

**IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES DE RIESGO DE  
CONTAMINACIÓN DE AGUA PROVENIENTES DE FUENTES  
SUPERFICIALES DE LOS SISTEMAS RÍOFRÍO Y NEUSA,  
UBICADOS EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA**

*Harold Stevan Fetiva Álvarez  
Jean Carlos Ostos Guzmán  
Nicolas Esteban Veloza Guanumen  
Olga Lucia Borda Prada  
leonardo Di Franco*

Semillero de Investigación – Gestión Sostenible del Agua

Universidad La Gran Colombia  
Facultad de Ingenierías  
Ingeniería Civil

**BOGOTÁ  
2024**

## Resumen

A continuación, se presentan los resultados de un trabajo relacionado con la evaluación de indicadores de riesgo de contaminación en muestras de agua de una importante red de abastecimiento, ubicada en el departamento de Cundinamarca, dicho trabajo, se constituye en aporte relevante a una investigación que se está desarrollando en la Facultad de Ingenierías de la Universidad La Gran Colombia, la cual, tiene por objeto la evaluación de trazas de agroquímicos que por escorrentía podrían afectar la red mencionada.

Inicialmente, se realiza una caracterización de la zona, incluyendo una consulta de los índices de Riesgo de la Calidad del agua entre los años 2019, esto, en el marco de la resolución 2115, seguidamente, se ubicaron los puntos de captación de la red y mediante el uso del software libre QGIS se revelaron ciertas áreas con lo que fue posible realizar una delimitación de las cuencas y una identificación de áreas en cuanto a los atributos agua, arboles, cultivos, área urbana, césped, entre otros. Basados en los resultados, se identifican zonas vulnerables de contaminación por el uso del suelo principalmente y se identifican los puntos de muestreo para la evaluación cuantitativa de los riesgos.

*Palabras clave*

*Riesgo, vulnerabilidad, amenaza, contaminación, uso del suelo, cuenca*

## **Abstract**

The following are the results of a study evaluating contamination risk indicators in water samples from a major supply network located in the department of Cundinamarca. This work constitutes a significant contribution to ongoing research being conducted by the Faculty of Engineering at Universidad La Gran Colombia, which aims to evaluate traces of agrochemicals that could affect the mentioned network through runoff.

Initially, a characterization of the area was performed, including an assessment of the Water Quality Risk Index between the years 2019, within the framework of Resolution 2115. Subsequently, the network's intake points were located, and using the free software QGIS, certain areas were revealed, enabling the delineation of watersheds and the identification of areas based on attributes such as water, trees, crops, urban areas, grass, and others. Based on the results, vulnerable zones for contamination due to land use were identified, and sampling points for quantitative risk evaluation were established.

### *Keywords*

Risk, vulnerability, hazard, contamination, land use, watershed.

## **1. Introducción**

La adecuada gestión del recurso hídrico es fundamental para el abastecimiento de agua segura a las comunidades, esto, desde el punto de vista físico, químico y microbiológico. En este sentido, dicha gestión se relaciona con la evaluación de indicadores de amenaza y vulnerabilidad, con el fin de controlar posibles riesgos a los sistemas de abastecimiento.

En este trabajo, se busca identificar ciertos indicadores de riesgo en una importante red de abastecimiento de agua potable del departamento de Cundinamarca, teniendo en cuenta que según datos suministrados por la Alcaldía de Zipaquirá y empresa prestadora regional, se realizaron inspecciones oculares a la red de captación, identificando amplio uso del suelo caracterizado por cultivos de papa y maíz principalmente, por lo que es necesario evaluar posibles trazas de agroquímicos que por escorrentía pueden impactar de manera negativa la calidad del agua.

En este contexto, mediante la identificación de indicadores de contaminación que se presenta a continuación, es posible priorizar la problemática en las diversas fuentes de captación y, asimismo, identificar los puntos de muestreo para la evaluación del riesgo por posibles niveles de plaguicidas.

### **1.1 Caracterización de la red de abastecimiento**

El sistema de agua potable Río Neusa y Río Frío abastece a la población urbana de Zipaquirá, algunas zonas rurales, y a los municipios de Nemocón y Cogua. El sistema Río Neusa capta agua cruda a través de una toma de agua con una capacidad actual (700 L/s) y la transporta por un canal natural hasta la compuerta del desarenador (caudal total proyectado de 940 L/s). El agua se conduce a la Planta Regional de Zipaquirá, donde se potabiliza mediante

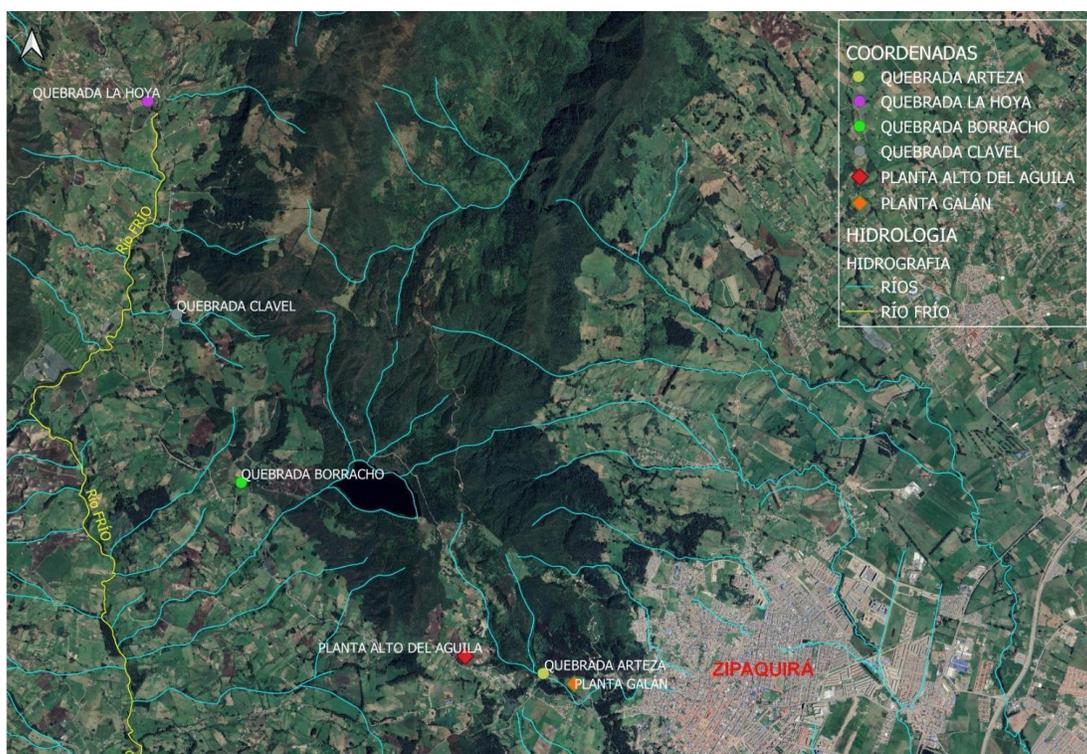
métodos convencionales y se distribuye a la población urbana de Zipaquirá según Empresas Públicas de Zipaquirá (2020).

Se presenta una investigación relacionada con una red de abastecimiento de agua potable ubicada en el departamento de Cundinamarca, la cual abastece alrededor de 270.000 habitantes. Las fuentes de captación se ubican en dos sistemas: Río Frío y Río Neusa.

El primero cuenta con 4 efluentes superficiales de captación, como lo son las quebradas la Hoya, Clavel, Arteza y Borrachero, en este sistema, se encuentran, por último, también cuenta con dos plantas de tratamiento de agua potable: que son la Planta Alto del Águila y Planta Galán. (ver figura 1) A continuación, en la figura 1 se muestran los efluentes mencionados.

### Figura 1.

*Ubicación geográfica Fuentes de abastecimiento del sistema Río Frío, Departamento de Cundinamarca*

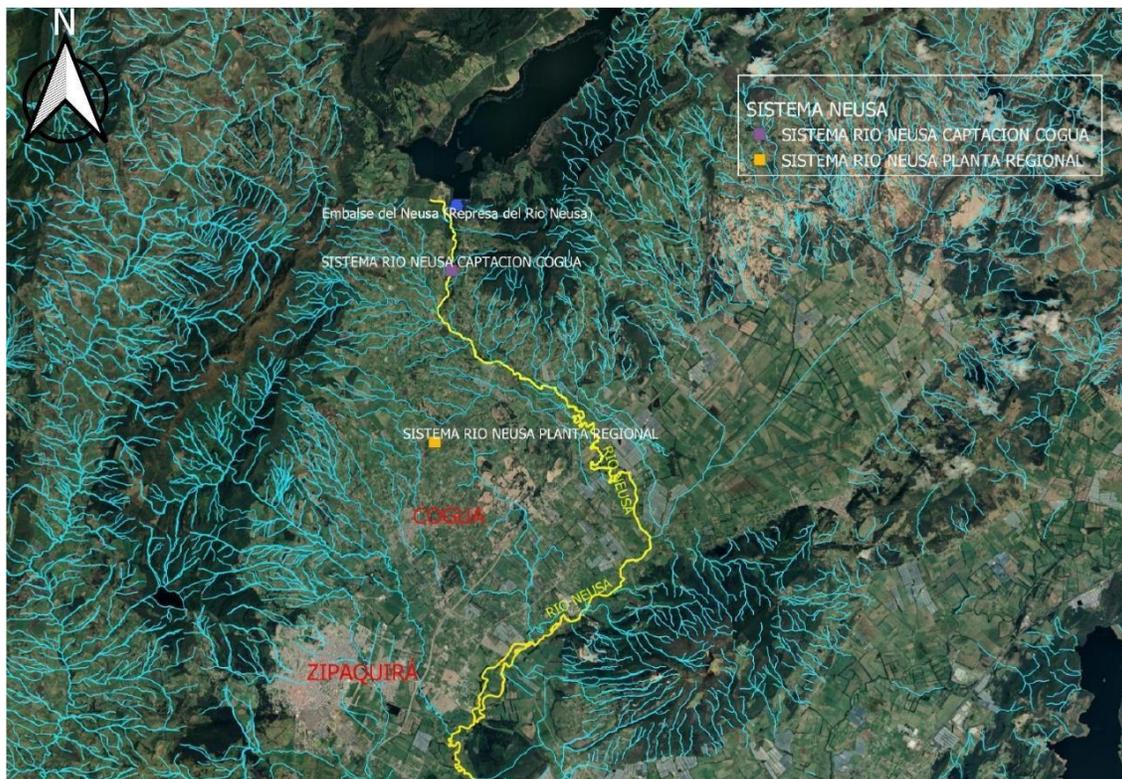


*Nota:* La imagen representa los puntos geográficos de las zonas hídricas de la fuente Río Frío de Qgis. Elaboración propia.

El segundo sistema, (ver figura 2) se abastece por el río Neusa y está conformado por la Planta Regional compacta y convencional, ubicada en el Municipio de Cogua y un punto de captación en el mismo municipio.

### Figura 2

*Ubicación geográfica del sistema Río Neusa*



*Nota:* La imagen representa los puntos geográficos de las zonas hídricas Río Neusa de QGIS. Elaboración propia. En la tabla 1 se puede encontrar las coordenadas de las fuentes de captación de los sistemas Neusa y Río Frío.

Las coordenadas de ubicación de las fuentes de abastecimiento de la red que se muestran en la figura 1 y 2, se presentan en la tabla 1, las cuales se obtuvieron mediante visita de campo.

**Tabla 1.***Cuadro de Coordenadas Fuentes de Abastecimiento*

Fuente	Norte	Oeste
Sistema Río Neusa		
Punto de captación Cogua	5° 7' 19.37	75° 58' 6.12
Planta Regional de Cogua	5° 4' 54.87	73° 58' 19.90
Sistema Río Frío		
Quebrada La Hoya	5° 4' 55.33	73° 3' 22.25
Quebrada Clavel	5° 3' 43.14	73° 3' 12.49
Quebrada Borrachera	5° 2' 46.17	73° 2' 50.70
Quebrada Arteza	5° 1' 41.44	73° 1' 8.40
Planta Galán	5° 1' 37.90	73° 0' 58.25
Planta Alto Del Águila	5° 1' 47.32	73° 1' 35.07

*Nota:* Localización de las diferentes fuentes de abastecimiento de los dos sistemas de captación Río Neusa y Río Frío. Elaboración propia.

Empresas Públicas de Zipaquirá (2020). señala que el sistema Río Frío se inicia en la bocatoma Río Frío (85,18 m<sup>3</sup>) y transporta el agua a través de un desarenador que también recibe agua de la Quebrada La Hoya. El agua se divide en tres partes: 9,3 L/s a la Planta Alto del Águila, una parte al Tanque Zona Alta y Terraplén, y el resto al Tanque El Gringo

En la siguiente tabla 2, se muestran algunas observaciones, basadas en inspecciones oculares mencionadas anteriormente, a las fuentes de agua inspeccionadas por la Alcaldía regional.

**Tabla 2.***Inspección sanitaria de fuentes de agua en Zipaquirá*

Fuente de agua	Ubicación (Bocatoma)	Actividades evidenciadas	Impactos potenciales
Río Frío	Zona boscosa de alta montaña	Ninguna	Ninguno
Quebrada La Arteza	zona boscosa de alta montaña y densa vegetación	Ninguna	Ninguno
Quebrada El Borrachero	zona boscosa de alta montaña y densa vegetación	Ninguna	Ninguno
Quebrada La Hoya	Está ubicado en Zipaquirá en las coordenadas geográficas 5° 4.908'n.74 3.3170	Cultivo de papa	Impactos negativos en la calidad del agua
Quebrada El Clavel	Zona boscosa de alta montaña y densa vegetación	Ninguna	Ninguno

*Nota:* La tabla presenta las fuentes de agua inspeccionadas por el Departamento de Cundinamarca alcaldía municipal de Zipaquirá (2021). Elaboración propia.

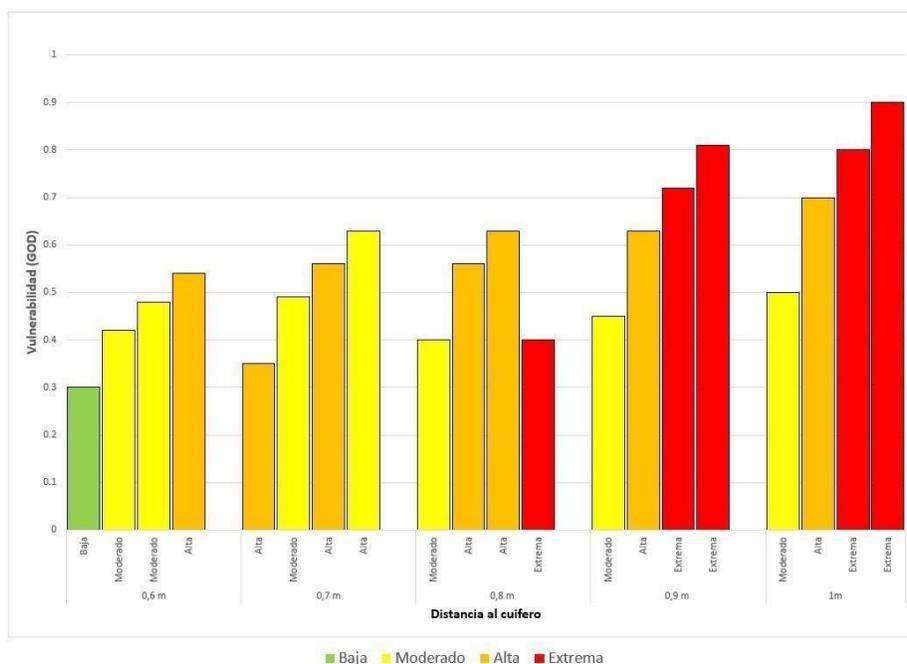
Como podemos observar en la tabla 2 en la Quebrada La Hoya principalmente, debido a la evidente identificación de cultivos de papa en los alrededores de la bocatoma.

### **1.2 Estudios asociados a la gestión del riesgo en la zona**

Además de la caracterización de los sistemas mencionados anteriormente, otros estudios en torno a estos se han relacionado con la evaluación de indicadores de vulnerabilidad, riesgo y amenaza. Borda-Prada et al., (2021), basados en la metodología de GOD cualifican la amenaza del sistema Neusa, determinando los indicadores de los valores de esta con el producto de las respectivas variables, “se generó un mapa de vulnerabilidad el cual dio como resultado una vulnerabilidad moderada y baja lo cual nos indica la capacidad de resistencia de la zona a los efectos de la contaminación, asociada a condiciones geológicas. Si bien este resultado no representa una amenaza, se puede decir que no hay un alto grado de riesgo para las fuentes hídricas superficiales que abastecen del Río Neusa. A continuación, en la gráfica 1 se presentan los resultados de la vulnerabilidad identificada en la cuenca del Río Neusa.

### Gráfica 1.

*Resultados de la Vulnerabilidad con el método GOD - subcuenca del Río Neusa, Departamento de Cundinamarca*



*Nota:* El gráfico de barras presenta los resultados de la Vulnerabilidad con el método GOD, datos obtenidos de Borda-Prada et al., (2021). Elaboración propia

El gráfico presentado analiza la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación, evaluando tres variables: litología, distancia a la zona vulnerable y nivel de riesgo. La mayoría de los datos se ubican en las categorías de vulnerabilidad moderada y alta, sin una relación clara entre la litología y el riesgo.

Adicionalmente, se observa una relación entre la profundidad del acuífero y su vulnerabilidad a la contaminación: a menor profundidad, mayor vulnerabilidad debido a la menor protección contra contaminantes. La mayoría de los datos también se ubican en las categorías moderada y alta de vulnerabilidad en este análisis. Sin embargo, se debe tener en cuenta la profundidad del acuífero siendo un factor que influye en su vulnerabilidad a la contaminación.

### ***1.3 Indicadores de riesgo asociados a la calidad del agua potable - Índices de Riesgo de la Calidad del Agua Potable IRCA - Resolución 2115***

En la gestión de sistemas de abastecimiento, uno de los aspectos cruciales es la evaluación de la calidad del agua potable suministrada a la población. La Resolución 2115, emitida por el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en 2007, establece directrices para el control y la vigilancia de la calidad del agua destinada al consumo humano. Este enfoque, conforme a lo presentado por Rebolledo Camargo (2020), resalta la importancia de considerar la calidad de los productos en los sistemas de abastecimiento, especialmente en el suministro de agua potable.

El Índice de Riesgo de la Calidad del Agua Potable (IRCA) es una herramienta fundamental establecida en la Resolución 2115 para evaluar la calidad del agua. Esta medida se basa en un conjunto de características y parámetros que se analizan periódicamente, lo que se alinea con la necesidad de mantener la calidad del producto a lo largo de la cadena de abastecimiento, como subraya Díaz (2017). La aplicación del IRCA permite una evaluación integral de la calidad del agua, identificando áreas de mejora y estableciendo acciones para garantizar que el agua potable cumpla con los estándares necesarios para el consumo humano. Para el cálculo del IRCA se asignará un puntaje de riesgo apreciado en el artículo 13 de la resolución 2115 del 2007, a cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas que no cumplan con los parámetros y valores máximos aceptables del agua para consumo humano, en la siguiente (Tabla 3.) se muestra el puntaje de riesgo asignado para cada una de las características:

**Tabla 3.**

*Puntajes de Riesgo para la determinación del índice IRCA.*

<b>Característica</b>	<b>Puntaje de riesgo</b>
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Cloro Residual Libre	15
Alcalinidad Tota	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro Total	1.5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes Totales	15
Escherichia Coli	25
<b>Sumatoria de puntajes asignados</b>	<b>100</b>

*Nota:* Índice de calidad del agua para consumo humano, IRCA.(Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial ,2007) Se debe tener en cuenta que el valor del IRCA es cero puntos cuando cumple con los parámetros aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas según la Resolución 2115 del 2007.

En cuanto a los indicadores de riesgo en el agua potable, la resolución 2115 (IRCA) (ver tabla 3) indica que pueden ser geográficos, biológicos y fisicoquímicos. Por ello, es importante tener un registro para evidenciar y evaluar los riesgos con los diferentes indicadores químicos como el pH, potencial redox, turbidez, conductividad, temperatura y coliformes. Estos cambios permiten tener un control de calidad. Es de vital importancia evaluar y analizar los contaminantes de naturaleza química, física y microbiológica en el agua potable, ya que determinan la calidad del agua, su manejo y seguridad para las comunidades. Con este fin, se busca disponer de este recurso natural de manera sostenible y segura, lo cual es posible si se evitan las propagaciones.

**Tabla 3.**

*Indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano.*

***Indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano - Resolución 2115 de 2007***

Indicador	Impacto	Puntaje	Valor Esperado	Descripción
Coliformes totales	Alto	5	Ausencia en 100 ml de muestra	Indica una posible contaminación fecal.
Escherichia coli (E. coli)	Alto	5	Ausencia en 100 ml de muestra	Indica una contaminación fecal reciente y un alto riesgo de enfermedad.
Enterococos fecales	Alto	5	Ausencia en 100 ml de muestra	Indica una posible contaminación fecal y un riesgo de enfermedad.
Clostridium perfringens	Medio	4	Ausencia en 100 ml de muestra	Indica una posible contaminación fecal de origen animal.
Pseudomonas aeruginosa	Medio	4	$\leq 1$ UFC/100 ml de muestra	Indica un deterioro de la calidad del agua y un posible riesgo de infección.
Giardia lamblia	Bajo	3	Ausencia en 100 L de muestra	Indica una posible contaminación fecal y un riesgo de enfermedad gastrointestinal.

Cryptosporidium parvum	Bajo	3	Ausencia en 100 L de muestra	Indica una posible contaminación fecal y un alto riesgo de enfermedad gastrointestinal.
Salmonella spp.	Bajo	3	Ausencia en 100 ml de muestra	Indica una posible contaminación fecal y un riesgo de enfermedad gastrointestinal.
Shigella spp.	Bajo	3	Ausencia en 100 ml de muestra	Indica una posible contaminación fecal y un riesgo de enfermedad gastrointestinal.
Hepatitis A	Bajo	3	Ausencia en 100 L de muestra	Indica una posible contaminación fecal y un riesgo de enfermedad hepática.
Norovirus	Bajo	3	Ausencia en 100 L de muestra	Indica una posible contaminación fecal y un riesgo de enfermedad gastrointestinal.

---

*Nota:* La tabla representa los indicadores de contaminación microbiológica del agua para consumo humano basado en la información y la resolución 2115 del 2007. Elaboración propia.

El componente geográfico es importante para la evaluación de indicadores de riesgo, como la ubicación de las cuencas (latitud, longitud y altitud), que indica la ubicación de las zonas donde se concentra el agua de lluvia, lo que permite predecir posibles riesgos de inundaciones o contaminación de la misma manera podemos definir la pendiente del terreno, nos dice qué tan inclinado está el terreno, y es importante porque influye en cómo fluye el agua y el riesgo de que

ocurran deslizamientos, la delimitación de cuencas define los límites de un área en particular y nos da una idea de cómo se mueve el agua en esa zona, lo que nos ayuda a gestionar mejor el riesgo de problemas relacionados con el agua, los factores biológicos tienen áreas cubiertas de plantas, lo cual es vital para proteger el suelo, filtrar el agua y prevenir la erosión, lo que a su vez reduce los riesgos de inundaciones y contaminación.

En general, este estudio proporcionará datos sobre indicadores de vulnerabilidad y susceptibilidad, útiles para la evaluación de riesgos y la identificación de áreas que requieren un mayor seguimiento. Los resultados obtenidos serán la guía para el planteamiento de nuevas metodologías de pretratamiento y mejora de la calidad del agua proveniente de estas fuentes hídricas. Con esto se busca contribuir de manera sostenible a las comunidades y alcanzar el ODS 6 “agua y saneamiento básico”.

### **Planteamiento del problema**

Este estudio surge de la necesidad de evaluar los riesgos de vulnerabilidad en las fuentes hídricas del área de estudio, considerando el uso del suelo y la posible presencia de contaminantes provenientes de residuos de pesticidas. El objetivo es apoyar a la Empresa Pública de Zipaquirá (EPZ) en la caracterización de estos riesgos para la toma de decisiones sobre la implementación de procesos de pretratamiento nuevos o adicionales.

Para ello, es importante realizar una caracterización de la zona, principalmente enfocada al uso del suelo. La información obtenida permitirá establecer una guía con los cambios y parámetros de riesgo adecuados para el área, considerando las características específicas del suelo, su uso y la presencia de plaguicidas en una obra relacionada. Los resultados del estudio serán de gran utilidad para la EPZ en la toma de decisiones para la protección de las fuentes de agua y la salud pública. Así, surge la siguiente pregunta de investigación.

*¿Qué indicadores de riesgo de contaminación presentan las muestras de agua provenientes de fuentes de captación de los sistemas Río Frío y Neusa, ubicados en el departamento de Cundinamarca?*

## **2. Materiales y métodos**

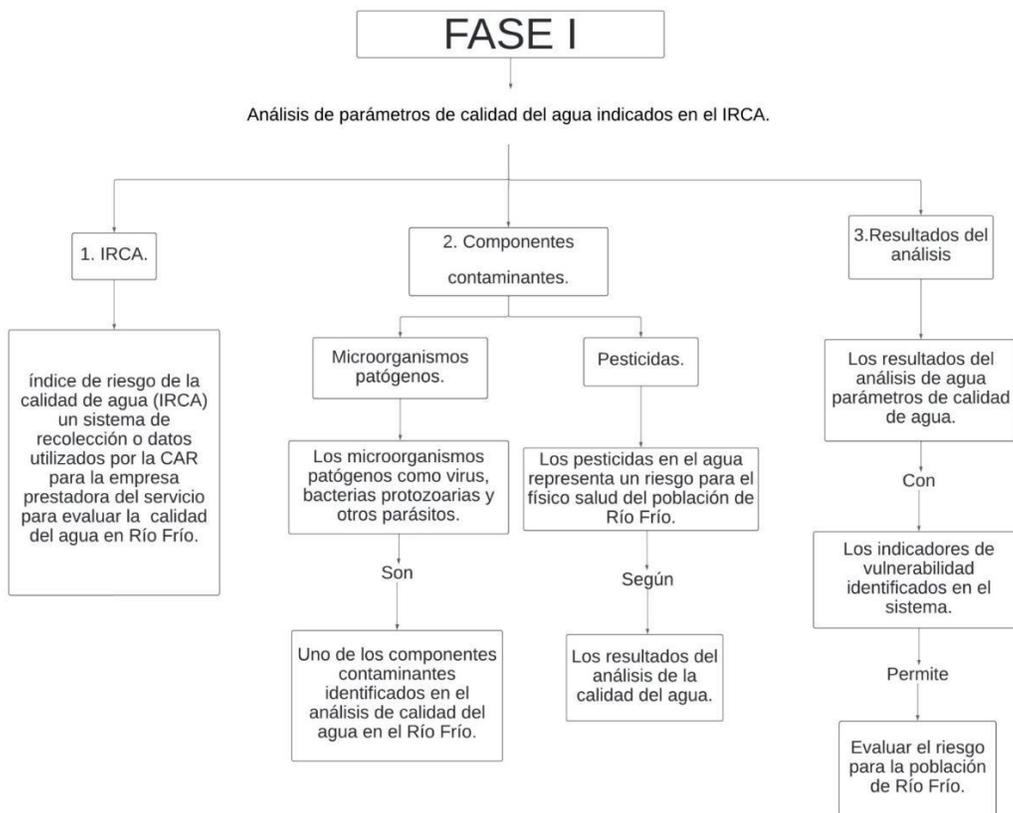
Para cumplir los objetivos del proyecto se presenta una investigación de tipo correlacional y descriptiva, donde se desarrollarán las siguientes fases de investigación, las cuales se describen a continuación.

**Fase 1. Correlación de resultados de análisis de parámetros de calidad del agua indicados en el IRCA.**

Basados en la información reportada al Instituto Nacional de salud, se realiza una recolección de los IRCA reportados, producto de la evasión de parámetros de calidad a las fuentes de abastecimiento de los sistemas río Frío y Neusa. En la figura 3 se describe esta fase.

**Figura 3.**

*Diagrama fase I de investigación.*



Nota: El diagrama representa un esquema para la identificación de parámetros de riesgo de contaminación del agua en cuencas hidrográficas. Elaboración propia.

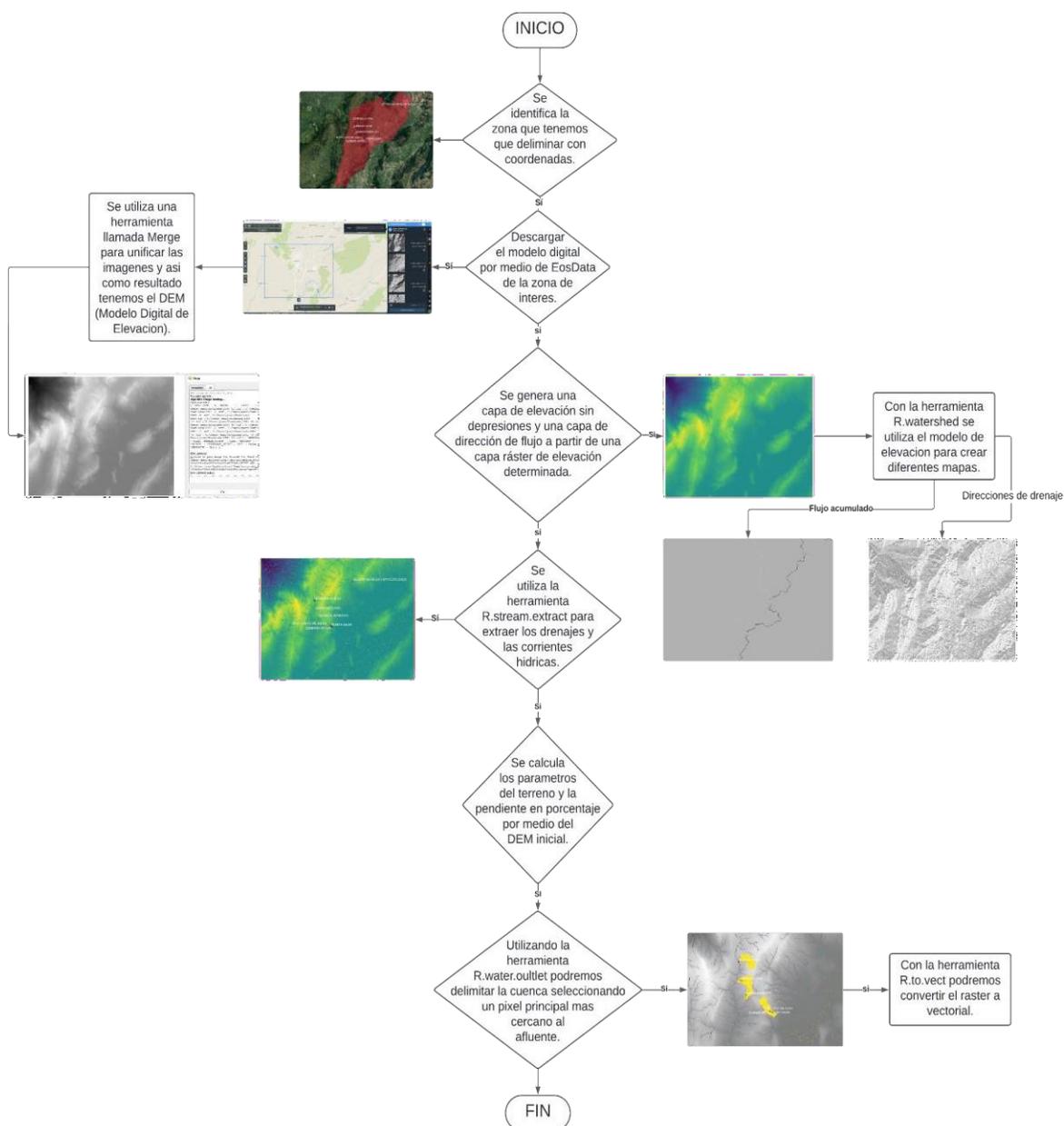
## **Fase 2. Localización y delimitación de las cuencas hidrográficas**

Basados en el levantamiento de las coordenadas de ubicación de los puntos de captación de los sistemas y mediante el uso del software libre QGIS y Google Earth, se realiza basados en el levantamiento de las coordenadas de ubicación de los puntos de captación de los sistemas permitiendo la localización y delimitación de las cuencas hidrográficas, con el fin de revelar las

áreas de ocupación en la red de abastecimiento. A continuación, en la siguiente figura se describe el desarrollo metodológico de esta fase.

**Figura 4.**

*Diagrama: Procedimiento delimitación de cuencas*



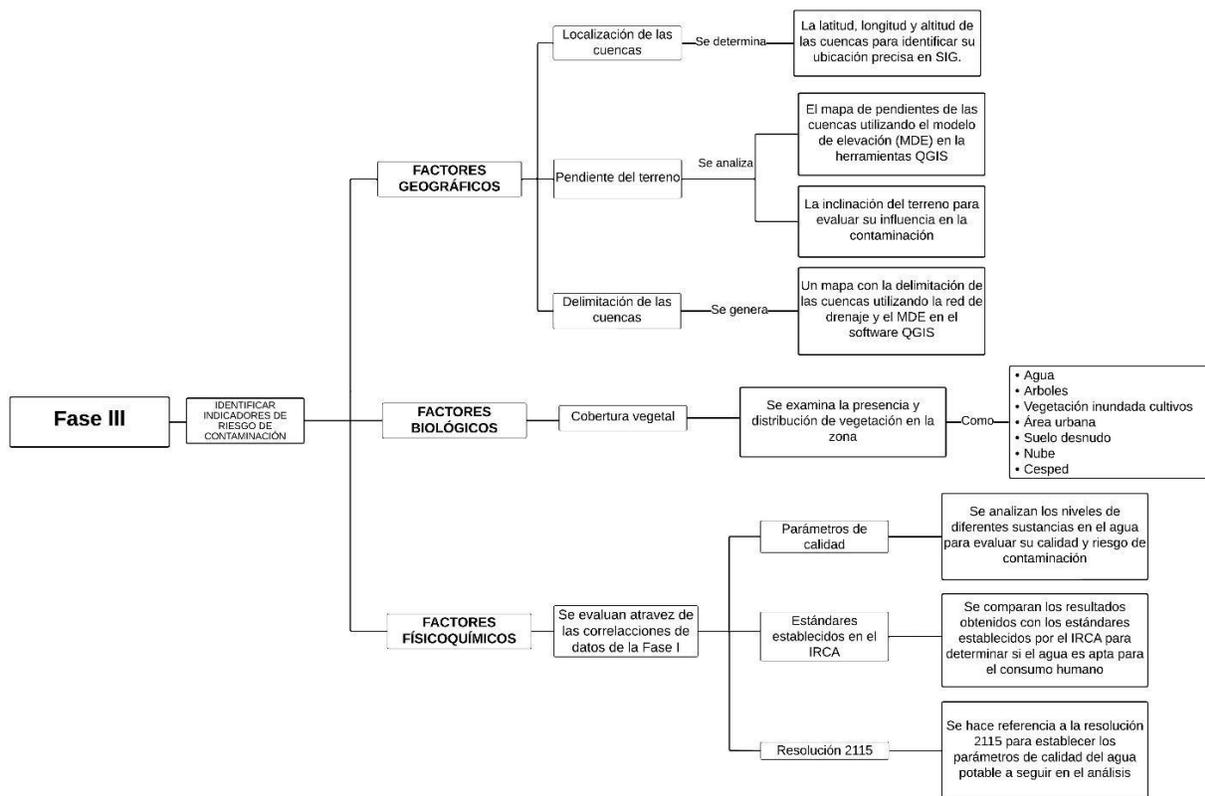
*Nota:* Elaboración propia.

### Fase 3. Identificación de indicadores de riesgo en las fuentes de abastecimiento de los sistemas Río Frío y Neusa.

Teniendo en cuenta la localización y delimitación realizada, se realiza una identificación y valor cuantitativo del área de ocupación de los factores: agua, árboles, vegetación inundada, cultivos, área urbana, suelo desnudo, nube y césped. En la siguiente figura se describen los factores de indicadores mencionados.

**Figura 5.**

*Diagrama fase III de la investigación.*



Nota: El mapa conceptual presenta una metodología para la identificación de indicadores de riesgo de contaminación del agua en cuencas hidrográficas. Elaboración propia.

Basados en la correlación de los resultados, se identifican riesgos de contaminación por el uso del suelo por cada fuente de captación, lo cual se constituye en un referente fundamental para la identificación de puntos de muestreo en la determinación cuantitativa de la posible escorrentía de agroquímicos.

### **3. Resultados**

Los resultados se relacionaron de acuerdo con cada fase de la metodología, siguiendo la lógica de los objetivos de la investigación

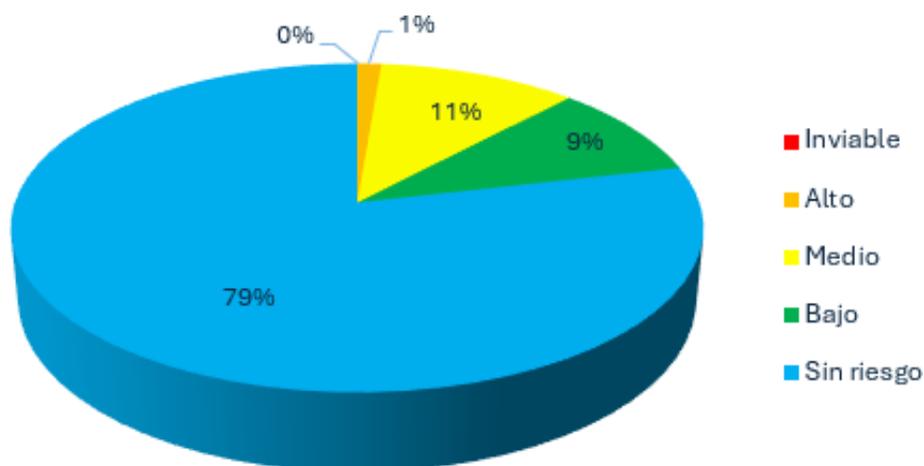
#### **Fase 1. Correlación de resultados de análisis de parámetros de calidad del agua indicados en el IRCA.**

Para esta etapa los datos fueron obtenidos de la base de datos del SIVICAP para los años 2020 hasta 2023 en la zona de estudio, a su vez se revisaron los análisis de los reportes de calidad de agua mensuales y anuales. (Instituto Nacional de Salud, 2024)

Para el 2020-2023 se registraron 612 muestras en el SIVICAP para los municipios de Zipaquirá, Cogua y Nemocón. De estos, el 79% fueron clasificados sin riesgo, el 9% riesgo bajo, 11% riesgo medio, 1% riesgo alto y por último no se encontró agua con un nivel de riesgo inviable en ninguno de los municipios. (Gráfica 2).

## Gráfica 2.

*Porcentaje del nivel de riesgo de la calidad del agua para los municipios Zipaquirá, Cogua y Nemocón, 2020-2023.*



Nota: El gráfico anterior se presenta para lograr evidenciar los porcentajes de cada uno de los niveles de riesgo en base a la contaminación del agua en un periodo de tiempo del 2020 a los 2023 datos obtenidos por medio de SIVICAP. Elaboración propia.

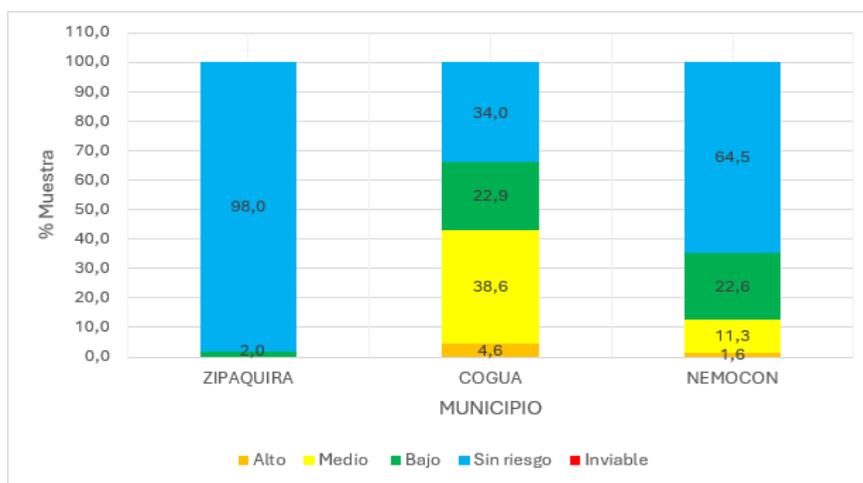
Como podemos observar la Gráfica 2 la calidad del agua en Zipaquirá, Cogua y Nemocón es buena, este resultado es positivo y refleja una buena calidad del agua en general para los municipios con un 79% del agua sin riesgo para el consumo humano, lo cual nos indica que la probabilidad de encontrar agua con niveles de riesgo que representen un peligro para salud es muy baja.

También se observa un bajo porcentaje de riesgo alto e Inviable sanitariamente, lo cual es positivo, Sin embargo, es importante tener en cuenta que existe un 20% de agua con riesgo Bajo y medio. Si bien este porcentaje no representa una amenaza urgente, lo cual sí es importante realizar un seguimiento y tomar medidas para reducirlo.

Se presenta a continuación (Gráfica 3) el porcentaje del nivel riesgo de la calidad del agua para las vigencias 2020 a 2023 por cada uno de los municipios (zona de estudio)

### Gráfica 3.

*Nivel de riesgo de la calidad del agua por municipio (2020-2023).*



Nota: La gráfica representa el riesgo de la calidad del agua por municipio entre el periodo 2020 a 2023 datos obtenidos por el SIVICAP. Elaboración propia.

Podemos evidenciar que en el año 2020 al año 2023 se realizaron un total de 378 muestras analizadas en el municipio de Zipaquirá, las cuales nos arrojaron resultados sin riesgo. En general, la (**Gráfica 3**) muestran que la calidad del agua fue buena en la mayoría de los meses, sin embargo, en el año 2021 en el mes de octubre, 8 muestras analizadas en el municipio cuentan con un nivel de riesgo bajo en la zona estudiada que hace referencia a 2%, se puede evidenciar que se realizó efectivamente el control respectivo para lograr la mitigación del riesgo que se presentó.

En general Zipaquirá tiene la mejor calidad de agua entre los tres municipios, con la mayor proporción de muestras en bajo y sin riesgo.

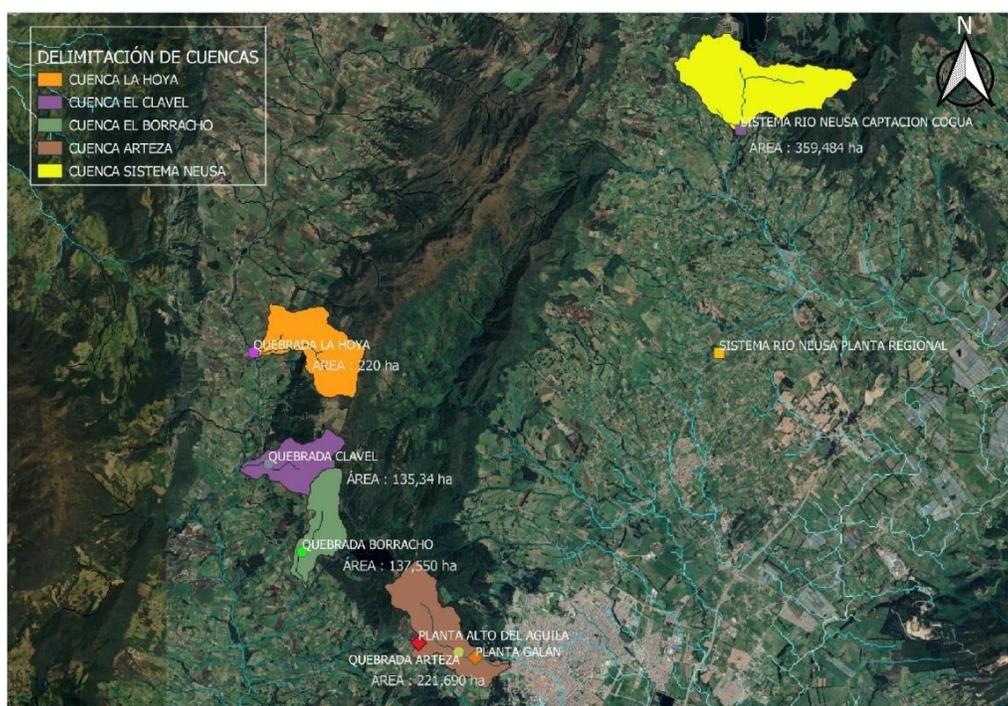
### Fase 2 Localización y delimitación de las cuencas hidrográficas

Para la siguiente fase se utilizó los softwares Google Earth pro y Qgis 3.36.1 versión actual, donde se realizó la delimitación de las 5 microcuencas (Ver figura 5) Sin embargo, debido a la cercanía de algunos puntos de captación del sistema Rio Frio como lo son la planta

del Alto del Águila, Planta Galán y la Quebrada Arteza se interpretaron en una sola microcuenca. El modelo digital de elevación (DEM) que se utilizó para generar dichas microcuencas fue obtenido por EOS Data Analytics.

**Figura 5**

*Delimitación de las cuencas hidrográficas - Red de abastecimiento, Departamento de Cundinamarca*



*Nota:* La imagen representa la delimitación de las microcuencas con su respectiva área de los sistemas Río Frío y Sistema Neusa desarrollado en QGIS. Elaboración propia.

A continuación, en la tabla 4, se puede observar el área en hectáreas de las 5 microcuencas hidrográficas.

**Tabla 4.**

*Tabla correspondiente al área de las cuencas.*

Cuenca	Área (ha)
<b>Río Frío</b>	
Cuenca La Hoya	220,36
Cuenca Clavel	135,344
Cuenca Arteza	221,69
Cuenca el Borracho	137,557
<b>Sistema Neusa</b>	
Sistema Neusa	359,494
Área Total	1074,445

*Nota:* Elaboración propia.

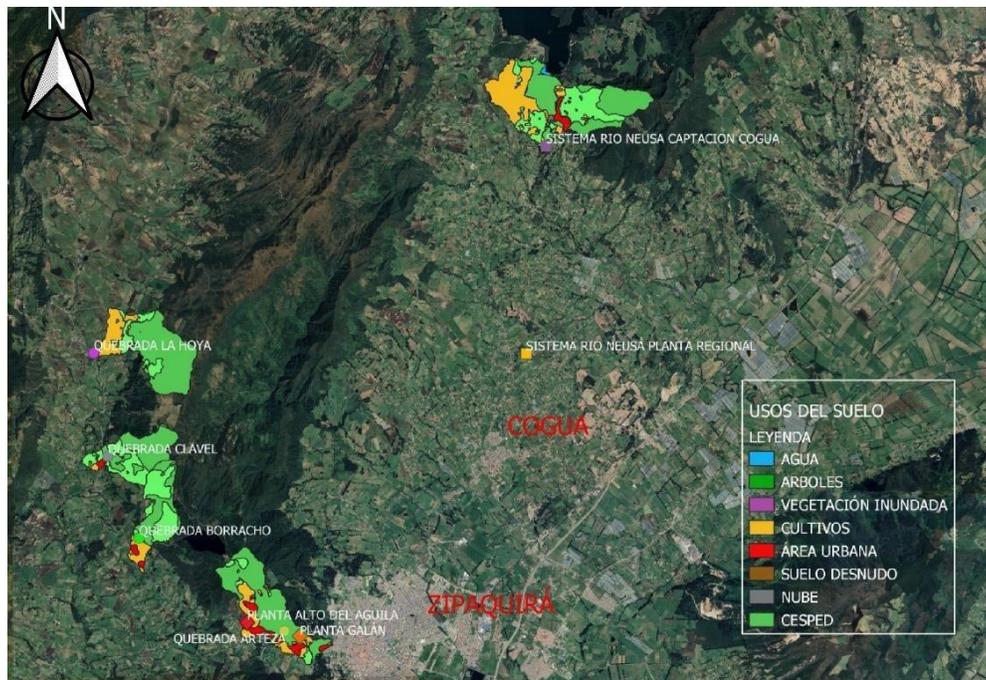
### **FASE 3. Identificación de indicadores de riesgo en las fuentes de abastecimiento de los sistemas Río Frío y Neusa**

#### **3.1 Usos del suelo estimados por microcuencas**

Esta capa muestra un mapa global del suelo/ cobertura del suelo (LULC) de Zipaquirá, Cogua y Nemocón. Derivado de imágenes Sentinel-2 de la ESA del año 2021, el cual fue obtenido por Esri Inc.

**Figura 6**

*Usos del suelo estimados por microcuencas*



*Nota:* La imagen representa los usos del suelo de las zonas hídricas de la fuente Río Frío y Sistema Neusa desarrollado en QGIS. Elaboración propia.

En la siguiente tabla 5, se presenta el área en hectáreas de cada uso del suelo más significativos que pueden afectar en los Sistema Neusa y el Sistema Río Frío, la información fue adquirida por medio de QGIS donde se clasificó los diferentes usos del suelo más relevantes por microcuencas como lo son la cobertura de árboles, cultivos y césped. A continuación, en la tabla 5, podemos ver en hectáreas la composición del uso del suelo de cada microcuenca.

**Tabla 5.**

*Hectáreas por cada uso del suelo estimados por microcuencas*

Cuenca	Uso del suelo			Área (ha)
	Árboles	Cultivos	Césped	
Rio Frío				
Cuenca La Hoya	151,994	39,092	29,199	220,285
Cuenca Clavel	80,735	3,009	48,496	132,24
Cuenca Arteza	144,186	40,194	14,25	198,63
Cuenca el Borracho	50,41	16,041	66,767	133,218
Sistema Neusa				
Cuenca Sistema Neusa	147,707	99,135	96,248	343,09
Área Total	575,032	197,471	254,96	1027,463

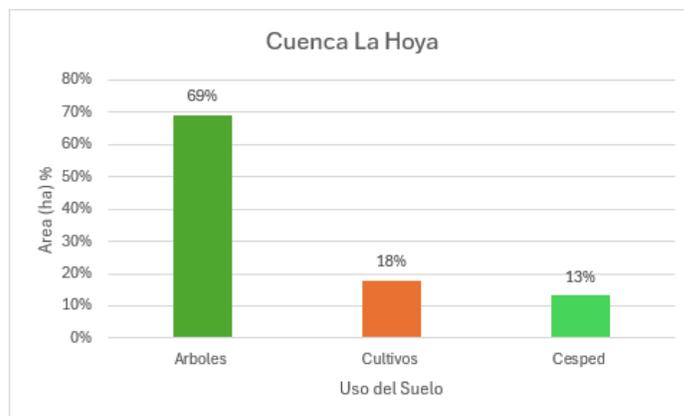
*Nota:* Elaboración propia.

En las siguientes gráficas se muestra el área correspondiente a cada una de las quebradas que conforman el sistema Río Frío, así como el sistema Neusa. En cada una de las gráficas se tuvo en cuenta los usos del suelo correspondientes a la agricultura, cultivos y el césped, para realizar una estimación y lograr evidenciar cuál es el porcentaje mayor y el menor en cada una de las gráficas, con respecto al área de cada una de las cuencas dependiendo del uso del suelo que estas puedan tener como se muestra en las siguientes gráficas.

En la Gráfica 4, correspondiente a la cuenca La Hoya, el área con mayor uso del suelo se destaca significativamente en la zonificación de árboles, representando un total de 69%. Este dato constituye el mayor porcentaje en la cuenca. Seguidamente, se encuentran los cultivos, con un 18%, evidenciados en color naranja, y finalmente, el césped con un 13% del total de la utilización del suelo en la cuenca La Hoya, como se muestra en la siguiente gráfica.

### Gráfica 4

*Uso del suelo por porcentaje cuenca La Hoya.*

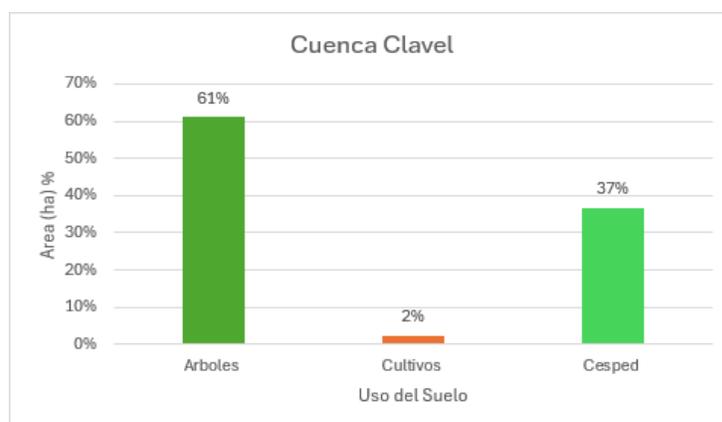


Nota: Elaboración propia.

En la cuenca del clavel, sobresale el área con mayor uso del suelo destacándose notablemente en su uso significativamente en la zonificación de árboles, representando un total de 61%. Este dato constituye el mayor porcentaje en la cuenca. Seguidamente, se encuentra el césped, con un 37%, evidenciados en color naranja, y finalmente, los cultivos con un 2% del total de la utilización del suelo en la cuenca del Clavel, como se muestra en la siguiente gráfica.

### Gráfica 5

*Uso del suelo por porcentaje cuenca Clavel.*

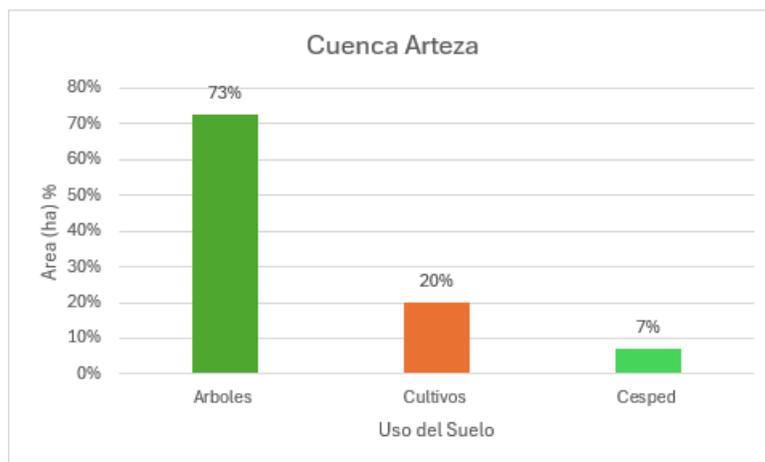


Nota: Elaboración propia.

La cuenca Arteza correspondiente a la gráfica 6 en la que se evidencia notablemente el predominio del uso del suelo para la zonificación, el área con mayor uso del suelo se destaca significativamente en la zonificación de árboles, representando un total de 73%. Este dato constituye el mayor porcentaje en la cuenca. Seguidamente, se encuentran los cultivos, con un 20%, evidenciados en color naranja, y finalmente, el césped con un 7% del total de la utilización del suelo en la cuenca Arteza, como se muestra en la siguiente gráfica.

### Gráfica 6

*Uso del suelo por porcentaje cuenca Arteza.*

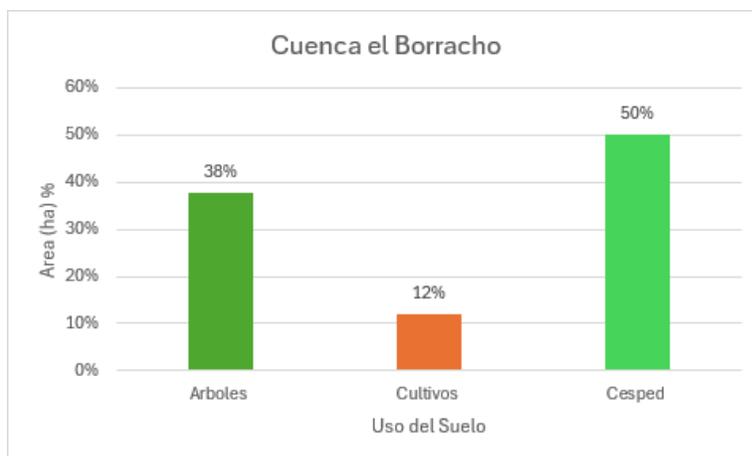


Nota: Elaboración propia.

En la Gráfica 7, correspondiente a la cuenca del borracho, el área con mayor uso del suelo se destaca significativamente en la zonificación de césped, representando un total de 50%. Este dato constituye el mayor porcentaje en la cuenca. Seguidamente, se encuentran los árboles, con un 38%, evidenciados en color verde oscuro, y finalmente, los cultivos con un 12% del total de la utilización del suelo en la cuenca Arteza, como se muestra en la siguiente gráfica.

## Gráfica 7

*Uso del suelo por porcentaje cuenca el Borracho.*

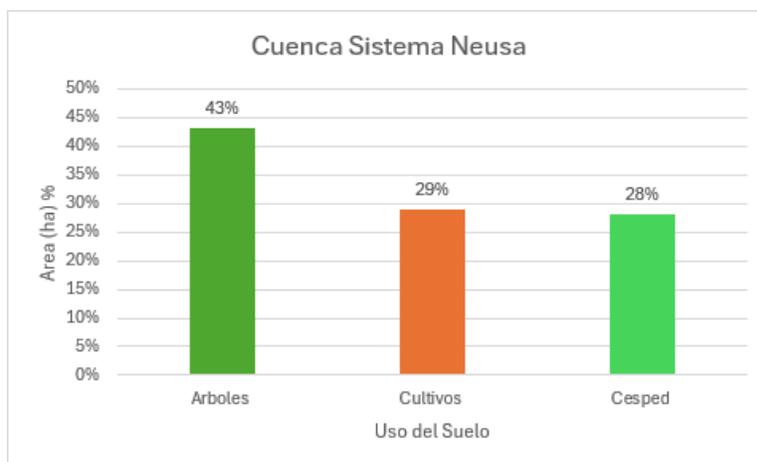


Nota: Elaboración propia.

En la cuenca del sistema Neusa, sobresale el área con mayor uso del suelo destacándose notablemente en su uso significativamente en la zonificación de árboles, representando un total de 43%. Este dato constituye el mayor porcentaje en la cuenca. Seguidamente, se encuentran los cultivos, con un 29%, evidenciados en color naranja, y finalmente, el césped con un 28% del total de la utilización del suelo en la cuenca del sistema Neusa, como se muestra en la siguiente gráfica.

## Gráfica 8

*Uso del suelo por porcentaje cuenca Sistema Neusa.*



Nota: Elaboración propia.

Para los datos obtenidos y proporcionados, la cuenca con mayor área de utilización del suelo destinada a árboles es la cuenca Arteza, representando un 73% de su área total. Esta proporción es significativa en este territorio, ya que está cubierta por bosques y vegetación arbórea. Por lo tanto, en esta cuenca se destaca la importancia de la conservación y el manejo sostenible de los recursos. En la cuenca Clavel, el uso del suelo es completamente diferente, con una mayor área dedicada al césped, representando un 37% en comparación con el espacio destinado a los árboles, que constituye un 61%. Se evidencia una distribución diversa en la cuenca Clavel, donde la vegetación y el césped son predominantes. Por otro lado, las cuencas Clavel y La Hoya tienen un alto porcentaje de vegetación, con un 69% y un 61% respectivamente, en comparación con la cuenca del Borracho y el Sistema Neusa, que tienen porcentajes más bajos para el uso del suelo con árboles, con un 38% y un 43%. Esto refleja diferentes variaciones en los usos de la cuenca, evidenciando las diferentes utilidades en la gestión del territorio en cada área de cada una de las cuencas.

En cuanto a los datos proporcionados para los cultivos, la distribución varía entre las cuencas. La cuenca con mayor utilización e implementación de cultivos es la cuenca del Sistema Neusa, que representa un 29% del uso del suelo destinado a cultivos, debido a condiciones favorables y prácticas intensivas. Las cuencas con menores porcentajes en estos usos del suelo son La Hoya, con un 18%, Arteza, con un 20%, y finalmente, el Borracho, con un 12%. La cuenca con menor utilización del suelo para los cultivos es la cuenca del Clavel, con un 2%, en relación con las otras cuencas, debido a diferentes condiciones ambientales.

La utilización del suelo para el césped es notable en la cuenca del Borracho, representando el 50% de la totalidad del área de la cuenca, lo cual es bastante representativo debido a que son áreas de esparcimiento. En la cuenca Clavel, el uso del suelo para la categoría del césped es del 37%, menor que en la cuenca del Borracho pero mayor en contraste con La Hoya, Arteza y Sistema Neusa, con usos del suelo del 12%, 7% y 28% respectivamente, mucho menor en comparación con las áreas de la cuenca del Borracho y el Clavel, lo que refleja diferencias en la planificación rural y las preferencias del uso del suelo.

### **Conclusiones**

En general, la calidad del agua en Zipaquirá, Cogua y Nemocón es buena, con un 79% del agua sin riesgo para el consumo humano. Sin embargo, es importante destacar que existe un 20% de agua con riesgo bajo y medio, lo que indica que aún hay margen para mejorar.

Zipaquirá presenta la mejor calidad de agua entre los tres municipios, mientras que Nemocón tiene la calidad más baja. Es crucial continuar con el monitoreo de la calidad del agua en los tres municipios e implementar medidas para reducir el riesgo de contaminación, como programas de educación ambiental, mejoras en el tratamiento de aguas residuales, control de

actividades contaminantes de pesticidas y reforestación. Con estas acciones, podemos asegurar que la calidad del agua en el municipio se mantenga en el futuro.

Basados en la información existente de la Fase II y III, se puede decir que la cuenca con mayor uso del suelo en cultivos es el sistema Neusa, se evidencio que la cuenca tiene un área correspondiente a 343.09 hectáreas que se conforma por tres tipos de uso del suelo, el más importante es la conservación de árboles y vegetación con un área de 147.707 ha correspondiente al 43% del total de la cuenca , también se evidenció que el indicador de riesgo más alto con un 29% en los cultivos que se han implementado en la cuenca están provocando que se utilicen agroquímicos en estos suelos agrícolas. Es importante continuar monitoreando el uso del suelo en la microcuenca para evaluar el impacto de las acciones que se implementen.

Sin embargo, se encuentra la cuenca de La Hoya, con un área de 220.285 hectáreas presenta los usos del suelo con relación a actividades agrícolas específicamente los cultivos de papa, lo cual podría afectar y alterar las propiedades del agua, con la presencia de agroquímicos ya que se encuentra cerca al punto de captación del sistema Río Frío.

Se evidenció que, en las cuencas del Clavel, Borracho y Arteza dónde el uso del suelo es considerablemente mucho menor para el desarrollo de cultivos, lo cual no representa una amenaza urgente, por lo tanto, es importante realizar un seguimiento en la cuenca del sistema del Río Neusa, debido al gran cambio del uso del suelo y su posible incremento de la escorrentía de los agroquímicos en la zona.

La información obtenida a partir de datos satelitales ayuda a establecer una descripción integral de la delimitación y el uso de recursos en la región delimitada basada en estudios de suelos de las diferentes cuencas.

Esto es esencial para identificar patrones de expansión y evaluar la efectividad proporcionando datos detallados sobre la distribución y el uso de la tierra dentro del área de captación. Es vital para proteger los espacios verdes y la calidad del agua, además, el seguimiento continuo mediante imágenes satelitales que puede ayudar a la detección de cambios imprevistos en las zonas de cultivos.

Esta información es esencial para una mejor comprensión de los cambios en el uso de la tierra que ocurren a lo largo del tiempo y para identificar áreas donde es crucial conservar el uso de la tierra y proteger la cuenca, también proporciona información vital para mejorar la planificación agrícola mediante la localización de áreas adecuadas para un mayor desarrollo de la agricultura sostenible o la conversión de tierras degradadas que han sufrido un cambio de uso. Es extremadamente importante monitorear cómo los cambios en el uso de la tierra afectan las propiedades hídricas, ya que esto es esencial para identificar y mitigar los riesgos causados.

### **Lista de Referencia o Bibliografía**

Ayala Ramírez, S., Reinoso González, W. A., Calderón Rivera, D. S., Jaramillo Londoño, Á. M.,

Mesa Fernández, D. J. (2019). Determinación de la calidad del agua del río Frío

(Cundinamarca, Colombia) a partir de macroinvertebrados bentónicos. *Avances*, 16(1).

<https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5191>

Banco Mundial. (2020, septiembre 2). Colombia: rica en agua, pero con sed de inversiones.

Banco Mundial. Retrieved Octubre 15, 2023,

<https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2020/09/02/colombia-water-security>

Borda-Prada , O. L., Moreno-Merchán , A. C., y Guerrero-Rodríguez, A. F. (2021).

Caracterización de los factores de amenaza y vulnerabilidad en la subcuenca del río

Neusa, departamento de Cundinamarca, Colombia. Revista Vínculos, 18(2).

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/vinculos/article/view/19710>

Car, R. (2006). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá.

Gov.co.[https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T\\_NORMA\\_ARCHIVO&p\\_NORMFIL\\_ID=305&f\\_NORMFIL\\_FILE=X&inputfileext=NORMFIL\\_FILENAME](https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T_NORMA_ARCHIVO&p_NORMFIL_ID=305&f_NORMFIL_FILE=X&inputfileext=NORMFIL_FILENAME)

Departamento de Cundinamarca alcaldía municipal de Zipaquirá (2021). Resultado de la

actualización de mapas de riesgo en las fuentes abastecedoras planta galán y alto del

águila.<https://drive.google.com/drive/search?q=owner:OLGA.BORDA%40ugc.edu.co>

Díaz, C. A. (2017). Gestión de la Cadena de Abastecimiento. Fundación Universitaria del Área

Andina. <https://core.ac.uk/download/pdf/326426087.pdf>

Instituto Nacional de Salud. (2024). SIVICAP. Obtenido de

<http://www.ins.gov.co/sivicap/Paginas/sivicap.aspx>

Ministerio de ambiente, V. y. D. T. (2007). Resolución 2115.

<https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>

Rebolledo Camargo, S. M. (2020). Generalidades e Introducción A Los Sistemas de

Abastecimiento. <https://es.scribd.com/document/467577628/1-GENERALIDADES-E-INTRODUCCION-A-LOS-SISTEMAS-DE-ABASTECIMIENTO-pdf>

Empresas Públicas de Zipaquirá (2020). Sistema de Suministro de agua potable. Disponible en:

<https://lc.cx/axQNNU>