

**Modelación espacial de la cuenca hídrica del Cesar para determinar el impacto de los  
metales pesados derivados de las actividades antrópicas**

Nicole Lemon Gamboa

Catherine Patricia Gómez Tovia

Asesor

Oscar Andrés Toro Trochez

Universidad Nacional Abierta y A Distancia UNAD

Escuela Ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente ECAAPMA

Diplomado de profundización como opción de grado sistemas de información geográfica para el  
ordenamiento agro-ambiental del territorio

2023

## Resumen

En la actualidad, la situación ambiental es muy importante, con los años las tecnologías y las herramientas para el estudio de conservación de los recursos naturales han avanzado, la implementación de los SIG y la modelación ambiental de la mano son vitales para el estudio, control y solución a situaciones que se estén presentando ya sea en suelos, fuentes hídricas y dispersión de contaminantes acompañados de geoprocesos espaciales y de ordenamiento territorial, los cuales brindan información la cual se analiza, procesa y se encuentra la metodología necesaria dado el caso ambiental para volver a su normalidad.

Tal como afirma GreenFacts, (2021) “El agua dulce representa únicamente el 2,5% del agua de la Tierra y se encuentra en mayor parte congelada en glaciares y casquetes glaciares”; queriendo decir que el agua al ser medida por porcentaje nos deja o nos da a entender que el agua potable está más reducido para el consumo no solo del hombre sino también de los demás seres vivos. Actualmente el agua se ha vuelto un elemento para que gobiernos y países desarrollados y sub desarrollados quieran obtener en mayor cantidad; ya sea por poder o por supervivencia para esos países que este líquido es escaso y por el cual miles de personas no sobreviven por falta de este.

En el caso actual, en el municipio de El paso localizado en el departamento del Cesar, actualmente es visible notar la afectación de la cuenca hídrica debido a la gran cantidad de sustancias tóxicas y desechos sólidos derivados de las actividades antrópicas de la zona y población aledaña al afluente convirtiéndose en una emergencia ambiental afectando la vida acuática en él y la calidad del recurso natural, esta afectación es extendida a muchos municipios del departamento debido a que la contaminación y los tóxicos se arrastran por la corriente a larga distancia, estos residuos dentro de la fuente

hídrica no solo lo afectan a dicha cuenca sino a toda la población como acceso a él.

Hacia el año 2020 el río Cesar mostraba una contaminación por metales pesados producto de la minería de carbón y el cultivo de la palma de aceite de acuerdo a una investigación realizada por la Universidad de los Andes; la cual realizó mediciones sobre la calidad del agua en épocas de lluvia.

Tal como estipula Romero, (2009) “Los metales pesados son sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto, muy difundidos y en muchos casos muy útiles, como, por ejemplo, el plomo que se utiliza mucho para tubería, y el cadmio. Hablando ya de la contaminación, los metales pesados tienen efectos en la salud y afectan diferentes órganos”; con esto nos queda claro que el exceso de metales pesados en el agua perjudica la salud en las personas, animales y plantas.

Palabras clave: Contaminación, Modelación, ríos, ecosistema.

### **Abstract**

Today, the environmental situation is very important. Over the years, technologies and tools for the study of conservation of natural resources have advanced, the implementation of GIS and environmental modeling hand in hand are vital for the study, control and solution to situations that are occurring either in soils, water sources and dispersion of pollutants accompanied by spatial geoprocesses and land use planning processes, which provide information, which is analyzed, processed and the necessary methodology is necessary given the environmental case to return to normal.

According to GreenFacts, (2021) "Freshwater accounts for only 2.5% of the Earth's water and is mostly found frozen in glaciers and ice caps".

This means that when water is measured as a percentage, we are left to understand that drinking water is more reduced for consumption not only by humans but also by other living things. Nowadays, water has become an element that governments, developed and underdeveloped countries want to obtain in greater quantity, either to obtain in greater quantity; either for power or for survival for those countries where this liquid is scarce and where thousands of people do not survive for lack of this liquid.

In the case at hand, in the municipality of El Paso, located in the department of Cesar, the watershed is currently visibly affected due to the large amount of toxic substances and solid waste derived from anthropic activities in the area and population bordering the tributary, becoming an environmental emergency that affects aquatic life in the basin. This

has become an environmental emergency that affects aquatic life in the basin and the quality of the natural resource.

The water quality in the basin has spread to many municipalities of the department due to the fact that pollution, contamination and toxins are dragged by the current for long distances. These wastes within the water source not only affect the watershed, the entire population that has access to it.

By the year 2020, the Cesar River presented heavy metal contamination from coal mining and palm oil, according to a research study conducted by the Universidad de los Andes, which measured the river's water quality during the rainy season.

As stipulated by Romero, (2009) "Heavy metals are natural substances of high molecular weight that are very widespread and in many cases very useful, such as, for example, lead, which is widely used for plumbing, and cadmium.

Lead, which is widely used for plumbing, and cadmium. Speaking of pollution, heavy metals have health effects and affect different organs, that the excess of heavy metals in water harms the health of people, animals and plants.

Keywords: Contamination, modeling, rivers, ecosystem.

## Tabla de contenido

Resumen.....	2
Abstract.....	4
Introducción.....	8
Objetivos.....	10
Objetivo General.....	10
Objetivo Específicos.....	10
Caso de estudio .....	11
Modelo Lógico entidad-relación.....	13
Planteamiento e identificación de los geoprocesos y modelamientos para identificación y mapifcacion de problemática.....	15
Requerimientos de Hardware y software.....	19
Conclusión y recomendaciones.....	20
Bibliografía.....	21
Sustentación.....	22

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Mapa ubicación Rio Cesar</i> .....	12
<b>Figura 2.</b> <i>Mapa modelo entidad-relación</i> .....	13
<b>Figura 3.</b> <i>Modelo conceptual contaminantes tóxicos</i> .....	14
<b>Figura 4.</b> <i>Mapa de sub-cuenca con red de drenaje Rio Cesar</i> .....	17
<b>Figura 5.</b> <i>Mapa de contaminantes por actividad Minera en el departamento del Cesar</i> ...18	
<b>Figura 6.</b> <i>Mapa de vulnerabilidad hídrica (IVH) Departamento del Cesar</i> .....	18

## Introducción

El medio ambiente afectado por los altos índices de contaminación en la actualidad, se ha transformado en una delicada situación a nivel mundial, los recursos naturales afectados por sustancias tóxicas provocadas por actividades industriales y prácticas humanas van en aumento, afectando también a las diferentes especies que habitan estos recursos naturales y la vida humana provocando así enfermedades, y en la mayoría de los casos es derivado de las diferentes actividades que se ejecutan a diario.

El agua es un recurso natural y al contaminarse con metales pesados como cadmio y arsénico y desechos sólidos es un problema nacional que contamina inicialmente a las aguas potables alrededor del mundo y su consumo. La implementación de los SIG como herramienta para la modelación hídrica aportaría al correcto análisis, evaluación del deterioro del medio hídrico y control de la contaminación para este caso la cuenca hídrica del Cesar por desechos industrial y sustancias tóxicas.

Los responsables principalmente de este deterioro del recurso hídrico que provoca conflicto es la población que rodea la fuente hídrica, las empresas industriales y mineras, debido a la práctica de actividades que realizan sin tener el cuidado preventivo, además del inadecuado uso que hacen con los desechos que van directamente a la cuenca usándolo como un método para deshacerse de los desechos tóxicos generados, también los habitantes cerca al río arrojando sus desechos provocando el deterioro del recurso natural y la vida acuática en él.

Esta situación y deterioro de dicho ecosistema no es reciente pero con los años ha aumentado debido a que no existe un control sobre dicha problemática y entre más sustancias tóxicas y desechos la cuenca ha ido perdiendo la vida en él y su atención en cuanto a flora y fauna cerca de

él. Cabe afirmar que la situación actual es preocupante delicada ya que aun haciendo los estudios necesarios para recuperación, podría tratar mucho tiempo más en volver a recuperarse y ser como antes debido al constante abuso que ejercen sobre el diario, por lo que el deterioro e impacto ambiental sobre él es alto.

En este estudio enfocaremos nuestro trabajo a la contaminación del río Cesar por metales pesados y actividades antrópicas. Logrando así una información de cómo afecta esto al caudal de este río. Estableceremos unos objetivos que logren cubrir todos los aspectos de la afectación de este río; identificaremos la problemática a conocer y su análisis de estudio; modelo lógico entidad- relación y planteamiento e identificación de los Geo procesos y modelamientos para lograr tanto la correcta identificación y mapificación del problema localizado geográficamente.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Desarrollar modelación espacial de la cuenca hídrica del Cesar para determinar el impacto de los metales pesados derivados de las actividades antrópicas.

### **Objetivos Específicos**

Reconocer la importancia de los SIG y geoprocesos para el estudio de problemáticas ambientales del territorio nacional.

Realizar un modelo lógico de entidad – relación de contaminantes en el río Cesar.

Plantear una metodología de ciertos geoprocesos necesarios para la identificación y mapificación de la problemática actual de la cuenca hídrica de la zona de estudio.

### **Caso de estudio**

La cuenca hídrica del Cesar se encuentra la norte del país con inicio en el municipio de San Juan del Cesar localizado en el departamento de la guajira, consta de una extensión de aproximadamente  $[(311\text{km})^2]$  atravesando todo el departamento del Cesar pasando por los municipios de Valledupar hasta el Banco (Magdalena), los andes y la sierra nevada son divididos por su cauce, tiene como afluente principal el Rio ariguani, siendo una fuente hídrica para los municipios y poblaciones aledañas a él , los cuales estos habitantes lo usan como medio de vertimiento para los desechos y aguas residuales de las actividades antrópicas y diarias que se realizan también es usado como vertimiento de sustancias toxicas y metales pesados de empresas de explotación minera que realizan sus prácticas cerca de la fuente hídrica, lo cual afecta su calidad y el ecosistema en él, deteriorándolo así provocando muertes en especies y enfermedades humanas.

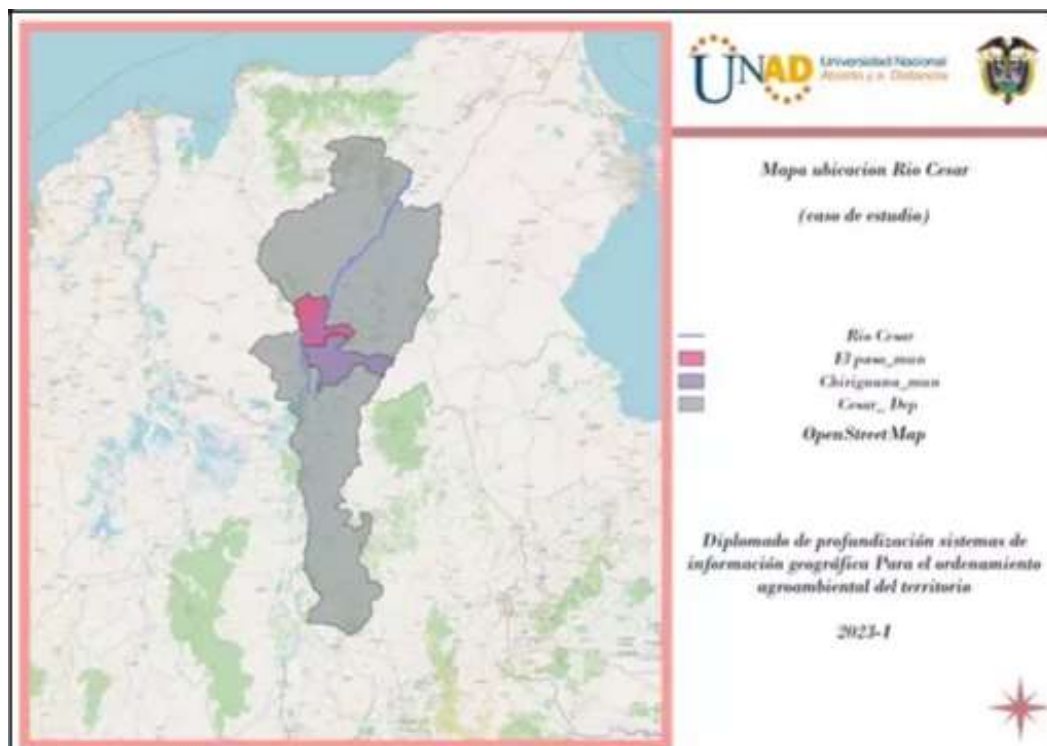
Y como su contaminación afecta directamente a sus habitantes. De acuerdo a lo dicho por Sánchez y Corredor (2016) “en el país se han realizado diversos estudios sobre el aporte de metales pesados debidos a la minería y agricultura en los departamentos del Magdalena, Bolívar, Antioquia, Caldas, Santander Nariño, Cauca, Guainía, Vaupés, Quindío, Chocó, Córdoba y Tolima. Sin embargo, en el departamento del Cesar las investigaciones sobre este tema son escasas”. Como se puede ver este tipo de estudios e investigaciones ya se ha realizados; pero aún falta bastante para que se pueda dar solución o una disminución de este tipo de problemática en esta zona y en el resto del país.

Uno de los tramos para ser más específicos y es el centro de este caso de estudio de la cuenca se encuentra entre El paso y Chiriguana el cual es más afectado y notorio visiblemente ya que aquí se unen las actividades de la ganadería, agricultura y explotación minera protagonistas de la contaminación del tramo de la cuenca y las responsables de los vertimientos de residuos sólidos, metales pesados y sustancias tóxicas. Estas actividades no practican un tratamiento al requerir la calidad de agua para sus actividades y procesos.

A continuación se presenta un mapa de ubicación de la cuenca del Cesar y zona de este estudio (Figura 1).

### Figura 1

*Mapa ubicación Rio Cesar.*



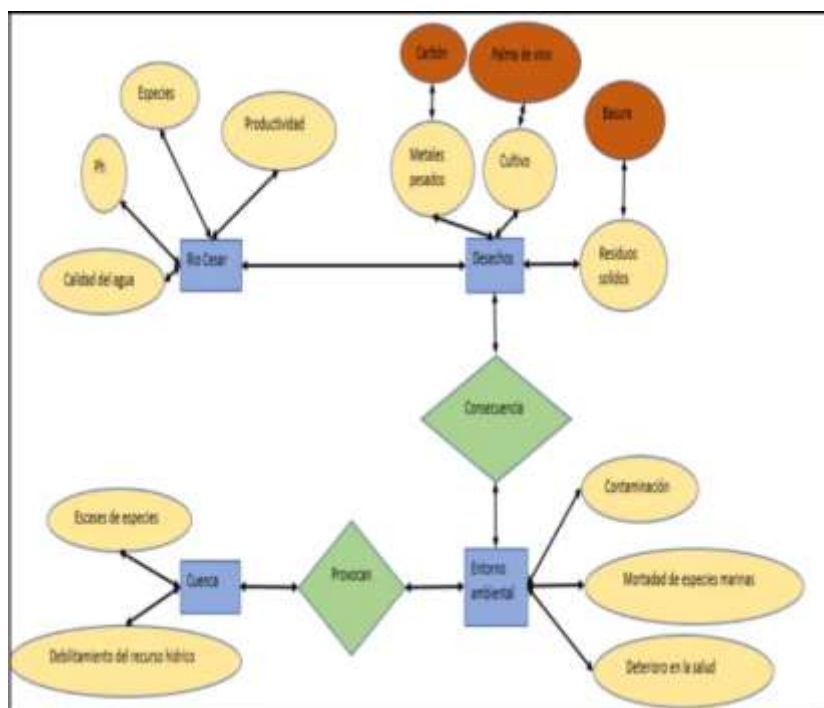
Nota: Elaboración propia con base en el área de estudio. QGIS (2023)

## Modelo lógico entidad-relación

En el modelo a continuación (Figura 2), podemos ver un modelo de entidad relación del Río Cesar; en donde podemos observar cada elemento como lo son las diferentes entidades, las relaciones que hay entre entidades como las consecuencias y provocaciones que genera cada entidad; también se ve señalado que de cada entidad se desprende unos atributos que caracterizan a esas entidades y en la entidad de desecho; además de los atributos se puede notar unos atributos descriptivos como las palma de vino, carbón y basura. Siendo este un modelo de entidad relación que está enfocado a la contaminación que se presenta en el río por metales pesados y actividades como la agricultura.

### Figura 2

*Mapa modelo entidad-relación.*

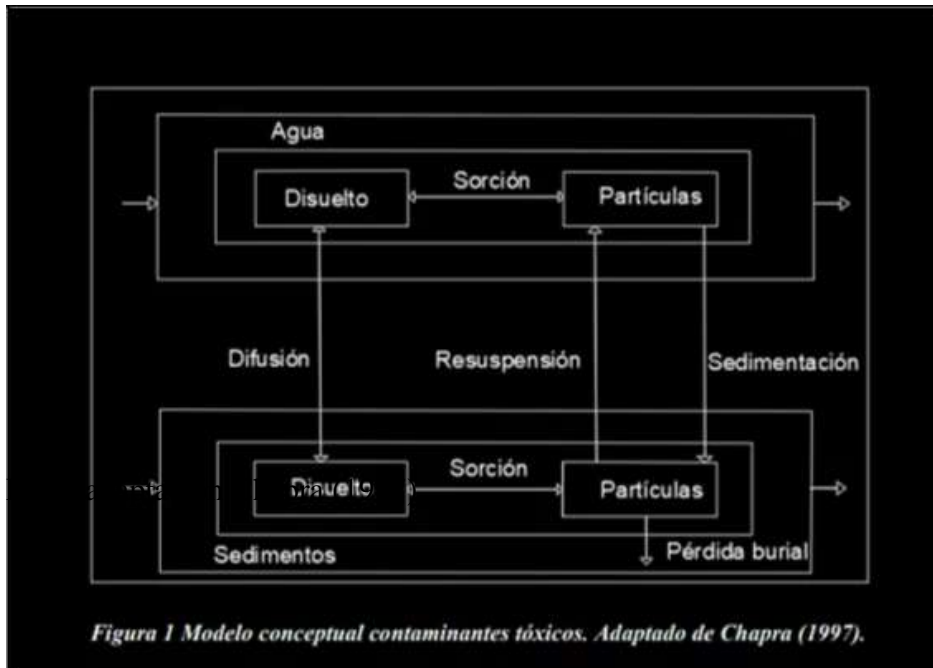


Nota: Elaboración propia con base en el área de estudio. PAINT (2023)

Se presenta a continuación (Figura 3) un modelo conceptual de contaminantes tóxicos, de acuerdo al proceso de afectación dentro de la fuente hídrica del Cesar.

### Figura 3

*Modelo conceptual contaminantes tóxicos.*



Nota: Adaptación Chapra (1997)

## **Planteamiento e identificación de los geoprocesos y modelamientos para identificación y mapificación de problemática**

Para el correcto modelamiento de identificación y mapificación de la problemática de la cuenca hídrica del Cesar se tuvieron en cuenta los sistemas de información geográfica y geoprocesos planteados en la herramienta QGIS con SAGA. Para la delimitación de la cuenca se implementó las coordenadas de localización del punto afectado en la herramienta QGIS, se realizó un respectivo corte de acuerdo al río específico y el departamento donde se encuentra. Se tuvo en cuenta la información recopilada de acuerdo a la cuenca y drenajes del departamento del Cesar con el geoproceso corte, para el modelamiento de la cuenca hídrica se usó un modelo DEM recopilado directamente de las imágenes satelitales de la Nasa con cuenta creada previamente y de acuerdo a la zona en este caso el tramo del río afectado entre el municipio de Paso y Chiriguana en el departamento del Cesar con el SRTM downloader.

A partir de allí se empieza el proceso modelación con la herramienta Análisis de terreno hidrológico de SAGA la cual realiza una filtración y generación de una capa sin depresiones de elevación con capa de dirección de flujo de acuerdo a la capa raster inicial de la zona, luego implementamos el siguiente proceso derivada de la herramienta de análisis con el proceso Fill sinks  $\times 1$  (Wang & Liu) para así obtener un Dem sin errores en píxeles y con el cual se pueda seguir modelando.

Con el raster Dem fill generado se procede a general los drenajes de la cuenca de estudio, se implementara la herramienta de SAGA llamada análisis de terreno por canales con el proceso de red de canales y cuencas de drenaje, dentro del proceso se implementó un umbral de 3, con este proceso tendremos un raster de flujo, de conexión de flujo, dirección de orden, cuenca de drenaje y vectorial de cuencas de drenaje y canales de drenaje.

Al obtener esta información derivada del proceso anterior, se selecciona una sub cuenca dentro de la cuenca para posteriormente continuar el modelamiento enfocado en ella, el paso a seguir es cortar los drenajes solo para la sub cuenca de estudio implementando el geo proceso de corte, o intersección y obtenemos los drenajes específicos dentro de la sub cuenca de interés de acuerdo al punto específico.

Para la identificación y mapificación de las áreas mineras de explotación cercanas a la fuente hídrica se implementó una base de datos de la página de cartografía minera llamada Geoactivismo la cual a partir de allí se realizó un corte de acuerdo al departamento y municipio de caso de estudio donde se encuentra la cuenca afectada por estas actividades. Teniendo en cuenta el estudio de los sistemas implementados y el análisis de la información recopilada a partir de los SIG cabe resaltar que la contaminación es provocada por las actividades de explotación minera y residuos de actividades agrícolas comprenden áreas de 710.285 de explotación de minerales como Cobre y sus concentrados, plomo y sus concentrados, zinc y sus concentrados, roca o piedra caliza, también se ubican áreas de explotación de Oro y concentrados con terreno de aproximadamente 2.860 áreas de explotación de Plata y platino con área de 1.930, explotación de Hierro y concentrados con áreas de 1.473, además de sulfato de Bario con área de 105.486.

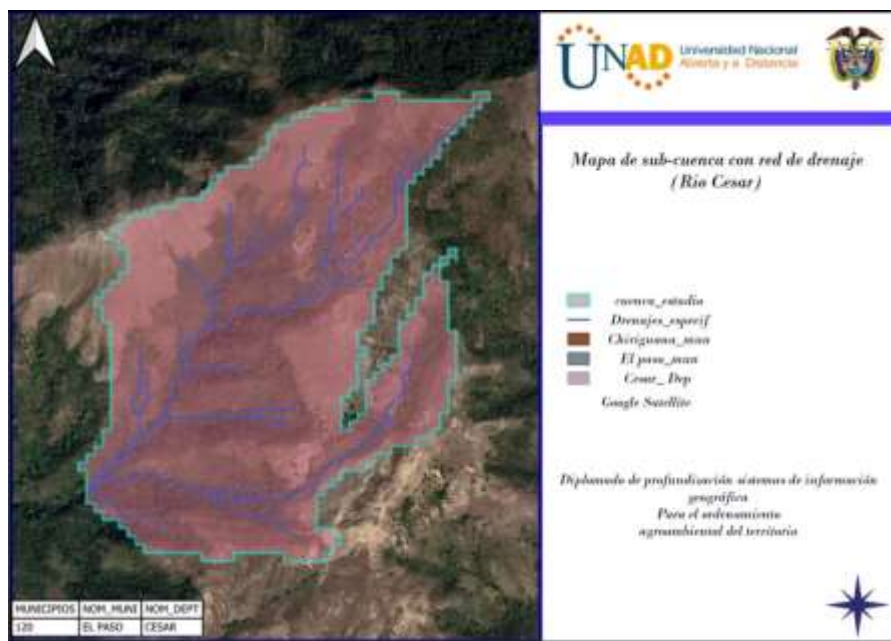
Es importante enfatizar que dentro de esta explotación se encuentran muchos más minerales lo cual conlleva a la contaminación directa de la fuente hídrica del Cesar. Todas estas actividades rodean la cuenca hídrica del Cesar.

Con la herramienta Tremarcos Colombia de la mano con los SIG se investigó y analizo información acerca de la vulnerabilidad hídrica tanto del municipio como el departamento de estudio como eje central la cuenca hídrica, a partir de la recolección de información se realizaron geoprocesos tipo corte para reunir la información de la zona específica, de esta información basada en datos se pudo analizar que la mayor parte del departamento del cesar posee un índice alto de vulnerabilidad hídrica teniendo en cuenta la exposición de la cuenca hídrica frente a las actividades de explotación minera del sector y departamento en general con un índice alto en un área total de 25708673.45 incluida la Zona de El paso, un índice medio en un área de 23684710.2794 y un índice bajo en una pequeña zona con 3538794.0099 de área.

A continuación se muestra el mapa de sub cuenca con red de drenaje del tramo que atraviesa el municipio de El paso (Figura 4), contaminantes de actividades mineras (Figura 5) e IVH de la zona de estudio (Figura 6).

#### Figura 4

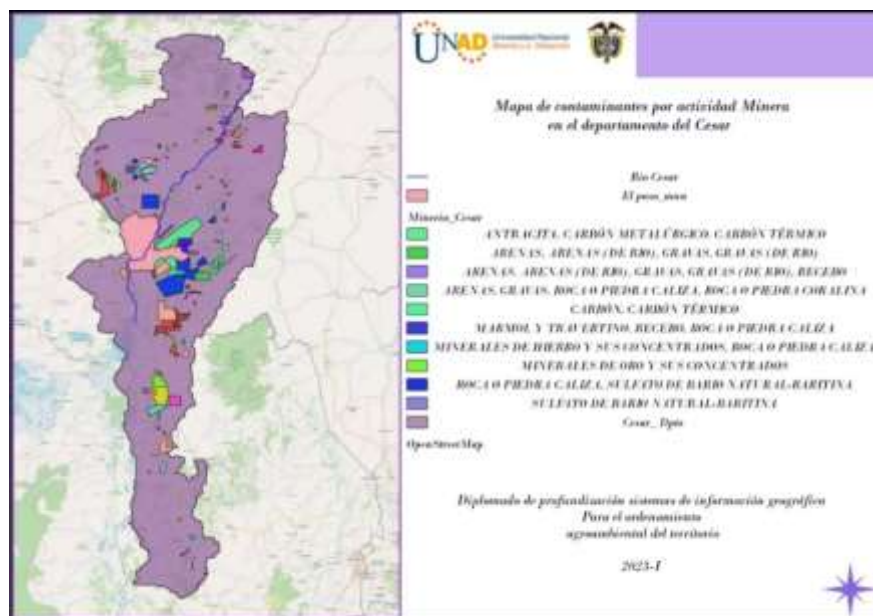
*Mapa de sub-cuenca con red de drenaje Rio Cesar.*



Nota: Elaboración propia con base en el área de estudio. QGIS (2023)

Figura 5

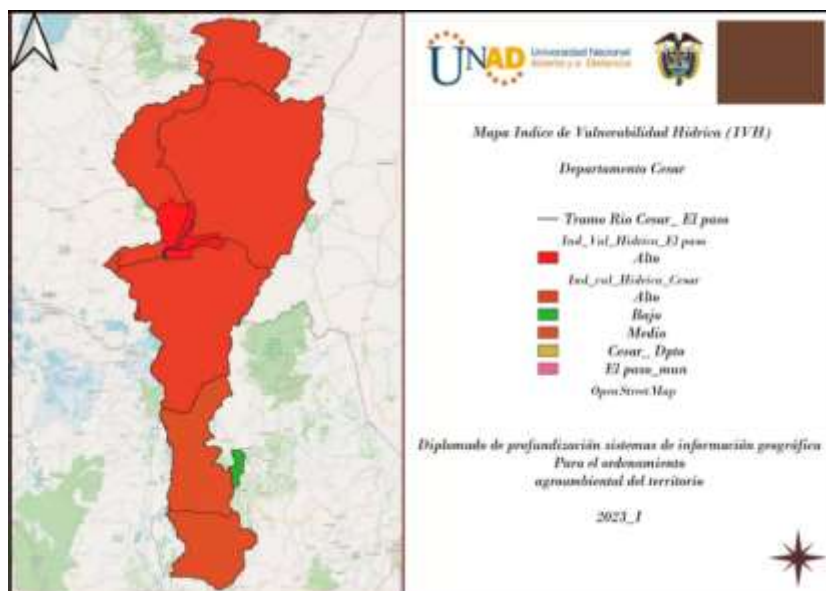
Mapa de contaminantes por actividad Minera en el departamento del Cesar.



Nota: Elaboración propia con base en el área de estudio. QGIS (2023)

Figura 6

Mapa de vulnerabilidad hídrica (IVH) Departamento del Cesar.



Nota: Elaboración propia con base en el área de estudio. QGIS (2023)

## Requerimientos de Hardware y software

### Hardware

**Equipo de cómputo con almacenamiento:** Es indispensable para este tipo de estudios, modelamientos, análisis de datos e información, descargue de información espacial tipo raster y vectorial en la mayoría de los casos contar con un ordenador con buena capacidad de disco duro mínimo de 256 GB ssd y memoria mínima de RAM de 8GB para poder trabajar con buena velocidad y fluidez.

### Software

**Programa para el estudio de información geográfica QGIS:** Es indispensable contar con este programa gratuito de código abierto , para el análisis de datos geospaciales y diseño de geoprosos , se puede descargar a través del sitio oficial de QGIS: <https://download.qgis.org/> es recomendable descargar la versión más estable a largo plazo que es la 3.16 de 32 bits pero si su ordenador cuenta con un almacenamiento alto también se puede trabajar con la versión más reciente de 3.30 de 64 bits. En cuanto a los complementos necesarios estos se descargan dentro del programa pero solo los que se necesite de acuerdo al caso de estudio o problemática para la realización de geoprosos y análisis de datos espaciales como los de tipo satelital entre otros.

**Información cartográfica vectorial :** Se necesitan este tipo de archivos de páginas directas de cartografía nacional las cuales poseen información de datos como en este caso hidrográfico, minería y de drenaje para la recopilación y análisis correcta de la información para proceder a los geoprosos necesarios para el estudio de caso , en estas páginas como IGAC , Colombia en mapas, temaritos, entre otras , poseen la información necesaria para llevar a cabo los estudios necesarios sobre el medio ambiente.

### **Conclusión y recomendaciones**

A partir de la metodología implementada anteriormente en el estudio de este caso se puede concluir que los SIG son muy importantes para los diferentes modelamientos e identificación de las zonas a estudiar y las problemáticas que se están presentando en las regiones como es el caso de la zona por donde pasa el río Cesar y la cual logramos señalar el motivo por el que se está presentando esta situación de contaminación por metales pesados y otras actividades que se realizan en la orilla de esta cuenca hídrica. También que por medio de un modelo de relación entidad pudimos observar todo lo que se presenta y se genera cuando hay una contaminación en una cuenca hídrica como la del río Cesar.

Luego de finalizado esta modelación espacial cabe resaltar la importancia de utilizar las herramientas de los SIG y programas como QGIS, SRTM downloader, páginas de cartografía nacional entre otros adecuados para el modelamiento, se recomienda tener un conocimiento básico en cada uno de ellos para el correcto manejo y modelación de las problemáticas agro ambientales del territorio que se presentan a nivel nacional e internacional.

## Bibliografía

- Matellanes, F. R. (2017) Modelo vectorial y ráster: ventajas y desventajas. Geoinnova.  
<https://geoinnova.org/modelo-vectorial-y-modelo-raster/>
- D, M., & Correa Fernández, J. (s/f). IMPACTO SOCIO-ECONÓMICO DE LA MINERÍA EN EL CESAR, GUAJIRA Y MAGDALENA Socio-economic impact of mining in Cesar, Guairá and Magdalena. Unirioja.es. Recuperado el 18 de mayo de 2023, de  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6857100.pdf> Proyecto: T., & del Impacto Socio, A. (s/f). TRABAJO DE GRADO. Edu.co. Recuperado el 18 de mayo de 2023, de  
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/6503/1/ARTICULO%20ESPEC.PLANEACION%20AMBIENTAL.pdf>
- Gaitán, K. V. (2016, septiembre 7). Plan para descontaminar el río Cesar. Periódico El Campesino – La voz del campo colombiano; ACPO. <https://elcampesino.co/plan-descontaminar-rio-cesar/> Ortega, C., Manco, D., & Rojas, E. (2018). Estudio de la explotación artesanal en el lecho del río Cesar en el sector norte de Guacochito. Revista Agunkuyâa, 8(1), 29–42. <https://doi.org/10.33132/27114260.1233>
- Angulo, H., & Roberto, L. (2020). Modelación de metales pesados en ríos. Uniandes.Pardo, Á. (2011, octubre 17). Cesar: la minería tiene un gran costo social y ambiental. Razón Pública. <https://razonpublica.com/cesar-la-mineria-tiene-un-gran-costo-social-y-ambiental/>
- Vargas, R. (2022). OVI. Modelos de datos: Modelo Conceptual, 22 Físico, Lógico. [Objeto\_virtual\_de\_Informacion\_OVI]. Repositorio Institucional UNAD.  
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/52432>

## Sustentación

Link sustentación: <https://youtu.be/O5IE63x2X3c>