ambiental, el turismo en la cuenca, así como en toda la región de la Serra da Bodoquena, que está ligado a la calidad del agua, especialmente a su gran transparencia, como consecuencia de la reacción geoquímica con las rocas carbonatadas, está en riesgo por el propio avance de las actividades económicas que impactan y suprimen la vegetación nativa e interfieren en la calidad del agua de esta cuenca, reconocida a nivel mundial.

Otra paradoja es que los agricultores, en la gran mayoría de los casos son propietarios de empresas turísticas, y afirman que esta actividad es ventajosa porque debido al flujo regular de turistas, los ingresos son mensuales, mientras que, en los cultivos y el ganado, el rendimiento es anual o como mucho cuatrimestral, en que el turismo paga los gastos diarios.

Se puede ver que el aumento de la turbidez genera debates más amplios que sólo los cultivos y su gestión, hay una serie de problemas ambientales en la cuenca que afectan a los recursos hídricos. De hecho, debido a la extensión de las áreas cultivadas, su influencia es mayor que las carreteras, sin embargo, ambos son factores que pueden y deben ser monitoreados, con propuestas para reducir los procesos generadores de sedimentos.

Los resultados muestran un escenario tendencial en el que los ríos translúcidos de gran belleza escénica dan paso a un sistema fluvial afectado por procesos hidrosedimentológicos, impactando consecuentemente en la economía de Bonito (ligada al turismo en las aguas escénicas de los manantiales), que se ve afectada con largos periodos en que los atractivos turísticos deben permanecer cerrados hasta que las aguas vuelven a su transparencia normal (Figura 6).

Mientras el uso antrópico transforma el paisaje de la cuenca, el sistema kárstico, que ya es un geosistema frágil en situaciones naturales, se vuelve aún más frágil. Es en este complejo entramado de relaciones donde Bonito ha sufrido un aumento recurrente de la turbidez. Por sus particularidades kársticas y la fragilidad de sus ríos, donde destacan los ríos escénicos, debe destacarse la atención que el Poder Público debe realizar sobre el uso y gestión de la cuenca. La falta de legislación que cubra la fragilidad de los sis-

temas kársticos y la necesidad de una mayor aplicación de las regulaciones existentes, que cubren los ríos escénicos, se hace cuestionar las bases ambientales, sociales y económicas que forman parte de la CHRF.

Figura 6. Enturbiamiento de las aguas de los principales recursos hídricos de la CHRF



Fuente: Foto k - ECOA; Foto l, m, o, p - Campo Grande News; Foto n - Globo (G1); Fotos q, r, s, t, u - Policía Militar Ambiental. Elaboración propia

Por esta razón se sugirieron algunas acciones para reducir la recurrencia del enturbiamiento del agua (el principal calificador de la belleza de las aguas de Bonito, según los turistas) y para mejorar los demás parámetros físico-químicos de las aguas:

- Restauración de la vegetación forestal en las zonas prioritarias para su conservación permanente;
- Control y supervisión del vertimiento de residuos sólidos cerca de los cursos hídricos;
- Los cultivos necesitan un manejo adecuado, como la siembra directa que, entre sus técnicas, deja la paja de la soya en el suelo en el momento de la cosecha, lo que minimiza que el agua de la lluvia llegue directamente al suelo y, en consecuencia, reduce el arrastre de sedimentos. Además, la cosecha debe ser escalonada para evitar grandes áreas de suelo expuesto durante la estación lluviosa (de octubre a marzo);
- Fomentar la aplicación, en los pastos, de una gestión adecuada con curvas de nivel. En conjunto, adoptar el terraceo en las zonas más escarpadas y proporcionar la rotación de los animales en los cuarterones, lo que mejora el pasto y favorece una mayor protección del suelo;
- En los atractivos turísticos, priorizar las acciones de educación ambiental con la implementación de carteles informativos sobre la importancia de la conservación y preservación de la calidad ambiental de la región y realizar el monitoreo de los parámetros físico-químicos de los recursos hídricos que pasan por los mismos, manteniéndolos en niveles aceptables;
- Realizar un monitoreo periódico de los recursos hídricos de la cuenca, sugiriendo el uso de los puntos elegidos en este estudio como potenciales para el control continuo de la calidad de las aguas, manteniéndolas en niveles aceptables, además de realizar una conservación ininterrumpida de las tufas calcáreas.

5. Conclusiones

Los aspectos analizados en este estudio fueron ampliamente discutidos, desde la comprensión de los impactos negativos de las áreas urbanas, especialmente en la subcuenca del arroyo Bonito, hasta los cambios en los parámetros físico-químicos derivados de las extensas áreas de pastos con ineficacia o ausencia total de manejo, como la subcuenca del arroyo Retiro, entre otros problemas derivados de los cultivos en la cuenca del río Mimoso y del río Formoso en su conjunto. Así, las recomendaciones pueden contribuir a mejorar la calidad del medio ambiente, además de alertar a los órganos públicos sobre la inminente necesidad de mejorar la capacidad de recuperación de esta cuenca, cada vez más afectada por la turbidez. Dejando siempre en evidencia la influencia de los factores antrópicos, al mismo tiempo que la influencia que el sustrato rocoso ejerce sobre las aguas.

Se observa que el factor económico es intenso en la zona de estudio, sobre todo al relacionar las actividades de turismo y producción de soya (dos sistemas económicos distintos) en el contexto ambiental. Esta dinámica antrópica ha traído consigo un intenso proceso de uso de la tierra, que avanza hacia las zonas kársticas, elevando los posibles riesgos e impactos ambientales con el aumento de la cantidad de sedimentos transportados a los cursos hídricos. Es posible notar que la ubicación de las plantaciones es tan perjudicial como su área de cobertura, ya que se encuentran cerca del bañado del río Formoso, lo que puede, a mediano y largo plazos, reducir su recarga por la cantidad de sedimentos que ingresan al mismo.

En este sentido, la aprobación de Unidades de Conservación en la cuenca se ha convertido en un aliado en la preservación y conservación de los bosques que aún resisten la presión antrópica. Si se mantiene la vegetación forestal, así como la revitalización de las riberas de los cursos fluviales, como se propone en este trabajo, se produciría un efecto positivo en la fauna, la flora y el microclima regionales. También ayudarían a reducir la escorrentía superficial, la aparición de procesos erosivos, la recurrencia de la turbidez y a mejorar o mantener los parámetros físicos y químicos de las aguas superficiales en unos estándares aceptables, como hoy en día. Este estudio demuestra que la CHRF está encuadrada en la Clase I (media), sin embargo, varios de sus afluentes presentan graves problemas que deben ser monitoreados, ya que algunos de sus parámetros mostraron cambios preocupantes relacionados con la zona urbana y el vertimiento de residuos sólidos, el arrastre de sedimentos que provoca la erosión y la estación de tratamiento de aguas residuales, entre otros factores que fueron analizados como posibles causas de los cambios físicos y químicos en las aguas superficiales.

Los cultivos se destacan por la gran extensión de tierra que ocupan, en la época de la cosecha, quedan desprotegidas frente a la acción de las lluvias, provocando el arrastre de sedimentos y enturbian los

ríos. Esta turbidez afecta no sólo al medio ambiente, sino también al social (perjudicando la oferta de puestos de trabajo directos e indirectos) y al económico (daños financieros), sobre todo porque cuando este fenómeno se produce a nivel regional, los principales atractivos turísticos se cierran hasta que el agua vuelve a tener niveles de calidad aceptables para las prácticas turísticas de alto nivel, y esto ha ido ocurriendo de forma más frecuente a lo largo de los años, lo que demuestra la baja capacidad resiliente de los manantiales y de la cuenca. Estos hechos provocan importantes conflictos en Bonito (ecologistas, agricultores y el sector turístico).

No corresponde a este estudio señalar culpables, sino buscar minimizar tales enturbiamientos e influencias negativas sobre las aguas, y las propuestas abordadas en el ítem cuatro de este artículo, proporcionarán un mejor equilibrio entre tales actividades económicas y el medio ambiente, reduciendo el riesgo de afectar la calidad del agua mundialmente reconocida de esta zona, buscando una valoración de su potencial ambiental, científico, geológico e hídrico.

En medio de esto, se torna un desafío la clasificación de las aguas de las regiones kársticas, porque estas presentan influencias del sustrato de roca carbonatada, que eleva el pH, la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos. Se demuestra que el agua es un vínculo entre el medio físico y los cambios antrópicos, porque siempre indicará y será el resultado de las acciones en las cuencas hidrográficas.

Se percibe que algunos parámetros no son los recomendados por CONAMA, mismo en condiciones naturales, lo que puede provocar distorsiones en el estudio si no se reconocen las particularidades kársticas de la cuenca. Así, se manifiesta la necesaria implantación de una resolución auxiliar para actuar conjuntamente al encuadramiento ya establecido de los cursos fluviales (Resolución 357/2005 del CONAMA), incluyendo las aguas que atraviesan regiones kársticas (alrededor del 4% del territorio brasileño), sobre todo por poseer parámetros no contempladas en las resoluciones existentes.

Esta propuesta pretende cambiar los intervalos de la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos, ya que en el encuadramiento tradicional estos parámetros, en la mayoría de los casos, reflejan las aguas de la clase IV, y no necesariamente presentan particularidades de dicha clase (contaminadas). Sólo queda la sugerencia de un encuadramiento específico para dichas zonas, que incluya la determinación de mayores restricciones en el uso de sus aguas, ya que son aguas alcalinas y ricas en carbonato de calcio y magnesio, que pueden causar efectos negativos en la salud de una parte de la población.

Así, la cuenca muestra un escenario ambiguo: por un lado es reconocida por su exuberante vegetación y sus ríos escénicos, más notorios para los turistas; y por otro lado, existe un escenario con situaciones alarmantes, es decir, aunque no haya enturbiamiento, los grandes cursos fluviales utilizados como atractivos turísticos no pueden ser la tónica de esta región, mientras que los afluentes, como los arroyos Bonito, Saladeiro, Retiro y Taquaral, han sufrido continuamente impactos negativos causados por las actividades antrópicas. A partir de estos temas se centró este estudio, al analizar gran parte de los manantiales de la CHRF, se observa que estos se integran y son esenciales para el equilibrio de la misma.

Lo que no se puede descartar es que termine esta discusión, pues a pesar de preverse una serie de mejoras ambientales en la cuenca, actualmente se constata el desprecio político con tales cuestiones, con enflaquecimiento de los órganos ambientales en Brasil, lo que trae graves consecuencias. El desafío actual está en la aplicación del conocimiento científico, a esta y otras cuencas del país.

A pesar de estos obstáculos, se espera que este trabajo aporte a las acciones de mejora a tomar y sea un punto de referencia para otras investigaciones relacionadas con la calidad del agua en Bonito y otras regiones, y frente al avance de la agricultura sobre el sistema kárstico. Se puede señalar, que a partir de esta investigación es posible: establecer una base de datos sobre esta región de Mato Grosso do Sul; divulgar los resultados alcanzados con su cartografía y análisis, poniéndolos a disposición del Consejo Municipal de Turismo de Bonito - COMTUR, de la Fundación Neotrópica do Brasil, de la Prefectura Municipal y de otras instituciones y organizaciones responsables por la gestión y planificación del municipio de Bonito. Pensando que este artículo ayude en el proceso de toma de decisiones.

Financiación

Este estudio se realizó gracias a las contribuciones de la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior y la Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul.

Agradecimientos

Si utilizó los equipamientos disponibles en las Universidades Federales de Grande Dourados (UFGD) y Mato Grosso do Sul (UFMS), a través de los laboratorios de Geografía Física da UFGD (<http://www.lgf.ggf.br/index.php>) e de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (LaPGRH).

Referencias

- Alves, L. B. (2019). *Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do córrego Laranja Doce/MS* (Tesis de Maestría). Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados. Repositorio UFGD. https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFGD-2_567a1da07bbbf7929fd06034e68964c0
- Berlanda, A., Baum, C. A., Becegato, V. A., & Souza, N. C. V. de L. de. (2021). Avaliação temporal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Desquite, Santa Catarina. *Revista de Engenharia Sanitária Ambiental*, 26(1), 45-51. <https://www.scielo.br/j/esa/a/3kNPCbHRzyV8QKqcBcmkcXb/?lang=pt>
- Boggiani, P. C., Trevelin, A. C., Sallun Filho, W., Oliveira, E. C. de., & Almeida, L. H. S. (2011). Turismo e conservação de tufas ativas da Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul. *Tourism and Karst Areas*, 1(4), 55-63. https://www.researchgate.net/publication/261288017_Turismo_e_conservacao_de_tufas_ativas_da_Serra_da_Bodoquena_Mato_Grosso_do_Sul
- Bonito. *Ley nº 85 del 1 de diciembre de 2010*. Dispõe sobre o Plano Diretor do município de Bonito e dá outras providências. Diário Oficial, Bonito. Publicada no DOU, de 01 de dezembro de 2010. <https://www.bonito.ms.gov.br/2013/05/21/lei-complementar-n-085-10-plano-diretor-de-bonito/>
- Brasil. *Constituição* (1988). Texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações determinadas pelas Emendas Constitucionais de Revisão nos 1 a 6/94, pelas Emendas Constitucionais nos 1/92 a 91/2016 e pelo Decreto Legislativo no 186/2008. Diário Oficial da União, Brasília. Publicada no DOU, de 05 de outubro de 1988. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm
- Brasil. *Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000*. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília. Publicada no DOU, de 18 de julho de 2000, Seção 1. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm
- Brasil. *Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos. Brasília, DF: 1997. Diário Oficial da União, Brasília. Publicada no DOU, de 09 de janeiro de 1997. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm
- Brugnolli, R. M. (2020). *Zoneamento Ambiental para o Sistema Cárstico da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, Mato Grosso do Sul* [Doctoral thesis, Universidade Federal da Grande Dourados]. Repositorio UFGD. <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/2635>
- Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução 357/2005*. Dispõe sobre a classificação dos recursos hídricos e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília. Publicada no DOU n 92, de 17 de março de 2005, Seção 1, 89p. http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450
- Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução 430/2011*. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília. Publicada no DOU n 92, de 16 de maio de 2011, Seção 1. http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=627
- De Waele, J., Gutierrez, F., & Audra, P. (2015). Karst geomorphology: from hydrological functioning to palaeoenvironmental reconstructions. *Geomorphology*, 247(1), 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.04.025>
- De Waele, J., Gutiérrez, F., Parise, M., & Plan, L. (2011). Geomorphology and natural hazards in karst areas: A review. *Geomorphology*, 134, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.08.001>
- Fundação Neotrópica do Brasil. (2016). *Criação de duas unidades de conservação em Bonito, Mato Grosso do Sul*. (Convênio FNB-PMB Nº 010/2015): Bonito-MS.
- Gillieson, D., & Thurgate, M. (1999). Karst and agriculture in Australia. *International Journal of Speleology*, 28, 149-168. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.28.1.11>
- Goldscheider, N., & Drew, D. (2007). *Methods in karst hydrogeology*. International Contribution to Hydrogeology.

- Kalhor, K., Ghasemizadeh, R., Rajic, L., & Alshwabkeh, A. (2019). Assessment of groundwater quality and remediation in karst aquifers: A review. *Groundwater for Sustainable Development*, 8, 104-121. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.10.004>
- Krešić, N. (2013). *Water in karst: Management, vulnerability and restoration*. McGraw Hill.
- La Marche, J. L., & Lettenmaier, D. (2001). Effects of forest roads on flood flows in the Deschutes River, Washington. *Earth Surf Processes Landforms*, 26, 115-134. [https://doi.org/10.1002/1096-9837\(200102\)26:2<115::AID-ESP166>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/1096-9837(200102)26:2<115::AID-ESP166>3.0.CO;2-O)
- Lelis, L. R. M., Pinto, A. L., Silva, P. V. da; Piroli, E. L., Brugnolli, R. M., & Gomes, W. M. (2015). Qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Formoso, Bonito - MS. *Revista Formação*, 2, 279-302. <https://doi.org/10.33081/formacao.v2i22.3151>
- Macdonald, L. H., Sampson, R. W., & Anderson, D. M. (2001). Runoff and road erosion at the plot and road segment scales, St. John, US Virgin Islands. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 251-272. [https://doi.org/10.1002/1096-9837\(200103\)26:3<251::AID-ESP173>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/1096-9837(200103)26:3<251::AID-ESP173>3.0.CO;2-X)
- Machado, E. S., Knapik, H. G., & Bitencourt, C. C. A. (2019). Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 24(2), 261-269. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019181252>
- Mato Grosso do Sul. CERH/MS n. 2, de 23 de novembro de 2005. Aprova a criação e instalação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Miranda e dá outras providências. Diário Oficial, Campo Grande. Publicada no DOU, de 23 de novembro de 2005. <https://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/2015/11/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CERH-002-2005-Cria-CBH-Miranda1.pdf>
- Mato Grosso do Sul. Deliberação CECA n. 36, de 27 de junho de 2012. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais e estabelece diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como, estabelece as diretrizes, condições e padrões de lançamento de efluentes no âmbito do Estado do Mato Grosso do Sul, e dá outras providências. Diário Oficial, Campo Grande. Publicada no DOU, de 06 de fevereiro de 2013. <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=251067>
- Mato Grosso do Sul. Lei nº 1.871, de 15 de julho de 1998. Estabelece a forma de conservação da natureza, proteção do meio ambiente e defesa das margens nas áreas contíguas aos Rios da Prata e Formoso, e dá outras providências. Diário Oficial, Campo Grande. Publicada no DOU, de 15 de julho de 1998.
- Mato Grosso do Sul. Zoneamento ecológico econômico – Mato Grosso do Sul: primeira aproximação. Governo do estado de Mato Grosso do Sul, 2009. <http://www.semagro.ms.gov.br/zoneamento-ecologico-economico-de-ms-zee-ms/>
- Medeiros, W. M. V., Silva, C. E., Lins, R. P. M. (2018). Avaliação sazonal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil. *Rev. Ambient. Água*, 13(2), 1-17. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2054>
- Oliveira, G. H. de. (2014). *As implicações do uso, cobertura e manejo das terras na qualidade e enquadramento das águas superficiais da bacia hidrográfica do córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS* [Master's Dissertation, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul]. Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/2005>
- Oliveira, G. H., Pinto, A. L., Fernandes, M. V. F., & Araujo, A. F. (2011). Balneabilidade no baixo Sucuriú, município de Três Lagoas/MS. *Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino - GEOMAE (Online)*, 2, 79-89. <http://www.fecilcam.br/revista/index.php/geomae/article/view/40>
- Padovesi-Fonseca, C., & Faria, R. S. de. (2020). Gestão ecológica das águas: uma comparação das diretrizes do Brasil e da Europa. *Revista Ciência & Trópico*, 44(1), 83-99. [https://doi.org/10.33148/ctropicov44n1\(2020\)art5](https://doi.org/10.33148/ctropicov44n1(2020)art5)
- Parise, M. (2012). Management of water resources in karst environments, and negative effects of land use changes in the Murge area (Apulia, Italy). *Karst Development: Original Papers*, 1(2), 16-20. https://www.researchgate.net/publication/233580577_MANAGEMENT_OF_WATER_RESOURCES_IN_KARST_ENVIRONMENTS_AND_NEGATIVE_EFFECTS_OF_LAND_USE_CHANGES_IN_THE_MURGE_AREA_APULIA_ITALY
- Parise, M., Ravbar, N., Živanović, V., Mikszewski, A., Kresic, N., Mádl-Szónyi, J., & Kukurić, N. (2015). Hazards in karst and managing water resources quality. In Z. Stevanović (Ed.), *Karst aquifers - Characterization and engineering* (pp. 601-687). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12850-4_17

- Pereira, M. A. B., Alves, W. dos S., Oliveira, L. D. de, Morais, W. A., Lima, L. O., & Nunes, N. da C. (2020). Qualidade Hídrica da Cachoeira do Rio São Tomás, no Município de Rio Verde, Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(1), 377-390. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p377-390>
- Pinto, A. L., Brugnolli, R. M., Oliveira, G. H. de., São Miguel, A. E., & Souza, L. de O. (2014). Eficiência da utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da bacia do córrego moeda, Três Lagoas/MS. *Geografia, Rio Claro*, 39(3), 541-551. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/10278/7390>
- Ravbar, N. (2004). Drinking water supply from karst water resources (The example of the Kras Plateau, SW Slovenia). *Acta Carsologica*, 1(31), 73-84. <https://doi.org/10.3986/ac.v33i1.316>
- Ribeiro, A. F. N. (2017). Desafios e conflitos na produção do espaço no Planalto da Bodoquena: Agricultura, Turismo e Apropriação da Natureza. [Doctoral thesis, Universidade Federal da Grande Dourados]. Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/391>
- Rijsdijk, A., Bruijnzeel, L., A. S., & Sutoto, C. K. (2007). Runoff and sediment yield from rural roads, trails and settlements in the upper Konto catchment, East Java, Indonesia. *Geomorphology*, 87, 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.040>
- Schautz, L. C. A. (2015). *Avaliação da qualidade da água do Rio Dourados/MS – Variáveis Físico-Químicas*. Dourados/MS. [Master's thesis, Universidade Federal da Grande Dourados]. Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFGD-2_dc03ec2da4a4d85092913d66d322d5db
- Sheridan G. J., & Noske P. J. (2007). Catchment-scale contribution of forest roads to stream exports of sediment, phosphorus and nitrogen. *Hydrological Processes*, 21(23), 3107-3122. <https://doi.org/10.1002/hyp.6531>
- Silva, P. V. da. (2015). *A Importância da água para a percepção turística na bacia do rio Formoso em Bonito-MS* [Doctoral thesis, Universidade Estadual Paulista]. Repositorio institucional UNESP. <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/136060>
- Silva, P. V. da; Piroli, E. L., & Hernández, J. E. G. (2014). Qualidade da água e turismo em bacias hidrográficas: o caso da microbacia do Rio Sucuri, Bonito-MS, Brasil. *Revista Ciência Geográfica*, 18(18), 89-101. https://www.researchgate.net/publication/330262131_WATER_QUALITY_AND_TOURISM_IN_WATERSHEDS_THE_CASE_OF_RIVER_WATERSHEDSUCURI_BONITO-MS_BRAZIL
- Stevanović, Z. (2015). *Karst aquifers: characterization and engineering*. Professional Practice in Earth Sciences. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-12850-4>
- Van Beynen, P. E., & Van Beynen, K. M. (2011). Human disturbance of karst environments. In Van Beynen (Ed.), *Karst Management* (pp. 379-397). Springer. <https://doi.org/10.4311/2011SS0217>
- Van Beynen, P. E., Brinkmann, R., & Van Beynen, K. M. (2012). A sustainability index for karst environments. *Journal of Cave and Karst Studies*, 74(2), 221-234. <https://doi.org/10.4311/2011SS0217>
- Wu, P., Tang, C., Zhu, L., Liu, C., Cha, X., & Tao, X. (2009). Hydrogeochemical characteristics of surface water and groundwater in the karst basin, southwest China. *Hydrol Process*, 23, 2012-2022. <https://doi.org/10.1002/hyp.7332>