

**EVALUACIÓN DE LAS GARANTÍAS DE SUMINISTRO DEL RECURSO
HÍDRICO EN LA PROVINCIA DEL TEQUENDAMA POR MEDIO DE LA
HERRAMIENTA WEAP**

CAMILA FERNANDA LEGUIZAMÓN LEAL

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ
2016**

**EVALUACIÓN DE LAS GARANTÍAS DE SUMINISTRO DEL RECURSO
HÍDRICO EN LA PROVINCIA DEL TEQUENDAMA POR MEDIO DE LA
HERRAMIENTA WEAP**

CAMILA FERNANDA LEGUIZAMÓN LEAL

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniera Ambiental

**DIRECTOR:
MIGUEL ÁNGEL CAÑÓN RAMOS
INGENIERO AMBIENTAL
MSc (c). HIDROSISTEMAS**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ
2017**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVOS	8
.1. Objetivo General	8
.2. Objetivos específicos	8
MARCOS DE REFERENCIA	9
1. MARCO CONTEXTUAL	9
1. Características socioeconómicas	10
1.2. Escenarios a realizar	12
1.3. MARCO TEÓRICO	15
2. METODOLOGÍA	19
2.2. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	19
2.3. DESARROLLO DEL MODELO WEAP	39
2.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	41
3. RESULTADOS	42
3.2. Desarrollo del modelo WEAP	42
3.3. Análisis de resultados	50
4. CONCLUSIONES	67
5. RECOMENDACIONES	68
6. BIBLIOGRAFÍA	69
7. ANEXOS	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 .Caracterización de las bocatomas correspondientes al municipio de Quipile Cundinamarca.	19
Tabla 2. Demografía de cada uno de los municipios de la Provincia del Tequendama al censo 2016.....	20
Tabla 3. Coeficientes de cultivo.....	22
Tabla 4. Coeficientes de cultivo para cada cuenca.	23
Tabla 5. Porcentaje de precipitación efectiva de cada cuenca.	24
Tabla 6. Ejemplo del caudal de las conducciones.	46
Tabla 7. Componentes del modelo en WEAP.	47
Tabla 8. Métricas de calibración río Calandaima.....	50
Tabla 9. Métricas de calibración río medio Bogotá.....	51
Tabla 10. Consumo mensual en m^3 de La Mesa, Quipile, San Antonio del Tequendama, Tena, Viotá.	53
Tabla 11. Consumo mensual en m^3 de Anapoima, Anolaima, Apulo, Cachipay, El Colegio.....	54
Tabla 12. Población total y consumo per cápita de cada municipio	55
Tabla 13. Demanda no cubierta.....	59
Tabla 15. Precipitación mensual de cada cuenca.	61
Tabla 16. Evapotranspiración mensual de cada cuenca.	63
Tabla 17. Temperatura mensual de cada cuenca.	65

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. División política y localización de la Provincia del Tequendama.	9
Mapa 2. Ubicación de las estaciones meteorológicas.	21
Mapa 3. Interpolación de la precipitación del mes de enero para el escenario de referencia.	25
Mapa 4. Interpolación de la precipitación mensual para el escenario de referencia.	26
Mapa 5. Interpolación de la temperatura del mes de enero para el escenario de referencia.	27
Mapa 6. Interpolación de la temperatura mensual para el escenario de referencia.	28
Mapa 7. Interpolación de la precipitación del mes de enero para el escenario de fenómeno del Niño.....	29

Mapa 8. Interpolación de la precipitación mensual para el escenario de fenómeno del Niño.....	30
Mapa 9. Interpolación de la temperatura mensual para el escenario de fenómeno del Niño.....	31
Mapa 10. Interpolación de la temperatura mensual para el escenario de fenómeno del Niño.....	32
Mapa 11. Interpolación de la precipitación mensual para el escenario de fenómeno del Niña.....	33
Mapa 12. Interpolación de la precipitación mensual para el escenario de fenómeno del Niña.....	34
Mapa 13. Interpolación de la temperatura mensual para el escenario de fenómeno del Niña.....	35
Mapa 14. Interpolación de la temperatura mensual para el escenario de fenómeno del Niña.....	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diseño gráfico de los fenómenos del Niño y la Niña.....	13
Figura 2. Histograma-abril de las interpolaciones en Python.....	37
Figura 3. Parámetros utilizados por el software WEAP.....	39
Figura 4. División política de la provincia del Tequendama en WEAP.....	42
Figura 5. Ríos y quebradas de la provincia del Tequendama en WEAP.....	43
Figura 6. Creación de unidades hidrológica y escorrentía/infiltración en WEAP...	44
Figura 7. Conducciones y flujos de retorno a los sitios de demanda en WEAP. ...	45
Figura 8. Agregar los datos de entrada al modelo WEAP.....	48
Figura 9. Elaboración de los escenarios.	49

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Tablas de Caracterización de las bocatomas correspondientes a los municipios de la Provincia del Tequendama.....	73
Anexo 2. Prueba de Homogeneidad	86

RESUMEN

La provincia del Tequendama, cuenta con tres importantes fuentes hídricas como lo son, el río Bogotá, el río Apulo y el río Curí, a pesar de esto, en el Estudio Nacional de Agua elaborado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para los periodos de 2015-2025 se identificó que estará expuesta a presentar problemas de abastecimiento de agua y escasez, y de no tomar las medidas necesarias sobre los recursos naturales; municipios tales como La Mesa, Cachipay, El Colegio y Anapoima, quedarán en riesgo de presentar desabastecimiento en condiciones hidrológicas secas. EL problema radica en que en las épocas en donde se ha presenciado influencia de variabilidad climática Niño, se han visto en la necesidad de realizar racionamientos del recurso hídrico, debido a que al parecer la oferta hídrica no cumple la demanda de la población en dichos periodos

Este proyecto se realizó con el propósito de modelar el comportamiento del recurso hídrico y evaluar las garantías de suministro en la Provincia del Tequendama en eventos de variabilidad climática Niña, Niño y en condiciones normales; mediante el software de Modelación para La Evaluación y Planificación del Agua WEAP, empleando el método escurrimiento de lluvia (modelo coeficiente simplificado). Teniendo en cuenta información cartográfica, demográfica, con respecto a la población total de cada municipio de la provincia del Tequendama, y meteorológica con el fin de identificar la oferta y la demanda hídrica del área de estudio; como software de apoyo se utilizó Arcgis 10.1 y el lenguaje de programación Python los cuales permitieron mejorar el desarrollo y la organización de la información.

Dentro de los resultados se pudo evidenciar que no se cubrió la demanda en los municipios de La Mesa, Quipile y Apulo con valores que oscilan entre los 24.000 m^3 y 33.000 m^3 . Se espera que al momento de ser implementado, puedan mitigar los riesgos a futuro que podrían presentar los municipios y así mismo planificar mejoras en la gestión integral de recurso hídrico, de manera que no se vean afectados los ecosistemas, la economía, la agricultura y el turismo de dicha región.

Palabras clave: modelación, escorrentía superficial, variabilidad climática, precipitación.

ABSTRACT

The province of Tequendama has three important sources such as the Bogota River, the Apulo River and the Curí River, despite this, in the National Water Study prepared by the Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM) for the Periods of 2015-2025 identified that it was exposed to problems of water supply and scarcity, and not taking the necessary measures on natural resources; Municipalities tales such as La Mesa, Cachipay, El Colegio and Anapoima, remain at risk of presenting shortages in dry hydrological conditions. The problem lies in the fact that in times when the influence of climatic variability has been witnessed, it is seen in the need to realize the resources of the water resource, so it seems that the supply does not meet the demand of the population in those periods.

This project was carried out with the purpose of modeling the behavior of the water resource and the value of the supply guarantees in the Province of Tequendama in the climatic variability events of the Niña, Niño and under normal conditions; Using the software for Modeling for Water Evaluation and Planning WEAP, using the rainfall method (simplified coefficient model). Taking into account the cartographic, demographic information, with respect to the total population of each municipality of the province of Tequendama, and meteorological in order to identify the supply and demand of the study area; As support software used Arcgis 10.1 and the Python programming language permissions allowed the development and organization of information.

The results show that demand was not covered in the municipalities of La Mesa, Quipile and Apulo with values ranging from 24,000 m³ to 33,000 m³. It is expected that the moment of implementation, the risks Of the risks of a future that the municipalities present and also to plan improvements in the integral management of the water resource, in a way that is not affected the ecosystems, the economy, the agriculture and the Tourism of this region.

Key words: modeling, surface runoff, climatic variability, precipitation.

INTRODUCCIÓN

El presente documento pretende socializar como se efectuó la modelación para evaluar las garantías de suministro en la provincia del Tequendama por medio de la herramienta WEAP; cabe destacar que, la característica principal de un modelo es “una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática” [1].

Para el desarrollo del modelo fue necesario hacer uso del software WEAP y de herramientas de Sistemas de Información Geográfica, así mismo, el uso de bases de datos, como información detallada acerca de las bocatomas o sitios de captación pertenecientes a la provincia del Tequendama y de catálogos de estaciones meteorológicas, tomados de la CAR (Corporación Autónoma Regional) y del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales).

La metodología utilizada para el realizar el modelo, se llevó a cabo por medio de 3 etapas. A partir de la recolección y análisis de la información, el cual se realizó teniendo en cuenta las bases de datos mencionadas, desarrollo del modelo WEAP y finalmente con el análisis de los resultados.

Este proyecto se planteó, dado que, La gestión del recurso hídrico en Colombia, se está viendo influenciada por cuatro factores principales, que son la afectación de las fuentes de agua, la contaminación del agua y la calidad de las mismas, la infraestructura necesaria para gestionar los recursos hídricos y el ultimo es la gobernanza e instituciones que utilizamos para la gestión del agua. La provincia del Tequendama es una zona que se está viendo afectada por dichos factores.

Este proyecto va a evaluar las garantías de abastecimiento del recurso hídrico en los diez municipios de la provincia del Tequendama es por ello que la modelación se basó en la cantidad del recurso hídrico suficiente para el abastecimiento, discriminando parámetros como la calidad de las fuentes hídricas, la topografía del área y la periodicidad de las precipitaciones y retención hídrica. Por otro lado, el procedimiento para la obtención de los caudales que se evaluaron en el proyecto, no se tuvo en cuenta proyecciones de población, se utilizaron datos demográficos de población total correspondientes a los censos realizados en 2016.

Por lo mencionado anteriormente se hace necesaria la importancia de evaluar las garantías del recurso hídrico mediante un modelo hídrico en la zona, que al momento de ser implementado, permita promover el desarrollo sostenible y la gestión del agua, y la generación de planes de mitigación en épocas de sequía y programas de gestión del riesgo en temporadas de fuertes lluvias, teniendo en cuenta contextos sociales, económicos y ambientales.

OBJETIVOS

.1. Objetivo General

Evaluar las garantías de suministro del recurso hídrico en la provincia del Tequendama.

.2. Objetivos específicos

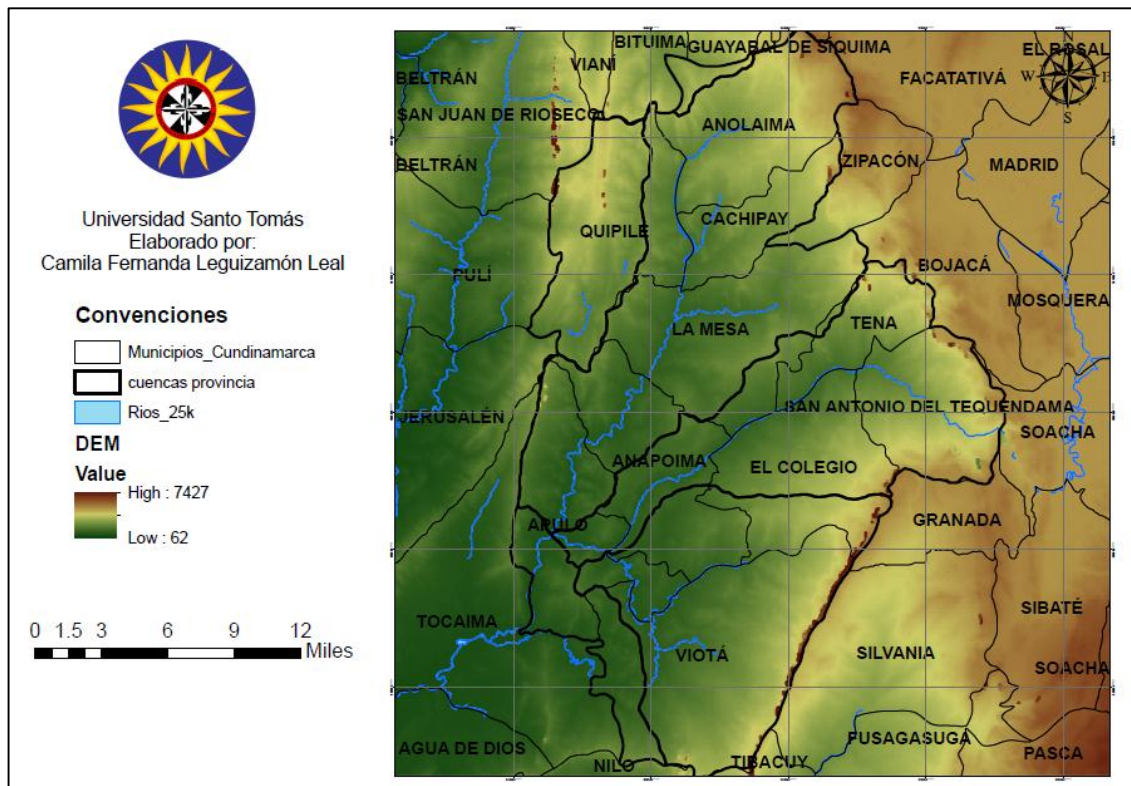
- Recolectar y analizar la información meteorológica y cartográfica correspondiente a la jurisdicción regional de Tequendama.
- Desarrollar el modelo por medio del software WEAP de la problemática identificada
- Realizar el análisis de los resultados obtenidos del desarrollo del modelo en diferentes escenarios.

MARCOS DE REFERENCIA

1. MARCO CONTEXTUAL

La Provincia de Tequendama se encuentra localizada al occidente del departamento de Cundinamarca, limita por el norte con la Provincia del Gualivá, por el sur con la provincia de Sumapaz, por el occidente con las provincias de Magdalena Centro y Alto Magdalena, y por el oriente con las provincias de Soacha y Sabana Occidente. Adicionalmente, cuenta con una fácil articulación con el municipio de Facatativá -cabecera de la Provincia de Sabana Occidente-, uno de los mayores centros económicos del departamento. Tiene una extensión territorial de 1.159 km², el 5,2% del área total del departamento, lo que le permite ubicarse como la decimoprimer provincia en cuanto a tamaño en el departamento. Su jurisdicción comprende los municipios de Anapoima, Anolaima, Cachipay, El Colegio, La Mesa (cabecera de la Provincia), Quipile, Apulo, San Antonio del Tequendama, Tena y Viotá [2].

Mapa 1. División política y localización de la Provincia del Tequendama.



Fuente: Autora.

1. Características socioeconómicas

- Anapoima: Se encuentra ubicado al sur occidente del Departamento de Cundinamarca, en la zona cálida de la provincia del Tequendama; limita al norte con el Municipio de La Mesa, al sur con los Municipios de Apulo y Viotá, al oriente con el Municipio de El Colegio y al occidente con los Municipios de Jerusalén y Quipile, cuenta con una extensión total de 124,2 km² y una temperatura media de 28-30°C [3]. Este municipio cuenta con una diversidad de actividades, el cual identifica su territorio por medio de Encuentros Nacionales de Danza “Danzando con el sol” Bandas musicales “Pedro Ignacio Castro Perilla”, y con la competencia ciclística de ruta “Clásica de Anapoima” [3].

No obstante, la producción agrícola es precedida del turismo presentado, por ende la producción agrícola se basa en Mangos, naranjas, mandarinas y limones Tahití [4].

Con respecto a la industria del municipio, el Ministerio de las TIC, se encargó de estructurar un espacio dedicado a la tecnología y desarrollo de una educación avanzada para la población de estratos uno y dos, llamado “Punto vive digital”. Por otro lado Anapoima cuenta con un sector Porcícola, llamado “Sociedad Agropecuaria Ibero-Andina SA” [5].

- Anolaima: Está ubicado en el pie de monte de uno de los brazos de la Cordillera Oriental, limita con el Municipio de Facatativá y Zipacón, una extensión de 118,8 km² y una población total de 13.312 hab². El municipio es considerado como Capital frutícola, puesto que, la naranja, el banano, mango, guayabas y moras hacen parte de esta gran producción establecida en el territorio.

Por otro lado, el Corpus Christi y Día del campesino son momentos y espacios pertenecientes al turismo que vive Anolaima, como lo es también la ciclovia recreativa apropiable a su cultura; su calzado es la señal que la industria sigue en pie [6].

- Apulo: Se encuentra ubicado en la Provincia del Tequendama, limita por el norte con el Municipio de Anapoima, al oriente con Viotá y Anapoima, al sur con Viotá y Tocaima y al occidente con los Municipios de Tocaima y Jerusalén; cuenta con una extensión total de 122 km², una población total a 2015 de 7812 hab² y una temperatura media de 27°C.

También es importante resaltar que la agricultura se basa en frutas, cañas y ecoturismo. No obstante, su turismo consta por el clima cálido oriundo de este

territorio y la estación del ferrocarril y demás sitios originarios atractivos, como miradores y el antiguo casino municipal [7] [8].

- Cachipay: Pertenece a la provincia del Tequendama, limita por el norte con el Municipio de Quipile, al sur con el Municipio de Zipacón, Oriente con el Municipio de Anolaima y al Occidente con el Municipio de La Mesa; cuenta con una extensión total de 56 km² y una temperatura media de 18-24°C.

Este municipio cuenta con una agricultura extensa en su variedad de especies, como aves multicolores y toda su flora y fauna que habita en esta región. No obstante, Cachipay tiene en su mercado cotidiano la venta de una palma, similar al corozo [9].

- El Colegio: El municipio está situado en la provincia del Tequendama, Limita por el norte con los Municipios de La Mesa y Tena, al sur con el Municipio de Viotá, al oriente con los Municipios de San Antonio del Tequendama y Granada y al occidente con los Municipios de Anapoima y La mesa; tiene una temperatura media de 24°C y una extensión total de 117 km². La agricultura se basa en mora, banano, cítricos, mango y hortalizas [10].
- La Mesa: Limita al norte con los municipios de Quipile, Cachipay y Zipacón, por el este con Bojacá y Tena, por el sur con El Colegio y Anapoima y por el oeste con Anapoima y Quipile; tiene una extensión total de 148 km² y una temperatura media de 22°C

El turismo consta de momentos especiales para los visitantes, con miradores en distintos espacios, el salto del tambo, puente colgante y lagunas de oso y de pedro de palo, entre otros [11].

- Quipile: El Municipio limita al norte con los Municipios de Bituima y Viani, al sur con los Municipios de Jerusalén y Anapoima, por el oriente con los Municipios de Anolaima, Cachipay y La Mesa, por el occidente con los Municipios de San Juan de Rioseco y Pulí; cuenta con una temperatura media de 20°C.

Por otro lado la agricultura se mantiene a través de la producción de la panela. Los atractivos que este municipio brinda son, los accidentes geográficos, que de alguna u otra manera generan cambios originales para el medio ambiente [12].

- San Antonio del Tequendama: Está situado en la Provincia del Tequendama, con una extensión de 82 km² y una temperatura media de 18°C, el Municipio limita por el norte con los Municipios de Tena y Bojacá, por el occidente con los Municipios de Bojacá y Soacha, por el oriente con el Municipio de El Colegio y por el sur con los Municipios de Soacha y Granada

La producción de este municipio consta de tomate, el cultivo de trigo, avena y cebada. No obstante su turismo se establece a través de la Iglesia nuestra señora del Carmen y el parque Cristobal Colón [13].

- Tena: limita al norte con Bojacá al occidente con la Mesa al oriente con San Antonio del Tequendama y al sur con el Colegio, tiene una extensión de 55 km² y una temperatura media de 22°C. Las reservas naturales son el turismo y las fiestas de la virgen del Carmen pertenecientes a su cultura [14].
- Viotá: Se encuentra en la parte sur de la Provincia del Tequendama, limita por el Norte con Apulo, Anapoima y El Colegio, por el Sur con Nilo y Tocaima, por el Oriente con Sylvania, Tibacuy y Granada, por el Occidente con Tocaima; tiene una extensión total de 208 km² y una temperatura media de 25°C

Recorridos ecológicos entre bosques y cascadas, visitas a vestigios arqueológicos, excursiones en carro o en bicicleta por la naturaleza, como turismo.

El cultivo de flores, papa y cría de ganado bovino hacen parte de su agricultura [15].

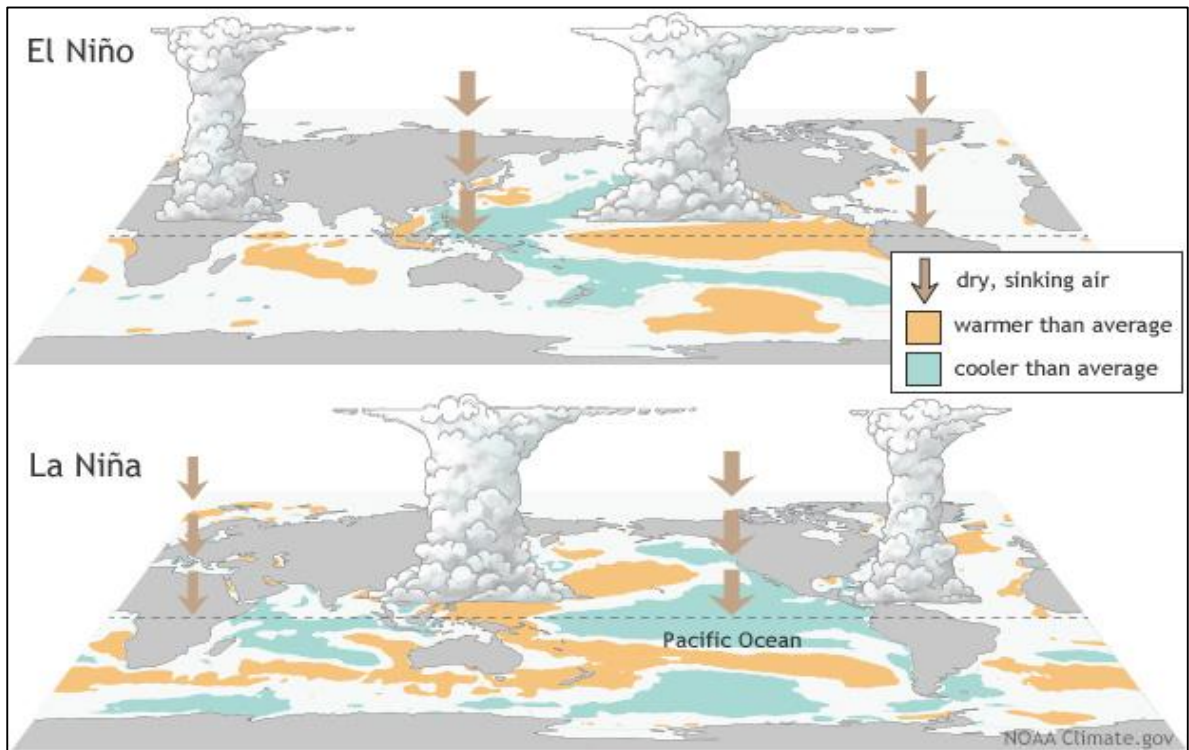
1.2. Escenarios a realizar

Dentro de la escala de variabilidad interanual en el océano Pacífico tropical son posibles tres condiciones: El Niño (calentamiento extremo), condiciones normales y La Niña (enfriamiento extremo). El Ciclo conocido como El Niño, La Niña - Oscilación del Sur - ENOS, es la causa de la mayor señal de variabilidad climática en la franja tropical del océano Pacífico, en la escala interanual.

El Niño y su fase opuesta La Niña, son las componentes oceánicas del ENOS y corresponden, en términos generales, a la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales relativamente más cálidas (El Niño) o más frías (La Niña) que lo normal en el Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia. Estas alteraciones de la estructura térmica superficial y

subsuperficial del océano están asociadas con el debilitamiento (fase cálida) o el fortalecimiento (fase fría) de los vientos alisios del Este y con el desplazamiento del núcleo de convección profunda del Oeste al Centro del océano Pacífico tropical, en condiciones El Niño o con su permanencia e intensificación en el caso de La Niña [16].

Figura 1. Diseño gráfico de los fenómenos del Niño y la Niña.



Fuente: [17].

Dada su localización geográfica, Colombia recibe la influencia directa de los procesos que se suscitan en el sistema acoplado océano-atmósfera del Pacífico tropical, asociados al Ciclo ENOS. Se ha podido establecer claramente que la intensidad de los fenómenos El Niño y La Niña está en función directa con la magnitud de las anomalías registradas en la temperatura superficial y sub-superficial del océano y con el área cubierta por las mismas [16].

En términos generales se ha podido identificar que cuando se presenta el fenómeno El Niño hay una clara tendencia hacia la disminución generalizada de los volúmenes de precipitación, particularmente en las regiones Andina y Caribe. En marcado contraste con la situación anterior, las lluvias son más abundantes de lo tradicional

en el sur de la región Pacífica, el suroccidente de la Amazonia colombiana y en algunas áreas del piedemonte llanero [18].

Durante el fenómeno El Niño, debido a la reducción de la precipitación y al aumento de la evaporación y la evapotranspiración, se produce una disminución de la disponibilidad hídrica en las diferentes regiones hidrográficas del país [19] [20]. El déficit en los rendimientos hídricos reduce considerablemente la oferta natural de agua para el abastecimiento de la población, la generación energía, los sistemas de riego para la agricultura y la navegación, entre otros [16].

El análisis de la fase fría (La Niña) permite establecer que el efecto climático se traduce en los excedentes de agua lluvia que se registran durante gran parte del periodo de permanencia del evento, en las regiones Andina, Caribe y Pacífica. De la misma forma, se ha comprobado que el efecto de estos fenómenos sobre los regímenes de lluvia y temperatura del aire en el país, son muy significativos durante el tercero y cuarto trimestres del primer año y el primer trimestre del segundo año. El mayor efecto climático, tanto para los eventos El Niño como para la Niña, ocurre durante el primer trimestre del segundo año, el cual es muchas veces coincidente con la fase madura de los eventos, es decir, cuando se presentan las mayores anomalías en el océano y la atmósfera del Pacífico tropical [18].

El análisis de la información histórica, indica que las alteraciones que se producen en el régimen de lluvias en Colombia son explicadas en buena parte, por la variabilidad climática interanual, relacionada con los fenómenos El Niño y La Niña, los cuales han sido causa de sequías extremas y lluvias extraordinarias en diferentes regiones del país, ocasionando un efecto negativo sobre el medio físico natural y un impacto social y económico de grandes proporciones [18].

A continuación se muestran algunos antecedentes de déficit de suministro de agua en el departamento de Cundinamarca y en algunos municipios de la provincia del Tequendama:

- La provincia del Tequendama y 38 municipios, están siendo afectados por la sequía, que asoma en el departamento de Cundinamarca en el año 2013, esto conlleva que las fuentes hídricas no den abasto para el suministro del recurso a la población. La mesa, Tena y El colegio han sido afectados por este fenómeno.
- Algunas de las fuentes hídricas pertenecientes Departamento de Cundinamarca, como lo son “Quebrada Santa Martha”, “Rio Calandaima” y “Quebrada campos”, se encuentran en condiciones secas en el año 2015.

- De acuerdo a las emergencias emitidas en el mes de Agosto del año 2013 por las alcaldías municipales, 1.325 hectáreas han sido consumidas por incendios provocados, por la falta de conciencia de las personas en el cuidado con el medio ambiente.
- En Febrero del 2016, “El ministro de Vivienda, Luis Felipe Henao, advirtió que, pese a las advertencias, en el departamento de Cundinamarca por los efectos del Fenómeno de El Niño, a la fecha solo el 20% de los departamentos afectados han activado planes de contingencia y emergencia”.
- El Ministerio reporta que a la fecha hay 656 planes de contingencia y emergencia adoptados y que se han distribuido 527.947 millones de litros de agua en Octubre del 2015.
- Actualmente el fenómeno del niño ha sido el más fuertes de todos los tiempos, pero EL TIEMPO señala en Octubre del 2015: “Lo que se ha venido diciendo es que tiene comportamientos parecidos al Niño del 97, que es el más fuerte que se ha documentado, y cuya temperatura de anomalía llegó a 2,4 grados centígrados. El actual no se podría determinar si va a ser el más fuerte de la historia, porque hay que recordar que se trata de un fenómeno natural, con propia evolución y comportamiento”.

1.3. MARCO TEÓRICO

Dado que este trabajo se centrará en evaluar las garantías de suministro en la provincia del Tequendama por medio de la herramienta WEAP, resulta fundamental contextualizar el software a utilizar y definiciones correspondientes a los parámetros a introducir en el modelo.

WEAP21

Es una herramienta computacional para la planificación integrada de recursos hídricos, funciona usando el principio básico del balance hídrico, puede ser aplicado en sistemas municipales y agrícolas, en una sola cuenca o en complejos sistemas de cuencas transfronterizas. Por otra parte, WEAP puede simular una amplia gama de los componentes naturales e intervenidos de estos sistemas, incluyendo la escorrentía por precipitación, flujos base, y recarga de aguas subterráneas por precipitación; análisis de las demandas sectoriales; conservación del agua; derechos de agua y prioridades de asignación, operaciones de los embalses; generación de hidroelectricidad; seguimiento de la contaminación y calidad de las aguas; evaluaciones de vulnerabilidad; y requisitos de los ecosistemas [21].

WEAP opera en muchas capacidades:

- Base de datos del Balance Hídrico: WEAP proporciona un sistema para mantener información de oferta y demanda de agua.
- Herramienta de generación de escenarios: WEAP simula la demanda, suministro, escurrimiento, caudales, almacenamiento, generación, tratamiento y descarga de contaminantes y calidad del agua en las corrientes [21].

Así mismo se hace necesario realizar un análisis de datos y para ello se utilizara el siguiente test:

Test de Mann Kendall

Esta prueba de homogeneidad es un test no paramétrico, detecta cualquier forma de tendencia, ya sean lineales o en forma de saltos, siempre que den una tendencia global, este test no es adecuado para series que presentan un componente estacional [22].

Cuenta con las siguientes respuestas:

- *Hipótesis nula*: Todos los valores de la serie son datos aleatorios de una sola población (Es una serie Homogénea) [22].
- *Hipótesis alternativa*: Es una serie no homogénea con tendencia monótona. [22].

El resultado que se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones se considera adimensional y permite establecer la correlación de los datos.

$$V = \frac{S-1}{\sqrt{\frac{n(n-1)+(2n+5)}{18}}} \quad \text{Ecuación N}^{\circ}1$$

La ecuación N°1, es considerada como la formula general para el cálculo de la homogeneidad de la información, para ello es necesario obtener las siguientes variables:

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} S_i \quad \text{Ecuación N}^{\circ}2$$

De la ecuación N°2, se parte de obtener el valor de T , por medio de la sumatoria de S_i , el cual será el número de valores $x_j > x_i$ para cada uno de los datos con los que se cuente.

$$I = \sum_i^{n-1} T_i \quad \text{Ecuación N°3}$$

Así mismo en la ecuación N°3, se utilizan los valores $x_j < x_i$ y con la sumatoria se calcula la variable I .

$$S = T - I \quad \text{Ecuación N°4}$$

Por último se obtiene el valor del índice de desviación, es decir S , por medio de la ecuación N°4.

Donde:

n : Es el número de registros

S : Es el índice de desviación

S_i : Numero de valores $x_j > x_i$ para $i < j < n$

T_i : Numero de valores $x_j < x_i$ para $i < j < n$ [22].

Por otro lado con el fin de estimar valores precisos de precipitación y temperatura en cada una de las cuencas pertenecientes al área de estudio, se procede a realizar interpolaciones por medio del lenguaje de programación de Python.

Interpolación IDW

La interpolación del punto problema se realiza asignando pesos a los datos del entorno en función inversa de la distancia que los separa -inverse distance weighting, IDW- [23].

La fórmula general es:

$$\hat{z}_j = \sum_{i=1}^n k_{ij} \cdot z_i \quad \text{Ecuación N°5}$$

Donde \hat{z}_j es el valor estimado para el punto j ; n es el número de puntos usados en la interpolación; z_i el valor en el punto i -ésimo y k_{ij} el peso asociado al dato i en el cálculo del nodo j . Los pesos k varían entre 0 y 1 para cada dato y la suma total de ellos es la unidad [23].

Para establecer una función de proporcionalidad entre el peso y la distancia, la fórmula general queda como sigue:

$$\hat{z}_j = \frac{\sum_i \frac{z_i}{d_{ij}^\beta}}{\sum_i \frac{1}{d_{ij}^\beta}} \quad \text{Ecuación N°6}$$

Donde $k_{ij} = 1/d_{ij}^b$ y b es un exponente de ponderación que controla la forma en la que el peso disminuye con la distancia [23].

Esta familia de métodos permite la generación del MDE de una forma rápida y simple. Sin embargo, se trata esencialmente de una media ponderada y, por tanto, el resultado se encuentra siempre incluido dentro del rango de variación de los datos. Por este motivo, el correcto tratamiento de las formas cóncavas y convexas depende estrechamente de la distribución de los puntos originales y la presencia de datos auxiliares se hace muy conveniente [23].

Interpolación en Python-Método de validación cruzada

Para la evaluación del desempeño en cada una de las metodologías de interpolación se utilizara la metodología de Jackknife técnica empleada para determinar el sesgo y la varianza de una muestra de tamaño N, mediante el cálculo en subconjuntos que se forman a partir de la muestra original omitiendo una observación N-1 [24]. Mediante esta técnica de remuestreo se determinara N-1 evaluaciones del error de estimación para cada metodología y posteriormente se generaran histogramas de estos errores los cuales definirá el nivel de desempeño en cada metodología [25].

Es decir, el método permite encontrar los porcentajes de error y la correlación que pueden presentar los datos interpolados por medio del lenguaje de programación Python.

Método de evapotranspiración

Los cálculos de evapotranspiración por el método de Thornthwaite (1948) están basados en la determinación de la evapotranspiración en función de la temperatura media, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de días del mes. El método es muy empleado en hidrología y en la estimación del balance hídrico para Climatología e Hidrología de cuencas. También es empleado en los índices y clasificaciones climáticas [26].

2. METODOLOGÍA

El diseño metodológico utilizado en el siguiente proyecto se llevara a cabo en tres etapas: la recolección y el análisis de la información, el desarrollo del modelo WEAP y por último el análisis de resultados.

WEAP emplea una paleta de diferentes objetos y procedimientos accesibles a través de una interfaz gráfica que puede ser usada para analizar un amplio rango de temas e incertidumbres a las que se ven enfrentados los planificadores de recursos hídricos, incluyendo aquellos relacionados con el clima, condiciones de la cuenca, proyecciones de demanda, condiciones regulatorias, objetivos de operación e infraestructura disponible [27].

2.2. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

La recolección de la información se realizó por medio de la base de datos registrada por la Corporación Autónoma Regional Cundinamarca (CAR) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para la provincia del Tequendama de allí se tendrá en cuenta la siguiente información:

- Bocatomas pertenecientes a cada uno de los municipios:

Tabla 1. Caracterización de las bocatomas correspondientes al municipio de Quipile Cundinamarca.

MUNICIPIO DE CORRESPONDENCIA	FUENTE DE CAPTACIÓN	CUENCA	COORDENADAS		CAUDAL CONCEDIDO (L/s)
			X	Y	
QUIPILE	Quebrada El Salitre	Magdalena	944570	1013424	0.0839
QUIPILE	Quebrada Lengua Fría	Magdalena	947331	1020923	0.09
QUIPILE	Quebrada La Aguilita	Magdalena	946239	1016463	0.11
QUIPILE	Quebrada La Aguilita	Magdalena	946348	1016385	0.51
QUIPILE	Quebrada La Aguilita	Magdalena	946967	1016399	1.31
5 BOCATOMAS					2.1039

Fuente: [28].

En la Tabla 1 se establece la caracterización de las bocatomas que tienen como municipio de correspondencia a Quipile Cundinamarca, allí se identifica la fuente de captación, la cuenca a la que pertenece, las coordenadas de ubicación y el caudal

concedido en l/s. Así mismo en el anexo 1 se encuentran las tablas proporcionadas para los 9 municipios faltantes, que hacen parte de la Provincia del Tequendama.

- Características demográficas del área de estudio:

En este caso solo se tuvo en cuenta la población total de cada municipio:

Tabla 2. Demografía de cada uno de los municipios de la Provincia del Tequendama al censo 2016.

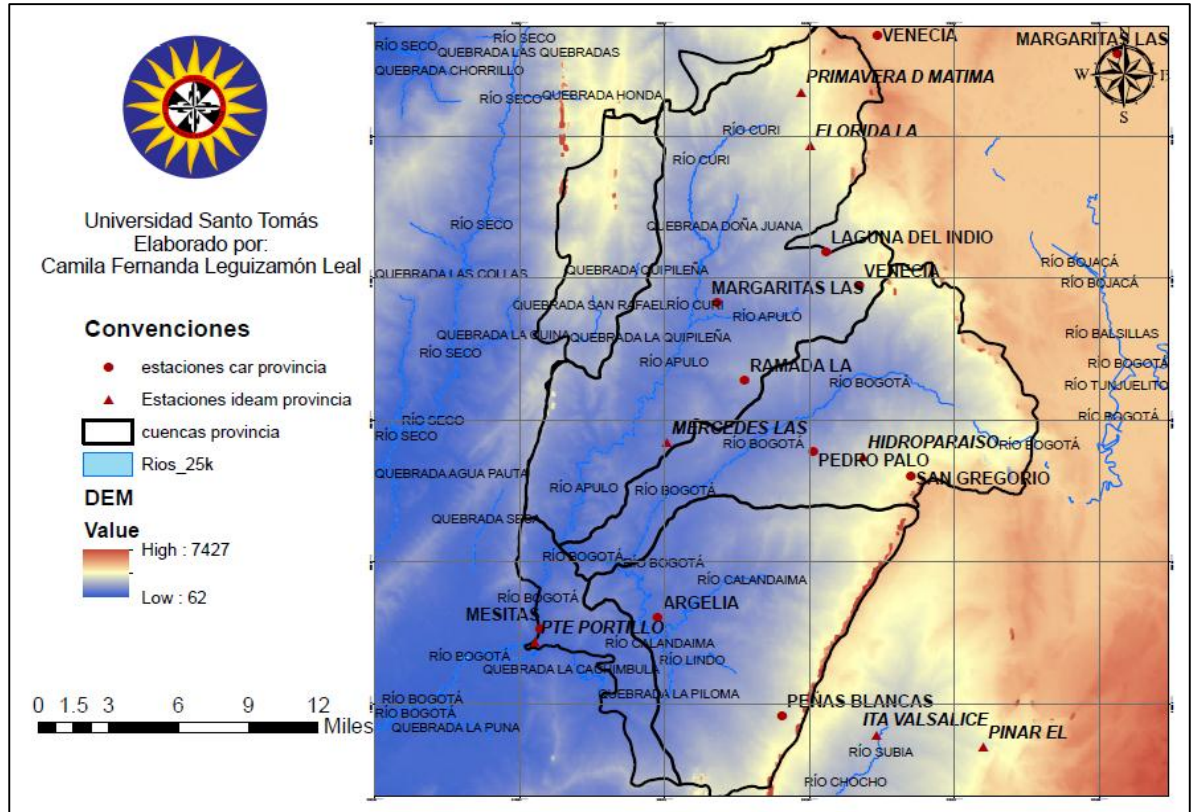
Municipio	Población Hab ²
Anapoima	11.337
Anolaima	12.911
Apulo	7.812
Cachipay	9.833
El Colegio	21.832
La Mesa	31.350
Quipile	8.164
San Antonio	13.084
Tena	8.941
Viotá	13.351

Fuente: [3] [7] [9] [10] [11] [29] [30] [14] [31] [6].

Con respecto a la información establecida en la tabla 2 se logran identificar los municipios que presentan mayor población y por consiguiente presentan un mayor consumo del recurso hídrico. Por otro lado se evidencia que el municipio de La Mesa es el más poblado por ello es considerado como la capital de la provincia del Tequendama.

- Estaciones meteorológicas, allí se tienen en cuenta los siguientes parámetros: temperatura, precipitación y caudal.

Mapa 2.Ubicación de las estaciones meteorológicas.



Fuente: Autora.

En el Mapa 2. Ubicación de las estaciones meteorológicas, se muestra la ubicación de cada una de las estaciones meteorológicas utilizadas como fuente de información para el desarrollo del modelo, allí se tienen en cuenta 19 estaciones de diferentes tipos entre las que se encuentran, pluviométricas PM, climatológicas ordinarias CO, Limnigráficas LG, pluviográficas PG y climatológicas principales CP, de la CAR y del IDEAM, que proporcionaron datos mensuales de temperatura y precipitación.

La cuenca del río Calandaima cuenta con las estaciones Argelia y Peñas blancas, de la CAR y PTE Portillo del IDEAM, así mismo la cuenca río bajo Bogotá, tiene la estación Mesitas de la CAR; las cuencas río Tobia y río Seco no tenían ninguna estación con datos meteorológicos, es por ello que para realizar las interpolaciones fue necesario utilizar la estación La Victoria de la CAR, ubicada en el noroccidente de la provincia. Por otro lado, la cuenca río Apulo y río medio Bogotá cuentan con

una variedad de estaciones meteorológicas como Primavera de Matima, La Florida, Las Mercedes e Hidroparaiso del IDEAM y Las Margaritas, Laguna del Indio, Venecia, San Gregorio, Pedro Palo, La Ramada de la CAR; y finalmente dos estaciones pertenecientes al IDEAM, ITA Valsalice y El Pinar ubicadas en la cuenca del río Panches.

No obstante, con la selección de las estaciones meteorológicas que tienen influencia en el modelo, se generó el test de Mann Kendall, en donde se determinó que todas las estaciones presentan homogeneidad en relación a los datos, para ver la clasificación de las estaciones, ver anexo 2.

- Identificación de los coeficientes de cultivo de las cuencas correspondientes a la Provincia del Tequendama:

Tabla 3. Coeficientes de cultivo.

	Inicial	Desarrollo	Mediados
Ahuyama	0.5	1	0.8
Arroz	1.50	1.20	0.9
arvejas	0.5	1.15	1.1
Cacao	1	1.5	1.5
Café	0.9	0.95	0.95
Caña	0.4	1.25	0.75
Maíz	0.3	1.15	1.05
Mango	0.4	0.75	0.6
Mora	0.3	1.05	0.5
Papa	0.5	1.15	0.75
Pasto Manejados	0.4	0.85	0.85
Pastos riego	0.8	0.85	0.85
Plátano	0.6	1	1.05

Fuente: [32].

En la tabla 3. Coeficientes de cultivo, allí se establecen los coeficientes de cultivo que prevalecen en el área de estudio, en donde se tienen en cuenta las siguientes etapas: inicial, en desarrollo y mediados; los 13 tipos se identificaron teniendo en cuenta los cultivos más predominantes y los valores se obtuvieron por medio de las bases de datos proporcionadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); los coeficientes se distribuyeron y ponderaron por etapa de acuerdo al uso del suelo de cada una de las cuencas, estos valores se pueden observar en la tabla 4. Los cálculos que se realizaron se pueden observar en el anexo 3.

Tabla 4. Coeficientes de cultivo para cada cuenca.

Tobia	0.64	1.09	0.98
Calandaima	0.58	1.01	0.9
Apulo	0.6	1.1	0.98
Seco	0.44	0.87	0.7
Medio Bogotá	0.72	1.07	0.88
Bajo Bogotá	0.72	1.07	0.88

Fuente: Autora.

Estos coeficientes son parámetros de entrada para las unidades hidrológicas del modelo, en la pestaña de *uso del suelo*, allí pide el área correspondiente a cada cuenca, los coeficientes de cultivo y la precipitación efectiva.

- Cálculo de la precipitación efectiva:

El cálculo de la precipitación efectiva se realizó por medio del método del número de curva, este método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE.UU. (Natural Resources Conservation Service – NRCS), originalmente llamado Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation Service - SCS) para calcular la precipitación efectiva como una función de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad [33].

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad \text{Ecuación N°10}$$

Donde:

- P: Precipitación neta
- Q: Precipitación efectiva o escorrentía directa.
- S: Retención de potencial máxima.

El valor de S, es decir la retención de potencial máxima, se halla por medio de la siguiente ecuación:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Ecuación N°11}$$

Donde:

- CN: Es el número de curva
- S: Retención de potencial máxima.

La ecuación N°11 es adimensional, así pues, al reemplazar el valor de S en la ecuación N°10, el valor de la precipitación efectiva se obtiene en mm. A continuación en la Tabla 5, se evidencian las precipitaciones efectivas mensuales de cada cuenca; el cálculo de las precipitaciones se puede identificar en el anexo 4.

Tabla 5. Porcentaje de precipitación efectiva de cada cuenca.

	Apulo	Medio Bogotá	Calandaima	Rio Seco	Bajo Bogotá	Tobia
Enero	34.04	36.29	35.17	39.01	49.91	34.74
Febrero	42.7	46.65	46.39	47.70	61.81	42.87
Marzo	52.47	56.23	57.25	57.73	70.90	53.30
Abril	57.95	60.93	62.38	62.21	73.57	57.58
Mayo	53.4	54.69	55.38	58.58	66.05	54.26
Junio	26.47	30.00	27.20	30.37	34.60	25.38
Julio	18.78	21.38	20.90	22.75	26.87	18.18
Agosto	25.06	28.80	24.55	28.32	31.87	22.54
Septiembre	41.77	47.12	42.96	45.60	52.70	39.64
Octubre	59.71	62.31	66.05	63.27	78.22	58.49
Noviembre	58.59	61.81	63.38	62.46	75.43	57.97
Diciembre	42.32	45.33	45.11	47.47	57.93	42.99

Fuente: Autora.

En la tabla 5. Porcentaje de precipitación efectiva cada cuenca, se encuentran los porcentajes de precipitación mensuales de las cuencas pertenecientes a la Provincia del Tequendama. Lo que quiere decir que esos son los porcentajes de precipitación total que son aprovechados por las plantas de cada cuenca.

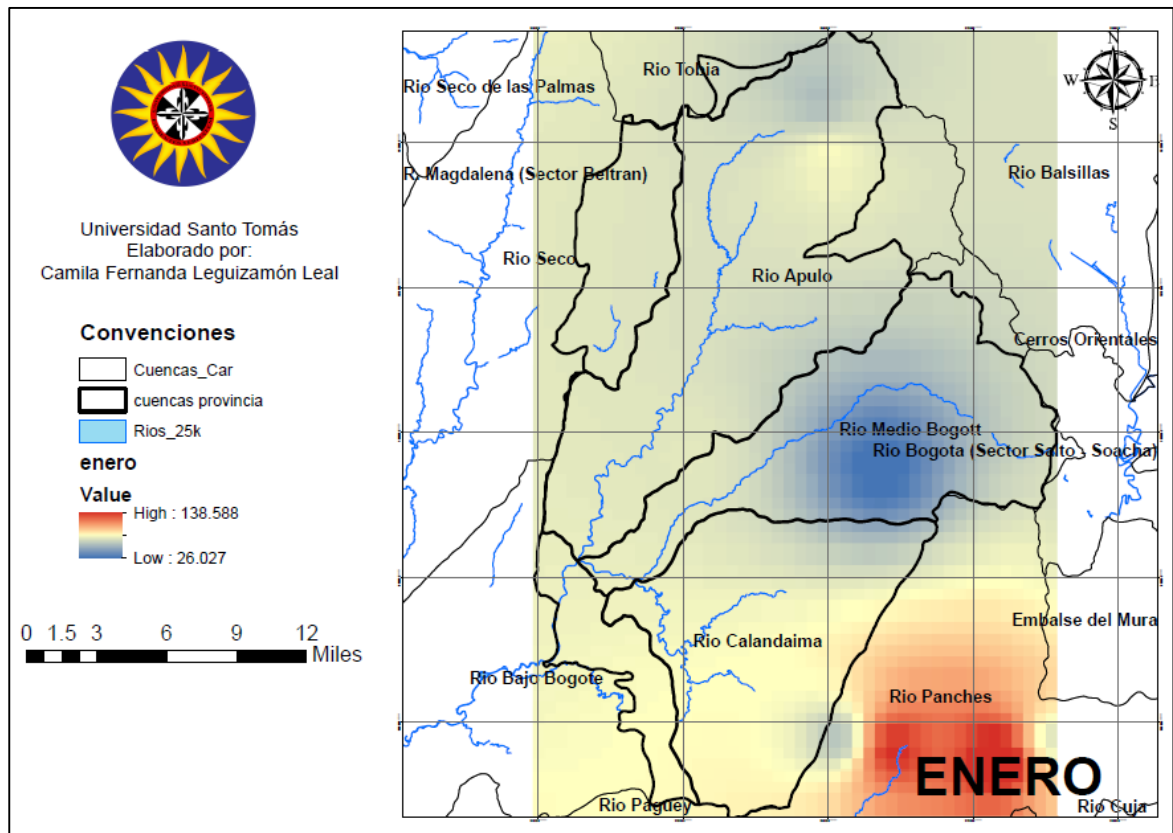
- Evapotranspiración de referencia

La evapotranspiración de referencia, se halló mediante la fórmula de Thornthwaite, utilizando como parámetros de entrada la temperatura, el número de días del mes y número de horas luz; este procedimiento se realizó para los 3 escenarios (referencia, niño, niña), las memorias de cálculo se encuentran en el Anexo 5.

- Desarrollo de las interpolaciones en Python

Las interpolaciones se realizaron con base en un código escrito en el lenguaje de programación de Python, el cual desarrolla las ecuaciones del método Inverse Distance Weighting IDW para parámetros mensuales de temperatura y precipitación en cada uno de los escenarios.

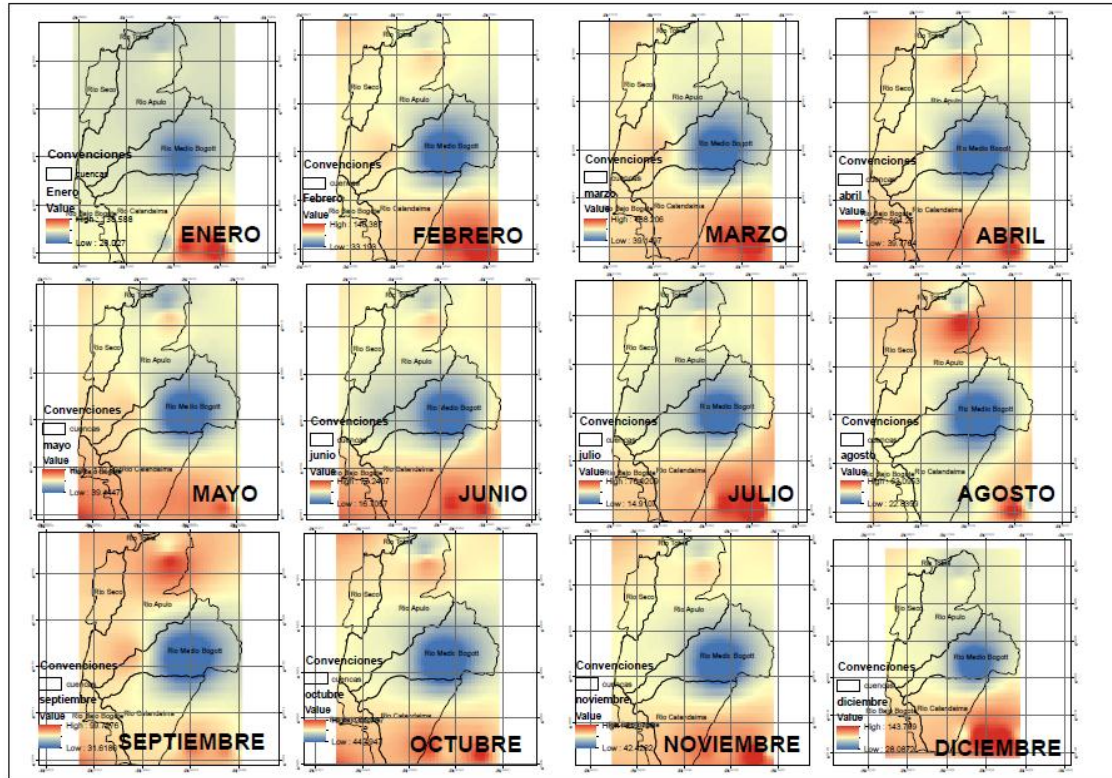
Mapa 3. Interpolación de la precipitación del mes de enero para el escenario de referencia.



Fuente: Autora.

De acuerdo al mapa anterior se puede evidenciar el comportamiento de la precipitación del mes de enero para el escenario de referencia, allí se puede ver que los valores máximos de precipitación, aproximadamente de 138,58 mm se muestran con color rojo cerca de la cuenca del río Calandaima, es decir en la cuenca del río Panches y los valores mínimos con color azul de 26,07 mm, esto se dan en la cuenca media del río Bogotá; por otro lado los valores medios de precipitación de presentan en el resto de las cuencas pertenecientes a la provincia del Tequendama.

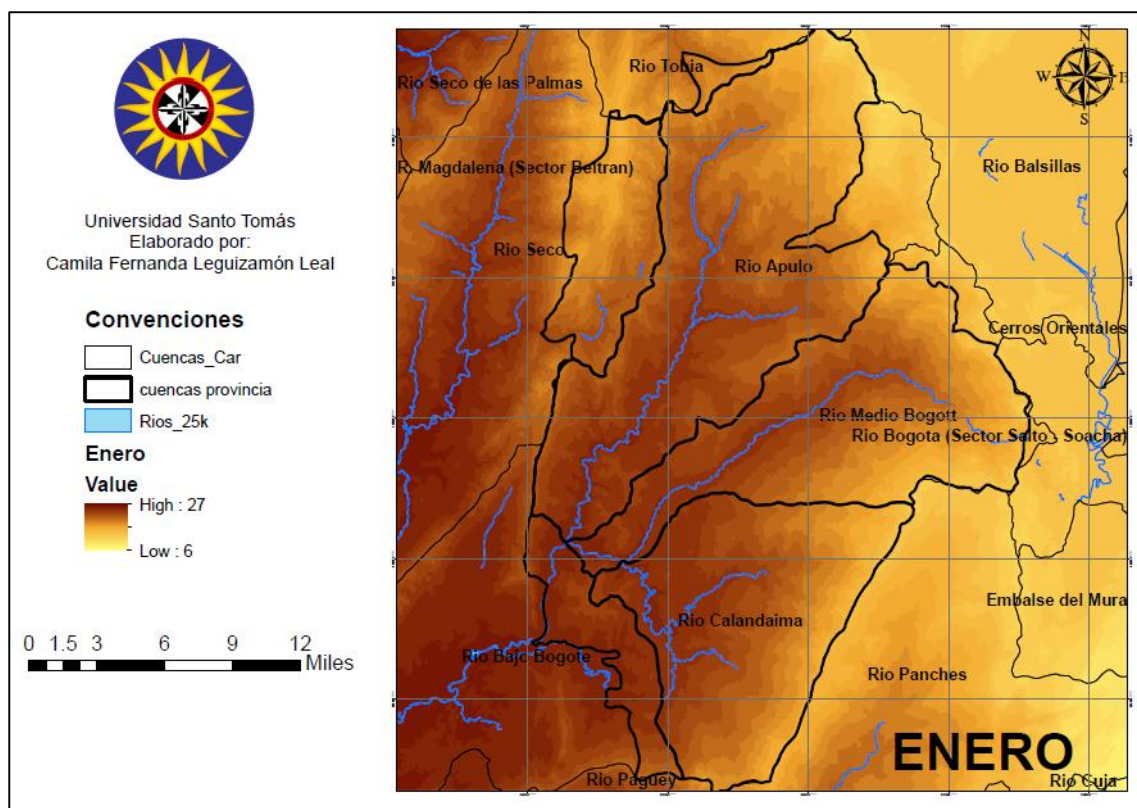
Mapa 4. Interpolación de la precipitación mensual para el escenario de referencia.



Fuente: Autora.

En el mapa anterior se muestran las precipitaciones mensuales multianuales para el escenario de referencia, de acuerdo a los mapas correspondientes a cada mes, se evidencia que las menores precipitaciones se dan en la cuenca media del río Bogotá, es decir en los municipios de Tena, San Antonio del Tequendama y El colegio, que se encuentran con color azul en todos los meses; por otro lado las mayores precipitaciones en los meses de febrero a julio y de octubre a diciembre, se presentan en la cuenca Calandaima con color rojo. Ver anexo 6.

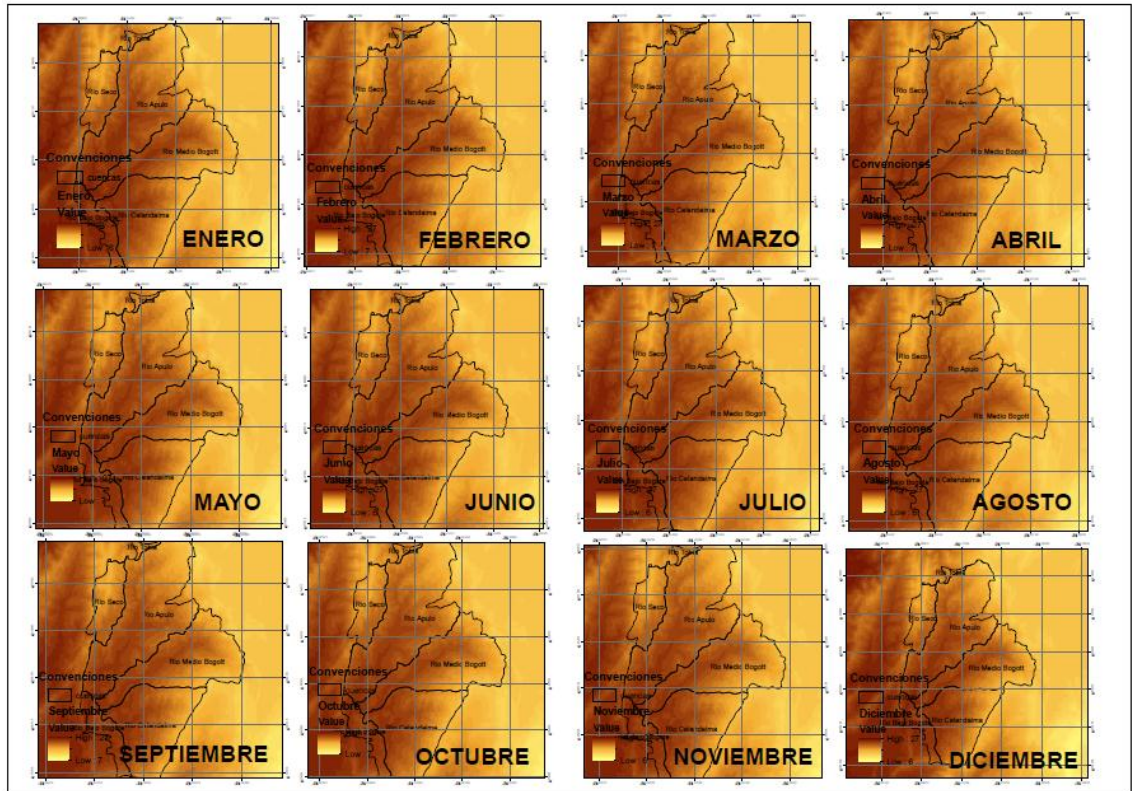
Mapa 5. Interpolación de la temperatura del mes de enero para el escenario de referencia.



Fuente: Autora.

En el mapa 5, se muestra el comportamiento de la temperatura para el escenario de referencia en el mes de enero, en donde se evidencia que las mayores temperaturas están en la parte izquierda de la provincia, es decir en la cuenca del Río bajo Bogotá, Río Apulo, gran parte de la cuenca del Río Calandaima y del Río medio Bogotá y las cuencas de Río Seco y Tobia. Los valores máximos son de color marrón con temperaturas de 27°C y valores mínimos de 6°C hacia la parte derecha de la provincia del Tequendama, cerca de la cuenca del Río Balsillas.

Mapa 6. Interpolación de la temperatura mensual para el escenario de referencia.

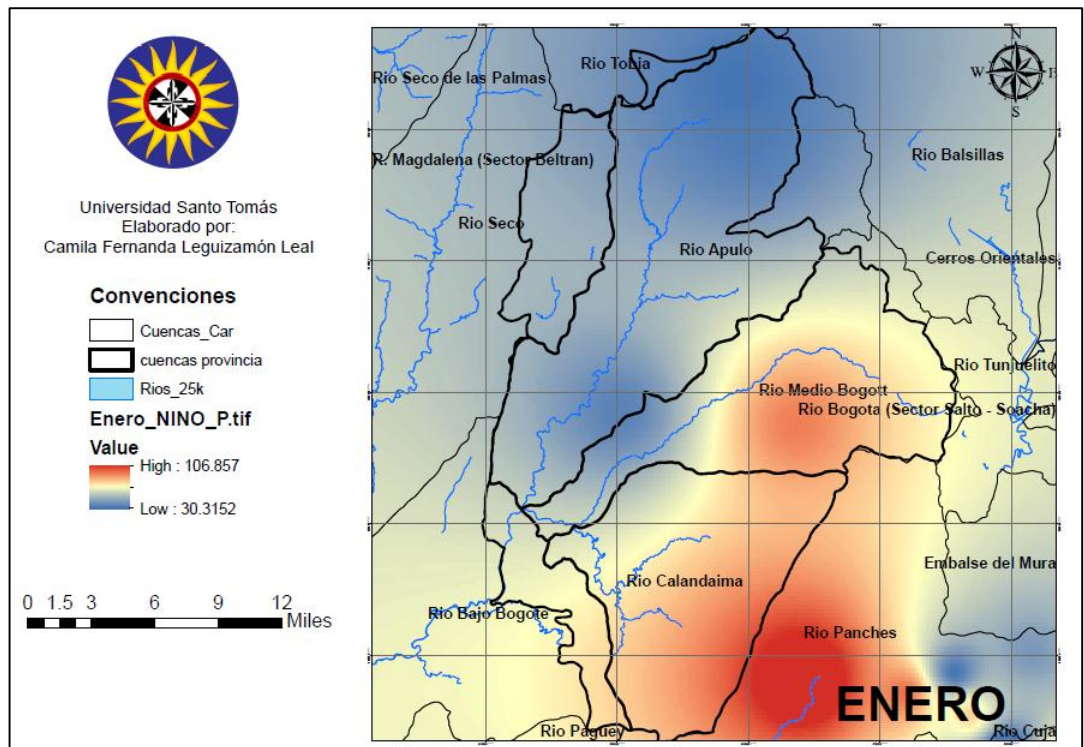


Fuente: Autora.

De acuerdo al mapa anterior, se puede determinar que las mayores temperaturas se presentan en las cuencas, Calandaima, Apulo, Río seco, Río medio Bogotá y Río bajo Bogotá en todos los meses, la cuenca Tobia por el contrario muestra valores de temperatura media.

Teniendo en cuenta la veracidad de las interpolaciones del escenario de referencia, se procedió a realizar las interpolaciones para los escenarios de fenómeno Niño y Niña, utilizando el mismo código por medio del lenguaje de programación de Python los cuales se van a presentar a continuación. Ver anexo 7.

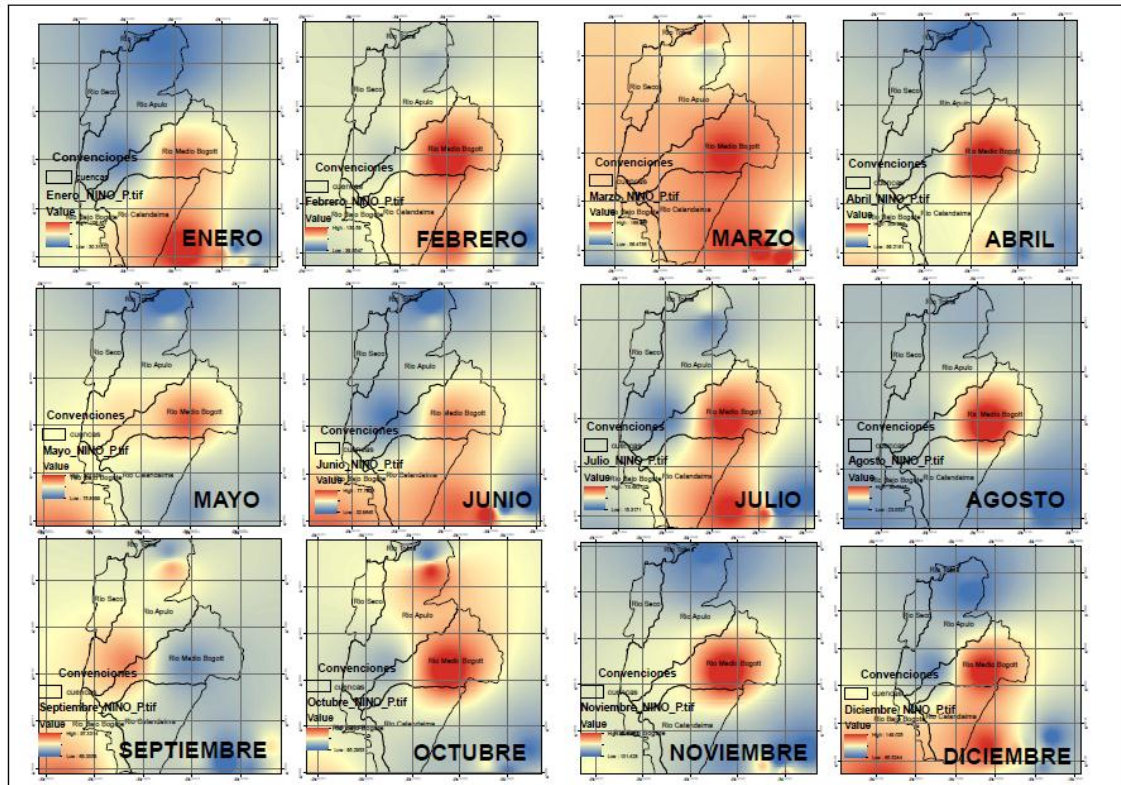
Mapa 7. Interpolación de la precipitación del mes de enero para el escenario de fenómeno del Niño.



Fuente: Autora.

En el Mapa 7, se identifica el comportamiento de la precipitación para el mes de enero correspondiente al fenómeno del Niño, los valores máximos de precipitación cerca de 106,85 mm, se dan en la cuenca del Río medio Bogotá y cuenca Calandaima, por otro lado, las menores precipitaciones se dan en la parte superior de la provincia, en las cuencas de Río Seco, Río Tobía y Río Apulo, cerca de 30,31 mm.

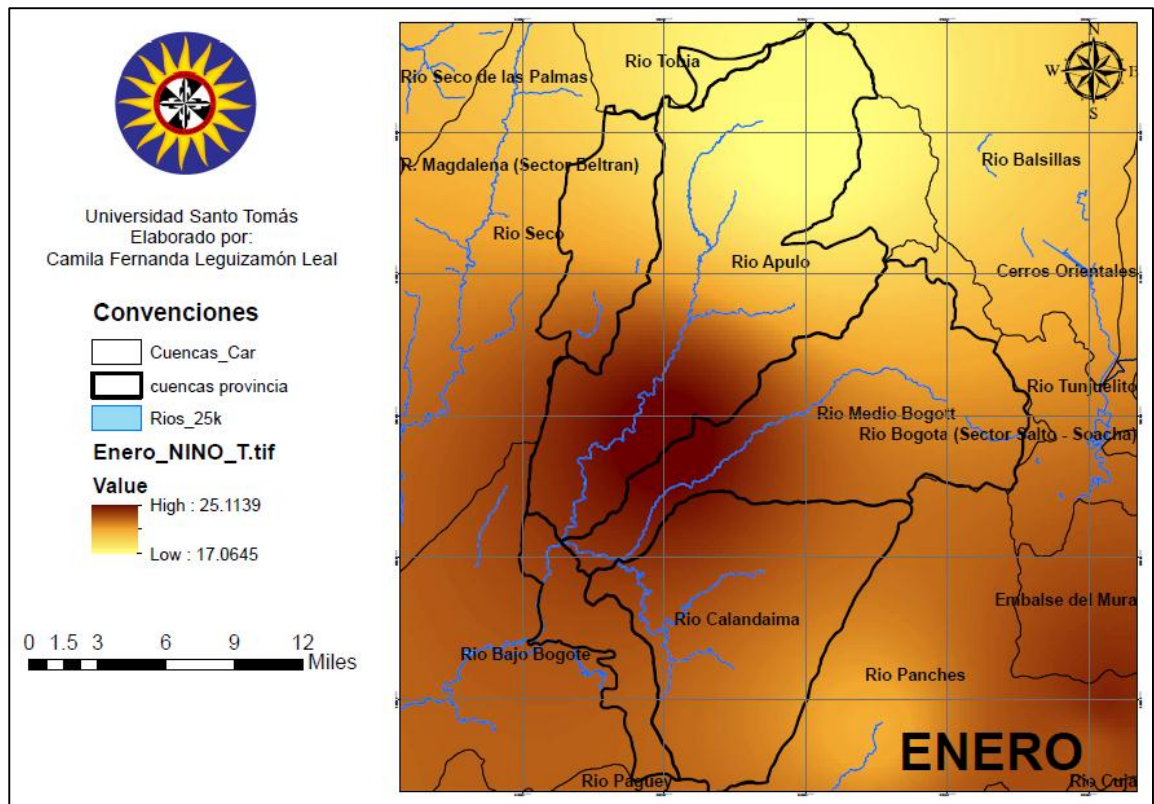
Mapa 8. Interpolación de la precipitación mensual para el escenario de fenómeno del Niño.



Fuente: Autora.

En el mapa anterior se establecen los mapas de precipitación mensual multianual para el escenario de fenómeno del Niño, en donde se evidencia que los meses con mayores precipitaciones se presentan en enero, febrero, marzo, junio, julio y diciembre. No obstante agosto y septiembre presentan niveles bajos de precipitación. Ver anexo 8.

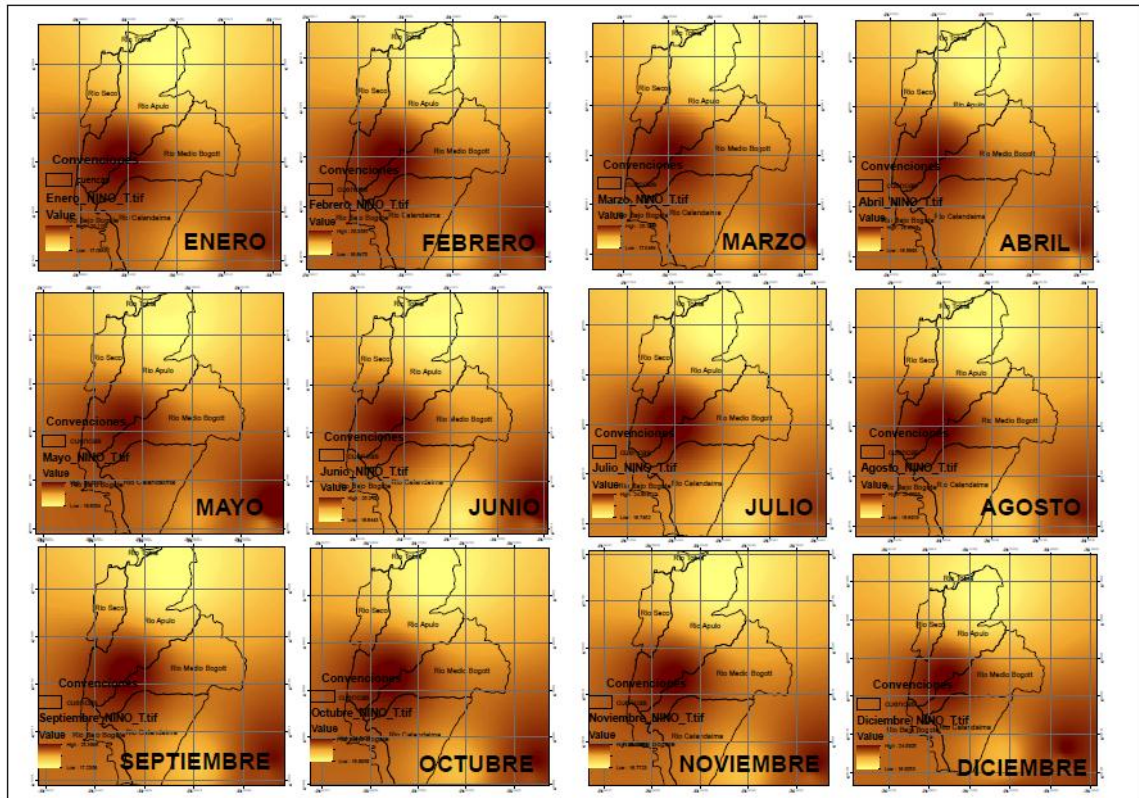
Mapa 9. Interpolación de la temperatura mensual para el escenario de fenómeno del Niño.



Fuente: Autora.

De acuerdo al mapa anterior se muestran valores de temperatura para el mes de enero en el fenómeno del Niño, en donde los valores máximos con el color marrón están en la parte inferior de la provincia del Tequendama, lo que corresponde a las cuencas del Río Calandaima, Río medio Bogotá y gran parte de la cuenca del Río Apulo; por otro lado las temperaturas mínimas con color amarillo se presentan en en las cuencas Tobia, Río Seco y una parte de la cuenca de Apulo.

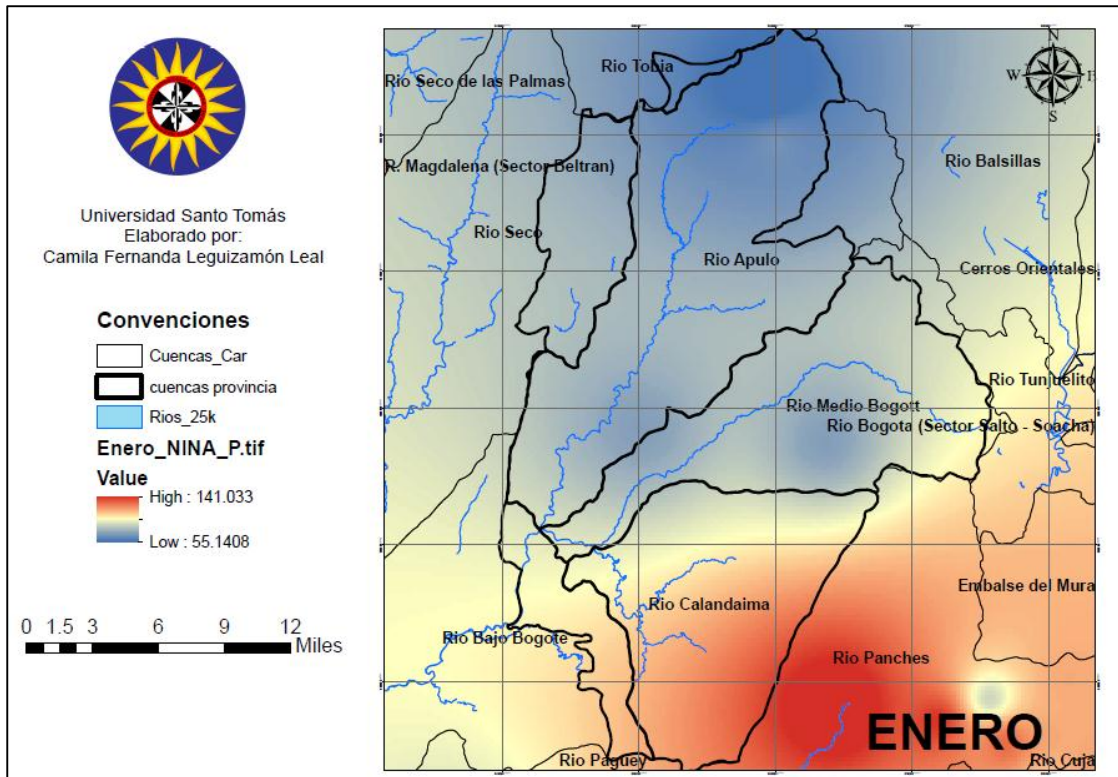
Mapa 10. Interpolación de la temperatura mensual para el escenario de fenómeno del Niño.



Fuente: Autora.

De acuerdo al mapa 10, allí se muestran las temperaturas mensuales multianuales para el escenario de fenómeno del Niño, en donde las mayores temperaturas se dan en la parte media y baja de la provincia del Tequendama, es decir en los municipios de La mesa, Apulo, Viotá y El Colegio. Ver anexo 9.

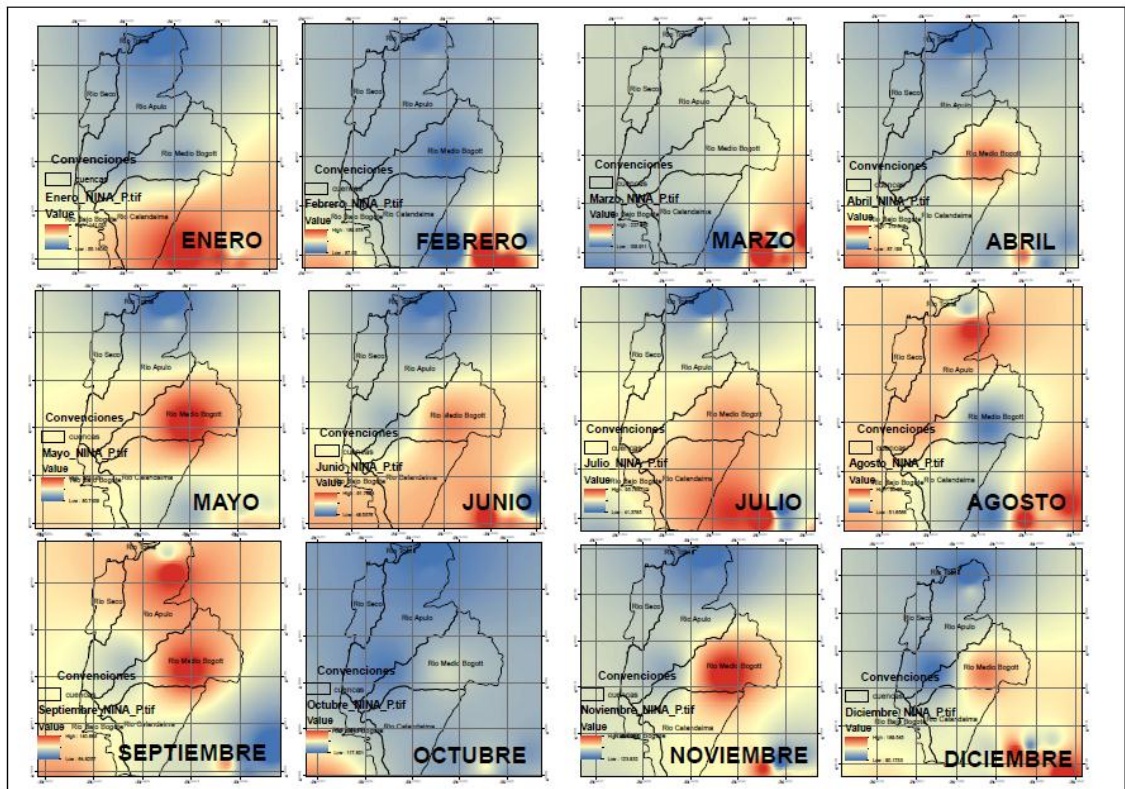
Mapa 11. Interpolación de la precipitación mensual para el escenario de fenómeno del Niña.



Fuente: Autora.

En el mapa 11 se observa los valores de precipitación del fenómeno de la Niña correspondientes al mes de enero, las precipitaciones mínimas se dan en la parte superior de la provincia del Tequendama, lo que corresponde a las cuencas del Río Apulo, Río Tobia y Río Seco, por otra parte los valores medios se dan en una parte de las cuencas del Río bajo Bogotá, Río medio Bogotá y Calandaima; así pues, los valores máximos de precipitación que están con color rojo se presentan en la parte inferior derecha, ocupando gran parte de la cuenca del Río Calandaima.

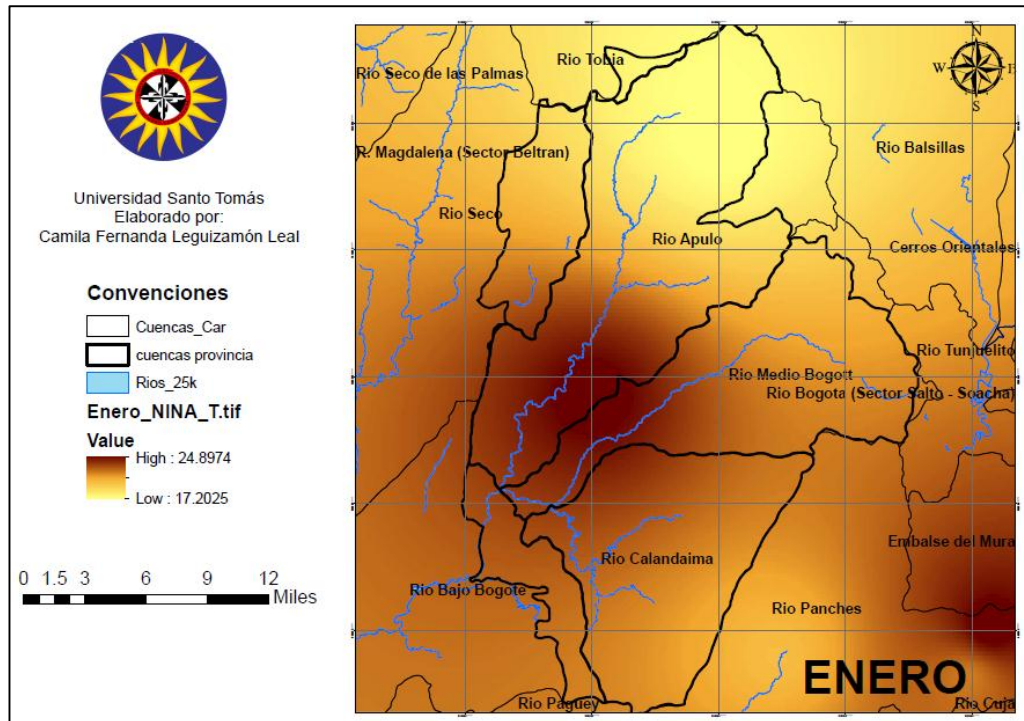
Mapa 12. Interpolación de la precipitación mensual para el escenario de fenómeno del Niña



Fuente: Autora.

Con respecto al mapa 12 en donde se muestran las precipitaciones mensuales multianuales, se puede concluir que las mayores temperaturas se presentan en los meses de enero en la cuenca del Río Calandaima, en mayo y noviembre en la cuenca del Río medio Bogotá, agosto en la cuenca del Río Apulo y septiembre en las cuencas del Río Apulo y del Río medio Bogotá; por otro lado, febrero y octubre presentan bajas precipitaciones en la provincia. Ver anexo 10.

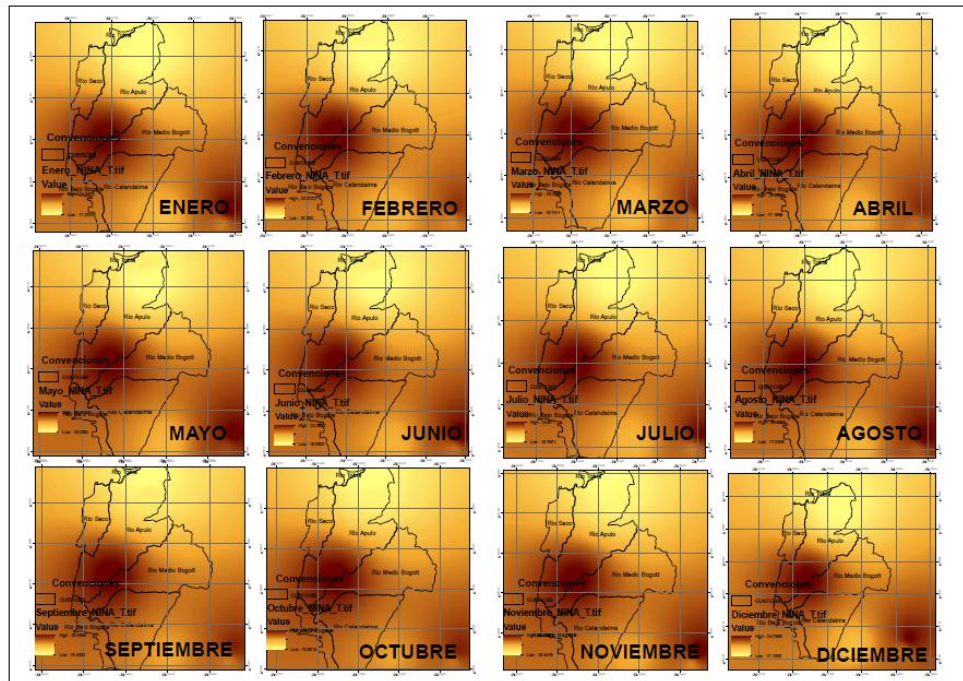
Mapa 13. Interpolación de la temperatura mensual para el escenario de fenómeno del Niña.



Fuente: Autora.

En el mapa 13 se muestran los valores de temperatura correspondientes al fenómeno de la Niña, donde los valores máximos se presentan con color marrón en la parte central izquierda, ocupando gran parte de la cuenca del Río Apulo, Río medio Bogotá, por otro lado las temperaturas más bajas se dan en la parte superior de la provincia, lo que corresponde a la parte alta de la cuenca del Río Apulo, así pues los valores medios se identifican en las áreas restantes de la provincia.

Mapa 14. Interpolación de la temperatura mensual para el escenario de fenómeno del Niña.



Fuente: Autora.

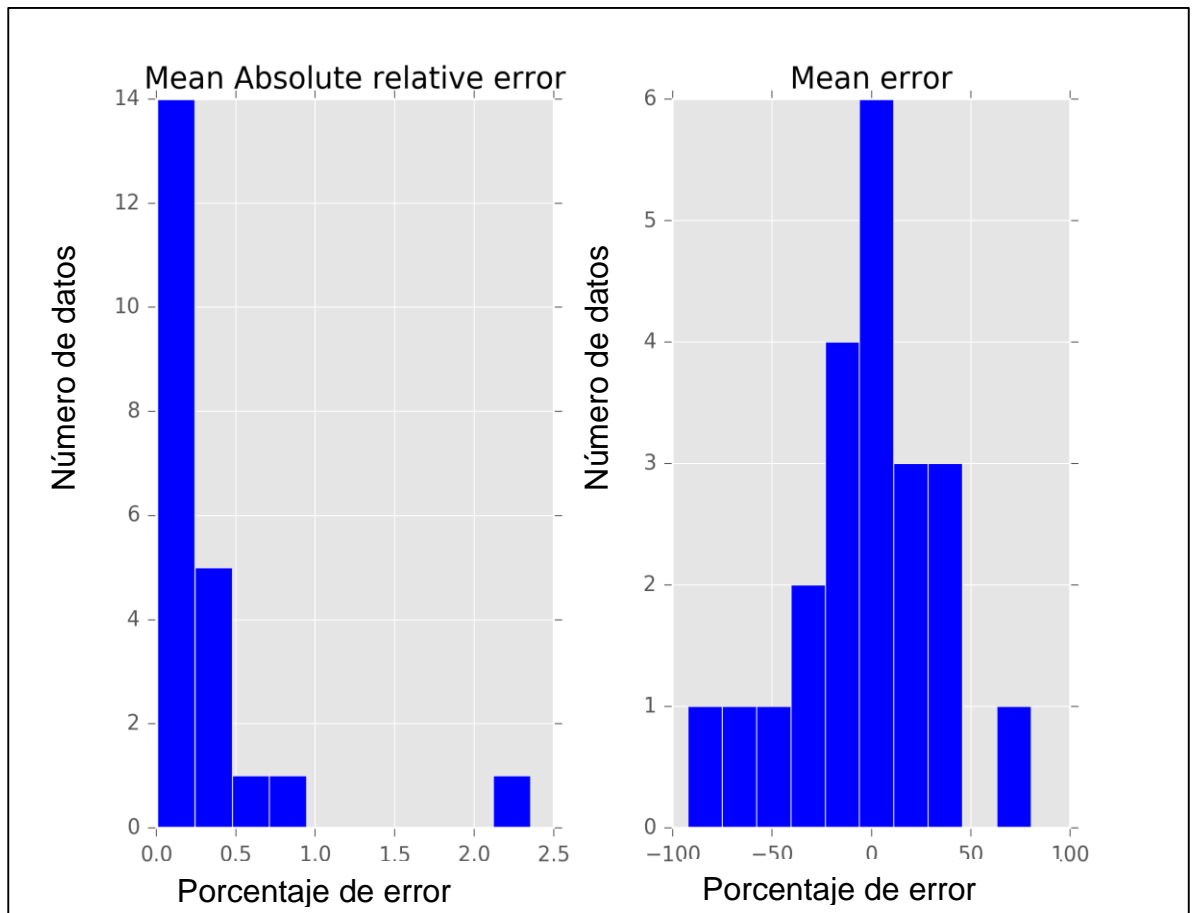
En el mapa 14, se establecen las temperaturas mensuales multianuales correspondientes al fenómeno de la niña, allí se evidencia así como en el mapa de temperatura mensual multianual para fenómeno del niño (Mapa 10) que las mayores temperaturas se presentan en la parte media y baja de la provincia del Tequendama, aproximadamente en los municipios de La Mesa, Anapoima, Apulo y Viotá. Ver anexo 11.

- Validación de interpolaciones por medio del método de validación cruzada Jackknife.

Los mapas presentados anteriormente se realizaron con ayuda del lenguaje de programación Python el cual además de generar las interpolaciones de precipitación y temperatura, permite realizar pruebas para estimar el error que se pueda presentar, teniendo en cuenta la correlación de los datos, es por ello que tiene como propiedad la validación cruzada.

El modelo, a pesar de su simplicidad, logra un 94% de acierto sobre los datos de entrenamiento. No obstante, se trata de una valoración bastante optimista pues empleamos los propios datos de entrenamiento para evaluar el modelo. Lo que realmente queremos es estimar la habilidad del modelo de generalizar en nuevos casos. Para determinar las capacidades del modelo, u obtener un modelo más robusto, se suele recurrir a la validación cruzada [34].

Figura 2. Histograma-abril de las interpolaciones en Python.



Fuente: Autora.

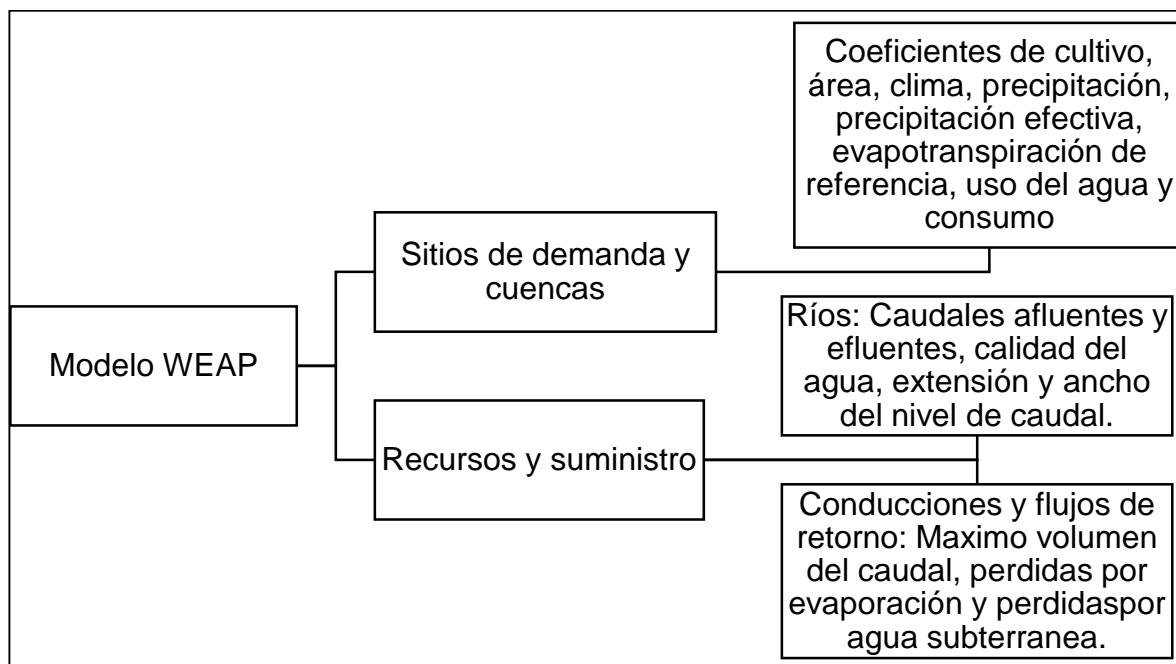
En la figura 3. Histograma-abril de las interpolaciones en Python, se muestra en la parte izquierda el histograma de error relativo absoluto, en donde 14 de los datos ingresados al modelo presentan un porcentaje de error cercano a cero, lo cual se considera como un resultado bueno, debido a que la mayoría de los datos están correlacionados. No obstante en el histograma de la derecha, correspondiente al error medio, se concluye que la mayoría de los datos están sobreestimando datos y por ello muchos de los datos muestran valores negativos.

2.3. DESARROLLO DEL MODELO WEAP

La interfaz gráfica usada por WEAP permite basarse en SIG para generar el esquema del territorio a estudiar, teniendo en cuenta diferentes elementos como los ríos, elementos construidos y otros componentes de interés a lo largo del río, entre ellos, los “Demand Sites” que representan los sitios de demanda a los que se les ha otorgado concesiones de agua como centros poblados o sistemas de riego, por ejemplo; así mismo, se encuentran los “Catchment” que representan las áreas de captación a lo largo de las corrientes, a los que se les suministra la información climatológica y de usos de suelo correspondiente para la simulación [21].

Para el desarrollo del modelo WEAP, se tomó en cuenta la información recolectada, la cual fue proporcionada por la Corporación Autónoma Regional CAR y que se muestra en el capítulo 2.2, allí se establecieron las bocatomas, los sitios de demanda correspondientes a cada uno de los municipios de la Provincia del Tequendama, y por medio de las herramientas del software se realizó el modelo, determinando los posibles escenarios para finalmente evaluar los resultados. El software WEAP hace referencia a los siguientes parámetros de entrada para realizar el modelo:

Figura 3. Parámetros utilizados por el software WEAP.



Fuente: Autora.

En este caso, los parámetros de entrada para el funcionamiento del modelo son los siguientes:

- Unidades hidrológicas: Coeficientes de cultivo, área, clima, precipitación, precipitación efectiva, evapotranspiración de referencia.
- Sitios de demanda: Nivel de actividad anual (Población total), Tasa anual de uso del agua (consumo en m³ por persona).
- Ríos: Caudales de entrada donde sean necesarios, es decir en donde los ríos se corten con el área de estudio, esto se evidencio en la cuenca del río medio Bogotá.

2.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de realizar las etapas anteriores, se analizaron los resultados, comparando los posibles escenarios para evaluar las garantías de suministro del recurso hídrico en la provincia del Tequendama.

Los escenarios se realizaron teniendo en cuenta fenómenos como El Niño que representa sequías o La Niña que hace referencia a fuertes lluvias. Dependiendo los resultados, se espera obtener un modelo acercado a la realidad evaluando el suministro del recurso en cada escenario.

Con el fin de verificar la veracidad de los datos obtenidos, se evaluarán los resultados considerando las siguientes métricas, teniendo en cuenta la relación entre los valores de caudal simulados y los observados, estas métricas presentan valores adimensionales:

- Métrica absoluta-Media del error absoluto: esta métrica evalúa la tendencia de los datos.

$$MAE = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n |Q_i - \widehat{Q}_i| \quad \text{Ecuación N}^\circ 7$$

- Métrica relativa-Error absoluto relativo: nos permite identificar si el modelo está sobreestimando o subestimando los datos, es decir si este genera más o menos información de la que debería tener.

$$RAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_i - \widehat{Q}_i|}{\sum_{i=1}^n |Q_i - \bar{Q}_i|} \quad \text{Ecuación N}^\circ 8$$

- Métrica adimensional-Coeficiente de eficiencia: describe la linealidad y la relación existente entre los datos.

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \widehat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2} \quad \text{Ecuación N}^\circ 9$$

El cálculo de estas métricas, permitirá identificar la relación de los datos y encontrar los posibles errores que pueda arrojar el modelo y así evaluar la efectividad de los datos observados versus los modelados.

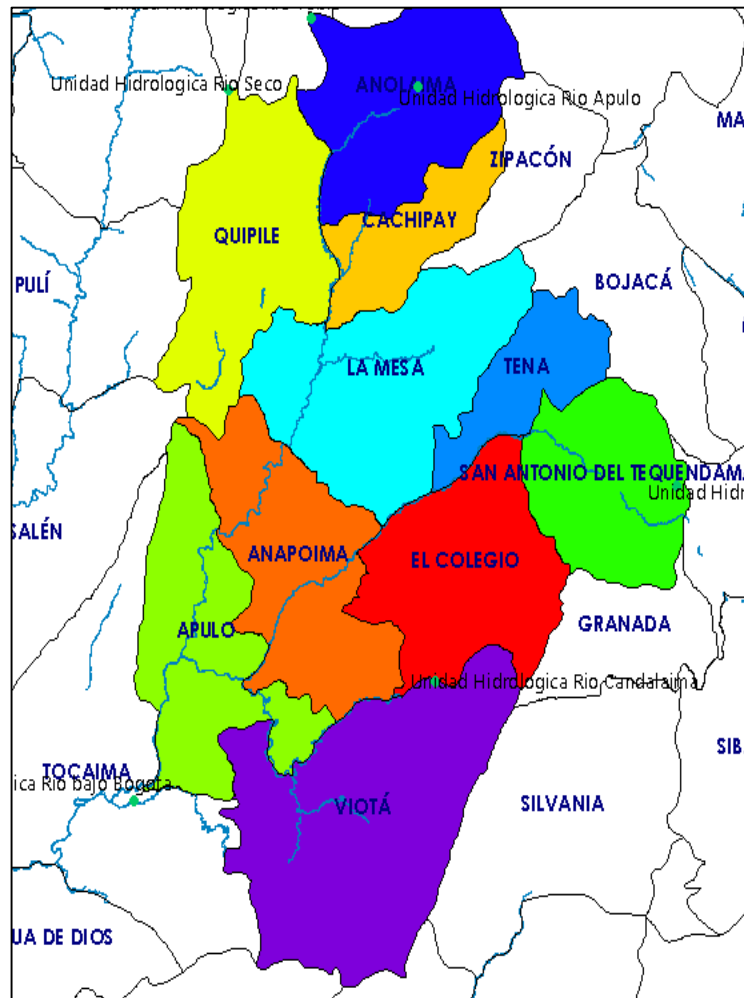
3. RESULTADOS

3.2. Desarrollo del modelo WEAP

El desarrollo del modelo se realizó teniendo en cuenta toda la información recopilada en el capítulo I, a partir de ello se estableció el modelo de la siguiente manera:

3.2.1. Ubicar los sitios de demanda en el modelo WEAP

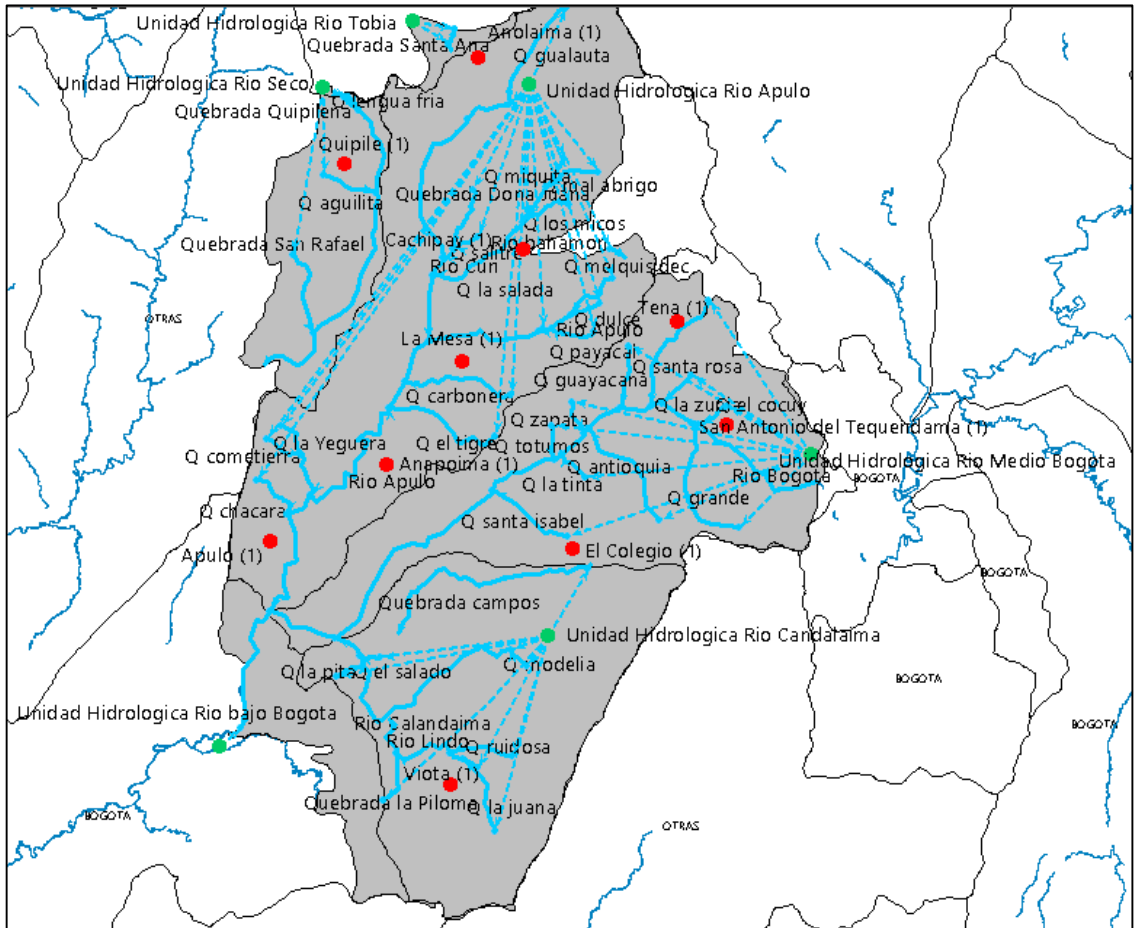
Figura 4. División política de la provincia del Tequendama en WEAP.



Fuente: Autora.

En la figura 5, se identifican los 10 municipios pertenecientes a la provincia del Tequendama, los ríos y quebradas utilizados en la modelación se presentaran en la siguiente figura.

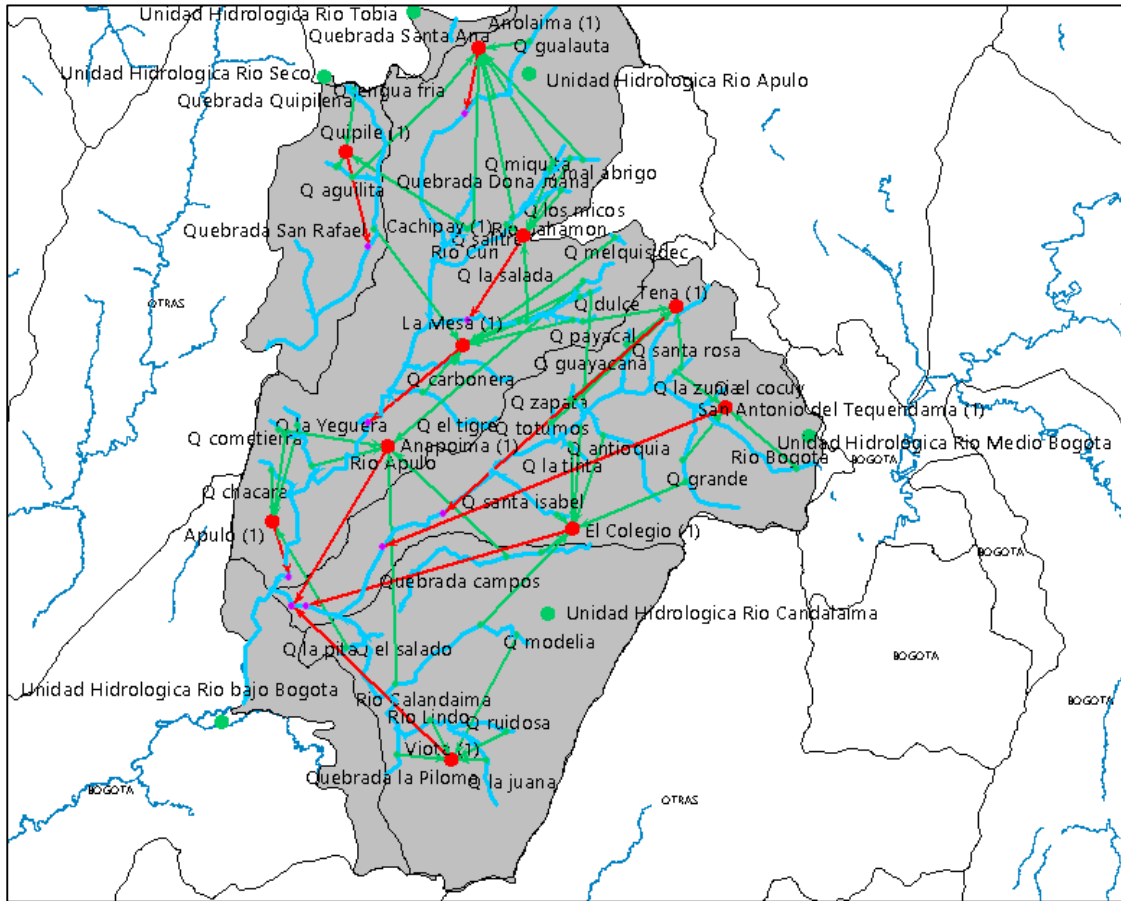
Figura 6. Creación de unidades hidrológica y escorrentía/infiltración en WEAP.



Fuente: Autora.

En la Figura 7. Creación de unidades hidrológica y escorrentía/infiltración en WEAP, de los ríos y quebradas a las cuencas a las que pertenecen con el fin de calcular los caudales simulados.

Figura 7. Conducciones y flujos de retorno a los sitios de demanda en WEAP.



Fuente: Autora.

En este caso, se muestran las conducciones de las fuentes hídricas a cada sitio de demanda, esto se realizó teniendo en cuenta la información de las bocatomas de la provincia del Tequendama, que fue proporcionada por la Corporación Autónoma Regional, de allí se obtuvo la ubicación de las bocatomas y el caudal concedido a cada municipio; los flujos de retorno son las líneas de color rojo.

➤ **Conducciones**

Con respecto a las conducciones, el modelo pide agregar volumen de caudal que suministra el río al municipio al cual es conducido, en este caso se utilizó la base de datos proporcionada por la CAR, en donde establecen el caudal concedido por cada una de las fuentes hídricas.

El procedimiento que se hizo fue filtrar los datos con respecto al municipio de correspondencia, y sumar los caudales concedidos que pertenecían a una misma fuente de captación de la siguiente manera:

Tabla 6. Ejemplo del caudal de las conducciones.

MUNICIPIO DE CORRESPONDENCIA	FUENTE DE CAPTACIÓN	Cuenca	MUNICIPIO DEL PREDIO	CAUDAL CONCEDIDO (L/s)
VIOTA	Quebrada La Ruidosa	Río Bogota	VIOTA	0.66
VIOTA	Quebrada La Ruidosa	Río Bogota	VIOTA	1.03
VIOTA	Quebrada La Ruidosa	Río Bogota	VIOTA	0.61
VIOTA	Quebrada La Ruidosa	Río Bogota	VIOTA	0.98
VIOTA	Quebrada La Ruidosa	Río Bogota	VIOTA	0.72
VIOTA	Quebrada La Ruidosa	Río Bogota	VIOTA	0.51
	Quebrada La Ruidosa			4,51

Fuente: Corporación Autónoma Regional.

De acuerdo a lo anterior se establece que de la conducción de la Quebrada La Ruidosa al municipio de Viotá se extraen $0,00451 \text{ m}^3/\text{s}$; así se establecieron los caudales en cada una de las 52 conducciones del modelo.

A continuación se señalan los componentes utilizados en el modelo.

Tabla 7. Componentes del modelo en WEAP.

Componente WEAP	Descripción	Cantidad
Sitios de demanda	Representa gráficamente a cada uno de los municipios de la Provincia del Tequendama.	10
Unidad Hidrología	Es considerada gráficamente como la cuenca.	6
Río	Representa las fuentes hídricas presentes en el área de estudio.	43
Conducciones	Simboliza las extracciones de cada fuente hídrica dirigida hacia cada uno de los municipios.	52
Flujo de retorno	Se entiende como el retorno de la cantidad de agua captada por cada sitio de demanda.	10

Fuente: Autora.

De acuerdo a la tabla anterior se identifican los componentes del modelo, su descripción es decir, que significa cada uno y por último la cantidad de los mismos.

Por otro lado, con respecto al modelo, WEAP permite realizar la modelación por medio de cuatro modelos:

1. Método lluvia escorrentía (método de coeficiente simplificado).
2. Método de demanda de irrigación (método de coeficiente simplificado).
3. Método de lluvia escorrentía (método de humedad del suelo).
4. Método MABIA.

En este caso se utilizó el primer método, método lluvia escorrentía (método de coeficiente simplificado), es un método simple que calcula la escorrentía como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración de las plantas. Una parte de la precipitación se puede configurar para omitir el proceso de evapotranspiración y entrar directamente en la escorrentía para asegurar caudal base (a través del parámetro “Precipitación Efectiva”) [35].

Se generó una unidad hidrológica por cada cuenca perteneciente al área de estudio; paso seguido, se delinearón los ríos que se encuentran dentro de cada cuenca. En la figura N°6 se puede identificar la dirección de los afluentes de la siguiente manera: El río Bogotá ubicado en la parte suroriente de la Provincia del Tequendama, el río Apulo se encuentra ubicado en el sur del área de estudio junto con el río Curí, por otro lado el río Calandaima se establece en el norte de la provincia y crece hacia el noroccidente desembocando en el río Bogotá.

Por lo anterior, fue necesario cortar una parte del Río medio Bogotá hacia el oriente de la provincia del Tequendama, cerca al municipio de Soacha y Mosquera, por lo tanto se agregaron los caudales de cabecera mensuales multianuales de la estación 2120790 siendo la más cerca al río Bogotá, incluida en el catálogo de estaciones de CAR.

Figura 8. Agregar los datos de entrada al modelo WEAP.

Sitios de demanda y Cuenca	Escala	Unidad
Unidad Hidrológica Rio Apulo	42214.90	ha

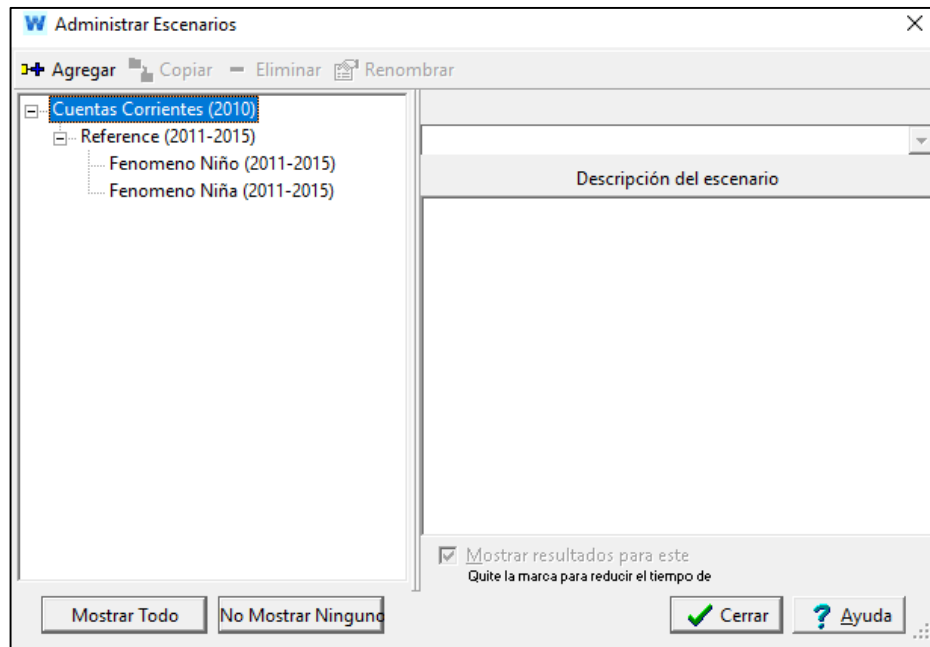
Fuente: Autora.

En la Figura 8. Agregar los datos de entrada al modelo WEAP, se muestra la plantilla de ingreso de los datos para unidades hidrológicas y se realiza el mismo procedimiento para los sitios de demanda. Teniendo en cuenta el ingreso de los datos, se procede a calcular los resultados, con el fin de medir la veracidad de los datos simulados versus los observados por medio de las métricas mencionadas en la Metodología.

4.2.3. Construcción de escenarios

A partir de la información establecida en el marco del presente proyecto, se desarrollaron dos escenarios que corresponden a los dos fenómenos del ciclo ENOS.

Figura 9. Elaboración de los escenarios.



Fuente: WEAP

Para el desarrollo de los dos escenarios, se modificó la precipitación y la temperatura, en donde se tuvo en cuenta el Índice Oceanic Niño (ONI) determinadas por National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), en la región niño 3.4 con datos históricos a partir de 1950-2016 estableciendo periodos cálidos y fríos.

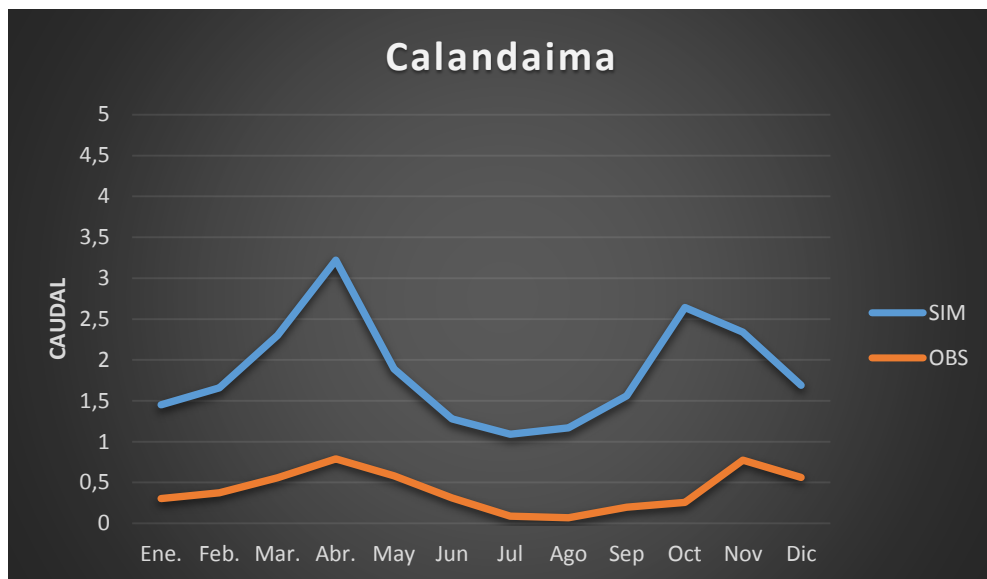
Del mismo modo con la modificación en los valores de precipitación, fue necesario modificar el porcentaje de la evapotranspiración potencial junto con las interpolaciones de precipitación y temperatura, Por otra parte los parámetros de área y coeficiente de cultivo y consumo se mantuvieron iguales en cada uno de los escenarios planteados.

3.3. Análisis de resultados

3.3.1. Escenario de referencia

En el desarrollo del escenario de referencia, se realizó la calibración del modelo en la cuenca del río Calandaima y la cuenca media del río Bogotá, a continuación en la gráfica 1 Calibración río Calandaima, se muestra el comportamiento del caudal observado obtenido de la estación meteorológica Caracoli-2120914 del catálogo de la CAR y el caudal simulado por WEAP.

Gráfica 1. Calibración río Calandaima.



Fuente: Autora.

Luego se realizaron las métricas con los caudales simulados y observados, lo resultados para cada están plasmados en la siguiente tabla, también se pueden evidenciar en el anexo 12, junto con los cálculos realizados:

Tabla 8. Métricas de calibración río Calandaima.

Métricas río Calandaima	
Media del Error Absoluto	1.45
Coefficiente de Eficiencia	0.96
Error Absoluto Relativo	26.42

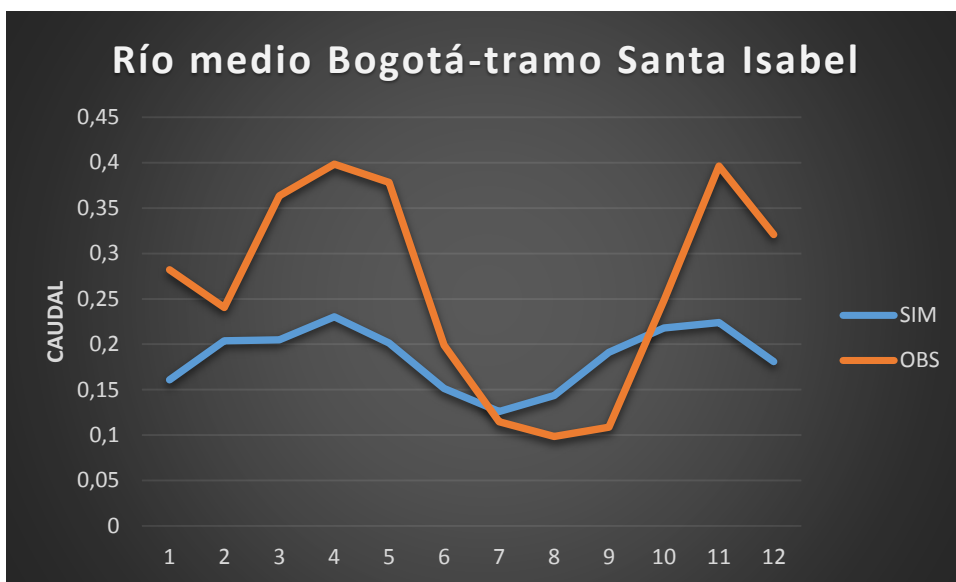
Fuente: Autora.

Media del Erro Absoluto indica que la precisión de los datos es buena ya que presenta un valor pequeño, así mismo el Coeficiente de Eficiencia revela que los datos tienen

un 0.88 de correlación, es decir que el modelo se aproxima a la realidad; por otro lado el Error Absoluto Relativo, establece que el 8,45% de los datos se están sobreestimando.

De igual manera, se realizó la calibración para la cuenca del río medio Bogotá-tramo Santa Isabel, tomando estos valores como simulados y los datos proporcionados por la estación 2120938 del catálogo de CAR como datos observados, la calibración se puede observar en la siguiente gráfica:

Gráfica 2. Calibración de la cuenca media del río Bogotá-Tramo Santa Isabel



Fuente: Autora.

En la siguiente tabla, se muestran las métricas de calibración del segundo punto, correspondiente a la cuenca media del río Bogotá-Tramo Santa Isabel, en la tabla 8 se pueden observar las métricas correspondientes a esta calibración.

Tabla 9. Métricas de calibración río medio Bogotá

Métricas río medio Bogotá	
Media del Error Absoluto	0.09
Coficiente de Eficiencia	0.88
Error Absoluto Relativo	8.45

Fuente: Autora.

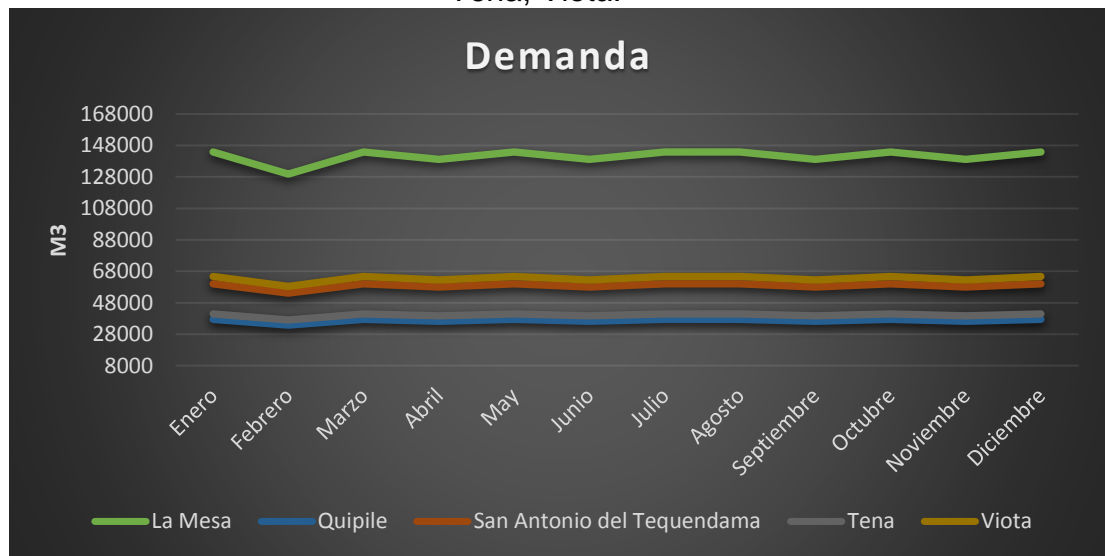
El valor del Coficiente de Eficiencia, permite identificar que los datos cuentan con un 0.88 de correlación, así mismo los valores obtenidos en la Media del Error

Absoluto, indican un valor pequeño de 0,09; del mismo modo la métrica Error Absoluto Relativo, demuestra que 8,45% de los datos se están sobrestimando en el modelo.

3.3.2. Demanda de cada municipio

A continuación se identifican las demandas en m^3 , para cada uno de los municipios pertenecientes a la provincia del Tequendama:

Gráfica 3. Demanda en m^3 de La Mesa, Quipile, San Antonio del Tequendama, Tena, Viotá.



Fuente: Autora.

De acuerdo a la gráfica 3 se establecen los valores de demanda mensuales correspondientes a cada municipio arrojados por el modelo por medio del software WEAP, allí se evidencia que la mayor demanda del recurso hídrico lo tiene el municipio de La Mesa continuando con el municipio de Viotá y San Antonio del Tequendama seguido de los municipios de Tena y por ultimo Quipile que presentan demandas cercanas. En general para todos los municipios, las menores demandas se presentan en el mes de febrero.

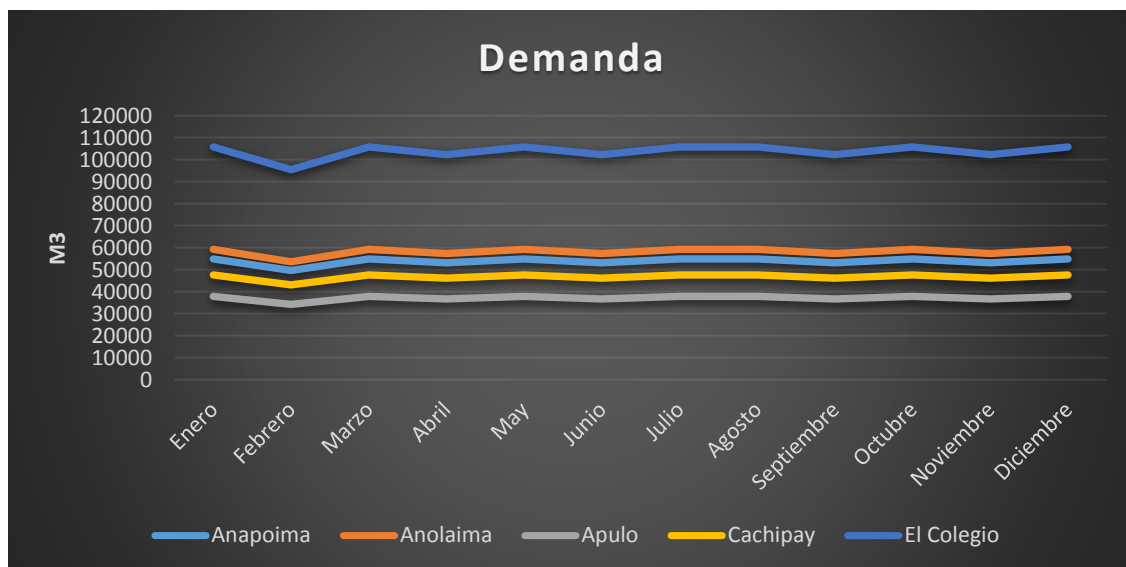
Tabla 10. Demanda mensual en m^3 de La Mesa, Quipile, San Antonio del Tequendama, Tena, Viotá.

	La Mesa	Quipile	San Antonio del Tequendama	Tena	Viota
Ene.	143.780.5	37.442.6	60.007.2	41.006.1	64.633.5
Feb.	129.866.3	33.819.1	54.200.0	37.037.8	58.378.6
Mar.	143.780.5	37.442.6	60.007.2	41.006.1	64.633.5
Abr.	139.142.5	36.234.7	58.071.5	39.683.3	62.548.5
May.	143.780.5	37.442.6	60.007.2	41.006.1	64.633.5
Jun.	139.142.5	36.234.7	58.071.5	39.683.3	62.548.5
Jul.	143.780.5	37.442.6	60.007.2	41.006.1	64.633.5
Ago.	143.780.5	37.442.6	60.007.2	41.006.1	64.633.5
Sep.	139.142.5	36.234.7	58.071.5	39.683.3	62.548.5
Oct.	143.780.5	37.442.6	60.007.2	41.006.1	64.633.5
Nov.	139.142.5	36.234.7	58.071.5	39.683.3	62.548.5
Dic.	143.780.5	37.442.6	60.007.2	41.006.1	64.633.5

Fuente: Autora.

En la tabla anterior se evidencian los valores que se encuentran plasmados en la gráfica 3.

Gráfica 4. Demanda en m^3 de Anapoima, Anolaima, Apulo, Cachipay, El Colegio.



Fuente: Autora.

Con respecto a la gráfica 4, se identifican las demandas de los 5 municipios faltantes, El Colegio presenta la demanda máxima, seguido de Anolaima y Anapoima y finalmente Cachipay, y Apulo que tienen valores cercanos. Para todos los municipios, las menores demandas se presentan en el mes de febrero.

Tabla 11. Demanda mensual en m^3 de Anapoima, Anolaima, Apulo, Cachipay, El Colegio.

	Anapoima	Anolaima	Apulo	Cachipay	El Colegio
Ene.	54.884	59.214	37.819	47.602	105.691
Feb.	49.572	53.483	34.159	42.996	95.463
Mar.	54.884	59.214	37.819	47.602	105.691
Abr.	53.113	57.304	36.599	46.067	102.281
May.	54.884	59.214	37.819	47.602	105.691
Jun.	53.113	57.304	36.599	46.067	102.281
Jul.	54.884	59.214	37.819	47.602	105.691
Ago.	54.884	59.214	37.819	47.602	105.691
Sep.	53.113	57.304	36.599	46.067	102.281
Oct.	54.884	59.214	37.819	47.602	105.691
Nov.	53.113	57.304	36.599	46.067	102.281
Dic.	54.884	59.214	37.819	47.602	105.691

Fuente: Autora.

En la tabla 11 se establecen las demandas mensuales de los municipios de la provincia del Tequendama.

Estos valores se obtuvieron teniendo en cuenta la población de cada municipio y el consumo per cápita anual, basándose en la modificación del consumo básico de agua en Colombia, el cual quedó reglamentado en la Resolución CRA N° 750 de 2016. Esto se puede evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 12. Población total y consumo per cápita de cada municipio

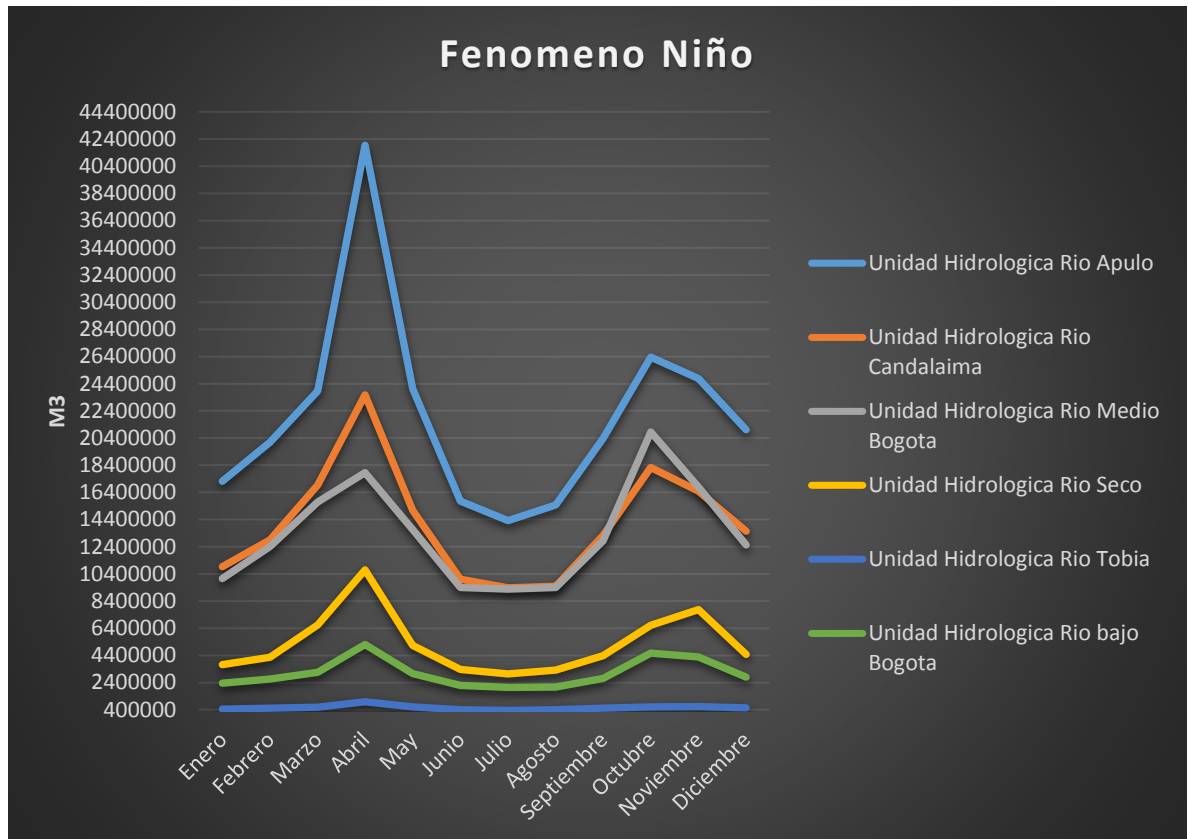
Municipio	Población	Clima	Consumo m^3 suscriptor/mes
Anapoima	11.337	Cálido	19
Anolaima	12.911	Templado	18
Apulo	7.812	Cálido	19
Cachipay	9.833	Cálido	19
El Colegio	21.832	Cálido	19
La Mesa	31.35	Templado	18
Quipile	8.164	Templado	18
San Antonio	13.084	Templado	18
Tena	8.941	Templado	18
Viotá	13.351	Cálido	19

Fuente: [3] [10] [11] [29] [30] [14] [31] [6] [36].

3.3.3. Escenarios-Oferta hídrica

Luego de haber realizado la respectiva calibración del modelo, se dio inicio a la elaboración de los escenarios planteados en el proyecto, en la gráfica 5, se comparan los caudales mensuales de cada cuenca obtenidos en cada uno de los escenarios. Así mismo se evaluara el comportamiento mensual según el índice ENSO ONI.

Gráfica 5. Fenómeno Niño.

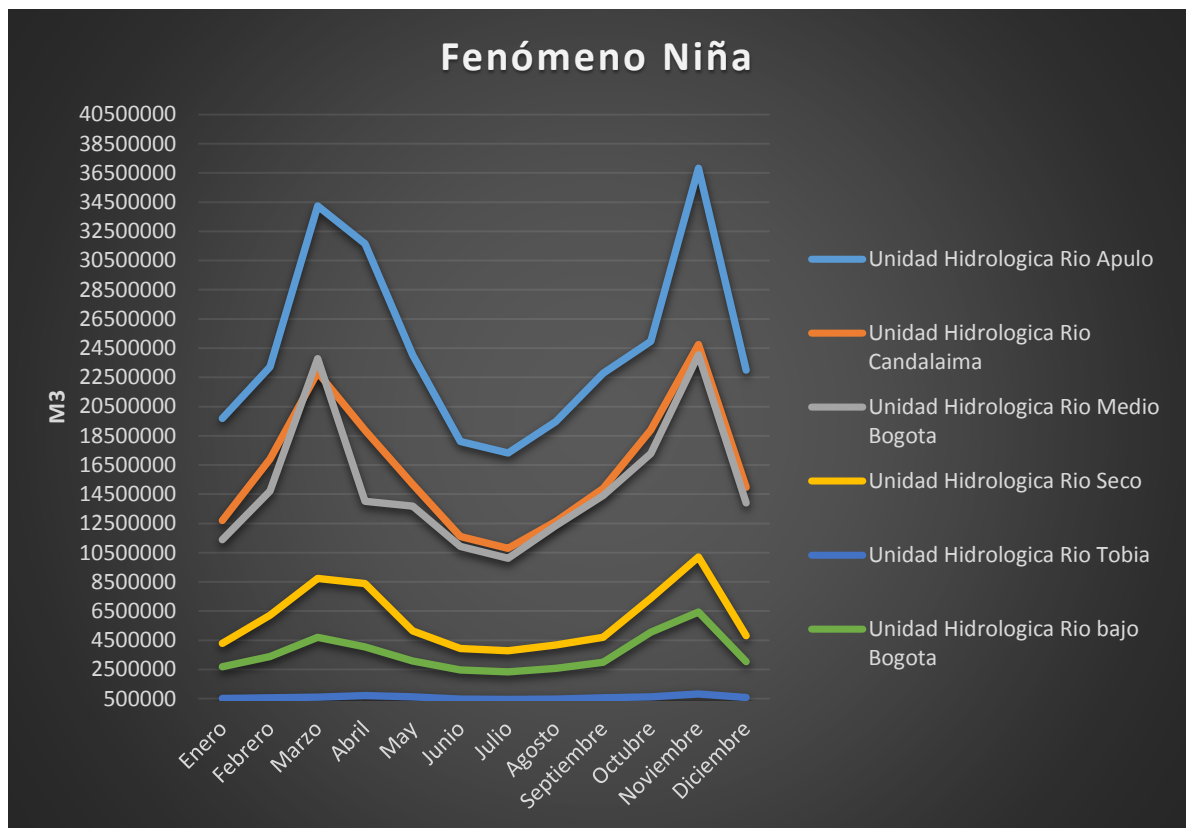


Fuente: Autora.

Conforme a lo establecido en la gráfica anterior, se puede evidenciar el comportamiento mensual de los caudales referentes al escenario del fenómeno Niño, el cual muestra que la cuenca del río Apulo es la que tiene la mayor oferta hídrica con dos picos de $41'940.503,15 m^3$ en el cuarto trimestre del año y $26'345.474,79 m^3$ en el décimo trimestre del año, en el séptimo trimestre se evidencia la oferta mínima de $14'308.595,14$; así mismo las cuencas del río Calandaima y río medio Bogotá presentan el mismo comportamiento con dos picos en el cuarto de $23'571.513,87 m^3$ y decimo trimestre de $20'853.830,95 m^3$, y un mínimo en el séptimo trimestre del año de $9'287.361,35 m^3$.

Por otra parte, la cuenca río seco muestra los picos en el cuarto trimestre con un valor de $10'685.838,95 m^3$ y en el onceavo trimestre del año con $7'764.967,86 m^3$. Finalmente la cuenca río bajo Bogotá tiene el mismo comportamiento que las cuencas río Calandaima y río Apulo, y la cuenca río Tobia tiene una oferta hídrica baja que oscila entre $364.204.43 m^3$ y $987.680.421 m^3$. Ver anexo 14.

Gráfica 6. Fenómeno Niña.



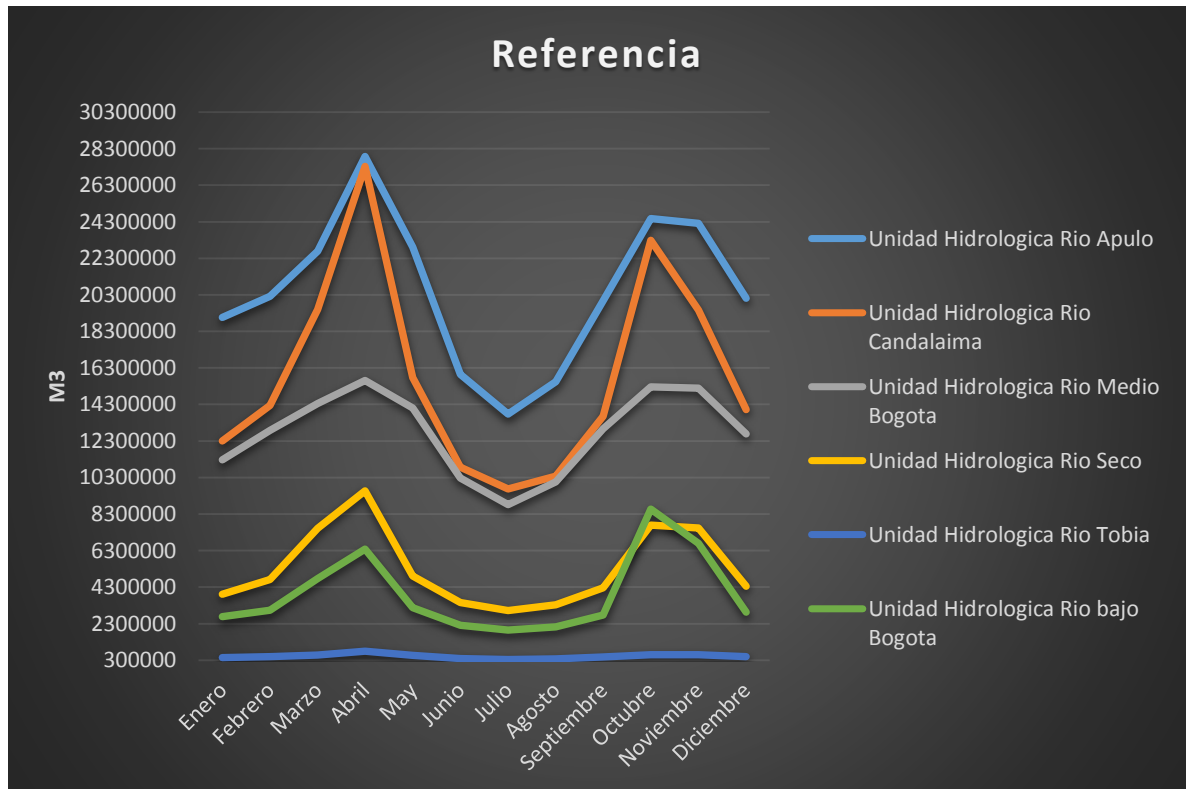
Fuente: Autora.

De acuerdo a la gráfica anterior, se identifica que las cuencas del río Apulo, Calandaima y río medio Bogotá muestran dos picos de oferta hídrica en el tercer trimestre del año que oscilan entre ($23'779.155,17 m^3$ - $34'240.505,39 m^3$) y en el onceavo trimestre del año con valores de ($24'055.765,09 m^3$ - $36'837.566,04 m^3$), además en el séptimo trimestre tienen la menor oferta hídrica de ($10'114.194 m^3$ - $17'331.827 m^3$).

Con respecto a las tres cuencas restantes, río Seco y río bajo Bogotá presentan el mismo comportamiento con dos picos en el cuarto trimestre del año ($4'691.936,69 m^3$ - $8'731.728 m^3$) y en el onceavo trimestre ($6'426.603,41 m^3$ - $10'195.951,54 m^3$), además en el séptimo y octavo trimestre muestran una linealidad con valores de

(2'568.838,78 m^3 -3'788884,74 m^3). Por último la cuenca río Tobia se muestra lineal con una oferta mínima de 445939.63 m^3 máxima de 828386.72 m^3 . Ver anexo 15.

Gráfica 7. Referencia.



Fuente: Autora.

Con respecto a la gráfica anterior, se evidencia que las cuencas río Apulo y Calandaima tienen un comportamiento similar con valores máximos de oferta hídrica de 27'325.094,91 m^3 en el cuarto trimestre del año y 24'481.866,79 m^3 en el onceavo trimestre del año, así pues los menores valores se presentan en el séptimo trimestre del año con un valor de 13'767.902,05 m^3 para la cuenca del río Apulo y 10'065.946,8 m^3 para la cuenca río Calandaima; la cuenca del río medio Bogotá muestra un pico en el cuarto trimestre del año de 15'611.608,11 m^3 y en el onceavo trimestre entre los meses de octubre y noviembre de 15'259.996,8 m^3 .

Las cuencas de río Seco y río bajo Bogotá, igual que en las cuencas anteriores presentan picos en el cuarto trimestre del año (6'381.919,57 m^3 – 9'574.365,62 m^3) y en el onceavo de 8'565.558,85 m^3 . Finalmente la cuenca río Tobia tiene un mínimo de 337.220.04 m^3 y un máximo 790.827.53 m^3 oferta hídrica. Ver anexo 16.

Se puede identificar que con respecto al escenario de fenómeno Niño las mayores ofertas se encuentran en los primeros trimestres del año, es decir en los meses de febrero, marzo, abril y mayo, lo que se corresponde al comportamiento real del fenómeno; en cuanto al fenómeno Niña, se evidencia que la mayor oferta hídrica se da en los últimos meses del año, lo que corresponde al décimo y onceavo trimestre del año en las seis cuencas del área de estudio, finalmente con respecto al escenario de referencia los comportamiento de las cuencas se asimilan a los del fenómeno niño aparentemente, pero con valores de oferta hídrica por debajo de los del fenómeno niño.

3.3.4 Demanda no cubierta

Los resultados arrojaron que teniendo en cuenta la oferta hídrica para los diez municipios de la provincia del Tequendama, los municipios de Apulo, La Mesa y Quipile presentan una demanda no cubierta entre los 22.000 m³ y 33.000 m³.

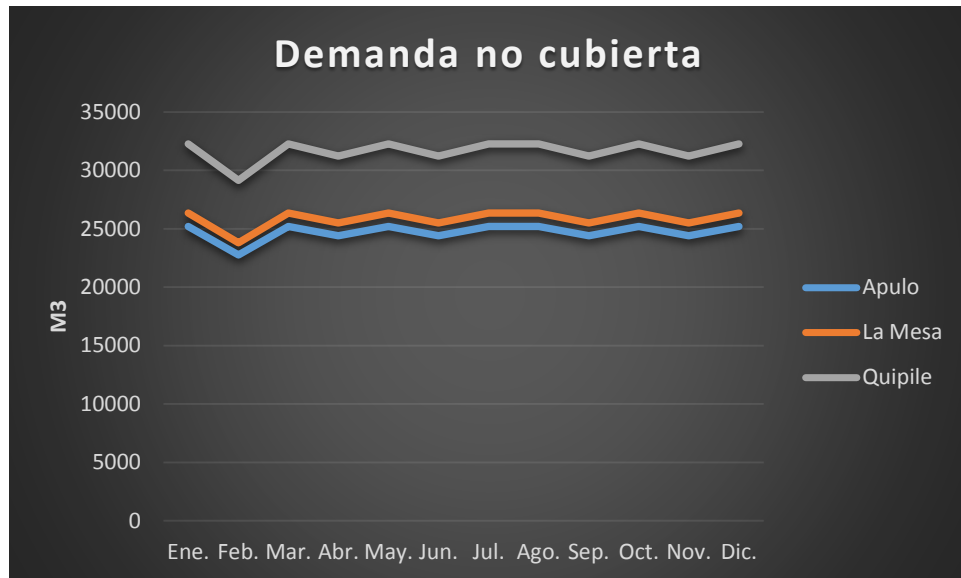
Tabla 13. Demanda no cubierta.

	Apulo	La Mesa	Quipile
Ene.	25.203	26.359	32.263
Feb.	22.764	23.809	29.141
Mar.	25.203	26.359	32.263
Abr.	24.390	25.509	31.222
May.	25.203	26.359	32.263
Jun.	24.390	25.509	31.222
Jul.	25.203	26.359	32.263
Ago.	25.203	26.359	32.263
Sep.	24.390	25.509	31.222
Oct.	25.203	26.359	32.263
Nov.	24.390	25.509	31.222
Dic.	25.203	26.359	32.263

Fuente: Autora.

En la próxima grafica se evidencia el comportamiento de la demanda no cubierta

Gráfica 8. Demanda no cubierta.



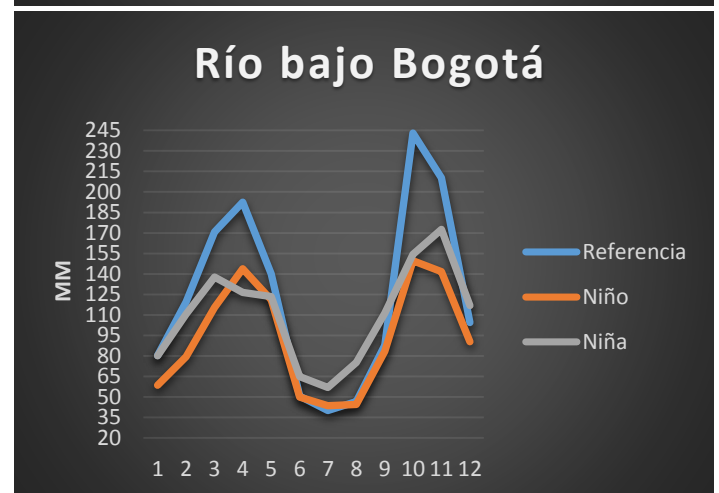
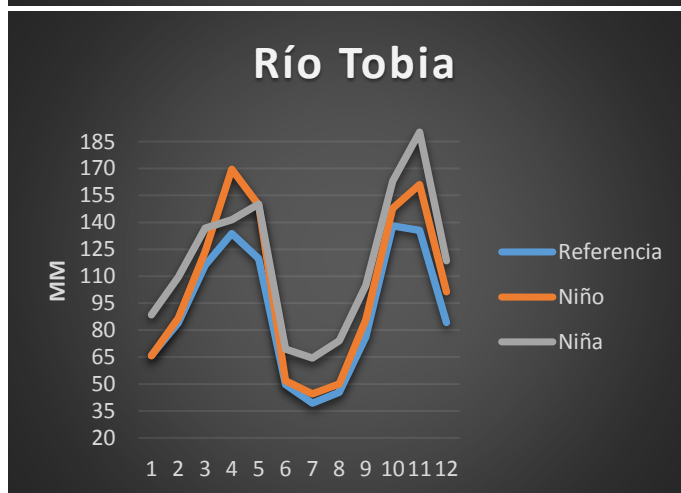
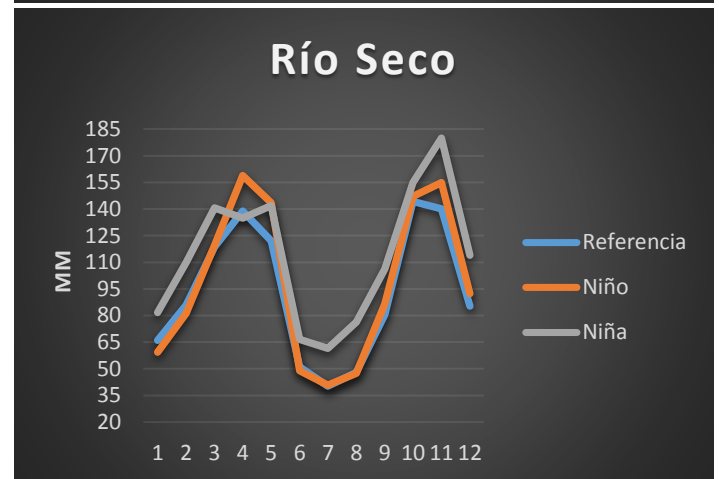
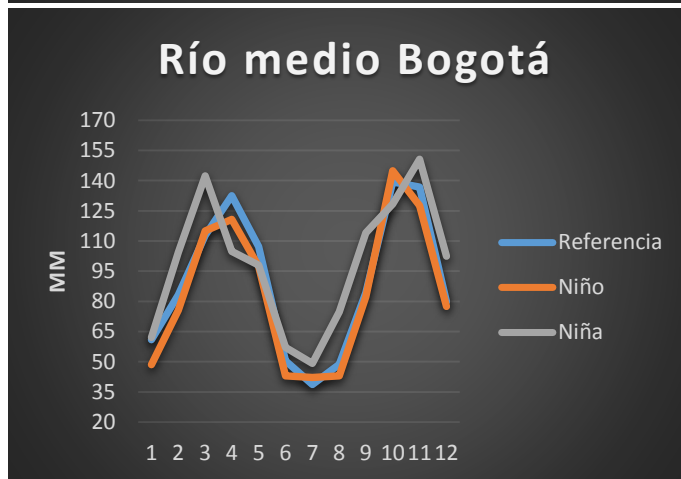
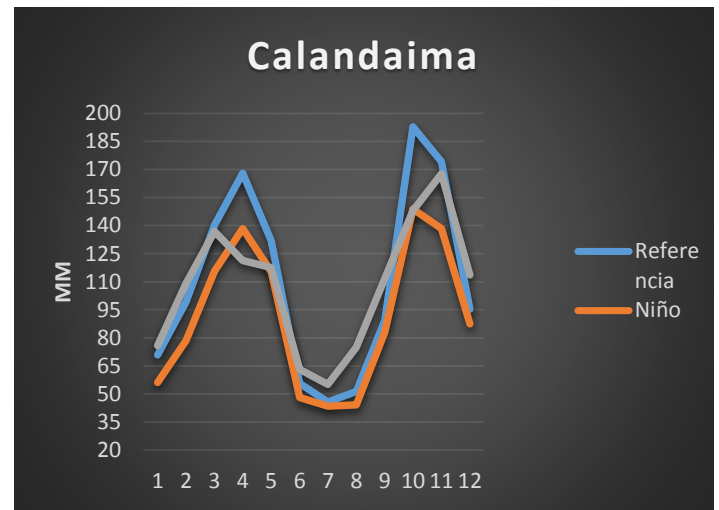
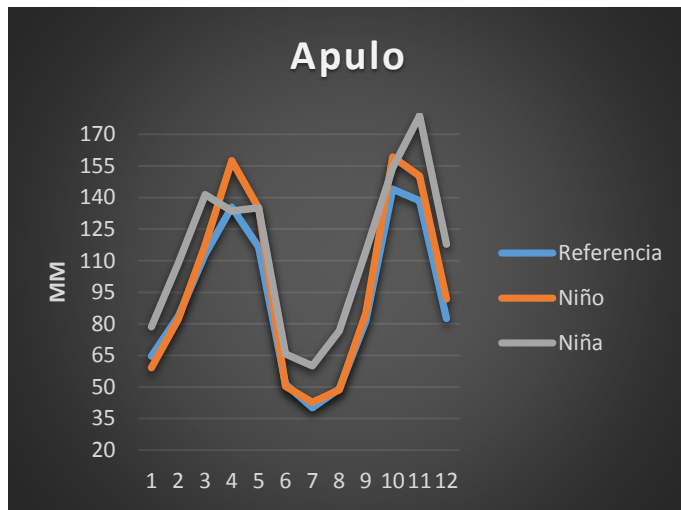
Fuente: Autora.

De acuerdo a la gráfica anterior, se puede evidenciar que el municipio de Quipile presenta los valores más altos de demanda no cubierta, entre los 29.000 m^3 y 33.000 m^3 , seguido por el municipio de La Mesa y Apulo; los tres municipios muestran los menores valores de demanda no cubierta en el segundo trimestre del año; En el mes de febrero se muestran disminuciones en el consumo debido a que es el único mes que cuenca con menores días en comparación a los otros meses.

Por otro lado, los municipios de Apulo y La Mesa pertenecen a la misma cuenca, es decir la cuenca del río Apulo, además, La mesa es uno de los municipios con mayor población de la provincia.

➤ **Precipitación**

Tabla 14. Precipitación mensual de cada cuenca.



Fuente: Autora.

En la tabla 15, se pueden identificar las precipitaciones mensuales obtenidas de las interpolaciones realizadas con información de las estaciones meteorológicas representativas y el histórico de anomalías proporcionado por la NOAA, de acuerdo a fenómeno Niña se identifican precipitaciones superiores a las de referencia y de fenómeno Niño en las cuencas Apulo (178.9 mm), río medio Bogotá (150.64 mm), Tobia (190.23 mm) y río Seco (179.88 mm), estos aumentos se dan a finales del año en los meses octubre, noviembre y diciembre. Sin embargo, Calandaima y río bajo Bogotá muestran valores superiores de precipitación que corresponde al escenario de referencia.

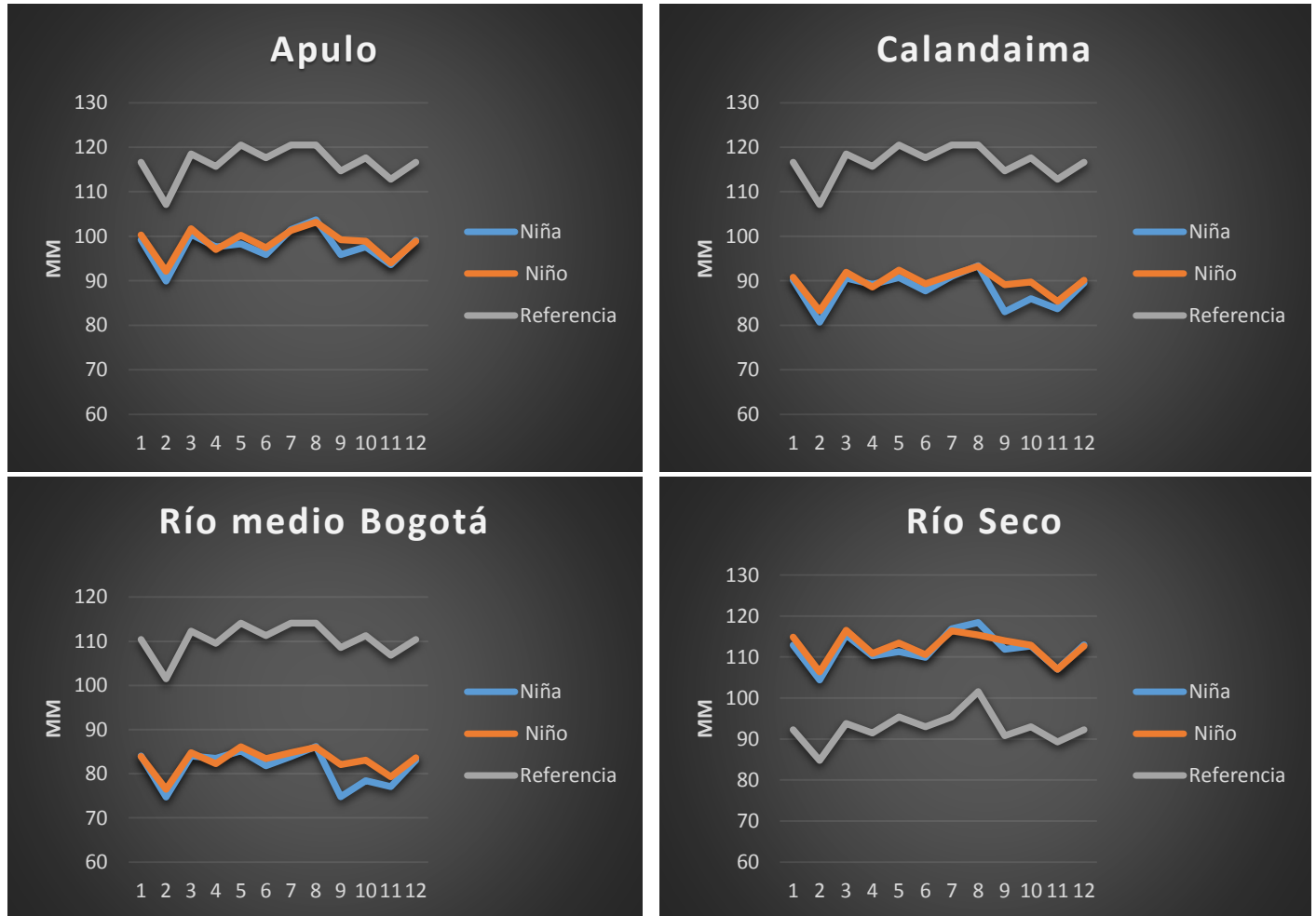
Por otra parte, en cuanto al escenario de fenómeno Niño, es evidente la disminución de las precipitaciones con respecto a las gráficas del escenario de fenómeno Niña, estos cambios se presentan en las seis cuencas de la siguiente manera: Apulo pasó de tener una mínima de 60.05 mm (Niña) a 40.15 mm (Niño), Calandaima tenía 55.11 mm (Niña) a 43.41 mm (Niño), río medio Bogotá con 49.09 (Niña) pasó a 42.13 mm (Niño), así mismo, río seco bajó de 61.6 mm (Niña) a 40.84 mm (Niño), finalmente río bajo Bogotá de 56.87 mm (Niña) a 42.13 mm (Niño) y Tobia de 64.54 mm (Niña) a 44.54 mm (Niño); en general las cuencas disminuyeron su precipitación entre un 65% y 80%. De manera que las cuencas presentan un comportamiento similar, con precipitaciones más bajas de las que se dan en el escenario fenómeno Niña, en el séptimo trimestre del año.

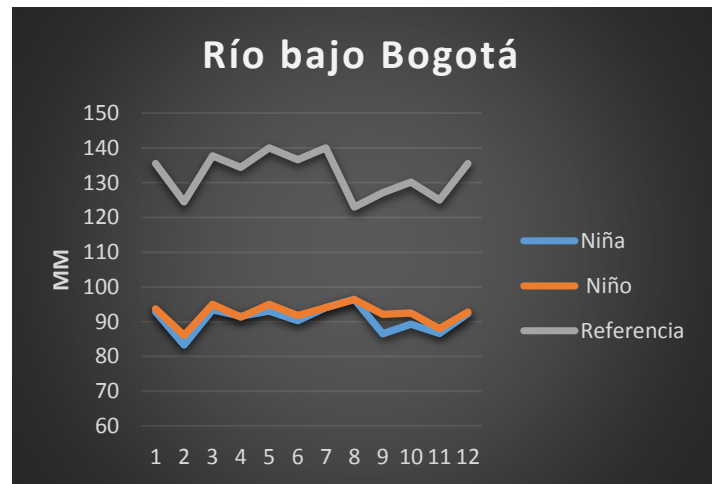
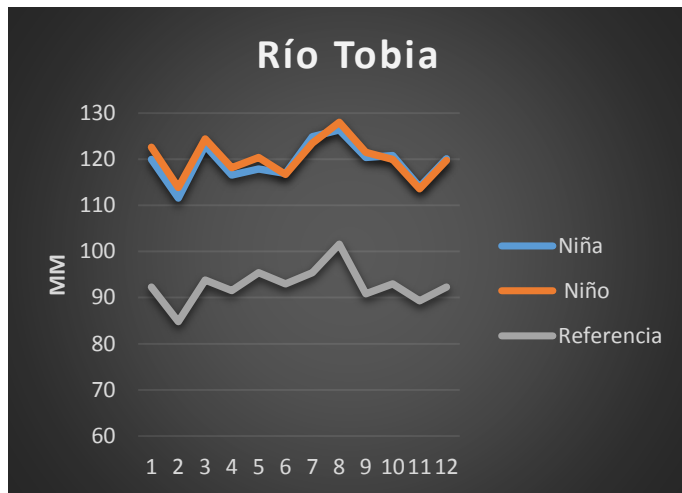
El IDEAM establece que las precipitaciones en la región Andina, en periodos de fenómeno La Niña, tienen mayor influencia en los trimestres del año (10 y 11) con una probabilidad de aumento de 60-70% aumentando en algunos sectores hasta un 90%. Lo que quiere decir que el modelo dio una perspectiva aproximada a lo que puede ser el comportamiento del fenómeno Niña en las cuencas mencionadas, con respecto a la oferta hídrica se infiere que no se ve afectada con respecto al abastecimiento del recurso, debido a los aumentos en la precipitación y la escorrentía superficial, por el contrario aumentaría la oferta del recurso facilitando el desarrollo y bienestar de las personas. En relación al fenómeno Niño, se identifica que hay cierta correlación en los primeros meses del año, ya que aumentan las precipitaciones y del mismo modo la escorrentía superficial; también es notoria la relación de los dos parámetros en los meses de junio, julio y agosto, debido a la disminución de los valores correspondientes a precipitación y volumen de escorrentía. El IDEAM estima que en periodos de fenómeno Niño los niveles más bajos de precipitación en la región Andina, se presentan en los trimestres (6, 7 y 8) del año.

En este sentido las garantías de acceso al recurso hídrico no se verían afectadas puesto que en ninguna de las cuencas los datos de fenómeno Niño están por debajo de los de referencia.

➤ **Evapotranspiración**

Tabla 15. Evapotranspiración mensual de cada cuenca.





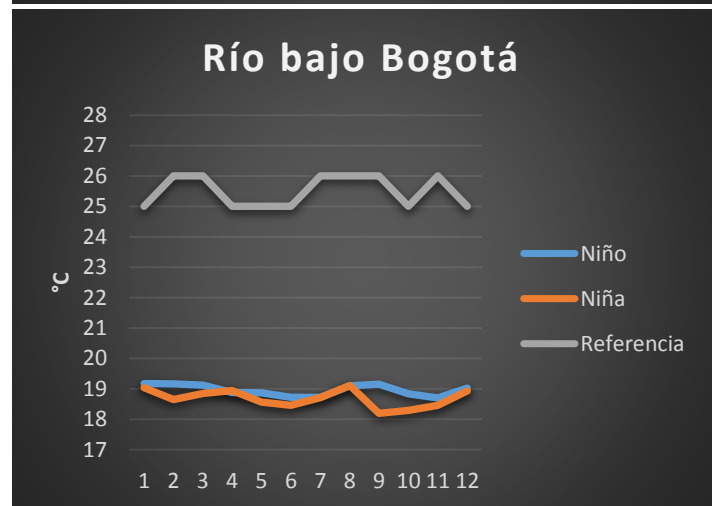
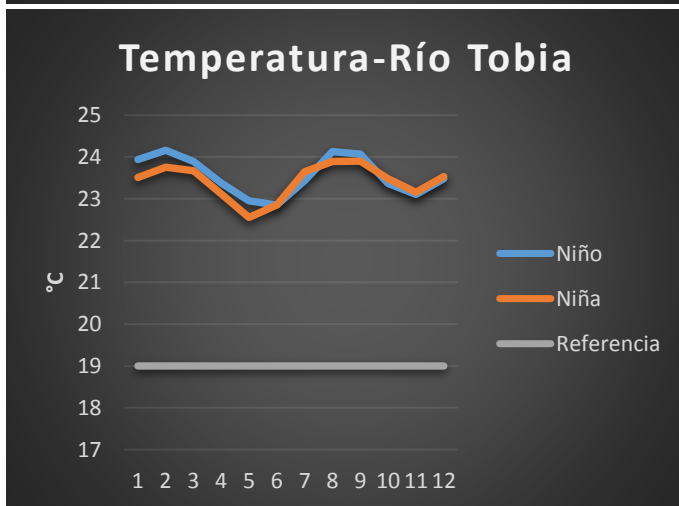
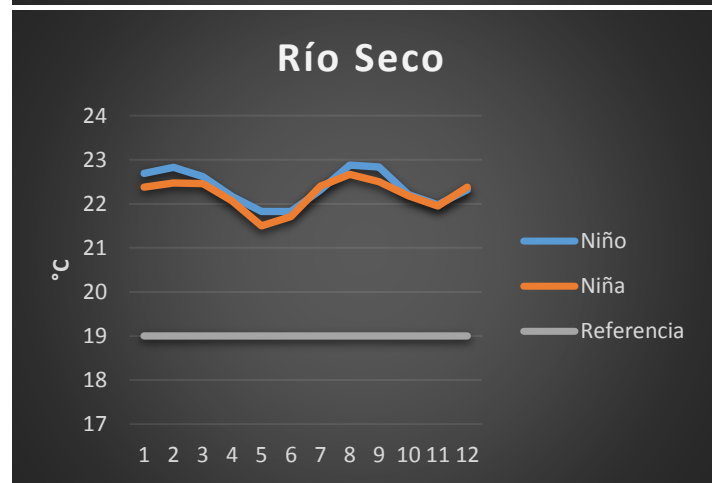
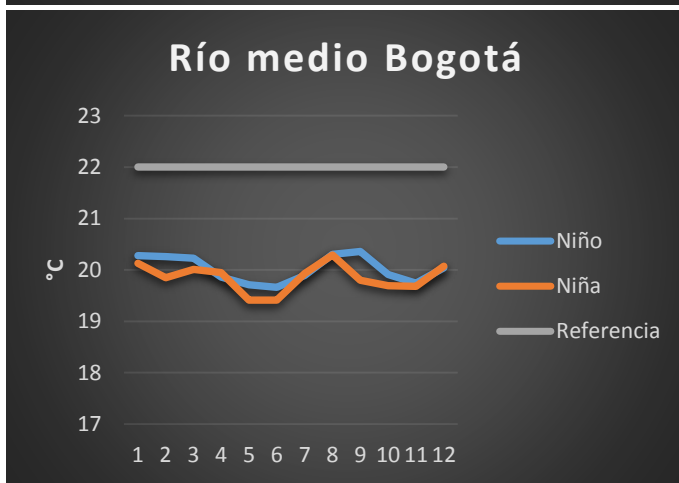
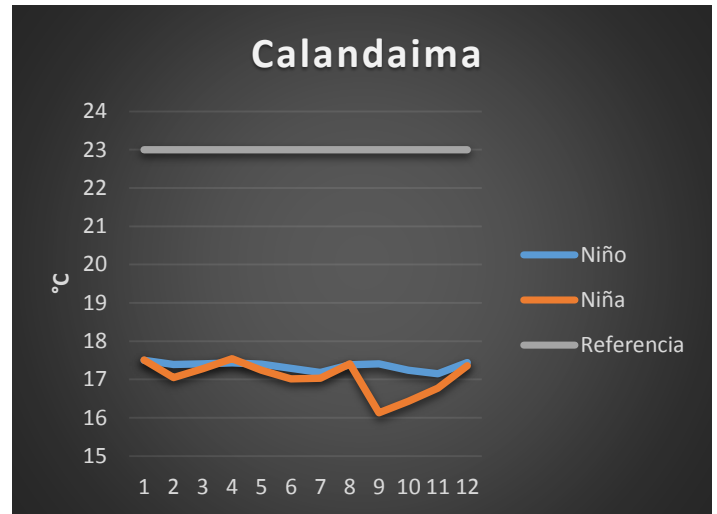
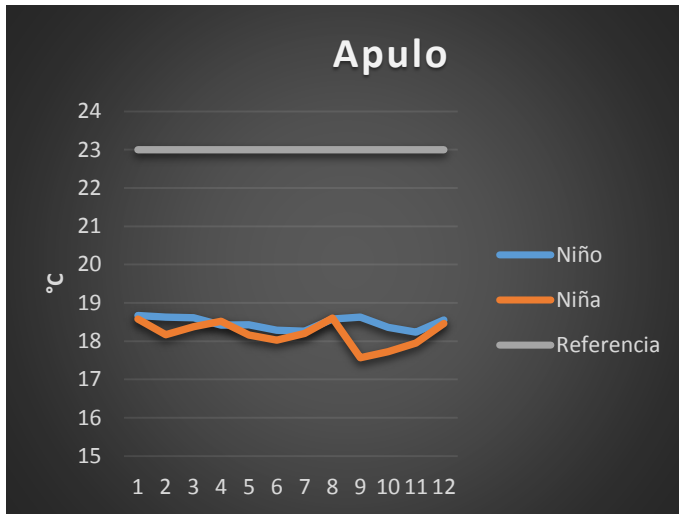
Fuente: Autora.

De acuerdo a lo anterior, se logra determinar que para las cuencas Apulo, Calandaima, río medio Bogotá y río bajo Bogotá la evapotranspiración es menor en los escenarios de fenómeno Niña y Niño con respecto a la evapotranspiración de referencia, por el contrario en las cuencas restantes, río Seco y Tobia la evapotranspiración de los escenarios ENSO es mayor que la de referencia.

Por otra parte, es evidente la correlación de los datos de precipitación frente a los escenarios de fenómeno Niño y Niña, ya que presentan diferencias muy pequeñas una de la otra, aproximadamente los valores de evapotranspiración en este caso se encuentran entre 80 mm y 100 mm en las cuencas Apulo, Calandaima, río medio Bogotá y río bajo Bogotá, en las dos cuencas faltantes río Seco y Tobia, están entre 100 mm y 130 mm.

➤ **Temperatura**

Tabla 16. Temperatura mensual de cada cuenca.



Fuente: Autora.

En cuanto a la temperatura, los escenarios de Niño y Niña, la temperatura se muestra por debajo de los datos de referencia en las siguientes cuencas: Apulo, Calandaima, río medio Bogotá y río bajo Bogotá, por otra parte en las cuencas Tobia y río Seco, los valores se encuentran por encima del valor de referencia; En las mismas cuencas, con respecto al escenario de fenómeno Niña, se evidencian disminuciones de la temperatura en el mes de septiembre de la misma manera que se presentan disminuciones de evapotranspiración en el mes de septiembre para las mismas cuencas.

Por otro lado, se presenta una linealidad en la temperatura de referencia en las cinco cuencas pertenecientes a la Provincia del Tequendama, excepto la cuenca del río bajo Bogotá, esto se puede deber a la distribución geográfica de las estaciones meteorológicas que contenían la información de temperatura. Con respecto a los escenarios de fenómeno Niño y Niña, así como en las gráficas de evapotranspiración muestran cercanía en los datos, ya que como resultado de las interpolaciones se diferencian muy poco.

4. CONCLUSIONES

- WEAP, es una herramienta que facilita la modelación, ya que permite evaluar no solo parámetros físicos si no también químicos, del mismo modo se obtienen resultados gráficos, de tabla y de mapa que mejoran la interpretación de los resultados

- Las garantías de suministro del recurso hídrico en la provincia del Tequendama con respecto al escenario de fenómeno Niña, según el modelo no se verán afectadas debido a mostraron un aumento en las precipitaciones del 80% con respecto al escenario de referencia.

- Dentro de la provincia del Tequendama, el municipio de La Mesa presenta en mayor consumo de agua seguido del municipio El Colegio.

- En la precipitación mensual del escenario de referencia, las menores precipitaciones se dan en la cuenca media del río Bogotá, es decir en los municipios de Tena, San Antonio del Tequendama y El colegio, en todos los meses, y las mayores precipitaciones en los meses de febrero a julio y de octubre a diciembre en la cuenca Calandaima.

- En el escenario de fenómeno Niño, las mayores temperaturas se dan en la parte media y baja de la provincia del Tequendama, es decir en los municipios de La mesa, Apulo, Viotá y El Colegio.

- La Provincia no presenta problemas de oferta y demanda en los municipios de El Colegio, San Antonio del Tequendama, Tena, Viotá, Anapoima, Anolaima y Cachipay.

- La demanda no cubierta se presentó en los municipios de La Mesa, Apulo y Quipile.

5. RECOMENDACIONES

- Incorporar un escenario nuevo donde se evalué la población flotante en la Provincia del Tequendama.
- Incentivar el uso del software WEAP en las instituciones educativas, ya que es una herramienta completa que facilita estudios con el recurso hídrico.
- Es necesario mejorar las bases de datos que cuentan con información meteorológica, ya que esto permitiría mejorar las calibraciones y por consiguiente la precisión de los modelos.
- Debido a los aumentos en las precipitaciones en el escenario de fenómeno Niña, se recomienda informar a la población sobre los posibles riesgos que se puedan generar ante las fuertes lluvias.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Modelación hidrológica.
- [2] Universidad del Rosario, Plan de competitividad de la Provincia del Tequendama, 2011.
- [3] Alcaldía de Anapoima-Cundinamarca, 23 Mayo 2016. [En línea]. Available: http://www.anapoima-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml. [Último acceso: 31 Octubre 2016].
- [4] K. González, «ANAPOIMA SOL DE LA ETERNA JUVENTUD,» *EL TIEMPO*, 2002.
- [5] MINISTERIO DE TECNOLOGIA, INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN, «MINTIC,» 13 SEPTIEMBRE 2014. [En línea]. Available: <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-7115.html>.
- [6] Wikipedia, «Anolaima,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Anolaima>. [Último acceso: 31 Octubre 2016].
- [7] Alcaldía de Apulo-Cundinamarca, 03 Junio 2014. [En línea]. Available: http://www.apulo-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml. [Último acceso: 31 Octubre 2016].
- [8] Wikipedia, «Apulo,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Apulo>. [Último acceso: 31 Octubre 2016].
- [9] Alcaldía de Cachipay-Cundinamarca , 05 Febrero 2014. [En línea]. Available: http://www.cachipay-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml. [Último acceso: 2016 Octubre 2016].
- [10] Alcaldía de El Colegio-Cundinamarca, 29 Julio 2016. [En línea]. Available: http://www.elcolegio-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml. [Último acceso: 31 Octubre 2016].

- [11] Alcaldía de La Mesa-Cundinamarca, 29 Julio 2016. [En línea]. Available: http://www.lamesa-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml. [Último acceso: 31 Octubre 2016].
- [12] Alcaldía de Quipile-Cundinamarca, 08 Septiembre 2015. [En línea]. Available: http://www.quipile-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml. [Último acceso: 31 Octubre 2016].
- [13] Alcaldía de San Antonio del Tequendama-Cundinamarca, 04 Marzo 2014. [En línea]. Available: http://www.sanantoniodeltequendama-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml. [Último acceso: 31 Octubre 2016].
- [14] Alcaldía de Tena-Cundinamarca, 05 Febrero 2016. [En línea]. Available: http://www.tena-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml. [Último acceso: 31 Octubre 2016].
- [15] Alcaldía de Viotá-Cundinamarca, 13 Junio 2015. [En línea]. Available: http://www.viota-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml#geografia. [Último acceso: 31 Octubre 2016].
- [16] J. E. Montealegre , Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico., Bogotá: IDEAM, 2014.
- [17] National Oceanic and Atmospheric Administration, «What is the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) in a nutshell?,» [En línea]. Available: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/what-el-ni%C3%B1o%E2%80%93southern-oscillation-enso-nutshell>. [Último acceso: 31 Octubre 2016].
- [18] J. E. Montealegre, Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, Bogotá: INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM, 2007.
- [19] Rivera y Pabón, 1993.

- [20] Poveda, 1994.
- [21] Stockholm Environment Institute, «Water Evaluatio And Planning (WEAP),» [En línea]. Available: <http://www.weap21.org/index.asp?action=201>.
- [22] Universidad Mayor de San Simón, Material de apoyo didático para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrolgía, Cochabamba, 2009.
- [23] Universidad de Oviedo, «Tema 1 Conceptos-Construcción de MDE,» [En línea]. Available: <http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema1/Page16.html>. [Último acceso: 14 Noviembre 2016].
- [24] A. Peña y R. Urroz, 2002.
- [25] M. Á. Cañón, «Generación de campos hidrometeorológicos coherentes con base en el principio de interpolación optima de Kolmogorov,» Bogotá, 2015.
- [26] J. Almorox, Evapotranspiración potencial según Thornthwaite.
- [27] Stocclholm Environment Institute, «Centro de Cambio Global,» Universidad Católica de Chile, 2016. [En línea]. Available: http://cambioglobal.uc.cl/en/component/docman/cat_view/6-proyectos.html. [Último acceso: 28 Noviembre 2016].
- [28] Corporación Autónoma Regional, «Información metereológica,» [En línea]. Available: <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=10571>. [Último acceso: 14 Noviembre 2016].
- [29] Alcaldía de Quipile-Cundinamarca, 08 Septiembre 2016. [En línea]. Available: http://www.quipile-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml. [Último acceso: 31 Octubre 2016].
- [30] Alcaldía de San Antonio del Tequendama-Cundinamarca, 04 Marzo 2016. [En línea]. Available: http://www.sanantoniodeltequendama-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml. [Último acceso: 31 Octubre 2016].
- [31] Alcaldía de Viotá-Cundinamarca, 13 Junio 2016. [En línea]. Available: http://www.viota-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml#geografia. [Último acceso: 31 Octubre 2016].

- [32] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Evapotranspiración de cultivo.
- [33] S. Lavao Pastrana, Aplicación de la teoría del número de curva (CN), a una cuenca de montaña. Caso de estudio: Cuenca del río Murca mediante la utilización de sistemas de información geográfica, Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2014.
- [34] Pybonacci.org, «Introducción a Machine Learning con Python (Parte 1),» 14 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://pybonacci.org/2015/01/14/introduccion-a-machine-learning-con-python-parte-1/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2016].
- [35] Water Evaluation And Planning System, Tutorial, Stockholm Environment Institute, 2015.
- [36] CRA, «Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico,» 17 Mayo 2016. [En línea]. Available: <http://www.cra.gov.co/es/novedades/noticias/23739-conoce-el-nuevo-consumo-b>. [Último acceso: 22 Enero 2016].
- [37] National Oceanic and Atmospheric Administration, «Climate-science & information for a climate-smart nation,» [En línea]. Available: <https://www.climate.gov/enso>. [Último acceso: 31 Octubre 2016].

7. ANEXOS

Anexo 1. Tablas de Caracterización de las bocatomas correspondientes a los municipios de la Provincia del Tequendama.

MUNICIPIO DE CORRESPONDENCIA	FUENTE DE CAPTACIÓN	CUENCA	COORDENADAS		CAUDAL CONCEDIDO (L/s)
			X	Y	
ANOLAIMA	Río Curí	Río Bogotá	962847	1023115	0.04
ANOLAIMA.	Rio Bahamon	Río Bogotá	961170	1018271	1.68
ANOLAIMA	Rio Bahamon	Río Bogotá	961697	1018858	3.1
ANOLAIMA	Río Curí	Río Bogotá	958759	1021377	2.6
ANOLAIMA	Quebrada La Aguilita	Río Bogotá	17.53	1020447	1.15
ANOLAIMA	Rio Bahamon	Río Bogotá	962517	1021104	14.92
ANOLAIMA	Quebrada La Miquita	Río Bogotá	962517	1021104	0.02
ANOLAIMA	Quebrada La Miquita	Río Bogotá	959567	1018299	0.13
ANOLAIMA	Quebrada La Miquita	Río Bogotá	959701	1018947	0.07
ANOLAIMA	Río Curí	Río Bogotá	957732	1020858	0.02
ANOLAIMA	Quebrada La Aguilita	Río Bogotá	962645	1021838	0.05
ANOLAIMA.	Quebrada La Aguilita	Río Bogotá	962645	1021838	0.08
ANOLAIMA	Quebrada La Aguilita	Río Bogotá	962645	1021838	0.08
ANOLAIMA	Quebrada Mal Abrigo	Río Bogotá	960645	1016221	0.14
ANOLAIMA	Quebrada Mal Abrigo	Río Bogotá	960645	1016221	0.14
ANOLAIMA	Río Curí	Río Bogotá	961509	1023654	2.55
ANOLAIMA	Río Curí	Río Bogotá	957722	1020868	0.6
ANOLAIMA	Río Curí	Río Bogotá	957722	1020868	0.6

ANOLAIMA	Río Curí	Río Bogotá	957722	1020868	0.6
ANOLAIMA	Río Curí	Río Bogotá	957722	1020868	0.6
ANOLAIMA	Río Curí	Río Bogotá	957722	1020868	0.6
ANOLAIMA	Río Curí	Río Bogotá	957722	1020868	0.6
ANOLAIMA	Quebrada La Miquita	Río Bogotá	961223	1020556	0.0199
23 BOCATOMAS					30.3899

MUNICIPIO DE CORRESPONDENCIA	FUENTE DE CAPTACIÓN	CUENCA	COORDENADAS		CAUDAL CONCEDIDO (L/s)
			X	Y	
ANAPOIMA.	Quebrada Campos	Río Bogotá	950138	990464	15
ANAPOIMA	Quebrada Cometierra	Río Bogotá	943650	1000573	1.89
ANAPOIMA	Quebrada La Yegüera	Río Bogotá	943059	1003290	0.23
ANAPOIMA	Quebrada La Salada	Río Bogotá	963593	1010677	1.61
ANAPOIMA	Quebrada Campos	Río Bogotá	956188	993000	2.57
ANAPOIMA	Río Calandaima	Río Bogotá	957724	989519	45.91
6 BOCATOMAS					67.21

MUNICIPIO DE CORRESPONDENCIA	FUENTE DE CAPTACIÓN	CUENCA	COORDENADAS		CAUDAL CONCEDIDO (L/s)
			X	Y	
APULO	Quebrada La Chacara	Río Bogotá	943820	997033	0.05
APULO	Quebrada La Pita	Río Bogotá	941121	992597	0.23
APULO	Quebrada La Yegüera	Río Bogotá	942919	1001586	0.67

APULO	Quebrada La Yegüera	Río Bogotá	942919	1001586	0.67
APULO	Quebrada La Chacara	Río Bogotá	944025	997564	0.93
APULO	La Pita	Río Bogotá	941091	992605	0.01
6 BOCATOMAS					2.56

MUNICIPIO DE CORRESPONDENCIA	FUENTE DE CAPTACIÓN	CUENCA	COORDENADAS		CAUDAL CONCEDIDO (L/s)
			X	Y	
TENA	Quebrada Payacal	Río Bogotá	964626	1009965	3.6
TENA	Quebrada La Zunia	Río Bogotá	970243	1006528	13.1
TENA	Quebrada La Zunia	Río Bogotá	969184	1005943	0.13
TENA	Quebrada Los Totumos	Río Bogotá	959503	1001082	0.01
TENA	Quebrada Zapata	Río Bogotá	960394	1003204	0.02
TENA	Quebrada Zapata	Río Bogotá	960394	1003204	0.03
TENA	Quebrada Zapata	Río Bogotá	960394	1003204	0.03
TENA	Quebrada La Guayacana	Río Bogotá	964651	1007109	0.21
TENA	Quebrada La Guayacana	Río Bogotá	964651	1007109	0.21
TENA	Quebrada La Zunia	Río Bogotá	971603	1006082	0.26
TENA	Quebrada Los Totumos	Río Bogotá	959662	1002198	0.06
TENA	Quebrada Los Totumos	Río Bogotá	959662	1002198	0.23
12 BOCATOMAS					17.89

MUNICIPIO DE CORRESPONDENCIA	FUENTE DE CAPTACIÓN	CUENCA	COORDENADAS		CAUDAL CONCEDIDO (L/s)
			X	Y	
VIOTA	Quebrada La Ruidosa	Río Bogotá	959895	985392	0.66
VIOTA	Quebrada La Ruidosa	Río Bogotá	958547	986052	1.03
VIOTA	Quebrada La Ruidosa	Río Bogotá	956818	988305	0.61
VIOTA	Quebrada La Ruidosa	Río Bogotá	956194	983113	0.98
VIOTA	Río Lindo	Río Bogotá	956630	979416	0.65
VIOTA	Río Lindo	Río Bogotá	950120	9.8E+0 7	0.16
VIOTA	Quebrada Pilama	Río Bogotá	952669	975365	0.2
VIOTA	Quebrada La San Juana	Río Bogotá	955943	974961	2
VIOTA	Quebrada La Ruidosa	Río Bogotá	956949	987978	0.72
VIOTA	Río Lindo	Río Bogotá	951692	982869	20.36
VIOTA	Río Lindo	Río Bogotá	950223	983512	0.89
VIOTÁ	Quebrada La Modelia	Río Bogotá	960674	987322	0.49
VIOTA	Quebrada La Ruidosa	Río Bogotá	956239	983111	0.51
VIOTA	Quebrada Pilama	Río Bogotá	952588	975162	1.11
VIOTA	Quebrada La Pilama	Río Bogotá	952650	975335	0.01
15 BOCATOMAS					30.38

MUNICIPIO DE CORRESPONDENCIA	FUENTE DE CAPTACIÓN	CUENCA	COORDENADAS		CAUDAL CONCEDIDO (L/s)
			X	Y	
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	967100	998600	17.1
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Río Bogotá	Río Bogotá	972220	998750	0.5154
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA - CUNDINAMARCA	Quebrada Grande	Río Bogotá	968621	996610	0.57
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	971886	998301	0.67
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	967664	1001703	0.63
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	968122	997378	1.73
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	967585	998510	3.84
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada La Zunia	Río Bogotá	969769	1005835	1.38
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	967592	998539	0.68
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	968001	1000560	0.2

SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	967618	998550	0.35
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	967618	998550	0.35
SAN ANTONIO DE TEQUEDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	967613	998545	0.8
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	967677	999517	1.85
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	967753	997856	1.62
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	960907	996380	0.27
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada La Zunia	Río Bogotá	969995	1006200	0.25
SAN ANTONI	Quebrada Grande	Río Bogotá	957520	1001067	0.04
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	967798	997587	3.1
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada La Zunia	Río Bogotá	969955	1E+07	0.37
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada La Zunia	Río Bogotá	968806	1005519	0.22
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada La Zunia	Río Bogotá	970119	1006342	0.08
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada La Zunia	Río Bogotá	970119	1006342	0.12
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada La Zunia	Río Bogotá	968806	1005519	8.21

SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada La Zunia	Río Bogotá	970111	1006329	0.01
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	968009	1000539	0.05
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	968009	1000539	0.05
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	967854	1001378	0.28
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	968386	996618	1.05
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada Grande	Río Bogotá	968368	996618	0.29
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAM	Quebrada La Zunia	Río Bogotá	968780	1005509	16.12
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	Quebrada La Zunia	Río Bogotá	969610	1005712	0.08
32 BOCATOMAS					62.8754

MUNICIPIO DE CORRESPONDENCIA	FUENTE DE CAPTACIÓN	CUENCA	COORDENADAS		CAUDAL CONCEDIDO (L/s)
			X	Y	
LAMESA	Rio Apulo	Río Bogotá	960440	1011108	0.07
LA MESA	Quebrada La Salada	Río Bogotá	964113	1010689	1.24
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	952913	1004662	0.06
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	952604	1004665	0.11
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	956045	1004250	0.85

LA MESA	Rio Apulo	Río Bogotá	961453	1011946	1.49
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	954589	1004855	0.4688
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	955481	1004714	0.05
LA MESA	Quebrada El Tigre	Río Bogotá	956246	1001967	0.01
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	955466	1004709	0.99
LA MESA.	Quebrada El Tigre	Río Bogotá	953462	1001997	0.06
LA MESA.	Quebrada El Tigre	Río Bogotá	953069	1002434	0.03
LA MESA	Quebrada Melquisedec	Río Bogotá	963807	1011423	0.26
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	953509	1004945	0.34
LA MESA.	Quebrada La Salada	Río Bogotá	963657	1010612	0.91
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	935509	1004945	0.4
LA MESA	Quebrada Payacal	Río Bogotá	963988	1008782	0.9
LA MESA	Rio Apulo	Río Bogotá	961648	1012179	0.58
LA MESA	Rio Apulo	Río Bogotá	961648	1012179	0.58
LA MESA	Quebrada La Salada	Río Bogotá	963223	1010641	0.05
LA MESA	Rio Apulo	Río Bogotá	960749	1011580	0.96
LA MESA	Quebrada La Salada	Río Bogotá	963935	1010068	0.9
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	952426	1000481	0.02

LA MESA	Quebrada La Salada	Río Bogotá	962141	1009592	1.37
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	954920	1004870	0.59
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	954920	1004870	4.55
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	954920	1004870	1.24
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	954920	1004870	0.01
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	952146	1004604	0.05
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	953644	1004953	0.07
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	954878	1004846	0.15
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	956559	1E+08	0.08
LA MESA	Rio Apulo	Río Bogotá	954416	1007237	7.71
LA MESA	Rio Apulo	Río Bogotá	961836	1012012	5.55
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	955031	1004786	0.08
LA MESA	Quebrada El Tigre	Río Bogotá	953001	1002460	0.01
LA MESA	Quebrada Payacal	Río Bogotá	963680	1008507	0.08
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	953754	1004878	0.01
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	953754	1004878	0.01

LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	953754	1004878	0.01
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	953754	1004878	0.01
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	953754	1004878	0.01
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	953754	1004878	0.01
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	953754	1004878	0.01
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	953754	1004878	0.01
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	955575	1004596	0.06
LA MESA	Quebrada La Carbonera	Río Bogotá	955575	1004596	0.06
LA MESA	Quebrada La Salada	Río Bogotá	962910	1010642	0.01
LA MESA	Rio Apulo	Río Bogotá	962493	1009237	0.02
LA MESA	Rio Apulo	Río Bogotá	962493	1009237	0.02
LA MESA	Rio Apulo	Río Bogotá	961844	1012050	0.03
52 BOCATOMAS					33.1488

MUNICIPIO DE CORRESPONDENCIA	FUENTE DE CAPTACIÓN	CUENCA	COORDENADAS		CAUDAL CONCEDIDO (L/s)
			X	Y	
CACHIPAY	Quebrada Mal Abrigo	Río Bogotá	950607	988367	0.05
CACHIPAY	Quebrada Mal Abrigo	Río Bogotá	961862	1016959	0.19
CACHIPAY	Quebrada Los Micos	Río Bogotá	962050	1016637	0.16

CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	961806	1019027	3.31
CACHIPAY	Quebrada Mal Abrigo	Río Bogotá	961850	1016955	5.95
CACHIPAY	Quebrada Mal Abrigo	Río Bogotá	961578	1017239	0.04
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	960625	1017139	2.41
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	960973	1017599	0.16
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	960234	1016806	0.86
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	960234	1016806	0.61
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	960234	1016806	0.14
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	959632	1016314	6.96
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	961074	1018218	0.01
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	955042	1011992	14
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	961644	1018883	0.36
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	961863	1019094	1.76
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	961815	1019040	0.05
CACHIPAY	Rio Apulo	Río Bogotá	961618	1012008	0.44
CACHIPAY	Quebrada La Miquita	Río Bogotá	959024	1016254	3.65
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	952971	1010623	0.72
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	953973	1010613	2.83
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	953973	1010613	2.82
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	960651	1017180	0.07
CACHIPAY	Rio Apulo	Río Bogotá	964311	1013094	6.95

CACHIPAY	Quebrada Mal Abrigo	Río Bogotá	961237	1016969	0.07
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	956073	1012045	0.03
CACHIPAY	Quebrada Mal Abrigo	Río Bogotá	961851	1016950	0.26
CACHIPAY	Quebrada Mal Abrigo	Río Bogotá	961851	1016950	0.26
CACHIPAY	Rio Bahamon	Río Bogotá	961779	1018977	0.09
29 BOCATOMAS					55.21

MUNICIPIO DE CORRESPONDENCIA	FUENTE DE CAPTACIÓN	CUENCA	COORDENADAS		CAUDAL CONCEDIDO (L/s)
			X	Y	
EL COLEGIO	Quebrada Antioquia	Río Bogotá	964786	999297	0.03
EL COLEGIO	Quebrada Grande	Río Bogotá	973800	994200	10.4
EL COLEGIO	Quebrada Antioquia	Río Bogotá	964875	998897	0.02
EL COLEGIO	Quebrada Antioquia	Río Bogotá	966378	996242	6.82
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	995933	995933	0.01
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	956428	995780	0.01
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	956428	995780	0.08
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	956428	995780	0.27
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	956428	995780	0.27

EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	956428	995780	0.27
EL COLEGIO	Quebrada Antioquia	Río Bogotá	965061	998207	0.37
EL COLEGIO	Quebrada Dulce	Río Bogotá	957979	989494	1.88
EL COLEGIO	Quebrada Dulce	Río Bogotá	957979	989494	1.88
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	956295	995482	0.5
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	956295	995482	0.01
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	956627	995439	0.06
EL COLEGIO.	Quebrada Antioquia	Río Bogotá	966286	996230	4.82
EL COLEGIO	Río Calandaima	Río Bogotá	963097	991901	5.14
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	956340	995927	0.19
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	956337	995922	0.05
ELCOLEGIO	Río Calandaima	Río Bogotá	963079	991899	0.87
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	956234	995677	0.12
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	956234	995677	0.12
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	956084	996857	0.06
EL COLEGIO	Quebrada La Tinta	Río Bogotá	962272	1E+08	0.11
EL COLEGIO	Quebrada Antioquia	Río Bogotá	964881	999106	0.14

EL COLEGIO	Quebrada Antioquia	Río Bogotá	965254	997625	0.89
EL COLEGIO	Quebrada Antioquia	Río Bogotá	964849	999095	0.01
EL COLEGIO	Quebrada Antioquia	Río Bogotá	965074	997859	1.33
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	956801	995371	0.3
EL COLEGIO	Quebrada Campos	Río Bogotá	958954	993420	14.17
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	957241	995139	0.62
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	959815	994795	4.32
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	959815	994795	4.32
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	957359	994980	0.01
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	956639	995436	0.01
EL COLEGIO	Quebrada Santa Isabel	Río Bogotá	957536	994973	0.01
37 BOCATOMAS					60.49

Anexo 2. Prueba de Homogeneidad

Estación		Prueba Test de Mann Kendall
2120640	La Victoria	Homogénea

2120180	San Gregorio	Homogénea
2120182	La Picota	Homogénea
2120178	Pedro Palo	Homogénea
2120646	Mesitas	Homogénea
2120639	La Mesa	Homogénea
21190210	Nilo	Homogénea
21190310	El pinar	Homogénea
21190370	ITA VALSALICE	Homogénea
21195120	ITA VALSALICE	Homogénea
21202160	Hidroparaiso	Homogénea
21205660	Las Mercedes	Homogénea
21205670	La Florida	Homogénea
21206180	Primavera d matima	Homogénea
2120184	Los Lagos	Homogénea
2120629	Venecia	Homogénea
2123502	El placer	Homogénea
2120644	Argelia	Homogénea
2120516	La Ramada	Homogénea
2120630	Doña Juana	Homogénea
2120071	Las margaritas	Homogénea