

# Propuesta de optimización de la cuenca del río El Añil mediante herramientas computacionales

Forero Peña, Juliana; Palacios Fuentes, Javier

**Juliana Forero Peña** jforerope@unbosque.edu.co  
Universidad El Bosque, Colombia  
**Javier Palacios Fuentes** jpalaciosf@unbosque.edu.c  
Universidad El Bosque, Colombia

## INVENTUM

Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia  
ISSN: 1909-2520  
ISSN-e: 2590-8219  
Periodicidad: Semestral  
vol. 16, núm. 31, 2021  
inventum@uniminuto.edu

Recepción: 20 Mayo 2021  
Aprobación: 15 Junio 2021  
Publicación: 15 Julio 2021

URL: <http://portal.amelica.org/amei/journal/671/6713631005/>

Corporación Universitaria Minuto De Dios - UNIMINUTO



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

**Resumen:** Esta investigación se realizó con el objetivo de proponer un diseño computacional sostenible para la optimización de la cuenca del río El Añil, a partir de una simulación de la hidrología, utilizando herramientas computacionales como Google Collaboratory, el sistema de información geográfica QGIS y el sistema integrado VAC *systems*. Por medio de la información suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de Colombia, se diagnosticó el estado de la cuenca del río El Añil, donde se encontraron diferentes estaciones de monitoreo que permiten tener datos constantes sobre las épocas lluviosas y secas dentro de las zonas de estudio junto con los caudales correspondientes. Al analizar los resultados obtenidos del estudio de los datos por medio de la herramienta Solver y la correlación de la cuenca con las estaciones cercanas se pudo observar el comportamiento hidrometeorológico. Dicho comportamiento indica que el río El Añil es una zona trópico seco con precipitaciones constantes durante casi todo el año; altas en los meses de julio, agosto y septiembre, y bajas en los primeros meses del año. La cuenca presenta inundaciones en las épocas de precipitaciones altas, lo que afecta al municipio de Uramita y a las veredas cercanas. Con base en los resultados del estudio, se propuso un diseño sostenible para el aprovechamiento de los recursos hídricos generados por la capacidad de infiltración de la cuenca del río El Añil, con el fin de beneficiar a la población ribereña y atender a sus necesidades.

**Palabras clave:** cuenca, precipitación, El Añil, herramientas computacionales, modelo hidrometeorológico.

**Abstract:** This research was carried out with the objective of creating a proposal for the optimization of the Anil River basin, based on a hydrology simulation, using computational tools such as Google Collaboratory, Geographic Information Systems (QGIS) and the system integrated VAC Systems, proposing a sustainable design. By means of the information provided by the Colombian Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM), the state of the *El Añil* River basin was diagnosed, where different monitoring stations were found, which allow having constant data on the rainy and dry seasons within the study areas along with the corresponding flows. When analyzing the results obtained from the study of the data through the Solver tool and the correlation of the basin with nearby stations, the hydrometeorological behavior was observed, indicating that the Anil River is a dry tropical zone, maintaining high rainfall in the months of July, August, September and low in the first months of the year, perceiving that it is constant during almost the entire year; the basin presents floods in the rainy seasons, in which it is evident that it suffers from high rainfall

causing floods in the municipality of Uramita and nearby villages. Finally, a sustainable design was proposed for the use of water resources generated by the infiltration capacity of the *El Añil* River basin, benefiting the needs of the population.

**Keywords:** watershed, precipitation, *El Añil*, computational tools, hydrometeorological mode.

**Resumo:** Esta investigação foi realizada com o objetivo de criar uma proposta para a otimização da bacia do rio Anil, a partir de uma simulação da hidrologia, utilizando ferramentas computacionais como o Google Collaboratory, Geographic Information Systems (QGIS) e os sistemas integrados VAC Systems, propondo uma concepção sustentável. Através da informação fornecida pelo Instituto de Hidrologia, Meteorologia e Estudos Ambientais (IDEAM) da Colômbia, foi diagnosticado o estado da bacia do rio *El Añil*, onde foram encontradas diferentes estações de monitorização, o que permite ter dados constantes sobre as estações chuvosas e secas dentro das áreas de estudo, juntamente com os fluxos correspondentes. Ao analisar os resultados obtidos do estudo dos dados através da ferramenta Solver e a correlação da bacia com as estações próximas, observou-se o comportamento hidrometeorológico, indicando que o rio Anil é uma zona tropical seca, mantendo elevada pluviosidade nos meses de Julho, Agosto, Setembro e baixa nos primeiros meses do ano, percebendo que é constante durante quase todo o ano; a bacia apresenta inundações nas estações chuvosas, nas quais é evidente que sofre de elevada pluviosidade causando inundações no município de Uramita e aldeias próximas. Finalmente, foi proposto um desenho sustentável para a utilização dos recursos hídricos gerados pela capacidade de infiltração da bacia do rio *El Añil*, beneficiando as necessidades da população

**Palavras-chave:** bacia hidrográfica, precipitação, *El Añil*, ferramentas computacionais, modelo hidrometeorológico.

## Propuesta de optimización de la cuenca del río El Añil mediante herramientas computacionales

### Resumen

Esta investigación se realizó con el objetivo de proponer un diseño computacional sostenible para la optimización de la cuenca del río El Añil, a partir de una simulación de la hidrología, utilizando herramientas computacionales como Google Collaboratory, el sistema de información geográfica QGIS y el sistema integrado VAC systems. Por medio de la información suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de Colombia, se diagnosticó el estado de la cuenca del río El Añil, donde se encontraron diferentes estaciones de monitoreo que permiten tener datos constantes sobre las épocas lluviosas y secas dentro de las zonas de estudio junto con los caudales correspondientes. Al analizar los resultados obtenidos del estudio de los datos por medio de la herramienta Solver y la correlación de la cuenca con las estaciones cercanas se pudo observar el comportamiento hidrometeorológico. Dicho comportamiento indica que el río El Añil es una zona trópico seco con precipitaciones constantes durante

casi todo el año; altas en los meses de julio, agosto y septiembre, y bajas en los primeros meses del año. La cuenca presenta inundaciones en las épocas de precipitaciones altas, lo que afecta al municipio de Uramita y a las veredas cercanas. Con base en los resultados del estudio, se propuso un diseño sostenible para el aprovechamiento de los recursos hídricos generados por la capacidad de infiltración de la cuenca del río El Añil, con el fin de beneficiar a la población ribereña y atender a sus necesidades.

Palabras clave: cuenca, precipitación, El Añil, herramientas computacionales, modelo hidrometeorológico.

## I. INTRODUCCIÓN

El régimen de caudales es una variable de origen preciso y básico a la hora de realizar diseños hidráulicos y diferentes proyectos de obras civiles como carreteras, puentes, acueductos, presas, etc. Asimismo, la instalación de estaciones de aforo permite evaluar el nivel del caudal a lo largo de un cuerpo hídrico y observar su comportamiento a lo largo de los años y las características más comunes, en este caso de un río y sus distintos afluentes [1].

En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) es la institución que suministra información veraz sobre los parámetros meteorológicos e hidrológicos, los cuales son medidos con equipos de monitoreo ubicados a nivel nacional. En ellos se implementan protocolos de medición estandarizados de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM) [2]. Este tipo de mediciones son importantes para el país porque han permitido ejecutar diferentes acciones en cuanto al manejo de las cuencas hidrográficas, para lograr un mejor aprovechamiento de estas y el monitoreo de amenazas por el aumento de caudales y de los niveles de precipitación a causa de fenómenos como el de La Niña, en el departamento de Antioquia.

La precipitación es un fenómeno imprescindible para el ciclo de la vida debido a que, además de alimentar ríos y embalses, gracias a ella la vegetación crece y genera afectaciones para la comunidad y para el entorno, pues las lluvias fuertes pueden provocar inundaciones o aumentar las erosiones, lo que a su vez puede ser destructivo [3].

La localización de Antioquia en la zona ecuatorial de América influye en las temperaturas promedio de sus regiones, que van desde temperaturas muy altas en las tierras bajas de Urabá y del noreste, así como en las tierras bajas de los valles de los ríos Magdalena, Cauca, Porce y Nechí, hasta temperaturas muy bajas, que se dan principalmente en los Páramos de Sonsón y Belmira y de Frontino [4]. La temperatura promedio anual del departamento de Antioquia disminuye a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar, a una tasa de 5,3 °C/km, aproximadamente. Otros factores que influyen sobre la temperatura anual promedio de la geografía antioqueña son los siguientes [4]:

- La vegetación dominante, por su efecto sombrío y por el enfriamiento que resulta de la evaporación y transpiración del vapor de agua por las plantas.
- La cercanía a los océanos, por el influjo de las brisas marinas.
- La posición con respecto a los valles interandinos, por la dirección en la circulación de los vientos húmedos.

La evapotranspiración es un fenómeno que consiste en la pérdida de la humedad dentro de una superficie por el proceso de evaporación directa, junto

con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación; se expresa en milímetros por unidad de tiempo [5].

El río El Añil, ubicado en el municipio de Uramita, departamento de Antioquia, es un cuerpo hídrico que conecta con la corriente del río Sucio y el río Cañasgordas. La estación de la cuenca del río presenta un régimen bimodal, con niveles máximos de caudal en los meses de julio-agosto y octubre-noviembre, y niveles mínimos en los meses de febrero-marzo y mayo-junio. Sin embargo, su caudal es constante casi todo el año. El caudal medio es de 36,92 m<sup>3</sup>/s y su área total es de 798 400 000 m<sup>2</sup> [6].

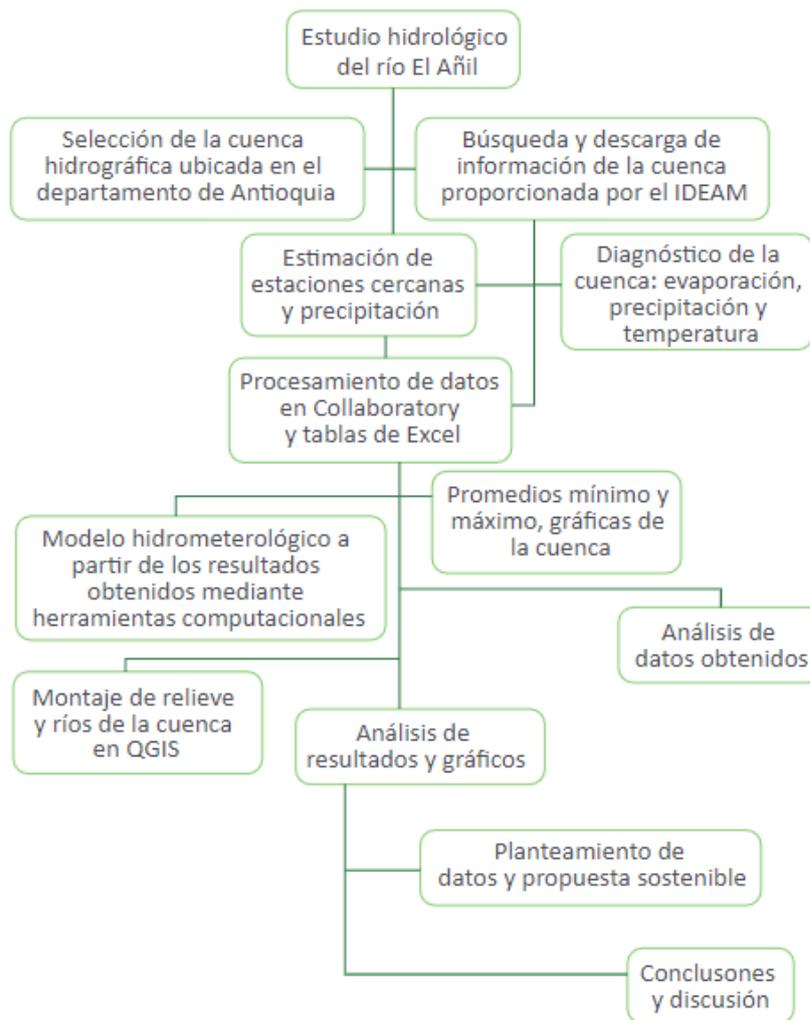
Esta cuenca ha sufrido varias inundaciones a lo largo de los años. Una de ellas en 2018, en Cañasgordas, ocasionada por fuertes lluvias afectó a cerca de 4000 habitantes, en alimentos y viviendas. La alcaldía confirmó que 120 personas resultaron damnificadas y se vieron afectados once puentes peatonales de las zonas urbanas y rurales. El departamento se mantuvo en alerta roja por posibles deslizamientos en los ríos cercanos, lo que causó que cerraran sitios y vías críticas del municipio [7].

En la más reciente, que se informó el sábado 19 de noviembre de 2020, tres personas fallecieron y doce desaparecieron tras una avalancha en Uramita-Dabeiba, Antioquia, cerca de varias veredas y en la vía hacia Urabá. Durante ese mismo año se han reportado siete emergencias en otras subregiones por deslizamiento de material, y el municipio presentó grandes precipitaciones que generaron movimientos en masa, los cuales ocasionaron deslizamientos de tierra y, por ende, el cierre de las vías Uramita-Dabeiba durante la emergencia [8].

El objetivo de este artículo es proponer la optimización de la cuenca del río El Añil, utilizando herramientas computacionales como Google Collaboratory, sistemas de información geográfica (QGIS) y el sistema integrado VAC Systems, a partir de la de un diseño computacional sostenible. Esto se realizó a partir del diagnóstico del estado actual de la cuenca, en cuanto a sus datos de caudales; seguido de esto se realiza el modelo hidrometeorológico de la cuenca del río El Añil, donde se conozcan los procesos computacionales y su comportamiento. Finalmente, se propone un diseño sostenible a partir del cual se creen mecanismos para aprovechar los recursos hídricos de la cuenca, teniendo en cuenta las necesidades de la población.

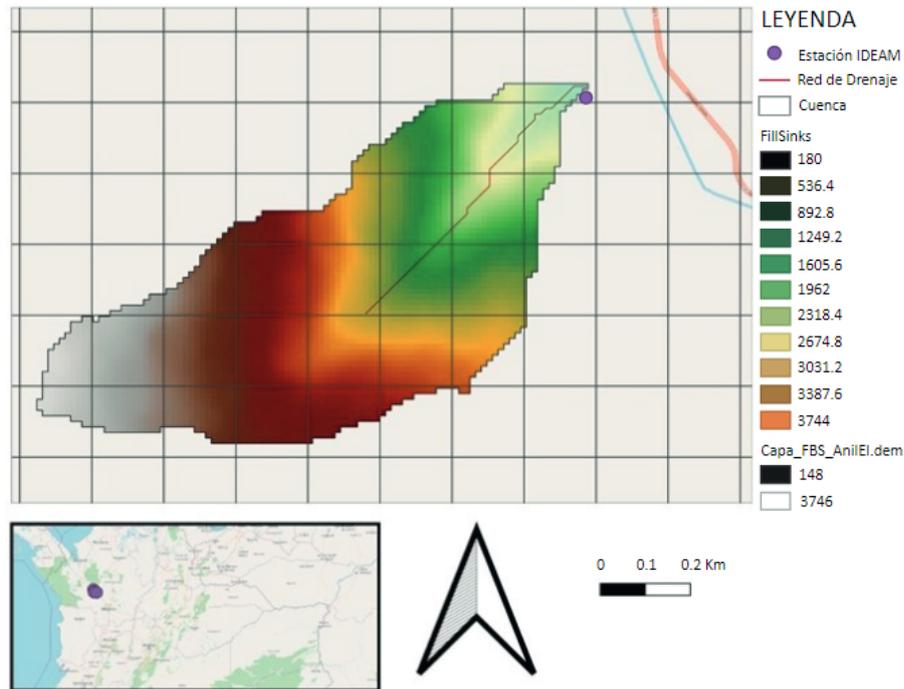
## II. METODOLOGÍA

Valorar el recurso hídrico proveniente de la cuenca del río El Añil es importante para el aporte ecosistémico del cual se beneficia la comunidad. Esto motivó la construcción del estudio y diagnóstico de esta cuenca mediante el análisis de factores como la precipitación, el caudal, la temperatura, el brillo solar y la evaporación. Los datos sobre estos factores, que son registrados por las estaciones que intervienen directamente en la cuenca, se utilizaron para verificar la relación de cada uno de ellos con el comportamiento del cauce de este río. Asimismo, se analizó cómo afectan a la flora y fauna, y su relación con la población del municipio de Uramita (figura 1).



**Figura 1.**  
Diagrama de flujo de la metodología de trabajo.  
Elaboración Propia.

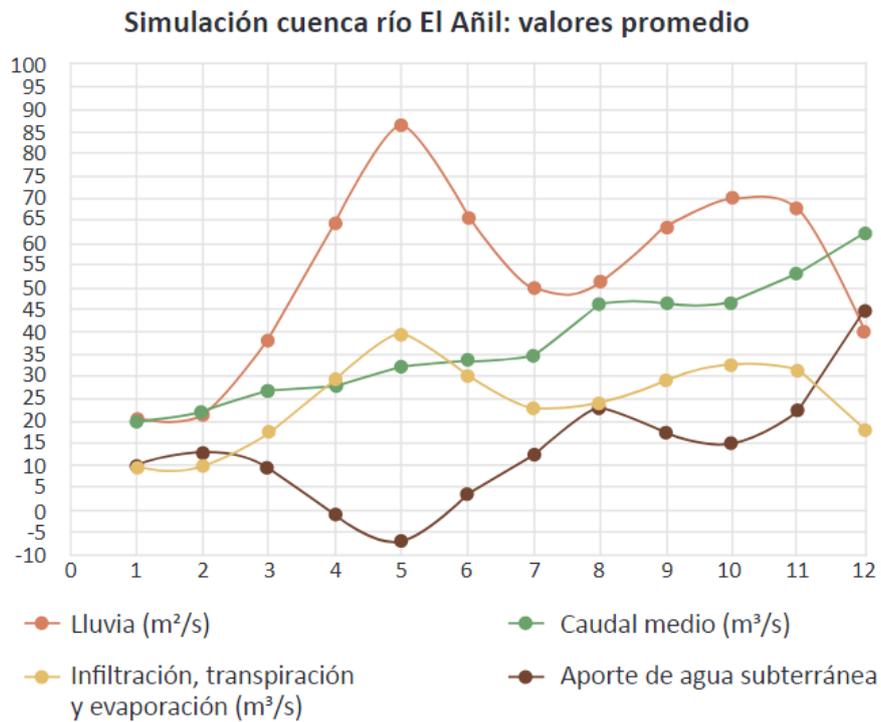
Para la optimización de la cuenca, en primera instancia se analizó la información sobre el caudal generado por las precipitaciones en temporadas de lluvias y temporadas secas, para así determinar los datos de caudal y precipitación promedio en cada temporada y su comportamiento (figura 2). Además, se analizó el comportamiento de estas variables, en relación con la variación de la temperatura, la evaporación y la precipitación; luego se procesó la información para detectar los valores máximos y mínimos de caudal, información útil para determinar el estado de la cuenca y, a partir de este, el tiempo válido para la optimización de recurso hídrico de la cuenca a partir de los niveles de infiltración.



**Figura 2.**  
Mapa de la zona de estudio.  
Sistema de Información Geográfica QGIS

Por medio de los índices de correlación de Pearson del caudal, la precipitación, la temperatura y el brillo solar, se realizó el estudio de la cuenca con ayuda de la simulación de la hidrología del río El Añil. Se utilizaron distintas herramientas computacionales, con el fin de analizar todos estos componentes gráficamente y estudiar los rangos óptimos de los índices mencionados, y así establecer la dinámica funcional de la cuenca hidrográfica, asociada al sistema urbano-región. De esta manera, se realizaron distintas correlaciones entre los indicadores en estudio.

Para la cuenca del río El Añil, se llevó a cabo una simulación en la cual se correlacionaron los valores de lluvia, infiltración, evaporación, caudal medio, aporte de agua subterránea y transpiración.

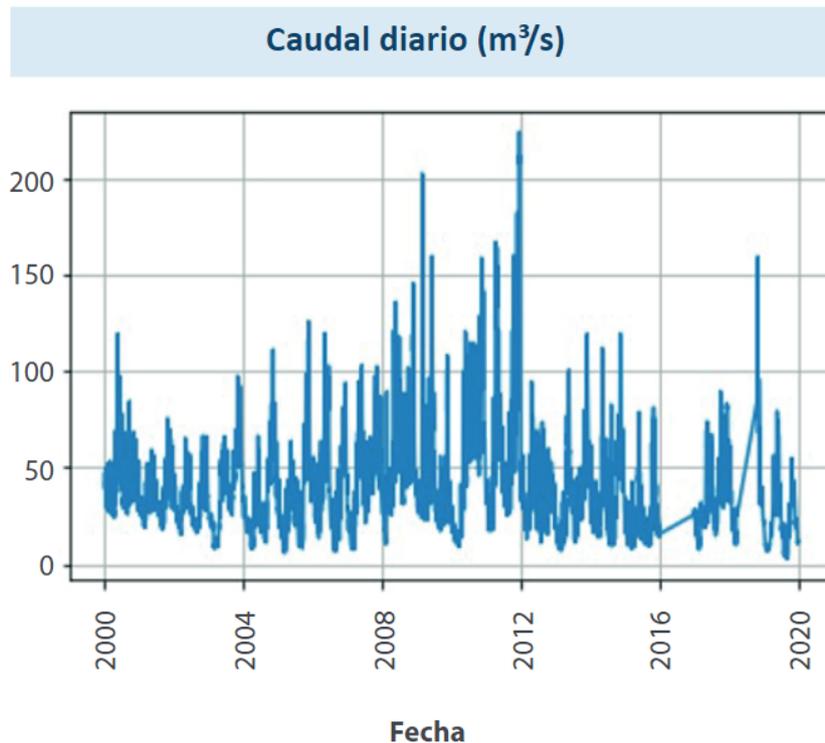


**Figura 3**  
 Simulación de valores promedio.  
 Elaboración Propia.

Como se puede apreciar en la (figura 3), cuando la lluvia sube y la relación con el aporte de agua subterránea, hay un aumento en la infiltración, lo que a su vez causa un almacenamiento de aguas subterráneas. Asimismo, los resultados muestran que el caudal presenta datos constantes durante casi todo el año, que la época de mayor cantidad de lluvias es de julio a septiembre y la de menor cantidad es de enero a marzo.

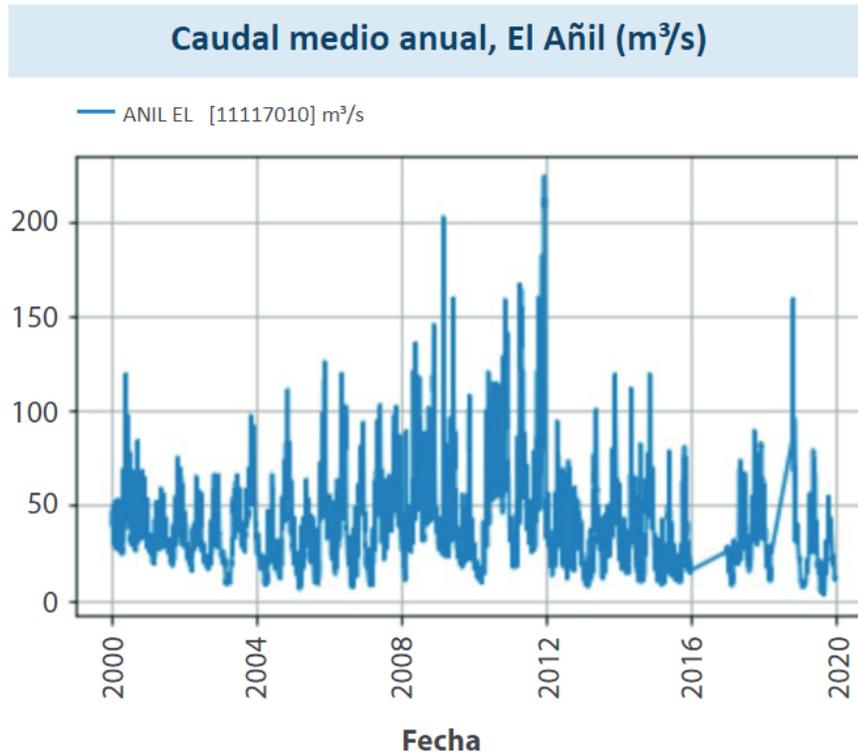
La simulación de los valores promedio de lluvia, infiltración, evaporación, caudal medio, aporte de agua subterránea, muestra una correlación que indica que en los meses de mayo-junio el aporte de agua subterránea disminuye cuando la lluvia aumenta.

El régimen de caudales se comprende como el estudio de un afluente por un tiempo determinado. Este concepto es necesario para entender el balance hídrico de una cuenca, y es posible medirlo directamente, con buena precisión. En este caso, se estudiaron el caudal medio diario y el caudal medio anual, cuyas mediciones se muestran en las figuras 4 y 5, respectivamente.



**Figura 4.**  
Caudal medio diario en el periodo 2000 - 2020.  
Elaboración Propia.

En la gráfica del caudal medio diario (figura 4), se puede ver que entre los años 2000 y 2008 el caudal varía desde 35 hasta 140 m<sup>3</sup>/s, y que en el 2010 aumenta a 200 m<sup>3</sup>/s y en el 2012 se identifica el caudal más alto (250 m<sup>3</sup>/s). A partir de ese año, el caudal diario baja, con rangos entre 140 y 10 m<sup>3</sup>/s, hasta que a mediados del 2018 vuelve a aumentar. Esta gráfica permite determinar que la cuenca del río El Añil no tiene periodos de sequía largos, en los cuales la probabilidad de que ocurrieran eventos extremos con valores máximos de precipitación que afecten a la población o a los diferentes aspectos dependientes de la cuenca sería mínima.

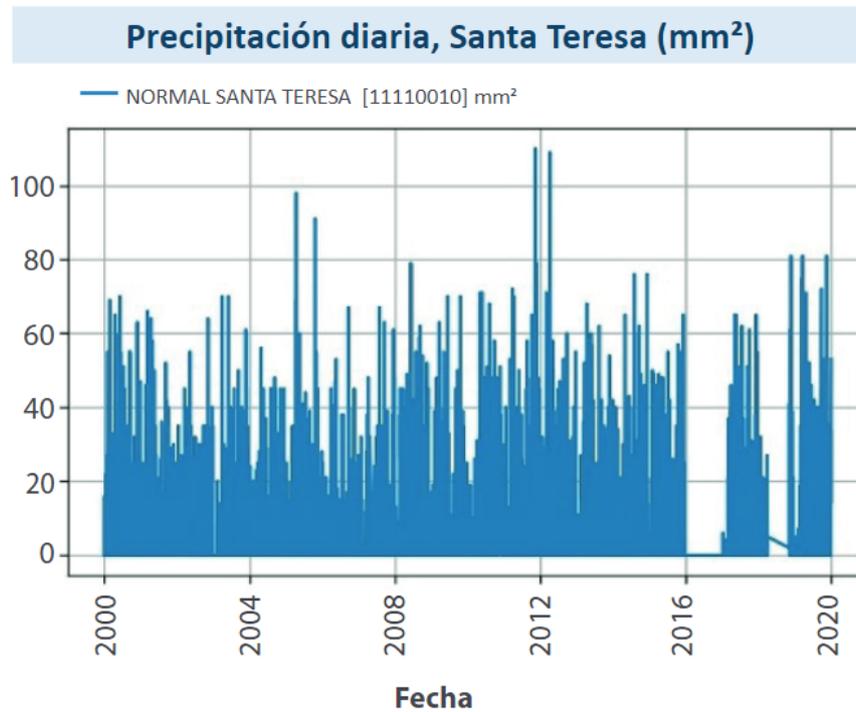


**Figura 5.**  
Caudal medio anual en el periodo 2000 - 2020.  
Elaboración Propia.

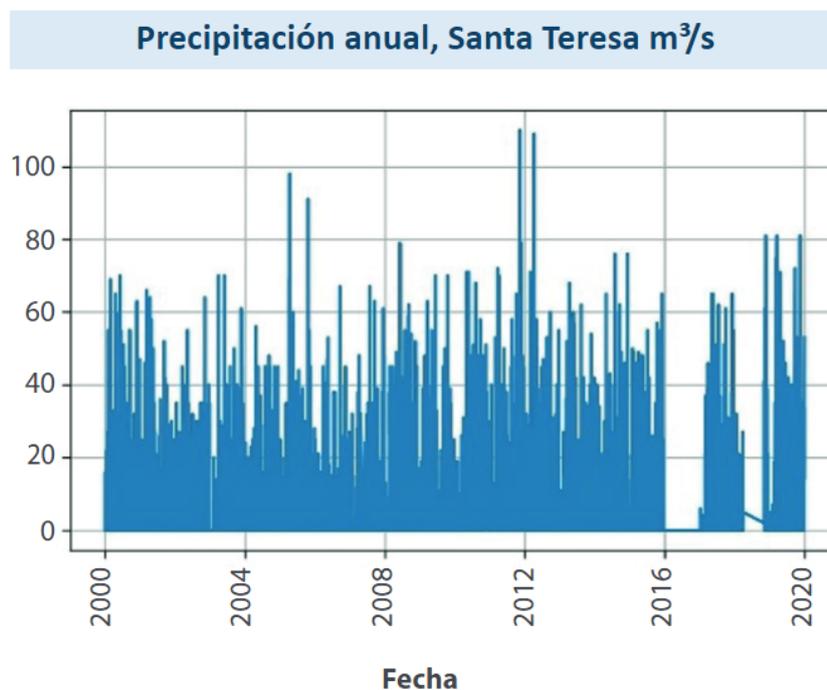
Por otra parte, a partir del caudal medio anual (figura 5), se pueden determinar los niveles de curvas que se construyen a partir de la extensión del caudal durante 19 años, debido a que ese fue el tiempo de estudio escogido para el análisis del hidrograma. Se puede ver que del 2000 hasta el 2009 el afluente tiene un flujo permanente, pero en el año 2010, en este año el caudal aumenta hasta  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  y en el 2012 este nivel de caudal aumenta aún más, esto se puede dar por efectos erosivos, agravación, aumento de aspectos pluviométricos, entre otros. Explicado con la ecuación de Bernoulli, se puede determinar que hay un flujo no permanente que se presenta cuando el comportamiento del fluido no cambia con la presencia de una creciente; se evidencia también que los niveles del agua resultan diferentes en la etapa de aumento del caudal y en la de descenso. Cuando empiezan a subir los niveles de agua, el flujo tiene un comportamiento acelerado y las velocidades aumentan de forma inversa; cuando los niveles del agua disminuyen, hay una desaceleración del flujo, haciendo que la velocidad disminuya también [1].

Por otra parte, la precipitación es un factor que influye en la cuenca del río El Añil, para poder evaluar y predecir posibles amenazas naturales (desbordamiento, inundaciones y erosiones) en la zona. La estación que mide la precipitación que afecta la cuenca del río El Añil, es la de Santa Teresa, que tiene en cuenta distintos factores climatológicos, como la temperatura y los vientos, entre otros. Con base en la información obtenida de esta estación, se generó un modelo de las precipitaciones registradas durante 19 años en esta zona de la región de

Antioquia. Para ello, se estudiaron las precipitaciones diarias (figura 6) y anuales (figura 7) registradas en esta estación.

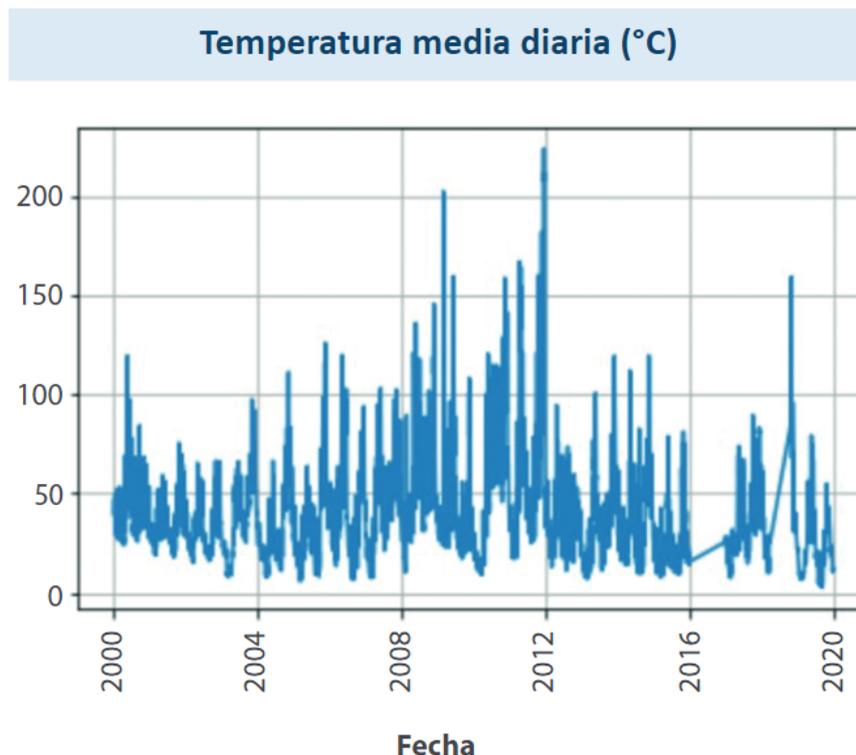


**Figura 6**  
Precipitación diaria en la Estación Santa Teresa en el periodo 2000 - 2020.  
Elaboración Propia.



**Figura 7.**  
Precipitación anual en la Estación Santa Teresa en el periodo 2000 - 2020.  
Elaboración Propia.

Respecto a la precipitación diaria (figura 6), se puede afirmar que la zona no es seca. Los rangos de precipitación indican que se trata de una zona húmeda, puesto que están en un promedio de 70 mm<sup>2</sup>. Esta precipitación sube a mediados de 2006 hasta 100 mm<sup>2</sup> y luego se normaliza hasta el transcurso del año 2013. Estos datos sobre la precipitación son directamente proporcionales a los del caudal. Del año 2016 no se tienen valores de precipitación, pues la estación no llegó a calcularlos por lo tanto no se pueden estudiar. En los últimos dos años analizados, el caudal diario mantuvo la misma tendencia que en los años previos: la intensidad de precipitación estuvo entre 60 y 80 mm, lo que significa que es una zona húmeda con lluvias altas.



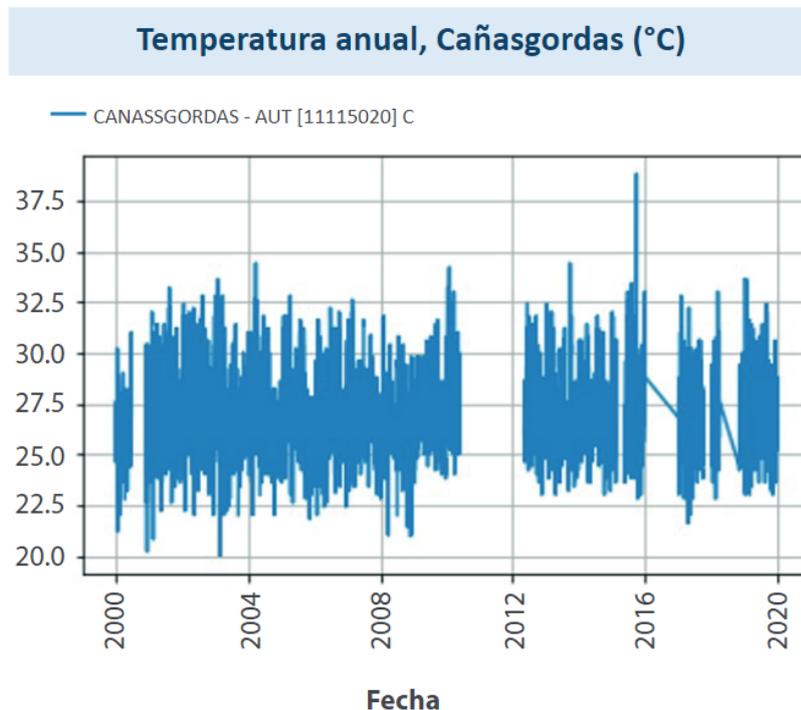
**Figura 8.**  
Temperatura media diaria en la Estación Cañasgordas  
Elaboración Propia.

La precipitación anual registrada por la estación Santa Teresa (figura 7) muestra el mismo fenómeno observado en la precipitación diaria, lo cual confirma que es una zona húmeda y con lluvias altas. En el año del 2006 se presentó alto nivel de lluvias en comparación con el resto de los años; sin embargo, el año en el que se observa mayor desproporción respecto a los demás es el 2012, que presentó la época de lluvias más altas. Esto se puede dar por tormentas locales o por vientos fuertes, causados por el calentamiento del aire húmedo de la zona de Antioquia, lo cual suele ocasionar precipitaciones de grandes cantidades de agua en poco tiempo o, lo que es lo mismo, precipitaciones de alta intensidad.

Otro factor importante para el estudio de la cuenca del río El Añil es la temperatura y humedad relativa de esta zona de Antioquia, puesto que, como ya se mencionó, estas afectan las precipitaciones y, a su vez, el caudal. La temperatura

se analizó en los registros de la Estación Cañasgordas, que es la más cercana a la cuenca.

Se estudiaron la temperatura media diaria (figura 8) y la temperatura media anual (figura 9) que afectan directamente al río El Añil.

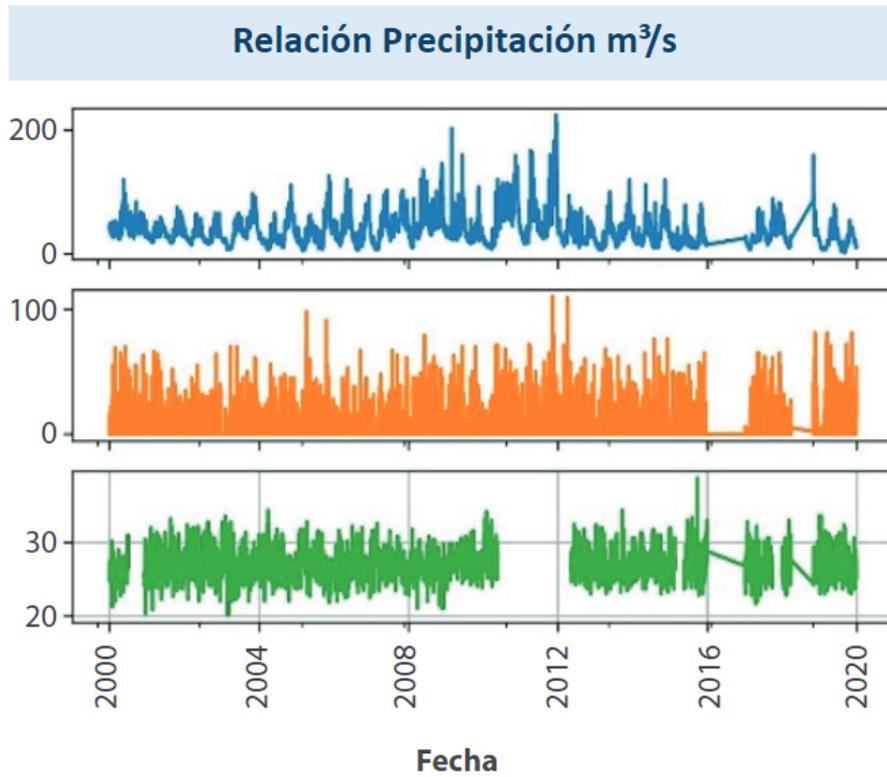


**Figura 9.**  
Temperatura media anual en la Estación Cañasgordas.  
Elaboración Propia.

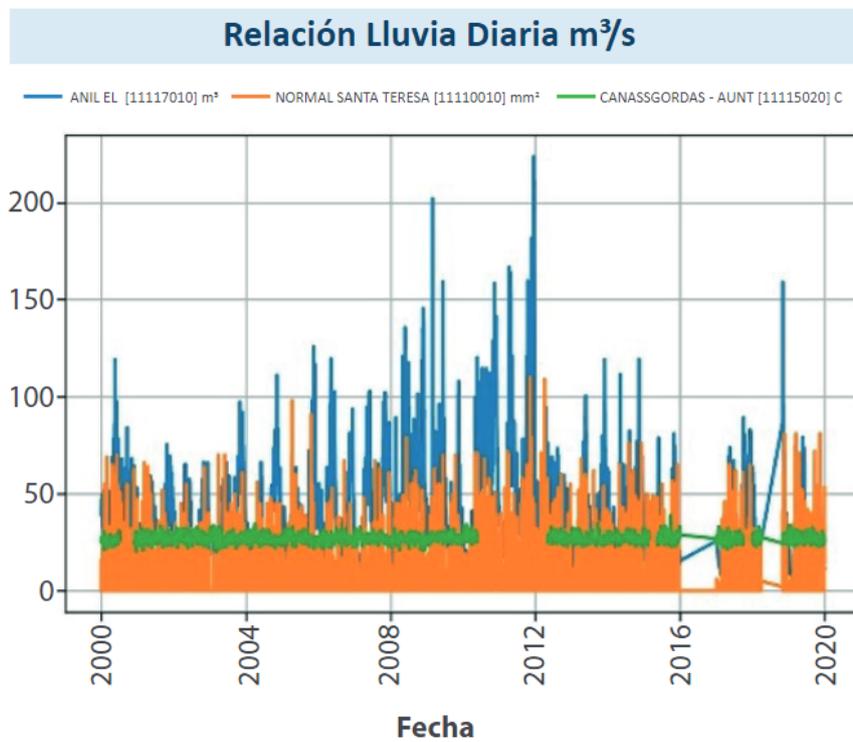
La temperatura media diaria (figura 8) indica que esta zona tiene temperaturas elevadas, lo que quiere decir que es de año seco, La temperatura de esta zona es monomodal, porque no registra una tendencia creciente, sino que mantiene su temperatura, variando en un rango de 30 °C a 60 °C, a excepción del año 2012, en el cual se observa un aumento anormal, en comparación con los demás años estudiados.

Con la temperatura media anual se puede confirmar que esta zona es tropical, debido a que las temperaturas anuales varían entre 22 °C y 32 °C. Esta estación no tomó datos en el 2012, año que tuvo los datos más elevados en las demás estaciones (figura 9). De ahí en adelante, vienen los mismos rangos de temperatura, hasta el año 2016, año en que la temperatura se eleva a 37,5 °C, lo que quiere decir que este año hidrológico fue muy seco para la zona, que según Köppen y Geiger es catalogada como zona de trópico seco AF (tropical ecuatorial) [9].

Para saber el estado de la zona y de la cuenca del río El Añil, es importante realizar una correlacionar los datos que registra cada estación en la simulación de la hidrología del río y hacer un análisis completo a partir del cual se logre plantear una propuesta de optimización de la cuenca. En las figuras 10 y 11 se pueden observar las relaciones entre el caudal, la precipitación y la temperatura.



**Figura 10**  
Relación de la precipitación, caudal y temperatura.  
Elaboración Propia.

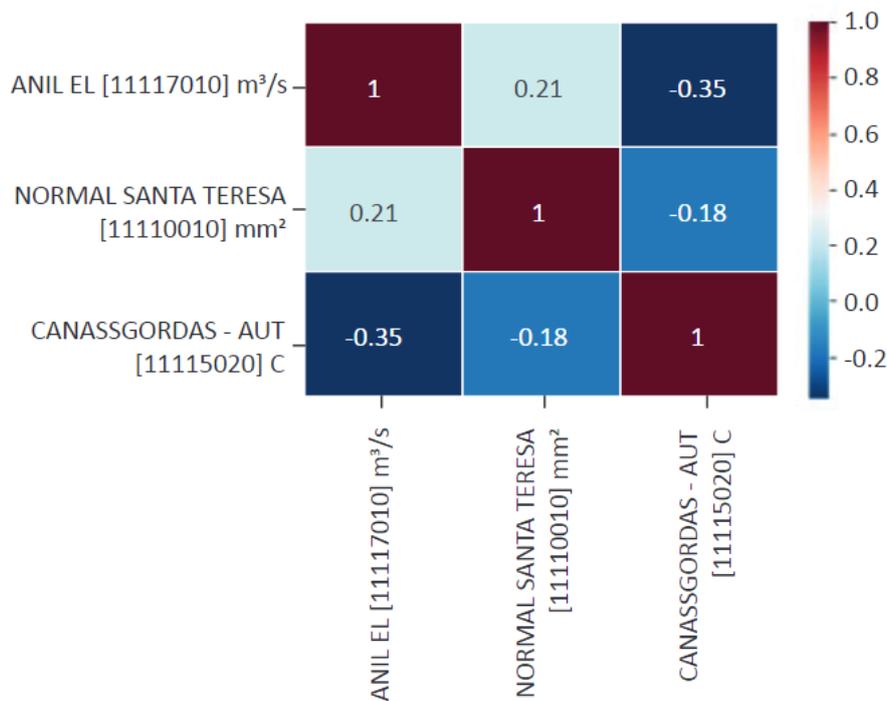


**Figura 11.**  
Relación de la precipitación diaria, caudal y temperatura.  
Elaboración Propia.

En ambas figuras se muestran los niveles de la precipitación (color naranja), el caudal (color azul) y la temperatura (color verde). Como se puede ver, el caudal depende directamente de las precipitaciones y de la temperatura de la zona. A pesar de que la temperatura se mantiene en rangos de 22 °C a 32 °C, su variación afecta la precipitación, pues esta última no será constante si no presenta cambios causados por temperatura, lluvias o vientos, entre otras causas.

El caudal depende directamente de la precipitación, tal como se puede apreciar en los rangos del caudal, que son similares a los de la precipitación, de tal manera que en los años en que la precipitación aumenta, asimismo aumentan los valores del caudal. Al no haber datos de precipitación del año 2016, la estación del río El Añil registró como si fuera un caudal lenticó. Se denominan lenticos los cuerpos de agua cerrados que permanecen en un lugar sin fluir [5].

El año en el que se registraron más alteraciones fue el 2012, en el que curiosamente la estación de temperatura no registró datos. Durante este año las precipitaciones fueron muy elevadas en comparación con los demás años estudiados. Las fuertes lluvias y los vientos abruptos provocaron que el caudal se elevara, lo que causó el desbordamiento del cauce de este río.



**Figura 12.**  
Correlación de Pearson entre caudal, precipitación y temperatura.  
Elaboración propia.

En la figura 12 se puede observar el máximo valor de correlación (1). Los datos de temperatura negativos indican que la temperatura no tiene mucha relación con el caudal ni lo afecta. La precipitación, por otra parte, es positiva pero no se encuentra tan cercana al máximo nivel de correlación, debido a que hay otros datos que afectan el caudal, como la evapotranspiración, el estado del suelo y el ángulo de elevación.

#### IV. DISCUSIÓN

El recurso hídrico es fundamental para el desarrollo socioeconómico de las poblaciones, es el centro del desarrollo sostenible. Además, este recurso es de vital importancia a nivel mundial, debido a que ayuda a la disminución de enfermedades y mejora de la salud, fomenta el bienestar y la productividad de la población, y aporta servicios ecosistémicos para la producción de las actividades humanas. El agua también es uno de los principales promotores de la adaptación al cambio climático, es un vínculo entre el sistema climático, la sociedad humana y el medio ambiente [9]. La comunidad de Cañasgordas, Antioquia (sitio donde desemboca la cuenca) cuenta con las calidades óptimas aportadas por esta cuenca para su desarrollo y un adecuado abastecimiento.

Por medio de los estudios realizados se obtuvieron resultados, a pesar de que hay muy pocas estaciones cercanas. En las que se encontraron, hay datos sobre parámetros como el caudal, la precipitación, la temperatura y el brillo solar. A partir de ellas, se pudieron calcular los índices de correlación. Mediante estos datos y con el uso de las herramientas se pudo determinar el área de la cuenca y los promedios de precipitación anual y mensual. Teniendo en cuenta que algunos errores de los datos influyeron en los resultados, al realizar el solver se pudieron identificar y mejorar las falencias para alcanzar los resultados esperados.

Como se pudo evidenciar en la figura 3, en la cuenca del río El Añil existe un mayor almacenamiento del agua infiltrada, lo cual afecta el aporte de agua subterránea y mantiene el caudal constante durante todo el año.

En la (figura 7) se puede apreciar que en el periodo 2000-2009 el afluente tuvo un flujo permanente. En 2010 hubo un aumento del caudal a  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ , y en 2012 fue aún más alto, con  $250 \text{ m}^3/\text{s}$ . Desde ese año, el caudal ha presentado rangos entre  $140 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  según la época del año. Según estos datos, la cuenca no presenta sequía, ya que en las diferentes gráficas obtenidas siempre están constantes los valores de precipitación. Por otra parte, en estaciones cercanas a la cuenca se presentan inundaciones en épocas de lluvia, pero en muy pocas ocasiones se ha visto afectado el río El Añil.

La estación de precipitación Santa Teresa es la más cercana. En ella se identificó que la zona en la que se encuentra no padece de sequía, sino que es húmeda, puesto que el promedio estuvieron entre los  $70 \text{ mm}^2$  y los  $100 \text{ mm}^2$  durante el periodo de 2006 a 2013, en el que se presentaron altas lluvias. Esto se relaciona con los datos obtenidos del caudal en este mismo periodo.

También se hallaron datos importantes en la estación de temperatura Cañasgordas. Estos permitieron determinar los factores que afectan al caudal y su relación. Asimismo, muestran que la zona es tropical, tiene tendencia a sequía no muy alta y es siendo monomodal. En ella la temperatura varía de  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $34 \text{ }^\circ\text{C}$  en el periodo estudiado, a excepción del año 2012, en el que la temperatura fue anormal. Finalmente, a partir de estas estaciones cercanas se pudo demostrar que en el mismo periodo todas están relacionadas.

A partir del estudio realizado, se propone orientar este recurso hídrico hacia la oferta, basándose en la demanda de la comunidad, la fauna y la flora presentes en la zona, dado que el volumen y las condiciones hídricas son suficientes para cubrir los requerimientos y necesidades de la población. Por otra parte, no se consideran necesarias acciones de preservación, protección y recuperación de la cuenca del río El Añil, puesto que las estaciones registran condiciones aptas de este cauce. Por último, es necesario que las estaciones funcionen durante todo el año para

seguir verificando las condiciones en las que se encuentra esta cuenca, con el fin de aportar el servicio ecosistémico para la población del municipio de Uramita.

Dentro de la propuesta para la optimización del río El Añil, se considera que a partir de la caracterización de las condiciones hidrometeorológicas, la lluvia puede llegar a ser aprovechable mediante el almacenamiento del agua y el uso de bombas de agua, que pueden ser utilizadas para riego, disminuyendo así las probabilidades de inundación.

#### V. CONCLUSIONES

La cuenca analizada es susceptible ante los fenómenos de El Niño y de La Niña. En los momentos de sequía, la calidad de los servicios sanitarios de la comunidad se considera baja. De igual forma, la flora y fauna se ven afectadas porque los alimentos proporcionados por esta cuenca se ven reducidos.

La zona de Antioquia es de trópico seco, representado con la letra A, debido a su clima tropical. Esto quiere decir que en ningún mes su temperatura media es inferior a 18 °C (estas variaron entre 22 °C y 32 °C) y las precipitaciones anuales son superiores a la evaporación.

La simulación realizada mediante herramientas tecnológicas es útil, pero es necesario ir a campo para verificar el estado correcto de las estaciones y de la cuenca del río El Añil para un mejor análisis.

La información registrada en la red de estaciones hidrometeorológicas del área de la cuenca del río El Añil es limitada e insuficiente para elaborar estudios hidrológicos completos. La falta de datos impide estudiar por completo la zona y sus afectaciones.

No es posible generar una correlación completa del estado de la cuenca solo con la temperatura, la precipitación y el caudal; se necesitan datos sobre la evapotranspiración, el estado del suelo, el ángulo de elevación y la radiación solar, entre otros.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a G. A. Forero Buitrago (Colombia) por su atención y tutoría en la realización de la investigación, y Universidad El Bosque (Colombia) por las ayudas en la fijación de los criterios lingüísticos y en la elaboración de ejemplos de referencias.

#### REFERENCIAS

- Consultora Masil. "Análisis de caudales", Análisis de caudales, (pág. 2). 2007. Ingenieriamambiental.com, 2007. [Online]. <http://www.ingenieriamambiental.com/4018/hidrologia%20-%20caudales%282%29%282%29.pdf>
- [2] C. Arango, J. Dorado, D. Guzmán y J. Ruiz. "Climatología Trimestral de Colombia". Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático. Subdirección de Meteorología, IDEAM: Accedido: 10 de nov., 2020. [En línea]. Disponible: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Climatolog%C3%ADa+Trimestral+para+Colombia+%28Ruiz%2C+Guzman%2C+Arango+y+Dorado%29.pdf/c2825963-c373-449a-a7cb-8480874478d9>].
- [3] A. Bateman. "Hidrología básica y aplicada" - Accedido: 10 de nov., 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.upct.es/~minaeecs/hidrologia.pdf>

- [4] G. Poveda. “El Clima de Antioquia”, 2006. Accedido: 10 de nov. [En línea]. Disponible: [https://www.researchgate.net/publication/233967250\\_El\\_Clima\\_de\\_Antioquia](https://www.researchgate.net/publication/233967250_El_Clima_de_Antioquia)
- [5] J. G. Alarcón y L. L. Díaz. “Estudio hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y la demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para un acueducto interveredal en Nunchía, Casanare”. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia. . Bogotá, Colombia, 2018.
- Departamento Administrativo de Planeación, 2008, “Anuario Estadístico de Antioquia”. [En línea]. Disponible: <http://www.antioquiadatos.gov.co/index.php/anuario-estadistico-home>
- [7] M. Arbeláez. “Al menos 4.000 personas incomunicadas tras derrumbe en Cañasgordas (Antioquia)”. Lafm.com.co. <https://www.lafm.com.co/colombia/al-menos-4000-personasincomunicadas-tras-derrumbe-en-canasgordas>. (Accedido: 10 de nov., 2020).
- Radio Nacional de Colombia. “Tres fallecidos y 12 desaparecidos tras avalancha en Dabeiba, Antioquia”, Radionacional.co <https://www.radionacional.co/noticia/regiones/antioquia/avalancha-dabeiba-lluvias-hoy>. (Accedido: 15 de nov., 2020).
- [9] M. Navarra, “Clasificación climática de Köppen – Meteo Navarra”, Meteo.navarra.es. [En línea]. Disponible: <http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm>.
- [10] Naciones Unidas. Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida” 2005-2015. Área temática: Agua y desarrollo sostenible». Accedido: 15 de nov., 2020 [En línea]. Disponible: [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water\\_and\\_sustainable\\_development.shtml](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml). [Accedido: 15-Nov-2020]
- [11] G. A. Forero. “Integrated farming system for the foothill-regions of Colombia – Ariporo System (A.S.)” *Rev. Technology*, 12 (2), 24-34, (2013).
- [12] Forero, G. A., Ramírez, J. C., & Ramírez, G. A. (2020). Propuesta de almacenamiento de agua lluvia para suministrarla al municipio de Albán utilizando HEC-GeoHMS. *Avances: Investigación En Ingeniería*, 17(1). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6031>