

**ESTADO DEL ARTE DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE ANÁLISIS
QUÍMICOS, FÍSICOS, BIOLÓGICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL RÍO GRANDE DE
LA MAGDALENA**



JESICA JULIANA ROMERO LIZCANO

Trabajo de grado para optar por el Título de Especialista en Gestión integral de cuencas
hidrográficas

ELIZABETH CARVAJAL FLOREZ Ph.D

Directora



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CAU - VILLAVICENCIO

2025

Contenido

	Pág.
Resumen	7
Abstract	8
1. Introducción.....	9
2. Planteamiento del problema	10
3. Objetivos.....	11
3.1. Objetivo general (OG).....	11
3.2. Objetivos específicos (OE)	11
4. Marco teórico.....	12
4.1. Patrimonio mundial de la UNESCO (WHS).....	12
4.2. Río Grande de la Magdalena.....	13
4.2.1 Zonas del Río Grande de la Magdalena.....	13
4.3. Calidad del agua.....	13
4.3.1 Indicadores de calidad de agua.....	14
4.3.2 Índice de calidad de agua ICA.....	15
5. Metodología.....	16
6. Resultados.....	19
6.1. Revisión de bibliográfica	23
6.1.1 Parámetros físicoquímicos utilizados en el RGM.....	24
6.1.2 Calificación del índice de calidad de agua (ICA) en el Río Grande de la Magdalena.....	25
6.1.3 Índice de calidad de agua (ICA) según la zona de la cuenca	25
6.1.4 Índice de calidad de agua (ICA) según el periodo hidrológico	26
6.1.5 Índice de calidad de agua (ICA) según los puntos de muestro por CAR.....	27
6.1.6 Bioindicadores usados para calidad del agua en el RGM.....	28
6.2. Análisis bibliométrico	29
6.2.1 Red bibliométrica de autores	29
6.2.2 Red bibliométrica de palabras clave	30
7. Discusión de resultados	31
8. Conclusiones.....	34
Referencias bibliográficas	35

Contenido de figuras.

Figura 1. Etapas de la metodología	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2. Documentos de CARs del Río Grande de la Magdalena (RGM).....	17
Figura 3. POMCAS de afluentes tributarios o directos al RGM	18
Figura 4. Bibliografía de revistas indexadas y de libre acceso.	18
Figura 5. Tabla RAI bibliográfica de documentos publicados	19
Figura 6. Tabla bibliográfica de variables FSQ.....	20
Figura 7. Tabla bibliografía del índice ICA	21
Figura 8. Frecuencia anual de documentos sobre la calidad del agua del Río GM	21
Figura 9. Frecuencia de muestreo según la cantidad de variables físicoquímicas	23
Figura 10. Frecuencia del índice de calidad hídrica en RGM	24
Figura 11. Frecuencia del rango ICA según las zonas de la cuenca RGM	25
Figura 12. Frecuencia del índice ICA en los diferentes periodos hídricos	26
Figura 13. Frecuencia de muestreo para cada CARs en el RGM	27
Figura 14. Frecuencia de muestreo utilizada en el RGM	28
Figura 15. Red bibliométrica de autores de la calidad del agua en el RGM.....	29
Figura 16. Red de palabras clave relacionados con la calidad del agua en el RGM.....	30

Resumen

Con la intención de postular al Río Grande de la Magdalena para su inclusión en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO con fines de protección, conservación y adopción de medidas jurídicas y financieras sobre el curso de agua, se ha realizado una evaluación del estado del arte de la calidad del agua del río, en investigaciones del Río grande del Magdalena publicados desde 2013 hasta el 2023 como parte del proyecto "ITINERARIO CULTURAL DE LA APROPIACIÓN SOCIAL Y CULTURAL DEL RÍO GRANDE DE LA MAGDALENA PARA SU INCLUSIÓN EN LA LISTA DEL PATRIMONIO MUNDIAL DE LA UNESCO", contribuyendo al expediente de solicitud ante la UNESCO. La metodología empleada se divide en cuatro etapas. Inicialmente, se realizó una búsqueda bibliográfica que abarcó fuentes primarias y secundarias a nivel nacional, publicadas en el rango de 10 años. La segunda etapa consistió en revisar la bibliografía identificada, especificando los procedimientos, metodologías o técnicas empleadas, la corporación ambiental relevante, el afluente o zona específica del Río estudiado, así como los resultados obtenidos, entre otros aspectos, para construir un Resumen Analítico de Investigación (RAI). La tercera etapa consistió en realizar un análisis bibliométrico para evaluar el estado actual de la investigación sobre calidad del agua en el Río Grande de la Magdalena. Finalmente, la información analizada fue sintetizada y organizada en un contenido integral y actualizado. Se hallaron 26 documentos, de los cuales 17 son artículos de revistas indexadas, 7 tesis y 1 libro de acceso libre; se destaca que los análisis de calidad del agua en el Río Magdalena se enfocan en índices físico-químicos y bacteriológicos, con escasez de estudios integrales que incluyan bioindicadores. Las condiciones del agua varían desde buena en la parte alta hasta regular en la parte baja. Se identificaron datos insuficientes y áreas poco estudiadas, así como una red de colaboración limitada entre autores. Desde 2020, aumentó la bibliografía sobre el tema, pero persisten brechas en estudios longitudinales y enfoques integrales.

Palabras Clave: Calidad del agua, Río Magdalena, análisis bibliométrico.

Abstract

With the intention of nominating the Magdalena River for inclusion in the UNESCO World Heritage List for the purposes of protection, conservation and adoption of legal and financial measures on the watercourse, an assessment of the state of the art of the river's water quality has been carried out, in research on the Magdalena River published from 2013 to 2023 as part of the project "CULTURAL ITINERARY OF THE SOCIAL AND CULTURAL APPROPRIATION OF THE MAGDALENA RIVER FOR ITS INCLUSION IN THE UNESCO WORLD HERITAGE LIST", contributing to the application file that will be submitted to UNESCO. The methodology employed is divided into four stages. Initially, a bibliographic search encompassing primary and secondary sources at the national level, published for 10 years, was conducted. The second stage involves reviewing the identified bibliography, specifying the procedures, methodologies, or techniques used, the relevant environmental corporation, the tributary or specific area of the river studied, as well as the obtained results, among other aspects, to construct a Research Analytical Summary (RAI). The third stage involved performing a bibliometric analysis to assess the current state of research on water quality in the Grande de la Magdalena River. Finally, the analyzed information was synthesized and organized into comprehensive and updated content. Twenty-six documents were found, of which 17 are articles from indexed journals, 7 theses and 1 open-access book. It is highlighted that water quality analyses in the Magdalena River focus on physical-chemical and bacteriological indices, with a shortage of comprehensive studies that include bioindicators. Water conditions vary from good in the upper part to regular in the lower part. Insufficient data and understudied areas were identified, as well as a limited collaboration network between authors. Since 2020, the bibliography on the subject has increased, but gaps in longitudinal studies and comprehensive approaches persist.

Key Word: Water quality, river Magdalena, bibliometric analysis.

1. Introducción

La calidad del Río Grande de la Magdalena (RGM) es de gran importancia para Colombia, ya que recorre una tercera parte del territorio, de sur a norte, entre la cordillera oriental y central; además, alberga el mayor endemismo de ictiofauna, siendo el mayor proveedor de alimento para la población riverense. Nace en el departamento del Huila, en la cordillera Central de los Andes y desemboca en el océano Atlántico en Bocas de Ceniza, orientando en una latitud de 3°S y 11°N, con una longitud total aproximada de 1.538 Km. Durante su trayecto, recibe más de 500 ríos, atraviesa 20 departamentos y 129 municipios (Eufasio, 2022; Marín Ramírez, 2003), con promedio de caudal de 7.154 m³/s y precipitación anual de 2.150 mm. Estas características permiten utilizar sus aguas como fuente de agua potable, riego, transporte y recolector de desechos, entre otros usos (Jiménez-Segura & Lasso, 2021; Munar et al., 2022; M. Rodríguez, 2015).

Un aspecto fundamental para la conservación y uso sostenible del RGM es la calidad del agua. Según el Estudio Nacional Agua del 2022, el río cuenta con tan solo 19 puntos de muestreo, limitando detalles de su estado. En la parte alta, la calidad se considera aceptable, en la zona media se clasifica como mala y en la parte baja, en el departamento de Bolívar (estación Magangué), la calidad es aceptable (IDEAM, 2022). Datos que resaltan la necesidad de una revisión documental de artículos y trabajos relacionados con este tema. Por lo cual, este trabajo busca identificar el estado del arte de la calidad del agua del Río Grande de la Magdalena abarcando el periodo entre el año actual y los diez años previos de investigación (2013-2023). Abordando temas como calidad del agua, Índice de Calidad del Agua (ICA), análisis bibliométrico, organismos bioindicadores y parámetros fisicoquímicos.

2. Planteamiento del problema

La falta de una evaluación integral de la calidad del agua del Río Grande de la Magdalena impide una comprensión adecuada de su estado ambiental. Aunque se han realizado análisis en diferentes áreas a lo largo del cauce, existe una falta de información sistematizada sobre la calidad del agua, lo que dificulta identificar lagunas de información y obstaculiza los esfuerzos para abordar los desafíos ambientales asociados con su cauce.

Para abordar esta problemática se enfocará en recolectar y analizar información de los sitios evaluados y muestreados por diferentes entidades, enfocándose en el cauce principal y las desembocaduras de los diferentes afluentes del Río Grande de la Magdalena. Se utilizarán documentos de libre acceso y revistas indexadas para identificar el estado del arte en calidad del agua de los ríos. El objetivo final es obtener una evaluación integral de la calidad del agua en la cuenca del RGM, basada en la revisión del estado del arte en el periodo 2013-2023.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general (OG)

Evaluar la calidad del agua en la cuenca del Río Grande de la Magdalena a través de una revisión del estado del arte en el periodo 2013-2023.

3.2. Objetivos específicos (OE)

Identificar los casos de estudio de calidad del agua en la cuenca del Río Grande de la Magdalena, mediante la revisión bibliográfica de bases de datos, artículos y medios electrónicos.

Identificar las áreas, técnicas, y procedimientos relacionadas con la calidad del agua, motivos de investigación, estrategias propuestas y frecuencia investigativa.

Analizar la información obtenida para la construcción de nuevo conocimiento sobre la calidad del agua desde la producción investigativa publicada desde el año 2013 hasta el 2023

4. Marco teórico

4.1. Patrimonio mundial de la UNESCO (WHS)

En la convención del patrimonio mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) busca identificar, proteger, conservar y revalorizar el patrimonio, además establecer políticas, medidas jurídicas, científicas, técnicas, administrativas y financieras para su preservación. También fomenta estudios científicos y técnicos que ayuden a contrarrestar las amenazas a su singularidad y diversidad, ya que una vez perdidos, estos recursos son irrecuperables (López-Hurtado, 2018). Por lo cual, la inclusión del Río Grande de la Magdalena en la Lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO (por sus siglas en inglés: WHS) representaría una oportunidad clave para fortalecer su sostenibilidad. Esto implicaría que se considerará un elemento con cualidades de gran valor universal, garantizando la máxima protección, conservación y gestión adecuada, enfocando objetivos y actividades de sostenibilidad y cuidado.

Para lograr la declaración de Patrimonio Mundial de la UNESCO, un sitio debe cumplir con criterios específicos que garantice su valor universal, es necesario que el país este comprometido con la protección de su patrimonio natural y cultura pueden nominar bienes en su territorio, el proceso inicia cuando el sitio este incluido en una Lista Indicativa de bienes importantes del país, que actúa como inventario de los sitios que podrían postularse, se elabora un expediente completo de nominación, el cual debe ser detallado con estudios e incluir documentación técnica y mapas. Este expediente es evaluado por organismos consultivos como: el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS), la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el Centro Internacional para Estudio de la Preservación y Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM), que valoran los sitios según su relevancia cultural o natural. Finalmente, el Comité Intergubernamental del Patrimonio Mundial toma la decisión sobre la inscripción del sitio, basándose en criterios de selección, los cuales aseguran su valor universal excepcional y su importancia para toda la humanidad (UNESCO WHC, 2024).

La declaración de un sitio como Patrimonio Mundial no solo reconoce su valor excepcional, sino que conlleva una serie de compromisos y beneficios mencionados mediante la UNESCO

(2024) que, a groso modo, busca fortalecer la capacidad de protección, conservación y presentación de los bienes inscritos, promoviendo el desarrollo de estrategias de capacitación y cooperación regional. Para lograrlo, se ha establecido la Estrategia de Capacitación en Patrimonio Mundial, que identifica actores clave (profesionales, instituciones y comunidades) y guía la implementación de programas educativos y de formación adaptados a cada nivel. La sensibilización pública es otro pilar esencial, ya que se pretende aumentar la apreciación y comprensión del valor cultural y natural, promoviendo la participación inclusiva de las poblaciones locales e indígenas en su protección y presentación.

4.2. Río Grande de la Magdalena

El Río Grande de la Magdalena es uno de los ríos base para el desarrollo de Colombia, representando el 24% de superficie en el país, 80% del total de la población y la mayoría de actividades se realizan en la cuenca, presentando un 80% del producto interno bruto del país, además, en el pasado fue un canal de comunicación entre las diferentes poblaciones, mediador en el comercio, articulador de varias regiones y prestador de funciones ecológicas fundamentales con sus diferentes ecosistemas; sin embargo, desde el siglo XX su principal función fue de receptor de residuos antrópicos, llevando al límite su capacidad de depuración, autorregulación y resiliencia, encaminado a la insostenibilidad del cauce (Rodríguez, et al., 2015; CORMAGDALENA, 2007; Márquez, G., 2016). Además de su importancia económica y cultural, el Magdalena alberga una biodiversidad excepcional. En su cuenca habitan 233 especies de peces de agua dulce, de las cuales 158 son endémicas. No obstante, múltiples amenazas como la deforestación, la degradación de los ecosistemas, la contaminación hídrica y la sobrepesca ponen en riesgo a más de 100 especies únicas de esta región, incluido el bagre rayado, que ya se encuentra en peligro crítico.

Debido a que es una de las cuencas más activas del interior del país y ha sido fuente de sustento para numerosas familias a lo largo del tiempo, la preservación de su equilibrio y la promoción de su sostenibilidad son esenciales. Por ello, investigadores han propuesto diversas estrategias de conservación y manejo que buscan garantizar la protección de su recurso íctico y evitar un mayor deterioro. Estas medidas están alineadas con el marco de la UNESCO, que establece acciones de salvaguarda y gestión para lugares y ecosistemas de alto valor, permitiendo la integración de esfuerzos de conservación con el desarrollo sostenible (Jiménez-Segura y Lasso, 2021)

4.2.1 Zonas del Río Grande de la Magdalena

Alto magdalena: nace a una altura de 3.685 msnm en el páramo de las Papas en el macizo colombiano hasta el bosque seco tropical a 229 msnm, se caracteriza por ser turbulento con una longitud de 565 km, recibe aguas de ríos provenientes de la cordillera central y cordillera oriental.

Magdalena medio: Inicia en el municipio de Honda hasta la desembocadura del Río Cesar a 33 msnm, con una longitud de 542 km, es una zona bastante húmeda por su bosque húmedo tropical, pero altamente intervenido.

Bajo Magdalena: zona que va hasta la desembocadura con una longitud de 515 km fluyendo por la llanura caribeña, formando ciénagas (CORMAGDALENA, 2007; Bernal, 2017).

4.3. Calidad del agua

El estudio de la calidad del agua es íntegro cuando se observan todos los componentes del ecosistema, entendiendo que la cuenca es una unidad de estudio y para su análisis según Roldan (2003) se debe considerar “el estado ecológico de cada cuenca debe realizarse de acuerdo con unas condiciones de referencia ... de características similares” compuesto por variables físicas, químicas, bacteriológicas y biológicas del río.

Los parámetros físicos se clasifican según las sustancias que tienen incidencia directa sobre el agua, los más comunes son: turbiedad, es la capacidad que contiene material suspendido para impedir el paso de luz; color y visibilidad, ligados al material suspendido; el olor y sabor ligados por la presencia de compuestos orgánicos; temperatura del cauce, que influye en la viscosidad y velocidad; conductividad, mide la presencia indirecta de sales como iones de sodio y cloruros; finalmente, los sólidos, determinados por la cantidad de material sólido que contiene una muestra que incluye: sólidos totales (ST), sólidos sedimentales, sólidos disueltos (SD), sólidos suspendidos (SS), sólidos suspendidos fijos, entre otros (Sierra, C. 2011).

Los parámetros químicos se dividen en dos grandes grupos. Los indicadores, parámetros que se deben a la interacción de varias sustancias (pH, alcalinidad, conductividad, acidez y dureza) y las sustancias químicas, parámetro conformado por sustancias o compuestos químicos como: nitrógeno (N), fósforo (P), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno

(DQO), nitratos (NO_3), nitritos (NO_2), oxígeno disuelto (OD), sulfatos, zinc (Zn) y mercurio (Hg) (Sierra, C. 2011).

Los parámetros bacteriológicos miden la presencia de microorganismos en el agua, algunos son: *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Clostridium sulfito*, *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, coliformes totales, entre otros (Barahona, Y., Luna, J., Romero, I., 2018).

Los parámetros biológicos (Tabla 1) permite entender el ecosistema acuático como un sistema de intercambio entre lo abiótico y biótico, relacionando la bioquímica con la biológica, conocidos como biomonitoreo o bioindicación, con diferentes grupos como: bacterioplancton, fitoplancton, perifiton, macrófitas, macroinvertebrados y peces, entre otros (Roldan, 1999).

Tabla 1. Indicadores biológicos de calidad del agua

Grupo	Importancia
Microorganismos	La presencia o aumento de bacterias, parásitos, virus y hongos indican contaminación
Plancton	Fitoplancton y zooplancton, sus concentraciones indican algunos niveles o grados de contaminación
Macroinvertebrados	Los MI dependiendo del género o familia de organismos son sensibles a la contaminación o no.
Peces	Perdida de riqueza y de densidad indican contaminación
Otros	Plantas u otros vertebrados. Su riqueza y de densidad indican contaminación o no.

FUENTE: Instituto del agua (<https://institutodelagua.es/>)

4.3.1 Indicadores de calidad de agua

El índice de calidad se clasifica según los parámetros que lo integran, los cuales pueden ser físicos, químicos, hidrológicos, biológicos o una combinación de estos. Cada indicador determina condiciones generales, permitiendo reconocer problemas de contaminación en un tiempo determinado.

Entre los indicadores fisicoquímicos que pueden ser utilizados para analizar la calidad del agua, se destaca el índice desarrollado por el IDEAM (ICA-IDEAM), el índice IDAHO (I-WQI), así como el índice de calidad ICO, entre otros. También, se emplean índices como el Índice de retención potencial (IACAL).

Por otro lado, los índices de calidad biológica del agua más reconocidos incluyen el Biological Monitoring Working Party (BMWP), índice de Comunidad de Macroinvertebrados, Índice de los Ríos, Índice de Fauna de Arroyo y el Índice EPT.

Un índice relevante para mencionar es el Índice de Valoración de Hábitat (SVAP), muestra la condición del hábitat de la zona ribereña y la calidad hídrica de un cauce (RFV), permitiendo implementar acciones de manejo (Rodríguez N. y Quintero L., 2024).

4.3.2 *Índice de calidad de agua ICA*

En Colombia el índice establecido para analizar la calidad del agua superficial es establecido por el IDEAM; es un índice fisicoquímico multiparamétrico con cinco o seis variables:

- Oxígeno disuelto (OD)
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Conductividad eléctrica (CE)
- pH
- Nitrógeno total (NT) – a veces incluido
- fosforo total (PT) – a veces incluido

El índice ICA (Tabla 2) se expresa en una escala entre 0 y 1, evaluando la calidad en términos de bienestar humano, está incorporado en los estudios nacionales del agua (ENA) en Colombia, determinando los diferentes ríos y cauces a nivel nacional, las categorías indicadoras son:

Tabla 2. Categorías del índice ICA

ICA – IDEAM	CATEGORÍA	COLOR REPRESENTATIVO
0,91 – 1	Buena	
0,71 – 0,90	Aceptable	
0,51 – 0,70	Regular	
0,26 – 0,50	Mala	
0, 00 – 0,25	Muy mala	

FUENTE: POMCAS, CAR-Cundinamarca, 2022.

5. Metodología

Este trabajo está enmarcado como estado del arte, por lo cual, se siguió la metodología cualitativa tipo monografía como investigación documental, de manera que se analiza los trabajos realizados y documentados. Un estado del arte sigue seis pasos según Machi L.A. y McEvoy B.H. (2012):

- Definir el tema y objetivos de la revisión
- Realizar búsqueda exhaustiva de la literatura
- Seleccionar y analizar documentos relevantes
- Organizar la información recopilada
- Sintetizar hallazgos
- Identificar vacíos y proponer direcciones futuras.

Inicialmente se realizó una búsqueda bibliográfica con las palabras clave

- Colombia
- Río Magdalena
- Calidad del agua

La metodología se dividió en cuatro etapas (búsqueda de información, selección y organización, análisis bibliométrico y síntesis de resultados), cumpliendo con cada uno de los seis pasos del proceso de revisión de literatura. Se recopiló información relacionada con el río Magdalena en el periodo comprendido entre los años 2013 y 2023. Este rango de diez años, fue seleccionado por que permite abarcar estudios recientes y relevantes, reflejando los avances actuales en el monitoreo y la evaluación de la calidad del agua. Esta delimitación temporal es comúnmente aceptada en investigaciones académicas por ofrecer un equilibrio entre actualidad y suficiencia bibliográfica (Machi & McEvoy, 2012).

La búsqueda se realizó en bases de datos académicas disponibles a través de los recursos electrónicos de la Universidad Santo Tomás, como ScienceDirect, Scopus, Elsevier, EBSCOhost, entre otros. También se consultaron revistas de acceso abierto y Google Académico. Adicionalmente, se solicitó documentación a las diferentes Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) relacionada con la calidad del agua del río Grande de la Magdalena, a través de derechos de petición.

En la segunda etapa, la documentación se seleccionó, codificó y se clasificó en la matriz de resumen analítico de investigación (matriz RAI), se revisó la documentación en toda su extensión, surgiendo las categorías para la sistematización de la matriz RAI (Tabla 3).

Tabla 3. Categorías de la matriz RAI de calidad hídrica del RGM

Categoría	Subcategoría	Descripción
Información básica del afluente	Nombre del afluente	
	Nombre del punto de muestreo	
	Coordenadas exactas del punto de muestreo	
	Parte de la cuenca	Alta
		Media
		Baja
Temporalidad	Año de publicación	
	Temporada de muestreo	Seca
		Lluvia
Índice de calidad del agua	Puntaje del índice ICA	
	Promedio del índice ICA	Si tiene temporadas o réplicas
	Rango del índice ICA	Según la categoría del índice
Parámetros Físicos de calidad del agua identificados	Demanda química de oxígeno	DQO (mg/l)
	Demanda bioquímica de oxígeno	DBO (mg/l)
	Fósforo total	PT (mg/l)
	Nitrógeno total	NT (mg/l)
	Oxígeno disuelto	OD (mg/l)
	Sólidos suspendidos totales	SST (mg/l)
	E_Coli	UFC
	pH	pH
Bioindicadores de calidad del agua identificados	Macroinvertebrados	Presencia / ausencia
	Peces	Presencia / ausencia
	Plancton	Presencia / ausencia
	Microorganismos	Presencia / ausencia
	Otros	Presencia / ausencia

FUENTE: elaboración propia.

La etapa tres, consta del análisis bibliométrico se llevó a cabo utilizando redes bibliográficas generadas en el Software VOSviewer* (Van Eck & Waltman, 2010), herramienta utilizada para la visualización y análisis de relaciones entre autores y palabras clave; mediante los siguientes pasos:

- **Recopilación de documentos:** fue llevada a cabo de la manera ya descrita anteriormente, cuando se seleccionó, codificó y se clasificó en la matriz RAI, los documentos en su totalidad se alojaron en Mendeley, asegurando incluir los documentos de acceso libre.
- **Filtrado de información:** Las publicaciones y documentos recopilados se filtraron por rango temporal y términos específicos. Las publicaciones seleccionadas comprender los años 2013 hasta el 2023, garantizando relevancia y actualización. Además, se delimitó al término del país “Colombia”, “Río Magdalena” y principalmente la “calidad del agua” de estos dos componentes, relacionando directamente la búsqueda y el tema de estudio para el análisis.
- **Exportación de datos:** los registros seleccionados se exportaron en formato .ris compatible con VOSviewer, donde se incluye información detallada sobre citas, referencias bibliográficas y metadatos como: autores, palabras clave, referencias, título y resumen (Van Eck & Waltman, 2010).
- **Graficas generadas:** una vez cargados en VOSviewer, se generan las redes representadas de manera visual mediante un esquema de colores, destacando las palabras o autores más relevantes, los de mayor influencia y las conexiones predominantes, aportando hallazgos clave (tendencias, agrupaciones y vacíos) que sirven para la síntesis y elaboración de una visión general sobre la calidad del agua del RGM.

En la cuarta etapa se lleva a cabo el análisis de datos, se describe tendencias predominantes, las conexiones más fuertes, a partir de estas interpretaciones se identifican áreas de cobertura y los vacíos de conocimiento, proponiendo futuras investigaciones en aspectos críticos en la calidad del agua del RGM.

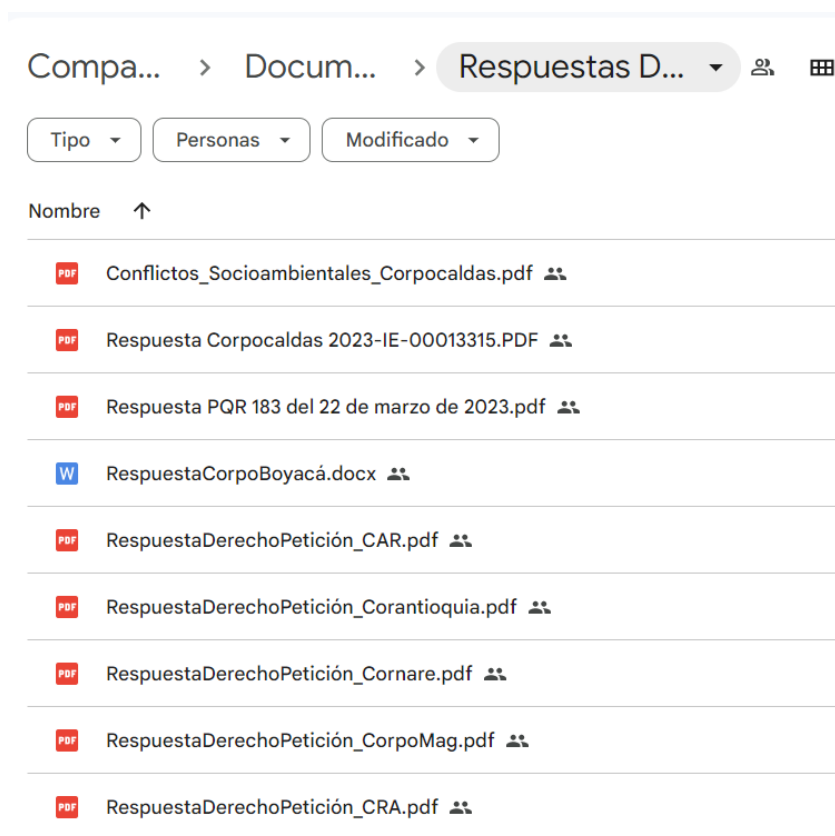
*Vosviewer esta licenciado bajo la Licencia Internacional Creative Commons Atribución 4.0 (CC-BY 4.0)

6. Resultados

La exploración científica de la calidad del agua, casos de estudio y reportes en el Río Grande de la Magdalena desde 2013 se llevó a cabo a través de recursos en línea, aprovechando la disponibilidad de descarga de documentos desde portales gubernamentales. Asimismo, en algunos casos específicos, se gestionó la obtención de información mediante solicitudes directas por correo electrónico a las respectivas corporaciones autónomas regionales (CARs). Tras obtener los documentos necesarios, se ejecutó un proceso de clasificación y organización, estructurando la información en un registro analítico en investigación en la matriz RAI (Tabla 3).

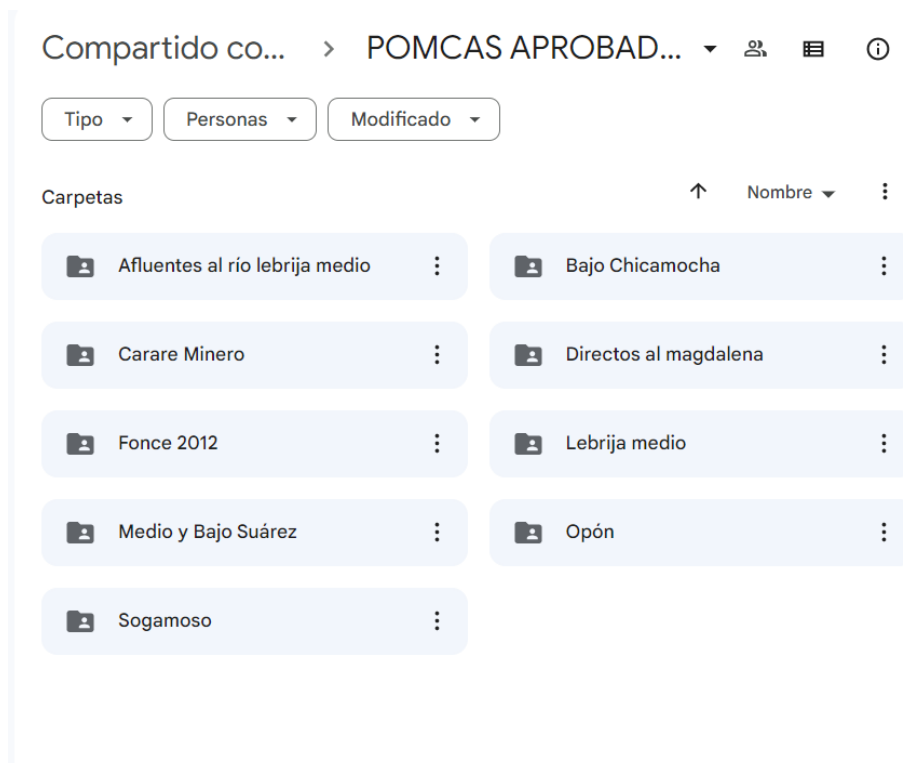
Estos materiales se organizaron en dos carpetas en Google Drive y se recopilieron documentos de acceso libre, alojados en la plataforma Mendeley, como se puede observar en la Figura 2, 3 y 4.

Figura 1. Documentos de CARs del Río Grande de la Magdalena (RGM)



FUENTE: elaboración propia. Link del acceso: https://drive.google.com/drive/folders/1MkZOOW7TzBUemYjj9u7lbO3_dHGowC7S

Figura 2. POMCAS de afluentes tributarios o directos al RGM



FUENTE: elaboración propia. Link del acceso: https://drive.google.com/drive/folders/1kNae_NyaQ4dF-s6YS_Kc-34t78fy_Mq1

Figura 3. Bibliografía de revistas indexadas y de libre acceso.

[Groups] Calidad del agua RGM		Q Search			
☐	AUTHORS	YEAR	TITLE	SOURCE	ADDED
☐	Fontalvo Julio F, Tamaris-T...	2018	Calidad del agua de la parte baja del río Córdoba (Magdalena, Colombia), usando ...	Intropica	00:20
☐	Chavez R	2022	Evaluación de la calidad del agua mediante la bioindicación de macroinvertebrados...	Ciencia e Ingeniería	00:20
☐	Burbano-Girón J, Domíngu...		Bogotá (Colombia)		00:20

FUENTE: elaboración propia. Acceso disponible al compartir la carpeta del proyecto de Mendeley

La bibliográfica de las publicaciones disponibles en el CRAI-USTA se recopiló la tabla RAI (Figura 5), comprende los siguientes datos: autores, palabras clave, fecha de publicación, tipo de documento (artículo, tesis o libro), afluente o Río que abarca, zona del Río Grande de la Magdalena (alta, media o baja), título de la publicación, puntos muestreados descritos en la metodología de la publicación y sus réplicas, además, se especifica la caracterización biológica con comunidades de organismos como indicadores de calidad del agua y estado ecológico, en las siguientes categorías (Tabla 1).

Se encontraron aproximadamente 1.000 resultados entorno a las palabras claves: Magdalena, en los cuales 200 seleccionadas por la relación con río, calidad del agua y de libre acceso, luego se filtraron desde el año 2013 hasta el 2023, para finalmente registrar 25 documentos, de los cuales 17 son artículos de revistas indexadas, 7 tesis y 1 libro de acceso libre.

Figura 4. Tabla RAI bibliográfica de documentos publicados

N°	Nombre del autor	Palabras clave	Fecha de publicación	Que afluente abarca	zona de la cuenca	Artículo / tesis / libro	Título	P	Replicas	MI	Peces	Placton	Microorg	otros	FSQ	Cita
1	Adriana Marcela Forero-Céspedes, Gladys Reinoso-Florez, Carolina Gutiérrez	Fauna béntica, calidad del agua, río Opía, variables físicoquímicas.	2013	río Opía	Media	Artículo	Evaluación de la calidad del agua del río opía (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros físicoquímicos	14	No	si	no	no	si	no	si	Forero-Céspedes, A. M., & Reinoso-Florez, G. (2013). Evaluación de la calidad del agua del río Opía (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros físicoquímicos. <i>Ciencia</i> , 19(2), 171-187.
2	Martínez-Silva, P.	Fitoplancton, índices Ecológicos, Análisis cualitativo y cuantitativo.	2015	embalse Central Hidroeléctrica de Betania	Alta	Artículo	Variación espacio-temporal de microalgas acuáticas del embalse de Betania – Huila y su relación con la calidad del agua	10	7-2013 al 2021	no	no	si	no	no	no	Martínez-Silva, P. (2015). Variación espacio-temporal de microalgas acuáticas del embalse de Betania – Huila y su relación con la calidad del agua. <i>Recuerdos de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales</i> , 14(2).
3	Lesly Tatiana Ortiz-Romero*1, Julia Graciela Delgado-Tascón1, Daniel Andrés Pardo-Rodríguez1, Elizabeth MurilloPereira1, Antonio José Guio Duque1	Río Magdalena, Sedimentos, Índices de calidad, Metales pesados	2015	Río Magdalena	Alta	Artículo	Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del Río Magdalena – tramo Tolima, Colombia	4	Lluvia y sequía	no	no	no	no	no	si	Ortiz-Romero, L. T., Delgado-Tascón, J. G., Pardo-Rodríguez, D. A., Murillo-Pereira, E., & Guio-Duque, A. J. (2015). Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena – tramo Tolima, Colombia.
4	Yessica Yulieth Rodríguez Domínguez & Diana Patricia Herrera Ortiz	Agua, calidad microbiológica, riesgo, salud	2016	Desembocadura río Sumapa	Alta	Tesis	Evaluación de la carga contaminante del Río Magdalena con incidencia en la calidad del agua para el consumo humano de la población de Girardot (Cundinamarca, Colombia)	2	Lluvia y sequía	no	no	no	si	no	si	Rodríguez Domínguez, Y. Y., & Herrera Ortiz, D. P. (2016). Evaluación de la carga contaminante del Río Magdalena como incidencia en la calidad del agua para el consumo humano de la población de Girardot (Cundinamarca, Colombia) [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia] (CUCOL).
5	Andru Johann Ochoa Olaya, María Yolanda Vélez Ramírez	NA	2016	Río Magdalena	Alta	Tesis	Impacto del fenómeno de “el niño” 2015 – 2016 en la calidad de agua del río Magdalena como fuente de abastecimiento del municipio de purificación (Tolima, Colombia).	2	Lluvia	no	no	no	si	no	si	Ochoa-Olaya, A. J., & Vélez-Ramírez, M. Y. (2016). Impacto del fenómeno de “El Niño” 2015-2016 en la calidad de agua del río Magdalena como fuente de abastecimiento del municipio de Purificación (Tolima, Colombia) [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia].
6	José Luis Poveda Cuellar, Edwin Orlando López-Delgado, Francisco A. Villa-Navarro	Hill numbers; Life zone; Communities; Vegetal cover; Neotropic.	2018	Quebradas del municipio de Ibagué	Alta	Artículo	Efecto de la cobertura vegetal de ribera en las comunidades icíticas en el bosque húmedo premontano y muy húmedo premontano del Alto Magdalena, Colombia	23	NA	no	si	no	no	no	si	Poveda-Cuellar, J. L., López-Delgado, E. O., & Villa-Navarro, F. A. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de ribera en las comunidades icíticas en el bosque húmedo premontano y muy húmedo premontano del Alto Magdalena, Colombia. <i>Revista Colombiana de Entomología</i> , 44(1), 215-226.
7	Óscar Efrén Ospina Zúñiga2, Andru Johann Ochoa Olaya3, María Yolanda Vélez Ramírez4	Efecto del fenómeno El Niño 2015-2016 en la calidad del agua del río Magdalena, municipio de Purificación -Tolima1	2017	Río Magdalena Tolima	Alta	Artículo	Efecto del fenómeno el niño 2015-2016 en la calidad del agua del Río Magdalena, municipio de purificación - Tolima	4	15 entre 2015 y 2016	no	no	no	si	no	si	Ospina-Zúñiga, Ó. E., Ochoa-Olaya, A. J., & Vélez-Ramírez, M. Y. (2017). Efecto del fenómeno de El Niño 2015-2016 en la calidad del agua del río Magdalena, municipio de Purificación (Tolima). <i>En: Ospina, Mauricio y Toro (Eds.), Luna Rossa</i> , 440, 109-125. ISBN 1909-2474.

Fuente: elaboración propia

Se recopilaron 330 puntos de muestreo con variables físicoquímicas disponibles en los documentos revisados. Es probable que los puntos sin datos registrados no estén en los informes públicos, sino en tablas o registros internos, ya que varios índices de calidad de agua requieren estos parámetros y en los resultados sí se evidencian los rangos o categorías de los índices. Por otro lado, algunos puntos accesibles a la información no tenían los mismos parámetros medidos por lo que se presentan puntos con variables incompletas (NA) como se puede observar en la Figura 6.

ESTADO DEL ARTE DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO GRANDE MAGDALENA

Figura 5. Tabla bibliográfica de variables FSQ

Nombre del documento	Nombre fuente	Punto	AÑO	Nombre punto	Epoca	Conductividad $\mu S/cm$	DQO (mg/L)	PT (mg/L)	NT (mg/L)	OD (mg/L)	pH	SST (mg/L)	E_coli (UFC)	DBO5 (mg/L)	Variable Medidas
2.8 calidad del agua río seco y otros directos del Magdalena	RIO MAGDALENA	1	NA	Rio Magdalena Puente Variante	Lluvia	1160	31,8	0,67	1,3	6,2	7,5	600	4,40E+03	NA	8
2.8 calidad del agua río seco y otros directos del Magdalena	RIO SUMAPÁZ	2	NA	Rio Sumapaz	Lluvia	43,4	46,1	0,24	1	6,3	6,9	108	1,80E+04	NA	8
2.8 calidad del agua río seco y otros directos del Magdalena	RIO BOGOTÁ	3	NA	Rio Bogotá	Lluvia	630	68,7	3,338	1,7	6,1	7,6	224	2,00E+05	NA	8
2.8 calidad del agua río seco y otros directos del Magdalena	RIO MAGDALENA	4	NA	Agua Amba Rio Coello	Lluvia	215	49,2	1,055	1,5	6,4	7,8	1588	1,10E+05	NA	8
2.8 calidad del agua río seco y otros directos del Magdalena	RIO MAGDALENA	5	NA	LG Nariño	Lluvia	148	21,1	0,423	1,2	6	7,9	167	3,10E+04	NA	8
2.8 calidad del agua río seco y otros directos del Magdalena	RIO MAGDALENA	9	NA	Agua amba Rio Opia	Lluvia	144	28,7	0,537	1,2	5,4	7,9	148	3,60E+03	NA	8
2.8 calidad del agua río seco y otros directos del Magdalena	RIO SECO	12	NA	Rio Seco (Cuenca Baja)	Lluvia	390	10	0,06	1	5,2	6,2	8	5,20E+01	NA	8
Pomca Rio Nare	Rio Nare	1	2016	Alejandria quebrada nudillales 1	Seca	54,4	<12	0,015	NA	6,33	7,48	0,6	58	<2	8
Pomca Rio Nare	Rio Nare	2	2016	Alejandria quebrada nudillales 2	Seca	84,6	<12	0,163	NA	5,63	7,18	4,7	1800	4,09	8
Pomca Rio Nare	Rio Nare	3	2016	Santo Domingo, quebrada San Miguel 1	Seca	37,5	<12	0,017	NA	7,2	7,01	3,6	960	<2	8
Pomca Rio Nare	Rio Nare	4	2016	Santo Domingo, quebrada San Miguel 2	Seca	83	<12	0,137	NA	4,56	6,94	27	83000	5,37	8
Pomca Rio Nare	Rio Nare	5	2016	El Viento	Seca	45,1	<12	0,019	NA	6,65	8,08	4,1	860	<2	8
Pomca Rio Nare	Rio Nare	6	2016	Los Sierpes	Seca	49,3	<12	0,02	NA	7,62	7,66	2,1	2200	2,85	8
Pomca Rio Samaná Norte	Rio Samaná Norte	NA	2018	Tafetanes -Granada	Seca	NA	35,6	NA	3,43	7,8	7,91	NA	4,38E+02	8,5	6
Pomca Rio Samaná Norte	Rio Samaná Norte	NA	2018	La Garrucha-San Luis	Seca	NA	14,89	NA	NA	7,11	NA	NA	1,10E+03	3,17	4
Pomca Rio Samaná Norte	Rio Samaná Norte	NA	2018	Pallania- Santo Domingo	Seca	NA	44	NA	NA	NA	NA	63,22	8,20E+01	4,1	4
Pomca Rio Samaná Norte	Rio Samaná Norte	NA	2018	Calderas -Cocorná	Seca	NA	11,6	NA	NA	NA	NA	NA	4,03E+01	2,98	3
Pomca Rio Samaná Norte	Rio Samaná Norte	NA	2018	El Ocho -Cocorná	Seca	NA	15,36	NA	NA	NA	NA	11,05	NA	3,85	3
Pomca Rio Samaná Norte	Rio Samaná Norte	NA	2018	Cañaflores PSM- San Carlos	Seca	NA	25,87	NA	NA	NA	NA	NA	NA	4,35	3
Pomca Rio Samaná Norte	Rio Samaná Norte	NA	2018	Charco Largo- San Carlos	Seca	NA	33,2	NA	NA	NA	NA	NA	3,14E+01	9,51	3
Directo del río Totare P5	Cuenca hidrografica río Totare	5	2019	Anzaitéguai	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1032	NA	124	2
Directo del río Totare P7	Cuenca hidrografica río Totare	7	2019	Rio Chipalo	NA	NA	2753591562	20374037,2	231203579	NA	NA	1893888989	NA	1,08E+09	5
Directo del río Totare P8	Cuenca hidrografica río Totare	8	2019	Rio Totare vereda palmaros	NA	NA	1942800296	5951833,81	538708594	NA	NA	867073970	NA	6,09E+14	5
Cuenca Coello	rio Coello	1	2016	puente coello - cocora - ibague	Lluvia	NA	40	NA	NA	NA	8,29	NA	NA	2	3
Cuenca Coello	rio Coello	2	2016	R. Coello puente vía ibague - rovíra	Lluvia	NA	40	NA	NA	NA	8,21	NA	NA	2	3
Cuenca Coello	rio Coello	3	2016	R. coello vía payande - San Luis	Lluvia	NA	51	NA	NA	NA	8,04	NA	NA	2,1	3

Fuente: elaboración propia

La tabla de organización de bibliografía del índice de calidad de agua - ICA (Figura 7) muestra información detallada sobre muestras de calidad del agua del Río Magdalena, en el RAI-ICA se incluyendo el nombre del documento o fuente que respalda cada conjunto de datos especificando la CAR. Cada punto específico del Río está asociado con sus coordenadas geográficas correspondientes. Además, se indica si el punto pertenece a la parte alta, media o baja de la cuenca del río. Se especifica la temporada en la cual se tomaron las muestras, indicando si estas se recolectaron durante la sequía, la temporada de lluvias o en ambas. Se registra también el año de la toma de muestras para cada punto y se presenta un promedio en caso de que se hayan tomado muestras en ambas temporadas. Se registraron 426 puntos de muestreo con indicadores del ICA de diferentes CARs a lo largo del Río Grande de la Magdalena.

Figura 6. Tabla bibliografía del índice ICA

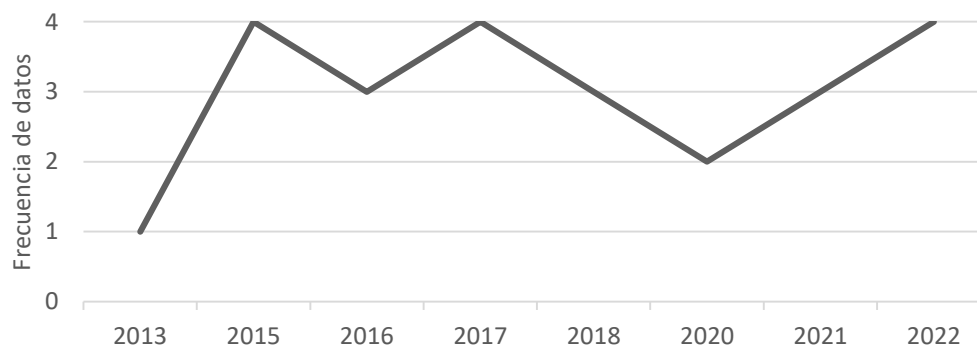
Nombre de la fuente / Documento	Punto en el río Magdalena	Coordenadas indicadas	Parte de la cuenca	Temporada	Año	ICA rango	Puntaje	tipo de ICA	CAR
POMCAS río Guarín	Desembocadura Río Gurinó	Este 927133 - Norte 1076483	Media	Lluvia	2015	Regular	0,58	ICA-IDEAM	Curdimarc
POMCAS río Guarín	Desembocadura Río Gurinó		Alta	Lluvia	2015	Aceptable	0,72	ICA-IDEAM	
POMCAS río la Miel	Corregimiento San Miguel Río La Miel	Latitud 928174 - Longitud 1125603	Media	Ambas	2016	Buena	0,78	sin especificar	Corpocaldas
POMCAS río Guali	Río Guali desembocadura del río Magdalena	Este 926748 - Norte 1067276	Media	Ambas	2013	Regular	57	sin especificar	Cortolima
Estado del recurso hídrico en la cuenca del Río Seco y otros directos al Magdalena	Río negro (cuenca baja)	Y=1128719 X=938559 Z=182	Media	Lluvia	2014	Mala	0,4	sin especificar	Curdimarc
Estado del recurso hídrico en la cuenca del Río Seco y otros directos al Magdalena	Río negro (cuenca baja)	Y=1128719 X=938559 Z=182	Media	Lluvia	2014	Regular	0,47	sin especificar	Curdimarc
Estado del recurso hídrico en la cuenca del Río Seco y otros directos al Magdalena	cierre magdalena	Y=1128627 X=936401 Z=181	Media	Lluvia	2014	Regular	0,48	sin especificar	Curdimarc
Estado del recurso hídrico en la cuenca del Río Seco y otros directos al Magdalena	cierre magdalena	Y=1128627 X=936401 Z=181	Media	Lluvia	2014	Regular	0,48	sin especificar	Curdimarc
Río Alicante	Quebrada Guardasol aguas arriba	Este = 74°39'56.1", Norte = 6°33'34.4"	Media	Seca	2009	Medio	69,3	NSF	Corantioquia
Río Alicante	Quebrada Guardasol	Este = 74°37'53.9", Norte = 6°33'47.6"	Media	Seca	2009	Aceptable	75,4	NSF	Corantioquia
Río Alicante	Quebrada Alejandría	74°37'53.9", Norte = 6°33'47.6"	Media	Seca	2009	Buena	74,2	NSF	Corantioquia
Río Alicante	Quebrada Las Torres	Este = 74°37'58", Norte = 6°34'35"	Media	Seca	2009	Buena	75,8	NSF	Corantioquia
Río Nare	Antes de la descarga de las ARD de Alejandría quebrada Nudillales 1	06,36863 N, 75,14151 W (WGS84)	Media	Seca	2016	Excelente	0,98	ICA-IDEAM	Corantioquia
Río Nare	Después de la descarga de las ARD de Alejandría quebrada Nudillales 2	06,38049 N, -75,13961 E (WGS84)	Media	Seca	2016	Buena	0,53	ICA-IDEAM	Corantioquia
Río Nare	Antes de recibir la descarga de las ARD de Santo Domingo, quebrada San Miguel 1	06,48015 N, -75,16865 E (WGS84)	Media	Seca	2016	Buena	0,88	ICA-IDEAM	Corantioquia
Río Nare	Después de recibir la descarga de las ARD de Santo Domingo, quebrada San Miguel 2	06,46635 N, -75,16883 E (WGS84)	Media	Seca	2016	Regular	0,61	ICA-IDEAM	Corantioquia
río Magdalena	estacion puente perales	x=943479,2 Y=1153604,9	Media	Seca	2014	Buena	0,82	ICA-IDEAM	CONRNARE
río Magdalena	estacion san fernando -puerto triunfo	X=940701,1 Y=1143101,4	Media	Seca	2014	Buena	0,71	ICA-IDEAM	CONRNARE
río Magdalena	pue_2 - Puerto Nar	X=94425,2 Y=1175809,7	Media	Seca	2014	Regular	59,47	ICA-IDEAM	CONRNARE

FUENTE: elaboración propia. Link del acceso: [RAI - Calidad de Agua RGM.xlsx](#)

6.1. Revisión de bibliográfica

Los documentos disponibles en repositorios bibliográficos o de acceso libre sobre la calidad del agua del Río Grande de la Magdalena se han publicado con mayor frecuencia en los años 2015, 2017 y 2022 a diferencia del año 2013 con menos publicaciones relacionadas (Figura 7)

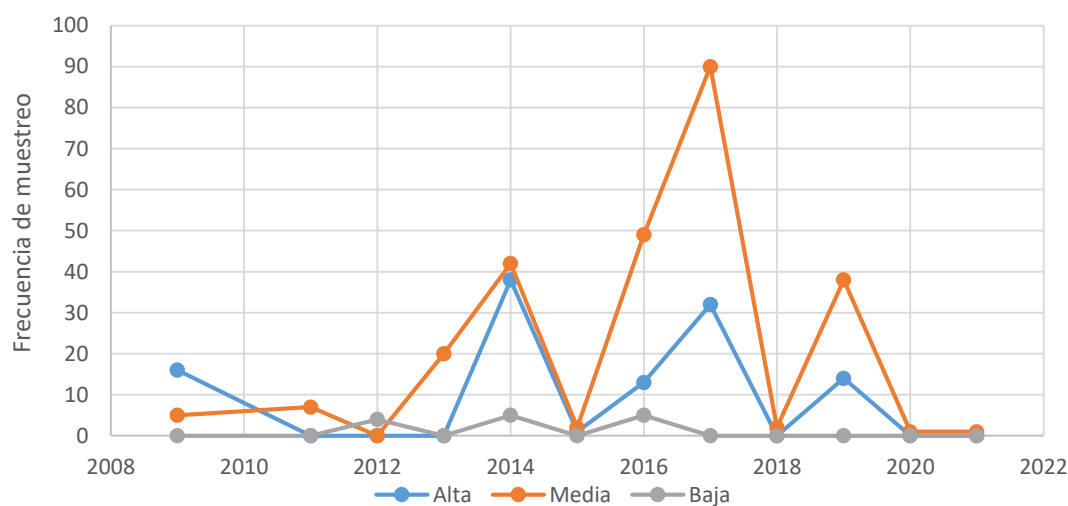
Figura 7. Número de publicaciones sobre la calidad del agua del RGM por año (2013-2023)



FUENTE: elaboración propia

De manera similar, los registros de muestreo presentan una distribución temporal irregular, en general, baja, con datos recopilados en distintos periodos y campañas de duración variable (Figura 8), destacando los años 2017 con 122 muestras recolectadas para calidad del agua y 2014 con 80 muestras, mientras que en los años 2018 y 2015 menos de cinco registros bibliográficos, evidenciando, una baja representatividad temporal continua tanto a nivel anual como mensual; Adicionalmente, se observa una diferencia entre las zonas del río, siendo la zona media más consistente a diferencia que la zona alta y baja del río. En cuanto a la distribución estacional se evidencia sesgos importantes a lo largo de los años, por ejemplo, 2014 solo lluvias, 2013 solo época seca, limitando el análisis de calidad del agua en dinámicas hidrológicas estacionales.

Figura 8. Frecuencia de muestreo de la calidad del agua por año en el RGM



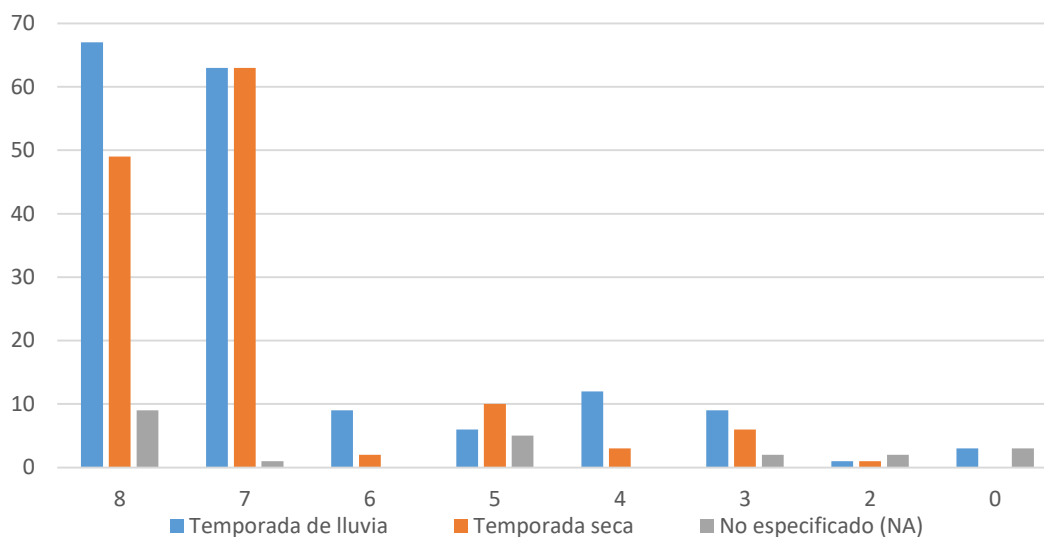
FUENTE: elaboración propia

6.1.1 Cobertura en las mediciones fisicoquímicas por temporada y cuenca en el RGM

En la temporada de lluvia, se midieron todas las variables fisicoquímicas en 67 estaciones (Figura 9) ubicadas en los ríos Sogamoso y Río Prado. En la temporada seca, las mediciones fueron en 49 estaciones distribuidas en los ríos Sogamoso, Río Samará norte y Samará sur, además, nueve estaciones no especificaron la temporada (NA). Por otro lado, en 63 puntos de muestreo, se tomaron únicamente 7 variables, para la época de lluvia los ríos Magdalena, Bogotá, Sumapaz,

Seco, Changuani y La Miel; en temporada seca los ríos: Alicante, Nare, Luisa, y en ambas temporadas medio y bajo Suarez. Las estaciones con menos de 5 variables son un total de 27 puntos en ambas temporadas

Figura 9. Frecuencia de variables fisicoquímicas en estaciones y temporada en el RGM



FUENTE: elaboración propia

6.1.2 Anexo normativo: Evaluación de parámetros según resolución 0631

La evaluación comparativa se presenta como un ejercicio complementario, aprovechando la disponibilidad de datos para su exploración y posibles estudios. Se consideró que, dada la relevancia de los límites establecidos por la Resolución y su utilidad como referencia legal, esta sección añade un marco normativo importante al análisis de calidad del agua (Figura 10).

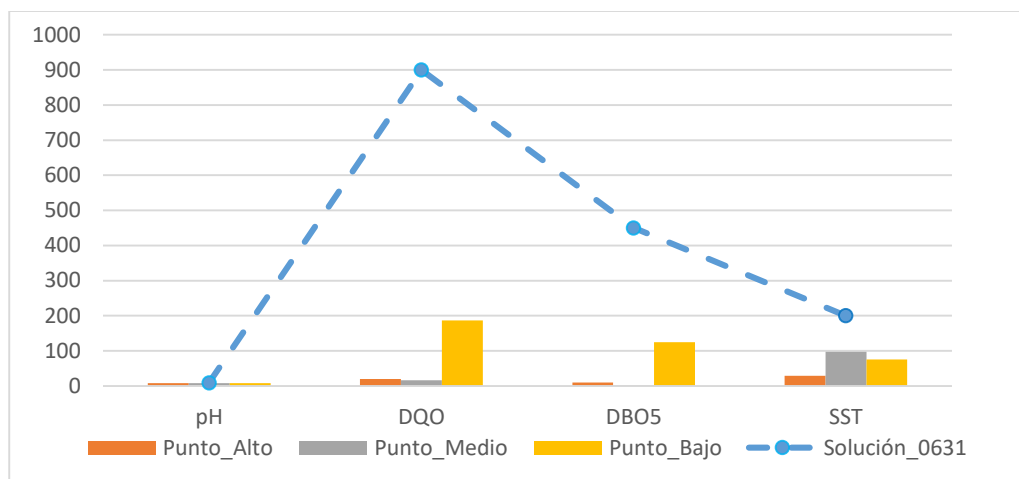
Los datos fisicoquímicos analizados en esta sección provienen del mismo conjunto general utilizado en las tablas RAI de parámetros reportados por las CARs. Sin embargo, para este análisis se seleccionó únicamente un punto de muestreo representativo por cada zona del río (alta, media y baja). Esta decisión limita el alcance del análisis si se tratara como objetivo principal, pero resulta válida y útil como ejercicio exploratorio.

La elección de los puntos representativos obedeció a dos criterios principales:

- Contar con datos completos para todas las variables fisicoquímicas (conductividad, ICA, DQO, PT, NT, OD, pH, SST, DBO₅ y *E. coli*).

- b) Disponibilidad de información sobre las condiciones típicas de uso del suelo (agroindustria, ganadería, minería, etc.), de acuerdo con la cartografía de cobertura ribereña específica de cada punto seleccionado.

Figura 10. Análisis normativo de parámetros fisicoquímicos según Resolución 0631 de 2015



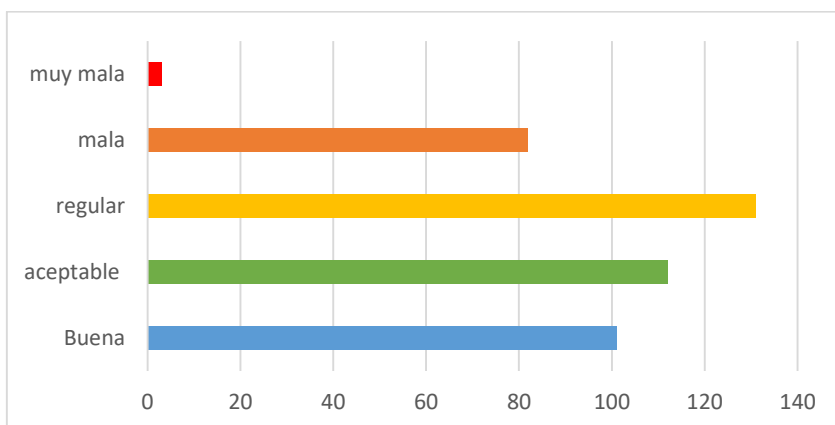
FUENTE: elaboración propia

La gráfica presenta cuatro de las ocho variables que suelen incluirse en un Índice de Calidad del Agua (ICA). Esto se debe a que la Resolución 0631 de 2015, en el contexto del uso ganadero del suelo, únicamente presenta límites en estos, en cambio establece criterios de “análisis y reporte” para PT, NT y OD. Además, no contempla valores guía específicos para *E. coli* ni conductividad, por lo que estos indicadores no aparecen en la gráfica.

6.1.3 Calificación del índice de calidad de agua (ICA) en el Río Grande de la Magdalena

De las 429 estaciones de muestreo incluidas en los diferentes POMCAS, el 30,5% de las ubicadas a lo largo del Río Magdalena registraron una calidad de agua regular. Un 26,1% de las estaciones evaluadas presenta una calidad de agua aceptable, mientras que el 23,5% de las estaciones monitoreadas por los distintos CARs se encuentran en un rango buena. Por último, el 19,8% de las estaciones registraron rangos de calidad entre mala y muy mala en el agua del Río Magdalena (Figura 10).

Figura 11. Frecuencia del índice de calidad hídrica en RGM

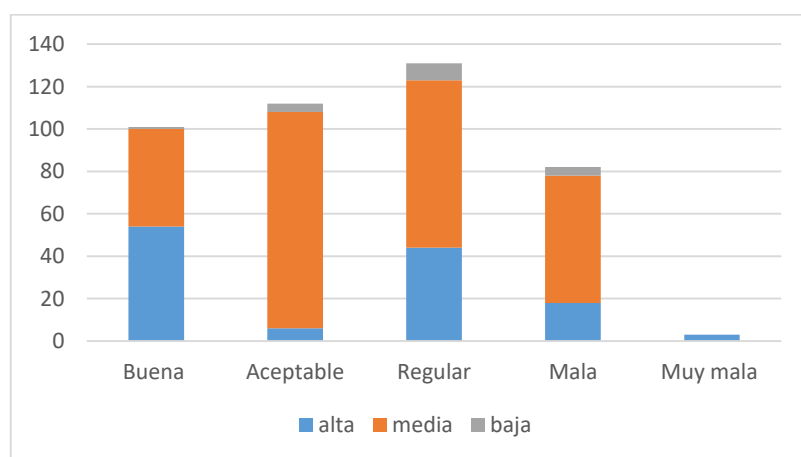


FUENTE: elaboración propia

6.1.4 Índice de calidad de agua (ICA) según la zona de la cuenca

Del total de los puntos de muestreados a lo largo del RGM según la zona de la cuenca con calidad de agua buena (Figura 12), 54 se encuentran en la zona alta, 46 en la zona media y 1 en la zona baja. Las estaciones con calidad aceptable predominan en la zona media, con 102 estaciones, también las estaciones con calidad regular son concentrados en esta área, con 79 estaciones registradas. En el caso de la calidad mala, se registraron 60 estaciones en la zona media y 18 en la zona alta. Finalmente, la calidad muy mala fue la única registrada en la zona alta, con 3 estaciones afectadas.

Figura 12. Frecuencia del rango ICA según las zonas de la cuenca RGM



FUENTE: elaboración propia

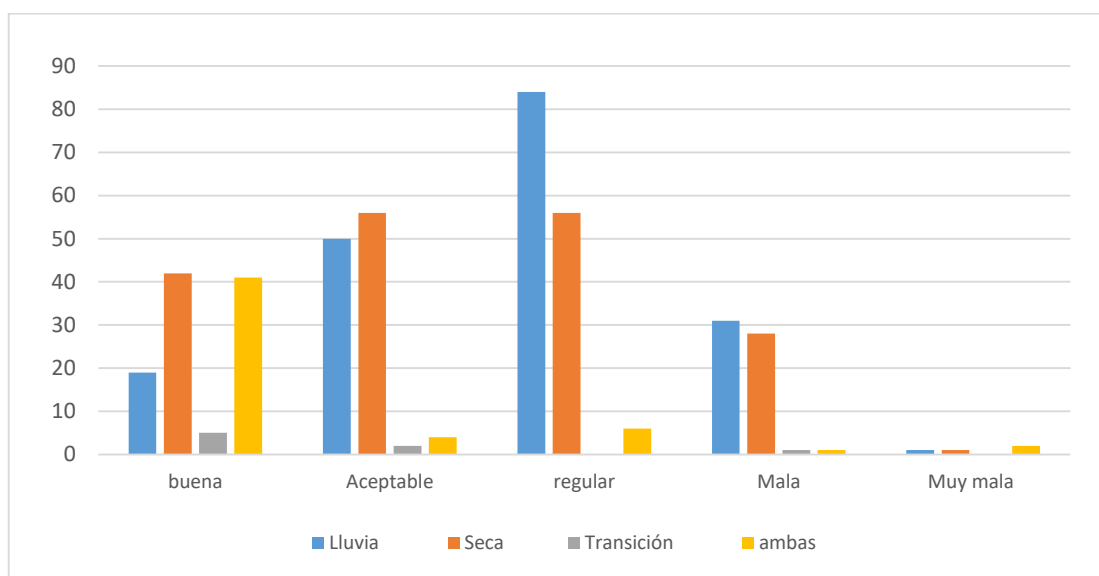
6.1.5 Índice de calidad de agua (ICA) según el periodo hidrológico

Durante la temporada de lluvias (Figura 12) se evaluaron 185 puntos de muestreo, de los cuales 84 presentaron un índice de calidad del agua regular, 50 aceptable, 31 mala, 19 buena y una

estación muy mala. En la temporada de transición, se muestrearon 8 puntos del río, de los cuales 5 presentaron una calidad del agua buena, 2 aceptable y 1 mala.

En la temporada seca, se muestrearon 182 puntos, con los siguientes resultados: 56 estaciones registraron una calidad aceptable, 56 regular, 42 buena, 28 mala y 1 muy mala. En cuanto a las estaciones referidas como "ambas temporadas", se hace referencia a aquellas que, según la metodología, evaluaron tanto la temporada de lluvias como la seca, sin especificar los resultados de cada una por separado, obteniendo 41 estaciones con calidad buena, 6 regular, 4 aceptable, 2 muy mala y 1 mala.

Figura 13. Frecuencia del índice ICA en los diferentes periodos hídricos



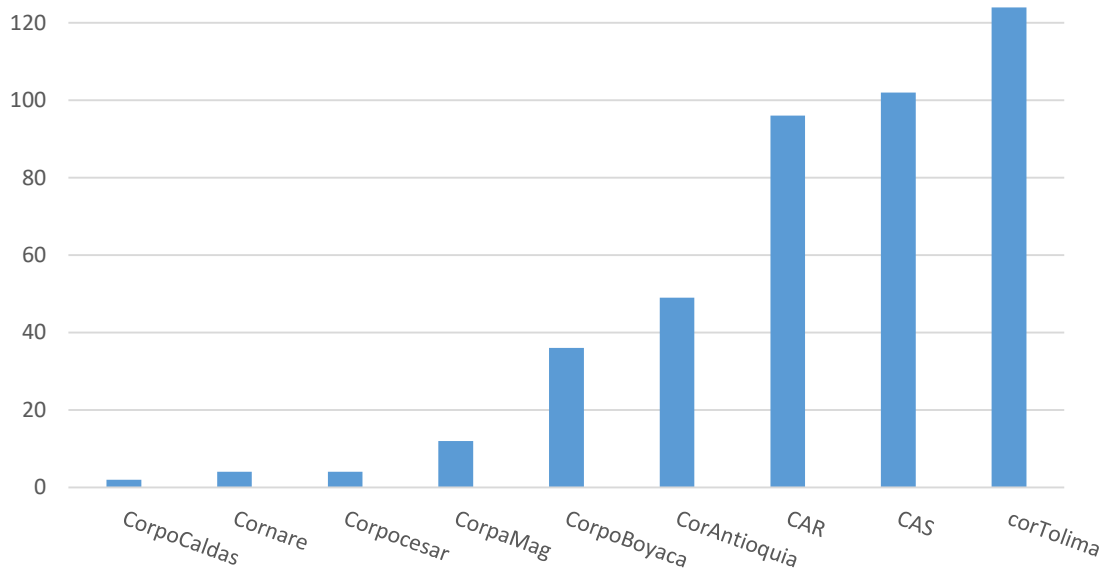
FUENTE: elaboración propia.

6.1.6 Distribución de estaciones de muestreo en la evaluación del ICA

Las estaciones y puntos de muestreo analizados se obtuvieron principalmente de documentos proporcionados por las CARs a través de los POMCAS, en los diversos afluentes que

convergen en el Río Grande de la Magdalena (Imagen 13). Se identificaron 132 estaciones de muestreo no asociadas a una CAR específica, 124 pertenecientes a la jurisdicción de Corporación autónoma regional del Tolima (CorTolima), 64 para la Corporación autónoma regional del Cundinamarca (CAR), La Corporación autónoma regional del centro de Antioquia (Corantioquia) con 49, Corporación regional de Boyacá (CorpoBoyacá) con 36 y la Corporación autónoma regional del Magdalena (CorpaMag) con 12. Corporación autónoma regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (Cornare), Corporación autónoma regional del Cesar (Corpocesar), Corporación autónoma regional de Santander (CAS) y Corporación autónoma regional de Caldas (CorpoCaldas) registraron menos de cuatro puntos de muestreo cada una. Aunque en la evaluación de la calidad del agua existen muchos desafíos por sus múltiples factores influyentes en el análisis, la recopilación de datos a lo largo del cauce del RGM representó una contribución más sólida de la calidad del agua.

Figura 14. Número de muestras por corporación en el RGM



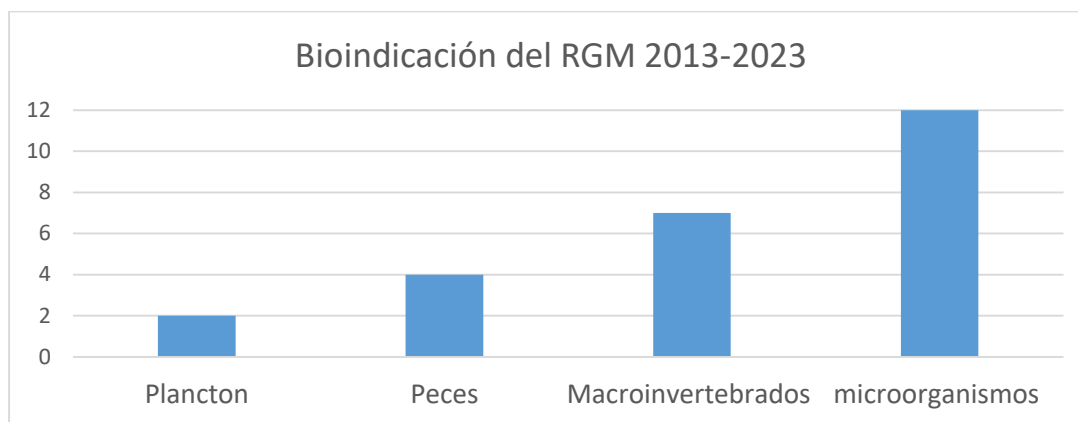
FUENTE: elaboración propia.

6.1.7 Bioindicadores usados para calidad del agua en el RGM.

La bibliografía relacionada con la calidad del agua, el Río Magdalena y bioindicadores obtenida de diferentes repositorios bibliográficos y mediante una búsqueda específica de los

organismos mencionadas en la Tabla 1, evidenció un total de 26 documentos. Los microorganismos son los más evidenciados (Figura 14) en los diferentes artículos publicados, al igual que en los documentos de las CAR'S ya que hacen parte de los estudios fisicoquímicos del agua como el índice ICA, seguido de los macroinvertebrados por la utilización en diferentes índices.

Figura 15. Frecuencia de muestreo utilizada en el RGM



FUENTE: elaboración propia

Los macroinvertebrados, aunque ampliamente reconocidos como bioindicadores eficaces en diversos índices de calidad del agua, presentan bajos reportes en los documentos revisados, lo que presenta un uso menos habitual en la evaluación; Los peces, valorados por su importancia como indicadores biológicos que reflejan las condiciones ambientales y el estado ecológico, se reportarán con una reducida frecuencia en los estudios asociados a la calidad del agua en el Río Magdalena. Por último, el plancton fue registrado de manera limitada, siendo relevantes por su alta sensibilidad a las variaciones en la calidad del agua y su rol fundamental en la cadena trófica acuática.

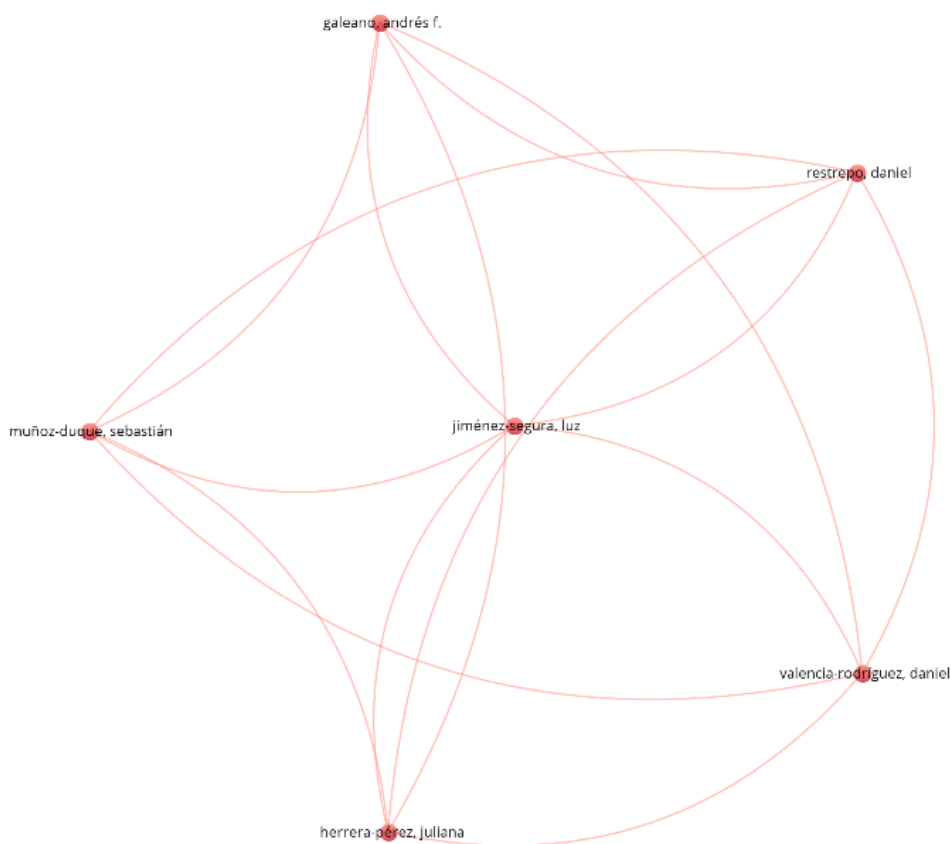
6.2. Análisis bibliométrico

6.2.1 Red bibliométrica de autores

La representación gráfica generada a partir de la compilación de documentos sobre la calidad del agua del Río Grande de la Magdalena en Mendeley muestra las conexiones con una

sola agrupación de autoría, destacando en color rojo y sin otras agrupaciones de colores (Imagen 15). También se presenta una estructura uniforme de líneas y nodos, sin que ningún autor destaque en particular. Además, la red refleja una distribución uniforme de enlaces, manteniendo la misma densidad en todas las conexiones al igual que los nodos, con características similares entre sí.

Figura 16. Red bibliométrica de autores de la calidad del agua en el RGM



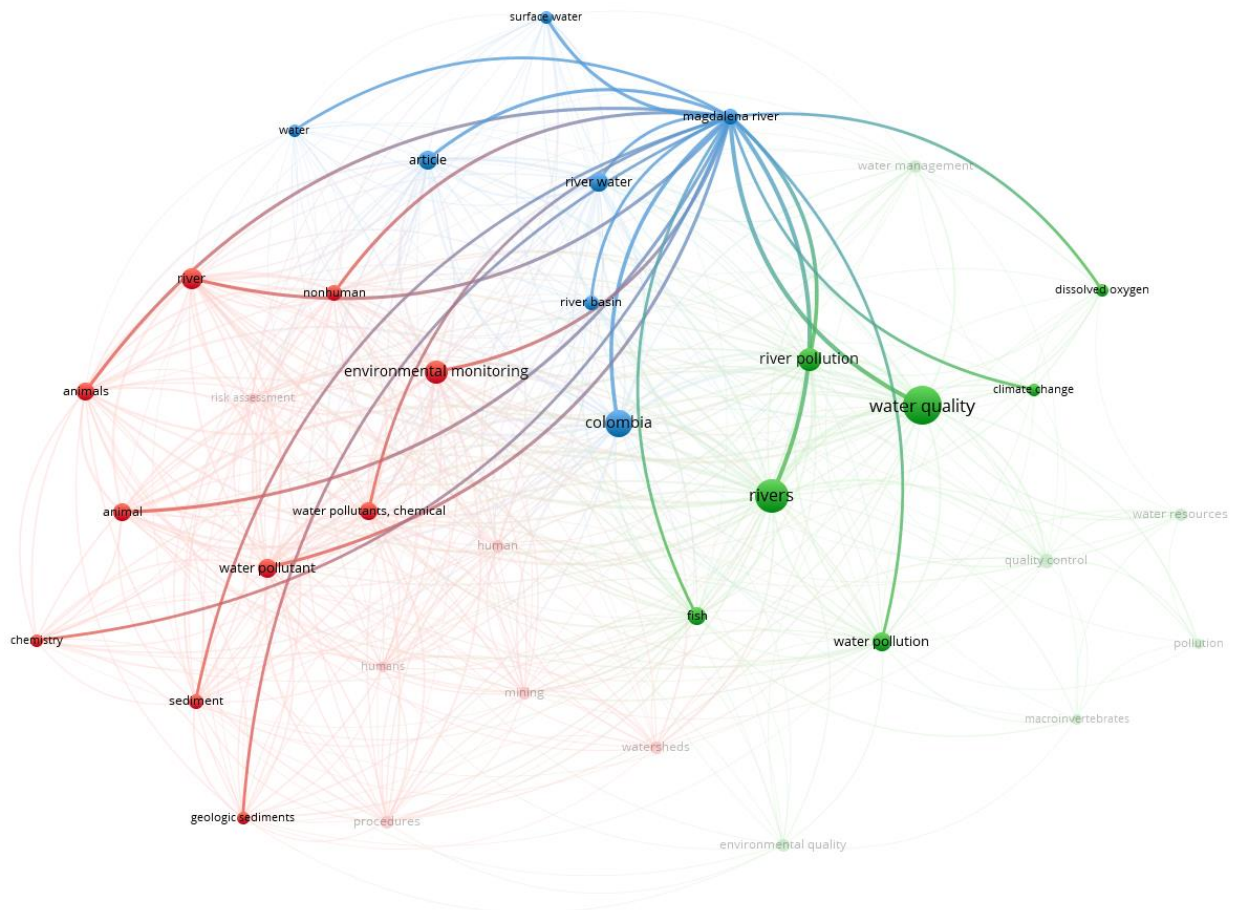
FUENTE: elaboración propia en el programa VOSviewer

6.2.2 Red bibliométrica de palabras clave

Inicialmente, se registraron 200 publicaciones de libre acceso relacionadas con las palabras clave "río" y "calidad del agua". Posteriormente, se filtraron al rango temporal de 2013-2023, y finalmente se restringieron con el término "Río Magdalena", obteniendo menos registros, representada por tres colores: verde, azul y rojo (Imagen 16).

En esta red, la expresión "Río Magdalena" apareció con un nodo pequeño y de color azul, lo que indica una mayor interconexión dentro del grupo azul en comparación con otros conjuntos. Sin embargo, las líneas que conectan este nodo con otras palabras clave de su grupo son tenues, con nodos pequeños, sugiriendo una relación débil con los demás términos de la red bibliométrica.

Figura 17. Red de palabras clave relacionados con la calidad del agua en el RGM



FUENTE: elaboración propia en el programa VOSviewer

7. Discusión de resultados

En primer lugar, la identificación bibliográfica de la calidad del agua en la cuenca del Río grande de la Magdalena permitió delimitar las investigaciones existentes. En la parte alta del Río se analizaron 142 puntos de muestreo, mientras que en la parte media 292 puntos y en la parte baja solo 21 puntos de muestreo. Esta disparidad en los puntos de muestreo, refleja desigualdad en los estudios, ya que las investigaciones sobre calidad y gobernanza hídrica tienden a concentrarse en el centro del país, principalmente en las principales ciudades (Martinez, 2019).

Como resultado, la zona media del Río grande de la Magdalena concentra la mayor frecuencia de muestreos, dejando zonas periféricas con menor representación. Por otro lado, los años con mayor actividad investigativa de tipo artículos fueron 2015, 2017 y 2022, periodos con mayor impulso investigativo en temas como impactos ambientales, gestión hídrica y calidad del agua como lo sugiere los autores Ortiz y colaboradores (2017), las investigaciones en la gestión del agua con un enfoque integral han favorecido el incremento en estos estudios. Sin embargo, gran parte de investigaciones es literatura gris, como trabajos de grado y proyectos de investigación, normalmente alojados en los repositorios institucionales con acceso restringido. Limitación señalada por Murillo & Álvarez (2019) que destacan una creciente participación de investigaciones en el sector académico con acceso limitado a la información, dificultando la gestión del recurso hídrico.

De igual manera, la distribución temporal de muestreos de las diferentes CARs ha mostrado un crecido a lo largo del tiempo; sin embargo, dicho crecimiento ha sido desigual y con amplios intervalos entre campañas, lo que limita el análisis de tendencias mensuales, estacionales y multianuales. Esta discontinuidad afecta la evaluación de impactos prolongados y patrones hidrológicos o cambios sostenidos en la calidad del recurso hídrico, como es menciona Larrea Murrell et al., (2022) en países con “dos estaciones marcadas... por lo menos se deben tener en cuenta estos periodos a la hora... de un monitoreo”. Se evidencia, además, una concentración sistemática del esfuerzo de muestreo en la zona media del río Magdalena, mientras que las zonas altas y baja presentan menor cobertura temporal y representativa. Esta disparidad espacial y temporal puede deberse a múltiples factores, incluyendo la falta de sistematización o publicación

de datos recientes, la disponibilidad restringida de la información, o limitaciones en la implementación de una gestión integrada y sostenible del recurso hídrico en el tiempo y a lo largo de las diferentes temporadas o meses del año (Bolaños Alfaro, 2013; Larrea Murrell et al., 2022; Rivas y Maldonado, 2011)

En segundo lugar, la revisión bibliográfica permitió observar que ciertos indicadores están presentes en más del 70% del total en los muestreos, los cuales son: demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos suspendidos totales (SST), el oxígeno disuelto (OD) y el pH. indicadores fundamentales para evaluar la calidad del agua (Roldan, 2003). Sin embargo, 27 estaciones registraron menos de cinco variables, como en las estaciones del Magdalena medio, en los puntos Yondó, Puerto Berrío-Puerto Nare, donde solo se midieron la conductividad, OD y pH. Esta limitación podría deberse a una limitación en la medición de variables o no divulgación de información. Por lo cual, la falta de datos puede influir en el índice de calidad del agua (ICA), ya que dificulta clasificar la calidad en sus diferentes categorías (Pedraza et al., 2016) o la interpretación de resultados y su fácil comparación con futuras investigaciones.

La variabilidad en los valores del índice de calidad del agua está influenciada por los puntos de muestreo, cuya distribución depende de la frecuencia con la que se toman muestras en cada una de las zonas del río. Por esta razón, el análisis de los resultados no se realiza de manera generalizada, sino que se lleva a cabo considerando cada zona del río:

En la zona alta, la calidad hídrica muestra una mayor frecuencia en la categoría **buena** posiblemente debido a las actividades de protección y conservación. Por ejemplo, el 11% en el Cauca son áreas protegidas y en el periodo 2017-2018 se amplió 962 ha de conservación (ADR I-Cauca, 2021), mientras que el Huila 17% tiene esta función, incluyendo un 98% de paramos en su territorio (ADR II-Huila, 2019). En Tolima, existen 78 predios de conservación en diferentes cuencas hídricas, 65 de las cuales son reservas forestales, además de contar con 3 parques nacionales (ADR II-Tolima, 2019), entre otros.

Al pasar del alto Magdalena al medio Magdalena, la calidad hídrica comienza a clasificarse en mayor frecuencia como **aceptable y regular**. Esto podría deberse al aumento de la explotación

del suelo. En Cundinamarca, departamento de transición de zona alta a media, el 64% del territorio se utilizan para actividades de explotación de recursos naturales con alta densidad de propietarios en áreas pequeñas. Solo el 5,21% del área total corresponde a parques naturales, 11,5% a páramos, y 2,8% a reservas forestales (PDEA-Cundinamarca, 2024); En el departamento de Caldas el 5% son áreas protegidas y un 5% son páramos (ADR II- Caldas, 2019), en Sucre las áreas de protección ocupan un 1,6%, las áreas de conservación un 3,1% (ADR II-Sucre, 2021).

En el bajo Magdalena, la calidad hídrica predominante es **regular**, posiblemente debido a la acumulación de contaminantes de las zonas media y baja, sin que el Río logre alcanzar su capacidad de autodepuración. Según por Tatiana Garcia (2004), el RGM necesita recorrer aproximadamente 130 kilómetros para restablecer valores de oxígeno, reaireación y dilución de contaminantes. Sin embargo, a medida que pasa de la zona media a la baja, el proceso de autodepuración ve obstaculizado por las descargas provenientes de afluentes de la zona baja.

De manera adicional se revisaron los usos del suelo para observar los valores fisicoquímicos de algunos puntos de muestro estratégicos con el cumplimiento de “...parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos...” de la resolución 0631 del 2015, los cuales en su gran mayoría de los muestreos alrededor del RGM fueron uso en ganadería, por ejemplo. En la zona alta del RGM en la desembocadura del Río Recio al Magdalena, de los 10 parámetros registrados para el punto, cuatro cumplen con ella (DQO, pH, SST y DBO₅) para “... los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas - ARnD a cuerpos de aguas superficiales...en el sector de ganadería”, Aunque la DQO presenta baja carga, el OD también es bajo, lo que limita la materia orgánica disponible para sustentar la vida acuática. Además, se detectaron niveles elevados de E. Coli, DBO₅ y PT, lo que sugiere un proceso de eutrofización en desarrollo. A pesar de estas condiciones, el Índice de Calidad del Agua (ICA) clasificó la calidad como moderada, en categoría regular (Gómez-Anaya, J. et al., 2014).

En la zona media del RGM en la desembocadura del Río Bogotá, solo tres parámetros (DQO, pH y SST) cumplen con la normativa. Se observaron niveles elevados de conductividad, NT y OD, lo que indica posible contaminación. Además, *E. Coli* presentó concentraciones altas y el PT mostró riesgo de eutrofización, lo que afecta la vida acuática y la calidad del agua debido a

los vertimientos. El ICA en esta zona clasificó la calidad del agua como mala. Por su parte, en el bajo Magdalena, la Ciénaga de Zapatosa cumplen en cinco parámetros (DQO, OD, pH, SST y DBO5) con la resolución. Sin embargo, la DQO indica contaminación orgánica, con alta conductividad y valores elevados de DBO5. No se reportaron mediciones de NT, PT ni E. coli, lo que impide una evaluación completa. Estas condiciones pueden favorecer la hipoxia o la presencia de metales, y el ICA clasificó la calidad del agua en categoría regular, aunque el número de parámetros analizados fue limitado (Roldan, G., 1999; Roldan-Pérez, G., 2016)

Por otro lado, la utilización de bioindicadores en estudios sobre la calidad del agua es notablemente menor en comparación con los parámetros fisicoquímicos. Entre estos bioindicadores, los microorganismos son los principales, ya que se integran en los estudios fisicoquímicos y forman parte del cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA). En contraste, aunque los macroinvertebrados son ampliamente reconocidos por su importancia en los índices de calidad de agua (Escobar & Montoya, 2019; Ospina-Zúñiga et al., 2018), la disponibilidad de datos específicos sobre ellos y su relación con la calidad del Río Magdalena es limitada en la mayoría de las investigaciones. Según Huaman et al. (2021), en América Latina la producción científica relacionada con bioindicadores, especialmente macroinvertebrados, es baja en comparación con otros países. Por ejemplo, en bases de datos como Scopus y Web of Science, países como Ecuador tienen menos de 10 publicaciones sobre este tema, frente a potencias mundiales como Estados Unidos y Alemania, que cuentan con cifras mayores. Esta limitada investigación también se refleja en Colombia, lo que indica una necesidad urgente de fortalecer los estudios de bioindicadores para evaluar con mayor precisión la calidad del agua y enfrentar mejor los problemas ambientales en la región.

Por último, el análisis bibliométrico evidenció dinámicas típicas de colaboración científica en Latinoamérica, con redes centralizadas. Según Maz-Machado et al. (2016), las redes con alta concentración en conexiones internas limitan la diversificación y vínculos interdisciplinarios. En el caso de Colombia, las coautorías locales o regionales resalta en las colaboraciones de investigaciones específicas, fortaleciendo conexiones internas. Estructura fomentada por los proyectos de alcance regional (López-Muñoz et al., 2021).

El termino Río Magdalena como nodo pequeño y conexiones tenues refleja limitada frecuencia y relevancia respecto a la calidad del agua. Aunque el RGM es un recurso fundamental para el país, puede deberse a varios factores: la falta de monitoreos continuos y datos estandarizados, dificultades de acceso por la ubicación geográfica y conflictos sociales, la gobernanza regional inadecuada, la disparidad en las estaciones de muestreo y la variabilidad del caudal (Ordóñez, 2021; Pérez & Sierra, 2016). Barreras que limitan una red bibliométrica robusta y diversa, con escasos número de publicaciones. Por otro lado, el nodo "calidad del agua" destacó con un tamaño notable mayor y líneas de color verde intenso, lo que demuestra conexiones significativamente más sólidas y una mayor centralidad en el análisis bibliométrico. Esta diferencia indica que un tema amplio y general como "calidad del agua" es más investigado y conectado en comparación con términos específicos en Colombia (Rodríguez et al., 2016).

8. Conclusiones

La revisión bibliografía evidenció que los análisis de calidad del agua se realizan principalmente físico químicos y bacteriológicos, de manera que la parte alta del Río están en un estado de buena a media calidad, la parte media y baja del Río Grande de la Magdalena se encuentra en calidad aceptable a regular; respecto a los análisis de calidad del agua con bioindicadores o con índices biológicos son escasos, lo que permite la necesidad de enfoques más integrales que consideren factores físicos, químicos, biológicos y bacteriológicos en la calidad del agua. Además, se identificaron áreas o zonas del Río grande de la Magdalena poco estudiadas o con datos y análisis no publicados, como el departamento del Huila, Sucre y atlántico.

Los métodos más utilizados para la identificación de la calidad del agua del RGM se basa en el uso de índices fisicoquímicos, técnica estandarizada de parámetros cuantificables; esta metodología son implementadas por corporaciones regionales para la planificación del uso y manejo de cuencas hidrográficas para sustentar o estandarizar decisiones en el plan de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas (POMCAS) solicitado a nivel regional por entidades públicas necesario para los planes de ordenamiento territorial de cada municipio (POT), también estableciendo protección, conservación, uso y aprovechamiento de la cuenca. Las frecuencias de los cambios en la calidad del agua no permiten identificar cambios consistentes a lo largo del tiempo, ya que los estudios se realizan de manera puntual, asociados a proyectos anuales o temporadas específicas, señalando la necesidad de estudios que abarquen diferentes épocas y años consecutivos.

Las publicaciones sobre calidad del agua en el RGM desde el año 2013 han aumentado ligeramente, aunque, no se presenta un cambio sustancial en la producción científica. Se identificó una red de colaboración con menos de 10 autores, sin embargo, es una red limitada pues no mostró variación en las conexiones identificando baja interacción y frecuencia entre ellos. Esta tendencia refuerza la idea de que las redes de investigación, aunque bien conectadas, permanecen dentro de un enfoque centralizado y poco diversificado. A diferencia de las palabras clave que presento conexiones más sólidas; la palabra más destacada en la bibliografía es “calidad del agua”, con un nodo menor “Río Magdalena”, reflejando vínculos importantes y relación entre estas palabras.

Referencias bibliográficas

ADR II Caldas, Minagricultura. (2019). Plan integral de desarrollo agropecuario y rural de enfoque territorial, Tomo II, Departamento de Caldas. Gobierno de Caldas. <https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/Caldas-Tomo-II.pdf>

ADR II Huila, Minagricultura. (2019). Plan integral de desarrollo agropecuario y rural de enfoque territorial, Tomo II, Departamento de Huila. Gobierno de Huila. <https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/Huila-Tomo-II.pdf>

ADR I Cauca, Minagricultura. (2021). Plan integral de desarrollo agropecuario y rural de enfoque territorial, Tomo I, Departamento de Cauca. Gobierno del Cauca. <https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/CAUCA-TOMO-1.pdf>

ADR II Tolima, Minagricultura. (2019). Plan integral de desarrollo agropecuario y rural de enfoque territorial, Tomo II, Departamento de Tolima. Gobierno del Tolima. <https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/TOLIMA-TOMO-II.pdf>

ADR II Sucre, Minagricultura. (2021). Plan integral de desarrollo agropecuario y rural de enfoque territorial, Tomo II, Departamento de Sucre. <https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2022/12/Sucre-Tomo-II.pdf>

Barragán, J. L. M., Cuesta, L. D. I., & Susa, M. S. R. (2021). Quantitative microbial risk assessment to estimate the public health risk from exposure to enterotoxigenic E. coli in drinking water in the rural area of Villapinzon, Colombia. *Microbial Risk Analysis*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.mran.2021.100173>

Bolaños Alfaro, J. D. (2013). Implicaciones del monitoreo periódico de la calidad del agua potable en el cantón de Grecia, Alajuela, Costa Rica. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, 14(28), 39-53. Universidad de Costa Rica. <https://www.redalyc.org/pdf/666/66629446003.pdf>

Cartagena, L. P., & Vargas, D. A. (2020). Estudio del riesgo por fosfatos, Nitratos y nitritos en el agua del Río Magdalena para abastecimiento de Girardott-Ricaurte (cundinamarca). Universidad Piloto de Colombia.

Cormagdalena. (2007). *Atlas cuenca del río Grande de la Magdalena*. Barrancabermeja, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena. <https://es.scribd.com/document/380614406/Atlas-Cuenca-Del-Rio-Magdalena-Version-Final>

De La Hoz-Barrientos, L. A., & Osorio-Ávila, F. J. (2016). Ensamble ficoperifítico asociado a macrófitas en una ciénaga tropical colombiana. *Intropica*, 11, 127. <https://doi.org/10.21676/23897864.1869>

Escobar, A. F., & Montoya, Y. (2019). Los macroinvertebrados acuáticos y la calidad biológica del agua en una quebrada andina, Antioquia-Colombia. *Revista Politécnica*, 15(29), 65–81. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n29a6>

Fontalvo, F. J., & Tamaris-Turizo, C. E. (2018). Calidad del agua de la parte baja del Río Córdoba (Magdalena, Colombia), usando el ICA-NSF. *Intropica*, 101. <https://doi.org/10.21676/23897864.2510>

Forero-céspedes, A. M., Reinoso-Flórez, G., & Gutiérrez, C. (2013). Evaluación de la calidad del agua del Río Opia (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Limnología*, 35(2), 371–387. <http://www.icn.unal.edu.co/>

Galeano-Rendón, E., Monsalve-Cortes, L., & Mancera-Rodríguez, N. (2017). Evaluación de la calidad ecológica de quebradas andinas en la cuenca del Río Magdalena, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20 (2), 413–424.

Gao, J., Zhu, S., Li, D., Jiang, H., Deng, G., Wen, Y., He, C., & Cao, Y. (2023). Bibliometric analysis of climate change and water quality. In *Hydrobiologia* (Vol. 850, Issue 16, pp. 3441–3459). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05270-y>

Gómez-Anaya, J. A., Novelo-Gutiérrez, R., y Astudillo-Aldana, M. R. (2017). Efecto de las descargas domésticas y de beneficio de café sobre la calidad del agua y la diversidad de larvas de Odonata (Insecta) en un arroyo de bosque mesófilo de montaña en Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(2), 372–380. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.004>

Hernández Avedaño, P., Peñuela-Díaz, G., & Carvajal-Cogollo, J. E. (2022). Uso de hábitat y análisis preliminar de la dieta del periquito bronceado *Brotogeris jugularis* en un paisaje rural del piedemonte llanero colombiano. *Intropica*, 37–46. <https://doi.org/10.21676/23897864.4071>

Hernández, J. L., Guzmán-Soto, C. J., & Tamaris-Turizo, C. E. (2016). Macroinvertebrados acuáticos de la ciénaga de Sahaya y en tres de sus afluentes (Cesar, Colombia). *Intropica*, 11, 11. <https://doi.org/10.21676/23897864.1857>

Huaman, J., Rosales, E., & Castañeda, C. (2021). Análisis bibliométrico sobre macroinvertebrados como bioindicadores de calidad de agua dulce. [Universidad César Vallejo].

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/80584/Huaman_PJ-Rosales_MEA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jaramillo-Rodríguez, V., Polanía, J., & Mancera-Rodríguez, N. (2022). Macroinvertebrados acuáticos en una quebrada andina con alteraciones antrópicas en Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 25.

Jiménez-Segura, luz, & Lasso, C. (2021). XIX Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://doi.org/10.21068/a2020rrhhxix>

Labrador, E., Sanchez, H., & Vidales, K. (2017). Viabilidad del Río Magdalena como fuente de agua para consumo humano-caso aplicativo municipio de nariño (cundinamarca), colombia. Universidad Piloto de Colombia.

Larrotta, I., & Avila, J. (2021). Análisis de concentraciones de mercurio, cromo hexavalente en agua del Río Magdalena, como fuente de abastecimiento para consumo humano de Girardot - Ricaurte (Cundinamarca).

Larrea Murrell, J. A., Romeu Alvarez, B., Lugo Moya, D., & Rojas Badía, M. M. (2022). Aspectos fundamentales del monitoreo de calidad de las aguas: el río Almendares como caso de estudio. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 53(2), 148–159. <https://www.redalyc.org/journal/1812/181271968004/181271968004.pdf>

López-Muñoz, F., Velázquez, L., García, E., López-Vázquez, I., & Povedano-Montero, F. (2021). Análisis bibliométrico y mapeo de redes de la literatura científica internacional de la academia de ciencias de Cuba en Web of Science (1968-1994). *Anales de La Academia de Ciencias de Cuba*, 11(2). <https://revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/960/1140>

Machi, L. A., & McEvoy, B. T. (2012). *The literature review: Six steps to success* (2.^a ed.). SAGE Publications.

Martinez, B. Y. (2019). Manejo del recurso hídrico en Colombia: Cobertura y calidad del agua potable. [Universidad Militar Nueva Granada]. <https://repository.unimilitar.edu.co/server/api/core/bitstreams/8bb22925-c8dd-4597-8e1f-572370fb9965/content>

Martínez-Silva, P. (2015). Variación espacio-temporal de microalgas acuáticas del embalse de Betania – Huila y su relación con la calidad del agua. *Intropica*, 11. <https://doi.org/10.21676/23897864.1642>

Márquez Calle, Germán Un río difícil. El Magdalena: historia ambiental, navegabilidad y desarrollo Memorias. Revista Digital de Historia y Arqueología desde el Caribe, núm. 28, januaryapril, 2016, pp. 29-60

Maz-Machado, A., Jiménez-Fanjul, Noelia., & Villarraga, M. (2016). Colombian scientific production indexed in Scielo: A bibliometric analysis. Revista Interamericana de Bibliotecología, 39(2), 111–119. <https://doi.org/10.17533/udea.rib.v39n2a03>

Murillo, J. C., & Álvarez, E. G. (2019). Creación del estado del arte para la cuenca media del Río Bogotá como mecanismo de apropiación social. <http://hdl.handle.net/11634/16550>

Ochoa, A. J., & Velez, M. Y. (2016). Impacto del fenómeno de “el niño” 2015 – 2016 en la calidad de agua del Río Magdalena como fuente de abastecimiento del municipio de purificación (Tolima, Colombia). Universidad Piloto de Colombia.

Ordóñez, C. (2021). Cuantificación de concentraciones de determinantes de calidad del agua a partir de información teledetectada, en el Río Magdalena [Universidad Santo Tomas]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33930/2021cristianordonez.pdf>

Ortiz, A. L., Ruiz, M., & Rodríguez, J. P. (2017). Planificación y gestión de los recursos hídricos: una revisión de la importancia de la variabilidad climática. Revista Logos, Ciencia & Tecnología, 9(1). <https://doi.org/10.22335/rlct.v9i1.401>

Ortiz-Romero, L. T., Delgado-Tascon, J. G., Pardo-Rodríguez, D. A., Murillo-Perea, E. P., & Guia, A. J. (2015). Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del Río Magdalena-tramo Tolima, colombia. Tumbaga, 2, 43–60. <https://www.researchgate.net/publication/316550946>

Ospina-Zúñiga, O. E., Murillo-Vargas, F. J., & Toro, M. K. (2018). Impact of the Bogotá River on the microbiological quality of the water of the Magdalena River, municipality of Flandes (Tolima). Revista Luna Azul, 47, 114–128. <https://doi.org/10.17151/luaz.2019.47.7>

PDEA Cundinamarca. (2024). Plan departamental de extensión agropecuaria PDEA 2024-2028. Departamento de Cundinamarca. Gobierno de Cundinamarca. https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2024/10/PDEA_Cundinamarca_2024.pdf

Pedraza, E. L., Montenegro, C., Herrera, F., Gaona, P., Díaz, D., & Castro, M. (2016). Variables más influyentes en la calidad del agua del Río Bogotá mediante análisis de datos. Revista Logos Ciencia & Tecnología, 7(2), 35. <https://doi.org/10.22335/rlct.v7i2.258>

Pérez, G. R. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP Col (Ciencia y tecnología). Editorial Universidad de Antioquia. <https://books.google.com.co/books?id=ZEjgIKZTF2UC>

Perez, L., & Sierra, R. (2016). Estado actual de las investigaciones sobre tendencia de caudales en la cuenca del Río Magdalena. Universidad La Fran Colombia.

Poveda, J. L., López-Delgado, E. O., & Villa-Navarro, F. A. (2018). Effect of the riparian vegetation cover on fish communities in the humid premontane and very humid premontane forest in the Upper Magdalena, Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42(163), 216–226. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.623>

POMCA Directos al Magdalena medio entre los ríos Negro y Carare <https://drive.google.com/drive/folders/1GOJBtedZCEiNegRgTHzxbDpPqWdTTb8?usp=sharing>

POMCA Río Recio y Venadillo, CORTOLIMA, link de acceso: <https://cortolima.gov.co/planes-y-programas/gestion-integral-del-recurso-hidrico/3406-pomca-del-rio-recio-y-rio-venadillo>

POMCAS cuenca difectos Magdalena, Río Guarino y la Miel, CORPOCALDAS, Link de acceso https://www.corpocaldas.gov.co/WebSite/Contenido/?pag_Id=2257

POMCAS Río Bogota, CUNDINAMARCA, link de acceso <https://www.car.gov.co/vercontenido/3691>

POMCAS Río Coello, CORTOLIMA, link de acceso: <https://cortolima.gov.co/planes-y-programas/gestion-integral-del-recurso-hidrico/3377-plan-de-ordenamiento-y-manejo-de-cuenca-pomca-rio-coello>

POMCAS Río Gualí, CARTOLIMA, Link de acceso <https://cortolima.gov.co/planes-y-programas/gestion-integral-del-recurso-hidrico/3458-pomca-rio-guali>

POMCAS Río Guarino, CORPOCALDAS, Link de acceso www.corpocaldas.gov.co

POMCAS Río La Miel, CORPOCALDAS, Link de acceso www.corpocaldas.gov.co

POMCAS Río Prado, CORTOLIMA, link de acceso: <https://cortolima.gov.co/planes-y-programas/gestion-integral-del-recurso-hidrico/3518-pomca-rio-prado>

POMCAS Río Totare, CORTOLIMA, link de acceso: <https://cortolima.gov.co/planes-y-programas/gestion-integral-del-recurso-hidrico/3405-pomca-rio-luisa-2019>

Quevedo, P. M. (2017). Obtención de un índice de calidad de agua (ICA) para las ciénagas que dorman parte de la zona inundable del Río Magdalena en el departamento del Atlántico - Colombia, a través de la aplicación del método Delphi. Universidad internacional de Andalucía.

Restrepo, D., Valencia-Rodríguez, D., Herrera-Pérez, J., Muñoz-Duque, S., Galeano, A. F., & Jiménez-Segura, L. (2022). Contribution to the knowledge of non-native fishes in reservoirs in the Magdalena River basin: the study case Piedras blancas reservoir. *Neotropical Biodiversity*, 8(1), 292–296. <https://doi.org/10.1080/23766808.2022.2104971>

Rivas, F., & Maldonado, X. (2011). Acuerdos de monitoreo de calidad del agua en Estados Unidos de Norte América: Estado del arte. *Visión Gerencial*, (1), 173–187. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. <https://www.redalyc.org/journal/1812/181271968004/>

Rodríguez Becerra, M. (Ed.). (2015). *¿Para dónde va el río Magdalena? Riesgos sociales, ambientales y económicos del proyecto de navegabilidad*. Friedrich-Ebert-Stiftung en Colombia (Fescol) y Foro Nacional Ambiental.

Rodríguez, J. P., Serna, J. A., & Sánchez, J. M. (2016). Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 8(1), 159–167. <https://doi.org/10.22335/rlct.v8i1.306>

Rodriguez, Y. Y., & Herrera, D. P. (2016). Evaluacion de la carga contaminante del Río Magdalena con incidencia en la calidad del agua para el consumo humano dela poblacion de Girardot (Cundinamarca, Colombia). *Piloto de Colombia*.

Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. In *Revista Academica Colombiana de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales* (Vol. 23, pp. 375–387). <https://doi.org/0370-3908>

Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamerica. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 40(155), 254–274. <https://doi.org/0123-4226>

Sandoval, J. J., Aldaya, M., Suarez, X., Molina, D., & García, J. (2022). Boletín divulgativo Taller: Tratamiento y Evaluación de la Calidad Boletín divulgativo Taller: Tratamiento y Evaluación de la Calidad del Agua superficial (Río Magdalena, Girardot Cundinamarca). <https://repositorioctei.ucundinamarca.edu.co/boletindivulgativohttps://repositorioctei.ucundinamarca.edu.co/boletindivulgativo/1>

Tejeda-Benitez, L., Flegal, R., Odigie, K., & Olivero-Verbel, J. (2016). Pollution by metals and toxicity assessment using *Caenorhabditis elegans* in sediments from the Magdalena River, Colombia. *Environmental Pollution*, 212, 238–250. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.057>

Toro, M., & Murillo, F. (2016). Determinación del riesgo en el recurso hídrico municipio de flandes (Tolima, Colombia), por incidencia del Río Bogotá en el Río Magdalena. Universidad piloto de Colombia.

Torres-Bejarano, F., Ramírez-Leon, H., Rodriguez, C., Tejera, M. P., & Vásquez, M. (2015). Validación de un modelo hidrodinámico y calidad del agua para el Río Magdalena, en el tramo adyacente a Barranquilla, Colombia. *Hidrobiológica*, 25, 7–23.

UNESCO. (2024). *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention* (WHC.24/01). París: UNESCO World Heritage Centre. Recuperado el 27 de mayo de 2025, de <https://whc.unesco.org/en/guidelines/>

Valbuena-Villareal, R. D., & Gualtero-Leal, D. M. (2021). Aquatic macroinvertebrates (Animalia: Invertebrata) of the area of influence of El Quimbo Hydroelectric Station, Huila, Colombia*. *Boletín Científico Del Centro de Museos*, 25(1), 15–31. <https://doi.org/10.17151/bccm.2021.25.1.1>

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). VOSviewer - Visualizing scientific landscapes. *Scientometrics*. <https://www.vosviewer.com/>

Zúñiga, Ó. E., Ochoa, A. J., & Vélez, M. Y. (2017). Effect of el niño phenomenon 2015-2016 on the water quality of the Magdalena River, municipality of Purificación -Tolima. *Produccion y Limpia*, 13(1), 65–73. <https://doi.org/10.22507/pml.v13n1a7>