

**IMPLEMENTACIÓN DE SIG PARA EL ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL
RÍO TUTA, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ**

ADRIANA ROBERTO OCHOA



**UNIVERSIDAD DE
MANIZALES®**

 **Acreditación Institucional
de Alta Calidad**
Resolución 4792 del 15 de mayo de 2019

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES**

2021

**IMPLEMENTACIÓN DE SIG PARA EL ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL
RÍO TUTA, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ**

ADRIANA ROBERTO OCHOA

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES**

2021

RESUMEN

Tener conocimiento de las condiciones hidrológicas de un territorio es imprescindible para la gestión del recurso hídrico, por tal razón, se determina entre otros aspectos técnicos, la oferta hídrica de la subcuenca del río Tuta ubicada en el departamento de Boyacá.

Para el desarrollo de los objetivos propuestos se emplean Sistemas de Información Geográfica, dado que esos permiten integrar, analizar y procesar las variables necesarias para la determinación de características morfométricas como parámetros físicos, de forma, relieve, drenaje y climatológicas para la obtención de oferta hídrica.

Para determinar las variables hidrológicas de la subcuenca se empleó la plataforma ArcGis, empleando herramientas en Arcmap como ArcToolbox para los geoprocесamientos y creación de mapa web; ArcGIS online para la creación del aplicativo a través de la herramienta AppBuilder para la configuración de las funcionalidades y finalmente la publicación del Geovisor

La subcuenca del río Tuta es de tamaño intermedia-pequeña y ligeramente ensanchada, se encuentra localizada en altitudes promedio de 2.957 m.s.n.m; la subcuenca hidrográfica estudiada posee relieve variable que va de plano a lo fuertemente escarpado, siendo más representativo el tipo de relieve fuertemente inclinado.

La oferta hídrica superficial anual es en promedio de 4,77 m³/s la cual se puede consultar en cualquier punto de la subcuenca en el Geovisor que dispone de widget necesarios para ubicar, obtener y analizar además de la oferta, la red hídrica, datos de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas del área de influencia y la demanda hídrica, es decir, los usuarios del recurso hídrico en la subcuenca.

PALABRAS CLAVES: herramientas SIG, oferta hídrica, demanda hídrica, gestión del recurso hídrico.

ABSTRACT

Having knowledge of the hydrological conditions of a territory is essential for the management of water resources, for this reason, among other technical aspects, the water supply of the sub-basin of the Tuta River located in the department of Boyacá is determined.

For the development of the proposed objectives, Geographic Information Systems are used, since they allow integrating, analyzing and processing the variables necessary for the determination of morphometric characteristics such as physical, shape, relief, drainage and climatological parameters to obtain water supply. .

To determine the hydrological variables of the sub-basin, the ArcGis platform was used, using Arcmap tools such as ArcToolbox for geoprocessing and web map creation; ArcGIS online for the creation of the application through the AppBuilder tool for the configuration of the functionalities and finally the publication of the Geovisor

The sub-basin of the Tuta River is medium-small and slightly widened, it is located at average altitudes of 2,957 meters above sea level; The hydrographic sub-basin studied has variable relief that ranges from flat to strongly steep, with the type of strongly sloping relief being more representative.

The annual surface water supply is an average of 4.77 m³ / s which can be consulted at any point in the sub-basin in the Geovisor that has the necessary widget to locate, obtain and analyze in addition to the supply, the water network, data of precipitation and temperature of the meteorological stations of the area of influence and the water demand, that is, the users of the water resource in the sub-basin.

KEY WORDS: GIS tools, water supply, water demand, water resource management.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	9
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. OBJETIVO GENERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. JUSTIFICACIÓN.....	13
4. REFERENTE TEÓRICO	14
4.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y SU APLICACIÓN EN HIDROLOGÍA	14
4.2. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA.....	15
4.2.1. <i>Parámetros físicos de la cuenca</i>	15
4.1.1.1 <i>Área de la cuenca</i>	15
4.1.1.2 <i>Perímetro de la cuenca</i>	16
4.1.1.3 <i>Longitud recta de la cuenca (L)</i>	16
4.1.1.4 <i>Longitud de cauce (Lc)</i>	16
4.1.1.5 <i>Ancho de la cuenca (W)</i>	16
4.2.2. <i>Parámetros de forma de la cuenca</i>	16
4.1.2.1 <i>Coefficiente de compacidad o índice de gravelius (Kc)</i>	16
4.1.2.2 <i>Factor de forma (Kf)</i>	17
4.1.3 <i>Parámetros de relieve de la cuenca</i>	18
4.1.3.1 <i>Elevación media</i>	18
4.1.3.2 <i>Pendiente media</i>	18
4.1.2.1 <i>Curva hipsométrica</i>	19
4.1.4 <i>Parámetros de drenaje de la cuenca</i>	20
4.1.4.1 <i>Orden de la red hídrica de la cuenca</i>	20
4.1.4.2 <i>Densidad de drenaje</i>	20
4.2 OFERTA HIDRICA	20
4.2.1 <i>Precipitación</i>	21
4.2.2 <i>Temperatura</i>	21
4.2.3 <i>Evapotranspiración</i>	21
4.2.4 <i>Escorrentía superficial</i>	22
4.3 DEMANDA HIDRICA	23
5 METODOLOGÍA	24
5.1 TIPO DE TRABAJO.....	24
5.2 PROCEDIMIENTO	24
5.2.1 <i>Fase 1. Recopilación de información</i>	24
5.2.2 <i>Fase 2. Determinación de características morfométricas</i>	25
5.2.3 <i>Fase 3. Determinación de oferta y demanda hídrica</i>	26
5.2.4 <i>Fase 4. Diseño e implementación de Geovisor</i>	27
6 RESULTADOS	28
6.1 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA.....	28
6.1.1 <i>Parámetros físicos</i>	28
6.1.2 <i>Parámetros de forma</i>	29
6.1.3 <i>Parámetros de relieve</i>	30

6.1.4	Parámetros de drenaje	34
6.2	OFERTA HÍDRICA	35
6.1.1	Estimación precipitación	35
6.1.2	Estimación temperatura	37
6.1.3	Estimación evapotranspiración potencial y real.....	38
6.1.4	Estimación escorrentía superficial.....	40
6.1.5	Estimación oferta hídrica	41
6.2	DEMANDA HÍDRICA	42
6.3	ÍNDICE DE ESCASEZ	43
6.4	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS MEDIANTE GEOVISOR	43
7	CONCLUSIONES	45
8	RECOMENDACIONES	46
9	BIBLIOGRAFÍA	47
10	ANEXOS	49
10.1	ANEXO 1. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN EL ENCANTO.....	49
10.2	ANEXO 2. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN SAN ANTONIO.....	49
10.3	ANEXO 3. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN LOS AZULEJOS.....	50
10.4	ANEXO 4. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN LA COPA	50
10.5	ANEXO 5. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACIÓN CASA AMARILLA	51
10.6	ANEXO 6. TEMPERATURA TOTAL MENSUAL ESTACIÓN LA SIERRA.....	51
10.7	ANEXO 7. TEMPERATURA TOTAL MENSUAL ESTACIÓN LA COPA	52
10.8	ANEXO 8. TEMPERATURA TOTAL MENSUAL ESTACIÓN TUNGUAVITA	52
10.9	ANEXO 9. DELIMITACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA SUBCUENCA RÍO TUTA	53
10.10	ANEXO 10. ELEVACIONES DE LA SUBCUENCA RÍO TUTA	54
10.11	ANEXO 11. PENDIENTES DE LA SUBCUENCA RÍO TUTA.....	55
10.12	ANEXO 12. ORDEN DE LA RED HÍDRICA DE LA SUBCUENCA RÍO TUTA	56
10.13	ANEXO 13. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL SUBCUENCA RÍO TUTA	57
10.14	ANEXO 14. TEMPERATURA MEDIA ANUAL SUBCUENCA RÍO TUTA	58
10.15	ANEXO 15. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL MEDIA ANUAL SUBCUENCA RÍO TUTA	59
10.16	ANEXO 16. ESCORRENTÍA SUPERFICIAL SUBCUENCA RÍO TUTA	60
10.17	ANEXO 17. OFERTA HÍDRICA TOTAL SUBCUENCA RÍO TUTA	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fases de una Cuenca Representadas por la Curva Hipsométrica	19
Figura 2	Procedimiento para Determinar Orden de Red Hídrica	25
Figura 3	Procedimiento para determinar oferta hídrica	26
Figura 4	Delimitación y Características Físicas de la Subcuenca Río Tuta	29
Figura 5	Elevaciones de la subcuenca río Tuta	30
Figura 6	Pendientes en % de la Subcuenca Río Tuta.....	31
Figura 7	Intervalo de Alturas Promedio de la Subcuenca Río Tuta	32
Figura 8	Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes de la Subcuenca Río Tuta.....	33
Figura 9	Orden de la Red Hídrica de la Subcuenca Río Tuta	34
Figura 10	Precipitación Anual Subcuenca Río Tuta	36
Figura 11	<i>Temperatura anual subcuenca río Tuta</i>	38
Figura 12	<i>Evapotranspiración real anual subcuenca río Tuta</i>	39
Figura 13	<i>Escorrentía superficial subcuenca río Tuta</i>	40
Figura 14	<i>Oferta hídrica total subcuenca río Tuta</i>	41
Figura 15	<i>Porcentaje de demanda hídrica por usos</i>	42
Figura 16	<i>Configuración de geovisor mediante AppBuilder</i>	43
Figura 17	<i>Presentación del geovisor</i>	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de Cuencas de Acuerdo al Área.....	16
Tabla 2	Clases de Compacidad según Kc.....	17
Tabla 3	Clasificación Factor de Forma Kf.....	17
Tabla 4	Rango de Pendientes según IGAC.....	18
Tabla 5	Parámetros físicos de la subcuenca río Tuta.....	28
Tabla 6	Parámetros de forma de la subcuenca río Tuta.....	29
Tabla 7	Resultados elevación de la subcuenca río Tuta	30
Tabla 8	Clasificación en rangos de pendientes en la subcuenca río Tuta	31
Tabla 9	Cálculo de curva hipsométrica	33
Tabla 10	Estaciones meteorológicas en el área de influencia subcuenca río Tuta	35
Tabla 11	Precipitación media anual por estación	36
Tabla 12	Precipitación anual (mm/año) subcuenca río Tuta.....	36
Tabla 13	Estaciones en el área de influencia subcuenca río Tuta.....	37
Tabla 14	Temperatura media anual por estación	37
Tabla 15	Temperatura anual (°C) subcuenca río Tuta	37
Tabla 16	Evapotranspiración potencial anual (mm/año) subcuenca río Tuta.....	38
Tabla 17	Evapotranspiración real anual (mm/año) subcuenca río Tuta.....	39
Tabla 18	Escorrentía superficial anual (mm) subcuenca río Tuta.....	40
Tabla 19	Oferta hídrica en metros cúbicos por segundo en la subcuenca río Tuta	41
Tabla 20	Demanda hídrica en metros cúbicos por segundos en la subcuenca río Tuta	42

INTRODUCCIÓN

Definimos el agua como elemento esencial para el funcionamiento de todos los elementos vivos del planeta e imprescindible para sostener la biodiversidad, ya que su escasez es sinónimo de pérdida de especies y ecosistemas; por estas razones el mundo ha avanzado de manera significativa en aunar esfuerzos para la protección y conservación del recurso hídrico, lo cual incluye generación de conocimiento en términos de la disponibilidad y/o escasez de dicho recurso.

Conocer las características físicas, comportamiento y disponibilidad del recurso hídrico permite evaluar y reducir los impactos relacionados con administración y manejo; fortalecer la gobernanza del agua basada el ejercicio de las funciones delegadas en las instituciones públicas y la participación de los sectores de la sociedad.

El departamento de Boyacá cuenta con gran diversidad de fuentes de agua que constituyen una valiosa reserva hídrica; el departamento se encuentra dentro de las áreas hidrográficas Orinoco y Magdalena-Cauca, dentro de esta última se encuentra la cuenca del río Chicamocha, siendo una de las más importantes para el departamento, puesto que drena aproximadamente la tercera parte del recurso hídrico del territorio Boyacense y recorre los principales municipios: Tunja, Paipa, Duitama y Sogamoso.

La subcuenca del río Tuta es de especial interés puesto que se encuentra localizada en los municipios de Chivata, Oicata, Siachoque, Tuta y Toca e incluye el Embalse la Copa que es fundamental en la regulación de caudales de la cuenca, debido a su gran importancia es pertinente realizar el análisis de las características morfométricas, la oferta y la demanda hídrica como indicadores para la gestión y administración del recurso hídrico.

Cuando se piensa en la disponibilidad y/o escasez del recurso hídrico es pertinente evaluar variables como precipitación, temperatura, evapotranspiración, oferta y demanda del agua, balance hídrico, índice de escasez, entre otras, cuyo análisis requiere aplicación de diferentes conocimientos y el empleo de metodologías que permitan aproximarse al comportamiento

hidrológico de los sistemas hídricos, siendo los Sistemas de Información Geográfica SIG una herramienta pertinente para la visualización, el análisis y la presentación final de los resultados generados a partir de información geográfica y temática.

Los SIG se emplean en hidrología entre otras por su gran capacidad para gestionar datos distribuidos y referenciados en el mundo real; por esto, contar SIG en entidades del orden nacional, regional y local se convierte en herramientas básicas para la ejecución de funciones como es el caso de la administración de los recursos naturales como el agua.

Para la determinación de las condiciones hidrológicas de la subcuenca del río Tuta se utilizan herramientas SIG con las cuales se obtiene como resultado final un geovisor que permite consultar el caudal promedio sobre cualquier punto del área de estudio, siendo esta variable el punto de partida para administrar el recurso hídrico mediante las concesiones de agua que gestiona para el territorio la Corporación Autónoma Regional de Boyacá; es por esto, que el geovisor se presenta como una solución de consulta de variables técnicas para la toma de decisiones.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

Para la gestión de recurso hídrico es importante contar con información de oferta y demanda hídrica con el objetivo de determinar déficit y disponibilidad de agua y el comportamiento de la cuenca, subcuenca o niveles subsiguientes.

En Colombia, la administración de los recursos naturales se encuentra delegada en las autoridades ambientales, conforme a lo establecido en la Ley 99 de 1993; en este sentido, estas ejercen la función de otorgar concesiones, permisos, autorizaciones y licencias ambientales para el desarrollo de actividades que afecten o puedan afectar el medio ambiente.

De acuerdo con el Decreto 1541 de 1978 para el otorgamiento de concesiones de agua superficial se evalúa técnica y ambientalmente por lo menos los siguientes aspectos: aforo de la fuente, régimen hidrológico, población que se sirva de la misma fuente para usos domésticos, agrícola, pecuario, industria u otros usos que puedan afectarse, lugar y forma de restitución de sobrantes, efecto ambiental del uso solicitado y las demás que la autoridad ambiental estime conveniente.

Por lo expuesto, se considera pertinente que la autoridad ambiental en el ejercicio de sus funciones realice los análisis hidrológicos de cada una de las microcuencas, subcuencas y cuencas a fin de lograr una mayor aproximación al comportamiento del recurso hídrico y de esta manera se logre realizar una administración adecuada, equitativa y sostenible, para lo cual es probable aplicar herramientas SIG.

A partir de lo anteriormente expuesto, es posible preguntarse: ¿Cómo administrar de manera adecuada el recurso hídrico tomando como base las condiciones hidrológicas de la cuenca?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las condiciones hidrológicas de la subcuenca del río Tuta empleando herramientas SIG generando una herramienta para consulta mediante ArcGis Online.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características morfométricas de la subcuenca del río Tuta.
- Realizar análisis y procesamiento de información primaria y secundaria mediante herramientas SIG para determinar las características hidrológicas de la subcuenca del río Tuta.
- Estimar la oferta hídrica superficial anual promedio la subcuenca del río Tuta mediante un geovisor que permita la consulta del caudal disponible en cualquier punto del área de estudio, así como, la identificación de los usuarios del recurso hídrico

3. JUSTIFICACIÓN

Generar conocimiento de las condiciones hidrológicas de la subcuenca del río Tuta es importante para la planificación del uso del recurso hídrico a fin de definir estrategias a corto, mediano y largo plazo entre los diferentes actores de la subcuenca; por tal razón se determinan las características morfométricas, la demanda y oferta hídrica a partir de información cartográfica, hidrográfica y climatológica empleando herramientas SIG, las cuales facilitan cada uno de los cálculos y permiten de manera ágil obtener resultados como base para establecer lineamientos para la administración, protección y preservación del recurso hídrico en el área.

Es pertinente indicar que a pesar de que existen herramientas que permiten conocer la información hidrológica de la cuenca incluyendo variables como precipitación, escorrentía superficial, evapotranspiración y usuarios del recurso hídrico; no siempre se emplean dichas herramientas, lo cual, puede generar imprecisiones en la administración que se da al recurso hídrico; por ende, a través del presente proyecto se plantea una metodología basada en la aplicación de herramientas del software ArcGis, para determinar características morfométricas, oferta y demanda como una oportunidad para el procesamiento rápido, eficaz y acertado de la información requerida para la decisiones técnicas y ambientales relacionadas con la administración del recurso hídrico; así mismo, se emplea ArcGIS online para la creación del aplicativo a través de la herramienta AppBuilder para la configuración de las funcionalidades y finalmente la publicación del Geovisor para la consulta de la información obtenida.

4. REFERENTE TEÓRICO

4.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y SU APLICACIÓN EN HIDROLOGÍA

Los SIG ofrecen amplias opciones para almacenar, gestionar y analizar la información espacial de forma precisa, por lo que se han convertido en una herramienta fundamental en la toma de decisiones en diversas áreas.

La modelización hidrológica basada en modelos digitales de terreno pretende estimar los caudales generados en una cuenca a partir de sus características topográficas, así como las áreas inundables en función de la altura esperable de las láminas de agua. Evidentemente, es necesario compaginar los resultados obtenidos a partir de los modelos de elevaciones con estimaciones de la capacidad de infiltración de los suelos o la estimación de precipitaciones máximas esperables.

Para realizar análisis de las características hidrológicas de las cuencas se pueden emplear herramientas que permiten procesar datos espaciales básicos como ArcToolbox de ArcGis, esta misma aplicación es útil para realizar procesamiento de interpolación espacial que es de gran utilidad en la hidrología puesto que hace parte integral del campo de la geoestadística; la interpolación espacial se basa en el cálculo o la estimación de valores desconocidos de una variable espacial a partir de otros valores cuyo valor es conocido.

Para el análisis hidrológico de una cuenca las variables climáticas son las que más frecuentemente requieren de esta clase de análisis, puesto que las estaciones meteorológicas no permitan conocer el valor exacto de temperatura y precipitación sobre todos y cada uno de los puntos de un territorio.

Otra herramienta útil para gestionar la información es ArcGIS Online; pues, es una plataforma de mapeo basada en la nube para organizaciones. Los usuarios que obtienen acceso al contenido dinámico y autorizado para crear, colaborar, catalogar y compartir mapas, datos y aplicaciones entre sí, con toda la organización o con el público (ESRI, 2012).

En general, los SIG facilitan la ejecución de operaciones y análisis entre capas de información, nos permiten observar la distribución espacial de los resultados y resultan especialmente útiles a la hora de visualizar y generar cartografía que presente de forma clara los resultados obtenidos; por esto se puede afirmar que los SIG son una tecnología fundamental para la gestión hidrológica, ya que facilitan la realización de cálculos y la disposición de la información a los actores e involucrados.

4.2. CARACTERÍSTICAS MORFOMETRICAS DE LA CUENCA

Las características morfométricas de una cuenca tienen una relación directa con el comportamiento de los caudales que transitan por ella; estas, se integran como un conjunto de estimaciones que permiten conocer los rasgos propios de las cuencas hidrográficas en valores numéricos, los cuales están relacionados con el régimen hidrológico; las formas de la superficie terrestre y la altitud tienen una influencia directa sobre los más importantes factores del régimen hidrológico como precipitación, escorrentía, infiltración, formación de depósitos y sedimentos.

Dichas características se pueden clasificar en dos tipos: las que condicionan el volumen de escurrimiento, como el área de la cuenca y el tipo de suelo, las que condicionan la velocidad de respuesta como son el orden de corrientes, pendientes y los cauces.

4.2.1. Parámetros físicos de la cuenca

4.1.1.1 Área de la cuenca

Es el área plana en proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directamente o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio, normalmente se expresa en kilómetros cuadrados o hectáreas.

Según Campos Aranda (1998) las cuencas se clasifican de acuerdo a la superficie como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1*Clasificación de Cuencas de Acuerdo al Área*

Área (Km²)	Clasificación
<25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia – pequeña
500 a 2500	Intermedia – grande
2500 a 50000	Grande
>50000	Muy grande

Nota: Tomado Proceso del ciclo hidrológico, por Campos Aranda, 1998

4.1.1.2 Perímetro de la cuenca

El perímetro de la cuenca es la longitud de la línea divisoria en proyección horizontal, es decir, el contorno de la superficie de la cuenca, se expresa en kilómetros.

4.1.1.3 Longitud recta de la cuenca (L)

La cuenca presenta una longitud que comprende desde el punto de desagüe de la cuenca hasta la parte más alta de la misma, por lo tanto, es una dimensión perpendicular a la dirección del cauce principal (Cortolima, 2018)

4.1.1.4 Longitud de cauce (Lc)

Es la longitud del cauce más largo dentro de la cuenca, es decir, el cauce principal

4.1.1.5 Ancho de la cuenca (W)

Es la relación existente entre el área de la cuenca (A) y su longitud (L), de modo que: Ancho (W) = área cuenca/longitud cuenca

4.2.2. Parámetros de forma de la cuenca

4.1.2.1 Coeficiente de compacidad o índice de gravelius (Kc)

Es el cociente entre el perímetro de la cuenca y la longitud de una circunferencia con un área igual a la de la cuenca y se representa mediante la siguiente fórmula (Albarracín y Barbaro (2009), se calcula así:

$$Kc = \frac{\text{Perímetro cuenca (P)}}{2\sqrt{\pi * \text{Área cuenca}}}$$

Según Fuentes (2004), si el valor Kc es igual a 1 la cuenca tendría una forma exactamente circular y entre más cercano este a 1 la respuesta hidrológica será más rápida, mientras el

coeficiente se acerque a la unidad demuestra la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento, por lo que, si el valor de K_c es más bajo, habrá una alta concentración de agua en la cuenca.

En la Tabla 2 se presentan las clases de compacidad con base en el valor de K_c según Campos Aranda (1998)

Tabla 2

Clases de Compacidad según K_c

Rangos K_c	Clases de compacidad
1.00 – 1.25	Casi redonda a oval redonda (compacta)
1.25 – 1.50	A oval oblonga
1.50 -1.75	A rectangular oblonga
>1.75	A casi rectangular (alargada)

Nota: Tomado Proceso del ciclo hidrológico, por Campos Aranda, 1998

4.1.2.2 Factor de forma (K_f)

Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca. Intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma (Cardona, 2016), de esta manera es posible determinar si la cuenca es susceptible a inundaciones, mediante la ecuación: $K_f = \text{Área cuenca} / \text{Longitud cuenca}^2$.

Tabla 3

Clasificación Factor de Forma K_f

Valores aprox.	Forma de la cuenca
menor a 0.22	Muy alargada
0.22-0.30	Alargada
0.30-0.37	Ligeramente alargada
0.37-0.45	Ni alargada, ni ensanchada
0.45-0.60	Ligeramente ensanchada
0.60-0.80	Ensanchada
0.80-1.20	Muy ensanchada
Mayores a 1.20	Rodeando el desagüe

Nota: Barrera y Gómez, 2017

4.1.3 Parámetros de relieve de la cuenca

Los parámetros de relieve son de gran importancia por la influencia sobre la respuesta hidrológica, se puede decir que a mayor relieve o pendiente la generación de esorrentía se produce en lapsos de tiempo menores.

4.1.3.1 Elevación media

La elevación de la cuenca está directamente relacionada con los factores climáticos y, por ende, con el régimen hidrológico; la variación altitudinal brinda una base para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas diferentes dentro de la misma cuenca.

Esta característica se determina a partir de la curva hipsométrica de la cuenca, dado que esta es la representación de la variación altitudinal en la cual puede observarse la distribución de las zonas altas, medias y bajas.

4.1.3.2 Pendiente media

Es la variación de la inclinación de la cuenca, define el comportamiento de la cuenca respecto al desplazamiento de las capas de suelo (erosión o sedimentación), puesto que, en zonas de altas pendientes, se presentan con mayor frecuencia los problemas de erosión mientras que en regiones planas aparecen principalmente problemas de drenaje y sedimentación.

En la Tabla 4 se muestra la clasificación de las cuencas según la pendiente:

Tabla 4

Rango de Pendientes según IGAC

Gradiente	Descripción
0 – 3	Plano
3 – 7	Ligeramente inclinado
7 – 12	Moderadamente inclinado
12 -25	Fuertemente inclinado
25 – 50	Ligeramente escarpado
50 – 75	Moderadamente escarpado
>75	Fuertemente escarpado

Nota: Tomado de Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2013

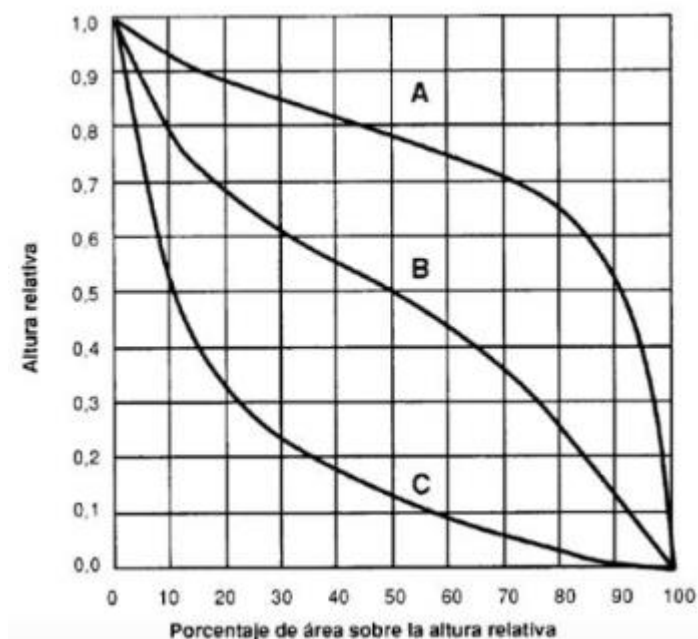
4.1.2.1 Curva hipsométrica

La curva hipsométrica está relacionada directamente con las elevaciones, proporciona información sintetizada sobre la altitud de la cuenca y se refiere a una representación gráfica de la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura (Breña y Jacobo, 2006). La grafica presenta en las coordenadas (eje y), las cotas de altura de la cuenca y en las abscisas (eje x), el porcentaje acumulado de la superficie de la cuenca. Con la curva hipsométrica se puede determinar la fase en la que se encuentra la cuenca como se observa en la Figura 1 (Domínguez, 2015)

- Curva A, Fase de juventud: refleja una cuenca con un gran potencial erosivo
- Curva B, Fase de madurez: representa una cuenca en equilibrio
- Curva C, Fase de vejez: es representativa de una cuenca sedimentaria

Figura 1

Fases de una Cuenca Representadas por la Curva Hipsométrica



Nota: Tomado de *Qué es una curva hipsométrica*, por Domínguez, M, 2015, www.ingeciv.com/que-es-una-curva-hipsometrica/

4.1.4 Parámetros de drenaje de la cuenca

4.1.4.1 Orden de la red hídrica de la cuenca

Mediante este parámetro se define el grado de bifurcación de la cuenca. Este cálculo se realiza a partir de la definición del cauce principal, definición de canales pequeños que no tienen tributarios y determinación de canales secundarios

4.1.4.2 Densidad de drenaje

Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión. La densidad de drenaje varía inversamente con la extensión de la cuenca. Generalmente la densidad de drenaje es expresada en Km/Km², tomando valores que van desde 0,5 Km/Km² (cuencas con drenaje pobre) hasta 3,5 Km/Km² (cuencas excepcionalmente bien drenadas), se determina mediante la siguiente formula: $Dd = \text{Longitud red hídrica (Km)} / \text{Área cuenca (Km}^2\text{)}$

4.2 OFERTA HIDRICA

Por oferta hídrica superficial se entiende aquella porción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo-cobertura vegetal escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directa o indirectamente al mar. Usualmente esta porción de agua que escurre por los ríos es denominada por los hidrólogos como esorrentía superficial y su cuantificación conforma el elemento principal de medición en las redes de seguimiento hidrológico existentes en distintos países. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2004)

Para determinar la oferta hídrica superficial total en m³/s se emplea la siguiente expresión propuesta en la guía metodológica para el cálculo del índice de escasez establecida por el IDEAM (2004)

$$Q = \frac{Y * (A * 1000)}{t}$$

Donde;

Y: Escorrentía superficial (mm)

A: Área de la subcuenca (Km²)

t: periodo de agregación (segundos)

4.2.1 Precipitación

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Musy, 2001)

4.2.2 Temperatura

Puede definirse como la cantidad de energía solar, retenida por el aire en un momento dado, se afirma que la temperatura depende ante todo de la radiación solar, sin embargo, también depende de otros factores como la altitud, la latitud y la proximidad al mar.

La representación de la variación espacial y temporal de la precipitación y la temperatura puede hacerse mediante mapas de isoyetas para la precipitación e isotermas para la temperatura; son contornos de precipitación y temperatura constantes que se construyen interpolando información que se registra por las estaciones climatológicas, pluviográficas, pluviométricas, etc.

4.2.3 Evapotranspiración

Los factores principales que influyen en la evaporación desde una superficie abierta de agua son el suministro de energía para proveer el calor latente de evaporación, y la habilidad para transportar el vapor fuera de la superficie de evaporación. La radiación solar es la principal fuente de energía calórica. La habilidad de transporte del vapor fuera de la superficie de evaporación depende de la velocidad del viento sobre esa superficie y del gradiente de humedad específica

en el aire por encima de ellas. La evapotranspiración comprende la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación, en la que además de los dos factores determinantes ya mencionados, se debe tener en cuenta el suministro de agua a la superficie de evaporación. Así a medida que el suelo se seca, la tasa de evaporación cae por debajo del nivel que tendría en un suelo bien humedecido (Chow y Mays. 1994:82).

Holdridge (1959) publicó una simple expresión para estimar evapotranspiración potencial ETP, esta expresión es función de la temperatura del aire comprendida entre los 0°C y 30°C, que determina el ritmo e intensidad de los procesos fisiológicos de las plantas (fotosíntesis, respiración y transpiración) y la tasa de evaporación directa del agua contenida en el suelo y en la vegetación, dicha expresión corresponde a: $ETP = Cho * T$, donde; Cho es 58,93 para estimaciones anuales y 0,161 para estimaciones diarias y T: Temperatura en °C.

Para la determinación de la oferta hídrica se requiere conocer la evapotranspiración real, que corresponde a la cantidad de agua que se evapora desde una superficie de agua o desde un terreno durante un tiempo determinado (INAMHI, 2006).

Según FAO (2006) para calcular la evapotranspiración real, se debe considerar que las fuerzas que actúan sobre el agua disminuyen su energía potencial y la hacen menos disponible para la extracción por las plantas. Cuando el suelo se encuentra húmedo, el agua puede ser extraída fácilmente por las plantas; mientras que en suelos secos el agua es retenida por fuerzas capilares y de adsorción a la matriz del suelo y por tanto es menos extraíble por el cultivo.

La evapotranspiración real se puede determinar mediante la siguiente expresión: $ER = k * ETP$, donde k es la constante evaporimétrica y ETP es la Evapotranspiración potencial

La constante k varía entre 0,35 y 0,85, generalmente, se usa como valor promedio $k=0,7$

4.2.4 Escorrentía superficial

La escorrentía es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes o intermitentes, y que regresa al mar. Dicho de otra manera, la escorrentía superficial en términos de lámina de agua representa la cantidad de agua escurrida

y distribuida uniformemente sobre el área aferente de la cuenca; la esorrentía superficial expresada en términos de rendimiento hídrico representa la cantidad de litros de agua escurrida durante un segundo por un kilómetro cuadrado en la unidad hidrológica en análisis.

Para determinar la esorrentía superficial se emplea la expresión $Y = \text{Precipitación} - \text{Evapotranspiración real}$

4.3 DEMANDA HIDRICA

La demanda hídrica es la suma de los volúmenes que se utilizan para diferentes actividades domésticas, agropecuarias, industriales, entre otras, es calculada con base en las concesiones de agua reglamentadas en Colombia bajo el Decreto 1076 de 2015; las concesiones son otorgadas por parte de las autoridades ambientales sobre las fuentes hídricas presentes en la subcuenca.

5 METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE TRABAJO

El trabajo presentado en este documento corresponde a una investigación aplicada, que comprende áreas de conocimiento como hidrología, ingeniería y sistemas de información geográfica.

5.2 PROCEDIMIENTO

5.2.1 Fase 1. Recopilación de información

- **Actividad 1.** Recopilación y organización de información climatológica
 - Se identificaron las estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de interés, teniendo en cuenta la ubicación geográfica y disponibilidad de información de precipitación y temperatura de al menos 20 años.
 - Se realizó la organización, depuración y análisis de los datos temperatura y precipitación del año 2000 al 2019, obteniendo precipitación y temperatura promedio anual de cada estación seleccionada.
- **Actividad 2.** Recopilación de información cartográfica
 - Se obtuvo cartografía de la subcuenca río Tuta a escala 1:100.000, entregada por parte de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá – Corpoboyacá.
 - Se descargó modelo de elevación digital DEM con resolución 12.5 X 12.5m del área de estudio del satélite Alos Palsar del servidor Earthdata de la NASA.
- **Actividad 3.** Recopilación de información demanda hídrica
 - Se obtuvo información de las concesiones de agua otorgadas por Corpoboyacá, incluye: identificación de usuario, caudal concesionado, uso concesionado y ubicación geográfica.
 - Se realizó depuración, estandarización y análisis de los datos de concesiones de aguas, para determinar el caudal de demanda total y caudal por cada uno de los usos del agua.

5.2.2 Fase 2. Determinación de características morfométricas

Actividad 1. Cálculo de parámetros físicos y de forma

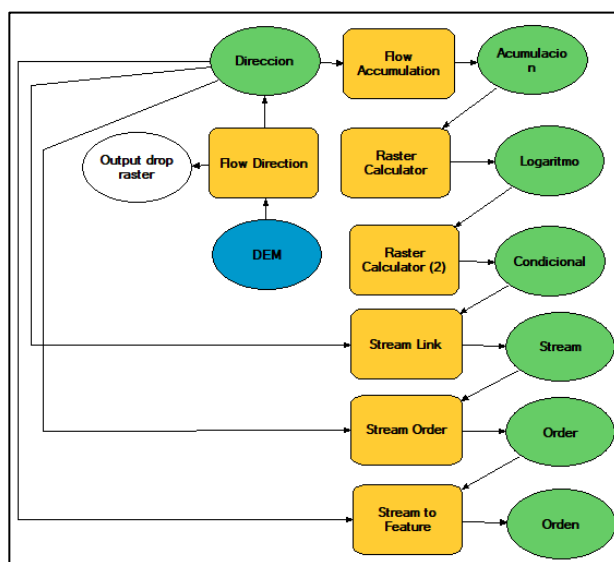
- Mediante la herramienta Calcular Geometría de Arcmap se determina el área, perímetro, longitud de corriente principal y longitud recta de la cuenca. El ancho de la cuenca se determina mediante la relación existente entre el área de la cuenca y su longitud.
- Empleando las expresiones indicadas en el numeral 4.1.2 de este documento, se determinan los parámetros de forma de la cuenca.

Actividad 2. Cálculo de parámetros de relieve

- Empleando el modelo digital de elevación y con la herramienta de análisis espacial reclasificación de Arcmap se identifican las zonas altitudinales, la cota mínima, máxima y promedio.
- Empleando el modelo digital de elevación, se determinan las pendientes en porcentaje del área de estudio mediante la herramienta Pendiente de Arcmap
- A partir del modelo digital de elevación del terreno y con el uso de las herramientas de Hidrología de Arcmap se determina el orden de la red hídrica de la cuenca.

Figura 2

Procedimiento para Determinar Orden de Red Hídrica



Elaboración propia

5.2.3 Fase 3. Determinación de oferta y demanda hídrica

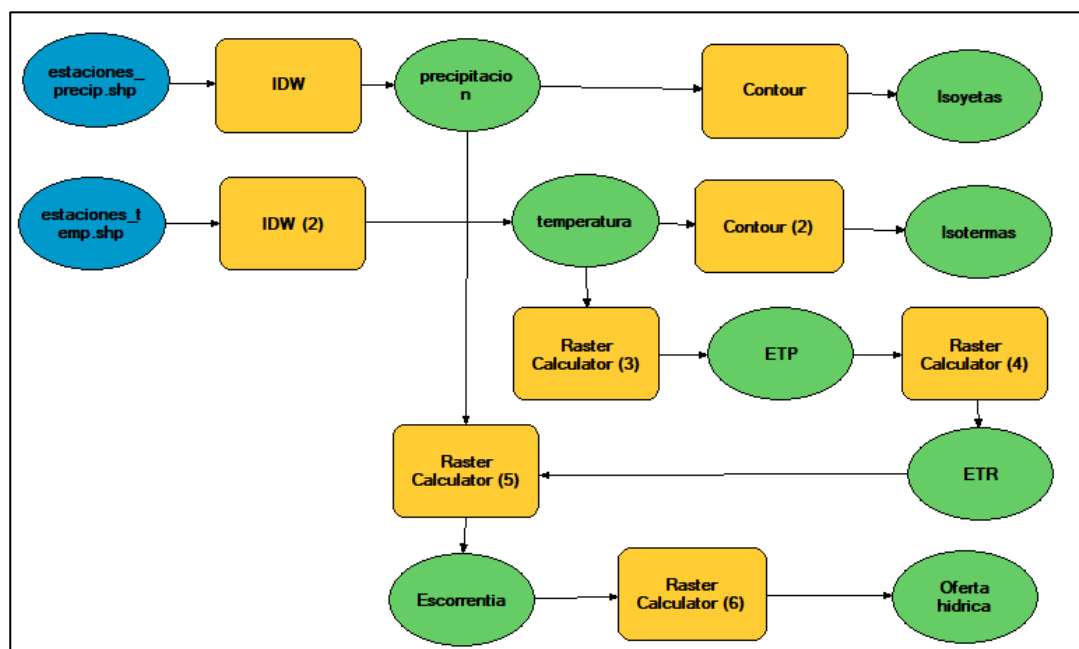
Actividad 1. Cálculo de oferta hídrica

Inicialmente se realiza interpolación de las variables precipitación y temperatura tomando como referencia el área de la subcuenca del río Tuta; la interpolación permite estimar los valores de precipitación y temperatura en toda el área de la subcuenca.

Tomando como base los valores de temperatura obtenidos, se determina la evapotranspiración potencial y real; la primera, es el producto de la constante Cho es 58,93 (Holdridge, 1959) y la segunda, es el producto de la evapotranspiración potencial por la constante k empleando un valor de 0,7 (FAO, 2006). Finalmente, se determina la escorrentía superficial que corresponde a la diferencia de la precipitación y la evapotranspiración real. Cada variable se calcula para toda la subcuenca empleando las herramientas ArcToolbox de ArcMap.

Figura 3

Procedimiento para determinar oferta hídrica



Elaboración propia

Actividad 2. Cálculo de demanda hídrica

Con la información de concesiones de agua otorgadas por Corpoboyacá en la subcuenca se realizó la clasificación por uso del agua y se sumaron los caudales expresados en m³/s.

- ✓ Se estandarizan los usos del agua y los caudales en las unidades m³/s.
- ✓ Se depuran valores repetidos e incompletos
- ✓ Se realiza sumatoria de caudales por usos del agua y caudal total.

5.2.4 Fase 4. Diseño e implementación de Geovisor

A partir de las capas vectoriales y raster obtenidas en los procesamientos expuestos en las fases 2 y 3 se crea un mapa web empleando ArcGis online y a través de la herramienta AppBuilder se realizaron los ajustes de presentación y configuración de widget que permiten consultar la información relacionada con la oferta y demanda hídrica, municipios presentes en el área, red hídrica y estaciones meteorológicas.

Por último, se definen los usuarios que pueden acceder al geovisor y se obtiene la URL de acceso al mismo

6 RESULTADOS

6.1 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA CUENCA

Empleando herramientas SIG se determinaron las características morfométricas de la cuenca del río Tuta, categorizadas en parámetros físicos como el área, perímetro, longitud recta, longitud cauce principal y ancho de la cuenca; parámetros de forma como el coeficiente de compacidad y factor de forma; parámetros de relieve como elevación y pendiente media y curva hipsométrica y parámetros de drenaje.

6.1.1 Parámetros físicos

A continuación, se presentan de los parámetros físicos de la subcuenca del río Tuta:

Tabla 5

Parámetros físicos de la subcuenca río Tuta

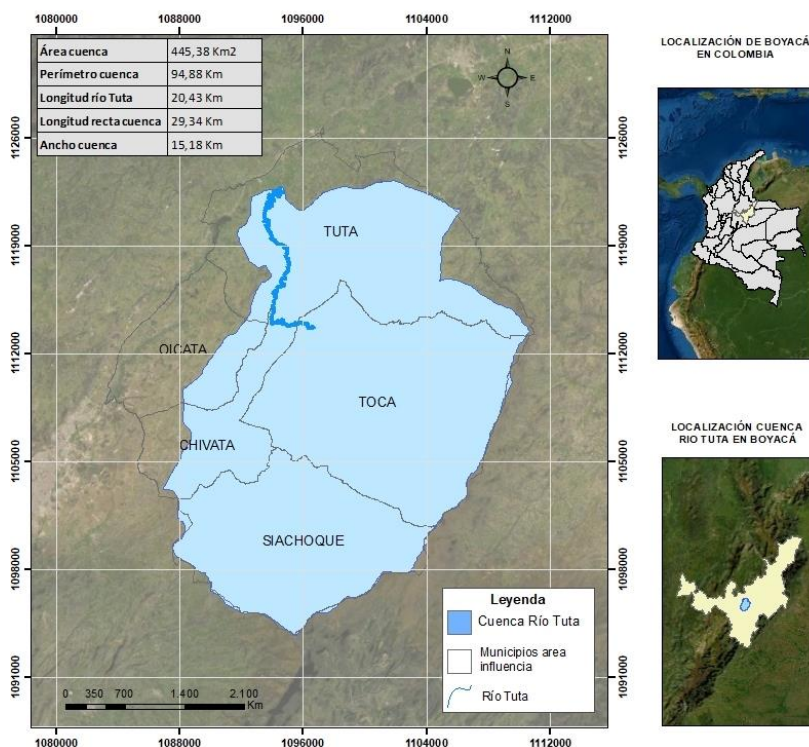
Parámetro	Valor
Área de la cuenca	445,38 Km ²
Perímetro de la cuenca	94,88 Km
Longitud corriente principal	20,43 Km
Longitud recta de la cuenca	29,34 Km
Ancho de la cuenca	15,18 Km

Elaboración propia

Igualmente, en la Figura 4 se presenta la delimitación de la subcuenca, la corriente principal que corresponde al río Tuta y los municipios presentes en el área de estudio.

Figura 4

Delimitación y Características Físicas de la Subcuenca Río Tuta



Elaboración propia

De acuerdo con la clasificación dada por Campos Aranda (1998) la subcuenca del río Tuta es de tamaño Intermedia-pequeña.

6.1.2 Parámetros de forma

Los parámetros de forma de la cuenca se determinan a partir de los parámetros físicos obteniendo lo siguiente:

Tabla 6

Parámetros de forma de la subcuenca río Tuta

Coeficiente de compacidad K _c	Factor de forma K _f
$K_c = \frac{94,88 \text{ km}}{2\sqrt{\pi * 445,38 \text{ km}^2}}$	$K_f = \frac{445,38 \text{ Km}^2}{(29,34 \text{ km})^2}$
K_c = 1,27	K_f = 0,52
A oval oblonga	Ligeramente ensanchada

Elaboración propia

6.1.3 Parámetros de relieve

Se determinaron las elevaciones de la subcuenca del río Tuta, a partir del modelo de elevación del terreno, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 7

Resultados elevación de la subcuenca río Tuta

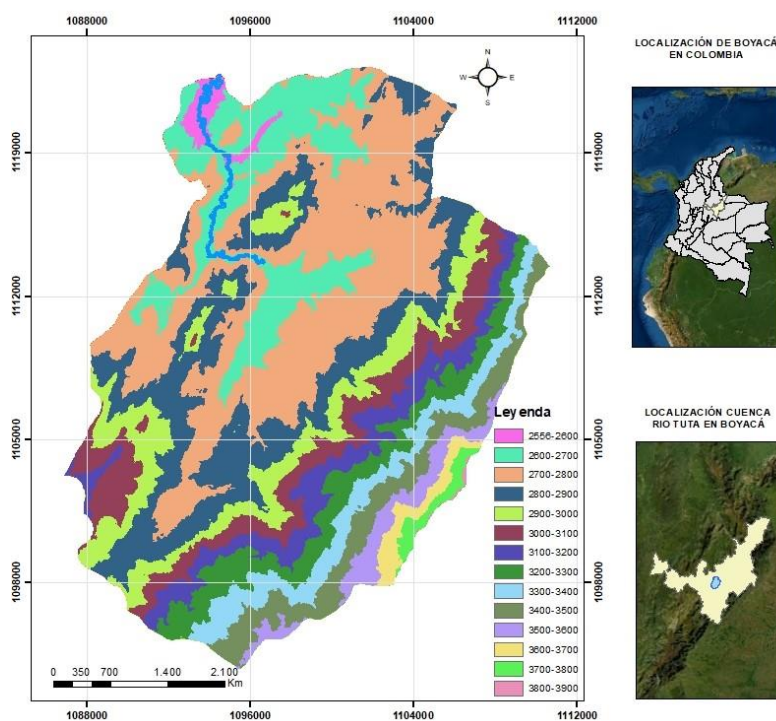
Elevación	m.s.n.m.
Mínima	2556
Máxima	3852
Media	2957
Más frecuente	2724

Elaboración propia

En la siguiente imagen se presentan las zonas altitudinales de la subcuenca del río Tuta, obtenido a partir del modelo digital de elevación.

Figura 5

Elevaciones de la subcuenca río Tuta



Elaboración propia

Igualmente, se determinaron las pendientes de la cuenca del río Tuta obteniendo la siguiente clasificación de acuerdo con los rangos de pendientes propuestos por el IGAC

Tabla 8

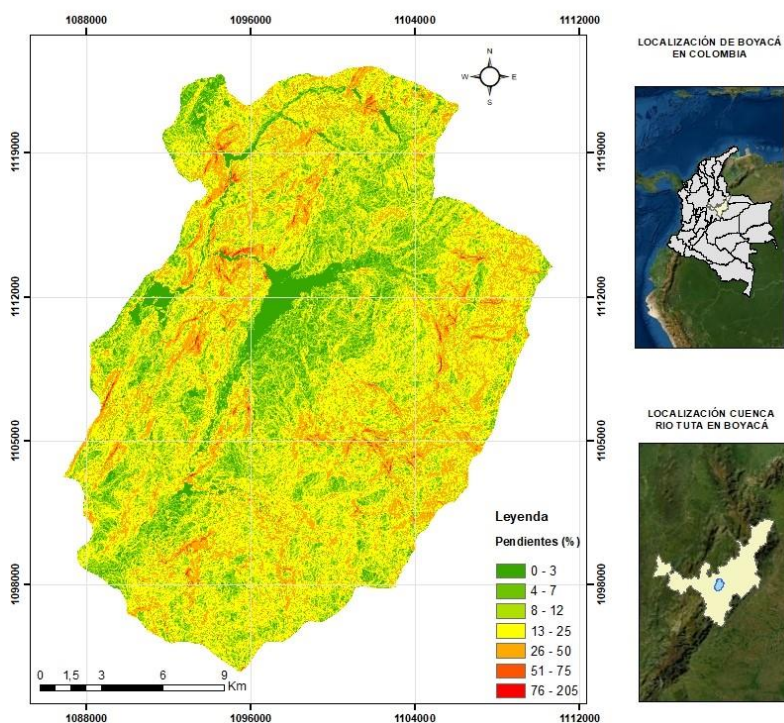
Clasificación en rangos de pendientes en la subcuenca río Tuta

Gradiente	Descripción	Porcentaje área
0 – 3	Plano	6,36%
4 – 7	Ligeramente inclinado	10,83%
8 – 12	Moderadamente inclinado	21,64%
13 -25	Fuertemente inclinado	43,07%
26 – 50	Ligeramente escarpado	17,07%
51 – 75	Moderadamente escarpado	0,96%
>75	Fuertemente escarpado	0,07%

Elaboración propia

Figura 6

Pendientes en % de la Subcuenca Río Tuta



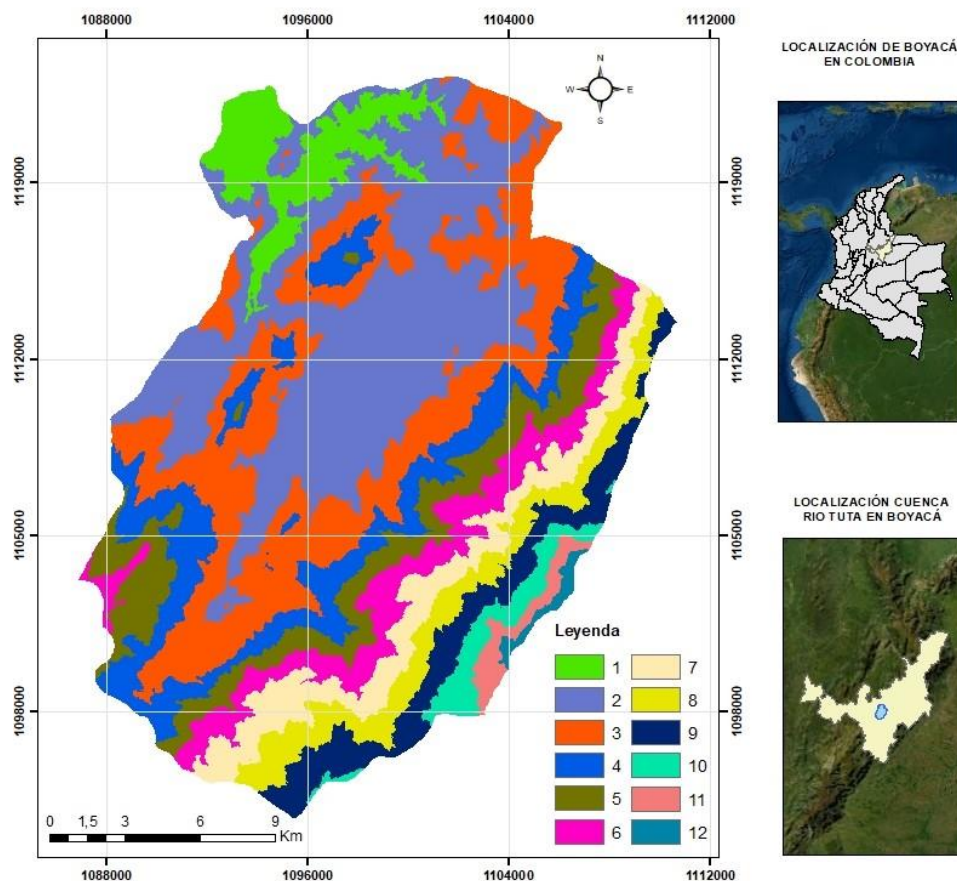
Elaboración propia

Se puede observar que la mayor área corresponde a pendientes entre 13% y 25%; pues el 43,07% de la superficie de la subcuenca corresponde a relieve fuertemente inclinado.

Para definir la curva hipsométrica se determinaron los intervalos de alturas por áreas de la subcuenca, en la figura X y la tabla X se especifican los detalles de elevación y las áreas acumuladas empleados para crear la curva hipsométrica y la gráfica frecuencia de altitudes presentadas en la Figura 7

Figura 7

Intervalo de Alturas Promedio de la Subcuenca Río Tuta



Elaboración propia

En la Tabla 9 y Figura 8 se presentan los resultados obtenidos mediante Arcmap para la construcción de la curva hipsométrica:

Tabla 9

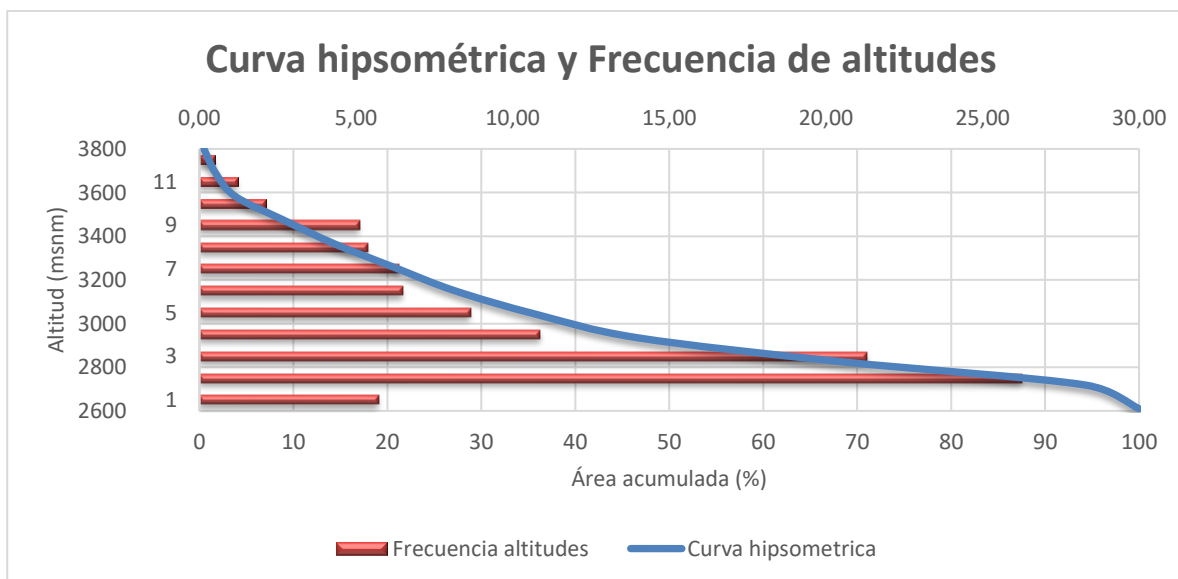
Cálculo de curva hipsométrica

No.	Cotas			Área (Km ²)			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Área (Km ²)	Área acumulada (Km ²)	Área (%)	Área acumulada (%)
1	2556	2664	2610	25,47	445,34	5,72	100,00
2	2665	2772	2719	116,95	419,87	26,26	94,28
3	2773	2880	2827	94,96	302,93	21,32	68,02
4	2881	2988	2935	48,45	207,97	10,88	46,70
5	2989	3096	3043	38,55	159,52	8,66	35,82
6	3097	3204	3151	28,94	120,96	6,50	27,16
7	3205	3312	3259	28,36	92,02	6,37	20,66
8	3313	3420	3367	23,90	63,66	5,37	14,29
9	3421	3528	3475	22,76	39,76	5,11	8,93
10	3529	3636	3583	9,40	17,00	2,11	3,82
11	3637	3744	3691	5,41	7,60	1,22	1,71
12	3745	3852	3799	2,18	2,18	0,49	0,49

Elaboración propia

Figura 8

Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes de la Subcuenca Río Tuta



Elaboración propia

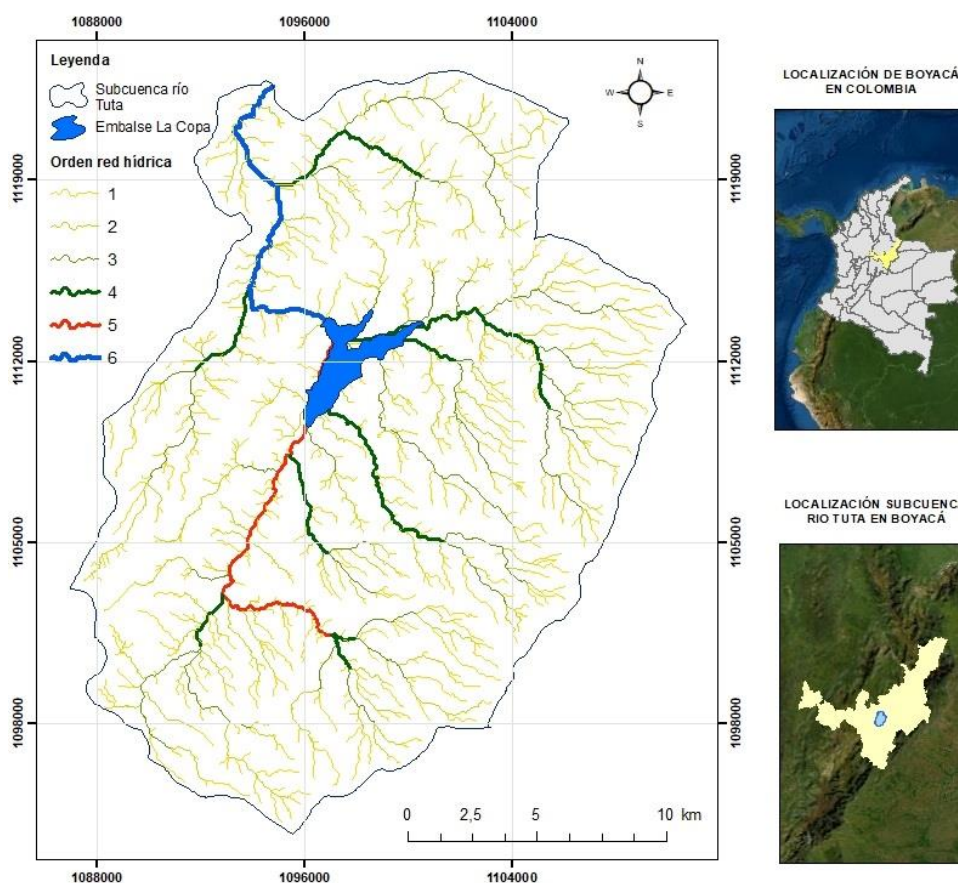
Tomando como referencia Domínguez (2015), la cuenca se encuentra en fase de madurez, lo cual representa una cuenca en equilibrio.

6.1.4 Parámetros de drenaje

A partir del modelo de elevación de terreno y con el uso de las herramientas de Hidrología de Arcmap se determina el orden de la red hídrica y según la clasificación del orden de corrientes de agua, la subcuenca en estudio es de orden 6.

Figura 9

Orden de la Red Hídrica de la Subcuenca Río Tuta



Elaboración propia

Se determina la densidad de drenaje de la subcuenca así:

$$D_d = \frac{\text{Longitud red hídrica (Km)}}{\text{Area cuenca (Km}^2\text{)}}$$

$$D_d = \frac{831,16 \text{ Km}}{445,38 \text{ Km}^2}$$

$$D_d = 1,87 \text{ Km}^2/\text{Km}$$

Con base en el resultado de densidad de drenaje obtenido se considera una subcuenca excepcionalmente bien drenada, debido a que supera el 0,5 Km²/Km.

6.2 OFERTA HÍDRICA

6.1.1 Estimación precipitación

En la Tabla 11 se presentan la selección de estaciones meteorológicas, climatológicas, pluviométricas y pluviográficas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM presentes en el área de influencia de la subcuenca del río Tuta y vecinas más cercanas con información de precipitación mensual multianual.

Tabla 10

Estaciones meteorológicas en el área de influencia subcuenca río Tuta

Código	Nombre	Municipio	Tipo	Ubicación		
				Elevación	Longitud	Latitud
24030450	El Encanto	Oicata	PM	2645	-73,3233	5,60633
24030530	San Antonio	Tuta	PM	2580	-73,2342	5,69872
24030820	Los Azulejos	Tuta	PG	2780	-73,2101	5,66372
24035040	La Copa	Toca	CO	2700	-73,2087	5,57919
24030800	Casa Amarilla	Toca	PM	3200	-73,1635	5,53380

Elaboración propia

Las estaciones relacionadas anteriormente se seleccionaron teniendo en cuenta los registros de información histórica y ubicación; en la siguiente tabla se presenta la precipitación media anual reportada por cada estación teniendo en cuenta el registro de información histórico de 20 años, desde 2000 a 2019.

Tabla 11*Precipitación media anual por estación*

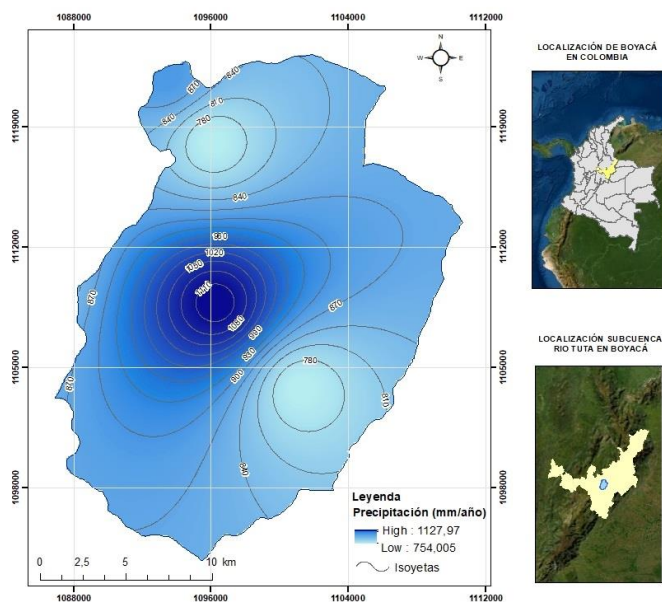
Código	Nombre	Municipio	Precipitación media anual (mm/año)
24030450	El Encanto	Oicata	736
24030530	San Antonio	Tuta	896
24030820	Los Azulejos	Tuta	754
24035040	La Copa	Toca	1128
24030800	Casa Amarilla	Toca	754

Nota: Tomado de IDEAM, 2021

Para determinar la precipitación en la subcuenca del río Tuta se realizó la interpolación a través del método IDW (ponderación de distancia inversa) mediante el software Arcgis, en la Tabla 13 y Figura 10 se observan los resultados obtenidos expresados en mm/año.

Tabla 12*Precipitación anual (mm/año) subcuenca río Tuta*

Máxima	Media	Mínima
1127,97	879,02	754,00

*Elaboración propia***Figura 10***Precipitación Anual Subcuenca Río Tuta**Elaboración propia*

6.1.2 Estimación temperatura

En la Tabla 14 se presentan la selección de estaciones climatológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM presentes en el área de influencia de la subcuenca del río Tuta y las vecinas más cercanas con información de temperatura media anual.

Tabla 13

Estaciones en el área de influencia subcuenca río Tuta

Código	Nombre	Municipio	Tipo	Ubicación		
				Elevación	Longitud	Latitud
2405170	Tunguavita	Paipa	AM	2470	-73,1163	5,7459
24035040	La Copa	Toca	CO	2700	-73,2087	5,5791
24025030	La Sierra	Duitama	CP	2700	-73,1638	5,9663

Elaboración propia

Las estaciones relacionadas anteriormente se seleccionaron teniendo en cuenta los registros de información histórica y ubicación; en la siguiente tabla se presenta la temperatura media anual reportada por cada estación teniendo en cuenta el registro de información histórico de 20 años, desde 2000 a 2019.

Tabla 14

Temperatura media anual por estación

Código	Nombre	Municipio	Temperatura media (°C)
2405170	Tunguavita	Paipa	14,9
24035040	La Copa	Toca	12,7
24025030	La Sierra	Duitama	12,3

Elaboración propia

Para determinar la temperatura en la subcuenca del río Tuta se realizó la interpolación a través del método IDW (ponderación de distancia inversa) mediante el software Arcgis, en la Tabla 16 se observan los resultados obtenidos expresados en mm/año.

Tabla 15

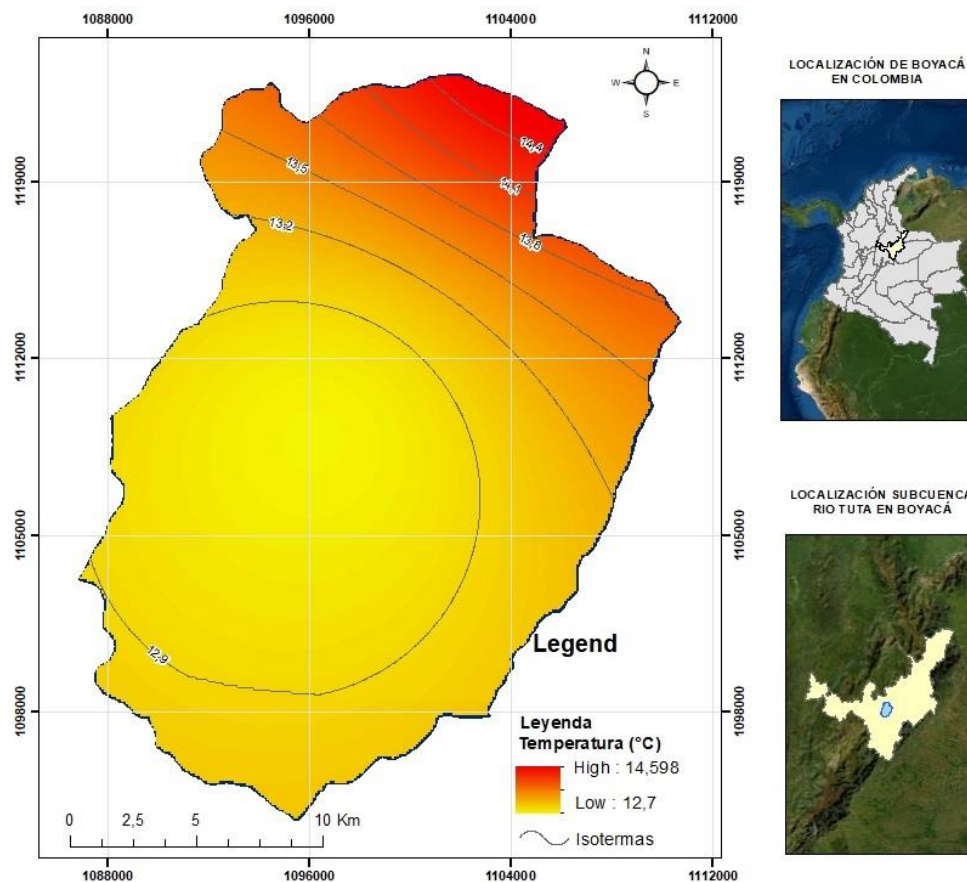
Temperatura anual (°C) subcuenca río Tuta

Máxima	Media	Mínima
14,59	13,10	12,7

Elaboración propia

Figura 11

Temperatura anual subcuenca río Tuta



Elaboración propia

6.1.3 Estimación evapotranspiración potencial y real

Empleando la fórmula de Holdridge (1967) se determina la evapotranspiración potencial anual, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla 17

Tabla 16

Evapotranspiración potencial anual (mm/año) subcuenca río Tuta

Máxima	Media	Mínima
860,25	772,40	748,41

Elaboración propia

Posterior a la determinación de la evapotranspiración potencial se calcula la evapotranspiración real, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 17

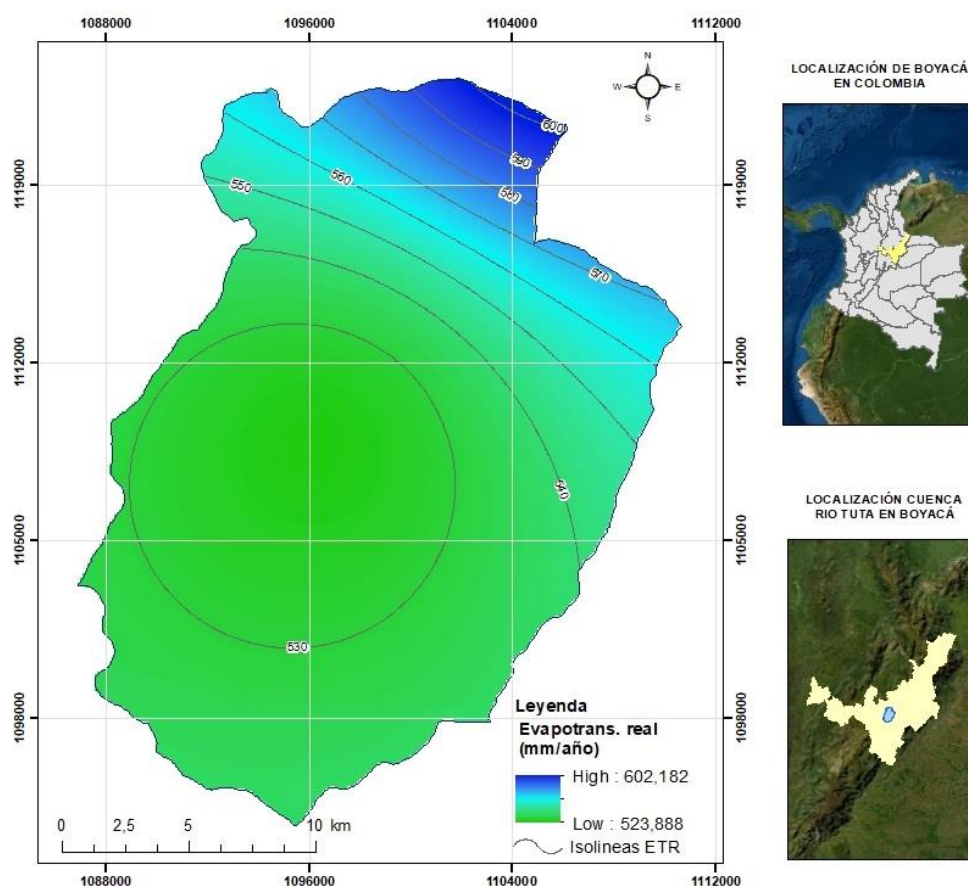
Evapotranspiración real anual (mm/año) subcuenca río Tuta

Máxima	Media	Mínima
602,18	540,68	523,88

Elaboración propia

Figura 12

Evapotranspiración real anual subcuenca río Tuta



Elaboración propia

6.1.4 Estimación escorrentía superficial

Con una sustracción de la precipitación y la evapotranspiración real determinada se estima el escurrimiento superficial obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 18

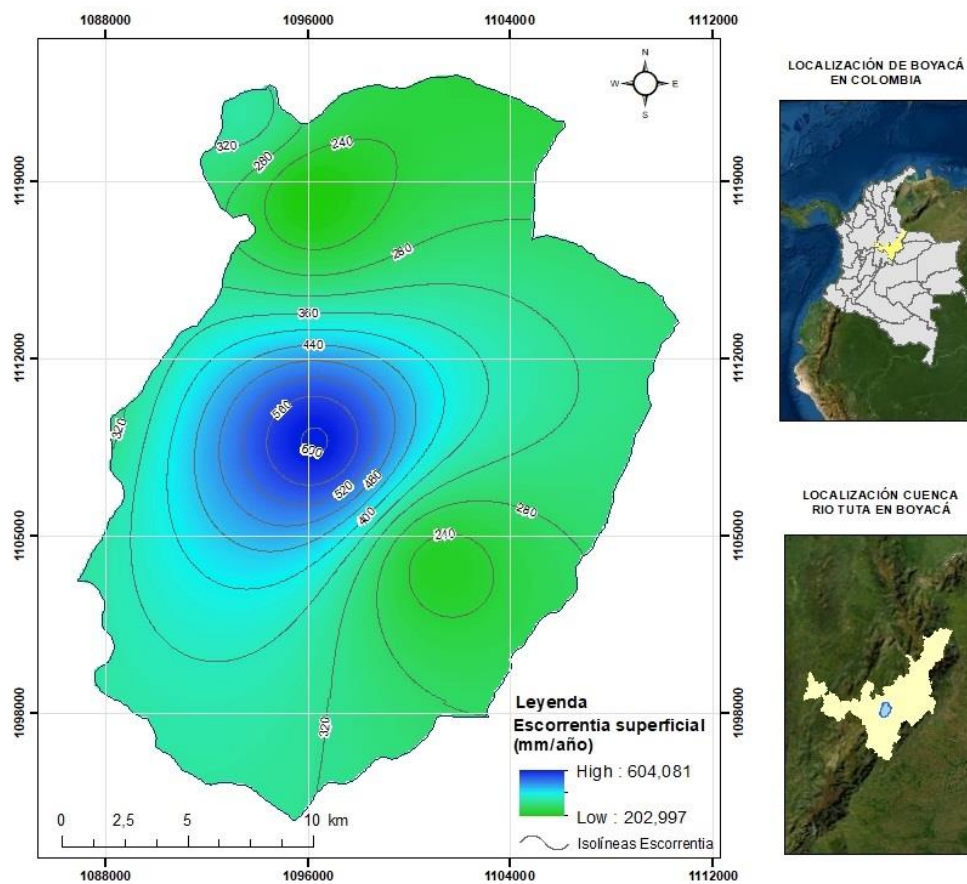
Escorrentía superficial anual (mm) subcuenca río Tuta

Máxima	Media	Mínima
604,08	338,33	202,99

Elaboración propia

Figura 13

Escorrentía superficial subcuenca río Tuta



Elaboración propia

6.1.5 Estimación oferta hídrica

Con base en la escorrentía superficial obtenida se determina la oferta hídrica total, de lo cual se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 19

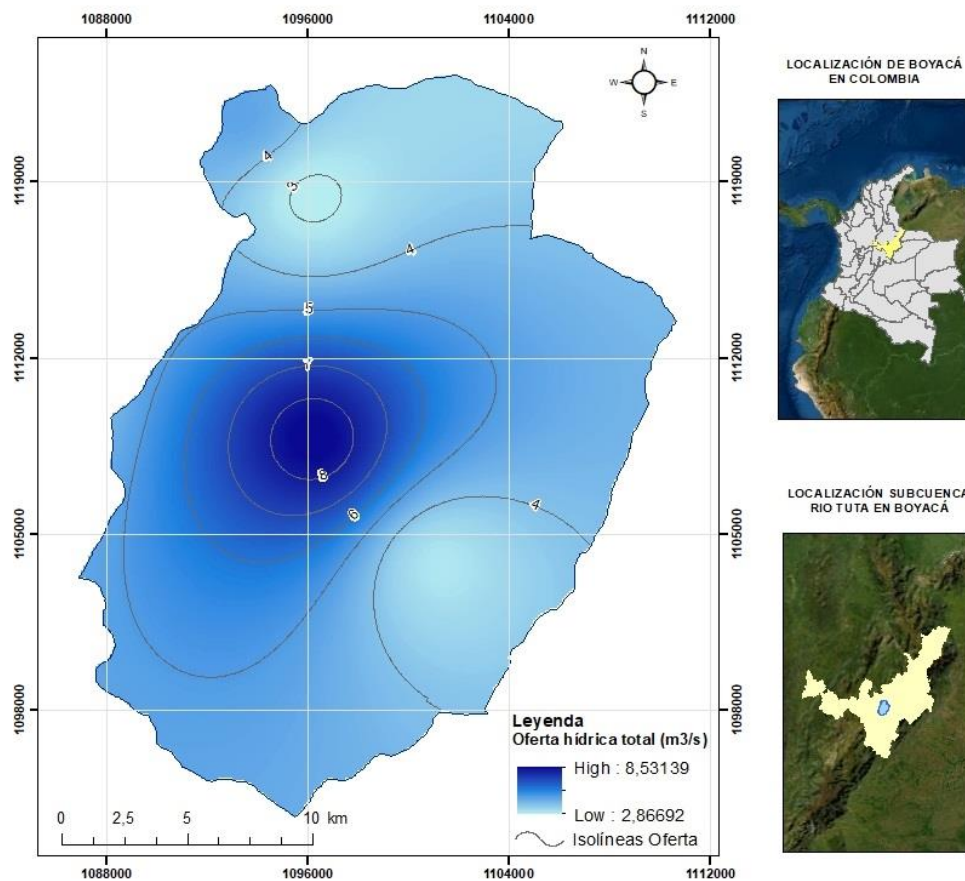
Oferta hídrica en metros cúbicos por segundo en la subcuenca río Tuta

Máxima	Media	Mínima
8,53	4,77	2,86

Elaboración propia

Figura 14

Oferta hídrica total subcuenca río Tuta



Elaboración propia

6.2 DEMANDA HÍDRICA

En la Tabla 21 y la Figura 15, se muestra la demanda de agua para diferentes usos dentro de la subcuenca del río Tuta, donde se puede observar que los mayores consumos corresponden a los usos doméstico y agropecuario.

Tabla 20

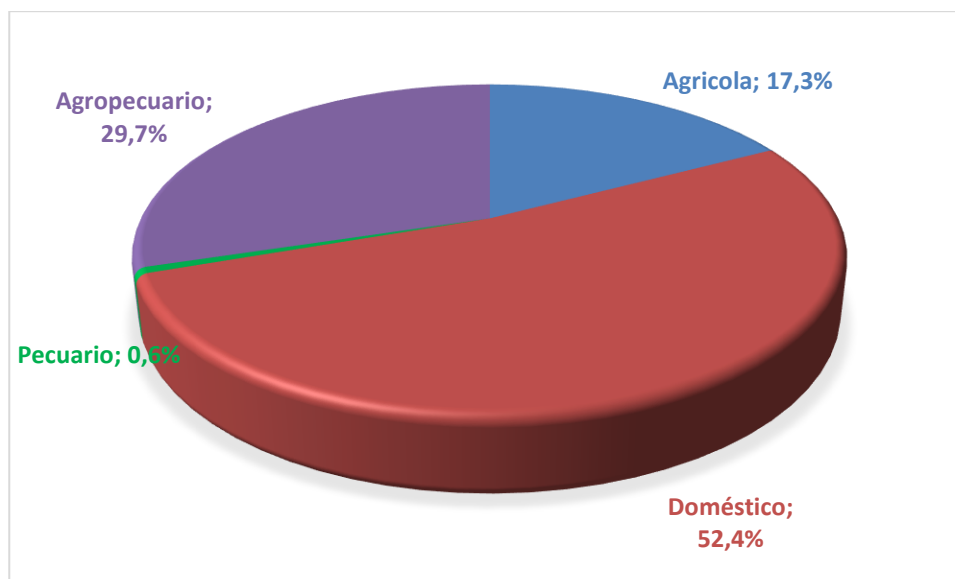
Demanda hídrica en metros cúbicos por segundos en la subcuenca río Tuta

Uso	Caudal (m ³ /s)	Porcentaje
Agrícola	0,22	17,3 %
Doméstico	0,66	52,04 %
Pecuario	0,01	0,6 %
Agropecuario	0,37	29,7 %
Total	1,25	100 %

Nota: Tomado de Corpoboyacá, 2021

Figura 15

Porcentaje de demanda hídrica por usos



Elaboración propia

El caudal total de demanda expresada en litros por segundo corresponde a 1,25 L/s

6.3 ÍNDICE DE ESCASEZ

Con base en la oferta media y la demanda hídrica en la subcuenca se determina el índice de escasez de acuerdo con lo establecido por el IDEAM:

$$IE = \frac{\text{Demanda hídrica (m}^3/\text{s)}}{\text{Oferta hídrica (m}^3/\text{s)}} * 100\%$$

$$IE = \frac{1,25 \text{ m}^3/\text{s}}{4,77 \text{ m}^3/\text{s}} * 100\%$$

$$IE = 26,3\%$$

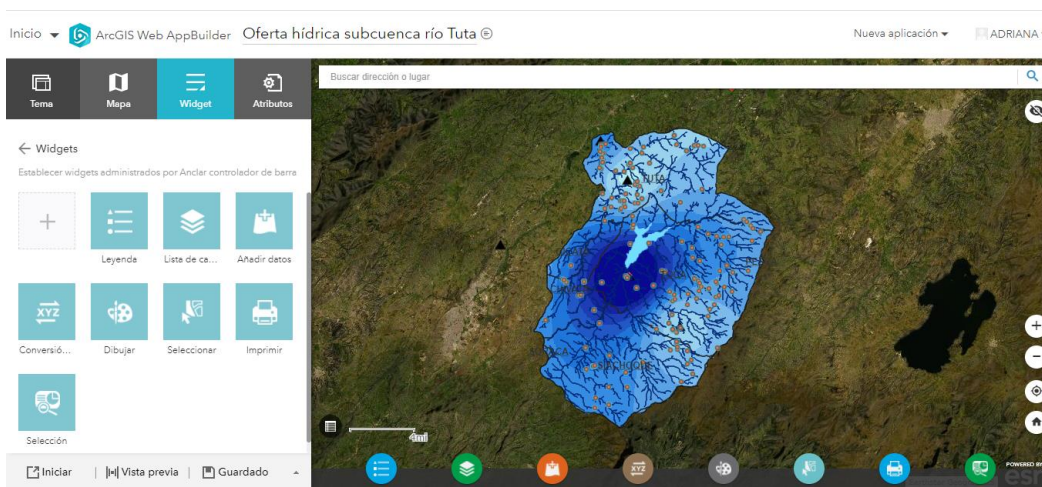
El resultado obtenido corresponde a la categoría Alto, lo cual indica que la presión de la demanda es alta respecto a la oferta superficial disponible.

6.4 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS MEDIANTE GEOVISOR

A partir de las capas vectoriales y raster obtenidas se crea un mapa web empleando ArcGIS online y a través de la herramienta AppBuilder se realizaron los ajustes de presentación y configuración de widget que permiten consultar la información relacionada con la oferta y demanda hídrica, municipios presentes en el área, red hídrica y estaciones meteorológicas.

Figura 16

Configuración de geovisor mediante AppBuilder

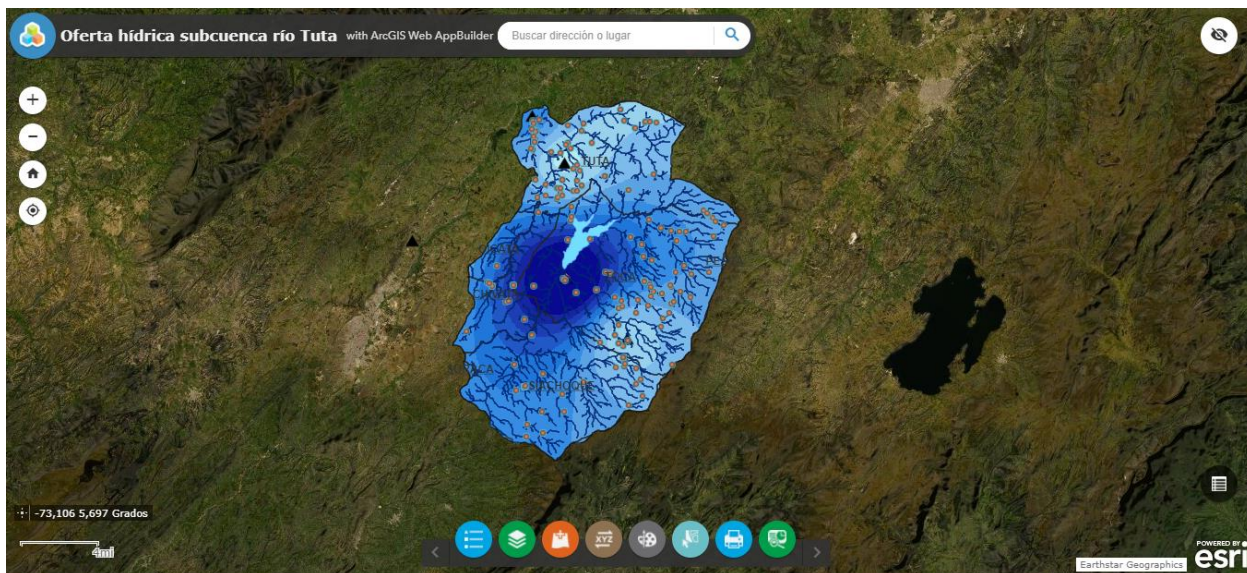


La presentación de los resultados obtenidos en el geovisor permite interactuar en el mapa y especialmente ubicar un punto del área de estudio y obtener el caudal de oferta hídrica promedio anual en metros cúbicos por segundo; adicionalmente, se puede consultar las concesiones de aguas otorgadas en el área como la demanda hídrica, el área de la subcuenca por cada municipio, la red hídrica, y la ubicación de las estaciones meteorológicas con los respectivos valores de precipitación y temperatura de la serie de 20 años (2000 a 2019).

El geovisor es una herramienta para la Corporación Autónoma Regional de Boyacá para la consulta de las variables oferta y demanda hídrica principalmente, como insumo para el análisis técnico de las concesiones de agua, siendo este el instrumento a través del cual la Corporación como autoridad ambiental administra el recurso hídrico.

Figura 17

Presentación del geovisor



Elaboración propia

Se puede acceder al geovisor en el siguiente link:

<https://umanizales.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=eb6029ff5a004cca86ab8d8c32731c63>

7 CONCLUSIONES

Se logro la estimación de la oferta hídrica superficial anual obteniendo valores de 8,53 m³/s como caudal máximo, 2,86 m³/s como caudal mínimo y un promedio de 4,77 m³/s; y la demanda hídrica de la cuenca corresponde a 1,25 L/s, cuyo caudal es utilizado en actividades agrícolas, domesticas, pecuarias y agropecuarias.

Presentar los resultados en un Geovisor configurado a través de ArcGis Online, se convierte en una herramienta para la Corporación Autónoma Regional de Boyacá para la consulta de las variables oferta y demanda hídrica como insumo para la toma decisiones para la administración del recurso hídrico.

La disponibilidad de información de oferta y demanda procesada, especializada y actualizada respalda técnicamente los análisis hidrológicos requeridos por la Corporación para el otorgamiento de concesiones de agua y demás permisos ambientales relacionados con el recurso hídrico.

Los procesamientos realizados y la metodología empleada permiten establecer que es viable estimar la oferta hídrica a partir de diferentes variables generando conocimiento de los territorios como base para la gestión del agua.

8 RECOMENDACIONES

El análisis de la demanda se debe realizar con base en la variación que esta puede tener en las diferentes épocas del año, pues, durante los meses de lluvias los caudales para el uso agrícola serían nulos y para el uso pecuario puede reducirse considerablemente.

Para el manejo del recurso hídrico se requiere de manera urgente establecer parámetros que ayuden a evaluar el comportamiento de la oferta del agua en diferentes escalas, es por esto que, la institucionalidad debe disponer de un sistema de seguimiento hidrológico en tiempo y en espacio para la definición de la oferta superficial; la determinación de la oferta mediante la metodología presentada en el presente documento puede ser un insumo para tal fin.

La oferta hídrica se determinó con series de datos de precipitación y temperatura de 20 años (2000-2019), por lo tanto, se recomienda anualmente actualizar la información con los datos arrojados por las estaciones del IDEAM localizadas en el área de influencia.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Albarracín S., Alvarenga, F., Sosa, A., Iwasita, B., Barbaro, S. (2018). *Aspectos morfométricos de la cuenca del arroyo Itacaruaré, Misiones, Argentina. Jornadas de Investigación Desarrollo Tecnológico Extensión y Vinculación*
- Benayas, R. (2015). Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en Hidrología. Recuperado de GEASIG: <http://www.geasig.com/los-sig-y-susaplicaciones-en-hidrologia>
- Breña, A., Jacobo, M. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*
- Cabrera, J. (2013). *Modelos Hidrológicos. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.*
Recuperado de: http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_1.pdf
- Campos, D. (1998) *Proceso del ciclo hidrológico.* UASLP
- Cardona, B. (2016). *Conceptos Básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas .*
- Chow, Maidment D, Mays L. (1993) *Hidrología aplicada.* McGraw-Hill
- Domingo, F., Villagarcía, L., y Were, A. (2002). *¿Cómo se puede medir y estimar la evapotranspiración?: estado actual y evolución*
- Holdridge, L. (1959). Simple method for determining potential evapotranspiration from temperature data
- IDEAM (2020) *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos.* Consultado 30 de enero de 2021. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- IDEAM. (2004). *Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial.* Consultado 15 de febrero de 2021. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021143/metodologia-calculo.pdf>
- IDEAM. (2018). Estudio Nacional del Agua. Consultado 6 de abril de 2021. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/anexos-estudio-nacional-del-agua-2018>
- INAMHI. (2006) Biblioteca. Consultado el 01 de abril de 2021. <https://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/#>
- Jaramillo, A. (2006). Evapotranspiración de referencia en la región Andina de Colombia. Cenicafé

- Marín, V. (2010). *Evaluación de la relación entre la Evapotranspiración Potencial teórica y la Evaporación registrada en los departamentos de Cundinamarca y Valle del Cauca*
- Morad, M., Triviño A. (2001). *Sistemas de Información Geográfica y modelizaciones hidrológicas: una aproximación a las ventajas y dificultades de su aplicación*. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1122528>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (sf). Hidrología, arquitectura del suelo y movimientos del agua. FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s06.htm>
- Sandoval, C. (2019). *Aplicación de los sistemas de información geográfica para el análisis de la oferta y demanda de agua en la cuenca del río Pisque - Ecuador*
- Sierra, J., Manjarres, Á. (2008). *Análisis hidrológico de la cuenca del río Gaira, evaluación de la oferta hídrica de su corriente principal y determinación de sus condiciones fisicoquímicas*.

10 ANEXOS

10.1 ANEXO 1. Precipitación total mensual Estación El Encanto

ID E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)

FECHA DE PROCESO:		12/05/2017										ESTACION 24030450 EL ENCANTO	
LATITUD	0536 N	TIPO EST: PM		DEPTO BOYACA		FECHA-INSTALACION 1992-MAY							
LONGITUD	7319 W	ENTIDAD 01IDEAM		MUNICIPIO OICATA		FECHA-SUSPENSION							
ELEVACION	2645 m.s.n.m	REGIONAL 06 BOYACA -CASAN		CORRIENTE CHULO									
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	PR ANUAL
2000	13,3	58,4	111,6	93,8	100,3	81,1	70,7	46	82,9	111	55,4	19,5	844
2001	0	9,7	64,2	3,8	69,2	47,2	26,9	10,6	53,9	96,8	68,3	23,3	473,9
2002	6,6	23,3	112,1	169,7	95,8	49,5	36,2	35,8	40,4	58,4	58,4	13,1	699,3
2003	0	17,6	46,7	81,9	50	58,6	43,2	25,2	86,6	165,5	88,7	37,3	701,3
2004	2,9	32,5	31,3	134	129		52,8	35,1	74,8	107,7	61,7	13,2	675
2005	38	15,6	14,8	62,7	105,7	28,9	49,5	40,1	45,3	134,1	89,6	52	676,3
2006	62,7	6,2	124,5	180,5	60,6	118,7	35,1	14,9	43,2	133,6	104,9	42,9	927,8
2007	4	12,2	51,3	143,2	67,3	42,8	62,9	93,2	16,3	157,1	73,2	64,6	788,1
2008	12,1	18,1	31,1	73,9	119,2	49,3	39,6	102,1	63,4	62,1	176,5	44,3	791,7
2009	32	33,6	60,6	85,2	83,8	103,1	19	47,8	16,7	139	57,9	18,1	696,8
2010	4,6	20,1	20,9	145,5	117,4	91,9	136	17,6	51,7	84,6	127,1	72,9	890,3
2011	3,6	58	124,9	217,7	139,5	54,6	68,3	38,3					704,9
2012	14,5	9	41,5	123	15	140	212	73	14	56,5	43,1	24,7	766,3
2013	2	48,4				42	53,2	44	11,7	102,4	133,1	49,5	486,3
2014	0	13	20,3	72,2		29,4	41,4	25,7	18,1	84,7	92,1	69,9	466,8
2015	28	41,5	98,2	81,7	27,4	51,3	73,2	30,2	16,5	25	71,2	5,4	549,6
2016	11,2	6,1	28,1	97,2		27,5	10,7	54,1	47,3	101,8	187,1	62,4	282,2
2017	54,5	57,9	153,9	63,6	111	98,1	11,5	39,1	12,9	46,9	61,2	20,1	730,7
2018	69,7	9,7	58,4	133,8	91,2	80,6	31,7	30,1	45,4	93,2	53,1	11,7	708,6
2019	4	13	112,7	103,4	144,9	33,6	25,5						437,1
MEDIOS	18,2	25,2	68,8	108,8	89,8	64,6	55,0	42,3	41,2	97,8	89,0	35,8	664,9
MAXIMOS	69,7	58,4	153,9	217,7	144,9	140,0	212,0	102,1	86,6	165,5	187,1	72,9	927,8
MINIMOS	0,0	6,1	14,8	3,8	15,0	27,5	10,7	10,6	11,7	25,0	43,1	5,4	282,2

10.2 ANEXO 2. Precipitación total mensual Estación San Antonio

ID E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)

FECHA DE PROCESO:		#####										ESTACION 24030530 SAN ANTONIO	
LATITUD	0541 N	TIPO EST: PM		DEPTO BOYACA		FECHA-INSTALACION 1971-ABR							
LONGITUD	7314 W	ENTIDAD 01IDEAM		MUNICIPIO TUTA		FECHA-SUSPENSION							
ELEVACION	2580 m.s.n.m	REGIONAL 06 BOYACA -CASAN		CORRIENTE TUTA									
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	PR ANUAL
2000	17,8	82,9	73,7	58,9	107,6	78,7	49	32,7	141,5	150,8	9,5	27	830,1
2001	10,9	6,1	69,6	22,5	60,9	57,3	45,1	10,9	105	97,3	51	46,9	583,5
2002	5,5	47,8	173,3	64,8	93,4	74,2	55,9	19	55,2	80,2	80,2	33,1	782,6
2003	1,1	52,3	68,4	137,6	131,7	103,1	41,8	50,5	91,7	277,4	202,7	45,1	1203,4
2004	4,8	60,2	45,4	158,8	176,8	20,1	64,9	36,2	126,4	157,7	138,4	29,2	1018,9
2005	46,2	43,5	46,7	84,3	96,3	53,2	48,2	38,6	75,2	106,7		53,5	632,4
2006	69,9	11,9	135,2	170,9	84,9	81,6	40,6	31,9	55,2	103,1	93,6	54,7	933,5
2007	6,9	19,7	56,9	75,1	102,5	37,1	66,4	86,6	21,1	208,8	104,6	59,3	845
2008	34,7	25,5	95,8	117,2	137,4	85,5	35,7	100,7	80,8	116	123,9	36,3	989,5
2009	55,6	44,9	73,1	87,6	45,2	70,2	23,3	47,1	28,2	111	17	42,5	645,7
2010	0	20,9	38,3	183,6	178,9	53,6	165,4	49,1	75,7	90,1	114,6	82,7	1058,9
2011	49,5	176,4	243,7	205,3	43,9	70,9	52,7	58,7	123,5	196,5	135,9	135,7	1357
2012	40,7	34,1	98,8	217,9	43,2	31	69,7	48,8	20,7	69,2	7,6	31,7	713,4
2013	28,2	68,1	60,5	76,4	228,2	19,6	42,6	66,4	46,6	158,5	103,7	48,4	947,2
2014	13,7	20,8	143,4	42,8	36,7	15,3	14,3	26,5	110,4	120,5	33,3	57,7	577,7
2015	39,4	17	159,3	121,1	31,5	41,4	55,2	22,8	14,3	98,3	15,6	15,7	631,6
2016	9	7,8	94,7	126,5	128,5	52,6	64,6	16,3	64,8	124,6	310,2	75,3	238
2017	62,8	70,2	159	88,8	191	104,2	44,5	54,8	87,3	97,7	49,9	49,9	1010,2
2018	74,6	2	67,4	175,2	131,4	50,9	69,2	37,7	46,7	132,7	109,2	14,3	911,3
2019	9,6	20,8	146,4	99,9	180,6	36,2	17,2						510,7
MEDIOS	28,0	36,1	93,0	123,0	119,9	56,6	54,3	42,4	62,6	126,5	105,4	48,1	824,0
MAXIMOS	74,6	82,9	176,4	243,7	228,2	104,2	165,4	100,7	141,5	277,4	310,2	135,9	1357,0
MINIMOS	0,0	2,0	20,8	22,5	31,5	19,6	15,3	10,9	14,3	69,2	7,6	14,3	238,0

10.3 ANEXO 3. Precipitación total mensual Estación Los Azulejos

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)

FECHA DE PROCESO:		12/05/2017		ESTACION: 24030820 LOS AZULEJOS									
LATITUD	0539 N	TIPO EST:	PG	DEPTO:	BOYACA	FECHA-INSTALACION:	1976-JUN						
LONGITUD	7312 W	ENTIDAD:	01IDEAM	MUNICIPIO:	TUTA	FECHA-SUSPENSION:							
ELEVACION	2780 m.s.n.m	REGIONAL:	06 BOYACA -CASAN	CORRIENTE:	TUTA								
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
2000	22,4	99,6	63,9	107,5	127,2	40,8	97,4	17,6	176,6	184,6	71,9	14,8	1024,3
2001	0	37,9	45,5	1,2	62,1	43,6	30,5	5	61,5	36,7	46,3	42,1	412,4
2002	2,2	51,1	166	98,1	31,9	55,9	35,5	14,7	28	25	83,4	83,1	674,9
2003	25,6	0,9	63	131,3	30,1	60,4	21,4	21,7	102,5	254,7	197,1	40	948,7
2004	2,1	21,2	28,5	125	171,8	16,7	86,3	58,8	80,1	141,7	124,6	39,9	896,7
2005	46,6	9,7	25,2	90,9	124	32,3		15,3					344
2006				231,7	75,2	113,7	20,2	15,9	37	68,4	114,7	35,2	712
2007	14,5												14,5
2008	17,2	4,2	51,7	102,5	153,8	91	56,5	84	28,5	76,1	138,4	27,5	831,4
2009	44,5	20,8	89,2	68,9	39,2	84,3	20,3		51,1	71	48,5	39,3	577,1
2010	0	21,3	10,8	156,6	183,3	133,7	199,2	41,4	62,8	73,7	94,3		977,1
2012	30,4	17,5	80,9	220,8	52,5	35,3	49	57,4					543,8
2013	3	98,4	137,1	42,7	56,2	19,7	77,1	42,6	27,5	69,5	143,4	34,8	752
2014	9,7	22,3	39,4	85,2	78	43,6	20,5	25,4	31,6	88,7	114,9	41,4	600,7
2015	23,8	10,7	22	69,2	24,5	22,2	29,5	31,3	19,5	84,2	20,6	15	372,5
2016	11,1	32,5	145,8	170,9	71,2	37,6	52	22,4	34,7	185,4	162,5	9,8	521,1
2017	20,5	91,8	147,4	53,5	158,9	157	16	35	42,6	26,5	51,8	15,4	816,4
2018	66,6	6,3	116,6	164,2	190,6	28,4	19,3	30	17,8	86,8	63,8	5,8	796,2
2019	11,2	17,1	102,4	32,7	95,8	33,8	16,7	31	40,4	105,3	38,5	40,1	565
MEDIOS	19,5	33,1	78,6	108,5	95,9	58,3	49,8	32,3	52,6	98,6	94,7	32,3	651,6
MAXIMOS	66,6	99,6	166,0	231,7	190,6	157,0	199,2	84,0	176,6	254,7	197,1	83,1	1024,3
MINIMOS	0,0	0,9	10,8	1,2	24,5	16,7	16,0	5,0	17,8	25,0	20,6	5,8	14,5

10.4 ANEXO 4. Precipitación total mensual Estación La Copa

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)

FECHA DE PROCESO:		12/05/2017		ESTACION: 24035040 LA COPA									
LATITUD	0534 N	TIPO EST:	CO	DEPTO:	BOYACA	FECHA-INSTALACION:	1991-DIC						
LONGITUD	7312 W	ENTIDAD:	01IDEAM	MUNICIPIO:	TOCA	FECHA-SUSPENSION:							
ELEVACION	2700 m.s.n.m	REGIONAL:	06 BOYACA -CASAN	CORRIENTE:	TUTA								
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
2000	108,8	23,9	140,4	108,8	77,9	90,2	97,5	93,5	90,7	90,4	107,9	92,1	1222,1
2001	153,4	39,3	121,1	130		103,5	105,4	115,6	115,2	109,9	101,8	118,2	1313,4
2002	143,5	47,3	141,3	96,6	100,7	95,8	106,8	100,5	113	112,6	94,4	132,3	1384,8
2003	162,3	45,3	124	89,2	89,7	77,2	95,1	98,4	98,7	91,6	87,5	103	1262
2004	124,1	35,4	156,3	100,2	92,7	87,7	87	101,5		104,3	77,7	111,8	1178,7
2005	96,1	17,4	113	95,2	98,8		108,1	90,3	110	101,1	86,6	123,2	1139,8
2006	107,6	31,3	101,2	103,6	74			84,5	81,6	99,2	91,5	104,8	979,3
2007	122,2			88,4		86,9	103,5	77,5	97,3				575,8
2008	112,8	22,2	123,8	93,7	109,5	61,8	82,2	94	99,7	103,3	105,8	124,3	1233,1
2009	116,5	21,6	121	104	103	81,2	104	130,5	129,7	123,4	119,6	126,8	1381,3
2010	177,5	66	145,3	92,7	106,5	97,5	90	99,1	105,3	108,7	83,7	103,2	1375,5
2011	119,6	2,1	98,6	99,7	88,7	83,5	80,6	105,1	96,2	90,3	80,6	100,7	1145,7
2012	125,9	47,6	124,1	77,9	91,9	92,4	102,4	96,9	109,6	113,7	104,8	115,2	1302,4
2013	127,4	73	123,5	94,8	96,3	93,1	116,9	82,3	107,5	108,2	111,6	111,6	1246,2
2014	128,9	32,5	130,3	136,2	116,8	89,7	126	118,4	122,3	109,9	101,2	114,1	1426,3
2015	135,1	12,6	150,4	119,9	112,1	94,3	100,6	102	115,8	128,2	98,8	97,3	1367,1
2016	154,4	58,6	171,6	102,5	90	85,6	97,9	109,7	91,4	120	149,1	49,3	1181,7
2017	21,3	53,9	147,8	49,9	131,9	94,4	16,9	39,1	23,1	27,1	54,2	47,1	706,7
2018	15,9	2,7	68,5	151,7	132,4	50,2	48,5	19,9	33,3	99,6	134,4	1	758,1
2019	13,5	6,4	105	106,5	114,1	45,6	23,2	40,4	42,2	44,1	96	31,5	668,5
MEDIOS	113,3	33,6	126,7	102,1	101,5	83,9	89,1	90,0	93,8	99,2	99,3	95,1	1142,4
MAXIMOS	177,5	73,0	171,6	151,7	132,4	103,5	126,0	130,5	129,7	128,2	149,1	132,3	1426,3
MINIMOS	13,5	2,1	68,5	49,9	74,0	45,6	16,9	19,9	23,1	27,1	54,2	1,0	575,8

10.5 ANEXO 5. Precipitación total mensual Estación Casa Amarilla

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)

FECHA DE PROCESO: #####		ESTACION 24030800 CASA AMARILLA											
LATITUD	0532 N	TIPO EST:	PM	DEPTO	BOYACA	FECHA-INSTALACION	1974-MAR						
LONGITUD	7309 W	ENTIDAD	01IDEAM	MUNICIPIO	TOCA	FECHA-SUSPENSION							
ELEVACION	3200 m.s.n.m	REGIONAL	06 BOYACA -CASAN	CORRIENT	TOCA								
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	/R ANUAL
2000	34,5	43,8	39,5	31,3	101	127,8	63,9	69	95	81	35	24,5	746,3
2001	0	40	26	27	67	66	38	27,5	85,5		77	53	507
2002	3	13	66,5	89,5	140	191,5	59,5	82,3	40	63	24	24	736,3
2003	0	15	106,5	76,5	108,4	40,7	60	11	75	184	31	65,7	833,8
2004	30		28	131,5	138	87,5	83	75	37	81		33	724
2005	29	23	8	107,1	102,2	40,1	32,5	45,1	46,5	131		61,5	626
2006		27	191	53,5	93,9	61,5	26	25					477,3
2007		4	10,5	44,9	49	21,8	12	28,6		120	69,5	58,9	419,2
2008	30,2	14,7	89,3	101,5	106,5	64	55,5	30	33,5	108	202,6	20,5	916,3
2009	21	18	65,5	57,5	81	122	65	43,5	19	66	31	20	609,5
2010	0	10,5	29	176	198	83	217	54	67	132	144	74,5	1185
2011	11	79,5	126	221,5	212,3	66	74,8	46,1	97,9	231,2	214,6	127,7	1508,6
2012	18,7	10	96,1	258,5	34	47,4	82,5	67,2	37	103,7	79,1	29,3	863,5
2013	0	37,1	67,5	99,9	85,5	20,9	104	30,8	25	95,6	125,8	21	713,1
2014	18,5	34,5	38,5	45,2	68,2	32	28	7	7,8	58,9	58,5	61	458,1
2015	16	26,4	23,2	16,5	37,8	80	74,7	27,8		8,7	22	13	353,2
2016	0		27							35,6	174,2	32,6	269,4
2017	16,7	66,7	155,8	70,5	14,7	67,6	17	5,6	20,1	7	52,3	35,6	529,6
2018	16,5		68,5	154,6	49,1	70,8	56,4	35,8		164	115,4	0	756,9
2019	9,3	12	119,7	79	149,8	29,7	37,7	38	31,7	46,1	98,8	6,9	658,7
MEDIOS	14,1	28,0	69,1	96,9	96,7	69,5	62,5	42,6	44,2	95,4	95,0	40,1	637,6
MAXIMOS	34,5	79,5	191,0	258,5	212,3	191,5	217,0	90,0	97,9	231,2	214,6	127,7	1508,6
MINIMOS	0,0	4,0	8,0	16,5	14,7	20,9	12,0	5,6	7,1	7,0	22,0	0,0	269,4

10.6 ANEXO 6. Temperatura total mensual Estación La Sierra

VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C)

FECHA DE PROCE #####		ESTACION 24025030 LA SIERRA											
LATITUD	558 N	TIPO EST:	CP	DEPTO	BOYACA	FECHA-INSTALACION	1967-FEB						
LONGITUD	7309 W	ENTIDAD	01IDEAM	MUNICIPIO	DUITAMA	FECHA-SUSPENSION							
ELEVACION	2700 m.s.n.m	REGIONAL	06 BOYACA -CASAN	CORRIENT	LA RUCIA								
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	/R ANUAL
2000	11,4	10,9	11,2	12	12,1	12,3	12,4	12,1	11,1	11,6	11,4	11,9	11,7
2001	11,5	11,6	11,8	12,3	11,7	11,2	12,1	12,6	12,1	12,4	12,1	12,7	12
2002	12,4	12,3	12,3	12	12,8	12,5	12,5	13,1	12,8	12,3	12,8	12,8	12,5
2003	12,3	12,3	12,3	12,5	12,6	12,4	12,4	12,6	12,1	12,1	12,4	12,1	12,3
2004	12,3	12,8	12,7	12,3	12,5	13,2	12,3	12,8	12,2	12	12,3	11,9	12,4
2005	11,9	12,4	12,8	12,8	12,7	12,9	12,8	12,6	12,8	12,2	12,3	11,8	12,5
2006	11,9	12,3	11,6	12	12,6	12,3	12,5	12,6	12,3	12	11,7	12,1	12,2
2007	12,8	12,1	11,9	12,4	12,4	12,2	12,6	12,3	12,3	11,7	11,9	11,8	12,2
2008	11,4	11,2	11,3	11,6	11,6	12	11,6	11,5	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6
2009	11,6	11,4	11,4	12,2	12	12,5	12,4	12,5	12,9	12,2	12,1	12,5	12,1
2010	13	13,3	13,1	12,5	12,5	11,9	11,7	12	11,5	11,9	11,3	11,1	12,2
2011	11,4	11,5	10,9	11,3	11,8	12,1	12	12,1	12,1	11,2	11,5	11,8	11,6
2012	11,5	11,5	11,6	11,4	12,1	12,2	12,2	12,1	12,6	11,9	12,1	11,8	11,9
2013	12,5	11,9	12,4	12,5	12,1	12,6	12,2	12,2	12,4	12,1	11,5	11,9	12,2
2014	12,1	11,8	12,1	12,4	12	12,4	12,8	12,2	12,1	11,8	11,6	11,6	12,1
2015	12,5	12,1	11,8	12	12,6	12,3	12,7	12,4	12,6	12,3	12,2	12,2	12,3
2016	13,4	12,8	12,9	12,4	12,7	12,9	12,7	14,6	13		13,7	13,5	12,8
2017	12,9	13,7	12,7	13,9	13,9	13,4	13,3	14,1	14	13,3	12,8	13	13,5
2018	13,2	12,6	13,2	13,5	12,4	13,6	12,9	13,9	13,8	11,9	12,8	13,2	13,1
2019	13,5	12,5	12,6	12,7	13,3	13,9	13,3	14,2	14,5	12,9			13,3
MEDIOS	12,3	12,2	12,1	12,3	12,4	12,5	12,5	12,7	12,5	12,1	12,1	12,1	12,1
MAXIMOS	13,5	13,7	13,2	13,9	13,9	13,9	13,3	14,6	14,5	13,3	13,7	13,5	13,5
MINIMOS	11,4	10,9	10,9	11,3	11,6	11,2	11,6	11,5	11,1	11,2	11,3	11,1	11,1

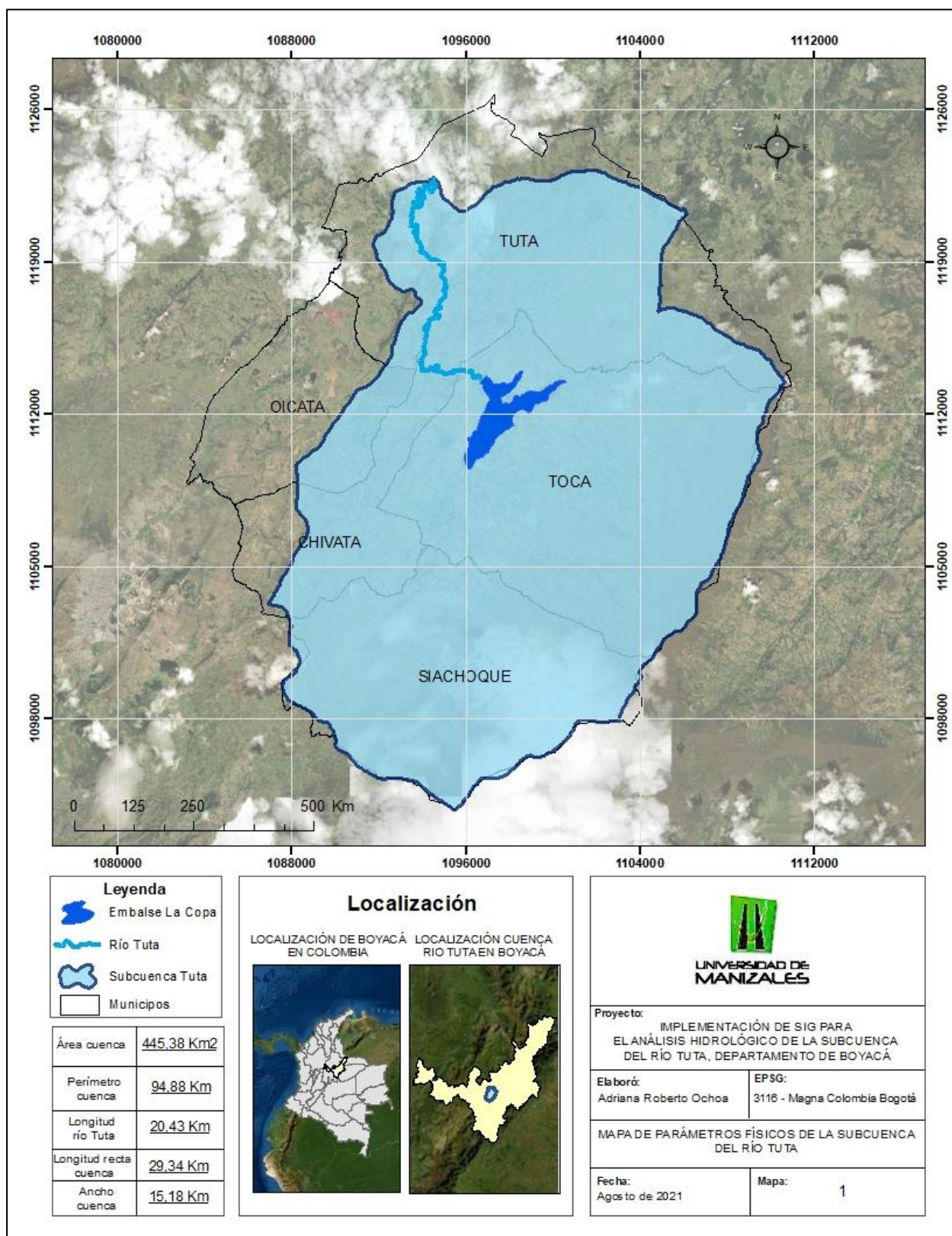
10.7 ANEXO 7. Temperatura total mensual Estación La Copa

VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C)													Sistema de Información Ambiental	
FECHA DE PROCE: #####						ESTACION 24035040 LA COPA								
LATITUD	534 N	TIPO EST:	CO	DEPTO	BOYACA	FECHA-INSTALACION	1931-DIC							
LONGITUD	7312 W	ENTIDAD	01IDEAM	MUNICIPIO	TOCA	FECHA-SUSPENSION								
ELEVACION	2700 m.s.n.m	REGIONAL	06 BOYACA -CASAN	CORRIENTE	TUTA									
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	/R ANU/	
2000	12,5	12,8	13	12,9	12,5	12,5	12,1	12,2	11,9	12,3	12,7	11,9	12,4	
2001	12,2	12,5	13,1	13,2	13,3	12,2	12	12,3	12,7	13,1	13,3	13,7	12,8	
2002	13	13,6	13,6	13,4	13,2	13	13	12,7	12,9	13	12,4	12,7	13	
2003	13,3	13,4	13,5	13,8	13,5	12,8	12,8	12,5	13,2	13,9	13,5	12,9	13,3	
2004	13,4	13,7	14,2	13,9	13,8	12,8	12,7	12,4	12,7	13,2	13,2	13,2	13,3	
2005	13,1	13,9	14,4	14,1	14,1	13,4	13,1	12,5	13	13	13,6	13	13,4	
2006	12,4	12	13,1	13,5	13,5	13,2	13,1	13,3	13,2	13,5	12,4	12,2	13	
2007	11,8	12,7	14,3	14,8	14,1	13,5	13,1	13	13,2	13,5	13,7	13,4	13,4	
2008	13	12,7	12,5	14	13,8	13,5	13,4	13,7	13,6	13,6	14,5	14,3	13,6	
2009	13,8	14,1	14,6	14,7	13,7	13,8	13,6	14,5	14,3	14,5	14,7	13,9	14,2	
2010	13,5	14,7	15	15,6	15,4	14,6	14	13,4	13,6	13,5	14,1	12,9	14,2	
2011	13	13,2	12,9	13,9	14,1	13,6	12	11,5	11	12	12,8	12,5	12,7	
2012	12,3	12,3	13,1	13	12,7	12,1	12,2	12,3	12,3	12,6	12,2	11,6	12,4	
2013	11,6	13,1	12,9	12,7	12,8	12,7	11,6	12,3	12,8	11,5	12,8	12,3	12,4	
2014	12,1	12,3	12,7	13,1	12,7	12,9	12,5	11,7	12				12,4	
2015	11,6	12,2	13,1	13,3	13,1	13,1							12,7	
2016	12,4	13,1	13,5	13,8	12,9	11,2	11,8	10,9	11,1	10,1	12,1	10,1	11,9	
2017	9	11,6	11,7	10,3	12,2	11,3	11,1	10,9	11,7	10,6	12	9,1	11,0	
2018	9,2	10,1	10,9	12,2	11,4	12	11,5	9,3	10	13	12,1	10,4	11,0	
2019	9,3	12	13,2	11,6	10,1	11,7	10,7	10,1	10,6	10,5	11,4	11,6	11,1	
MEDIOS	12,1	12,8	13,3	13,4	13,1	12,8	12,4	12,2	12,4	12,6	13,0	12,3		
MAXIMOS	13,8	14,7	15	15,6	15,4	14,6	14	14,5	14,3	14,5	14,7	14,3		
MINIMOS	9	10,1	10,9	10,3	10,1	11,2	10,7	9,3	10	10,1	11,4	9,1		

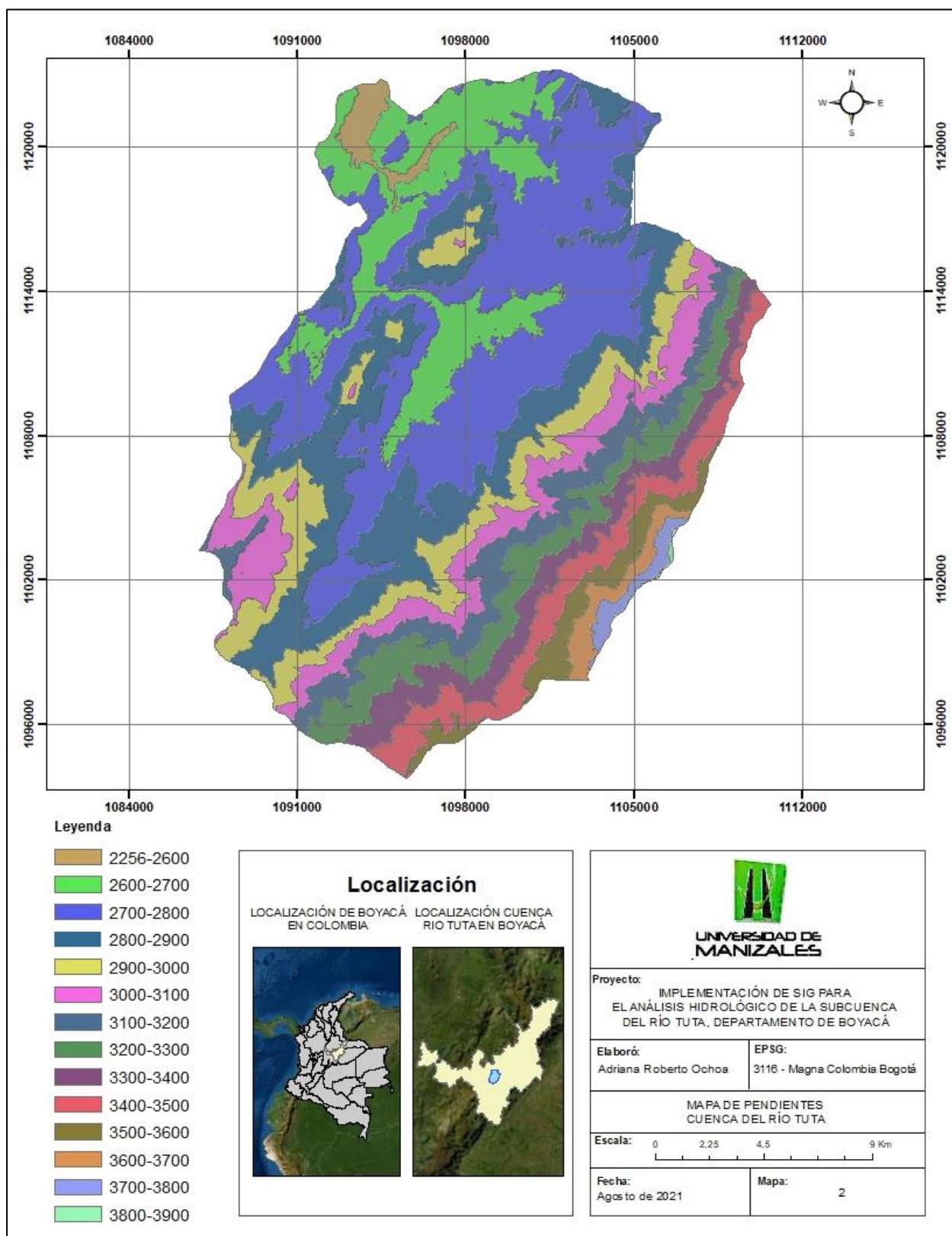
10.8 ANEXO 8. Temperatura total mensual Estación Tinguavita

VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C)													Sistema de Información Ambiental	
FECHA DE PROCE: 12/05/2017						ESTACION: 2405170 TINGUAVITA								
LATITUD	0544 N	TIPO EST:	AM	DEPTO	BOYACA	FECHA-INSTALACION	1968-ENE							
LONGITUD	7306 W	ENTIDAD	01IDEAM	MUNICIPIO	PAIPA	FECHA-SUSPENSION								
ELEVACION	2470 m.s.n.m	REGIONAL	06 BOYACA -CASAN	CORRIENTE	SALTRE									
AÑO	ESTENI	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
2000	1	14	14,2	14,5	14,5	13,9	14,1	13,3	13,3	13,6	13,6	14,6	13,3	13,9
2001	1	13,2	14,2	14,6	15	15	13,9	13,1	14,2	13,7	14,3	14,6	15,3	14,3
2002	1	14,3	15,4	14,9	14,7	14,5	14,3	13,9	14	13,7	14,2	13,8	14,6	14,4
2003	1	14,8	15,3	15,2	14,8	15,1	13,9	13,8	13,7	13,7		13,5	13,5	14,3
2004	1	14,8	15,3	15,6	15,7	15,5	15,1	14,7	15,1	15,2	15,8	16	15,5	15,4
2005	1	15,7	16,5	16,6	16,1	15,8	15,4	15,1	15,2	15,1	15,4	16	16	15,7
2006	2	15,7	15,9	15,6	15,5	15,9	15,1	14,8	14,3	14,8	15,7	15,9	15,8	15,4
2007	2	16	15,7	16,1	16,3	15,9	15,5	15,4	14,7	14,8	15	15,6	15,3	15,5
2008	2	15,4	15,3	15,6	15,3	15,4	14,8	14,8	14,8	15,1	15,4	16,2	16	15,3
2009	2	15,6	15,4	15,5	16	15,4	15,2	15,3	15,5	15	15,5	16,2	16,2	15,6
2010	2	15,6	16,3	16,6	16,5	16,6	15,9	15,4	15	15,6	15,6	15,7	15,6	15,9
2011	2	15,8	15,2	15	15,6	16	15,7	15,2	15,1	14,6	15,4	15,7	15,8	15,4
2012	2	16,1	15,8	15,7	15,7	15,9	15,5	15,5	15,6	15,6	16,3	16,5		15,8
2013	2	16,5	15,8	16,1	15,9	15,7	14,9	14,2	13,4	14,4	14,1	14,6	14,4	15
2014	2	15,2	15,4	15,2	14,8	15	14,6	14	13,6	13,7	14,2	14,6	14	14,5
2015	2	1	15,5	14,6	15,2	14,3	14,3	14,4						14,7
2016	1	15,4	16	16,6	15,7	15,9	13,7	12,9	14,2	14,7	14,5	15,6	15	15,9
2017		12	12,9	16,4	14,6	14,1	15,1	14,7	12,8	11,9	15,1	16,1	12,4	14,0
2018		12,2	14,2	14	14,2	15	12,2	12,3	12,3	13,9	14,4	15,9	14	13,7
2019		13,1	15,4	16,1	14,6	14,8	14,7	14,5	13,5	13,4	14,5	14,7	14,6	14,5
MEDIOS		14,8	15,3	15,6	15,3	15,3	14,7	14,4	14,2	14,3	14,9	15,4	14,9	
MAXIMOS		16,5	16,5	16,6	16,5	16,6	15,9	15,5	15,6	15,6	16,3	16,5	16,2	
MINIMOS		12,0	12,9	14	14,2	13,9	12,2	12,3	12,3	11,9	13,6	13,5	12,4	

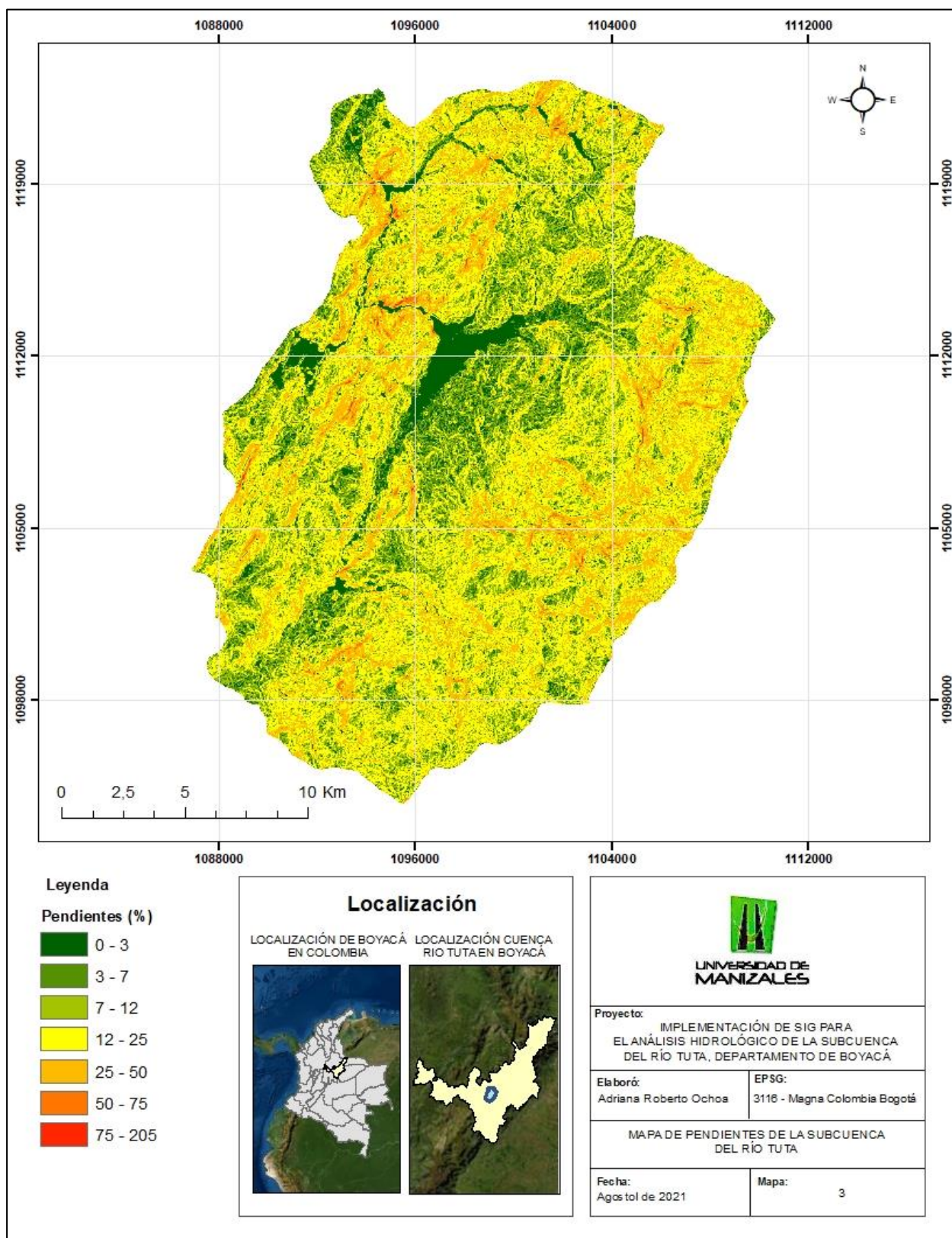
10.9 ANEXO 9. Delimitación y Características Físicas de la Subcuenca Río Tuta



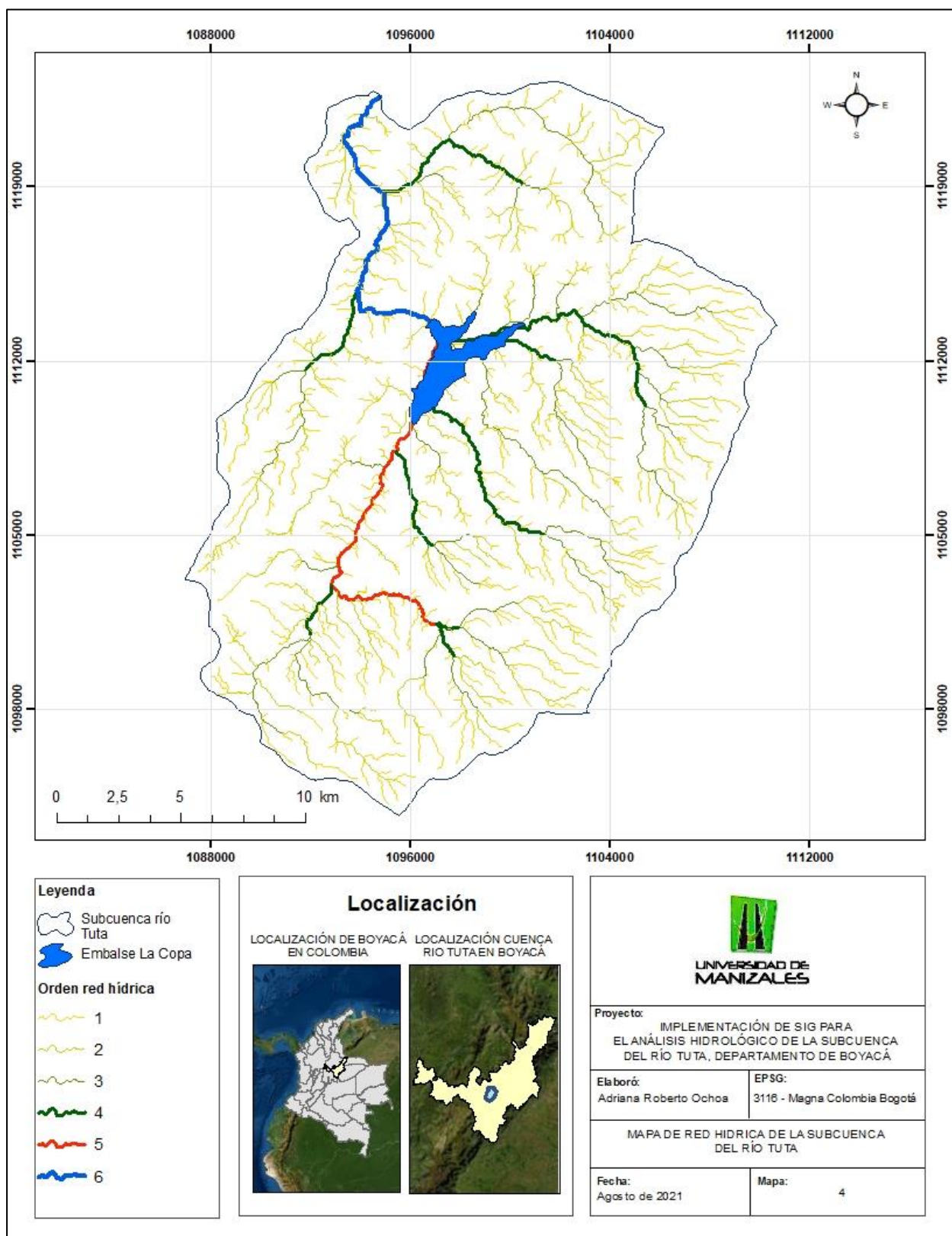
10.10 ANEXO 10. Elevaciones de la Subcuenca Río Tuta



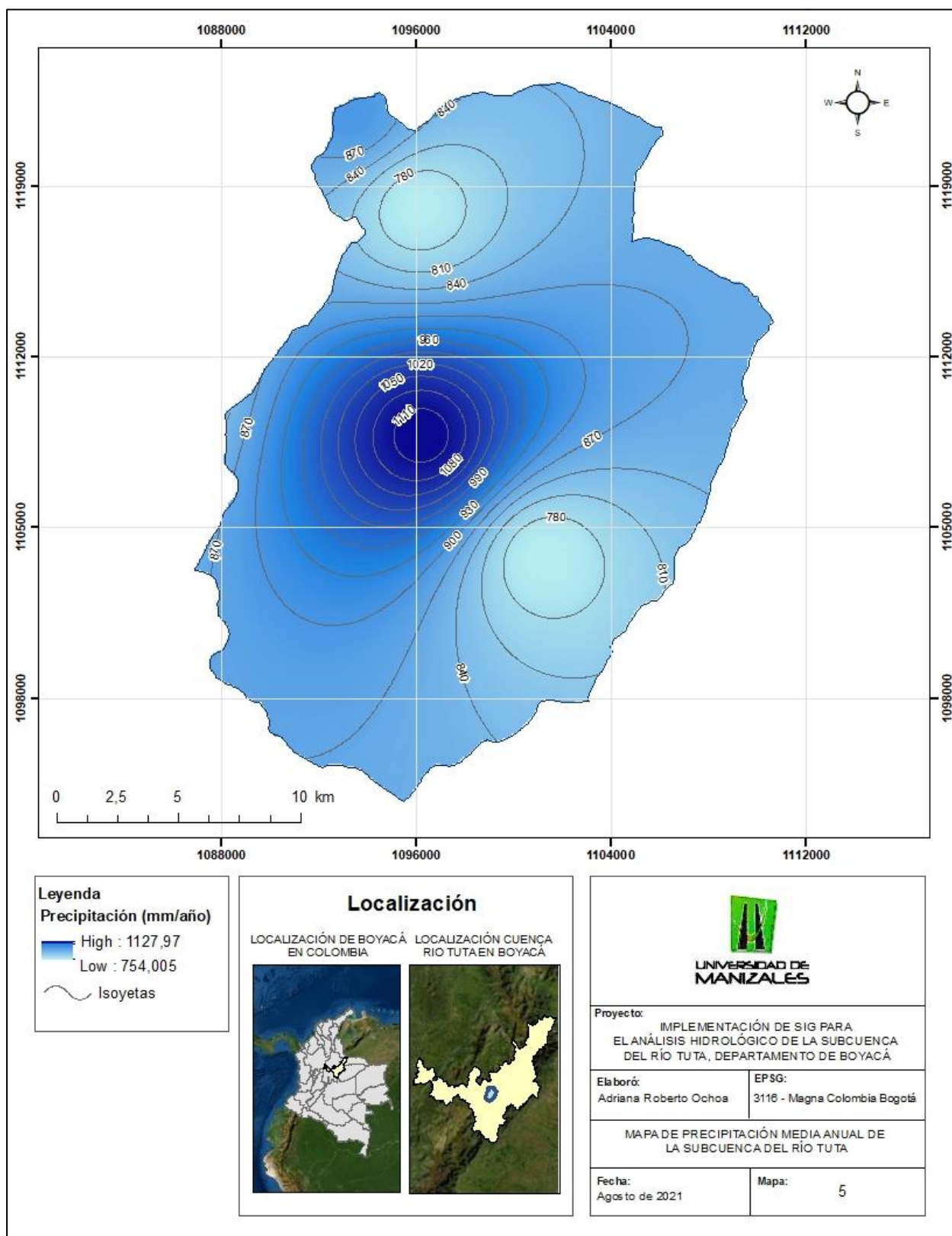
10.11 ANEXO 11. Pendientes de la Subcuenca Río Tuta



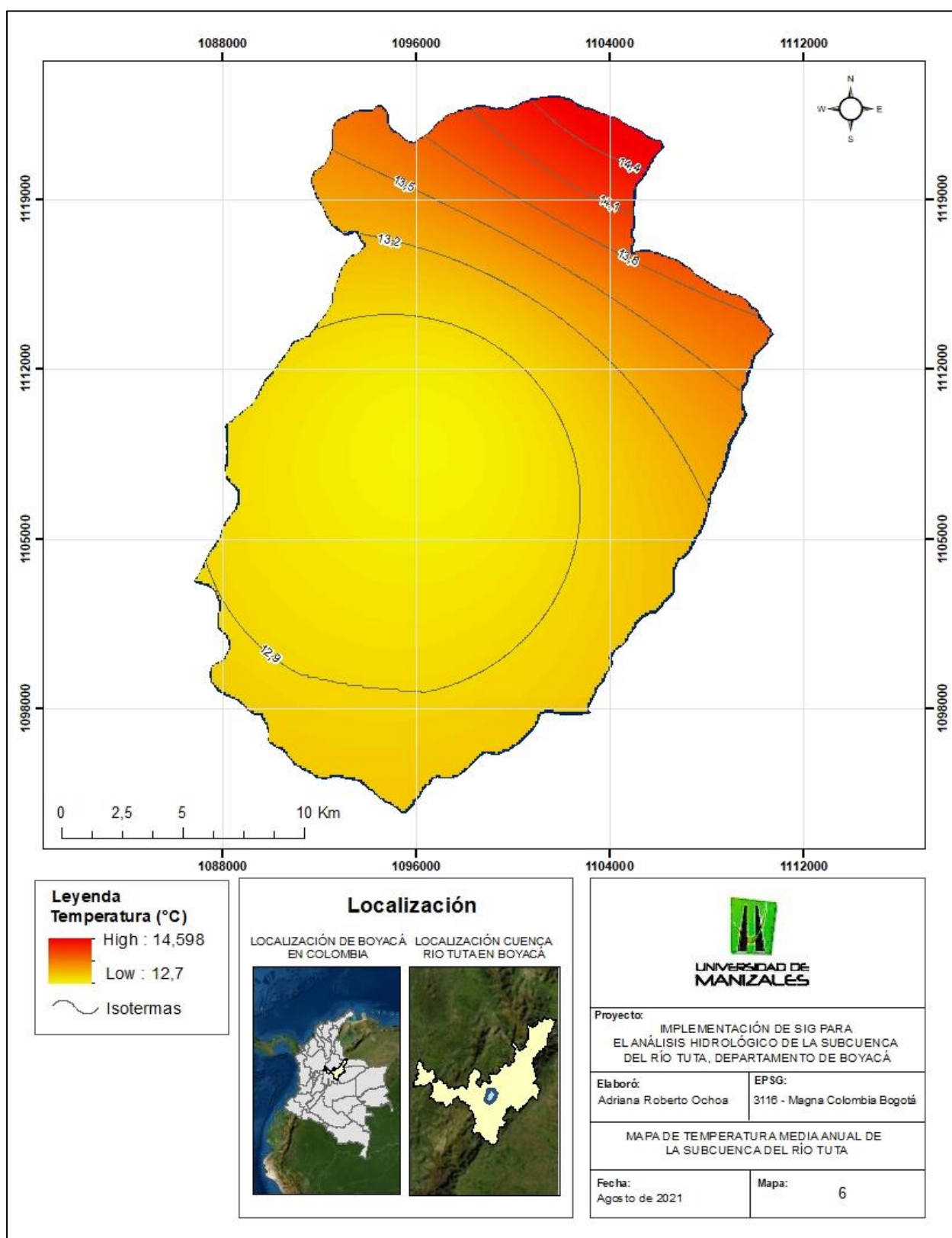
10.12 ANEXO 12. Orden de la red hídrica de la Subcuenca Río Tuta



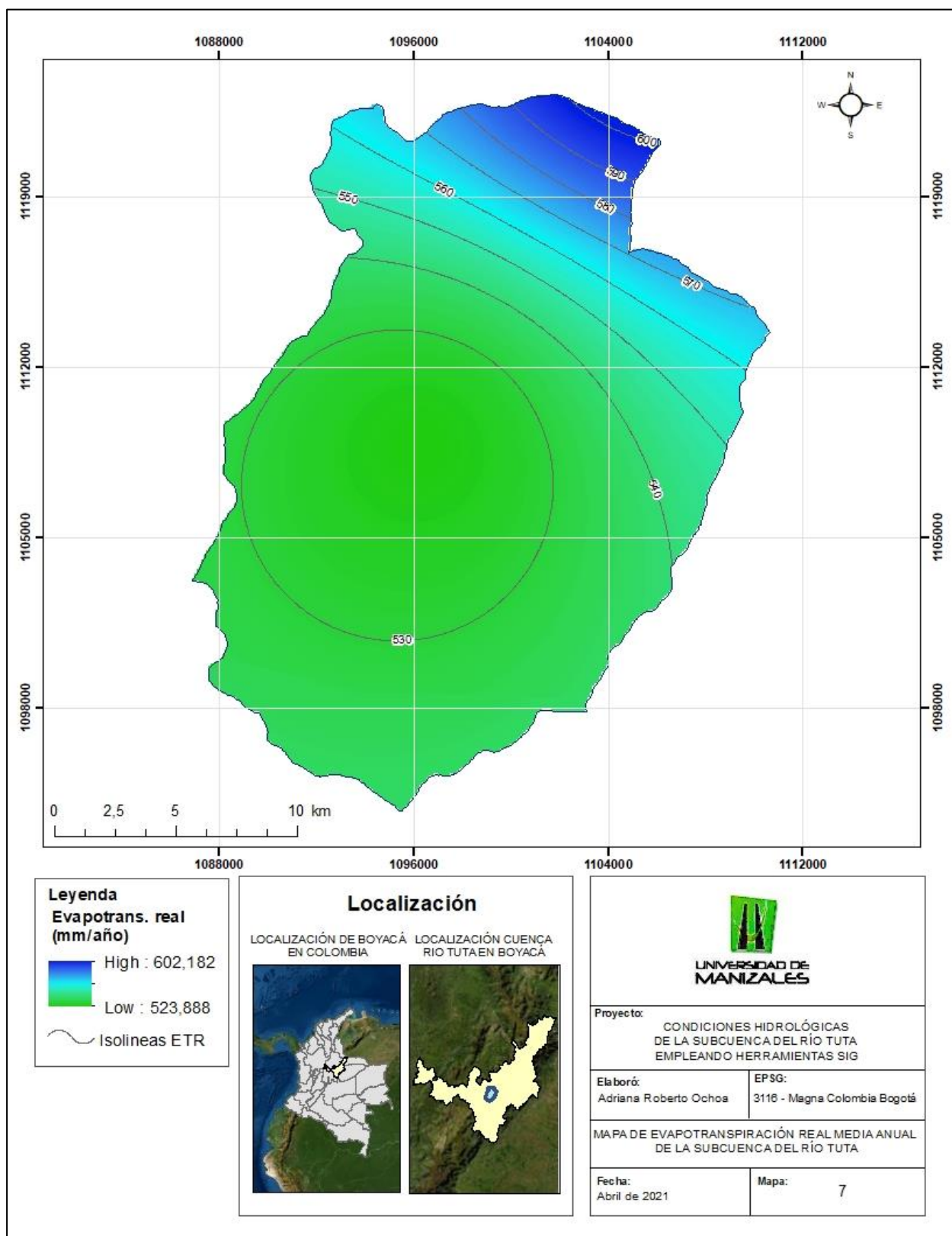
10.13 ANEXO 13. Precipitación media anual Subcuenca Río Tuta



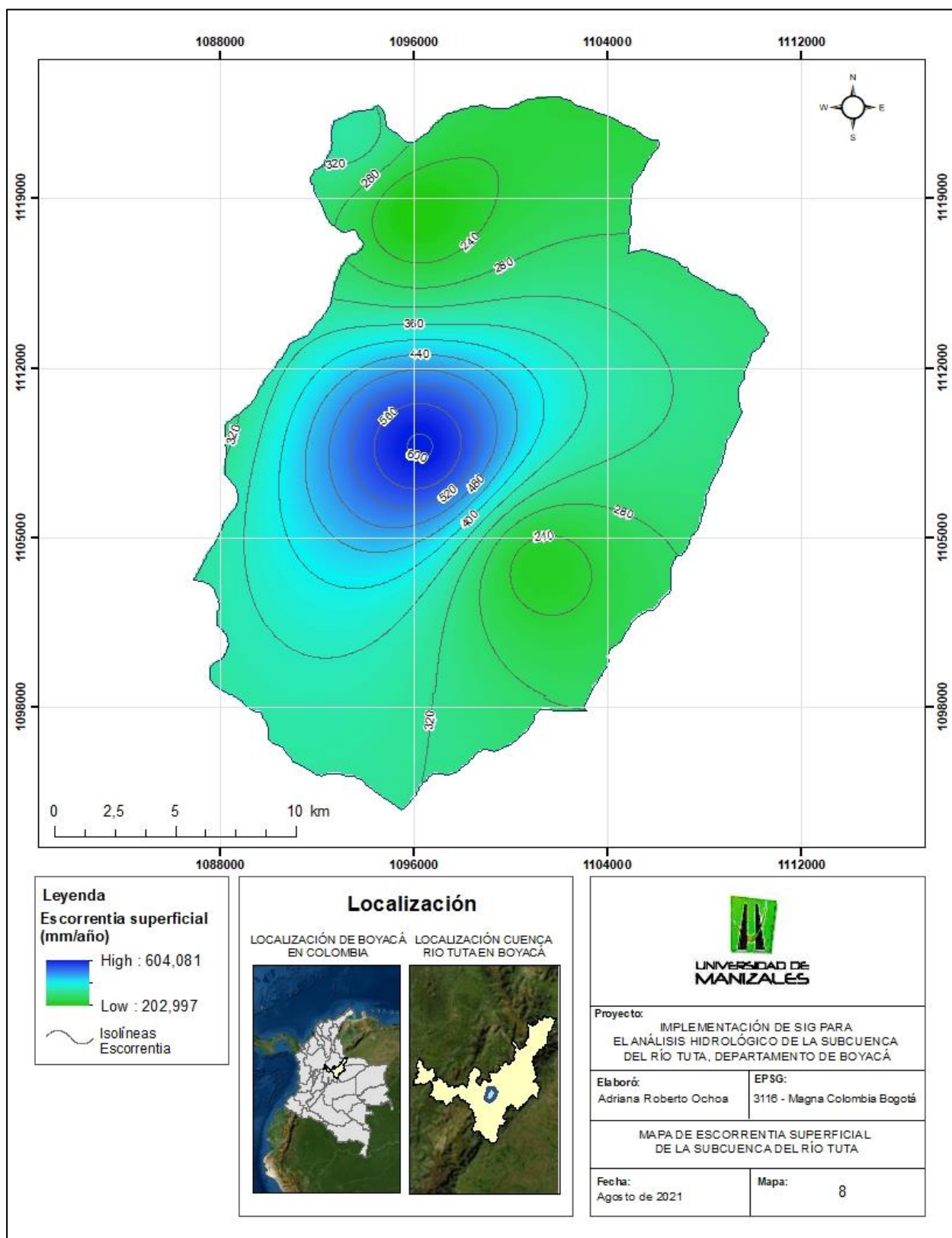
10.14 ANEXO 14. Temperatura media anual Subcuenca Río Tuta



10.15 ANEXO 15. Evapotranspiración real media anual Subcuenca Río Tuta



10.16 ANEXO 16. Escorrentía superficial Subcuenca Río Tuta



10.17 ANEXO 17. Oferta hídrica total Subcuenca Río Tuta

