



**Caracterización hidroclimática, morfométrica y oferta hídrica de La Microcuenca La Vega  
Redonda, Vereda Guamito, Municipio de El Peñol Antioquia Año 2023-2024**

Angie Paola Gallo García  
Jessica Rafaela Zapata Marín

Trabajo de grado presentado para optar al título de Administrador Ambiental y Sanitario

Asesor  
Aurelio Gómez González, Magíster (MSc) en Ingeniería Ambiental

Universidad de Antioquia  
Facultad Nacional de Salud Pública Héctor Abad Gómez  
Administración Ambiental y Sanitaria  
El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia

2024

---

<b>Cita</b>	(Gallo García & Zapata Marín, 2024)
<b>Referencia</b>	Gallo García, A. P. & Zapata Marín, J. R. (2024). <i>Caracterización Hidro climática, Morfométrica Y Oferta Hídrica De La Microcuenca La Vega Redonda, Vereda Guamito, Municipio De El Peñol Antioquia Año 2023-2024</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, El Carmen de Viboral, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	

---



Seleccione posgrado UdeA (A-Z), Cohorte Seleccione cohorte posgrado.

Grupo de Investigación Seleccione grupo de investigación UdeA (A-Z).

Seleccione centro de investigación UdeA (A-Z).



Biblioteca Seccional Oriente (El Carmen de Viboral)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Dedicamos este trabajo de grado a nuestras familias, por su amor incondicional y su apoyo constante. A nuestros padres, por enseñarnos el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A nuestros amigos y parejas, quienes con su compañía y ánimo hicieron más llevadero este camino.

Y finalmente, a Dios, cuya presencia y bendiciones nos dieron la fuerza y la motivación para superar cada obstáculo. "Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jesús tu Dios estará contigo." Josué 1:9

## **Agradecimientos**

A lo largo de este proceso de investigación y elaboración de nuestro trabajo de grado, hemos contado con el valioso apoyo y guía de muchas personas, a quienes queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento.

En primer lugar, agradecemos sinceramente a nuestro asesor de trabajo de grado, Aurelio Gómez González, quien nos guió y acompañó durante todo este proceso. Su orientación, paciencia y conocimientos fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de este proyecto.

Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a todas las demás personas que aportaron su conocimiento y tiempo para llevar a un feliz término este proceso.

---

**Tabla de contenido**

Resumen .....	11
Abstract .....	12
Introducción .....	13
1. Contexto Internacional y Nacional. ....	15
2. Planteamiento del Problema .....	17
3. Modelo de Fuerzas Motrices.....	20
3.1. Fuerzas motrices.....	20
3.2. Presión.....	21
3.3. Estado .....	21
3.4. Exposición.....	21
3.5. Efecto .....	22
3.6. Acciones .....	22
4. Justificación .....	24
5. Objetivos.....	26
5.1. Objetivo general: .....	26
5.2. Objetivos específicos: .....	26
6. Marcos de referencia.....	27
6.1. Marco teórico .....	27
6.2. Marco legal - Normativo .....	33
6.3. Marco institucional - geográfico .....	34
7. Metodología.....	36
7.1. Criterios de inclusión: .....	37
7.2. Criterios de exclusión:.....	38

---

7.3.	Listado de variables o categorías de análisis:.....	38
8.	Aspectos.....	43
8.1.	Aspectos éticos.....	43
8.2.	Aspectos Administrativos .....	43
9.	Información Disponible y Procesamiento.....	47
10.	Información disponible del Acueducto Guanito (ASODUCTO).....	50
11.	Características Morfométricas de las Microcuencas .....	57
12.	Caracterización Geológica de la Zona de Estudio .....	64
12.1.	Unidades litológicas regionales.....	64
12.2.	Neis de las peñas (Knpe).....	65
12.3.	Batolito Antioqueño (K2ta).....	66
12.4.	Granito de montaña (K2cm).....	67
12.5.	Materiales geológicos superficiales.....	67
13.	Caracterización Climática .....	69
13.1.	Datos Climáticos Medios De La Estación.....	69
14.	Estimación de caudal medio y caudales mínimos .....	72
14.1.	Caudal medio.....	72
15.	Caudales Mínimos.....	74
16.	Balance Hídrico.....	76
17.	Aforo Fuente Hídrica .....	80
18.	Análisis de afloros .....	82
18.1.1.	Afloros.....	82
18.1.2.	Caudales de base .....	82
19.	Demanda.....	84

---

19.1.	Análisis de la demanda.....	84
20.	Calidad del agua.....	86
21.	Discusión y Análisis Integrado.....	87
22.	Conclusiones.....	89
23.	Recomendaciones.....	93
24.	Observaciones.....	95
	Referencias bibliográficas.....	97

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1</b> Estaciones Hidrometeorológicas tenidas en cuenta para el estudio. ....	47
<b>Tabla 2</b> Clasificación índice de compacidad. ....	58
<b>Tabla 3</b> Clasificación Factor de Forma. ....	59
<b>Tabla 4</b> Pendiente Media De La Microcuenca. ....	60
<b>Tabla 5</b> <i>Resumen de características fisiográficas.</i> ....	63
<b>Tabla 6</b> <i>Caudales medios.</i> ....	73
<b>Tabla 7</b> <i>Parámetros para caudales mínimos.</i> ....	74
<b>Tabla 8</b> <i>Resultado de proyecciones Q. mínimos La Vega Redonda.</i> ....	75
<b>Tabla 9</b> <i>Resultado del Balance hídrico. PENMAN.</i> ....	78
<b>Tabla 10</b> <i>Aforo N°10 bocatoma, Vega Redonda. Ver anexo 4</i> .....	80
<b>Tabla 11</b> <i>Resumen de Aforos.</i> ....	80
<b>Tabla 12</b> <i>Caudales de base.</i> .....	83
<b>Tabla 13</b> <i>Cálculo de demanda.</i> .....	84

**Lista de figuras**

<b>Figura 1</b> Mapa de uso de suelos, zona de estudio. ....	37
<b>Figura 2</b> Localización de la zona de estudio. ....	47
<b>Figura 3</b> Ubicación de las estaciones de influencia de la zona de estudio. ....	48
<b>Figura 4</b> Panorámica microcuenca La Vega Redonda. ....	49
<b>Figura 5</b> Panorámica microcuenca La Cabezona. ....	49
<b>Figura 6</b> Bocatoma. ....	51
<b>Figura 7</b> Fuente Hídrica La Vega Redonda. Detalle del cauce en la zona de captación.....	51
<b>Figura 8</b> Desarenador. ....	52
<b>Figura 9</b> Planta de tratamiento de agua potable. ....	53
<b>Figura 10</b> <i>Filtración</i> . ....	54
<b>Figura 11</b> <i>Desinfección</i> ....	54
<b>Figura 12</b> <i>Tanque de almacenamiento</i> ....	55
<b>Figura 13</b> <i>Trazado de cuencas</i> ....	57
<b>Figura 14</b> <i>Curva Hipsométrica de la quebrada La Vega Redonda</i> .....	61
<b>Figura 15</b> <i>Curva Hipsométrica de la quebrada La Cabezona</i> . ....	61
<b>Figura 16</b> <i>Geología Regional del área de estudio. Tomado y modificado de: (SGC, 2016). Ver anexo 3</i> .....	65
<b>Figura 17</b> <i>Sedimentos grueso-granulares de la quebrada. Ver anexo 3</i> .....	68
<b>Figura 18</b> <i>Humedad Relativa en la estación El Peñol</i> .....	69
<b>Figura 19</b> <i>Temperatura Media en la estación El Peñol</i> . ....	69
<b>Figura 20</b> <i>Brillo Solar en la estación El Peñol EPM</i> . ....	70
<b>Figura 21</b> <i>Brillo Solar en la estación El Peñol EPM</i> . ....	70
<b>Figura 22</b> <i>Evaporación en la estación El Peñol EPM</i> . ....	71



---

<b>Figura 23</b> <i>Precipitación mensual en la estación El Peñol</i> .....	71
<b>Figura 24</b> <i>Grafico de aforos.</i> .....	81
<b>Figura 25</b> <i>Gráfico de caudales de base.</i> .....	83
<b>Figura 26</b> <i>Vista en planta de la microcuenca.</i> .....	88
<b>Figura 27</b> <i>Parte alta de la microcuenca.</i> .....	88
<b>Figura 28</b> <i>Parte intermedia de la microcuenca.</i> .....	88
<b>Figura 29</b> <i>Parte baja de la microcuenca.</i> .....	88

---

**Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>UNESCO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
<b>PNUMA</b>	El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>ODS</b>	Objetivos de Desarrollo Sostenible
<b>JICA</b>	Agencia de Cooperación Internacional de Japón
<b>CEPAL</b>	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
<b>PBOT</b>	Plan Básico de Ordenamiento Territorial
<b>IDEAM</b>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<b>mm</b>	milímetros
<b>GIRH</b>	Gestión Integral del Recurso Hídrico
<b>PMAM</b>	Plan de Manejo Ambiental de Microcuencas
<b>ASODUCTO</b>	La Asociación de Usuarios Acueducto Guamito
<b>IGAC</b>	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
<b>EPM</b>	Empresas Públicas de Medellín
<b>PVC</b>	Policloruro de Vinilo
<b>UNAL</b>	Universidad Nacional de Colombia
<b>Kc</b>	Índice de compacidad
<b>Kf</b>	Factor de Forma
<b>APA</b>	American Psychological Association
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia

## Resumen

El presente estudio se enfoca en realizar un diagnóstico de la fuente hídrica La Vega Redonda, específicamente en el punto de captación del acueducto de la vereda Guamito, municipio de El Peñol, Antioquia. El objetivo general es determinar si esta fuente es adecuada para el abastecimiento actual y futuro. Para ello, se incluyen el análisis de la disponibilidad de agua, capacidad de la fuente, y la caracterización de la calidad del agua en parámetros físico-químicos relevantes.

La metodología propuesta abarca un enfoque combinado de métodos cualitativos y cuantitativos. Se realizarán análisis de muestra de agua utilizando elementos estandarizados y protocolos para garantizar la integridad de la misma.

En los resultados se podrá ver los aforos realizados que muestran una disminución progresiva del caudal a lo largo del tiempo, con una notable reducción desde julio de 2023 hasta marzo de 2024. Finalmente, este estudio ofrece una visión integral de la situación hídrica en la zona de estudio, destacando la necesidad de abordar los desafíos relacionados con la disponibilidad y calidad del agua para garantizar un suministro adecuado a la población atendida por el Acueducto Guamito.

*Palabras clave:* Fuente hídrica, oferta hídrica, acuífero, calidad del agua, fenómeno del niño, acueducto.

**Abstract**

**Abstract:**

Les dejo el abstract con la revisión de la gramática en inglés:

The present study focuses on diagnosing the Vega Redonda water source, specifically the water supply system in the Guamito district, municipality of El Peñol, Antioquia. The objective is to determine whether the water source is adequate for current and future supply. For this, the present study analyzes water availability and quality characterization under relevant physical-chemical parameters. The proposed methodology encompasses a combined approach of qualitative and quantitative methods. Water sample analyses will be performed using standardized elements and protocols to ensure water integrity. The results show that the gauges performed show a progressive decrease in flow over time, with a notable reduction from July 2023 to March 2024. Finally, this study offers a comprehensive view of the water situation in the study area, emphasizing the urgent need to address challenges related to the availability and quality of water. This is crucial to ensure an adequate supply to the population served by the Aqueduct Guamito.

Keywords: Water source, water supply, water quality, El Niño System, rural water supply systems.

## Introducción

La conservación de microcuencas y fuentes hídricas es esencial para garantizar el suministro de agua dulce, regular el clima y preservar la biodiversidad. En este contexto, el presente estudio se centra en analizar la microcuenca La Vega Redonda, ubicada en la vereda Guamito del municipio de El Peñol, Antioquia, Colombia.

La preocupación por la degradación de microcuencas y la escasez de agua es global, especialmente en regiones vulnerables a sequías y desertificación. En la microcuenca La Vega Redonda, la actividad humana y la deforestación en la zona alta plantean desafíos para la calidad y cantidad del agua, agravados por el desarrollo urbano y los cambios en los usos del suelo.

El objetivo principal de este estudio es realizar un diagnóstico y análisis de la fuente hídrica La Vega Redonda para determinar su capacidad actual de abastecimiento y su potencial futuro. Se plantean objetivos específicos que incluyen el análisis de la disponibilidad de agua, la evaluación de la sostenibilidad de la fuente y la caracterización de la calidad del agua.

Este estudio es fundamental para identificar la oferta hídrica de la fuente La Vega Redonda y además nos da una caracterización hidro climática y morfométrica de la zona de estudio.

La fuente La Vega Redonda y la fuente La Cabezona, son las que abastecen al Acueducto Guamito, un acueducto veredal del municipio de El Peñol. Se incluirán algunos datos y análisis para la segunda fuente, sin embargo, el trabajo está centrado específicamente en La Vega Redonda.

En el Capítulo 1, se presenta el planteamiento del problema, exponiendo la situación actual y los desafíos a enfrentar. El Capítulo 2 introduce el modelo de fuerzas motrices que influyen en el contexto del estudio. El Capítulo 3 proporciona la justificación del trabajo, destacando su importancia y relevancia. En el Capítulo 4, se definen los objetivos generales y específicos del estudio. El Capítulo 5 ofrece los marcos de referencia teóricos y conceptuales necesarios para comprender el contexto del estudio. El Capítulo 6 detalla la metodología utilizada para la recolección y análisis de datos. En el Capítulo 7, se abordan los aspectos éticos y administrativos relevantes para la ejecución del proyecto. El Capítulo 8 describe la información disponible y su procesamiento. El Capítulo 9 se centra en la información específica del acueducto de Guamito (ASODUCTO). El Capítulo 10 analiza las características morfométricas de las microcuencas. En el Capítulo 11, se caracteriza geológicamente la zona de estudio. El Capítulo 12 se enfoca en la

caracterización climática. El Capítulo 13 presenta la estimación del caudal medio y los caudales mínimos. En el Capítulo 14, se realiza balance hídrico utilizando con el método de Penman. El Capítulo 15 detalla los aforos de la fuente hídrica, seguido por el Capítulo 16 que ofrece un análisis de estos aforos. El Capítulo 17 aborda la demanda de agua. El Capítulo 18 evalúa la calidad del agua. En el Capítulo 19, se realiza una discusión y análisis integrado de los hallazgos. Finalmente, el Capítulo 20 presenta las conclusiones del estudio, el Capítulo 21 ofrece recomendaciones y el Capítulo 22 incluye observaciones finales. El documento concluye con las referencias y bibliografía utilizadas.

### 1. Contexto Internacional y Nacional.

La importancia de la conservación de microcuencas y fuentes hídricas ha sido ampliamente reconocida debido a su papel en la provisión de agua dulce, la regulación del clima y el mantenimiento de la biodiversidad. La degradación de las microcuencas y la escasez de agua son desafíos comunes que se enfrentan a nivel mundial, especialmente en regiones propensas a sequías y desertificación.

Organizaciones internacionales como la UNESCO, (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) PNUMA (El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y la OMS (Organización Mundial de la Salud) han promovido la gestión sostenible de los recursos hídricos y la protección de las microcuencas como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. La meta 6.6 de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) busca proteger y restaurar los ecosistemas relacionados con el agua, incluidas las microcuencas, para garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y saneamiento para todos.

En el contexto mundial, la sequía se ha convertido en una preocupación creciente debido a factores como el cambio climático, la variabilidad climática y la presión sobre los recursos hídricos por el aumento de la población y la expansión de la agricultura y la industria. Los impactos de la sequía se han observado en diferentes regiones del mundo y han afectado la seguridad alimentaria, la salud humana, la producción agrícola y ganadera, y los ecosistemas naturales.

Un ejemplo de este fenómeno es Uruguay que, al igual que muchos otros países del mundo, ha experimentado eventos recurrentes de sequía que han tenido impactos significativos en la disponibilidad de recursos hídricos y en diferentes sectores económicos y sociales. La sequía es un fenómeno climático que se caracteriza por la escasez prolongada de precipitaciones, lo cual resulta en una disminución del caudal de los cuerpos de agua, déficit de agua en el suelo y una mayor demanda de agua para uso humano y agrícola.

El Gobierno de Uruguay y otras organizaciones han implementado medidas y políticas para enfrentar los desafíos de la sequía, incluyendo la promoción de prácticas agrícolas sostenibles, el manejo eficiente del agua y la construcción de infraestructuras para el almacenamiento de agua en épocas de abundancia para su uso en épocas de escasez.

En el contexto del planteamiento del problema en la microcuenca de la vereda Guamito, las sequías recurrentes pueden agravar la situación, afectando aún más la disponibilidad y calidad del recurso hídrico en la zona. Por lo tanto, es fundamental analizar los antecedentes a nivel mundial relacionados con la sequía y cómo estos pueden influir en la gestión y conservación de la microcuenca y sus recursos hídricos. La investigación y el manejo adecuado de la sequía son elementos clave para garantizar la sostenibilidad y resiliencia de la microcuenca y su comunidad ante los desafíos futuros.

En América Latina la conservación de microcuencas y cuencas hidrográficas ha sido un enfoque clave para proteger los recursos hídricos y la biodiversidad. La región es conocida por su riqueza en términos de diversidad de ecosistemas acuáticos, que van desde ríos y lagos hasta humedales y manglares. Sin embargo, muchos de estos ecosistemas están amenazados por actividades humanas como la deforestación, la minería y la contaminación.

No obstante, hay algunas instituciones que contribuyen a la protección de microcuencas en América Latina, JICA (Agencia de Cooperación Internacional de Japón) apoya la protección de cuencas mediante diversos proyectos y acciones. Sus esfuerzos incluyen estudios y diagnósticos para evaluar la situación de las cuencas, implementación de proyectos de restauración y conservación, fortalecimiento de capacidades en gestión sostenible de recursos hídricos, y promoción de la participación comunitaria en la protección de cuencas. JICA trabaja en colaboración con instituciones gubernamentales y organizaciones locales para mejorar la calidad del agua, conservar áreas vulnerables y promover prácticas sostenibles para la protección de los ecosistemas acuáticos en la región.

La CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) ha enfatizado la importancia de la gestión integrada de recursos hídricos y la protección de microcuencas como medidas para lograr el desarrollo sostenible en la región.

En el caso específico de Colombia, el país alberga una gran diversidad de microcuencas y fuentes hídricas debido a su ubicación geográfica privilegiada. Sin embargo, a pesar de su riqueza en recursos hídricos, Colombia enfrenta desafíos significativos en términos de deterioro ambiental y contaminación del agua.

El país ha establecido diversas normativas y políticas para la protección y manejo sostenible de los recursos hídricos. La Ley 99 de 1993 es el marco legal principal que aborda temas



ambientales, incluida la conservación de fuentes hídricas y la protección de microcuencas. Además, se han implementado programas y proyectos específicos de conservación de cuencas y microcuencas a nivel nacional y regional, como:

- Programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA) según La Ley 99 de 1993, la Ley 1930 de 2018 y la Res 620 de 2018.
- Programa de Conservación de Cuencas Hidrográficas, la Ley 99 de 1993, que establece los deberes de las Corporaciones Autónomas Regionales en la protección de los recursos naturales.
- Proyecto de Manejo Integrado de Recursos Hídricos, La Resolución 1905 de 2017 establece lineamientos para la gestión integral del recurso hídrico en Colombia.

Existen diferentes factores que pueden influir en la ocurrencia de sequías, siendo el clima el principal determinante. Los cambios en los sistemas atmosféricos, como la presencia de corrientes de aire oceánicas, patrones de circulación atmosférica y fenómenos climáticos como El Niño y La Niña, pueden afectar los patrones de precipitaciones en una región determinada.

En el contexto del Oriente Antioqueño, donde se ubica la vereda Guamito, las microcuencas juegan un papel fundamental en la provisión de agua para consumo humano y actividades agrícolas. Esta microcuenca, específicamente, es una de las principales fuentes que abastecen al acueducto veredal, este punto es de particular importancia considerando el aumento en la frecuencia de ocurrencia del fenómeno de El Niño. Ante esta previsión, se plantea la necesidad de realizar aforos asociados a tiempos de estiaje para evaluar la disponibilidad del recurso hídrico durante periodos de sequía. Sin embargo, el aumento de la actividad antrópica y la deforestación en la zona alta de la microcuenca Vega Redonda han generado preocupaciones sobre la calidad y cantidad del agua en la fuente hídrica.

## 2. Planteamiento del Problema

La vereda Guamito pertenece al municipio de El Peñol, ubicado en Colombia, departamento de Antioquia; específicamente en el Oriente Antioqueño, en una zona de embalses; esta vereda se ubica al nororiente del Municipio y limita con el casco urbano del mismo.

En esta zona se encuentra ubicada la planta de tratamiento de agua potable del acueducto Guamito la cual es abastecida por dos fuentes hídricas llamadas La Vega Redonda y La Cabezona;

las aguas que sobran de estas dos fuentes hídricas, además de las aguas escorrentías que van aumentando el caudal del sobrante al bajar la montaña, son las que constituyen la quebrada Guamito.

La microcuenca Vega Redonda se encuentra en la zona alta de la vereda Guamito y presenta una topografía de altas pendientes. El principal afloramiento de agua se da en un humedal en la parte alta de la microcuenca en las coordenadas 6°12'08.38''N, 75°14'20.29''W y cota 2175 m.s.n.m., y su área más significativa se encuentra delimitada con cercos. A sus alrededores se observa una escasa cobertura vegetal, con en un alto estado de deforestación y una alta presencia de potreros usados para el pastoreo de ganado.

El Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) representa un factor importante en la matriz de fuerzas motrices que influyen en el entorno ambiental. Sin embargo, es importante destacar que su impacto puede ser ambiguo en relación con el problema del recurso hídrico. Por un lado, el PBOT impulsa el desarrollo urbanístico y el cambio de usos del suelo en la zona, lo que conlleva a una expansión de la frontera urbana y la disminución de la cobertura vegetal. Esto aumenta la presión sobre el recurso hídrico.

Es necesario mencionar que las fuerzas motrices son factores socioeconómicos que pueden generar cambios en el medio ambiente, ya sea positivos o negativos, y que influyen las presiones sobre el mismo.

Estas fuerzas motrices han generado diversas presiones sobre la microcuenca, incluida la disminución de la disponibilidad del recurso hídrico, el aumento de vertimientos en los cuerpos de agua y la contaminación de las fuentes hídricas debido a la falta de saneamiento básico y al aumento de residuos sólidos. Los cambios demográficos en la zona también contribuyen a agravar el estado de la microcuenca, al aumentar la degradación del suelo, la cantidad de residuos sólidos y el aumento del consumo del agua por la densificación poblacional, y dentro de esta una población de estratos sociales más alto.

Además, en el área de influencia de la microcuenca se evidencia una alta actividad antrópica que involucra la apertura de nuevas vías para acceso vehicular y el desarrollo de varios proyectos urbanísticos, es importante anotar que no se está teniendo en cuenta el manejo de drenajes lo que está generando erosión y un alto arrastre de sólidos, sedimentación y aumentos de turbiedad, sobre todo en época de lluvia, lo anterior evidenciado en las visitas de campo realizadas por el asesor y las estudiantes.

Este problema hace que se vea afectado el cauce, el caudal y las condiciones fisicoquímicas del agua, puesto que el arrastre de los lodos provenientes de estas vías afecta la calidad del agua en tema de turbiedad y color.

Dadas las consideraciones anteriores, es esencial llevar a cabo una identificación del problema para determinar las acciones de preservación de la fuente La Vega Redonda. Este análisis no sólo evaluará su estado actual, sino que también facilitará la estimación de la disponibilidad hídrica y el caudal utilizable para el acueducto de Guamito.

### **1.1. Pregunta**

¿Cuáles son las condiciones en cuanto a cantidad de la fuente hídrica La Vega Redonda?

### 3. Modelo de Fuerzas Motrices

El Modelo de Fuerzas Motrices es una herramienta conceptual utilizada en ecología y ciencias ambientales para entender los factores que impulsan los cambios en el medio ambiente. Este modelo fue propuesto por el ecólogo Richard H. Grove en la década de 1990. Grove sugiere que los cambios ambientales son impulsados por una serie de fuerzas motrices, que pueden ser de naturaleza social, económica, política o tecnológica.

El Modelo de Fuerzas Motrices identifica tres componentes principales:

- A. Fuerzas Motrices: Son los factores subyacentes que impulsan los cambios en el medio ambiente. Estas fuerzas pueden incluir el crecimiento poblacional, el desarrollo económico, los avances tecnológicos, los cambios en las políticas gubernamentales, entre otros.
- B. Presiones: Son los efectos directos que resultan de las fuerzas motrices y que ejercen presión sobre el medio ambiente. Por ejemplo, la expansión urbana debido al crecimiento poblacional puede ejercer presión sobre los ecosistemas naturales al provocar la deforestación y la pérdida de hábitats.
- C. Estados y respuestas del medio ambiente: Son las manifestaciones concretas de los cambios ambientales, como la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo, la contaminación del agua, entre otros. Estos cambios pueden tener impactos significativos en la salud humana, la economía y el bienestar social.

#### 3.1. Fuerzas motrices

Condiciones de carácter estructural (política ambiental, planes de desarrollo, estado de derecho, cultura, libre mercado):

- Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT)
- Desarrollo urbanístico y rural
- Cambio de usos del suelo
- Políticas de desarrollo económico que prioriza el turismo sobre la conservación ambiental
- Influencia de grupos de interés en la toma de decisiones sobre el uso del suelo y los recursos hídricos

## 3.2.Presión

Manifestaciones concretas de las fuerzas motrices:

- Expansión de la frontera urbana
- Aumento de la demanda hídrica
- Remoción de la capa vegetal
- Aumento de complejos hoteleros y fincas de veraneo
- Épocas de verano prolongados no consideradas en los estudios, para la estimación adecuada de limitaciones de oferta hídrica.
- Falta de proyectos de saneamiento básico generando vertimientos de aguas residuales no tratadas

## 3.3.Estado

¿Qué ocurre con el medio ambiente y los recursos naturales como resultado de las presiones?:

- Cambios del uso del suelo y degradación de este
- Disminución de disponibilidad del recurso hídrico
- Aumento de vertimientos en los cuerpos de agua
- Contaminación a fuentes hídricas
- Incremento de problemas de saneamiento básico
- Aumento de residuos sólidos
- Cambios culturales
- Aumento en la demanda del recurso hídrico sin conocer las limitaciones de la oferta natural.
- Capacidades limitadas de las autoridades locales para monitorear y gestionar los recursos hídricos

## 3.4.Exposición

Procesos y situaciones que pueden afectar a la población humana. Rutas y modos a través de los cuales entra la condición o riesgo ambiental con el ser humano, la frecuencia y la intensidad:

- Competencia por el recurso hídrico. Las personas están en riesgo de quedarse sin el suficiente recurso hídrico.

- Disminución del recurso agua para los usuarios del servicio.
- Desplazamiento de personas nativas de la vereda
- Contaminación por residuos sólidos, aguas residuales, y sedimentación por los movimientos de tierra cerca a la fuente hídrica
- Disminución de la calidad de los cuerpos de agua por las diferentes fuentes contaminantes.
- Modificaciones en el drenaje natural por socavaciones

### **3.5.Efecto**

Estados en salud. Se refiere a las consecuencias en la salud de la población y en la calidad de vida:

- Disminución del recurso hídrico.
- Impactos negativos en la salud pública debido a la escasez y contaminación del agua
- Disminución de la calidad del servicio de agua.
- Encarecimientos por efectos de la gentrificación.
- Encarecimiento en el tratamiento del agua.
- Pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos debido a la degradación ambiental
- Disminución de acceso al recurso hídrico en tiempos de estiaje.
- Posibilidad de incremento de tarifas del uso de agua, porque se tenga que buscar nuevas fuentes de abastecimiento para atender el aumento de la demanda.

### **3.6.Acciones**

Respuestas al asunto de las fuerzas motrices. Se deben hacer desde un punto de vista intersectorial o interinstitucional. Las respuestas son sectoriales:

- Desde la universidad apoyar a las comunidades de la vereda El Guamito mediante investigaciones que ayuden a la identificación del problema y ponerlas en conocimiento de los diferentes sectores y actores (autoridades locales, autoridades ambientales, sector hotelero y de turismo, otros).
- Aforos de caudal e investigaciones de la oferta hídrica.
- Fortalecimiento de la cooperación interinstitucional y la participación ciudadana en la gestión del agua y el medio ambiente

- Toma de muestras para evaluación de la calidad del agua antes de la captación y después de su tratamiento.
- Sensibilización ambiental.
- Implementación de programas de educación ambiental y sensibilización comunitaria sobre el uso responsable del agua
- Desarrollo de prácticas sostenibles para la conservación del agua y la reducción de la contaminación.

#### **4. Justificación**

El recurso hídrico es un elemento primordial en las dinámicas socioculturales y económicas; Existe un vínculo intrínseco de dependencia entre los seres humanos y el agua; por lo que su uso debe ser sostenible para garantizar la coexistencia de ambos. En la actualidad, la gestión ambiental adquiere una gran importancia en las comunidades, donde el liderazgo debe enfocarse en la planificación, control y evaluación en un sentido integral.

La gestión del agua no solo se limita a su disponibilidad, sino que también aborda problemas ambientales, la administración del territorio, aspectos técnicos y la defensa de los derechos colectivos de una comunidad que pueda verse favorecida o afectada.

En este contexto, el acueducto de la vereda Guamito juega un rol esencial en la gestión integral del recurso hídrico en la región. Al ser responsables de la provisión del servicio de agua potable para la comunidad local y otras veredas cercanas. Es necesario hacer uso de herramientas de planeación, técnicas, jurídicas y de control orientadas dentro de las políticas ambientales, de servicios públicos y de gestión integral del recurso hídrico, para el manejo adecuado del agua.

Según conversaciones con el personal directivo de El Acueducto Guamito del municipio de El Peñol viene prestando el servicio desde hace 25 años, tiempo durante el cual no se habían tenido problemas de contaminación del agua ni desabastecimiento por limitación en la oferta. Actualmente presenta un arrastre de sólidos, sedimentación y aumentos de turbiedad, sobre todo en época de lluvia, según las observaciones realizadas en campo por el asesor y las estudiantes. El crecimiento acelerado del sector turístico en esta zona ha venido afectando de manera directa la prestación del servicio de agua en óptimas condiciones; también mencionan que este fenómeno se viene presentando, por el proyecto turístico Montecielo, el cual está en etapa de construcción; frente a esta situación se hace necesario realizar un diagnóstico en la fuente abastecedora del acueducto y poder así determinar los factores que vienen generando las afecciones en este acueducto; como una manera de contribuir a la sostenibilidad ambiental, el cuidado del recurso hídrico y minimizar los riesgos en la prestación del servicio de acueducto a la comunidad de esta vereda, según lo establece el Decreto 2811 de 1974 en el artículo 9 numeral C del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente; además, como herramienta técnica que sirva al acueducto para solicitar ante el ente de control ambiental Corporación Autónoma Regional



Cornare para que realice el control necesario a la construcción de este proyecto turístico Montecielo y cualquier otro que pueda afectar la fuentes hídricas.

## **5. Objetivos**

### **5.1.Objetivo general:**

Hacer un estudio de oferta en el sitio de captación y comparar con la demanda del acueducto de la vereda Guamito, municipio de El Peñol, Antioquia, para orientar la prestación del servicio.

### **5.2.Objetivos específicos:**

- Estimar la oferta hídrica a partir de fórmulas empíricas que se apoyan en las características morfométricas.
- Hacer aforos tendientes a determinar caudales mínimos aprovechado el evento del fenómeno del niño.
- Realizar balance hídrico para estimar la relación precipitación escurrimiento y con ello determinar el caudal medio en el sitio de captación de la fuente.
- Tomar una muestra de agua y hacer análisis de calidad como parte de caracterización de la fuente.
- Analizar la demanda actual del acueducto Guamito.

## **6. Marcos de referencia**

### **6.1. Marco teórico**

Antes de hablar de cualquier aspecto es necesario reconocer y entender que es el agua, esta está compuesta por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno (H<sub>2</sub>O) y se puede encontrar en estado sólido (hielo), gaseoso (vapor) y líquido (agua). Sus propiedades físicas y químicas son muy importantes para la supervivencia de los ecosistemas.

Para la vida en nuestro planeta el agua tiene un papel fundamental, como se mencionaba anteriormente, en la supervivencia de los seres vivos, el mantenimiento de los ecosistemas y el desarrollo de las actividades humanas.

Pero es imprescindible comprender sus características y su importancia en la vida cotidiana para la promoción de su uso sostenible y la protección de este recurso de valor incalculable.

La situación de Colombia, gracias a su localización geográfica, su orografía y una gran variedad de regímenes climáticos, Colombia se encuentra ubicada entre los países con mayor riqueza de recursos hídricos en el mundo. No obstante, cuando se tienen en cuenta actores como la población y las actividades socioeconómicas, se ubican en regiones con baja oferta hídrica, donde existe escasez hídrica y necesidades insatisfechas de los ecosistemas. Se puede evidenciar que cada vez es mayor el número de impactos de origen antrópico sobre el agua y la disponibilidad del recurso es cada vez menor.

Según estimaciones del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), en promedio en Colombia la precipitación media anual es de 3000 mm con una evapotranspiración real de 1180 mm y una escorrentía media anual de 1830,30 mm. Teniendo en cuenta lo anterior, del volumen de precipitación anual, 61% se convierte en escorrentía superficial que genera un caudal medio de 67000 m<sup>3</sup>/s, equivalente a un volumen anual de 2084 km<sup>3</sup> que escurren por las cinco grandes regiones hidrológicas que caracterizan el territorio nacional continental, de la siguiente forma: 11% en la región Magdalena – Cauca, 5% en la región del Caribe; 18% para la región del Pacífico; 34% en la región de la Amazonia y 32% en la región de la Orinoquia. (Colombia. Ministerio de Ambiente, 2010)

---

Según esto, cuál es la oferta hídrica superficial que puede proporcionar el país, esta se refiere, acumulada en los cuerpos de agua superficiales en un periodo determinado de tiempo, se mide a través de la esorrentía y rendimientos hídricos (l/s – km<sup>2</sup>), “clasificada en tres niveles; áreas, zonas y subzonas hidrográficas. Colombia se clasifica como uno de los países con mayor oferta hídrica natural del mundo, se estima un rendimiento hídrico a nivel nacional de 56 l/s-km<sup>2</sup> que supera el rendimiento promedio mundial (10 l/s-km<sup>2</sup>) y el rendimiento de Latinoamérica (21 l/s-km<sup>2</sup>).”(Nacional & Agua, 2014)

La riqueza hídrica colombiana también se debe a la condición de almacenamiento superficial, gracias a la existencia de cuerpos de agua lénticos, divididos en buena parte de la superficie total y por la existencia de grandes ecosistemas de humedales. Según datos del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) del volumen total de esorrentía anual, 1,81% se acumula superficial y temporalmente de la siguiente manera: 0,47% en pantanos, 1,30% en lagos naturales y 0,04% en los páramos. (Primera Comunicación Nacional Ante La Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climatico., 2001)

Como se mencionó anteriormente, en Colombia la oferta natural de agua no se distribuye uniformemente entre regiones, de modo que, se presenta en algunas zonas mucha abundancia mientras que en otras es muy escasa, esto a causa de la alta variabilidad espacial y temporal; En la región Pacífica va desde los 2000 mm hasta los 6000 mm al año, mientras que en la región Caribe se presentan valores desde 0 mm hasta los 1.500mm.

Según lo expresado en los párrafos anteriores se dificulta conocer cuál es el ordenamiento y adecuado manejo de una cuenca específicamente en nuestro país y cómo se reglamenta este sector que es de interés general; En Colombia, se cuenta con la Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico la cual tiene como objetivo, orientar el desarrollo de políticas públicas en materia de recurso hídrico, a través de una combinación de desarrollo económico, social y la protección de los ecosistemas. La GIRH (Gestión Integral del Recurso Hídrico) se define como un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. (Gestión Integral Del Recurso Hídrico - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 1993.)

De aquí se deriva un punto importante: la planificación del recurso hídrico, que implica actividades vinculadas al manejo adecuado del agua, respaldadas por conocimientos científicos y técnicos. Esta planificación debe generar acciones a corto, mediano y largo plazo para garantizar un uso sostenible y apropiado del recurso hídrico, tanto superficial como subterráneo.

Por ello, se requiere una adecuada administración del recurso hídrico, la cual implica la aplicación de diversas herramientas técnicas y normativas por parte de la Autoridad Ambiental competente. Esta gestión sostenible parte de la comprensión del estado de disponibilidad del agua en términos de cantidad y calidad, así como de la equidad en su distribución entre los usuarios, y de la adecuación de sus vertimientos a los cuerpos receptores de agua.

Además, es primordial el seguimiento y control mediante medidas que promuevan el uso eficiente del recurso hídrico y la mitigación de la contaminación, dirigidas a los diferentes usuarios. Esto garantizará un uso sostenible del agua y contribuirá a mejorar la calidad de vida de la población y al desarrollo.

Con el propósito de ejercer un adecuado control y vigilancia, surge la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, que fue creada con una proyección de 12 años (2010-2022). Para su ejecución se establecieron ocho principios y seis objetivos específicos, para cuyo cumplimiento se definieron estrategias y líneas de acción. Estas delinean la ruta de acción para que cada institución e individuo involucrado en la gestión integral del recurso hídrico pueda hacer uso eficiente del agua, se logre un buen manejo del recurso por parte de las autoridades y se desarrollen los instrumentos económicos y normativos pertinentes.

Para continuar con la proyección de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico es importante entender que las cuencas se deben dividir en unidades más pequeñas. Estas unidades son las subcuencas, las microcuencas y por último las quebradas. Para situarnos en el contexto actual en el que se enfoca el presente proyecto, nos centraremos en el concepto de microcuenca y quebrada.

La microcuenca debe considerarse desde un principio como un ámbito de organización social, económica y ambiental, donde ocurren interacciones indivisibles entre los aspectos económicos (bienes y servicios producidos en su área), sociales (patrones de comportamiento de los usuarios directos e indirectos de los recursos de la cuenca) y ambientales (relacionados al comportamiento o reacción de los recursos naturales frente a los dos aspectos anteriores).

### ¿Qué es una Microcuenca?

Según lo establece el Decreto 1076 de 2015. Artículo 2.2.3.1.1.3. “*corresponde al área de aguas superficiales, que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar; la microcuenca está delimitada por la línea del divorcio de las aguas. Considerando el tamaño se puede decir que la microcuenca es aquella cuenca cuya área de drenaje es menor a 500 Km<sup>2</sup>*”, (Decreto\_1076\_de\_2015\_Sector\_Ambiente\_y\_Developmento\_Sostenible.,2015.) así nace en el PMAM (Plan de Manejo Ambiental de Microcuencas) que en el Artículo 2.2.3.1.10.1., del mismo decreto determina la planificación y administración de los recursos naturales renovables de la microcuenca, que se ejecuta mediante planes, proyectos y acciones para la preservación, restauración y uso sostenible.

Este decreto además unifica las normativas ambientales del país, proporcionando un marco claro para la gestión sostenible del agua. Establece lineamientos para la evaluación de la oferta hídrica, asegurando que los cuerpos de agua sean gestionados de manera eficiente y sostenible mediante estudios y monitoreos continuos. Además, define la reglamentación del uso del agua, estipulando las condiciones para la captación y utilización de los recursos hídricos de manera equitativa y sostenible. El decreto también establece los procedimientos y requisitos para la concesión de agua, garantizando que cualquier permiso otorgado no comprometa la sostenibilidad del recurso.

**Quebrada:** corresponde al área de aguas superficiales, que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar; El área de la microcuenca aportante a la quebrada, está delimitada por la línea del divorcio de las aguas. Considerando el tamaño, se puede decir que la quebrada es aquella cuenca cuya área de drenaje es menor a 500 km<sup>2</sup>.

**Preservación:** conservar la composición, organización y función de la biodiversidad, acorde a la dinámica original y reduciendo al máximo la intervención humana y sus posibles efectos.

**Escorrentía:** se refiere al agua que escurre por la superficie de la cuenca y se concentra y continúa escurriendo a través de los cauces; todos los cauces confluyen entre sí hasta terminar en

---

un cauce único que bien puede terminar en la desembocadura a una corriente principal, a un lago o al mar. La escorrentía puede tener dos fuentes de aportes; una, las precipitaciones que caen sobre la cuenca y escurren sobre la superficie de la misma, descontando las infiltraciones, las evaporaciones y transpiraciones, y la otra los afloramientos de aguas subterráneas, que constituyen los caudales de base de las corrientes. También pueden existir escorrentías subsuperficiales

**Definición geológica de suelo:** En geología comúnmente se denomina suelo al sistema estructurado con características biológicamente activas, que se desarrollan en la capa más superficial de la corteza terrestre. Entre las etapas implicadas en la formación del suelo están la disgregación o meteorización mecánica de rocas, ya sea por frío, calor, lluvia, oxidaciones, hidrataciones, y es de esta manera en que la roca es gradualmente fragmentada. Los fragmentos de roca se van mezclando con restos orgánicos: heces, organismos muertos o en etapa de descomposición, restos vegetales, así como la instalación de seres vivos sobre los sustratos orgánicos, propiciando de esta manera el enriquecimiento del sustrato. Con el paso del tiempo la estratificación de todo este conjunto de materiales da lugar a la formación del suelo. (Definición Geológica del suelo, 2009).

**Formación, estructura y composición del suelo:** El suelo es la base para el establecimiento de cualquier proyecto agrícola, pecuario, forestal o de construcciones civiles. Antes de establecerse cualquier uso del suelo es necesario conocer sus características. Cuando se quiere establecer cultivos agrícolas, pasturas o plantaciones forestales se debe evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

**Formación:** El suelo se forma a través de un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos, que tienen lugar sobre el medio rocoso original, produciendo la meteorización de este.

**Estructura:** Debido, sobre todo, a la infiltración del agua edáfica, que produce una cierta meteorización química, y a la actividad orgánica se desarrolla una estructura secuencial en capas distintas en el suelo según la profundidad. A estas capas se les denomina horizontes y constituyen el perfil del suelo.

“Horizonte A” u orgánico y de lavado: compuesto por partículas minerales y materia orgánica (humus) que le confiere una coloración oscura.

“Horizonte B” o de acumulación: se produce la acumulación de los compuestos de lixiviación procedentes del horizonte A. En esta capa tiene lugar la oxidación de la materia orgánica y una lixiviación moderada.

“Horizonte C” o de transición hacia la roca madre: es una capa fronteriza que separa la roca en proceso de meteorización de la roca sin alterar.

**Composición:** La composición química de un suelo viene determinada, en buena parte, por el tipo de material originario (roca), puesto que es el material base a partir del cual se forma el suelo. Junto a este material se va añadiendo, en el transcurso del tiempo que dura la formación de un suelo, materia orgánica procedente de organismos vivos. El contenido mineral de un suelo es el que determina su fertilidad. Básicamente son tres los tipos de rocas, pueden ser material original del suelo: Ígneas, Sedimentarias, metamórficas. (Izquierdo, 2016.)

**Usos del suelo:** El uso del suelo comprende "las acciones, actividades e intervenciones que realizan las personas sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla. El uso del suelo abarca la gestión y modificación del medio ambiente natural para convertirlo en terreno agrícola: campos cultivables, pastizales; o asentamientos humanos. El término uso del suelo también se utiliza para referirse a los distintos usos del terreno en zonificaciones” (M, Medio Ambiente,2010.)

**Zonas de protección del suelo:** Según el artículo 146 del Decreto 190 de 2004, el suelo de protección es una categoría de suelo constituido por las zonas y áreas de terrenos localizados en suelo urbano, rural o de expansión, que por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales, o por formar parte de las zonas de utilidad pública para la ubicación de infraestructuras para la provisión de servicios públicos domiciliarios o de las áreas de amenazas y riesgo no mitigable para la localización de asentamientos humanos, tiene restringida la posibilidad de urbanizarse. (Decreto 190 alcaldía de Bogotá, 2004.)

**Hidrogeología:** La hidrogeología o hidrología subterránea es, según Mijailov, la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, sus formas de yacimiento, difusión, movimiento, régimen y reservas, interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación. Es, por tanto, una de las ramas más complejas de la geología. (Geología la ciencia de la tierra, 2021.)



**Hidrología:** La hidrología es la disciplina científica que estudia las aguas del planeta, los océanos, la atmósfera y la superficie terrestre. Se interesa por las propiedades físicas, químicas y mecánicas de dichas aguas, así como por su distribución, circulación y su flujo a nivel regional y global. Sin embargo, no se ocupan las reservas subterráneas de agua, que corresponden a la hidrogeología. (Hidrología básica y aplicada, 2007.)

La Geología es la ciencia que estudia la composición, estructura, dinámica e historia de la Tierra, incluyendo sus recursos naturales (energía, minerales, agua...), así como los procesos que repercuten en su superficie y, por tanto, en el medio ambiente.

La Geología no se reduce a la simple contemplación de una roca, mineral, fósil, o paisaje, ni tampoco el estudio de los grandes desastres naturales. Es mucho más.

La Geología es una ciencia básica y fundamental para atender las necesidades de la sociedad. Su impacto en nuestras vidas es directo y absoluto. (Geología la ciencia de la tierra, 2021.)

### **6.2.Marco legal - Normativo**

A continuación, se presenta la legislación vigente en el ámbito ambiental y sanitario en Colombia:

- Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
- Acuerdos 268 y 294 de Cornare. Por medio del cual se redelimita y adopta el plan de manejo del distrito Regional de manejo integrado del “Embalse Peñol- Guatapé y la cuenca alta del río Guatapé”
- Código de los recursos naturales (ley 2811/74). Por el cual se dicta el código de los recursos naturales y protección del medio ambiente, en su título IV capítulo I, donde se especifica el uso, conservación y preservación de las aguas, capítulo II que habla de la prevención y control de la contaminación.
- Decreto 1575/2007. Por el cual se establecen normas técnicas para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de evitar riesgos para la salud humana.
- Ley 142 de 1994. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios como lo son el acueducto, el alcantarillado y el aseo.

- Ley 373 de 1997. Por la cual se regula el uso y ahorro eficiente del agua.
- Resolución 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
- Acuerdo 41 de 1983 por el cual se determinan los procedimientos y competencias para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.
- Decreto 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.
- Resolución 811 de marzo 5 de 2008. Por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución.
- Resolución 082 de enero 16 de 2009. Por medio de la cual se adoptan unos formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano.
- Resolución 4716 de 2010. "Por medio del cual se reglamenta el parágrafo del artículo 15 del Decreto 1575 de 2007" relacionado con el procedimiento para la elaboración de los Mapas de Riesgo de la calidad del agua para consumo humano.
- Resolución 549 de 2017. "Por la cual se adopta la guía que incorpora los criterios y actividades mínimas de los estudios de riesgo, programas de reducción de riesgo y planes de contingencia de los sistemas de suministro de agua para consumo humano y se dictan otras disposiciones"
- Resolución 622 de 2020. Por el cual se adopta el protocolo de inspección, vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano suministrada por personas prestadoras del servicio público domiciliario de acueducto en zona rural, y se dictan otras disposiciones.

### **6.3.Marco institucional - geográfico**

La vereda Guamito está ubicada en el municipio de El Peñol, en el oriente antioqueño; limita al oriente con las veredas de El Morro y de Chiquinquirá, al occidente con el Sector 1 de la zona

---

urbana, al norte con Puente Hondita y al sur limita con las veredas La Héliida y El Carmelo. Se encuentra ubicada aproximadamente a 1 km del casco urbano y su principal vía de acceso en la que conduce hacia el municipio de El Santuario.

Su economía está basada principalmente en la agricultura y en menor proporción en la ganadería, actividades que son desempeñadas por la mayor parte de las personas que habitan en la vereda, lo cual constituye el sustento de sus familias. Es muy común encontrarse con cultivos de tomate, frijol, café, entre otros.

En el año 1989, gracias a los esfuerzos realizados por José María Botero, entonces presidente de la Junta de Acción Comunal, y Jesús Arcesio Botero quien era el alcalde de turno, movidos por el mismo deseo, gestaron lo que fue el proyecto para el diseño y construcción del acueducto para la vereda. Es a raíz de esto que en el mismo año se inician las labores de ejecución del proyecto que fue financiado gracias a los aportes realizados por la administración municipal y la comunidad.

Según información secundaria proporcionada por La Asociación de Usuarios Acueducto Guamito (ASODUCTO), con NIT N° 811.024.046-4, nace a raíz de la necesidad de contar con una entidad encargada de la administración, operación y mantenimiento del sistema.

A la fecha, el acueducto presta el servicio a un total de 301 suscriptores estratificados, de los cuales 131 pertenecen al estrato uno, 54 pertenecen al estrato dos, 106 pertenecen al estrato tres, 3 al sector oficial (Feria Municipal, Escuela de Guamito, <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>PTAR florito), 6 al sector comercial y 1 en sector comercial especial (Convenio de servicio con la Parcelación NUKAK) para un total de 301 suscriptores. Un gran porcentaje de los usuarios corresponde a población nativa de la región y en menor proporción a foráneos que cuentan con sus fincas de veraneo en el sector. Generalmente el servicio es utilizado para suplir necesidades domésticas y una menor proporción usan el servicio para el riego de cultivos y jardines, el cuidado de ganado y actividades recreativas.

## 7. Metodología

El enfoque general del estudio puede incluir una combinación de métodos cualitativos y cuantitativos para abordar la calidad y cantidad del agua en la fuente hídrica La Vega Redonda. A continuación, se describen los procesos que se realizan para el desarrollo de la investigación.

**Población de referencia:** La microcuenca que incluye la fuente de agua La Vega Redonda está situada en la región elevada de la vereda Guamito y exhibe terreno con pendientes pronunciadas. El principal afloramiento surge en un humedal en la parte superior de la microcuenca, donde su área más destacada está protegida por cercas y está rodeada de bosques, pastos, algunos cultivo y el proyecto urbanístico en desarrollo Montecielo.

Los predios adquiridos por la Asociación de usuarios del acueducto Guamito son muy pocos, contando con un área reducida de la microcuenca la cual se encuentra en buen estado de conservación, pero la mayor parte de la microcuenca pertenece a un particular y se encuentra desprotegida.

**Población de estudio:** La fuente hídrica La Vega Redonda, En este caso, la población de estudio, estaría compuesta por el punto de muestreo en el cual se tomará muestra para análisis de laboratorio y se va aforar constantemente para determinar los caudales en diferentes temporadas climáticas, con una periodicidad de una semana y conforme se avance en los resultados esta periodicidad puede cambiar en caso de que los aforos sean muy cambiantes se debe reducir el período de toma de aforos y si es más estable se puede ampliar. Además, se realizará la caracterización morfométrica, geológica, de suelos y de usos del suelo de la cuenca.

**Muestra:** La muestra para el proyecto se refiere concretamente a la fuente hídrica La Vega Redonda y los estudios que se van a llevar a cabo en la fuente para determinar y definir la situación actual que tiene en temas de cantidad y calidad del agua el Acueducto Guamito.

Las muestras se dividen en dos tipos de aforos para cantidad de agua y análisis de laboratorio para la calidad de esta.

**Técnica de muestreo:** La muestra antes de ser tomada debe de contar con unas condiciones previas como no haber llovido 3 días antes, para darle tiempo a que el escurrimiento superficial se agote y quede solo el subterráneo.

La toma de muestras, aunque no se tenga certificación, se realizará con todos los protocolos para garantizar la veracidad de la muestra.

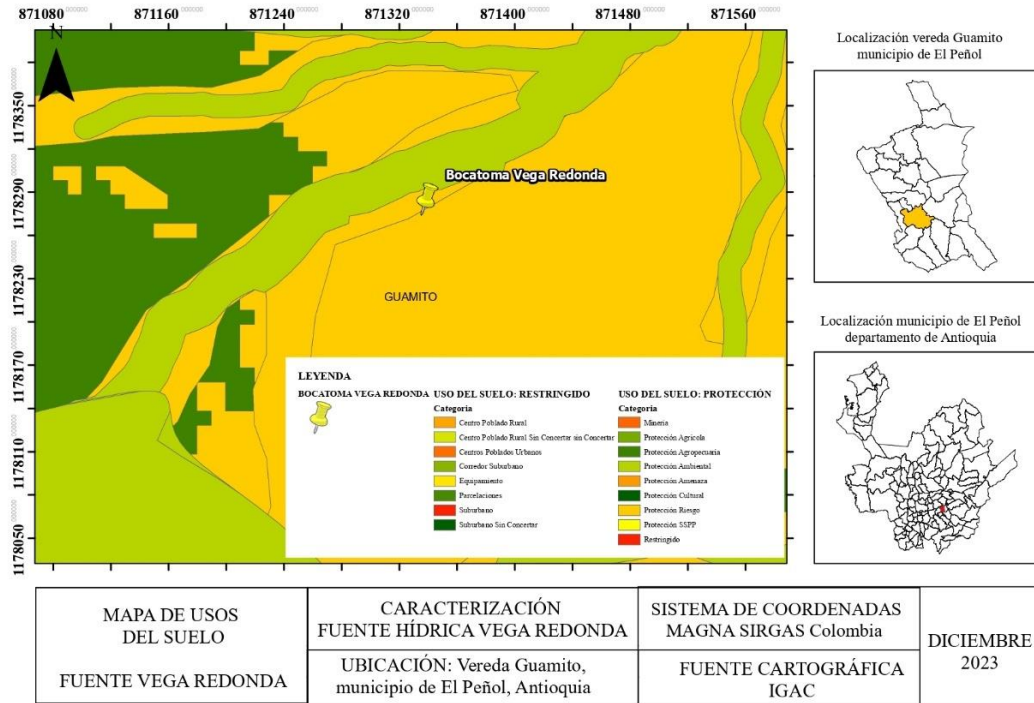
### 7.1. Criterios de inclusión:

- Ubicación geográfica: La microcuenca La Vega Redonda se encuentra en la zona alta de la vereda Guamito y presenta una topografía de altas pendientes. El principal afloramiento de agua se da en un humedal en la parte alta de la microcuenca en las coordenadas  $6^{\circ}12'08.38''N$ ,  $75^{\circ}14'20.29''W$  y 2175 m.s.n.m., su área más significativa se encuentra delimitada con cercos y a sus alrededores se observa una buena cobertura vegetal.
- Elementos que contribuyan a la respuesta hídrica de la microcuenca son la cobertura vegetal, los usos del suelo, información del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), tipo de suelos y la geología misma de la cuenca.
- Fuentes de agua: La Vega Redonda la cual es la principal fuente abastecedora del Acueducto Guamito.
- Uso del suelo: Esta zona se encuentra en categoría de protección riesgo y protección ambiental (Figura 1).

Figura

1

Mapa de uso de suelos, zona de estudio.



**7.2. Criterios de exclusión:**

- Microcuencas con menor relevancia, La fuente hídrica La Cabezona también contribuye al abastecimiento del acueducto de Guamito, sin embargo, su caudal es menos significativo en comparación con La Vega Redonda y pertenece a una microcuenca diferente.
- Se considera que como ejercicio académico es mejor enfocarse en una sola fuente y concentrar los esfuerzos en la cuenca seleccionada.

**7.3. Listado de variables o categorías de análisis:**

El listado de variables del proyecto se estableció según los objetivos específicos de estudio y las características de la microcuenca en cuestión. Sin embargo, aquí hay algunas variables comunes que podrían considerarse:

**Cantidad de agua:**

- Caudal: Cantidad de líquido proporcionada por una fuente cualquiera dentro de la unidad de tiempo.

- Precipitación: Se mide en un pluviómetro o en un pluviógrafo. Los datos se dan en altura de agua en la unidad de tiempo.
- Demanda de agua: población, dotación, caudal medio diario y caudal máximo diario.
- Caudal concedido por la autoridad ambiental.

### **Calidad del agua:**

- Parámetros físicos: Temperatura del agua, conductividad eléctrica, turbidez.
- Parámetros químicos: pH, oxígeno disuelto, nutrientes (nitratos, fosfatos), metales pesados, contaminantes orgánicos.
- Microorganismos indicadores de calidad del agua: Coliformes fecales, Escherichia coli u otros microorganismos indicativos de contaminación fecal.

### **Uso del suelo y actividades humanas:**

- Uso del suelo: Tipo de cobertura del suelo en la microcuenca (bosques, áreas con construcciones, etc.).
- Actividades humanas: Identificación de actividades humanas, expansión urbanística y la ganadería.

### **Aspectos Geográficos:**

- Caracterización morfométrica de la cuenca.
- Caracterización geológica y del suelo.

### **Plan de análisis de la información:**

Una vez que se han recopilado los datos, se procede a analizarlos. Esto implica:

- Organización y limpieza de datos: Verificar la consistencia, completitud y calidad de los datos recolectados. Esto incluye corregir errores, eliminar datos atípicos y asegurarse de que los datos estén en el formato adecuado para el análisis.
- Análisis estadístico: Aplicar técnicas estadísticas para analizar los datos cuantitativos según la naturaleza de los datos y los objetivos del estudio.
- Análisis cualitativo: Utilizar métodos de análisis cualitativo, como el análisis de contenido o el análisis temático, para examinar las observaciones y otros datos tomados en campo.

### **Técnicas de recolección de información.**

Caracterización de la microcuenca: Recolecta información sobre las características físicas de la microcuenca, como el área, la topografía, los usos de la tierra y la geología, utilizando fuentes existentes como mapas y estudios previos.

Para medir la cantidad y calidad del agua de la microcuenca, se pueden utilizar diversos métodos y técnicas. A continuación, se presenta un enfoque general que abarca ambos aspectos:

- Se utilizarán los siguientes elementos: botellas de muestra de agua estériles, etiquetas adhesivas, una cadena de muestreo, guantes desechables y un formulario de registro.
- Se seleccionará el sitio de muestreo adecuado para tomar la muestra de agua nos aseguraremos de que el sitio sea representativo de la fuente
- Antes de tomar la muestra, se tendrá cuidado de tener las manos limpias y usaremos guantes desechables para evitar la contaminación de la muestra. También tendremos cuidado en enjuagar las botellas de muestra tres veces con el agua del lugar antes de llenarlas para eliminar cualquier residuo.
- Toma de la muestra: Se utilizará la cadena de muestreo para sumergir la botella de muestra en el agua. Evitar tocar el interior de la botella o su tapa para prevenir la contaminación. Asegurarse de que la botella se llene completamente sin dejar burbujas de aire.
- Etiquetado: Se colocará una etiqueta adhesiva en cada botella de muestra con la información relevante, como la fecha, el lugar de muestreo y cualquier otro dato requerido. Esto ayudará a identificar y rastrear las muestras correctamente.
- Registro de datos: Se diligencio el formulario de registro con la información detallada sobre el sitio de muestreo, las condiciones ambientales y cualquier otro dato relevante. Esto proporcionará un contexto adicional al analizar los resultados.

### **Almacenamiento y transporte de muestras:**

- Las muestras deben almacenarse en condiciones adecuadas para mantener su integridad hasta llegar al laboratorio. Se recomienda mantener las muestras refrigeradas a una temperatura de 4 °C durante el transporte en nevera de icopor garantizando la temperatura deseada.
- Etiquetar claramente cada botella de muestra con información como el nombre del punto de muestreo, fecha y hora del muestreo, y los componentes a analizar.



### **Técnicas de laboratorio para el análisis de componentes fisicoquímicos y microbiológicos:**

- Las técnicas de laboratorio para el análisis de agua pueden variar según los componentes que se desean medir. A continuación, se mencionan algunas técnicas comunes:
- Análisis fisicoquímicos: Se pueden utilizar técnicas espectrofotométricas, titulaciones y métodos gravimétricos para medir parámetros como pH, turbidez, sólidos suspendidos, oxígeno disuelto, nutrientes (nitrógeno y fósforo), entre otros.
- Análisis microbiológico: Para detectar la presencia de microorganismos patógenos y bacterias indicadoras de contaminación fecal, se pueden emplear técnicas como la técnica del Número Más Probable (NMP) para coliformes totales y fecales, y pruebas de cultivo en medios específicos para identificar microorganismos específicos.

### **Medición de la cantidad de agua:**

- El aforo volumétrico es una técnica utilizada para medir el caudal de un flujo de agua en un punto determinado de una corriente, utilizando métodos y equipos específicos. A continuación, se presenta un paso a paso general para realizar un aforo volumétrico:
- Selección del punto de aforo: Identificar el punto en la corriente de agua donde se realizará el aforo. Este punto deberá ser representativo del flujo y estar lo suficientemente estable como para obtener mediciones precisas.
- Preparación del equipo: Tener el equipo necesario, que incluye una cuerda marcada, una tabla de registros y una botella graduada o recipiente para recoger agua.
- Realización de la medición de tiempo: Mediremos el tiempo necesario para que se llene un recipiente con una capacidad conocida. Cuando el recipiente graduado haya llenado el volumen definido, se registrará el tiempo que se demoró en llenarse; se repetirá este procedimiento varias veces para obtener una medición más precisa.

### **Cálculo del caudal:**

Utiliza la fórmula del caudal  $Q=V/T$

Donde:

Q = es el caudal expresado en m<sup>3</sup> /s

V = volumen dado en m<sup>3</sup>

T = Tiempo en segundos

**Registro de datos:** Registra todos los datos recopilados; estos registros serán útiles para el análisis posteriormente.

**Análisis de datos:** Se realizará un formato para la recopilación de datos y posterior tratamiento de estos, el cual contiene, fecha, hora, resultado, observaciones entre otros.

Una vez completado el análisis individual de cada técnica, es importante integrar los resultados para obtener una comprensión más completa de la calidad y cantidad del agua en la fuente hídrica. Esto implica relacionar los hallazgos del análisis estadístico, espacial y cualitativo para generar conclusiones y recomendaciones claras.

Se harán estimativos de caudal mediante fórmulas empíricas desarrolladas por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, y se confrontan con los resultados de los aforos.

En la hipótesis se reúnen datos, se comparan y se escogen las explicaciones más probables. Dicho de otra forma, la hipótesis es la explicación probable de la relación entre dos o más variables.

**Balance Hídrico:** Para estimar el caudal medio se hizo un balance hídrico para la microcuenca la Vega Redonda, con información hidroclimática de la zona. La ETP (evapotranspiración potencial) se calculó utilizando la fórmula de Penman. De otro lado se considero un valor de 100 mm de reserva aprovechable por las plantas.

## 8. Aspectos

### 8.1. Aspectos éticos.

Toda la información secundaria que se adquiera y se utilice será respaldada con la fuente (consultas, entrevistas, fichas bibliográficas)

Se realizará una carta para informar al Acueducto sobre las actividades que se van a continuar realizando en la microcuenca, el objetivo del proyecto y que los resultados serán compartidos con ellos. Ver anexo 1 carta de aspectos éticos.

### 8.2. Aspectos Administrativos

#### *Factibilidad*

#### **Factibilidad técnica:**

El proyecto cuenta con un equipo de trabajo compuesto por dos estudiantes y un asesor especializado en el campo del medio ambiente y recursos hídricos. Esta configuración de recurso humano garantiza una adecuada cobertura de habilidades y conocimientos necesarios para llevar a cabo el proyecto de investigación de la fuente hídrica Guamito.

Las estudiantes involucradas en el proyecto poseen formación académica en las áreas relacionadas, para realizar un adecuado abordaje, recolección y análisis de la información. Además, han adquirido conocimientos y habilidades específicas a través de los cursos y prácticas previas en el campo del monitoreo y análisis de calidad del agua. También es de resaltar que la fuente es abastecedora de agua de la vivienda de una de las estudiantes lo cual fomenta el entusiasmo y compromiso con el proyecto y a su vez garantizan un enfoque dedicado y una ejecución diligente de las tareas propuestas.

El asesor del proyecto es un profesional experimentado en el área de recursos hídricos y cuenta con una amplia trayectoria en el diseño y ejecución de estudios similares. Su experiencia y conocimiento en la materia brindan una guía confiable y aseguran la aplicación de metodologías adecuadas para el diagnóstico de la fuente hídrica Guamito.

Además del equipo principal, el proyecto también cuenta con el apoyo de otros especialistas o colaboradores externos, en caso de ser necesario. Esto incluye otros asesores, profesionales en laboratorios de análisis de agua, expertos en aspectos geográficos y geológicos de la microcuenca.

La colaboración con estas personas será determinada según las necesidades específicas del proyecto y su disponibilidad.

El equipo de trabajo está conformado por dos estudiantes tecnólogas en saneamiento ambiental y actualmente estudiantes de Administración Sanitaria y Ambiental y el asesor Aurelio Gómez González, Ingeniero Civil, especialista en Hidrogeología y magíster en Ingeniería Ambiental. Su combinación de conocimientos, habilidades y entusiasmo garantiza una ejecución eficiente y de calidad del proyecto.

### **Factibilidad Económica: Disponibilidad de Recursos y Financiamiento**

El presente proyecto se enfrenta al desafío de garantizar los recursos económicos necesarios para llevar a cabo las actividades propuestas en la metodología. Reconociendo esta realidad, como estudiantes involucrados asumimos el compromiso de ser la principal fuente de financiación del proyecto.

Dentro de las posibilidades y capacidades, se destina una parte de recursos personales para cubrir los gastos iniciales relacionados con la implementación de la metodología. Estos recursos incluyen la adquisición de herramientas necesarias, costos de transporte y logística, así como los gastos asociados con el análisis de laboratorio y otros servicios requeridos.

A pesar de que el financiamiento se basa principalmente en los recursos personales, se reconoce la importancia de explorar otras fuentes de financiamiento para garantizar la continuidad y el éxito del proyecto. Se buscarán oportunidades de colaboración con organizaciones o instituciones que puedan estar interesadas en respaldar y financiar el desarrollo de este estudio.

### **Factibilidad Legal**

La factibilidad legal del proyecto es un aspecto fundamental que debe abordarse para garantizar su viabilidad y cumplimiento normativo. A continuación, se presenta una revisión de los marcos legales y normativos relevantes en el ámbito ambiental y sanitario, que son aplicables al proyecto:

Acuerdo 268 - Acuerdo 294 de Cornare: Este acuerdo establece el plan de manejo del distrito regional de manejo integrado del "Embalse Peñol-Guatapé y la cuenca alta del río Guatapé". Es importante considerar este acuerdo para asegurar la conformidad del proyecto con las disposiciones específicas relacionadas con la gestión del recurso hídrico en el área.

Código de los recursos naturales (Ley 2811/74): Esta ley dicta el código de los recursos naturales y protección del medio ambiente. En su título IV, capítulo I, se especifica el uso, conservación y preservación de las aguas, mientras que el capítulo II aborda la prevención y control de la contaminación. El proyecto se enfoca en estas disposiciones para asegurar la protección y gestión adecuada del recurso hídrico.

Decreto 1575/2007: Este decreto establece normas técnicas para la protección y control de la calidad del agua con el fin de evitar riesgos para la salud humana. Es importante cumplir con estas normas para garantizar la calidad del agua suministrada.

Ley 373 de 1997: Esta ley regula el uso y ahorro eficiente del agua. Es importante considerar y aplicar medidas de uso sostenible del recurso hídrico, promoviendo la eficiencia en su consumo y reduciendo posibles impactos negativos.

Además de estas leyes, es esencial tener en cuenta las resoluciones y decretos específicos relacionados con la calidad del agua, la gestión de cuencas hidrográficas y el control de la contaminación. Entre las más relevantes están la Resolución 2115, la Resolución 549 de 2017, el Decreto 1076 de 2015 y el Decreto 2811 de 1974. Estas normativas establecen directrices y requisitos adicionales que deben ser considerados en el desarrollo del proyecto.

### **Factibilidad Ambiental.**

El proyecto se ha planteado teniendo en cuenta la minimización de los impactos ambientales negativos. Se han propuesto algunas medidas y acciones para garantizar que las actividades desarrolladas no tengan un impacto importante en el entorno natural de la microcuenca que en este caso es la zona de influencia del proyecto. A continuación, se describen las medidas:

Gestión de residuos: Se ha establecido un compromiso por parte de los involucrados en el proyecto para la gestión de residuos que puedan derivarse de la documentación y la realización de las diversas actividades para el correcto desarrollo del proyecto, se incluye la separación, clasificación y disposición adecuada de los residuos. Se promueve también el reciclaje y la reutilización, minimizando así la generación de desechos y reduciendo el impacto ambiental.

Protección de la biodiversidad: Se tomarán medidas al momento de ingresar a las zonas de influencia del proyecto, con el fin de evitar o minimizar afectaciones a la biodiversidad y los ecosistemas de la microcuenca.

Control de la contaminación: Se implementarán medidas para prevenir y controlar la contaminación del agua y suelo generada por las actividades del proyecto al momento de la toma de muestras para análisis de laboratorio o al momento de la realización de aforos en la fuente, donde no se manipulará las condiciones naturales del ecosistema.

**Viabilidad:**

El acueducto multiveredal ASODUCTO Guamito mediante carta nos da la viabilidad para poder desarrollar el trabajo de grado, además, están prestos a colaborar con información para llevar el trabajo a un feliz término. Ver anexo 2 Autorización de ASODUCTO Guamito.

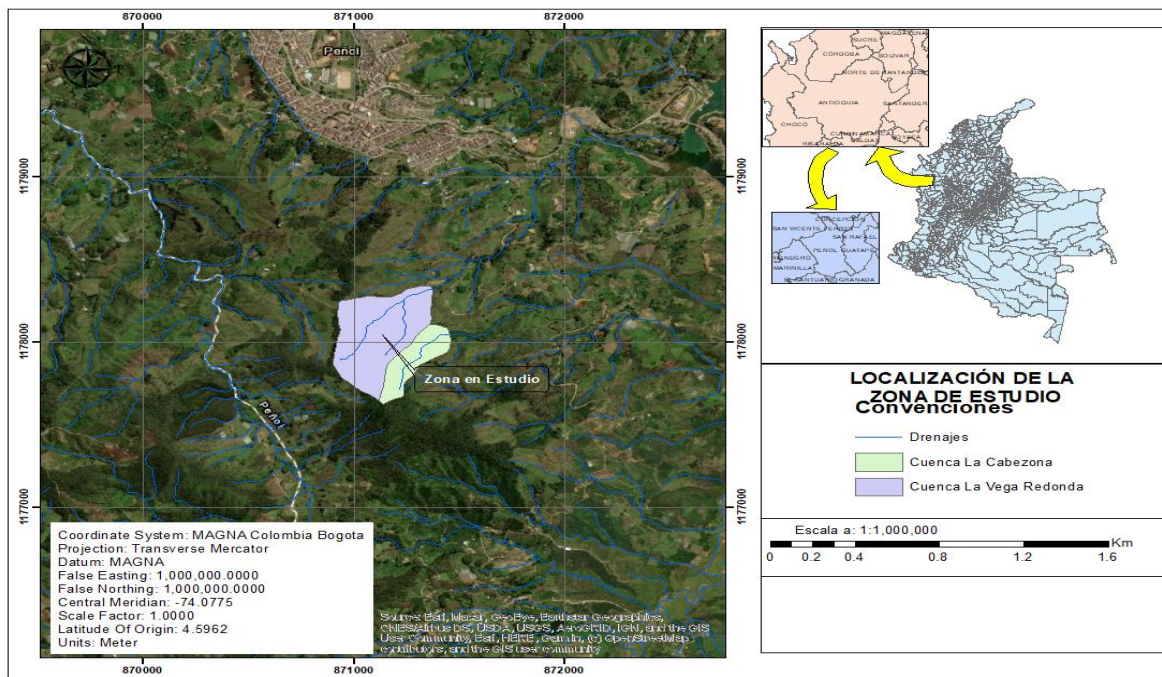
**9. Información Disponible y Procesamiento**

Para la delimitación y la evaluación de las características fisiográficas de la microcuenca se utilizaron planos del IGAC en escala 1:10.000 con curvas de nivel cada 50 m.

Para la información climatológica, la estación que está ubicada más cercana a la microcuenca es la estación PENOL del IDEAM. Se adquirió información a nivel mensual (temperatura, humedad relativa y brillo solar). Como no se dispone de información sobre brillo solar, evaporación y evapotranspiración potencial y velocidad del viento, en esta estación, se tomaron datos de otra estación que se encuentra en la zona, El Peñol de EPM (2005)

Por otra parte, se realizaron visitas de las cuales se obtuvo información complementaria de la microcuenca, donde se tomó registro fotográfico de la microcuenca, bocatoma y áreas relevantes.

**Figura 2**  
*Localización de la zona de estudio.*

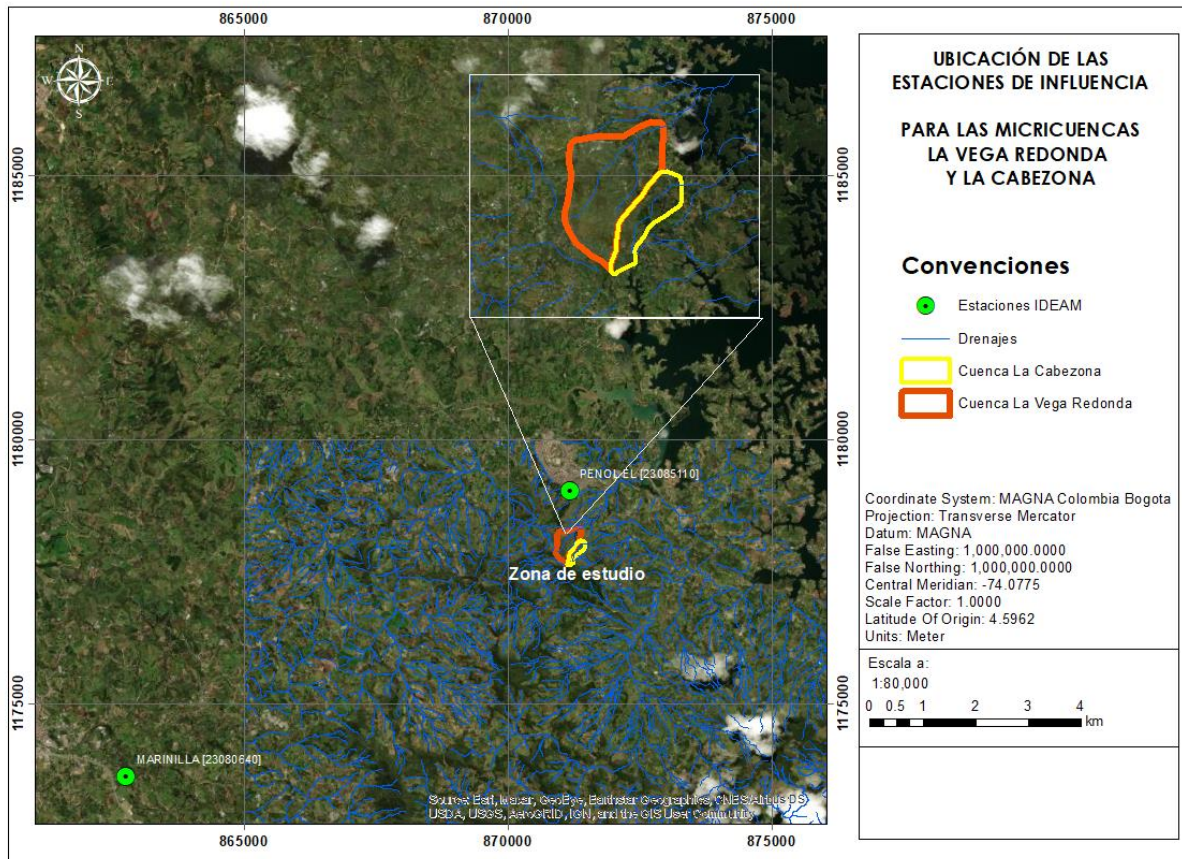


**Tabla 1**  
*Estaciones Hidrometeorológicas tenidas en cuenta para el estudio.*

Código	Estación	Tipo de Estación	Depto.	Mpio.	Altitud (msnm)	Latitud. (N)			Longitud. (W)			Entidad que Opera
						Gr.	Min.	Seg.	Gr.	Min.	Seg.	
23085110	Penol	CO	Antioquia	El Peñol	1956	6°	12'	51.3"	75°	14'	28.8"	IDEAM
2308517	El Peñol	CO	Antioquia	El Peñol	1920	6°	18'	42.8"	75°	15'	12.7"	EPM

**Figura 3**

*Ubicación de las estaciones de influencia de la zona de estudio.*





**Figura 4**

*Panorámica microcuenca La Vega Redonda.*



**Figura 5**

*Panorámica microcuenca La Cabezona.*



**10. Información disponible del Acueducto Guanito (ASODUCTO)**

En el año 1989, gracias a los esfuerzos realizados por José María Botero, entonces presidente de la Junta de Acción Comunal, y Jesús Arcesio Botero quien era el alcalde de turno, movidos por el mismo deseo, gestan lo que fue el proyecto para el diseño y construcción del acueducto para la vereda. Es a raíz de esto que en el mismo año se inician las labores de ejecución del proyecto que fue financiado gracias a los aportes realizados por la administración municipal y la comunidad.

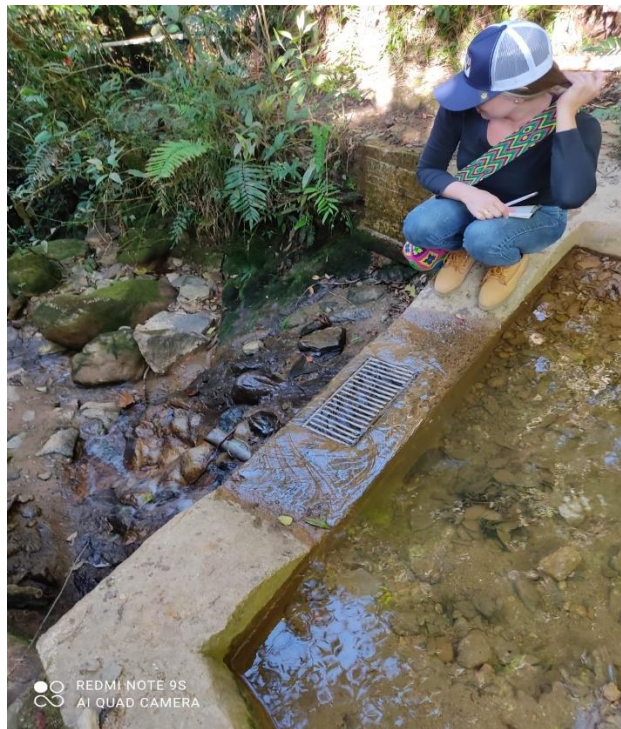
La Asociación de Usuarios Acueducto Guanito (ASODUCTO), con NIT N°811.024.046-4, nace a raíz de la necesidad de contar con una entidad encargada de la administración, operación y mantenimiento del sistema. A la fecha el acueducto presta el servicio a un total de 299 suscriptores estratificados, de los cuales 132 pertenecen al estrato 1, 50 pertenecen al estrato 2, 107 pertenecen al estrato 3, 3 al sector oficial y 6 al sector comercial. Un gran porcentaje de los usuarios corresponde a población nativa de la región y en menor proporción a foráneos que cuentan con sus fincas de veraneo en el sector. Generalmente el servicio es utilizado para suplir necesidades domésticas y una menor proporción usan el servicio para el riego de cultivos y jardines, el cuidado de ganado y actividades recreativas.

La asociación de usuarios del acueducto Guanito ASODUCTO cuenta con una microcuenca llamada La Vega Redonda la cual es una de las fuentes abastecedoras de este acueducto y en la cual estamos trabajando su oferta hídrica, en las visitas que se han realizado se encontraron los siguientes aspectos:

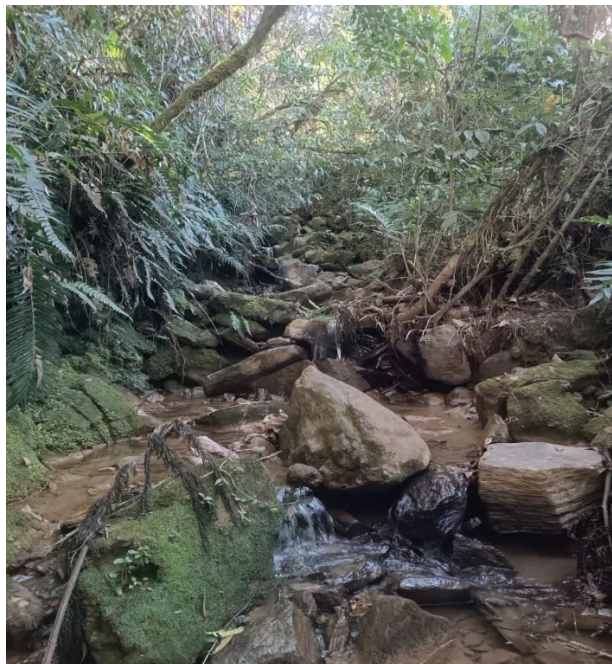
**Bocatoma**

Esta estructura se ubica sobre la fuente Vega redonda ubicada en las coordenadas 6°12'15.86''N, 75°14'12.52''W y 2146.1 m.s.n.m. es una captación tipo toma de fondo en concreto reforzado, con un ancho total de presa de 2.6 m y un espesor de 0.30 m, cuenta con un vertedero de captación de 1.0 m de ancho, de pared gruesa de 0.30 m y una altura de 0.05 m, sobre el cual se tiene instalada una rejilla de captación de 0.40 m de ancho y 0.20 m de longitud, con 17 barras de 1/2" de diámetro.

**Figura 6**  
*Bocatoma.*



**Figura 7**  
*Fuente Hídrica La Vega Redonda. Detalle del cauce en la zona de captación.*



**Desarenador**

El sistema cuenta con un tanque desarenador que al igual que la bocatoma son estructuras que están construidas en mampostería reforzada. Cada estructura se compone por dos compartimientos, uno es una cámara de llegada para la disipación de la energía y cruza a un filtro en manto rocoso. Las dimensiones del desarenador principal son de 1.0 m ancho x 1.3m largo x 1.0 m de profundidad. Sus muros tienen un espesor de 0.2 m y una altura útil de 0.8 m.

**Figura 8**

*Desarenador.*

**Planta de tratamiento de agua potable**

Es una planta de tipo convencional con una conformación parcial en la cual solo se realiza el proceso de filtración y desinfección.

El agua llega a la planta en tubería PVC de 3 “. La estructura de entrada es una cámara de disipación de energía con unas dimensiones de 1.25 m x 0.3 m x 0.7 m de profundidad. Se comunica por medio de una tubería de 4” con otra cámara de mayor dimensión 1.25 m x 0.7 m x 2.8 m de profundidad que funciona como un sedimentador de partículas. Por medio de rebose, una tubería de 4” colecta el agua y la distribuye uniformemente sobre el filtro.

**Figura 9**

*Planta de tratamiento de agua potable.*



**Filtración**

Este corresponde a un tanque con dimensiones de 1.25 m x 2.15 m x 3.2 m de profundidad. El fondo corresponde a un lecho filtrante de aproximadamente 0.7 m de espesor, compuesto por capas de antracita, arena multi estrato y grava, En su zona inferior cuenta además con un falso fondo de aproximadamente 0.4 m donde llega el agua ya filtrada y pasa mediante tubería de 6" hasta el tanque de agua filtrada, estos pasantes cuentan con válvula de cierre. Cuenta también con un canal para recolectar las aguas de retro lavado, estas son evacuadas por medio de una tubería de 6", la cual transporta y descarga las aguas de retro lavado en una caja de inspección y desde esta son dirigidas todas las descargas hasta una fuente cercana. El filtro tiene unas dimensiones de 1.25 m de ancho, 1.8 m de largo y son de filtración rápida con tasa declinante. Su lavado se realiza por medio de retro lavado.

**Figura 10**

*Filtración.*



**Desinfección**

Después de la filtración se tiene la desinfección. Esta se realiza con un sistema de dosificación de cloro, el cual haciendo uso de una bomba dosificadora se adiciona una solución de cloro en estado líquido al agua con lo que se finaliza el proceso de potabilización, para luego depositarse en un tanque de almacenamiento y su posterior distribución.

**Figura 11**

*Desinfección*



**Tanque de almacenamiento**

Es un tanque en concreto reforzado ubicado junto a la planta de tratamiento. Cuenta con unas dimensiones totales de 7.2 m de ancho, 7.2 m de largo y una altura total de 2.65 m. El espesor de los muros es de 0.2 m, la altura útil de 2.4 m y el borde libre de 0.25 m, para un volumen aproximado de almacenamiento de 111 m<sup>3</sup>. Sobre este se instala la caseta de cloración.

El tanque cuenta con una compuerta para el acceso a su interior y con escalones embebidos en el muro de concreto. Este se surte por medio de una tubería de 6" donde se realiza la cloración. Cuenta además con tubería de rebose de 6" la cual es descargada en una caja de inspección y de esta a una fuente cercana. La estructura se encuentra en buenas condiciones estructurales. El volumen total de almacenamiento con que se cuenta es de 111 m<sup>3</sup>

### **Figura 12**

*Tanque de almacenamiento*



### **Redes de distribución**

La Asociación carece de información técnica o un catastro sobre sus redes y accesorios instalados, lo que se reduce a información que sea suministrada por ellos. De la información suministrada por parte del fontanero del acueducto se tiene que:

La red de distribución se encuentra conformada en su totalidad por tubería en PVC y cuenta con diámetros que varían entre 3" y 3/4", que se extienden por una longitud aproximada de 10 km. La tubería utilizada para la instalación de acometidas es de 1/2", tubería en la cual se llega hasta el micromedidor. No se cuenta con información de la longitud instalada.

Algunos tramos ya han cumplido su vida útil, viéndose esto reflejado en la falta de presión para algunos usuarios debido a la poca capacidad de la red.

No se presentan puntos críticos a lo largo de la red de distribución.

### **Válvulas en la red de distribución**

Cuenta con varias válvulas instaladas a lo largo de la red de distribución, principalmente en cada uno de los ramales. Varían entre diámetros de 3” y 1”. No se cuenta con un catastro de estas.

### **Macro y micro medición**

El 100% de los usuarios cuentan con dispositivo de micro medición, con lo cual se permite llevar un registro del consumo real de los usuarios.

En la red se tienen instalados 7 macro medidores, uno a la salida del sistema que registra su consumo real, y los demás distribuidos en los principales ramales. De estos, 6 se encuentran en buen funcionamiento y uno está parado.

Contar con micro y macro medición, permite determinar el consumo real del sistema y calcular el porcentaje de pérdidas que se presentan.

### **Puntos de muestreo**

En el sistema se tienen instaladas 4 cajas de muestreo. Una al inicio de la red, otra en mitad de red y las otras dos al final de los ramales principales.

El acueducto se puso a disposición para compartir toda esta información, esperan con este trabajo de investigación saber si tendrán agua suficiente para abastecer la población a futuro o si se hará necesario concesionar una fuente hídrica alterna.

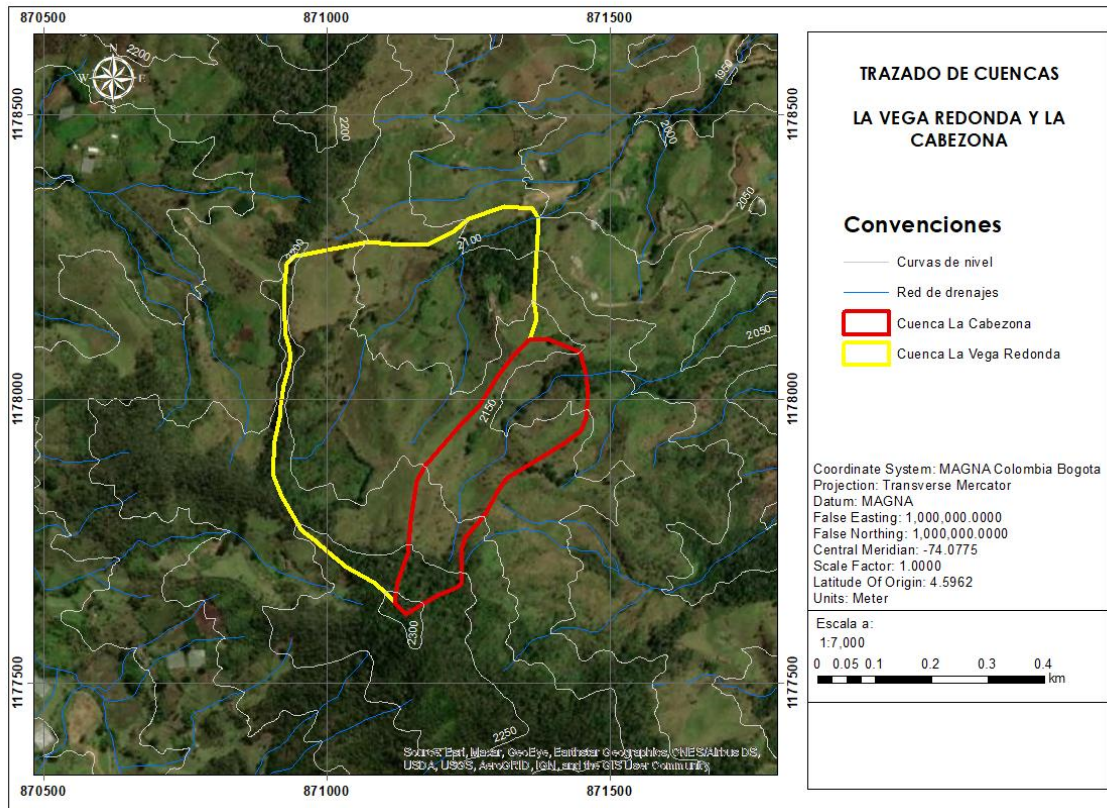
Parte del problema es que el riesgo de quedarse limitados del recurso hídrico es difícil de estimar. Esto se debe a que existen muchos factores que influyen en la disponibilidad de agua, como la cantidad de precipitaciones, la temperatura, la evaporación y la demanda. Además, estos factores pueden variar de forma impredecible, lo cual dificulta predecir el futuro; adicionalmente, la gentrificación, la variación en el uso del suelo y la densificación poblacional son algunos de los factores que contribuyen al problema de escasez de agua.



11. Características Morfométricas de las Microcuencas

Figura 13

Trazado de cuencas



**Principales características fisiográficas de las microcuencas:**

**Área:**

El área de la microcuenca, medida hasta su respectivo punto:

La Vega Redonda: 0.20 km<sup>2</sup>

La Cabezona: 0,07 km<sup>2</sup>

**Forma de la cuenca**

Se evaluará el Índice de Gravelius también llamado Índice de Compacidad, el Factor de Forma, el Índice de Alargamiento y el Índice Asimétrico.

Índice de compacidad Kc: El coeficiente de compacidad o índice de Gravelius permite determinar la irregularidad de la microcuenca, y se define como la relación entre el perímetro y la longitud de la circunferencia correspondiente a un círculo de igual área de la microcuenca.

$$Kc = 0.282P/A^{0.5}$$

Donde,

P es el perímetro de la cuenca, km.

A es el área de la microcuenca, km<sup>2</sup>.

Quebrada La Vega Redonda:

$$P = 1.93 \text{ km}$$

$$A = 0.20 \text{ km}^2$$

$$K_c = 1.21$$

Para valores comprendidos entre 1.0 y 1.5 la forma de las cuencas es: oval redonda a oval oblonga.

El radio de la circulo seria de 250 m.

Quebrada La Cabezona

$$P = 1.28 \text{ km}$$

$$A = 0.07 \text{ km}^2$$

$$K_c = 1.36$$

Para valores comprendidos entre 1.5 a 1.75 la forma de las cuencas es oval oblonga a rectangular oblonga.

El radio de la circulo seria de 149.3 m.

**Tabla 2**

*Clasificación índice de compacidad.*

Índice de compacidad K <sub>c</sub>	Clasificación
1.00 – 1.25	Casi redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	Oval redonda – Oval oblonga
1.50 – 1.75	Oval Oblonga – Rectangular oblonga

**Factor de Forma, K<sub>f</sub>**

El factor de forma es la relación entre el ancho promedio y la distancia entre los puntos más distantes de la corriente, o la relación entre el área y la longitud.

$$K_f = \text{Área de la microcuenca} / \text{Longitud mayor de la microcuenca al cuadrado.}$$

K<sub>f</sub> = 1 forma cuadrada con descarga en el punto medio de un lado.

Quebrada La Vega Redonda,

$$K_f = 0.20 / 0.72$$

$$K_f = 0.43$$

Quebrada La Cabezona

$$K_f = 0.07 / 0.52$$

$$K_f = 0.27$$

**Tabla 3**

*Clasificación Factor de Forma.*

Factor de forma Kf	Clasificación
0.01 – 0.18	Larga
0.18 – 0.36	Ligeramente larga
0.36 – 0.54	Corta

Estos resultados son consecuentes con los obtenidos mediante el índice de Gravelius. La microcuenca de La Vega Redonda es Corta y La Cabezona es Ligeramente Larga.

Las cuencas con Kf bajo son menos propensas a tener lluvias intensas en toda la cuenca y por ende, son menos susceptibles a las crecidas, sin embargo en este caso como son cuencas pequeñas esta diferenciación puede no ser sensible.

#### **Pendiente Media De La Microcuenca**

El método empleado para las mediciones de la pendiente de la microcuenca es el propuesto por Horton.

$$S = (1.57 * N * D) / L$$

Donde:

$$N = N_x + N_y$$

N<sub>x</sub> = Número total de intervenciones y tangencias en la dirección X.

N<sub>y</sub> = Número total de intervenciones y tangencias en la dirección Y.

$$L = L_x + L_y$$

L<sub>x</sub> = Longitud total de las líneas de la malla, dentro de la microcuenca, en la dirección X.

(Expresada en km).

L<sub>y</sub> = Longitud total de las líneas de la malla, dentro de la microcuenca, en la dirección Y.

(Expresada en km).

D = Desnivel entre curvas de nivel. (Expresada en km).

S = Pendiente media de la microcuenca

Quebrada La Vega Redonda

$$S = 30.00\%$$

Quebrada La Cabezona

S = 31.93%

De acuerdo con estos valores de pendientes que se encuentran entre 20 y 35% se puede decir que la cuenca presenta un relieve fuerte.

**Tabla 4**

*Pendiente Media De La Microcuenca.*

Pendiente de la cuenca (%)	Clasificación
0 - 3	Plano
3 - 7	Ondulado o suave
7 - 12	Mediano
12 - 20	Accidentado
20 - 35	Fuerte
35 - 50	Muy Fuerte
50 - 75	Escarpado
75 o mayor	Muy escarpado

**Coeficiente De Masividad**

Se obtiene de dividir la Elevación Media por el área total de la microcuenca.

La Vega Redonda:

2168 msnm/0.20km<sup>2</sup>

Coeficiente de masividad: 10840 m/km<sup>2</sup>

La Cabezona:

2.187 msnm/ 0,07 km<sup>2</sup>

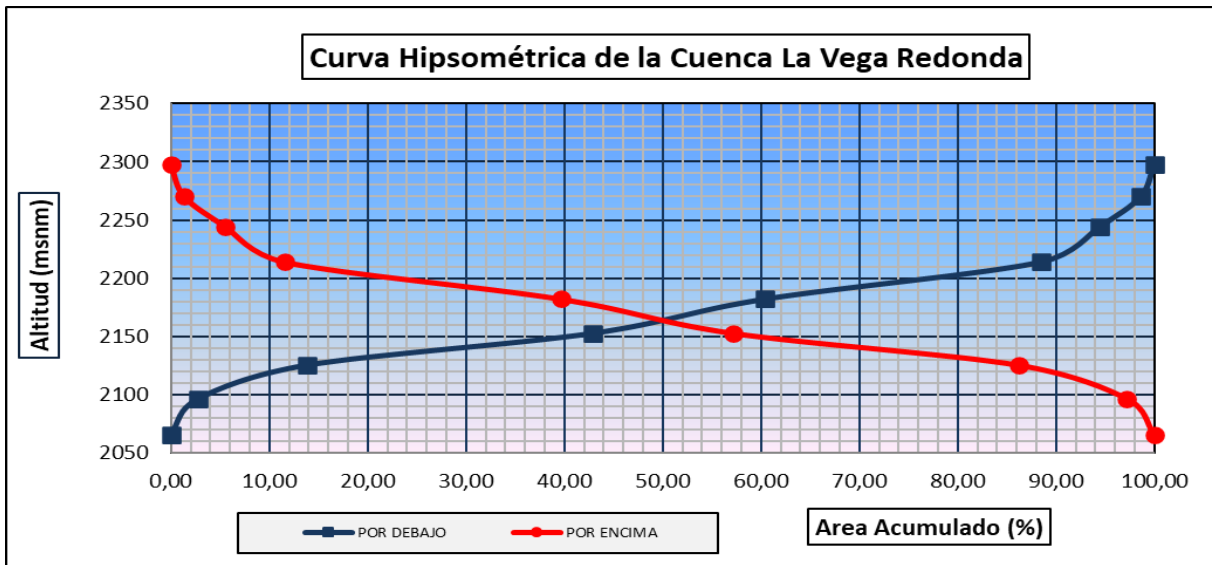
Coeficiente de masividad: 31242 m/km<sup>2</sup>

**Curva Hipsométrica Y Elevación Mediana**

La curva hipsométrica es una gráfica cuyas abscisas son las áreas acumuladas hasta cada elevación y las ordenadas son las elevaciones correspondientes. Las áreas se pueden expresar como porcentaje del área total. Para la elevación más baja se tendría el área total o el 100%.

**Figura 14**

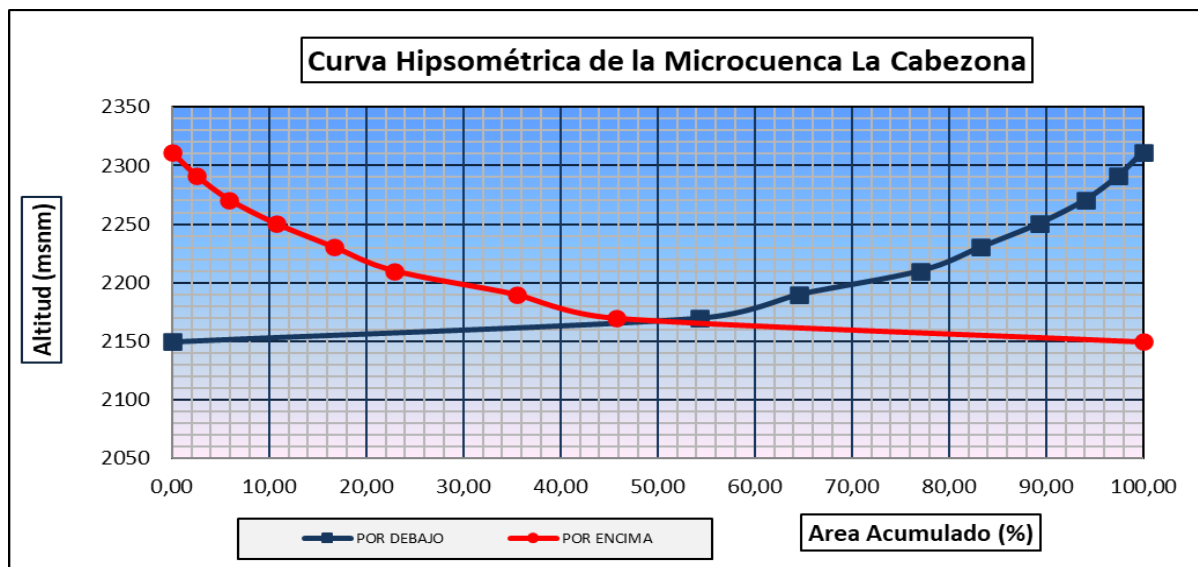
*Curva Hipsométrica de la quebrada La Vega Redonda*



De la curva hipsométrica (figura 14) La elevación mediana en la Microcuenca La Vega Redonda es la cota 2168.09 m.s.n.m.

**Figura 15**

*Curva Hipsométrica de la quebrada La Cabezona.*



De la curva hipsométrica (Figura 15.) La elevación mediana en la Microcuenca La Cabezona es la cota 2.187,91 m.s.n.m.

**Red De Drenaje**

**Número de orden**

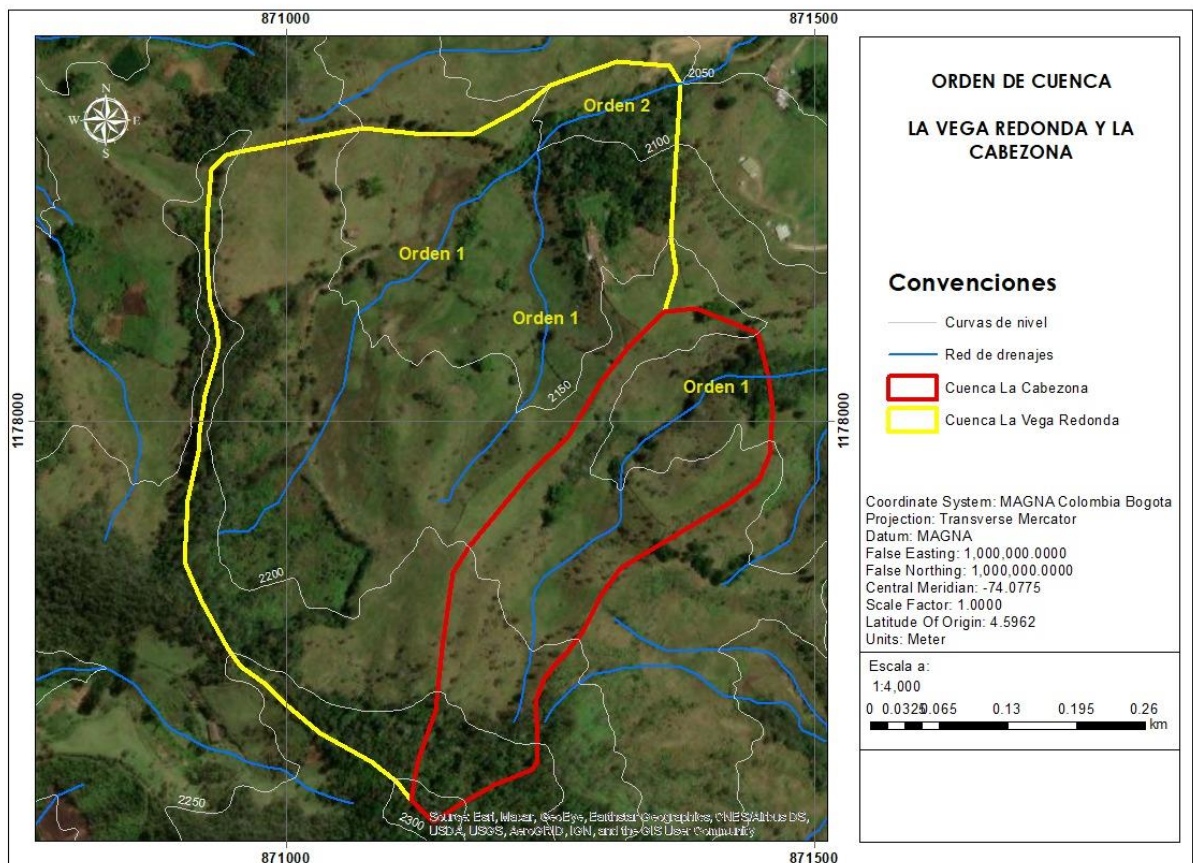
Para determinar el número de orden se aplicó el método de Horton. Las corrientes se clasifican según el grado de bifurcación como de ver en la figura 16.

La fuente Vega Redonda es de orden dos (2)

La fuente La Cabezona es de orden dos (1)

**Figura 16**

*Orden de las microcuencas*



**Tabla 5**

*Resumen de características fisiográficas.*

RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS FISIGRÁFICAS	La Vega Redonda	La Cabezona
AREA (km2)	0.20	0.07
COTA DEL CAUCE HASTA LA DIVISORIA	2300	2300
COTA DE AFLORAMIENTO	2200	2240
COTA DE ANÁLISIS MÁS BAJA (msnm)	2050	2135
LONGITUD CAUCE PRINCIPAL HASTA LA DIVISORIA (km)	0.97	0.58
LONGITUD CAUCE PRINCIPAL (km)	0.66	0.46
LONGITUD DE LA CUENCA (km)	0.72	0.52
ANCHO MAXIMO DE LA CUENCA (km)	0.44	0.17
ANCHO MEDIO DE LA CUENCA (km)	0.28	0.13
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE(%)	22,73	22.83
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE HASTA LA DIVISORIA (%)	25,77	28.44
PERÍMETRO (km)	1.93	1.28
Indice de Compacidad kc forma	1.23	1.36
Factor de forma kf	0.43	0.27
PENDIENTE MEDIA DE LA MICROCUENCA (%)	30.00	31.93
Elevación media (msnm)	2168	2.187
Elevación mediana (msnm)	2168	2187.91
Orden de la corriente principal	2	1

---

## **12. Caracterización Geológica de la Zona de Estudio**

En este capítulo se toman algunos apartes del Informe de Geología de El Peñol elaborado por el Ingeniero Carlos Eduardo Parra Vargas como aporte valioso para este trabajo de caracterización geológica de la microcuenca La Vega Redonda y sus alrededores complementados con la revisión de dos muestras de roca que fueron tomadas por las estudiantes. Estas muestras fueron recolectadas tanto en la bocatoma como aguas abajo de la fuente. En el anexo 3 se presenta el informe del ingeniero Parra.

Cuando se inició el Trabajo de Grado se tenía la convicción de que la microcuenca La Vega Redonda se desarrollaba dentro de la formación geológica Batolito Antioqueño, porque así lo mostraba el mapa geológico de Antioquia (Ingeominas, 1999), y por ello se pensó que los resultados del estudio de esta fuente de agua, podrían tener aplicación regional.

Durante el proceso de visitas y aforos no se echó de ver que en el cauce los fragmentos de roca no eran del Batolito Antioqueño sino de una roca metamórfica. Sólo hacia el final se cayó en cuenta de este hecho.

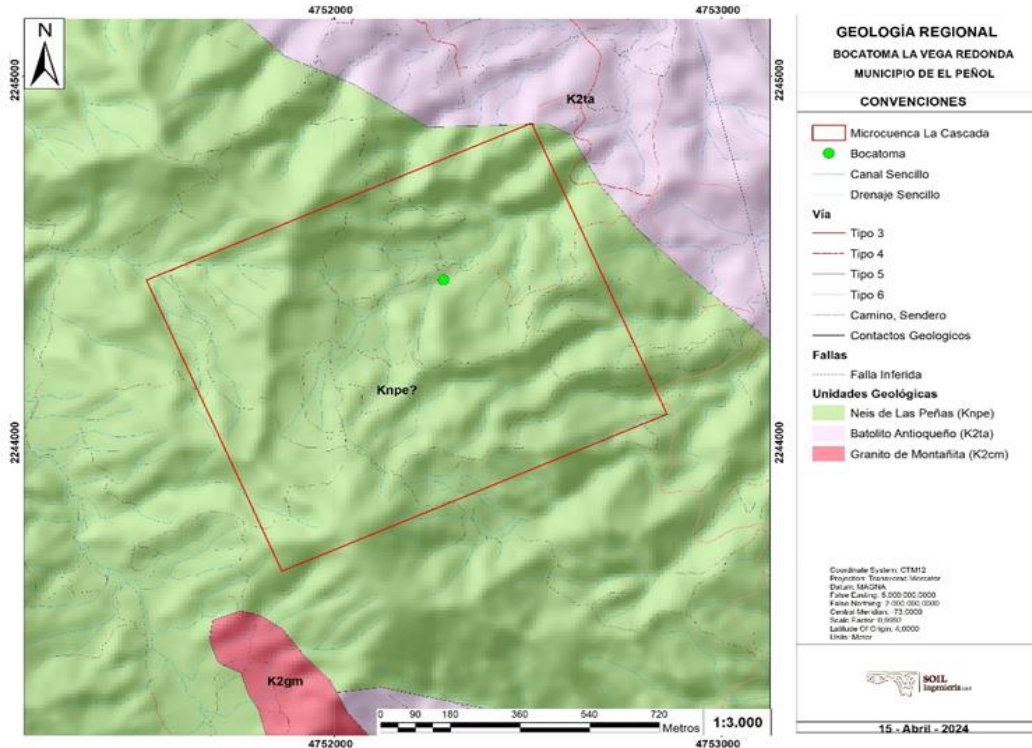
### **12.1. Unidades litológicas regionales**

Del informe de “Caracterización Geológica de la Zona de Estudio” (Anexo 3) antes mencionado se extracta lo siguiente: *Teniendo en cuenta la cartografía geológica de la Plancha 147 – Medellín Oriental (INGEOMINAS, 2005), se encuentra que el área de estudio se enmarca principalmente, dentro de la unidad litológica denominada el Neis de Las Peñas (Knpe), que se encuentra bordeada, y por fuera de la zona de interés, por rocas del Batolito Antioqueño (K2ta), y del Granito de Montañita (K2cm).* (figura 16) (Parra Vargas & Geólogo, n.d. (13))



Figura 17

Geología Regional del área de estudio. Tomado y modificado de: (SGC, 2016). Ver anexo 3



## 12.2. Neis de las peñas (Knpe)

El Neis de Las Peñas corresponde a neises y granofelses bandeados, localmente plegados y con estructura migmatítica y en algunas áreas se presentan intercalaciones con paquetes de anfibolitas. Los neises se encuentran alterados, tomando colores anaranjados, pardos, rojos y grises con bandas y manchas amarillas, la foliación está bien marcada y con estructura néisica fina, localmente presentan segregaciones de cuarzo lechoso a lo largo de los planos de foliación; bandas de cuarzo y feldespatos con textura granoblástica, se intercalan con bandas de cuarzo, feldespatos y micas (biotita principalmente) con textura granolepidoblástica.

En la Autopista Medellín – Bogotá, el Neis de Las Peñas aflora a todo lo largo de la Cuchilla Las Peñas (Plancha 147I), que es controlada estructuralmente por la foliación de los neises, y en esta zona Correa & Martens (2000), describen anfibolitas, neises, neises con migmatización, esquistos grafitosos y granofelses. Además, Estrada-Carmona (2003) identificaron tres tipos de rocas metamórficas: anfibolitas, gneises y migmatitas.

Hacia las cabeceras de la quebrada Espíritu Santo, afloran anfibolitas con intercalaciones de neises. Los neises están constituidos por cuarzo, feldespato y micas, localmente tienen plegamiento cerrado y corresponden a neises intercalados con granofelses, bandeados, de colores blanco y negro, con texturas granoblástica, granoporfidoblástica y granolepidoblástica.

Entre las veredas Tablacito y el Corregimiento de Sajonia (Plancha 147III), el Neis de Las Peñas presenta un saprolito de textura limo - arenoso, con abundantes micas secundarias, de colores rosados a rojos con manchas amarillas a ocre, foliados, bandeados, con segregaciones de cuarzo a lo largo de la foliación y localmente la cortan venas de cuarzo lechoso. Este sector se caracteriza por tener una morfología de colinas subredondeadas bajas, localmente hacia las partes altas de las colinas se presentan bandas y paquetes de anfibolitas intercaladas con paquetes de neises, donde las anfibolitas están menos alteradas que los neises.

### **12.3. Batolito Antioqueño (K2ta)**

El Batolito Antioqueño es un cuerpo intrusivo, caracterizado por su monótona variación composicional, está constituido por tonalitas y granodioritas, y subordinado pueden encontrarse, cuarzodioritas y dioritas. En general, se presenta como una roca ígnea masiva, holocristalina, fanerítica de grano medio a grueso, localmente con cristales muy gruesos de hornblenda, la roca es de color blanco moteada de negro con texturas granulares y menos frecuentes inequigranulares, compuesta por cristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico subordinado, biotita y anfíbol, con trazas de epidota, clorita y esfena, varía poco la proporción de estos minerales de un lugar a otro y la variación composicional en la roca va desde granodiorita y tonalita hasta cuarzodiorita.

En Plancha 147 Medellín Oriental, son relativamente escasos los afloramientos del Batolito Antioqueño y la mayor parte del área donde aflora está cubierta por un suelo arcilloso y saprolito arenoso, formados por procesos de meteorización física y química bajo la influencia del clima, la vegetación y la acción antrópica que en muchos casos ha acelerado el proceso debido a la tala del bosque primario para el desarrollo agropecuario y urbanístico de la región; además, las características físicas del macizo rocoso, tales como el fracturamiento, diaclasamiento y presencia de zonas de cizalladura, así como el empaquetamiento de los cristales facilitan el acceso de los agentes de meteorización, especialmente el agua, y por lo tanto el debilitamiento de la estructura de la roca acelerando el proceso de meteorización (SGC, 2016).

**12.4. Granito de montaña (K2cm)**

El Granito de Montaña es un cuerpo compuesto por una roca ígnea diferente a la del Batolito Antioqueño que aflora en el municipio de El Peñol en la Vereda Montaña. En la versión 2005 de la Plancha 147 el cuerpo quedó cartografiado como una facies del Batolito Antioqueño, denominado K2mg y descrito como: “Facies félsica de composición monzogranítica a cuarzomonzonítica con textura hipidiomórfica equigranular de grano medio a fino localmente gráfica; predominio de biotita sobre hornblenda”.

La unidad aflora principalmente en la vereda Montaña del municipio de Marinilla y localmente en las veredas El Carmelo y La Héliada del municipio de El Peñol, el cual parece intruir las tonalitas del Batolito Antioqueño, y son macizas faneríticas e inequigranulares de grano fino, con color gris claro y localmente tiene aspecto sacaroidal (SGC, 2016).

**12.5. Materiales geológicos superficiales**

Teniendo en cuenta la cartografía geológica de la evaluación y zonificación de riesgos y dimensionamiento de procesos erosivos en el municipio de El Peñol, el área de estudio se encuentra dentro de la unidad de saprolito de roca metamórfica no foliada, caracterizada por un perfil de meteorización de la anfibolita, compuesta por un nivel de suelo residual, de textura limo arcillosa, color crema a gris claro que localmente presenta incidencia de cenizas volcánicas, un nivel saprolítico de color pardo amarillento a pardo rojizo, de textura limo-arenosa a limo-arcillosa, producido por la alteración de la hornblenda, que localmente presenta un bandeamiento débil con capas finas de color blanco a amarillo pálido producido por la alteración de zonas ricas en plagioclasa. Este saprolito puede variar en la coloración a gris verdoso, pero por lo general predominan los tonos pardos debido al predominio de la hornblenda en la composición mineralógica de las anfibolitas y puede contener bloques de roca relativamente fresca

La estructura en las anfibolitas varía de maciza a néisica y ligeramente esquistosa, algunas veces bandeadas. La composición mineralógica de las anfibolitas es esencialmente hornblenda y plagioclasa con cantidades menores de minerales accesorios como magnetita, ilmenita, esfena, circón y apatito, localmente se pueden encontrar diópsido. En la Fotografía 17 se observan unos fragmentos de una roca anfibólica, ligeramente esquistosa, decolorada, dura, que parte con dos o más golpes del martillo geológico, la cual aflora hacia el sitio de la bocatoma, como sedimentos activos, grueso-granulares, superficiales de la quebrada.

**Figura 18**

*Sedimentos grueso-granulares de la quebrada. Ver anexo 3*



**Otros aspectos geológicos**

De las conclusiones del informe se extracta lo siguiente:

- Geomorfológicamente la zona de estudio se encuentra sobre relieves denudacionales, denominados como lomeríos muy disectados (Dlmd), que cubren la totalidad del área de la Bocatoma La Vega Redonda.
- Dentro de las amenazas geológicas, la zona de estudio se clasifica como un área de amenaza sísmica intermedia y amenaza ante movimientos en masa principalmente media a alta.
- Se consulto al Ingeniero Carlos Eduardo Parra sobre la caracterización hidrogeológica del Neis de Las Peñas quien respondió: El Neis de Las Peñas en la zona de estudio esta rodeado por el Batolito Antioqueño; La estima que el Batolito Antioqueño posee mejores propiedades hidrogeológicas que el Neis de Las Peñas, y considerando un flujo subterráneo hacia la zona de embalse el Neis de Las Peñas se convierte en una barrera que regula este flujo. La Zona de recarga del Batolito contribuye finalmente a aportar aguas subterráneas al Neis de Las Peñas y por consiguiente a los caudales de base de la quebrada La Vega Redonda e igualmente de La Cabezona.

13. Caracterización Climática

13.1. Datos Climáticos Medios De La Estación.

Figura 19

*Humedad Relativa en la estación El Peñol*

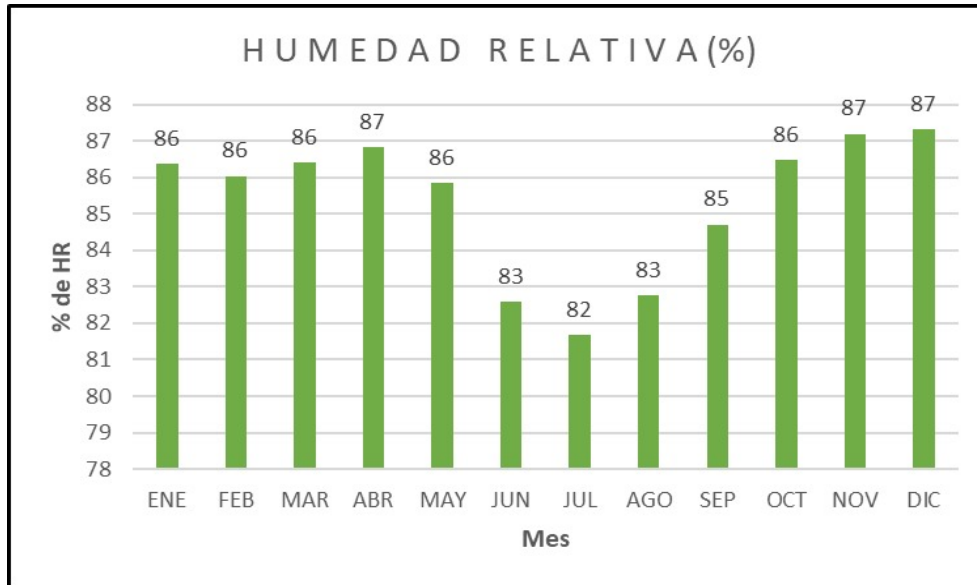
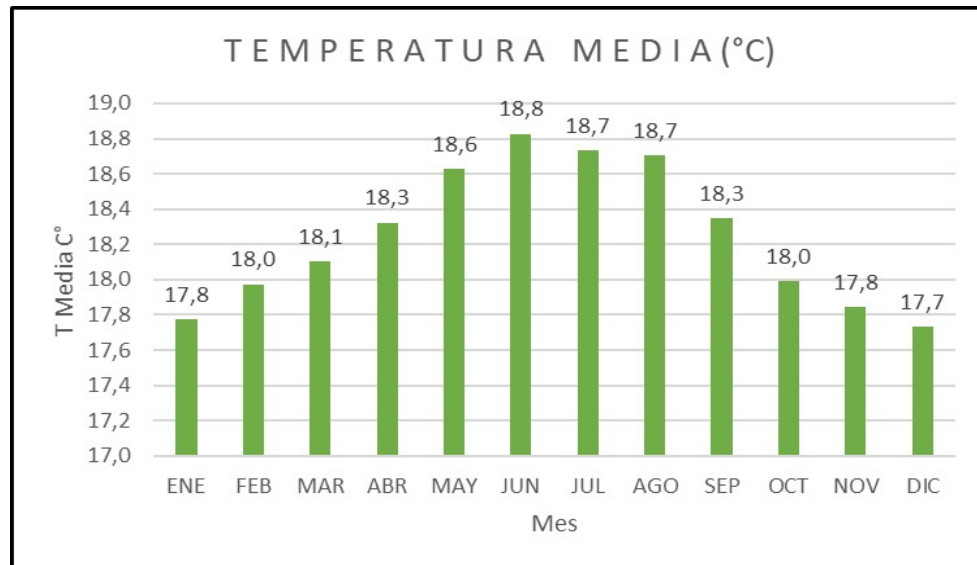


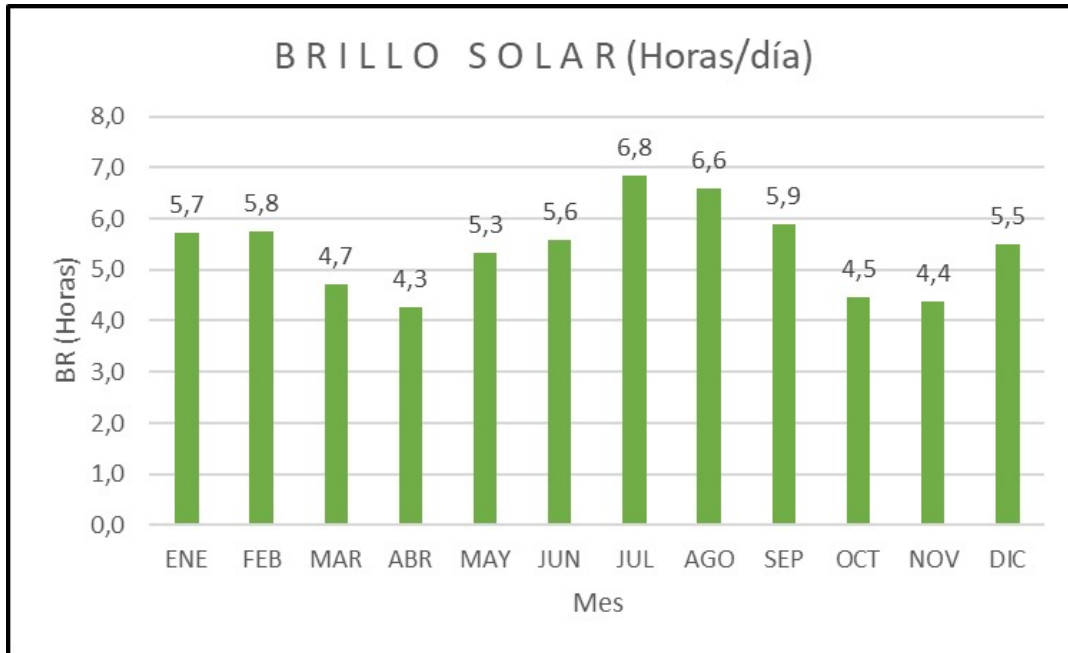
Figura 20

*Temperatura Media en la estación El Peñol.*



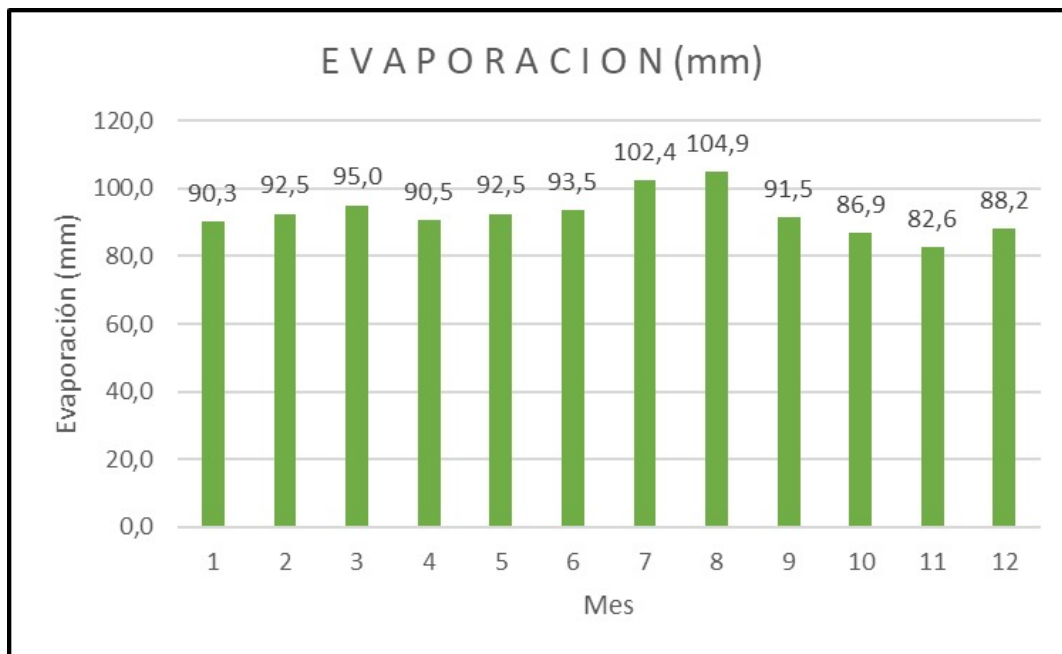
**Figura 21**

*Brillo Solar en la estación El Peñol EPM.*



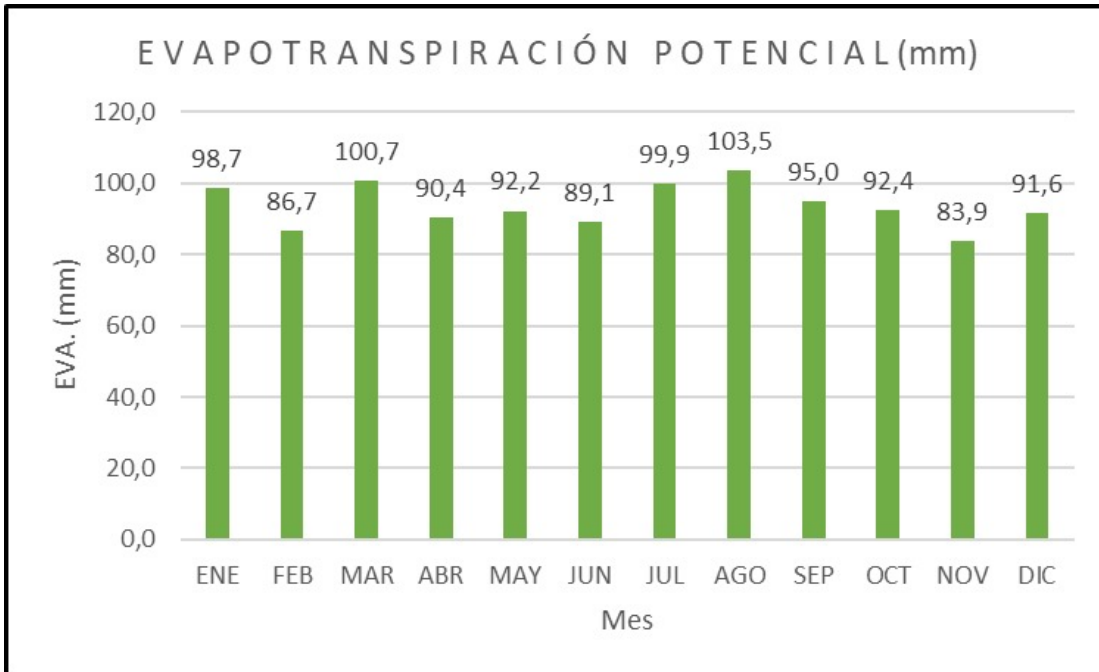
**Figura 22**

*Brillo Solar en la estación El Peñol EPM.*



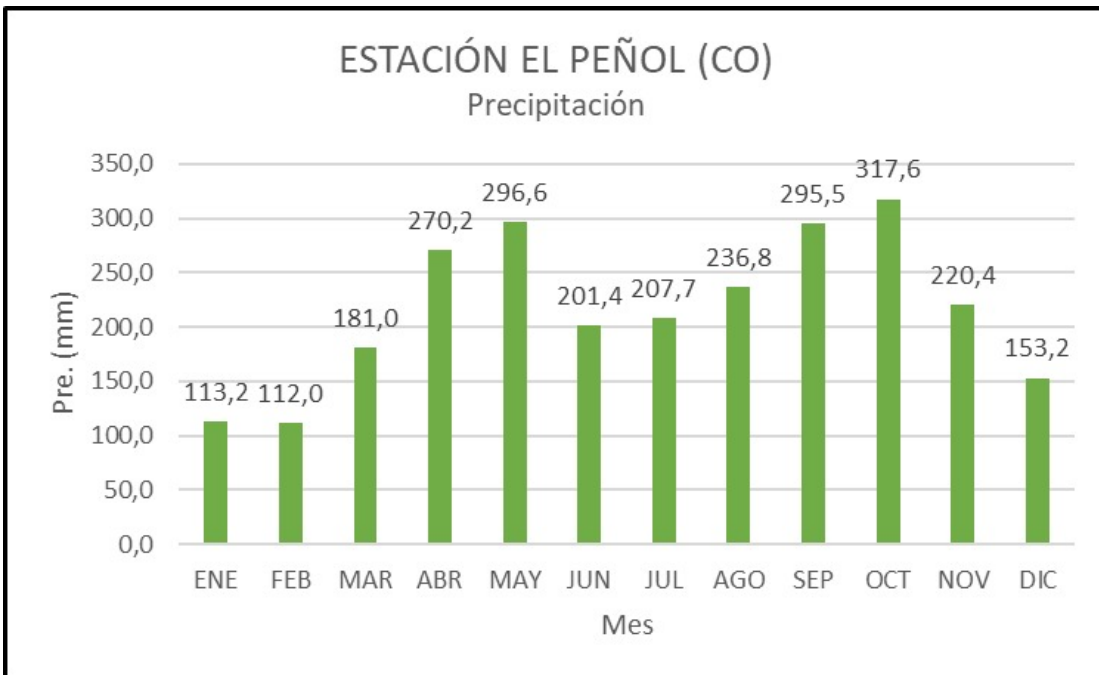
**Figura 23**

*Evaporación en la estación El Peñol EPM.*



**Figura 24**

*Precipitación mensual en la estación El Peñol*



#### 14. Estimación de caudal medio y caudales mínimos

Con respecto a la metodología se procederá a calcular el caudal medio estimado utilizando la precipitación media en la zona de la cuenca, junto con un factor de escorrentía. El factor de escorrentía representa la proporción de la precipitación media multianual que se convierte en escorrentía.

Adicionalmente, se determinarán los caudales mínimos asociados a distintos períodos de retorno mediante el empleo de fórmulas empíricas desarrolladas por la Universidad Nacional de Colombia (UNAL). Estas fórmulas posibilitarán la estimación de los estadísticos de la media y la desviación estándar. Para lograr una mayor precisión en la evaluación, se aplicarán factores de frecuencia correspondientes a la distribución o distribuciones que presenten el mejor ajuste, según el análisis llevado a cabo por la UNAL.

##### 14.1. Caudal medio

Se hizo un estimativo de caudal medio para las dos fuentes, en el cual se tuvo en cuenta la información de registro de precipitaciones de la estación PENOL EL (23085110) IDEAM y el área de cada cuenca.

La determinación del caudal medio para estas quebradas se realizó estimando un factor de escorrentía que al multiplicarse por la precipitación media multianual permite evaluar la escorrentía promedio. La escorrentía promedio multiplicada por el área de drenaje de la cuenca determina el caudal medio multianual en el sitio de interés.

$$Q_{\text{med}} = C * P * A$$

Donde:

C: factor de escorrentía.

P: precipitación media multianual.

A: área de la cuenca.

**Nota:** El factor de escorrentía, se tomó del balance hídrico donde se obtuvo que la Relación Eschorrentía / Precipitación (%) es de 62.6%.



**Tabla 6**

*Caudales medios.*

<b>FUENTE</b>	<b>P (mm/año)</b>	<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Factor de escorrentía C</b>	<b>Q medio (L/s)</b>
La Vega Redonda	2605,6	0,20	0,626	10,34
La Cabezona	2605,6	0,07	0,626	3,621

**15. Caudales Mínimos**

Como parte de la caracterización hidroclimática de las cuencas en estudio está la evaluación de los caudales mínimos. Esta información resulta de mucho interés cuando de abastecimientos de agua se trata.

Para la estimación de caudales mínimos se cuenta con fórmulas empíricas resultantes de estudios de regionalización. En este caso las obtenidas para toda Antioquia, realizadas por profesionales del Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Medellín ().

$$\text{Caudal mínimo medio} = 10^{-5.155} * A^{0.942} * P^{1.025} *, R = 0.974$$

$$\text{Desviación estándar} = 10^{-5.46} * A^{0.997} * S^{0.218} * P^{0.894} *, R = 0.974$$

Donde,

El caudal mínimo medio y la desviación estándar en las fórmulas están en m3/s. En la Tabla se dan en L/s.

A = área de la cuenca en km2.

P = precipitación media multianual en mm/año.

R = coeficiente de correlación.

**Tabla 7**

*Parámetros para caudales mínimos.*

FUENTE	A	P	S	Media	Desvest
	km <sup>2</sup>	mm/año	%	L/s	L/s
La Vega Redonda	0,2	2605,6	30	4,9	1,6
La Cabezona	0,07	2605,6	31,9	1,8	0,6

Para estimar caudales mínimos asociados a diferentes periodos de retorno se emplearon las distribuciones de valores extremos tipo I o Gumbel, Log-Gumbel, Normal y Log-Normal. En la Tabla 8 se presentan estos resultados.

**Tabla 8**

*Resultado de proyecciones Q. mínimos La Vega Redonda.*

<b>Quebrada La Vega Redonda</b>						
<b>T. de retorno</b>	<b>Factor de frecuencia</b>	<b>Factor de frecuencia</b>	<b>NORMAL</b>	<b>LOG-NORMAL</b>	<b>GUMBEL</b>	<b>LOG-GUMBEL</b>
<b>años</b>	<b>NORMAL</b>	<b>GUMBEL</b>	<b>Q mín. (L/s)</b>	<b>Q mín. (L/s)</b>	<b>Q mín. (L/s)</b>	<b>Q mín. (L/s)</b>
2,33	-0,18	-0,0011	4,6	4,5	4,9	4,9
5	-0,84	-0,72	3,5	3,2	3,7	3,4
10	-1,28	-1,31	2,8	2,6	2,7	2,6
20	-1,65	-1,87	2,2	2,2	1,8	1,9
25	-1,75	-2,04	2,0	2,0	1,5	1,8
50	-2,06	-2,59	1,5	1,8	0,6	1,4
100	-2,33	-3,14	1,1	1,5	-0,3	1,0

Solo se calculó para La Vega Redonda ya que es la fuente de interés y a la cual se le hicieron los aforos.

## **16. Balance Hídrico**

Parámetros básicos y algunas consideraciones:

- Se tomaron las precipitaciones propias de estación del IDEAM ya que cuenta con un rango mayor de tiempo.
- La información climática se tomó de la estación de EPM, para definir la temperatura y se ajustó para la cota media de la cuenca. La cota media de la cuenca se tomó como un promedio entre la correspondiente al punto más alto y la del punto más bajo.
- Los gradientes de temperaturas para la región andina presentan un valor de valor de  $0.61^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$
- Se asumió la velocidad del viento en una constante  $2.9\text{ m/s}$ , teniendo en cuenta los valores de la estación de EPM, ya que no se contaba con el dato en la estación del IDEAM.
- Se consideró una reserva aprovechable por las plantas de  $100\text{ mm}$ .

Para nuestros suelos, los siguientes podrían ser valores medios representativos:

- El espesor de materia orgánica en un promedio de  $0.40\text{ m}$ . En general la profundidad radicular tendría este valor.
- La densidad aparente puede ser del orden de  $1.4\text{ ton/m}^3$  (arcilla blanda muy orgánica)
- La Capacidad de Campo es de  $40\%$ .
- El Punto de Marchitez Permanente de  $20\%$ .
- Con base en los datos anteriores, el agua aprovechable por las plantas =  $0.40 \cdot (40 - 20) / 100 \cdot 1.4 = 0.112\text{ m} = 112\text{ mm}$
- Se toma un valor redondeado en  $100\text{ mm}$ .

El objeto principal del balance hídrico es estimar qué tanto de la precipitación se convierte en escorrentía, bien porque sea escorrentía superficial o bien porque sea escorrentía subterránea con salida como caudal de base.

El balance se realizó para un año típico medio, considerando el total anual y los valores mensuales; adicionalmente se tuvo en cuenta la información adquirida en el IDEAM corresponde al periodo de tiempo comprendido entre 1981 y 2010, es importante aclarar que se tomó la información de EPM para completar esta, ya que la estación del IDEAM no calculaba parámetros tales como brillo solar, evaporación y evapotranspiración Potencial, velocidad del viento.

De acuerdo con un estudio hecho por las EPM, en la cuenca del embalse de El Peñol, la precipitación más baja desde 1959 fue durante el año 1992 y su principal causa fue el fenómeno de El Niño.

**Ecuación de Penman**

$$ETP = f * d * E$$

Los parámetros y términos utilizados en las tablas de Penman, diferentes de los presentados antes, son:

Ri: radiación incidente a la superficie de la tierra.

Fórmula de Penman:  $R_i = R_a (0.18 + 0.55 * n / N)$

Albedo, r : relación entre la radiación reflejada de onda corta y la radiación incidente de onda corta. Depende de la superficie evaporante. Se toma en este caso para agua libre a Temp.< 30° C . Se trabajó con bosque de frondosas 0.18.

Tens. Sat. Vap. Tensión de vapor saturante a la temperatura del aire, en mm de Hg.

Humed. Relat. Humedad relativa registrada en cada estación.

Tens. Vap. Tensión de vapor a la temperatura del aire, en mm de Hg.

Re : Radiación reflejada de onda larga, en cal/cm2.día.

$$R_e = 1440 * \sigma * T_4 (0.56 - 0.092 (Tens. Vap.) 0.5 * (1 - 0.09 n/N))$$

$\sigma$  : Constante de Stefan-Boltzman =  $0.826 * 10^{-10}$  cal/cm2 min °K4.

RN : Radiación neta, en cal/cm2.día.

c1 : Calor de vaporización necesario para evaporar 1 mm. cm2 de agua según la temperatura del aire. (Tabla 6.8 Custodio y Llamas).

Rn : Evaporación, en mm/día.

$$R_n = RN / c_1$$

Vz : velocidad del viento, en m/s.

$$E_a = 0.35 (0.5 + 0.54 V_z) (Tens.Sat. vap. - Tens. Vap.).$$

D/G : Relación entre G (pendiente de la curva de tensión saturante a la temperatura T) y G (constante psicrométrica).

E: Evaporación en superficie de agua libre, en mm/día.

$$E = ((D/G) R_n + E_a) / ((D/G) + 1)$$

f: Coeficiente reductor para aplicar la fórmula de Penman al cálculo de ETP. Un valor para cada mes.

$$ETP = f * d * E$$

d: número de días del mes.

Se presenta el cálculo detallado del balance hídrico correspondiente al promedio, de la estación El Peñol del IDEAM, y en la Tabla 13 se presentan los resultados, en síntesis.

**Tabla 9**

*Resultado del Balance hídrico. PENMAN.*

PENMAN													Total o media anual
Mes	En	Fb	Mz	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Sep	Oc	Nov	Dic	
Precipitación	113,2	112,0	181,0	270,2	296,6	201,4	207,7	236,8	295,5	317,6	220,4	153,2	2605,6
Temperatura	16,4	16,6	16,8	17,0	17,3	17,5	17,4	17,4	17,0	16,7	16,5	16,4	16,9
N Max. Horas	11,8	12,0	12,1	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12,1	12,0	11,9	11,7	12,1
n horas	6,4	6,1	5,3	4,9	5,6	6,5	7,7	7,5	9,7	5,3	5,4	5,6	6,3
Ra	796,8	846,7	879,8	881,9	859,3	842,0	851,0	862,6	873,5	848,9	802,6	775,9	843,4
Ri	380,9	387,2	371,0	353,6	369,3	392,0	444,8	445,8	541,2	358,1	345,6	344,5	394,5
Albedo, r	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Ri(1-r)	312,3	317,5	304,2	289,9	302,9	321,4	364,7	365,6	443,8	293,7	283,4	282,5	323,5
Tens.Sat.Vap	14,0	14,2	14,3	14,5	14,8	15	14,9	14,9	14,5	14,3	14,1	14	14,4
Humed.Relat.	86,4	86,0	86,4	86,8	85,8	82,6	81,7	82,8	84,7	86,5	87,2	87,3	85,3
Tens. Vapor	12,1	12,2	12,4	12,6	12,7	12,4	12,2	12,3	12,3	12,4	12,3	12,2	12,3
Re	29,8	29,0	27,7	26,7	27,6	29,4	31,6	31,1	34,4	27,6	28,0	28,5	29,3
Rn	282,5	288,5	276,5	263,2	275,2	292,1	333,2	334,5	409,4	266,0	255,5	254,0	294,2
c1	58,70	58,70	58,70	58,70	58,70	58,60	58,70	58,70	58,70	58,70	58,70	58,70	58,70
Rn	4,81	4,91	4,71	4,48	4,69	4,98	5,68	5,70	6,97	4,53	4,35	4,33	5,01
Vz	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Ea	1,38	1,43	1,41	1,38	1,52	1,89	1,97	1,86	1,60	1,40	1,31	1,28	1,843
D/G	1,77	1,79	1,80	1,82	1,85	1,78	1,87	1,87	1,82	1,80	1,78	1,77	1,81
E	3,57	3,67	3,53	3,38	3,58	3,87	4,39	4,36	5,07	3,41	3,26	3,23	45,31
f	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	
ETP	66,5	61,6	76,6	71,1	88,7	92,9	108,8	108,1	106,5	74,1	58,6	60,1	973,4
P - ETP	46,7	50,4	104,4	199,2	207,9	108,4	99,0	128,7	189,0	243,6	161,8	93,1	
Variac. Reser.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Reserva Util	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
ETR	66,5	61,6	76,6	71,1	88,7	92,9	108,8	108,1	106,5	74,1	58,6	60,1	973,4
Excedentes	46,7	50,4	104,4	199,2	207,9	108,4	99,0	128,7	189,0	243,6	161,8	93,1	1632,2
Déficits	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Escorrentía	69,9	48,6	77,4	151,8	203,5	158,2	103,7	113,8	158,9	216,3	202,7	127,5	1632,2
ETR (balan.)	66,5	61,6	76,6	71,1	88,7	92,9	108,8	108,1	106,5	74,1	58,6	60,1	973,4
Tqe.evapor.(mm) EPM	112,0	109,7	121,9	125,3	127,4	126,9	127,3	130,3	113,4	132,7	98,2	111,8	1436,9
Coeficiente del tanque.	0,59	0,56	0,63	0,57	0,70	0,73	0,85	0,83	0,94	0,56	0,60	0,54	0,68
Relación Escorrentía / Precipitación (%)	62,6												

**Resultado del Balance hídrico. PENMAN**

Puede observarse que la ETR es igual a la ETP y no se presenta variación en la reserva. Esto quiere decir que toda la evapotranspiración se compensa con las precipitaciones.

Se tuvo en cuenta la evaluación del “coeficiente del tanque”, el cual relaciona la ETR evaluada en cualquier método y la evaporación del tanque. De acuerdo con la literatura

(Remenieras, 1974) para tanque Clase A este coeficiente debe estar entre 0.6 y 0.8. El método de Penman que fue el utilizado, puede validarse tomando el resultado promedio del año que fue de 0.68.

La relación escorrentía / precipitación que da 62,6% quiere decir que de lo que llueve el 62,6% se vuelve escorrentía y el 37.4% se evapora. Esta evaporación relativamente baja puede estar influenciada por el efecto del espejo de agua del embalse que hace que la humedad relativa sea del 85.3% lo que quiere decir que hay poco déficit de humedad relativa.

Teniendo en cuenta este porcentaje de escorrentía, bien podría revisarse el estimativo de caudal medio y considerar como factor de escorrentía, el 62.6% o 0.626. En la tabla 6 se muestra el estimativo de caudal medio teniendo en cuenta este factor podría pensarse que la cuenca teniendo una buena cobertura boscosa facilita la infiltración y ayuda a que se disponga de más caudal de base y de igual manera de más caudal en tiempo de estiaje.

**17. Aforo Fuente Hídrica**

Se realizaron 20 aforos a partir del 20 de julio de 2023 hasta el 27 de abril de 2024 en la Tabla 11 se muestra un detalle de uno de los aforos y en el anexo 4 se muestran las figuras con los registros; los aforos se hicieron con el método volumétrico con un balde previamente calibrado.

**Tabla 10** Aforo N°10 bocatoma, Vega Redonda. Ver anexo 4

Aforo.				
Fecha:		26-feb-24		
Nombre de la fuente: Bocatoma, Vega Redonda.		Registro fotografico.		
Pruebas realizadas en balde de 10 Litros				
Prueba 1	10,9	s		
Prueba 2	10,8			
Prueba 3	10,6			
Prueba 4	10,8			
<b>Promedio de tiempo</b>	<b>10,78</b>			
<b>Caudal</b>	<b>0,93</b>	<b>L/s</b>		
<b>Observaciones:</b> Aforo realizado con veinticuatro días antecedentes sin lluvia.				

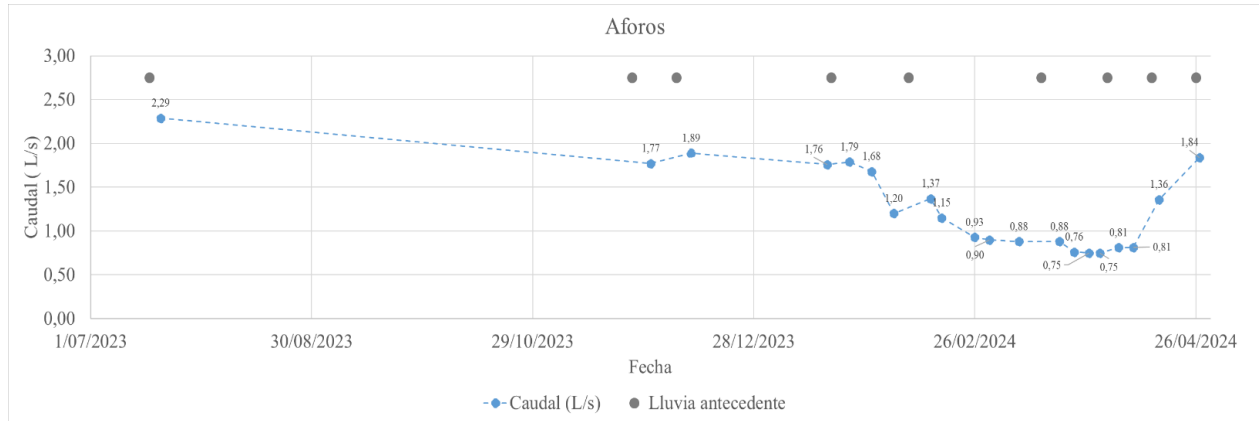
**Tabla 11** Resumen de Aforos.

Aforos N°	Fecha	Caudal (L/s)	Lluvia antecedente	Dias antecedentes sin lluvia
1	20/07/2023	2,29	17/07/2023	3
2	30/11/2023	1,77	25/11/2023	5
3	11/12/2023	1,89	7/12/2023	4
4	17/01/2024	1,76		
5	23/01/2024	1,79	18/01/2024	5
6	29/01/2024	1,68		
7	4/02/2024	1,20		
8	14/02/2024	1,37	8/02/2024	6
9	17/02/2024	1,15		
10	26/02/2024	0,93		
11	1/03/2024	0,90		
12	9/03/2024	0,88		
13	20/03/2024	0,88	15/03/2024	5
14	24/03/2024	0,76		
15	28/03/2024	0,75		
16	31/03/2024	0,75		
17	5/04/2024	0,81	2/04/2024	3
18	9/04/2024	0,81		
19	16/04/2024	1,36	14/04/2024	2
20	27/04/2024	1,84	26/04/2024	1



**Figura 25**

*Grafico de aforos.*



---

## **18. Análisis de aforos**

### **18.1.1. Aforos**

En la Tabla 12 se presenta el registro de los diferentes aforos que se realizaron en el sitio de captación o bocatoma, y en la Figura 24 se grafican estos registros y se han incluido unos puntos para representar la lluvia antecedente. Algunos registros no presentan lluvia antecedente, lo cual significa que la lluvia antecedente es mayor a 6 días. Las lluvias antecedentes muestran que los caudales tienden a incrementarse y los descensos están asociados a temporadas sin lluvias.

En general se nota una tendencia de disminución de los caudales, salvo en los dos últimos registros los cuales corresponden precipitaciones antecedentes fuertes asociadas a la finalización del fenómeno de El Niño y, sobre todo, al inicio de la temporada de lluvias. Puede observarse que estos dos últimos registros se hicieron con precipitaciones antecedentes muy cercanas, 2 y 1 día, como puede verse en la Tabla 12.

Teniendo en cuenta de un lado que en el tiempo vacacional de semana santa se presentaron racionamientos por limitaciones en la oferta de las fuentes, y de otro lado que los aforos han demostrado que la fuente no es suficiente para atender la demanda actual en tiempos de baja lluvias, en estos casos de capta toda el agua que ofrece la fuente y no queda remanente.

Cabe anotar que fue no posible conseguir registros de precipitaciones del período de aforos, de un lado con el IDEAM porque la estación 23085110 se encuentra suspendida, y de otro lado, con EPM, porque no respondieron a la solicitud de facilitar información de la estación 2308517.

### **18.1.2. Caudales de base**

Teniendo en cuenta que el objetivo principal de los aforos era el de lograr registros de caudales mínimos en la fuente para identificar las limitaciones de esta en su oferta hídrica para el acueducto Guamito, los aforos de mayor interés corresponden, lógicamente a los que son netamente caudales de base, es decir, caudales aportados solamente por el medio subterráneo,

En la Tabla 13 se presentan los registros de los aforos que se consideraron como aforos de caudales netamente de base, y en Figura 25 se grafican estos registros.

En una temporada amplia sin lluvias, los aportes de las fuentes provienen del almacenamiento subterráneo, y, como es de esperarse, los caudales van disminuyendo en el tiempo. En la Figura 25, se graficó la línea de tendencia y se incluyó la ecuación de la misma.

Se pasó de un caudal de 2.29 L/s el 20/07/2023 a un caudal de 0,75 L/s el 31/03/2024, es decir, con un gradiente de 0.19 L/s/mes.

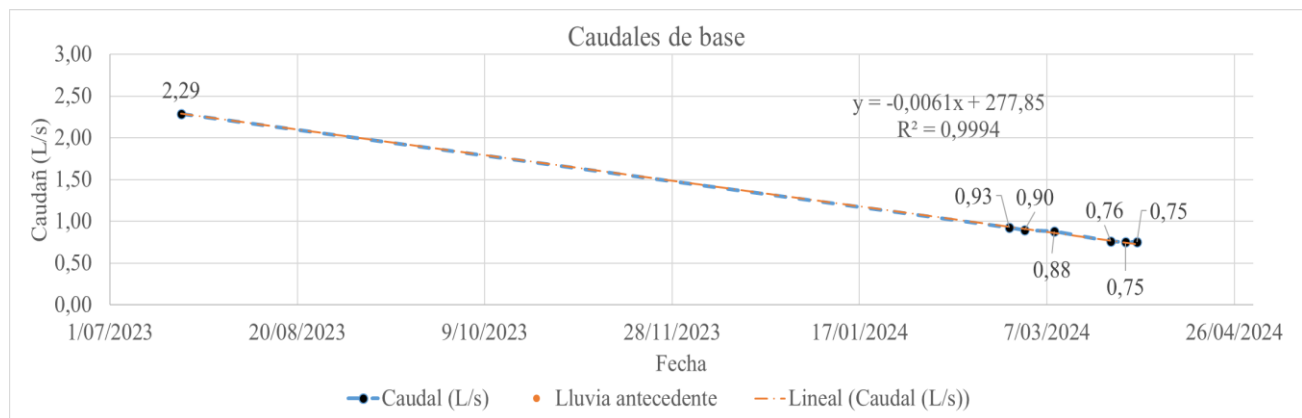
**Tabla 12** Caudales de base.

Aforos N°	Fecha	Caudal (L/s)
1	20/07/2023	2,29
2	26/02/2024	0,93
3	1/03/2024	0,90
4	9/03/2024	0,88
5	24/03/2024	0,76
6	28/03/2024	0,75
7	31/03/2024	0,75
*	14/09/2024	0,00

(\*) Fecha estimada que se llega a un caudal de 0L/s, es decir que se agotaría el acuífero.

**Figura 26**

Gráfico de caudales de base.



Vale la pena resaltar el ajuste de la línea de tendencia, con coeficiente de ajuste  $R^2$  muy cercano a la unidad.

Si se aplica la ecuación de la tendencia para ver en qué fecha se agotaría el recurso en la captación, es decir, en qué fecha se esperaría que no hubiese caudal, y sin que se tengan lluvias que recarguen el acuífero antes de dicha fecha, sería el 14/09/2024. Así las cosas, el regreso de las lluvias, como se nota en los dos últimos aforos, no sólo aporta escorrentía superficial sino caudales de base mayores por las recargas del acuífero.

**19. Demanda**

**Tabla 13** *Cálculo de demanda.*

USO/ESTRATO	DEMANDA				K1=	1,3
	Habitantes	D.Neta	% pérdidas	D.bruta	Qmd	QMD
		L/hab/día	(Estimado)	L/hab/día	L/s	L/s
1-ESTRATO 1	393	100	10%	111,1	0,51	0,66
2-ESTRATO 2	162	100	10%	111,1	0,21	0,27
3-ESTRATO 3	318	100	10%	111,1	0,41	0,53
4-COMERCIAL	120	100	10%	111,1	0,15	0,20
6-OFICIAL						0,05
7-COMERCIAL ESPECIAL						0,03
<b>TOTAL DEMANDA</b>						<b>1,74</b>

- Uso/Estrato: Este indica diferentes estratos de consumo de agua, desde residencial hasta comercial y oficial.
- Habitantes: Es la cantidad de personas en cada estrato.
- D.Neta: Esta es la dotación neta de agua por habitante por día en litros.
- % pérdidas D.bruta: Es el porcentaje de pérdida de agua en la distribución bruta. En todos los estratos, se asume un 10% de pérdidas.
- Qmd (L/s): Es el caudal medio diario por habitante, expresado en litros por segundo.
- QMD (L/s): Caudal máximo diario
- TOTAL, DEMANDA: La suma total de la demanda de agua para todos los estratos, en este caso es de 1,74 L/s.

**19.1. Análisis de la demanda**

Comparación de la demanda y la oferta

Demanda Total: 1.74 L/s

Oferta (valor más bajo durante el verano): 0.75 L/s

Claramente, la oferta (0.75 L/s) es menor que la demanda (1.74 L/s).

Esto indica que en temporadas de verano fenómeno del Niño y de alta ocupación de población, se tendrían problemas de abastecimiento ya que la fuente no es capaz de satisfacer la demanda total de agua.

El déficit de agua se puede calcular restando la oferta de la demanda.

$$\text{Déficit} = \text{Demanda} - \text{Oferta}$$

$$\text{Déficit} = 1.74 \text{ L/s} - 0.75 \text{ L/s}$$

$$\text{Déficit} = 0.99 \text{ L/s}$$

La fuente actual no es capaz de satisfacer la demanda de agua durante la época de verano, lo que resulta en un déficit de 0.99 L/s. Además, es importante destacar que esta demanda no incluye a la gente no legalizada ni otros usos del agua. Por lo tanto, se debe controlar el número de usuarios, evitando nuevos asentamientos, y considerar soluciones como aumentar la cobertura vegetal de la fuente, implementar sistemas de almacenamiento de agua, gestionar la demanda de manera eficiente o buscar fuentes alternas de agua. Todas estas actividades están encaminadas, además, al cumplimiento del PUEAA.

## **20. Calidad del agua**

El día 29 de abril de 2024 se realizó la toma de muestra para análisis microbiológico de agua cruda. La muestra fue tomada por la estudiante Angie Paola Gallo, quien se encargó de cumplir con los protocolos mencionados en la metodología. El análisis fue realizado por el laboratorio OMNIAMBIENTE, el cual está acreditado por el IDEAM bajo la Resolución 047-2024 y por el Instituto Nacional de Salud.

En el análisis de agua cruda (ver anexo 5), se encontró presencia de coliformes, tanto totales como fecales, lo que indica un foco de contaminación aguas arriba, ya sea por heces de animales o humanas. Por otro lado, se tiene el análisis de agua tratada por el Acueducto Guamito (ver anexo 6), donde se refleja que todos los parámetros se encuentran dentro del rango permisible según la Resolución 2115 de 2007, a excepción del parámetro de turbidez, que se encuentra en un rango más alto de lo permitido.

Lo anterior demuestra que el Acueducto Guamito realiza un tratamiento adecuado del agua, lo que garantiza la seguridad del recurso para el consumo humano.

## 21. Discusión y Análisis Integrado

Se realizaron algunas comparaciones basadas en la bibliografía consultada, estos son varios aspectos clave:

El estudio sobre la homogeneidad de las series de precipitación en el oriente antioqueño realizado por Lopera resalta la importancia de entender y garantizar la homogeneidad de los datos climáticos para una adecuada caracterización hidroclimática. Esto sugiere la necesidad de evaluar la homogeneidad de los datos utilizados en la investigación.

El proyecto de investigación presentado en "Avances en Recursos Hidráulicos" destaca la importancia de desarrollar modelos de predicción hidrológica que tengan en cuenta variables climáticas de gran escala como el fenómeno del Niño-Oscilación del Sur (ENOS). Esto sugiere la posibilidad de aplicar modelos de predicción hidrológica al estudio para entender mejor las tendencias y variabilidad hidro climática en la microcuenca La Vega Redonda.

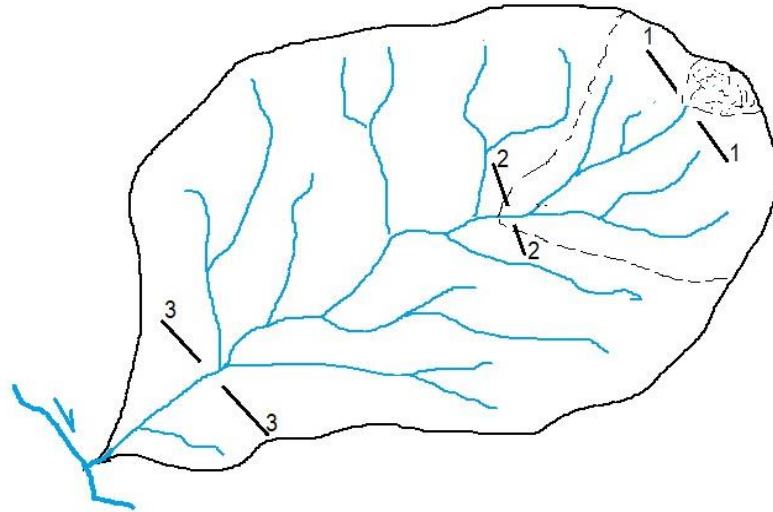
Una manera de entender la diferencia entre los estimativos de caudales mínimos asociados a diferentes periodos de retorno y los resultados de los aforos es la siguiente:

Consideremos una microcuenca y en ella señalamos tres secciones, la primera antes de que inicie el afloramiento (nacimiento) en la parte alta de la cuenca; la segunda en un sitio donde se tiene una captación como es el caso de la quebrada La Vega Redonda y el tercero en la parte baja de la cuenca antes de su desembocadura en una quebrada mayor.

En la figura 26 se muestra la vista en planta de la microcuenca con las tres secciones indicadas, y en las figuras 27, 28 y 29 se muestran estas sesiones.

**Figura 27**

*Vista en planta de la microcuenca.*



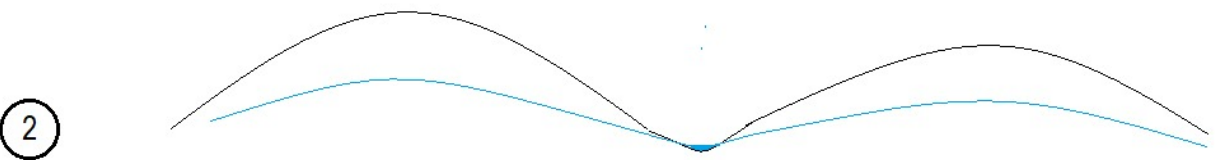
**Figura 28**

*Parte alta de la microcuenca.*



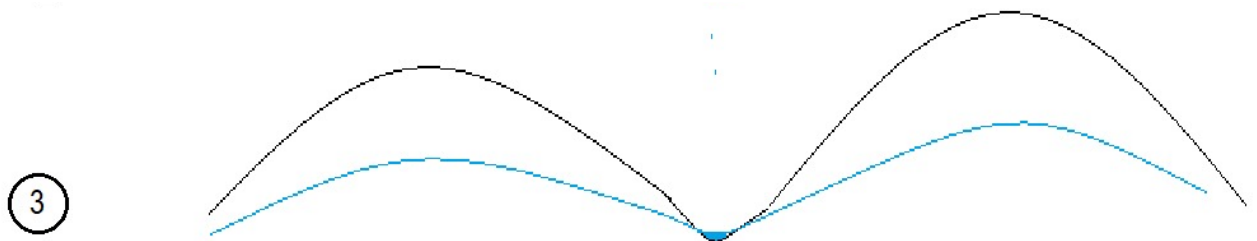
**Figura 29**

*Parte intermedia de la microcuenca.*



**Figura 30**

*Parte baja de la microcuenca.*





La figura 27 representa la parte alta de la microcuenca, donde el agua subterránea es relativamente profunda y no alcanza aflorar y la vaguada es efímera. Si se estimara el caudal mínimo en función del área de aporte, con la ecuación regionalizada, algún valor pequeño daría porque el área es el parámetro básico.

En el otro extremo, para la figura 29 que corresponde a la sección 3, es posible que el estimativo de caudal mínimo y los mínimos asociados a diferentes períodos de retorno, tengan cierta correspondencia con las mediciones que se hagan directamente en la fuente en tiempo de estiaje; aquí el área efímera de la parte alta, tiene poco peso frente al área total de la microcuenca hasta la sección 3.

Ahora bien, en el punto intermedio donde se tiene la sección 2 (figura 28), se tendría una situación intermedia frente a las dos secciones analizadas; se tienen afloramientos de caudales de estiaje que, medidos como se ha hecho en la captación de La Vega Redonda, resultan menores que los mínimos obtenidos a partir de la fórmula regional; en este caso el área efímera no es el 100% del área de aporte, pero sí un porcentaje con más peso que en el caso de la sección 3.

Tampoco se puede regionalizar el análisis desarrollado por Empresas públicas de Medellín, en su boletín hidrometeorológico donde realizó estudio de caudales mínimos para acueductos veredales en el municipio de Medellín proporciona un marco para comprender cómo se pueden estimar los caudales mínimos y la confiabilidad de los modelos hidrológicos utilizados. Fue relevante en nuestra investigación aplicar métodos similares para estimar los caudales mínimos en la microcuenca estudiada, considerando características físicas, climáticas y la variabilidad observada en las series de precipitación.

El análisis de la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en Colombia destaca desafíos importantes relacionados con la calidad y disponibilidad del recurso hídrico. Es pertinente considerar cómo los resultados de nuestro estudio podrían contribuir a mejorar la vigilancia y gestión del agua en la microcuenca La Vega Redonda, especialmente en lo que respecta a la protección de la salud ambiental y el acceso a agua potable segura para la comunidad de la vereda Guamito.

### **22. Conclusiones**

- La primera conclusión que se puede obtener del presente Trabajo de Grado es que, las fuentes La Vega Redonda y La Cabezona, de donde se provee del Acueducto Guamito,

presentan limitaciones en la oferta hídrica para atender la demanda. Esto se evidenció en la Semana Santa de este año 2024 (información del Acueducto).

- Con base en los aforos realizados, se pudo tener una clara idea de la disminución del caudal en el tiempo. En los 9 meses en que se hicieron los aforos, se logró observar la tendencia de disminución de caudales. Graficados los caudales aforados, se pudo ver una línea de descenso desde la fecha 20 de julio de 2023 con un caudal de 2.29 L/s hasta llegar a 0.75 L/s el 31 de marzo de 2024. El gradiente de descenso fue de 0.19 L/s/mes.
- En este Trabajo de Grado también se hicieron estimativos de caudales medios y de caudales mínimos, para las dos fuentes. Para los caudales medios se multiplicó la precipitación media en la microcuenca, por el área de la misma y por un factor de escorrentía estimado en 0.5. Los resultados obtenidos fueron de 8.26 L/s para La Vega Redonda y de 2.89 L/s para La Cabezona.
- El estimativo de caudal medio mínimo y de la desviación estándar se logró aplicando unas ecuaciones empíricas obtenidas por la Universidad Nacional, Sede Medellín (referencia). A partir de estos resultados se estimaron los caudales mínimos asociados a diferentes períodos de retorno, considerando varias distribuciones estadísticas, sólo para La Vega Redonda. El resultado de más interés para el Acueducto es el Q95 o lo que es lo mismo el caudal mínimo asociado a un período de retorno de 20 años, de acuerdo con el decreto 0330 de 2017 (RAS). Revisando los valores de las diferentes distribuciones aplicadas, es del orden de 2 L/s. Este valor comparado con los resultados de los aforos es un poco menor que el del primer aforo, como ya se mencionó.
- Otro análisis que se hizo fue el de balance hídrico para la microcuenca de La Vega Redonda. Con información hidroclimática de estaciones del IDEAM y de EPM, y utilizando el método de Penman, se encontró que la relación escorrentía / precipitación es de 62,6%, lo cual quiere decir que de lo que llueve en promedio anual, el 62,6% se vuelve escorrentía y el 37.4% se evapora. La evaporación, relativamente baja, puede estar influenciada por el efecto del espejo de agua del embalse El Peñol, que hace que la humedad relativa sea del 85.3%, lo cual quiere decir que hay poco déficit de humedad atmosférica.
- A partir de la ETR (evapotranspiración real) del balance hídrico se obtuvo un “coeficiente de tanque” promedio anual de 0.68. Este coeficiente relaciona la ETR evaluada con la

evaporación del tanque. De acuerdo con la literatura (Remenieras, 1974) para tanque Clase A este coeficiente debe estar entre 0.6 y 0.8.

- Con el método de PENMAN el coeficiente de tanque evaporímetro establece que se multiplique por un coeficiente de 0.6 a 0.8 para la región andina y de este modo hallar la evapotranspiración real, en este caso tenemos un resultado de 0.87, y llegamos a la conclusión de se puede deber a la presencia de un gran espejo de agua en la zona.
- La relación del 52% entre escorrentía y precipitación indica que aproximadamente la mitad de la precipitación se convierte en escorrentía en la zona de estudio. Esta proporción es vital para comprender cómo el agua lluvia se convierte en recurso hídrico disponible para la microcuenca La Vega Redonda.
- Se destaca que el agua infiltrada es necesaria para alimentar los caudales de base y garantizar la escorrentía durante los períodos de estiaje o sequía. Esto subraya la importancia de mantener una buena capacidad de infiltración en el suelo y la vegetación para mantener un suministro hídrico sostenible en la región.
- La escorrentía directa se asocia con las crecientes causadas por las precipitaciones. Esto sugiere que las lluvias intensas pueden tener un impacto significativo en el flujo de agua superficial en la microcuenca.
- Es fundamental implementar prácticas de conservación del suelo y del agua que promuevan la infiltración y reduzcan la escorrentía superficial.
- Se deben tener en cuenta estrategias para la conservación del suelo ya que la fuente presenta problemas de erosión debido al mal manejo de drenajes.
- La conservación de microcuencas y fuentes hídricas es un tema de importancia tanto a nivel global como nacional. La degradación de estas áreas y la escasez de agua son desafíos comunes que enfrentan muchas regiones del mundo, incluida América Latina. En el caso específico de Colombia, a pesar de su abundancia de recursos hídricos, el país también enfrenta desafíos significativos en términos de deterioro ambiental y contaminación del agua.
- La vereda Guamito enfrenta múltiples presiones y amenazas que afectan la calidad y cantidad del recurso hídrico en la zona. Entre estos se incluyen el aumento de la actividad antrópica, la deforestación, la expansión urbana, el crecimiento poblacional y la

contaminación de las fuentes hídricas. Estas presiones han generado una serie de problemas, como la disminución de la disponibilidad del agua, el aumento de vertimientos y la contaminación.

- Es muy importante el bosque en la cuenca porque ayuda a la infiltración, con mayor almacenamiento de agua subterránea y, por lo tanto, mayor caudal de base y más garantía de oferta hídrica de verano o estiaje.
- se agrega a la caracterización de calidad lo observado en el último aforo realizado el 27 de abril donde en la noche anterior llovió y el agua presentaba alto contenido de sedimentos, que si bien puede ser de la fuente, también puede ser por la construcción de una vía cuya esorrentía termina en la quebrada
- Los aforos nos muestran una disminución en el caudal por un tiempo de 9 meses comprendidos desde julio de 2023 hasta el 27 de abril de 2024.
- Se lograron al final del fenómeno de El Niño aforos muy significativos en cuanto a caudales mínimos de la fuente la Vega Redonda, el valor más bajo fue de 0.75 L/s este se en la fecha de 31 de marzo de 2024
- Graficado los caudales se puede ver una línea de descenso desde la fecha 20 de julio de 2023 con un caudal de 2.29 L/s hasta llegar a los 0.75 L/s en marzo 31 de 2024 con un gradiente de 0.19 L/s/mes
- Prácticamente todos los aforos presentaban un agua de características organolépticas muy buenas; una excepción fue el último aforo, realizado el 27 de abril de 2024, donde en la noche anterior llovió y el agua presentaba alto contenido de sedimentos, que si bien puede ser de la fuente, también puede ser por la construcción de una vía cuya esorrentía, al parecer, entra en la quebrada La Vega Redonda.
- La muestra para los ensayos de calidad del agua se tomó al otro día, el 28 de abril de 2024, y todavía el agua presentaba turbidez.
- Los resultados de laboratorio indican que hay presencia de coliformes tanto totales como fecales, lo cual puede deberse a las heces de animales aguas arriba. Con respecto a los parámetros fisicoquímicos, todos están en el rango admisible de calidad con excepción de la turbidez, lo cual como se explicó antes está asociado a una lluvia fuerte en el día anterior a la toma de la muestra.

---

### **23. Recomendaciones**

- La deforestación y la actividad antrópica son factores que contribuyen a la degradación de la microcuenca, se deben implementar desde la alcaldía y la autoridad ambiental medidas para conservar el suelo y la cobertura vegetal. Esto puede incluir la reforestación, la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y la protección de áreas naturales haciendo que se cumplan las áreas de retiro.
- Es muy importante el bosque en la cuenca porque ayuda a la infiltración, con mayor almacenamiento de agua subterránea y, por lo tanto, mayor caudal de base, lo cual es garantía de oferta hídrica en verano.
- Es fundamental implementar prácticas de conservación del suelo y del agua que promuevan la infiltración y reduzcan la escorrentía superficial.
- Se deben tener en cuenta estrategias para la protección del suelo ya que la fuente presenta problemas de erosión debido al mal manejo de drenajes de las vías. Esto se observa en las vías de acceso a la captación y a los proyectos hoteleros y de fincas.
- La vereda Guamito enfrenta múltiples presiones y amenazas que afectan la calidad y cantidad del recurso hídrico en la zona. Entre estas presiones se incluyen el aumento de la actividad antrópica, la deforestación, la expansión urbana, el crecimiento poblacional y la contaminación de las fuentes hídricas.
- La conservación de microcuencas y fuentes hídricas es un tema de importancia tanto a nivel global como nacional. La degradación de estas áreas y la escasez de agua son desafíos comunes que enfrentan muchas regiones del mundo, incluida América Latina. En el caso específico de Colombia, a pesar de su abundancia en recursos hídricos, el país también enfrenta desafíos significativos en términos de deterioro ambiental y contaminación del agua.
- La colaboración y el compromiso de la comunidad de la vereda Guamito son fundamentales para el éxito de cualquier iniciativa de conservación. Se deben promover actividades de sensibilización y educación ambiental para involucrar a los residentes de la vereda Guamito en la protección y gestión sostenible de la microcuenca.
- El acueducto de Guamito debe de explorar la posibilidad de buscar una fuente complementaria para el abastecimiento de agua. Dado el deterioro ambiental y la presión

sobre la microcuenca La Vega Redonda, encontrar otra fuente de agua podría ayudar a incrementar el suministro y reducir la dependencia exclusiva de las fuentes actuales, lo cual puede mitigar el impacto ambiental y garantizar una mayor seguridad hídrica para la comunidad de Guamito.

---

#### **24. Observaciones**

- La fuente La Vega Redonda y la fuente La Cabezona, son las que abastecen al Acueducto Guamito, un acueducto veredal del municipio de El Peñol. Aunque se incluyen algunos datos y análisis para la segunda fuente, el trabajo se centró más específicamente en La Vega Redonda.
- Hasta la fecha, con las imágenes multitemporales de Google Earth, se ha visto que el área de la microcuenca La Vega Redonda se ha mantenido sin intervención antrópica, aunque sí en sus alrededores donde el proyecto hotelero Montecielo, es el más invasivo y está adosado a la microcuenca.
- Aguas abajo del sitio de captación, la cuenca ya presenta intervenciones antrópicas y uso agropecuario del suelo. Ya no hay bosque.
- En este Trabajo de Grado, la principal actividad consistió en la realización de una serie de aforos en el sitio de captación que tiene el Acueducto Guamito en La Vega Redonda, desde el 20 de julio de 2023 hasta el 27 de abril de 2024. El valor de estos aforos está en que ellos constituyen una información directa de la fuente en una temporada del fenómeno de El Niño.
- El fenómeno de El Niño inició débilmente en junio de 2023 y prácticamente está terminando en el mes de abril de 2024.
- Muchos de los aforos se lograron hacer con al menos tres días antecedentes sin lluvia, lo cual permitió considerar que los caudales así aforados, correspondían a caudales de base, es decir, caudales aportados por el medio subterráneo (suelo y roca). Esta es realmente la información más valiosa, porque representa la oferta hídrica en tiempo de estiaje.
- Cuando se inició el Trabajo de Grado se tenía la convicción de que la microcuenca La Vega Redonda se desarrollaba dentro de la formación geológica Batolito Antioqueño, porque así lo mostraba el mapa geológico de Antioquia (Ingeominas, 1999), y por ello se pensó que los resultados del estudio de esta fuente de agua, podrían tener aplicación regional.
- Durante el proceso de visitas y aforos no se echó de ver que en el cauce los fragmentos de roca no eran del Batolito Antioqueño sino de una roca metamórfica. Sólo hacia el final se cayó en cuenta de este hecho y se tomaron muestras del material en dos sitios, uno en el sitio de captación y otras más aguas abajo, cerca de la vía de acceso a la Vereda. Se contó

con la ayuda del ingeniero geólogo Carlos Eduardo Parra Vargas, a quien se le presentaron las muestras de roca y realizó un informe (Anexo 3). Del informe se extracta Teniendo en cuenta la cartografía geológica de la Plancha 147 – Medellín Oriental (INGEOMINAS, 2005), se encuentra que el área de estudio se enmarca principalmente, dentro de la unidad litológica denominada el Neis de Las Peñas (Knpe), que se encuentra bordeada, y por fuera de la zona de interés, por rocas del Batolito Antioqueño (K2ta), y del Granito de Montañita (K2cm).

- Desafortunadamente no se logró respuesta de Empresas Públicas de Medellín para acceder a información de precipitaciones de estaciones en El Peñol código 23085110, y tampoco se pudo obtener información del IDEAM porque está suspendida. Esta información hubiera sido muy útil para validar y complementar los datos de lluvia antecedente.



---

**Referencias bibliográficas**

- Alcaldía de El Peñol. *Proyecto de acuerdo Plan de desarrollo 2020 - 2023. Municipio de El Peñol Antioquia. Alcaldía Municipal*. [Internet]. [consultado 25 de marzo] Disponible en: <https://lc.cx/Uv435L>
- Almeira, J. E., Gómez, A. (2004), *Estudios básicos para la elaboración del plan maestro de acueducto y alcantarillado del municipio de Cañasgordas (Antioquia)*. Universidad de La Salle.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2004) Decreto 190 de 2004 [Internet]. [consultado 25 de marzo] Disponible en: <https://lc.cx/uBuPXf>
- B, S. A.; L, A. R.; L, H. E. (2018) *Página 1 de 52 Estimación De Los Caudales Máximos Y Caracterización Morfométrica De La Subcuenca Del Cauce En El Sector Hidro dependiente Del Municipio De San Francisco-Cundinamarca*. Universidad Católica de Colombia.
- Bateman, A. (2007). *Hidrología básica y aplicada. Introducción*. Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos. [consultado 24 de abril] Disponible en: <https://lc.cx/KHj772>
- Burbano-Girón, J., Domínguez, E., & Barón-Ruiz, O. (2016). *Análisis de la relación entre variables morfológicas y biofísicas en la estimación de características probabilísticas para la oferta hídrica superficial en Colombia*. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 514–526
- Betancur, S. M., Vasquez, A. E., (1997), *Servicio Social Realizado En Empresas Públicas De Medellín Departamento Habilidadación Viviendas Y Corregimientos Y Veredas*. Escuela De Ingeniería De Antioquia Cornare. *Acuerdo 294 de 2013*. Disponible en: <https://lc.cx/6gMOJP>
- Carbajal, D., Cornejo, A., Alvarado, A., Salinas, L., Leon, R., Monge, F., (2020), *Identidad ambiental, actitud y comportamiento de conservación de agua en una comunidad alto-andina del Perú*. *Ambiente, Comportamiento y Sociedad*.
- Díaz, C., Herrera, C., Prada, K., (2017) *Características físico-químicas de suelos con relación a su conformación estructural*. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 6, n°. 1, pp. 58 - 69., 2018.

- 
- Empresas Públicas de Medellín (EPM). *División Medio Ambiente. Departamento de Hidrometría e Instrumentación*. Boletín Hidrometeorológico. Medellín, 1993
- E, M. K.; I, E. Y. (2018). *Tratamiento de Aguas Residuales del Procesamiento de Almidón de Yuca, Mediante Uso de Filtro Rápido en el Sitio Bejuquillo – Canuto*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria. [Internet]. [consultado 18 de abril] Disponible en: <https://lc.cx/y-QsmU>
- G, G.G.; V, M. G. (2022). *Educación Ambiental Virtual para el Mejoramiento en el Manejo De Residuos Sólidos en la Unidad Educativa Francisco González Álava, Sitio Arrastradero- Calceta*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria. [Internet]. [consultado 18 de abril] Disponible en: <https://lc.cx/2ebxTl>
- Guzmán BL, Nava G, Bevilacqua PD.(2016). *Vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en Colombia: desafíos para la salud ambiental*. Revista Facultad Nacional de Salud Pública.
- Google. *Google Maps Vereda Guamito El Peñol Antioquia*. [Internet] [consultado 24 marzo] Disponible en: <https://lc.cx/1b8OwC>
- García, C., & Hermelin, M. (2004). *Cálculo preliminar de la Tasa de Meteorización del Batolito Antioqueño, Cordillera Central, Colombia*. Revista Brasileira de Geomorfología.
- Gutiérrez, E, (2019), *diagnóstico, estudios y diseños del acueducto veredal san miguel - pacho, cundinamarca; hidrocon ingeniería s.a.s*. Universidad Distrital Francisco José De Caldas.
- Hora de obrar. *Uruguay enfrenta una grave sequía que amenaza el suministro de agua potable* [Internet] [consultado 24 marzo] Disponible en: <https://lc.cx/Qm4Gdx>
- Hoyos Chaverra, M. A., Rodríguez Barrientos, D.A., & Torres Quintero, J. E. (2018). *Evaluación Del Recurso Hídrico Superficial En La Subcuenca Hidrográfica Del Río Frío En El Departamento De Cundinamarca: Oferta, Demanda Y Calidad Del Agua*. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 9(1), 127–136.
- I, R. A. (2016). *Caracterización de los suelos de la ciudad universitaria de la UNSM a través del SPT para la valoración del factor de seguridad en el distrito de Morales*. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto [Internet]. [consultado 18 de abril] Disponible en: <https://lc.cx/PDMs5f>

- 
- Jodar-Abellan, Antonio, Ruiz, Marcos, & Melgarejo, Joaquín. (2018). *Evaluación del impacto del cambio climático sobre una cuenca hidrológica en régimen natural (SE, España) usando un modelo SWAT*. Revista mexicana de ciencias geológicas, 35(3), 240-253.
- Lopera, N. A.; Vallejo A.T., (1997), *Estudio de la homogeneidad de seriales de precipitación en el oriente Antioqueño*. Trabajo dirigido de grado. Universidad de Medellín
- Ministerio de Ambiente, V. y D. Territorial. (2010). *Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico*. [Internet]. [consultado 18 de abril] Disponible en: <https://lc.cx/XAUIYh>
- Nacional, E., & Agua, D. (2014). *Estudio Nacional Estudio Nacional del del Agua*. [Internet]. [consultado 18 de abril] Disponible en: [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)
- Navarro, L. M., Orozco, J., Pérez, L. M., Zapata, C. (2002), *Interconexión De Los Acueductos: Multiveredal Santa Elena, Multiveredal Plan-Llano, Las Flores Y Mazo*. Escuela De Ingeniería De Antioquia.
- OPS. *Una Vida, un hígado. Ampliar el acceso al diagnóstico y el tratamiento para salvar vidas*. [Internet]. [consultado 23 de julio] Disponible en: <https://www.paho.org/es>
- Oliveira, A., Gracelli, R. R., Silva, A. A., Santos, V. J., Castro, J., & Calijuri, M. L. (2022). *Proyección del uso de la tierra hasta 2030 y sus impactos en la disponibilidad de agua en una subcuenca brasileña: un enfoque LCM y SWAT*. Geofísica internacional, 61(1), 66-87
- Parra Vargas, C. E., & Geólogo, I. (2024). *Informe de geología Vereda Guamito, Municipio de El Peñol Antioquia Año 2023-2024*.
- Pizarro, H., (1993), *Estudio de caudales mínimos para acueductos veredales en el municipio de Medellín*. Boletín hidrometeorológico volumen 2 Empresas Públicas de Medellín.
- Quinchia, B. (2017) *Los Acueductos Veredales de las Comunidades Organizadas en el área rural del municipio de El Peñol, Antioquia: un análisis a partir del Régimen de Servicios Públicos Domiciliarios en Colombia*. Universidad de San Buenaventura Colombia.
- Rendón, et al., (2008), *Ingeniería de Presas en Empresas Públicas de Medellín*. Marquillas S.A.

Smith, R.; Vélez, M. V.; (1997), *Posgrado en Aprovechamiento de recursos hidráulicos de la facultad de Minas – Universidad Nacional y secretaria de Obras Publicas departamento de Antioquia*. Imprenta Departamental de Antioquia

Tauber, A. (2021). *Geología, la ciencia de la tierra*. Facultad De Ciencias Exactas Y Naturales. [Internet]. [consultado 25 de marzo] Disponible en: [https://lc.cx/\\_pk\\_h7](https://lc.cx/_pk_h7)

Vélez, M. V., Restrepo, C., Sánchez. J.,(2008), *Reglamentación Del Uso De Las Aguas Superficiales De Una Cuenca Con Información Escasa*. Universidad Nacional de Colombia

Vélez, M. V.; Smith, R. A.; Pérez, C. A.; Franco, C. J.; Bolaños, H. D., (1995), *Avances en recursos hidráulicos ISSN 0121-5701. Programa de posgrado en aprovechamiento de recursos hidráulicos*, Universidad Nacional de Colombia.

Zapata, H.A.; Rendón, G.A.; Álzate, H. I.; Trujillo, J.;Muñoz, G. J.; Pizarro, H.; Correa, M.; Marín, G. E.; Ortiz,J. A.; Gil, D. S.; Correa, L. V.; (2005). *Evaluación de Metodologías de estimación de la disponibilidad de agua en municipios del departamento de Antioquia*. Revista hidrometeorológica Empresas públicas de Medellín Vol.1.Número 1 noviembre 2005, ISSN 1900-7248. Vol 1 (1), 27-29, 44, 65, 125.