



**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA
DEL RÍO BOGOTÁ.**

JENIFFER ANDREA GARZÓN RAMÍREZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C.

2015



**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA
DEL RÍO BOGOTÁ.**

JENIFFER ANDREA GARZÓN RAMÍREZ

Tesis de grado

Director

Darwin Mena Renteria

Ingeniero Ambiental y Sanitario

Magister en Recursos Hídricos

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C.

2015



Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. 30 de junio de 2015



*A Dios por permitirme culminar una meta más,
otorgándome durante todo el proceso salud y sabiduría.*

*A, mi madre, por darme la vida, y ser un apoyo a cada
Instante, otorgando fuerza y perseverancia
en los momentos de dificultad.*

*A mi padre, por sus sabios consejos, por el valor mostrado
para salir adelante, y su esfuerzo constante en
darme la educación.*



AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi director de tesis, el Ingeniero Darwin Mena Renteria por su dedicación, apoyo y disponibilidad en la formulación, desarrollo y finalización del proyecto.

A mi codirector de tesis, el Ingeniero Miguel Angel Cañon Ramos por su disponibilidad de tiempo, acompañamiento, paciencia y amabilidad para resolver todas las dudas generadas durante el desarrollo del proyecto.

A la Universidad Santo Tomás, donde recibí los conocimientos necesarios, la asesoría y el apoyo de los educadores para poder tener la sabiduría necesaria en el proceso de formación.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. MARCO DE REFERENCIA	12
3.1 MARCO TEORICO.....	12
3.1.1 CUENCA HIDROGRAFICA.....	12
3.1.2 RECURSO HÍDRICO	12
3.1.3 AGUA SUPERFICIAL.....	12
3.1.4 AGUA SUBTERRANEA	12
3.1.5 SUBCUENCA.....	13
3.1.6 MORFOMETRIA DE LA CUENCA.....	13
3.1.7 OFERTA HÍDRICA.....	14
3.1.8 DEMANDA HÍDRICA.....	14
3.1.9 ESCASEZ DE AGUA	14
3.1.10 ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA	14
3.1.11 BALANCE HÍDRICO	16
3.1.12 PRECIPITACIÓN	18
3.1.13 EVAPOTRANSPIRACIÓN	18
3.1.14 HUMEDAD RELATIVA.....	18
3.1.15 TEMPERATURA.....	18
3.1.16 VULNERABILIDAD	18
3.1.17 SENSIBILIDAD	18
3.1.18 CAMBIO CLIMATICO	19
3.1.19 ESCENARIO.....	19
3.1.20 ESCENARIO DE CAMBIO CLIMATICO	19
3.1.21 IPPC.....	20
3.2 MARCO INSTITUCIONAL.....	20
3.2.1 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.....	20
3.2.2 MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE.....	20



3.2.3	INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA (IDEAM).....	21
3.2.4	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL	21
3.3	MARCO LEGAL.....	22
3.4	MARCO CONTEXTUAL	25
3.4.1	LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA.....	25
3.4.2	RELIEVE Y PENDIENTE DE LA ZONA	28
3.4.3	CLIMATOLOGÍA	28
3.4.4	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	29
3.4.5	SUELOS.....	29
3.4.6	ASPECTOS SOCIOECONOMICOS	30
3.4.6.1	Capacidad de uso del suelo y cobertura vegetal	30
3.4.7	PROBLEMÁTICA AMBIENTAL	31
3.4.7.1	Calidad del agua	31
3.4.7.2	Conflicto del uso	32
4.	METODOLOGÍA.....	33
4.1	MORFOMETRIA DE LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ.....	34
4.2	CLIMA DE LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ.....	37
4.2.1	DESCRIPCION DE LOS DATOS	37
4.2.2	PRUEBAS ESTADÍSTICAS	38
4.2.3	PRECIPITACIÓN	48
4.2.4	TEMPERATURA	48
4.2.5	EVAPORACIÓN	49
4.3	ESTIMACIÓN OFERTA HÍDRICA.....	51
4.3.1	PRECIPITACIÓN OFERTA HÍDRICA	51
4.3.2	CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL	52
4.3.3	CALCULO DE LA ESCORRENTIA	55
4.4	ESTIMACIÓN OFERTA HÍDRICA NETA.....	57
4.4.1	REDUCCION POR CAUDAL ECOLOGICO.....	58
4.5	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA	60
4.5.1	DEMANDA DE AGUA PARA USO DOMESTICO	61
4.6	ESTIMACIÓN DEL INDICE DE ESCASEZ.....	64
4.7	ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	67
4.7.1	INDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HIDRICA (IRH).....	68



4.8	ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ PARA ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.....	72
4.8.1	PROYECCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA.....	72
4.8.2	PROYECCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA	74
4.8.3	PROYECCIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ	77
4.8.4	PROYECCIÓN DE LA VULNERABILIDAD	81
4.8.5	IMPACTO DEL PROYECTO.....	83
5.	CONCLUSIONES	84
6.	RECOMENDACIONES.....	85
7.	BIBLIOGRAFIA.....	86
8.	ANEXOS.....	89



RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo principal determinar el índice de escasez de la cuenca río Bogotá en el departamento de Cundinamarca, mediante el análisis de la escorrentía superficial, y la demanda de agua generada por los usos del suelo, de acuerdo a la metodología establecida por la resolución 865 de julio de 2004; metodología adoptada por el IDEAM, con el fin de establecer su disponibilidad actual y futura a través del uso de uno de los nuevos escenarios climatológicos presentados por el IPPC en su quinto informe, para obtener las variaciones del índice de escasez y su vulnerabilidad en el transcurso del tiempo.

En el estudio, se utilizó información secundaria generada principalmente por el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales y la corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR), tomando los registros de las estaciones meteorológicas y los estudios POMCA sobre la cuenca del río Bogotá. Del desarrollo metodológico se obtuvieron las características morfológicas de la cuenca en general como de cada subcuenca que la conforma, relacionadas con la forma, el tamaño y la pendiente. Se determinó la demanda de agua basándose en la población actual y futura de las subcuencas y los diferentes usos del suelo presentes de tal manera que se pudiera generar con la oferta hídrica el índice de escasez para el año 2040, haciendo análisis cuantitativo de las variaciones cada 5 años.

Los resultados indican que la mayor parte de la cuenca presenta un índice de escasez alto y medio alto, reflejando un conflicto en el uso y la relación demanda y oferta que presenta la cuenca, esto se debe a que grandes hectáreas de bosque han sido removidas para establecer otros usos como los agrícolas y los pecuarios casi en un 70%. La cuenca presenta un índice de vulnerabilidad entre medio alto y alto, bastante similar al índice de escasez ya que depende de este junto con la regulación hídrica estableciendo que la cuenca actualmente es vulnerable ante cualquier cambio o amenaza que altere su oferta. Finalmente se recomienda un control de las medidas de uso y de contaminación sobre el río Bogotá, aunque actualmente ya hay una implementación de mecanismos de mejora en la calidad del agua por la CAR es indispensable que se mantenga el cuidado del recurso y un seguimiento detenido de sus características a medida que pasa el tiempo.



1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable para la subsistencia de todos los seres vivos, tanto así que la mayoría de las actividades desarrolladas por los seres humanos para su supervivencia dependen de este. Actualmente el 97,5% del agua contenida en el mundo forma parte de mares y océanos lo que la hace inútil para el consumo humano, la agricultura y la mayor parte de los usos industriales, el 2,5% del agua restante es agua dulce siendo parte de polos o glaciares, y solo un 0,26% del agua total es aprovechable por los usos humanos [1]. De acuerdo a estas estadísticas el uso del agua debe ser racional de acuerdo a la población y su ecosistema pero se presentan irregularidades dadas por su accesibilidad en función de la zona geográfica y su pérdida en calidad y cantidad, incrementando la falta del recurso con el paso del tiempo [2].

La cuenca del río Bogotá localizada en el departamento de Cundinamarca corresponde cerca del 32% del total de la superficie departamental que cuenta con una población de 1.297.752 habitantes de los cuales el 75% corresponden a población urbana y el 25% restante a población rural determinando una gran importancia para el desarrollo de diferentes estructuras económicas que dependen del uso y la calidad del recurso hídrico [3], por lo tanto es indispensable que el manejo del recurso sea adecuado, pero actualmente debido al avance de la frontera agrícola hacia zonas de paramo, la creciente demanda de agua para consumo humano y las actividades socioeconómicas, el recurso hídrico se ve limitado generando conflictos de manejo y aprovechamiento para la explotación ganadera y la agricultura que bien sean estructuras de actividades permanente o transitorias varían y se ven afectadas por las condiciones climáticas [2].

Actualmente el evidente deterioro de la cuenca del río Bogotá está dado por la concentración de contaminantes residuos de las actividades industriales y domésticas desde su nacimiento hasta su desembocadura, junto con el cambio del uso del suelo y desertificación [3], generando que las comunidades humanas cercanas a la corriente presente enfermedades por consumo del recurso hídrico, un aumento de los costos por la construcción y tratamiento del suministro debido a la contaminación, y conflictos regionales ligados a la competencia por el empleo del agua para diferentes usos [2].

Dichos conflictos regionales anteriormente mencionados están dados por otro tipo de problemática como la alta demanda que la población de Bogotá ejerce sobre el uso del agua, siendo esta demanda diferente a la oferta y generando mayor presión sobre el recurso, el cual ya registra altos requerimientos para suplir la demanda de la estructura socio-económica según el estudio nacional del agua realizado por el IDEAM en el 2001. Si se deseara pronosticar el estado de ese conflicto para años próximos de tal manera que se puedan adoptar las medidas



necesarias para evitar los impactos en aquellos aspectos de mayor vulnerabilidad al cambio sería necesario integrar la presencia del cambio climático, ya que por sus características (aumento de la temperatura media global) puede modificar los promedios de las variables climatológicas (temperatura y humedad del aire, precipitación, vientos y frecuencia de fenómenos meteorológicos) y como consecuencia generar un afectación en la función y operación de la infraestructura hídrica [4].

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la vulnerabilidad climática de la cuenca del río Bogotá para condiciones estacionarias y de cambio climático.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener la caracterización física y morfológica de la cuenca del río Bogotá por medio de información bibliográfica.
- Calcular la oferta hídrica mediante balance hídrico para condiciones hidrológicas mensuales.
- Calcular la Demanda hídrica usando los registros de consumo por sector en la cuenca del río Bogotá
- Estimar el Índice de escasez de la cuenca del río de Bogotá según la resolución 865 de 2004
- Estimar y analizar la vulnerabilidad climática del recurso hídrico bajo el escenario de cambio climático para el periodo 2011-2040.



3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 MARCO TEORICO

Para entender todo el proceso desarrollado en el estudio es necesario hacer énfasis a una serie de definiciones que son básicas en la introducción de la temática. A continuación se muestran las características principales que constituyen el enfoque del presente proyecto.

3.1.1 CUENCA HIDROGRAFICA

Se puede encontrar la siguiente definición en el artículo 3 del decreto 1640 de 2012, *“Entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar”*.

La cual al ser una unidad de análisis y gestión integral del recurso hídrico, debe presentar unas medidas de acción necesarias para planificar el uso sostenible de la misma y de los recursos presentes en ella.

3.1.2 RECURSO HÍDRICO

El agua es el recurso natural del cual depende el desarrollo regional, por esta razón es considerado como elemento estructurante en la formulación de una política de estado relacionada con el manejo integral del agua, tal y como se plantea en el componente de Sostenibilidad del actual Plan Nacional de Desarrollo, y por ende del ordenamiento ambiental del territorio a nivel de las cuencas hidrográficas [5].

3.1.3 AGUA SUPERFICIAL

Corresponde principalmente con los ríos y arroyos que escurren en superficie y configuran una de las fuentes principales de vida y desarrollo.

La precipitación que se infiltra en el suelo se mueve a través de los poros, los cuales son pequeños espacios vacíos en el suelo [6].

3.1.4 AGUA SUBTERRANEA

Parte del agua que cae resbala sobre el terreno hasta llegar a ríos y lagos (agua de escorrentía), pero otra parte se infiltra, bien directamente cuando llueve, o desde los ríos y lagos. Desde el suelo parte del agua sale por evapotranspiración, o por manantiales o alimenta ríos y lagos a través de su lecho. [7]

3.1.5 SUBCUENCA

La cuenca hidrográfica puede dividirse en espacios definidos por la relación entre el drenaje superficial y la importancia que tiene con el curso principal. El trazo de la red hídrica es fundamental para delimitar los espacios en que se puede dividir la cuenca. A un curso principal llega un afluente secundario, este comprende una subcuenca. Luego al curso principal de una subcuenca, llega un afluente terciario, este comprende una microcuenca, además están las quebradas que son cauces menores. [8]

3.1.6 MORFOMETRIA DE LA CUENCA

El análisis hídrico de una cuenca está basado en la determinación de los parámetros morfométricos que permiten un análisis espacial, ayudando en el manejo y planeación de los recursos naturales al definir una unidad según el tamaño de la cuenca, la red de drenaje, la pendiente media, y el escurrimiento, entre otras.

Tabla 1. Características Morfométricas de una cuenca

Parametro	Formula	Descripción
Área (km ²)	A	Superficie encerrada por la línea de delimitación y determina, en la mayoría de los casos, el volumen de agua que ingresa por precipitación, así como la magnitud de los caudales de la cuenca hidrográfica.
Perímetro (Km)	P	Es la longitud del límite exterior de la cuenca y depende de la superficie y la forma de la cuenca.
Longitud de la cuenca (Km)	L	Representa el desarrollo lineal de la corriente con sus irregularidades y curvas
Longitud del cauce principal (km)	L _c	Es la distancia entre la desembocadura y el nacimiento del río.
Factor Forma	$Ff = \frac{A}{(L)^2}$	El factor de forma, R _f . fue definido por Horton, como el cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud.
Pendiente Media (%o m/km)	$J = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$	Según Heras (1972), es la media ponderada de todas las pendientes correspondientes a áreas elementales en las que se puede considerar constante la máxima pendiente.
Densidad de drenaje (km ⁻¹)	$D = \sum Li / A$	Fue definida por Horton (1945) como el cociente entre la longitud total de los canales de flujo pertenecientes a su red de drenaje y la superficie de la cuenca. Es un indicador de la respuesta de la cuenca ante un aguacero y, a mayor densidad de drenaje más dominante, es el flujo en el



		cauce frente al flujo en ladera, lo que se traduce en un menor tiempo de respuesta de la cuenca y, por tanto, un menor tiempo al pico del hidrograma.
Índice de Gravelius	$Kc = 0.28 * P/\sqrt{A}$	Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área igual a la de la cuenca

Fuente: SILVA, 1998

3.1.7 OFERTA HÍDRICA

Es volumen disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre. Al cuantificar la escorrentía superficial a partir del balance hídrico de la cuenca, se está estimando la oferta del agua superficial de la misma [9].

3.1.8 DEMANDA HÍDRICA

Representa el volumen utilizado por las actividades económicas en un espacio y tiempo determinado y corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales [9].

Donde Las demandas sectoriales son:

- DUD: Demanda de agua para uso domestico
- DUI: Demanda de agua para uso industrial
- DUS: Demanda de agua para el sector servicios

3.1.9 ESCASEZ DE AGUA

Conforme aumenta la población, aumenta también la demanda de agua dulce para la producción de alimentos, el uso doméstico (municipal) e industrial. La disponibilidad de agua dulce impone límites al número de personas que puede sostener una zona e influye en el nivel de vida.

La escasez representa la magnitud en la que la demanda excede los recursos disponibles, que puede estar causada por la sequía o por la acción humana: como el crecimiento de la población, mal uso de agua o acceso injusto al recurso [10].

3.1.10 ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA

El índice de escasez muestra la relación existente entre la demanda potencial de agua y la oferta hídrica existente en las fuentes abastecedoras, de igual forma mide la relación porcentual de la demanda de agua ejercida por las actividades sociales y económicas en su conjunto, para su uso y aprovechamiento con la oferta hídrica disponible [11].



Actualmente el IDEAM hace uso de este indicador para reflejar la relación entre demanda y oferta a cualquier escala, estableciendo el nivel de precisión por el detalle y la calidad de las mediciones efectuadas.

Mediante la resolución 865 de 2004 se establece paso a paso la metodología del cálculo del índice de escasez adoptado por el IDEAM y por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, generando la siguiente fórmula para su determinación.

$$I_e = \frac{Dt}{On} * 100$$

Dónde:

I_e : Índice de escasez(%)

Dt : Demanda total de agua (m^3)

On : Oferta Hídrica superficial neta (m^3)

En el presente proyecto el índice de escasez representa el eje central ya que por el resultado obtenido se puede determinar el estado del recurso en la cuenca del río de Bogotá para el año en curso y los escenarios de cambio climático que se evaluarán, identificando los impactos del uso del recurso y de las variaciones climáticas de una manera cuantitativa.

3.1.10.1 Categorías e interpretación del índice de escasez

El índice representa un valor cuantitativo de los niveles de abundancia o escasez como resultado de la relación demanda y oferta, por lo tanto, para tener un mayor análisis de los valores obtenidos se relaciona la disponibilidad del agua, como se puede observar a continuación [12].

Imagen 1 Categorías e interpretación del índice de escasez

Categoría	Rango	Color	Explicación
Alto	> 50%	Rojo	Demanda alta
Medio alto	21-50%	Naranja	Demanda apreciable
Medio	11-20%	Amarillo	Demanda baja
Mínimo	1-10%	Verde	Demanda muy baja
No significativo	<1%	Azul	Demanda no significativa

Fuente: Resolución 865 de 2004



3.1.11 BALANCE HÍDRICO

El Balance Hídrico tiene como objetivo identificar la variabilidad de las lluvias y el comportamiento del agua que se precipita sobre la superficie del área de estudio, desde una parcela o una cuenca; así como establecer los periodos de déficit o excedente de agua de esas áreas [11].

El balance hídrico o ecuación de continuidad, es una de las leyes de la hidrología que cuantifica los recursos hídricos que ingresan a un sistema y salen del mismo en un intervalo de tiempo determinado [13]. Según la resolución 865 de 2004 la base física del balance hidrológico es la formulación de las ecuaciones de conservación de masa para volúmenes de control o unidades hidrográficas determinadas, representándolas de la siguiente forma:

$$I - O = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Dónde:

I: Entradas

O: Salidas

$\frac{\Delta s}{\Delta t}$: *Cambio de almacenamiento*

Determinar el balance hídrico es fundamental en el presente estudio ya que permite establecer el estado actual de la oferta y disponibilidad del recurso hídrico de una forma espacial y temporal.

3.1.11.1 Calculo del Balance Hídrico

La estimación de la oferta hídrica para un espacio y periodo específico tiene como base el ciclo hidrológico modelado mediante el balance hídrico el cual determina la disponibilidad del agua en cada una de las fases: precipitación, evapotranspiración real, infiltración y escorrentía [12].

Como ya se mencionó el balance hídrico está compuesto por entradas y salidas de agua en el sistema, las entradas (I) para una cuenca están dadas por la precipitación, la escorrentía superficial desde otras cuencas y las aguas subterráneas desde otras cuencas, y las salidas (O) están dadas por la evaporación, transpiración, escorrentía superficial hacia otras cuencas, agua subterránea hacia otras cuencas e infiltración [12].

Es importante indicar que para estudios a largo plazo se tiene en cuenta que los cambios en los volúmenes de agua almacenados tanto en la atmosfera como en el suelo son despreciables, por lo tanto:

$$Esc.Total = P - ETR$$



Dónde:

Esc.Total: Escorrentia total Aproximada a solamente la escorrentía superficial.

P: Precipitación

ETR: Evapotranspiracion

Definiendo así el Balance hídrico a estudios con datos de registros históricos de estaciones hidrométricas y climatológicas representativas localizadas dentro del área de estudio.

Para obtener los datos de precipitación utilizados en la ecuación se considera la precipitación media de toda la serie considerada obtenida a partir de la media aritmética, los polígonos de Thiessen y las isoyetas. Para la investigación se usó la media aritmética debido al registro de las estaciones que se obtuvieron en la zona de estudio.

El cálculo de la Evapotranspiración potencial en una cuenca es considerada como la evaporación de la superficie del agua, el suelo, la vegetación, más la transpiración la cual resulta tediosa para la medición directa en regiones de dimensiones importantes, por lo tanto se realiza a partir de diferentes métodos de cálculo consistentes en ecuaciones empíricas. Aquellos métodos más conocidos son los aportados por Penman que utiliza dos términos básicos como la energía (radiación) y aerodinámica (viento y humedad), el método de Turc considerando la evaporación como función de la temperatura media y de la radiación a las horas de brillo solar y el método de Thornthwaite que es uno de los más usados a nivel mundial por fundamentarse en la temperatura disponible en las estaciones meteorológicas.

Para el estudio se utilizó el método de Thornthwaite puesto que utiliza una alta correlación entre la temperatura y la radiación, derivando la siguiente fórmula [14]:

$$ETP = 16 \left(\frac{I}{12} \right) \left(\frac{N}{30} \right) \left(\frac{10Ta}{I} \right)^a$$

Donde

I: Duración del día (h)

N: No días en el mes

Ta: Temperatura del aire media mensual (°C)

$$a: 6,75 * 10^{-7} I^3 - 7,71 * 10^{-5} I^2 + 1,79 * 10^{-2} I + 0,49$$

Donde $I = \sum_{i=1}^{12} i$ para los 12 meses e $i = \left(\frac{Ta}{5} \right)^{1.514}$



3.1.12 PRECIPITACIÓN

Se llaman precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, Granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellos son provocados por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico [11].

3.1.13 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Es el total de agua convertido en vapor por una cobertura vegetal; incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración por los estomas de las hojas [11].

3.1.14 HUMEDAD RELATIVA

Es la razón de la presión de vapor de agua, presente en ese momento con respecto a la presión de vapor en saturación (de agua) a la misma temperatura [11].

3.1.15 TEMPERATURA

Es una magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia. Cuanta mayor agitación presenten éstas, mayor será la temperatura [15].

3.1.16 VULNERABILIDAD

Se refiere a la susceptibilidad o el grado de desprotección o exposición de los componentes sociales, físicos, políticos, económicos o institucionales ante la amenaza dada y el grado de resistencia y su capacidad de sobreponerse el impacto de un evento peligroso [16].

Es el grado por el cual un sistema es susceptible o incapaz de enfrentarse a efectos adversos del cambio climático, incluidas la variabilidad y los extremos del clima.

La vulnerabilidad es función del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático y de la variación a la que el sistema está expuesto, de su sensibilidad y de su capacidad de adaptación [17].

3.1.17 SENSIBILIDAD

Grado por el que está afectado sistema por razón de estímulos relacionados con el clima (el promedio de características del clima, la variabilidad del clima y la frecuencia y magnitud de casos extremos). Depende de la interacción entre la población y el evento climático de peligro [17].



3.1.18 CAMBIO CLIMATICO

Se refiere a cualquier cambio en el clima a través del tiempo debido a la variabilidad natural del mismo o como resultado de la actividad humana [18]. Según la Convención Marco de Cambio Climático, el cambio climático se refiere al cambio del clima que es atribuido directa o indirectamente por la actividad humana, alterando la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables [19].

3.1.19 ESCENARIO

Descripción plausible de cómo puede evolucionar el futuro, sobre la base de una serie coherente e intrínsecamente homogénea de hipótesis sobre relaciones y fuerzas motrices esenciales (p.ej., ritmo de cambios tecnológicos, precio). Los escenarios no son predicciones ni previsiones [20].

3.1.20 ESCENARIO DE CAMBIO CLIMATICO

Representación del clima que se realiza bajo condiciones de cambio planetario en las concentraciones de gases de efecto invernadero o de aerosoles o cualquier otro factor que afecte el balance energético actual [21].

Estos escenarios de cambio climático son creados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPPC), para poder analizar los escenarios de un posible cambio climático, sus repercusiones y desarrollar diferentes alternativas de mitigación. En septiembre del 2013 el IPPC publicó la primera parte del quinto informe del cambio climático donde se ejecuta la quinta fase del proyecto de inter-comparación de las simulaciones de los escenarios de Cambio Climático definiendo unos escenarios muy amplios de forzamiento radiativo, llamados caminos representativos de concentración (RCP) [22].

El forzamiento radiativo de los RCP representa el proceso que altera el equilibrio de energía en el sistema tierra-atmósfera, a raíz de un cambio en la concentración de dióxido de carbono o en la energía emitida por el sol. Así al hablar de escenarios RCP2.6, 4.5, 6.0 u 8.5, no se están indicando aumentos de temperatura en grados centígrados, se indica la cantidad de energía que retiene el planeta [23].

Los RCPs permiten presentar los escenarios de cambio climático para las variables de precipitación y temperatura media en Colombia utilizando el desempeño de los modelos con respecto a la climatología actual y por otro lado un criterio de convergencia de los modelos hacia el futuro [22].

El clima de referencia utilizado por el IPPC fue el periodo comprendido entre 1976 y 2005 ya que presenta una robustez estadística en los datos observados [23].



Escenario	Forzamiento Radiamiento (W/m ²)	CO _{2eq} atmosférico (ppm)	Anomalia de temperatura	Trayectoria	Equivalente para escenarios SRES (AR4)
RCP8.5	8.5	>1370	4.9	2100, en aumento	SRES A1F1
RCP6.0	6.0	850	3	Estabilización después de 2100	SRES B2
RCP4.5	4.5	650	2.4	Estabilización después de 2100	SRES B1
RCP2.6	2.6	490	1.5	Picos antes de 2100 y después declina	Ninguno

Fuente: IDEAM, 2015

3.1.21 IPPC

Intergovernmental Panel of Climate Change o Panel Intergubernamental de Cambio Climático es un grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático establecido conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en 1988 [24].

3.2 MARCO INSTITUCIONAL

3.2.1 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

Primer claustro universitario fundado por la Orden de predicadores el 13 de junio de 1580, se restauró en Santafé de Bogotá el día 7 de marzo de 1965 mediante la resolución No 3645 del 6 del mismo año.

Actualmente es una comunidad educativa católica, inspirada en el pensamiento humanista y cristiano de Santo Tomás de Aquino, que tiene como misión promover la educación superior con programas acreditados que puedan aportar soluciones a la problemática y necesidades de la sociedad actual. Cuenta con tres sedes en las ciudades de Medellín, Villavicencio y Bogotá, dos seccionales en Tunja y Bucaramanga y una universidad abierta y a distancia [25].

3.2.2 MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Es el rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores [26].



3.2.3 INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA (IDEAM)

Entidad dependiente del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, el cual inicio sus actividades el 1 de marzo de 1995. Su función principal es la de dar apoyo técnico-científico a los organismos que forman el Sistema Nacional Ambiental (SINA) generando conocimiento sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente que facilite la toma de decisiones en los sectores público, privado y la ciudadanía en general [27].

Entre los objetivos misionales del IDEAM se encuentra la generación y recopilación de datos, estructuración de la Información, generación de conocimiento sobre el comportamiento de las variables ambientales, servicios y/o productos para clientes, generación y pronóstico de alertas.

3.2.4 CORPORACION AUTONOMA REGIONAL

Su creación fue dada por la ley 3ra de 1961, durante la presidencia de Alberto Lleras Camargo, en la expedición del Decreto 627 del 10 de abril de 1974 la corporación pasa a ser un organismo adscrito al departamento Nacional de Planeación DNP, y ejerce su papel como ente planificador a nivel regional. Su misión es ejercer como máxima autoridad ambiental en su jurisdicción, ejecutando planes, programas y proyectos ambientales, a través de la construcción de tejido social, para contribuir al desarrollo sostenible y armónico de la región [28].

3.3 MARCO LEGAL

El marco Legal se muestra principalmente sobre la temática a tratar en el presente proyecto como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 2. Marco legal

MARCO LEGAL		
NORMA	CONTENIDO	ART. DE INTERES
RECURSOS NATURALES- RECURSO HÍDRICO		
Ley 2 de 1959	Sobre económica forestal de la nación y conservación de los recursos naturales renovables	
Ley 23 de 1973	Por el cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones	
Decreto 877 de 1976	Establece características de áreas forestales protectoras de agua	
Decreto 1681 de 1978	Por el cual se reglamentan la parte X del libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974 que trata de los recursos hidrobiológicos, y parcialmente la Ley 23 de 1973 y el Decreto- Ley 376 de 1957	
Decreto 1594 de 1984	Establece los criterios de calidad del agua para consumo humano, uso agrícola e industrial entre otros. También, las normas para el vertimiento en cuerpos de agua y en el alcantarillado público y reglamenta los sistemas de tratamiento	
Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el código nacional de recursos Naturales Renovables y de Protección al medio ambiente	<u>Art 77a 78: Clasificación de aguas. Art. 80 a 85: Dominio de las aguas y cauces. Art 86 a 89: Derecho a uso del agua. Art 134 a 138: Prevención y control de la contaminación. Art. 155: Administración de aguas y cauces</u>
Decreto 2857 de 1981	Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto- Ley 2811 de 1974 sobre Cuencas Hidrográficas y se dictan otras disposiciones	



Decreto 1449 de 1997	Se reglamentan parcialmente el inciso 1 del numeral 5 del artículo 56 de la Ley número 135 de 1961 y el Decreto-Ley número 2811 de 1974.	Disposiciones sobre la conservación y protección de agua, bosques, fauna terrestre y acuática
Ley 09 de 1979	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.	<u>Art. 51 a 54: Control y prevención de las aguas para consumo humano. Art 55 aguas superficiales.</u>
Ley 99 de 1993	por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones	<u>Art. 10, 11, 24,29: Prevención y control de contaminación de las aguas. Tasas retributivas</u>
Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.	
Acuerdo 15 de 2000	Por el cual se modifica la meta de reducción de carga contaminante por vertimientos puntuales en las cuencas de la jurisdicción de la CAR	
Decreto 1729 de 2002	Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del Artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones	
Resolución 104 de 2003	Por la que se establecen los criterios y parámetros para la Clasificación y Priorización de cuencas hidrográficas	
Ley 812 de 2003	Ley del Plan Nacional de Desarrollo define como prioridad continuar con el programa de descontaminación del río Bogotá, dentro del proyecto de Manejo Integral del Agua.	
Resolución 865 de 2004	Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones.	
Acuerdo 31 de 2005	Por el cual se adoptan módulos de consumo para los diferentes usos del recurso hídrico en la jurisdicción de la CAR	



Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano
Resolución 3956 de 2009	Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados al recurso hídrico en el Distrito Capital
Decreto 3930 de 2010	Usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones
CAMBIO CLIMÁTICO	
Ley 164 de 1994	Adopción Convención Marco sobre cambio climático
Ley 629 de 2000	Adopción protocolo de Kioto
CONPES 3342 de 2003	Venta de servicios ambientales y mitigación del cambio climático
CONPES 3700 DE 2011	Estrategia Institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible



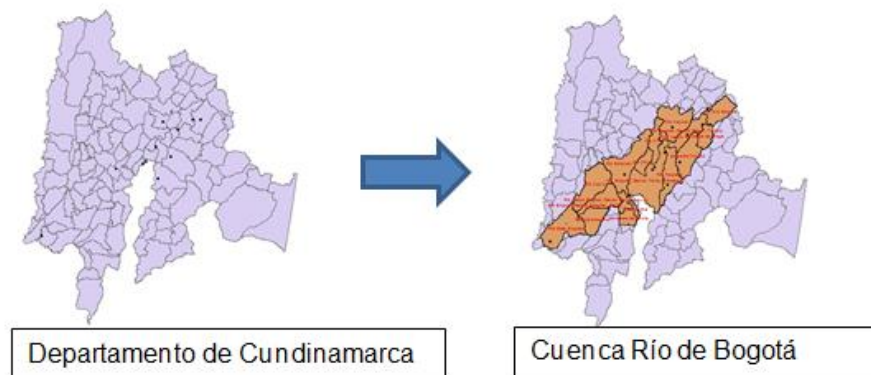
3.4 MARCO CONTEXTUAL

Para llevar a cabo el análisis de una cuenca hídrica es necesario describir sus características físicas, que involucran el relieve, el tamaño, área de la cuenca, entre otros, los cuales permiten determinar el comportamiento del cuerpo de agua en estudio junto con sus variaciones respecto al régimen hidrológico.

3.4.1 LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA

La cuenca del río Bogotá es una corriente de segundo orden, que cubre un área de 589.143 hectáreas, se encuentra localizada en el departamento de Cundinamarca y limita en su extremo norte con el departamento de Boyacá, en el extremo sur con el Departamento del Tolima, al occidente con los municipios de Bituima, Guayabal de Síquima, Albán, Sasaima, La Vega, San Francisco, Supatá y Pacho y al oriente, en el área incluida con los municipios de Nilo, Tibacuy, Silvana, Chipaque, Ubaque y Choachi [3].

Imagen 2. Ubicación Geográfica de la cuenca del río Bogotá



Fuente: El autor

La cuenca riega el departamento de cundinarmaca en sentido noreste-sureste, desde su nacimiento en el municipio de Villapinzon a 3300 msnm hasta su desembocadura en el río Magdalena a la altura del municipio de Girardot a 280 msnm.

Actualmente la cuenca del río Bogotá está conformada por 46 municipios y 19 subcuencas, abarcando el 32 % total de la superficie departamental, de la que se genera alrededor del 26% de la actividad económica nacional.

Tabla 3. Municipios por los que pasa la cuenca

MUNICIPIO	AREA MUN ha	AREA EN CUENCA ha	% MUNIC EN CUENCA
AGUA DE DIOS	8567	7033	82
ANAPOIMA	12377	12359	100
ANOLAIMA	12045	11010	91
BOGOTÁ D.C.	163617	84531	52
BOJACA	10061	10061	100
CACHIPAY	5388	5388	100
CAJICA	5157	5157	100
CHIA	7928	7928	100
CHOCONTA	30178	25383	84
COGUA	13289	13278	100
COTA	6041	6041	100
CUCUNUBA	11163	1280	11
EL COLEGIO	11767	11753	100
EL ROSAL	9791	8492	87
FACATATIVA	15405	15164	98
FUNZA	6731	6731	100
GACHANCIPA	4165	4165	100
GIRARDOT	12979	7691	59
GRANADA	6739	1689	25
GUASCA	36457	21144	58
GUATAVITA	24561	15028	61
LA CALERA	33239	19223	58
LA MESA	14338	14295	100
MADRID	11829	11829	100
MOSQUERA	10822	10822	100
NEMOCON	9906	9906	100
OSPINA PEREZ	11876	11875	100
QUIPILE	12619	3130	25
RICAUARTE	12810	8491	66
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	8845	8837	100
SESQUILE	14125	14093	100
SIBATE	12269	9313	76
SOACHA	18148	16950	93
SOPO	11045	11045	100
SUBACHOQUE	19473	17374	89
SUESCA	17282	12217	71
TABIO	7583	7583	100
TAUSA	19281	14219	74
TENA	5114	5114	100
TENJO	11200	11200	100
TOCAIMA	24722	24243	98
TOCANCIPA	7321	7321	100
VILLAPINZON	22596	12772	57
VIOTA	20339	20130	99
ZIPACON	5872	5872	100
ZIPAQUIRA	19513	18438	94
Totales (ha) de 46 municipios	776573	587597	

Fuente: Corporación Autónoma Regional, 2005



Tabla 4. Subcuencas que conforman el Río Bogotá

CUENCA	PERIMETRO	AREA EN HECTARES	Coordenadas Bogotá UTM ZONA 18 N	
			X	Y
Rio Bajo Bogotá	136097,5120	54431,0130	535478,91596600000	487445,40770000000
Rio Apulo	123388,7810	48505,4870	557258,10581400000	519209,60751800000
Rio Calandaima	77644,7360	26839,7360	557647,17931900000	494013,97997700000
Rio Medio Bogotá (Sector Salto-Apulo)	111035,0370	31649,5020	565280,27632100000	508563,14401500000
Rio Bogotá (Sector Soacha - Salto)	73036,5590	10724,9310	580802,91944000000	506986,59792700000
Embalse del Muña	56552,3130	13421,6930	583309,21710100000	495306,86997600000
Rio Soacha	42384,1140	4051,6090	588447,70479000000	501513,98930200000
Rio Balsillas	172792,0020	62441,6100	582584,75945300000	535838,88427900000
Rio Bogotá (Sector Tibitoc-Soacha)	185367,3380	71284,0020	599692,95977600000	523042,49362300000
Rio Chicú	60910,3650	14188,8860	595401,20633900000	536542,80367500000
Rio Frio	100182,2050	20159,7110	603803,23643200000	552583,47373800000
Rio Teusaca	127028,8990	35818,4180	614303,93957400000	527608,99776800000
Rio Negro	28579,1750	3389,7890	609582,10492500000	555390,67347500000
Rio Neusa	118927,3770	44734,9950	617559,73710200000	566628,17974900000
Rio Bogotá (Sector Sisga - Tibitoc)	112362,9750	25397,2930	628709,11875000000	558665,48889800000
Embalse Tomine	99199,7860	37428,4880	627812,83626300000	541261,30185500000
Embalse Sisga	61877,4750	15526,0100	640668,46122300000	555321,65422800000
Rio Alto Bogotá	90943,7800	27615,0330	651224,85301900000	574340,69680100000
Rio Tunjuelito		41535,0000		
TOTAL		589143,2060		

Fuente: El autor

Según el documento CONPES 3320 la cuenca del río Bogotá se divide en tres partes esenciales según criterios geomorfológicos.

La cuenca alta, parte desde el nacimiento del río sobre los 3.300 msnm en el Páramo de Guacheneque, municipio de Villapinzón, con una longitud de 145 km, hasta la confluencia a la altura de Tibitoc en el lugar conocido como la Virgen, la conforman las subcuencas Río Alto Bogotá, Embalse del Sisga, Embalse del Tominé, Río Bogotá sector Sisga –Tibitoc, Río Neusa, Río Teusacá, Río Negro, Río Frío y Río Chicú.

La cuenca Media, que se encuentra ubicada en la sabana va desde el punto La Virgen hasta Alicachín, en la confluencia de los cerros que circundan el salto de



Tequendama recorriendo unos 68 km. Está conformada por las subcuencas Río Bogotá sector Tibitoc-Soacha, Río Balsillas, Río Soacha, Embalse Muña y Río Bogotá sector salto- Soacha . Este tramo puede dividirse a su vez en cuenca Occidental y Cuenca Oriental haciendo referencia al Distrito Capital.

La cuenca Baja que toma desde Alicachín hasta la desembocadura del río en el río Magdalena entre los municipios de Ricaurte y Girardot, con una longitud de 123 km. Está conformado por las subcuencas Río Medio Bogotá sector Salto-Apulo, Río Calandaima, Río Apulo y Río Bajo Bogotá.

3.4.2 RELIEVE Y PENDIENTE DE LA ZONA

La cuenca del río Bogotá presenta un relieve fuertemente ondulado en el 52.3% de su extensión territorial perteneciente a las zonas montañosas que rodean la sabana de Bogotá y a la ladera de flanco oeste de la cordillera oriental, cerca del 14.8% corresponde a relieves planos correspondientes al altiplano de la sabana de Bogotá y los valles aluviales de los ríos principales, dejando un 14.4% correspondiente a relieves ligeramente inclinados a ligeramente ondulados, un 12.2 % a relieves ondulados e inclinados y un 5.6% a relieves escarpados y muy escarpados correspondientes a zonas de fallas y partes altas de montaña [29].

3.4.3 CLIMATOLOGÍA

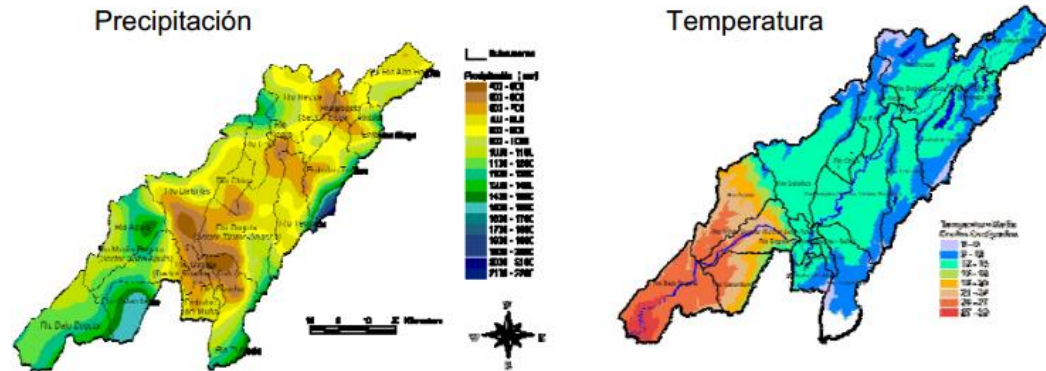
Según en el estudio POMCA de la cuenca realizado por la CAR durante el 2006 se considera una precipitación entre 400 y 2200 [mm] anuales, determinando las zonas con menor nivel de lluvias a la subcuenca del río Soacha y partes de la subcuenca Salto Soacha, Embalse Muña, río Bogotá y río Balsillas, y las zonas con mayor precipitación a las ubicadas en los extremos orientales específicamente en el Embalse Tominé y río Teusacá.

La temperatura oscila entre los 6 y 30°C, para toda la subcuenca del río Bogotá, pero la mayor área presenta una temperatura entre los 9 y los 15 °C, determinando un gradiente de 0.6 °C por cada 100 metros de altura.

En el mapa se puede observar los valores más bajos en temperatura en las partes altas de la cuenca, como los cerros que rodean la sabana de Bogotá entre las cotas 3.200 y 3.400 msnm. En la cuenca baja, se observan los valores más altos, que fluctúan entre los 15 y 18 °C para las subcuencas río Calandaima y Apulo y los 24 °C a los 30°C en los alrededores del municipio de Girardot sobre la cota 500 msn [29].



Imagen 3. Precipitación y Temperatura en la cuenca



Fuente: CAR, 2006

3.4.4 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Geomorfológicamente en la cuenca se distingue dos zonas, la primera está dada en las subcuencas del altiplano y sus bordes por una organización sobre sustrato sedimentario en la cual se definen depresiones tecto-sedimentarias, y la segunda zona presentada en la cuenca media y baja del río Bogotá contiene un elemento hidrogeomorfológico denominado “garganta de Bochita”, donde el río abandona el altiplano hasta su desembocadura en el río Magdalena dado por una formación de sustrato sedimentario plegado, fallado y fracturado [3].

Geológicamente existen tres regiones estratigráficas cretácicas paleógenos distintos en las cuencas ubicadas en la región oriental, región del Tequendama y oeste de la sabana de Bogotá y Región Occidental [3].

3.4.5 SUELOS

Ya que la cuenca abarca un clima entre los 6 hasta los 30°C se puede distinguir diferentes tipos de suelos que cubren los pisos térmicos desde extremadamente frío húmedo, muy frío muy húmedo, frío muy húmedo, frío húmedo, frío seco, medio húmedo, cálido húmedo y cálido seco.

Dentro de las características químicas se encuentran suelos con pH desde ligeramente hasta moderadamente ácidos, con moderada a alta saturación de aluminio, moderada a baja saturación de bases, moderados contenidos de carbón y bajos contenidos de fósforo, potasio y calcio en la subcuenca de Río Alto Bogotá hasta el río Teusacá, luego de este tramo se observan suelos ligeramente hasta moderadamente ácidos, con moderada a baja saturación de aluminio, alta a moderada saturación de bases, moderados y altos contenidos de carbón orgánico



y moderados a altos contenidos de fósforo, potasio y calcio para las subcuencas desde el río Balsillas hasta el sector Apulo-Girardot. La característica física del suelo es similar en toda la cuenca del río Bogotá presentando una textura moderadamente fina con una taxonomía de suelos entre andisol e inceptisol [3].

3.4.6 ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

Según el censo realizado en el 2005 por el DANE la cuenca cuenta con una población total de 1311242 habitantes, de los cuales el 75% corresponde a población urbana y el 25% restante a población rural.

Tomando como guía las proyecciones poblacionales establecidas por ECOFOREST LTDA. que se basan en los registros del DANE se estima que actualmente la población de la cuenca es de 2.076.273 excluyendo la población de Bogotá. A partir de la población de cada subcuenca establecida en el 2005 y sus valores de población urbana y rural se determinaron por porcentajes constantes la población para cada subcuenca en los años siguientes. *(Ir al Anexo a. Población de la cuenca río Bogotá)*

La población de Bogotá no se tendrá en cuenta durante el estudio ya que su población es de 6.865.997 habitantes, notoriamente mayor al total de la población de los municipios que conforman parte de la cuenca, añadiendo a esto que su sistema de captación de agua está conformado por tres sistemas de abastecimiento como el sistema Chingaza, sistema Sumapaz y sistema Tibitoc, de los cuales los dos primeros no forman parte de la cuenca, generando un desfase tanto en la oferta como en la demanda abarcada por la Ciudad de Bogotá. Por ello se recomienda plantear un estudio aparte que abarque solo la Ciudad de Bogotá.

3.4.6.1 Capacidad de uso del suelo y cobertura vegetal

La cuenca presenta una capacidad para establecer sistemas de producción, dentro de las coberturas vegetales predominantes [29]:

- **Bosques:** Es un área de vital importancia para el sistema hidrológico de la cuenca, ya que en ellos nacen y se forman las quebradas que suministran a las poblaciones, se encuentra compuesto por bosques alto andinos y andinos.
En la parte media y baja de la cuenca se encuentran bosques secundarios y de galería altamente intervenidos por cultivos y praderas ya que son zonas de mayor desarrollo. En total la cuenca presenta 158200.82 Ha de cobertura boscosa con un 6% en la cuenca alta, un 8% en la cuenca media y cerca de un 14% en la cuenca baja.
- **Cultivos:** En la cuenca se presenta para uso agrícola de cultivos como arroz, caña panelera, café, hortalizas, papa, plátano, frutales y cultivo de flores, estos comprenden 100196.51 has, casi el 20% del área de estudio, de la cual el 5.94% equivale a la cuenca alta, el 7.81% a la cuenca media y el 4.55% a la cuenca baja.



- Pastos: Tipo de suelo usado para la ganadería de tipo semi-intensivo y extensivo que comprende 214258.29 Has correspondientes al 39.19% del total de la cuenca. En esta zona la actividad pecuaria es variada desde la crianza de ganado vacuno y porcino hasta ganado caprino, aves de corral y conejos.
- Coberturas especiales de paramo, matorral y xerofítica: Conformada por vegetación propia de ecosistemas alto andinos, se destaca por representar grandes colchones de agua indispensables para la regulación del agua donde se forman los embalses del Neusa, Tominé y Sisga. Actualmente estos terrenos no deben presentar uso forestal ni agropecuario.
- Cobertura no vegetal: toma los cuerpos de agua sin vegetación ocasionados de manera natural o antrópica, las áreas sin vegetación sin capacidad de ser cultivadas no labradas y las zonas de explotación minera consideradas como cobertura cuando se desarrollan a cielo abierto. La cuenca alta presenta 1367.54 has en esta clasificación tomando un 12.48%, la cuenca media presenta 6697.04 has equivalentes al 60.75% y la cuenca baja con 1314.01 has equivalentes al 11.91%.

3.4.7 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

La problemática de la cuenca del río Bogotá, esta resumida en dos situaciones la contaminación de la cuenca y su tratamiento y la disponibilidad del recurso hídrico.

3.4.7.1 Calidad del agua

Los aportes de aguas residuales a la cuenca van desde su nacimiento hasta su desembocadura, incrementando en cada tramo los niveles de contaminación biológica, química y física correspondiente a las actividades que se desarrollan alrededor de la cuenca. Actualmente el río Bogotá presenta cuatro tramos definidos de contaminación orgánica [2]:

El primer tramo esta dado en Villapinzón, ya que es en el nacimiento el agua tiende a ser cristalina, rica en oxígeno y poco contaminada, apta para el desarrollo de peces nativos.

El segundo tramo esta entre Villapinzón y el río Juan Amarillo donde la carga contaminante aumenta a causa de las aguas negras como por los vertimientos industriales de las curtiembres que ocasionan un aumento de la DBO_5 hasta cerca de 6 mg/l y un descenso del oxígeno disuelto, conduciendo un cambio en los peces y la diversidad bentónica.

El tercer tramo se extiende entre la desembocadura del río Juan Amarillo, al suroeste de Suba y Tocaima, allí la DBO_5 es casi superior a 100 mg/l y el oxígeno disuelto continua disminuyendo haciendo las características del agua en un medio muy hostil para las personas y los animales. La principal causa de contaminación en este tramo son las descargas de aguas residuales generadas por Bogotá, llevada por los ríos Juan Amarillo, Fucha y Tunjuelo.



El cuarto tramo está ubicado desde Tocaima hasta el río Magdalena, allí la DBO_5 baja a valores de 18 mg/l y el O_2 disminuye hasta 2 mg/l debido a las grandes pendientes que permiten una autodepuración. Si bien el recurso recibe la contaminación de los municipios de la cuenca media y baja estas presentan poca significancia a comparación de la producida por Bogotá.

La presencia de metales pesados en la cuenca se da en la trayectoria de la cuenca media producto de la actividad industrial, aunque no se exceden los criterios admisibles el metal de mayor relevancia es el Cromo producto del curtido de pieles. Por lo tanto, el parámetro más crítico es de contaminación bacteriana (Coliformes fecales, E-coli) que supera el estándar de calidad para los diferentes usos con concentraciones de 10^3 y 10^5 [NMP/100 ml] para la cuenca alta y 10^5 y 10^7 [NMP/100ML] para las cuencas media y baja [30].

3.4.7.2 Conflicto del uso

La degradación del agua presente en la cuenca es ocasionada por los conflictos regionales, definido en el avance de la frontera agrícola hacia los páramos que ha ocasionado la pérdida de más de 9.000 has por la quema para el establecimiento de cultivos en su mayoría de papa y pastos para ganadería, disminuyendo los suelos aptos para la captación y acumulación del recurso hídrico y aumentando la generación de surcos, cárcavas y deslizamientos. A esto se suma el aumento de las áreas sin vegetación que ha llegado a cubrir algo más de 5650 has, por aumento de las áreas mineras y desertificación de algunas tierras contribuyendo a la acumulación de sólidos suspendidos y material orgánico en el recurso [3].

En la cuenca Alta del río Bogotá el conflicto está dado principalmente por el acueducto de la capital y la agricultura de la zona, ya que la captación por parte del acueducto es relevante dejando un caudal mínimo para las épocas secas, lo cual genera una situación crítica, pues para mantener las condiciones hidrobiológicas del río el caudal restante es apenas suficiente y no garantiza su uso para riego [31].

En el embalse del Muña que fue construido en 1940 y 1944 con el fin de regular su propio caudal para su posterior aprovechamiento en generación hídrica ha presentado un deterioro continuo al recibir las aguas bombeadas del río Bogotá, perdiendo la pureza, disminuyendo su calidad y dejándolas no aptas para riego de pastos y de hortalizas que hacen parte de la demanda, convirtiéndose en un problema sanitario para los habitantes de Sibaté [16].

Aguas debajo de Alicachín, los conflictos se deben al uso energético, pues la derivación de los caudales para generación eléctrica hace que el río presente un cauce semi seco generando dificultad en las comunidades para atender sus necesidades de agua, tanto para consumo humano como para riego y para recreación dado que el río de Bogotá no presenta las condiciones aptas para estas actividades [2].



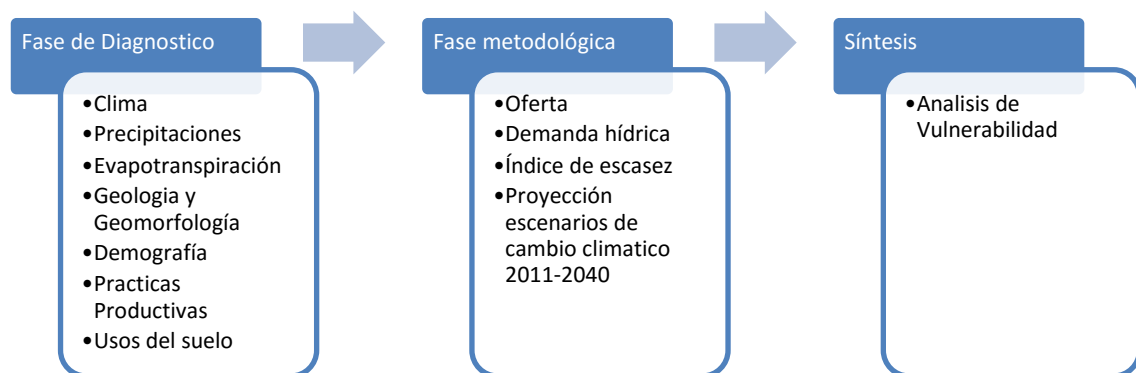
4. METODOLOGÍA

En la metodología se explica de manera clara las actividades realizadas para el cumplimiento de los objetivos planteados.

El tipo de investigación que se desarrollo es descriptiva y experimental ya que une la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual junto con un procedimiento metodológico para poder establecer conclusiones dominantes sobre el funcionamiento de un escenario presente y futuro, y finalizar en una interpretación de los resultados que resulte correcta.

La primera fase denominada fase preliminar está dada por la caracterización Física y climatológica de la cuenca, la cual se lleva a cabo por una consulta de todos los aspectos que conforman la cuenca generando su funcionamiento particular, tomando como fuentes de información estudios realizados por entidades como la Corporación autónoma regional, ECOFOREST LTDA, el IDEAM, documentos CONPES y digitalización en el software Arcgis. La segunda fase comprende la fase metodológica, que involucra los análisis de la cuenca del río Bogotá, relacionados con la oferta y la demanda del recurso hídrico por medio del uso de información verídica necesaria para el desarrollo de los cálculos de balance hidrológico y el análisis de las variables de temperatura, precipitación y caudal en el presente como en los escenarios de cambio climático para el periodo 2011-2040. Finalizando en la fase de síntesis con el análisis de la vulnerabilidad que presenta la cuenca por medio de la susceptibilidad para conservar y mantener el régimen hidrológico que revelan los resultados obtenidos en la fase metodológica.

Proceso de metodología



Fuente: El autor



4.1 MORFOMETRIA DE LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ

La determinación de los parámetros morfométricos de la cuenca del río Bogotá se establecen con el fin de encontrar características importantes de forma y comportamientos en el entorno y en el flujo hídrico.

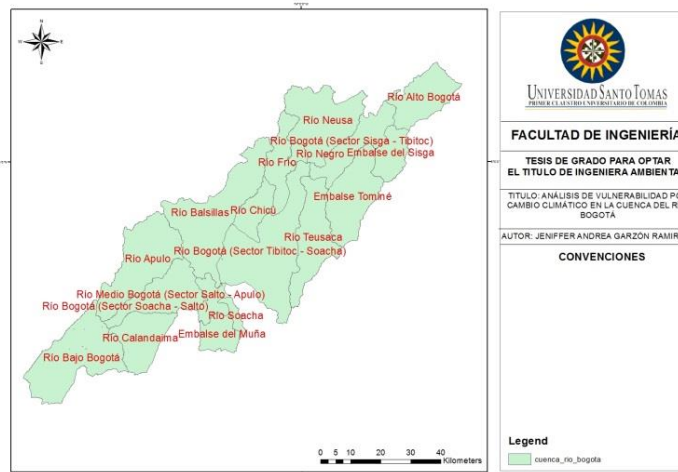
Los parámetros de medición se establecen por medio de la cartografía de la cuenca del río Bogotá, tomando valores de área, perímetro, cota máxima y mínima, entre otros, por medio del software Arcgis, que permite el cálculo de estos parámetros a través de la misma cartografía.

Tabla 5. Parámetros Morfométricos de la cuenca del Río Bogotá

Parámetro	Magnitud
Área de la cuenca (Km)	5891,4321
Perímetro(km)	573,33238
Longitud (Km)	308
Longitud de drenaje (km)	14740
Cota de Nacimiento (msnm)	3300
Cota de llegada (msnm)	280
Diferencia de nivel (msnm)	3020
Pendiente media (%)	17,24
Índice de Gravelius	2.09
Factor forma	0.0521
Densidad de drenaje (km/km ²)	2.50

Fuente: El autor

Imagen 4. Subcuencas que conforman la cuenca río Bogotá



Fuente: El autor



Imagen 5. Parámetros Morfométricos de la cuenca del Río Bogotá

CUENCA	PENDIENTE MEDIA			ÁREA (km ²)	PERÍMETRO (km)	PATRÓN DE DRENAJE*	LONGITUD DE DRENAJES (km)	DENSIDAD DE DRENAJE (m/km ²)	LONGITUD CAUCE PRINCIPAL (km)	PENDIENTE MEDIA CUENCA (m/km)	ALTURA MEDIA CUENCA (m)	FORMA DE LA CUENCA			ÍNDICE DE TORRENCIALIDAD	Tc (minutos)	Velocidad (m/s)
	COTA MAYOR (m)	COTA MENOR (m)	PENDIENTE MEDIA (m/m)									LONGITUD AXIAL CUENCA (m)	ANCHO CUENCA (m)	ÍNDICE DE GRAVELIUS			
SECTOR APULO-GIRARDOT	1.450	275	0,03	544	136	Sp	1.750	3.216	65	8,96	863	39.398	11.482	1,65	4,24	618	1,76
RIO APULO	3.200	425	0,06	485	123	Sp	1.211	2.496	56	21,72	1.813	43.084	13.874	1,58	2,61	587	1,58
RIO CALANDAIMA	2.800	450	0,14	268	78	Sp	641	2.387	25	17,26	1.625	17.085	15.608	1,34	2,43	212	1,93
SECTOR SALTO - APULO	2.850	425	0,06	316	111	Sp	606	1.915	46	16,87	1.638	40.964	12.352	1,76	1,69	592	1,29
SECTOR SALTO SOACHA	3.000	2.350	0,05	107	73	Sp	193	1.798	31	2,73	2.675	12.575	6.571	1,99	2,75	208	2,50
EMBALSE MUÑA	3.700	2.550	0,06	134	57	Sp	261	1.942	16	6,10	3.125	20.391	13.422	1,38	2,03	324	0,82
RIO SOACHA	3.700	2.550	0,07	41	42	Sp	124	3.069	16	10,06	3.125	15.467	2.997	1,88	5,60	262	1,03
RIO BALSILLAS	3.700	2.500	0,02	644	173	Sp	1.290	2.002	68	3,22	3.100	58.688	14.302	1,92	3,12	977	1,16
SECTOR TIBITOC - SOACHA	3.650	2.250	0,02	713	185	Sp	1.159	1.626	113	3,29	2.950	56.859	12.568	1,96	1,53	903	2,09
RIO CHICU	3.250	2.550	0,02	142	61	Sp	299	2.105	28	2,28	2.900	32.483	12.058	1,44	2,30	622	0,76
RIO FRIO	3.700	2.550	0,03	202	100	Sp	580	2.876	59	5,52	3.125	40.113	10.079	1,99	3,98	701	1,40
RIO TEUSACA	3.650	2.550	0,02	358	13	Sp	1.248	3.485	69	5,46	3.100	49.629	14.558	0,19	4,23	862	1,33
RIO NEGRO	3.300	2.600	0,09	34	29	Sp	80	2.371	8	3,15	2.950	7.740	4.770	1,38	3,92	128	1,08
RIO NEUSA	3.750	2.550	0,03	447	119	Sp	1.710	3.822	45	5,84	3.150	34.492	21.405	1,59	6,24	535	1,40
SECTOR SISGA-TIBITOC	3.300	2.600	0,02	254	112	Sp	818	3.221	56	2,77	2.950	35.305	10.024	1,99	3,49	649	1,43
EMBALSE TOMINÉ	3.750	2.600	0,03	374	99	Sp	1.256	3.356	41	5,47	3.175	36.995	14.170	1,45	5,57	598	1,15
EMBALSE SISGA	3.500	2.600	0,04	155	62	Sp	651	4.195	15	4,98	3.050	20.645	9.642	1,40	8,95	341	0,73
RIO ALTO BOGOTÁ	3.450	2.600	0,03	276	91	Sp	863	3.127	40	4,46	3.025	28.292	12.648	1,54	4,29	475	1,40

*Sp: Subparalelo

Fuente: ECOFOREST LTDA, 2005

Como lo indica la tabla 5, la cuenca de Bogotá presenta un área de $5891,4321 \text{ km}^2$, lo que equivale al 32% del total de la superficie departamental, como se mencionó anteriormente la cota de nacimiento es de 3300 msnm en el municipio de Villapinzón y su desembocadura es sobre los 280 msnm en el río Magdalena. En total se localizan 46 municipios que presentan 19 tributarios de importancia y 18 son objeto del presente estudio ya que no se incluye en el estudio el distrito Capital.

Se puede observar que la cuenca presenta un factor forma de 0,0521 menor a 1 por lo tanto se considera una cuenca alargada con poca probabilidad de inundaciones al tener un aumento de la precipitación y por consiguiente de la escorrentía, con respecto al índice de Gravelius se obtuvo un valor de 2,09 que representa una cuenca oblonga con diferentes picos e intensidades en los caudales, relacionado con los relieves ondulados, planos y ligeramente ondulados de la cuenca. La densidad de drenaje en 2,50 establece que la cuenca es medianamente drenada por lo tanto responde de una manera estable ante el influjo de la precipitación, la pendiente media se obtuvo de 17,24 % lo cual indica que la topografía del terreno es accidentado perteneciente a las zonas montañosas y de fallas que rodean la sabana de Bogotá.

El análisis morfométrico de las subcuencas, se estableció a partir de los datos obtenidos por el informe del consorcio ECOFOREST LTDA. en el 2006, agrupando



los datos en tablas de frecuencias de tal manera que se determinaran fácilmente sus características.

Las áreas de las subcuencas según la tabla 6 se clasificaron en cuatro clases de las cuales 7 de las 18 subcuencas dieron relativamente pequeñas ya que presentaban la menor medida con respecto a las otras, destacando un intervalo entre $[33,89 - 203,63] \text{ km}^2$. Este intervalo corrobora que al igual que el área la longitud de las subcuencas será corto en su mayoría presentando 9 subcuencas en un intervalo de $[8 - 42] \text{ km}$, 8 subcuencas con una longitud entre $[43 - 78]$ y 1 subcuenca con un tramo de $[78 - 113] \text{ km}$.

Tabla 6. Clases de tamaños de las subcuencas (km^2 .)

Rango de áreas (km^2)		Clases de Tamaño	No de Subcuencas
33,8979	203,6334	Muy pequeña	7
203,6334	373,3690	pequeña	5
373,3690	543,1045	mediana	3
543,1045	712,8400	Grande	3

Fuente: El autor

Tabla 7. Clases de Longitud de las subcuencas (Km.)

Rango de Longitud del cauce (km)		Clases de Tamaño	No de Subcuencas
8	43	Corto	9
43	78	Mediano	8
78	113	Largo	1

Fuente: El autor

Como se puede observar en la tabla 8 las cuencas presentan un índice de Gravelius entre $[1.25-1.90]$, por lo tanto las subcuencas presentan picos alargados y diferentes intensidades en su trayectoria poco susceptibles a inundación.

Tabla 8. Índice de Gravelius

Índice de Gravelius		Clases de Tamaño	No de Subcuencas
1,00	1,25	Redonda	0
1,25	1,50	Oval redonda	6
1,50	1,90	Oval Oblonga	6

Fuente: El autor



4.2 CLIMA DE LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ

Para establecer la caracterización climatológica de la cuenca y compararla con las fuentes bibliográficas, se utilizaron las estaciones proporcionadas por el IDEAM, localizadas en la cuenca y sus alrededores de tal manera que cumpliera con un registro mínimo de 10 años y máximo 30 años. En total se utilizaron 31 estaciones de las cuales se determinó la variación espacial de la precipitación, la temperatura por medio de las isoyetas y las isotermas.

4.2.1 DESCRIPCION DE LOS DATOS

Las estaciones escogidas para el análisis de la precipitación y temperatura se encuentran en el *anexo b (Estaciones climatológicas seleccionadas)*, es importante mencionar que con esas estaciones se procedió a desarrollar los cálculos necesarios para estimar la evapotranspiración y consigo el balance hídrico que determina la oferta.

Las estaciones fueron escogidas primero seleccionando un área de trabajo en Arcgis, de acuerdo a esa área se tomaron las estaciones que se encontraban dentro del espacio demarcado y luego fueron filtradas (*Ir al Anexo c. Mapa de estaciones seleccionadas*). Se filtraron primero por el número de años de manera que presentaran un registro de mínimo 10 a máximo 30 años, y luego que tuvieran los datos tanto en las variables de precipitación como de temperatura y evaporación, dejando en total 31 estaciones dispersas en el área de estudio para su análisis espacial.

Luego de tener las estaciones escogidas, se procedió a completar los datos de precipitación por el método de las proporciones en la aplicación Microsoft Excel de tal manera que los registros mensuales se encontraran completos al establecer una relación de proporcionalidad entre la lluvia mensual y anual, usando la siguiente ecuación, (*observar el Anexo d. Método de las proporciones para la estación La florida [21205670]*) [32]:

$$\frac{x}{X} = \frac{Pf}{(Pa - X)} \rightarrow x = \frac{Pf * X}{(Pa - X)}$$

Donde

x: lluvia del mes faltante

X: lluvia promedio del mes faltante

Pf: Total anual (del mes faltante)

Pa: Total anual promedio



El método de la proporciones se desarrolló con la condición que las estaciones presentaran un máximo de 20% en datos faltantes y con el fin de poder aumentar la calidad de los datos a manejar e interpretar.

4.2.2 PRUEBAS ESTADÍSTICAS

4.2.2.1 Prueba de homogeneidad

Antes de iniciar con el estudio de las tendencias de precipitación, es necesario asegurarse que los cambios observados en la media son dados por la dinámica natural del clima. Si una estación no presenta homogeneidad significa que ha presentado cambios ya sea por la instrumentación, cambios de emplazamiento o cambios de observador y entorno; por lo tanto se utiliza el estadístico de T-student para comprobar esta hipótesis. La prueba T-student fue desarrollada en 1899 por el químico inglés William Sealey Gosset (1876-1937) y es útil cuando se sospecha que la pérdida de la homogeneidad se debe a un cambio brusco en la media. La prueba se define por medio de la siguiente ecuación [33]:

$$td = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}}$$

Dónde:

$\bar{x}_1, s_1^2$: Son la media y la varianza de la primera parte del registro de tamaño n

$\bar{x}_2, s_2^2$: Son la media y la varianza de la segunda parte del registro de tamaño n

$\bar{x}_1, \bar{x}_2$: Son las medias de las colas uno y dos del registro de la estación.

Para determinar la media y la varianza del registro se tiene que:

$$n_1 s_1^2 = \sum_{i=1}^{n_1} x_i^2 - \frac{1}{n_1} \left(\sum_{i=1}^{n_1} x_i \right)^2$$

El valor absoluto td se compara con el valor de la distribución de T de student de dos colas, la cual resulta de 2.074, con $v=n_1+n_2-2$ grados de libertad, con un 5% de nivel de significancia y un 95% de nivel de confianza según la tabla 9.

Dónde:

n_1 : Es el numero total de datos a analizar para la estación 1

n_2 : Es el numero total de datos a analizar para la estación 2



n_1 y n_2 en el presente estudio representa el número de meses del año ya que el análisis se desarrolla a nivel mensual. Por lo tanto será constante para cada una de las estaciones escogidas.

Tabla 9. Distribución T de student

Grados de Libertad	Nivel de Significancia		Grados de Libertad	Nivel de Significancia		Grados de Libertad	Nivel de Significancia	
	5 % *	5 % **		5 % *	5 % **		5 % *	5 % **
1	6,314	12,706	12	1,782	2,176	23	1,714	2,069
2	2,920	4,303	13	1,771	2,160	24	1,711	2,064
3	2,353	3,182	14	1,761	2,145	25	1,708	2,060
4	2,132	2,776	15	1,753	2,131	26	1,706	2,056
5	2,015	2,571	16	1,746	2,120	27	1,703	2,052
6	1,943	2,447	17	1,740	2,110	28	1,701	2,048
7	1,895	2,365	18	1,734	2,101	29	1,699	2,045
8	1,860	2,306	19	1,729	2,093	30	1,697	2,042
9	1,833	2,252	20	1,725	2,086	40	1,684	2,021
10	1,812	2,228	21	1,721	2,080	60	1,671	2,000
11	1,796	2,201	22	1,717	2,074	120	1,658	1,980
* Prueba de una Cola; ** Prueba de dos Colas						∞	1,645	1,960

Fuente: Campos Aranda, 1987

Si el valor absoluto de td es mayor que el de t se concluye que la diferencia entre la media es un signo de inconsistencia o la serie es no homogénea.

Formulando las siguientes hipótesis H_0 : todos los datos de la serie son datos homogéneos, y H_a : Todos los datos de la serie no presentan homogeneidad.

Para los registros de precipitación se determinó la T de student antes y después de completar datos con el fin de identificar si se generaba alguna alteración de los resultados con la presencia del método de las proporciones. Primero se tomaron grupos de estaciones que estuvieran relativamente cerca observando su altitud con menos de 800 msnm de diferencia, y su ubicación en el mapa elaborado en Arcgis. Después, se establecieron grupos de 4 estaciones de manera aleatoria como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Grupos de estaciones

2118504	GRUPO 1	35065010	GRUPO 6
2119506		21205740	
2119512		35075020	
2119507		35075040	
21255140	GRUPO 2	35085020	GRUPO 7
21185040		35075020	
21245010		21205740	
21255080		24015120	
21255080	GRUPO 3	35085020	GRUPO 8
21195120		35075030	
21206280		35075020	



21205670		35075040	
21206280	GRUPO 4	21255090	GRUPO 9
21205670		23025040	
21205980		23025020	
21206560		23065110	
21205770	GRUPO 5	35045020	GRUPO 10
21206560		35075040	
21206260		35075020	
21205980		35065010	

Fuente: El autor

Luego de haber determinado los grupos se aplica la T de student en Excel generando todas las posibles combinaciones entre las cuatro estaciones, como se muestra a continuación para el grupo 10.

- *T de student para el grupo 10 Antes de aplicar el método de las proporciones*

Primero se reúnen los promedios mensuales multianuales de las estaciones

Tabla 11. Grupo 10 promedios mensuales multianuales

ETIQUETA	A	B	C	D
NOMBRE	CABADA	MACANAL	SUTATENZA	GACHETA
CODIGO	35045020	35075040	35075020	35065010
enero	39,8068966	25,30333333	18,6310345	27,57586207
febrero	87,0933333	56,26	31,9214286	44,34285714
marzo	179,53	105,6241379	59,1172414	78,85517241
abril	408,764516	197,0633333	117,007143	132,1103448
mayo	473,31	320,7533333	174,02069	171,3172414
junio	425,677419	355,1645161	180,937931	156,7
julio	375,919355	354,0266667	179,232143	151,8
agosto	285,2	296,8241379	149,321429	115,9592593
septiembre	322,13871	206,5344828	109,410714	94,40357143
octubre	339,267742	158,8137931	98,9285714	116,1407407
noviembre	299,526667	109,8793103	75,4785714	102,8
diciembre	100,646667	50,13448276	27,1655172	47,09259259
S ²	20653,7423	14721,96006	3628,64602	2184,692725
S	143,714099	121,3340845	60,2382438	46,74069667
MEDIA	278,073442	186,3651273	101,764368	103,2581368

Fuente: El autor



Como se puede observar en la tabla 11 se determina la media y la varianza de los datos, de tal manera que permita establecer la T de student, los grados de tolerancia y el nivel de significancia como se muestra a continuación:

n1	n2
12	12
T	22
nivel de significancia del 5% dos colas	
T DE STUDENT	
T	2,074

Por último se hacen las diferentes combinaciones entre las estaciones, obteniendo el valor absoluto de t_d y consigo si es homogéneo o no, como se puede observar en la tabla 12. *(Ir al Anexo e. Resultados Grupo 10 prueba de homogeneidad T de Student antes de aplicar el método de las proporciones)*

Es importante aclarar que se desarrolla un test de T de student bilateral (formando parejas de estaciones) con el fin de mostrar la relación entre las estaciones escogidas y la dependencia entre ellas, verificando que no presentaran cambios en el registro de los datos.

Tabla 12. Grupo 10 T de student

media	278,07	186,37	278,07	101,76	278,07	103,26	186,37	101,76	186,37	103,26	101,76	103,26
S^2	20653,74	14721,96	20653,74	3628,65	20653,74	2184,69	14721,96	3628,65	14721,96	2184,69	3628,65	2184,69
T_d	0,01	0,03	0,03	0,02	0,02	0,00						
prueba	homogéneo	homogéneo	homogéneo	homogéneo	homogéneo	homogéneo						

Fuente: El autor

Para todas las estaciones en el grupo 10 la T de student permitió determinar que las estaciones son homogéneas, por lo tanto los registros son dados por la fluctuación natural del clima.

Como en el presente estudio se deseaba comprobar el resultado luego de aplicar el método de las proporciones (completar los registros) se evaluó la T de student para todos los grupos mencionados en la tabla 10 aplicando el mismo mecanismo:

- ***T de student para el grupo 10 después de aplicar el método de las proporciones***



Tabla 13. Grupo 10 Promedios multianuales de las estaciones

ETIQUETA	A	B	C	D
NOMBRE	CABADA	MACANAL	SUTATENZA	GACHETA
CODIGO	35045020	35075040	35075020	35065010
enero	39,560967	25,381180	18,631034	27,575862
febrero	86,804736	56,462539	31,921429	44,414499
marzo	179,089608	105,254735	59,117241	78,855172
abril	408,764516	197,063333	117,088692	132,110345
mayo	468,436600	319,117040	174,020690	171,317241
junio	425,677419	355,164516	180,937931	156,922900
julio	375,919355	348,325670	175,928691	151,800000
agosto	281,871130	292,003947	146,500700	115,615933
septiembre	322,138710	201,244139	107,281188	93,850123
octubre	339,267742	154,597428	96,988855	114,617975
noviembre	298,156264	106,861839	73,975125	102,219717
diciembre	100,012355	48,704744	27,165517	46,903957
S^2	20522,575163	14494,133029	3564,831209	2184,821986
S	143,257025	120,391582	59,706207	46,742079
MEDIA	277,141617	184,181759	100,796424	103,016977

Fuente: El autor

n1	n2
12	12
T	22
nivel de significancia del 5% dos colas	
T de student	
T	2,074

Tabla 14. Grupo 10 T de student luego de aplicar el método de las proporciones

Para observar con mayor detalle los datos asociados en cada una de las estaciones dirigirse al Anexo f. Resultados Grupo 10 prueba de homogeneidad T de Student después de aplicar el método de las proporciones.

media	277,14	184,18	277,14	100,80	277,14	103,02	184,18	100,80	184,18	103,02	100,80	103,02
S^2	20522,58	14494,13	20522,58	3564,83	20522,58	2184,82	14494,13	3564,83	14494,13	2184,82	3564,83	2184,82



T_d	0,01	0,03	0,03	0,02	0,02	0,00
prueba	Homogéneo	homogéneo	homogéneo	homogéneo	homogéneo	homogéneo

Fuente: El autor

Como se puede observar las estaciones presentaron homogeneidad antes y después de aplicar el método de las proporciones, esto permite establecer que el completar los datos en las tablas no genera alteración alguna a la calidad de los datos.

En resumen todos los grupos presentados en la tabla 10 a los que se les aplicó la T de student presentaron homogeneidad antes y después de aplicar el método de las proporciones, por lo tanto el área de estudio no presenta alteraciones en sus datos, para observar cada uno de los resultados ir a la carpeta adjunta (*pruebas estadísticas, homogeneidad, precipitación 1-precipitación2*).

4.2.2.2 Prueba de Aleatoriedad

Se procede a realizar las pruebas de aleatoriedad con el fin de determinar si los datos obedecen a un patrón o son datos aleatorios. Para ello se utilizó la prueba de rachas que se entiende como una sucesión de símbolos idénticos que están separados o no por otro tipo de símbolos, y formula la hipótesis H_0 : Los elementos están mezclados aleatoriamente, H_a : Los elementos no están mezclados aleatoriamente.

Para la variable de precipitación se realizó el análisis de aleatoriedad antes y después de generar el método de proporciones en cada una de las estaciones a utilizar con el fin de determinar si se generaba alguna variación en el comportamiento de los datos.

Para aplicar el método de aleatoriedad se considera la sumatoria de los promedios mensuales como la muestra de tamaño n que ha sido dividida en dos categorías, si el valor por año es mayor o menor al promedio total de la muestra. Considerándolo de la siguiente forma:

El promedio de la muestra mostrado en la estación 2120567 [La florida] presenta un valor de 1223,39 mm

$$\text{si, } x > 1223,39 \text{ el valor es 1, si no es 0}$$

Donde x , es el total anual de precipitación

Este procedimiento determina la primera categoría n_1 , luego la segunda categoría se determinó de la siguiente forma:

$$n_2 = 2da \text{ categoría}$$

Determinado por la condición:



$si, n_1 = n_{i-1}$ el valor es 0, si no es 1

Obteniendo las siguientes categorías :

- **Prueba de rachas para la estación 2120567 [La Florida]**

Fechas	Est1	n1	n2
1984	1235,9	1	
1985	1149,2	0	1
1986	1152,5	0	0
1987	1257,2	1	1
1988	1217,5	0	1
1989	1312,3	1	1
1990	1267,8	1	0
1991	1171,2	0	1
1992	745,9	0	0
1993	1441,1	1	1
1994	1249,2	1	0
1995	1230,2	1	0
1996	1299,3	1	0
1997	812,8	0	1
1998	1450,8	1	1
1999	1594,4	1	0
2000	1061,4	0	1
2001	812,8	0	0
2002	1182	0	0
2003	1064	0	0
2004	1112,4	0	0
2005	1164,6	0	0
2006	1187,2	0	0
2007	1324,9	1	1
2008	1430,9	1	0
2009	1062,2	0	1
2010	1363,9	1	1
2011	1844,4	1	0
2012	1116,9	0	1
2013	1386,8	1	1

En función de las cantidades n1 y n2 se espera que el número de rachas no sea ni muy pequeño ni muy grande.



Luego se define la distribución muestral del número de rachas, R , de manera empírica y teórico, tomando el valor empírico como la suma de los valores igual a $1+1$ y el valor teórico como

$$R_t = \frac{n + 1}{2} \rightarrow R_t = \frac{30 + 1}{2} = 15,5$$

Donde

R_t : es la distribución del número de rachas teórico

N : el número total de la muestra

A esto se le agrega la estimación de la desviación teórica de tal manera que se pueda apreciar el rango de dispersión de los datos con respecto a la media y se pueda determinar los rangos, como se observa a continuación:

Empírica	Re	15
datos	n	30
Teoría	RT	15,5
desviación teórica	DESV	2,692582404

Como el número de datos a evaluar en la estación no excede a los 30 datos, T de student corresponde 2,0422, con un grado de significancia de 0,05, estos datos permiten aplicar la fórmula para crear los intervalos de distribución:

Tabla 15. Resultado prueba de rachas estación 2120567

a		0,05
T student	T	2,042272456
CREACIÓN DE INTERVALOS		
Min	$RT-t*DESV$	10,0
Max	$RT+t*DESV$	21,0
Resultado	H_0	VERDADERO

Como se observa los intervalos son una medida que establece un límite para la distribución empírica de la muestra tomada, cuando la $[Re]$ distribución muestral empírica se encuentra dentro de los intervalos obtenidos a partir de la distribución muestral teórica $[Rt]$, se puede establecer que la muestra es aleatoria por lo tanto la hipótesis nula es verdadera, si dicho valor no se encuentra dentro del intervalo la secuencia obedece a un patrón afirmando la hipótesis alternativa.



Observando la tabla 15 se define que los datos de la estación 2120567 [la florida] presentan aleatoriedad sin haber aplicado el método de las proporciones, apoyando la calidad de los datos.

Ahora se aplica la prueba de rachas para la misma estación una vez se ha aplicado el método de las proporciones:

- **Prueba de rachas para la estación 2120567 [La Florida] luego de aplicar el método de las proporciones.**

Fechas	Est1	N1	N2
1984	1235,9	0	
1985	1149,2	0	0
1986	1448,19053	1	1
1987	1257,2	1	0
1988	1217,5	0	1
1989	1312,3	1	1
1990	1267,8	1	0
1991	1171,2	0	1
1992	745,9	0	0
1993	1441,1	1	1
1994	1249,2	1	0
1995	1230,2	0	1
1996	1299,3	1	1
1997	812,8	0	1
1998	1450,8	1	1
1999	1594,4	1	0
2000	1061,4	0	1
2001	812,8	0	0
2002	1182	0	0
2003	1064	0	0
2004	1112,4	0	0
2005	1221,01438	0	0
2006	1187,2	0	0
2007	1472,22133	1	1
2008	1430,9	1	0
2009	1062,2	0	1
2010	1363,9	1	1
2011	1844,4	1	0
2012	1116,9	0	1
2013	1386,8	1	1



Tabla 16. Resultado prueba de rachas estación 2120567 después del método de las proporciones

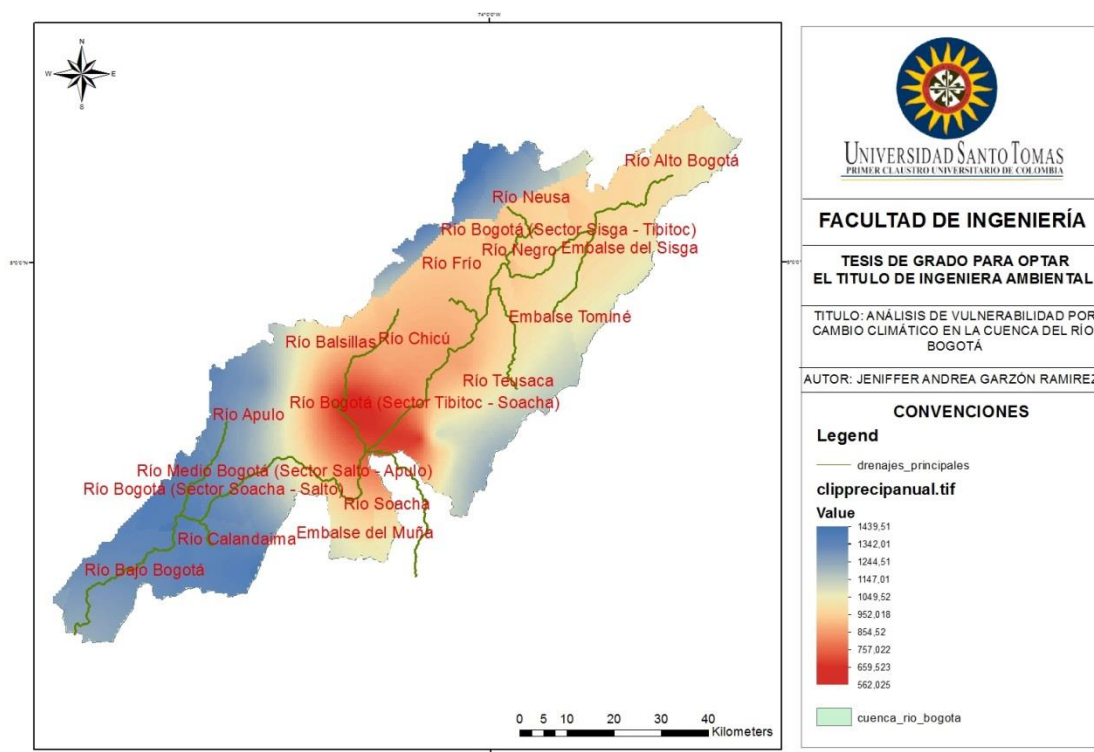
a		0,05
T student	T	2,042272456
izquierda	RT-t*DESV	10,0
derecha	RT+t*DESV	21,0
RESULTADO	Ho	VERDADERO

Como se puede observar en la tabla 16 el resultado de la prueba de rachas después de aplicar el método de proporciones es el mismo al de la tabla 15, ambos dieron verdadero por lo tanto la hipótesis nula que menciona a la serie como aleatoria se cumple, esto quiere decir que la mayoría de las estaciones no presentan un condicionamiento ni obedecen a un patrón luego de aplicar el método de las proporciones, aquellas estaciones que presentaron un cambio fueron 4 [2120588, 2120626, 3508502, 2125514] de las 31 estaciones pasando de ser no aleatorias a aleatorias, ya que al incrementar el número de datos la media de la muestra aumenta permitiendo que los valores resultantes estén dentro del intervalo establecido y se considere la muestra como aleatoria. Para observar cada uno de los resultados para las 31 estaciones en cada una de las pruebas ir a la carpeta adjunta (*pruebas estadísticas, Aleatoriedad, precipitación 1-precipitacion2*).

4.2.3 PRECIPITACIÓN

Como se observa en la imagen 6, en la cuenca se registra una precipitación entre 526 y 1439 [mm] anuales, en el estudio POMCA de la cuenca realizado por la CAR durante el 2006 se considera una precipitación entre 400 y 2200 [mm] anuales. Esta variación estacional permite establecer que la zona de menor nivel de lluvias son las subcuenca Río Bogota sector Tibitoc-soacha, subcuenca Río Soacha, Embalse Muña, Río Bogotá sector Salto-Soacha y Río Balsillas. Las zonas con mayor precipitación son el embalse Tominé y la subcuenca Río Calandaima.

Imagen 6. Precipitación de la cuenca del río Bogotá



Fuente: El autor

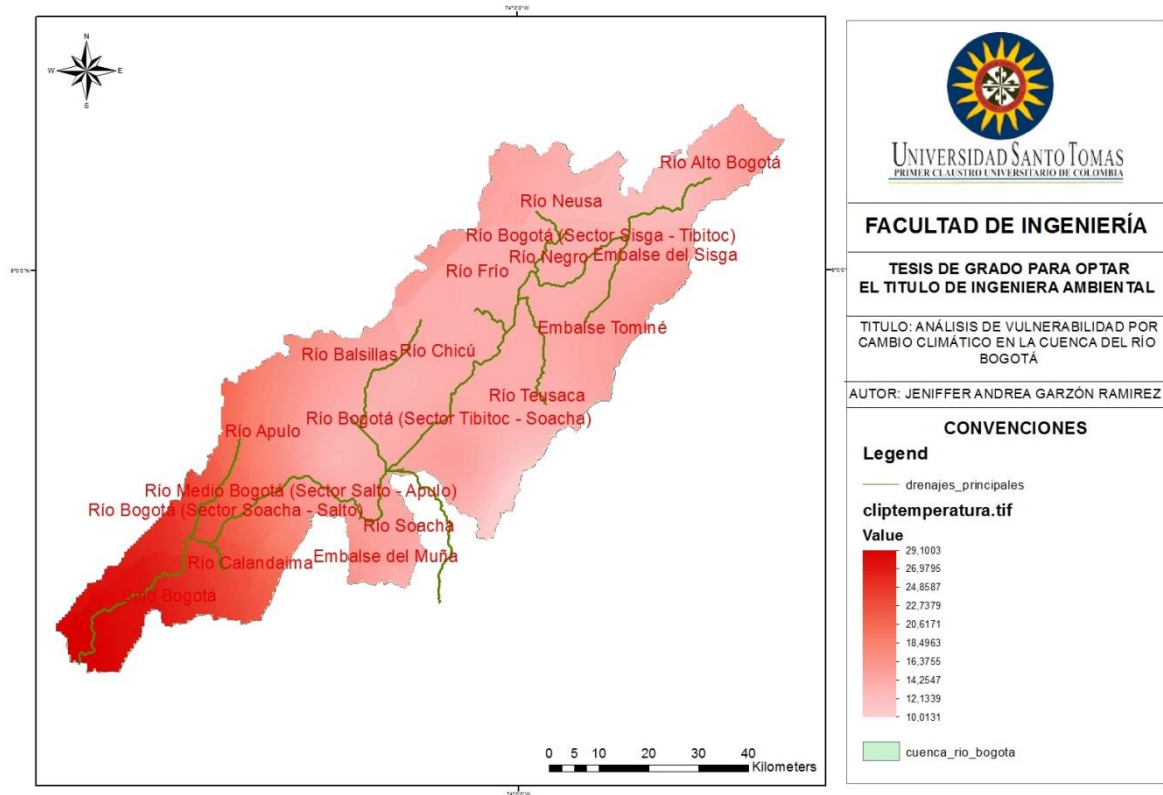
4.2.4 TEMPERATURA

Con base a la temperatura se genera una variación entre 7,9 y 30,25 grados centígrados, presentándose los valores más bajos en las partes altas de la cuenca, ya que la variable temperatura es inversamente a la altura, fluctuando entre los 8 y los 12°C. Para las zonas de la sabana hasta el salto de Tequendama se obtienen unos valores entre 12 y 15°C, dejando para la cuenca baja los valores más altos entre los 16 y los 30°C tomando la zona del Río Bogotá Salto-Apulo hasta Girardot que se encuentra a los 500 msnm aproximadamente.



Estos valores se encuentran muy cercanos a los obtenidos en el POMCA ya que ese estudio obtuvo un valor entre los 6 y los 30°C, validando la información encontrada.

Imagen 7. Temperatura de la cuenca del río Bogotá



Fuente: El autor

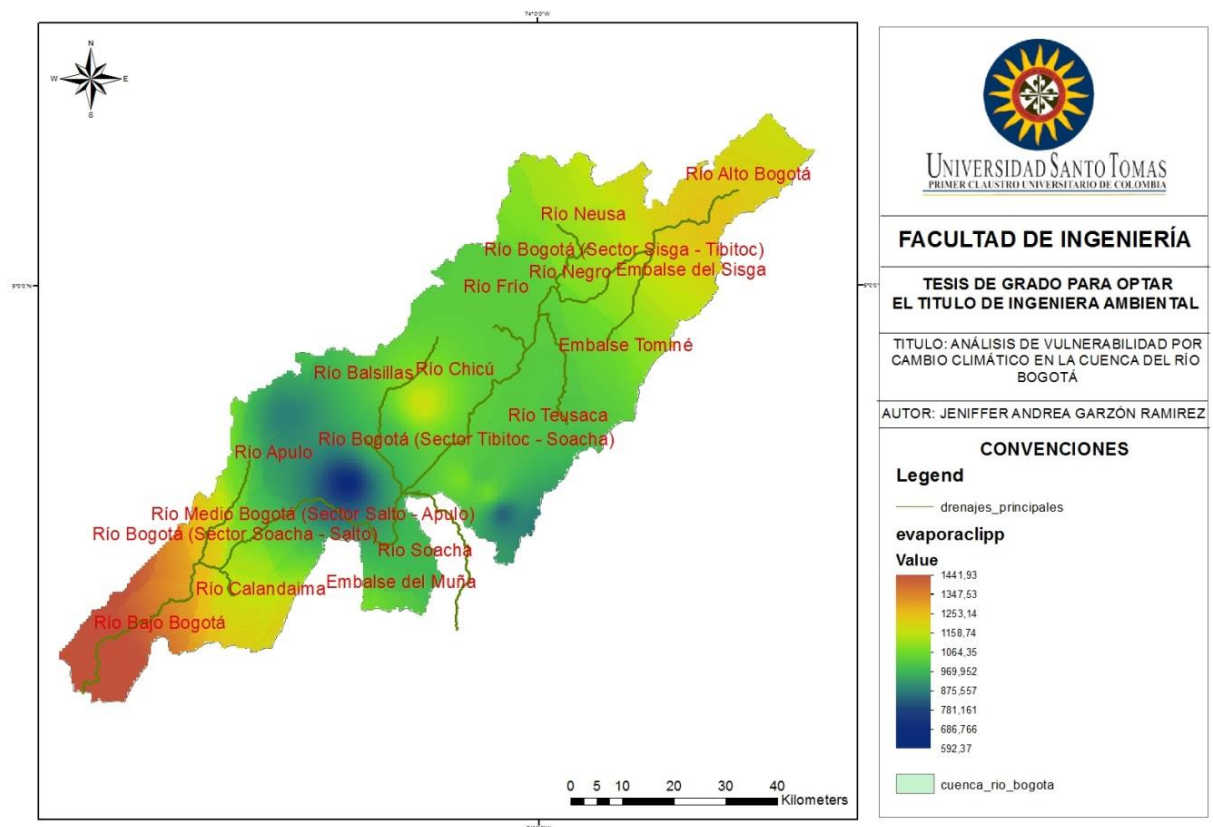
4.2.5 EVAPORACIÓN

Como se puede observar en la imagen 8 los valores más bajos de evaporación se presentan en el sector medio del río Bogotá con registros desde 686,766 mm, se observan valores entre los 969,952 y los 1253,14 mm en los cerros que rodean la sabana de Bogotá y parte de la subcuenca del sector de Soacha y el salto de Tequendama, presentando en la mayoría de su extensión estos valores. Luego de la sabana de Bogotá cubriendo la cuenca baja, se observan los valores más altos de evaporación entre los 1253,14 y los 1441,93 mm cubriendo los alrededores de la ciudad de Girardot sobre la cota de los 500 msnm aproximadamente.

Esto demuestra que las zonas que presentan mayor evaporación están dadas por un aumento de la temperatura, y una disminución de la altura.



Imagen 8. Evaporación de la cuenca del río Bogotá



Fuente: El autor



4.3 ESTIMACIÓN OFERTA HÍDRICA

Dentro de las metodologías apropiadas por el IDEAM para poder estimar la oferta hídrica de una cuenca se encuentra el balance hídrico establecido por la resolución 865 de 2004, de acuerdo a esto para el presente estudio se utiliza esta metodología de cálculo, explicada en el marco teórico.

Donde

$$Esc.Total = P - ETR$$

Esc.Total: Escorrentia total aproximada a solamente la escorrentía superficial.

P: Precipitación

ETR: Evapotranspiracion

4.3.1 PRECIPITACIÓN OFERTA HÍDRICA

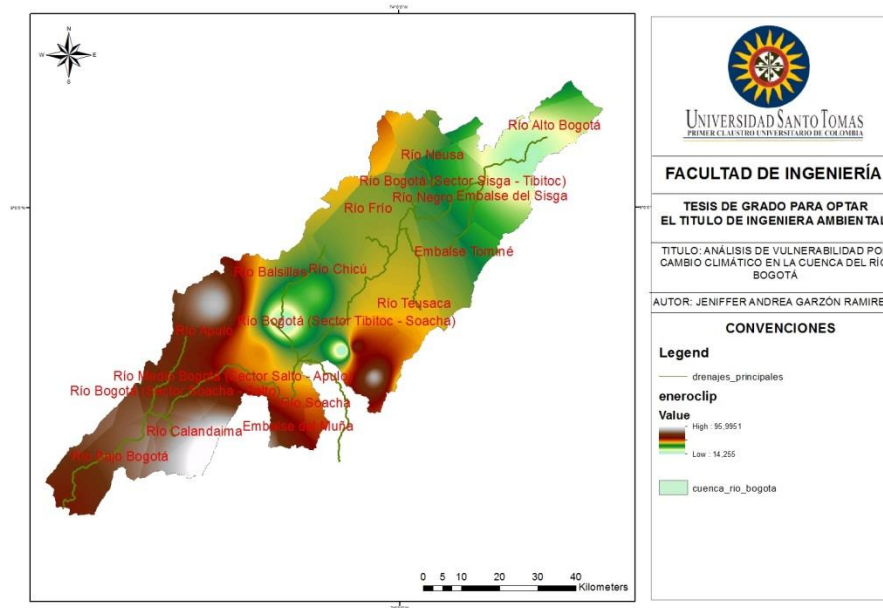
Para el cálculo de la precipitación se utilizaron las estaciones del anexo b, una vez las estaciones pasaron las pruebas estadísticas se procedió a generar una interpolación de los datos de tal manera que el área de estudio fuera cubierta de manera espacial y permitiera estimar datos en cada región de la cuenca del río Bogotá.

Como el estudio se desarrolló de manera mensual, primero se filtraron los datos mensuales multianuales para las 31 estaciones, obteniendo 372 datos, (*observar el Anexo g. tabla Promedios mensuales de precipitación*), luego de esto se interpoló cada uno de los 12 meses del año por el método IDW obteniendo una imagen raster por cada uno de los meses como se muestra en la Imagen 9.

La Imagen 9 hace referencia al raster generado para el mes de enero, como se puede observar en las convenciones se describen unos rangos de mayor y menor, estos rangos son obtenidos para cada mes una vez se desarrolla la interpolación en el programa Arcgis, teniendo en cuenta la serie de datos promediados. Como se puede observar la precipitación para el mes de enero en la zona que abarca la cuenca varía entre [14,24 - 95,99] mm.



Imagen 9. Interpolación mensual de precipitación



Fuente: El autor

Es necesario aclarar que la interpolación se realizó en todo el área de estudio pero la imagen 9 se encuentra cortada abarcando únicamente el área de la cuenca para efectos de mayor entendimiento.

4.3.2 CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Como se mencionó anteriormente el método seleccionado para estimar la evapotranspiración potencial fue el método de Thornthwaite, este método corrige la ETP mediante un coeficiente que tiene en cuenta el número de días del mes y horas de luz de cada día, en función de la latitud, obedeciendo a la siguiente ecuación:

$$ETP = 16 \left(\frac{I}{12} \right)^a \left(\frac{N}{30} \right) \left(\frac{10Ta}{I} \right)^a$$

Donde

I: Duración del día (h)

N: No días en el mes

Ta: Temperatura del aire media mensual (°C)

$$a: 6,75 * 10^{-7} I^3 - 7,71 * 10^{-5} I^2 + 1,79 * 10^{-2} I + 0,49$$



Donde $I = \sum_{1}^{12} i$ para los 12 meses e $i = \left(\frac{T_a}{5}\right)^{1.514}$

Inicialmente para poder estimar la evapotranspiración potencial se reunieron los datos de temperatura y precipitación necesarios para cada una de las 31 estaciones, luego de ello teniendo en cuenta la ubicación (latitud y longitud) de cada estación se procedió a estimar el número de horas luz según la tabla estándar de número máximo de horas sol (Doorenbos y Pruitt, 1977) [33], luego se utilizó una plantilla en Excel con las ecuaciones de estimación insertadas de tal manera que al llenar los campos con los valores correspondientes se realizara la estimación, obteniendo así la evapotranspiración potencial para cada una de las estaciones, como se muestra a continuación:

Tabla 17. Resultado ETP para la estación 2120567

	ene	feb	mar	abri	may	jun	jul	agot	sep	oct	nov	dic	ene	Total	
temp	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17		
i	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	76	a= 1,7066
ETP sin corr	63	63	63	63	63	62	62	64	64	62	62	62	63		
nºdías mes	31	28	31	30	31	30	31	31	31	31	30	31	31		
nº horas luz	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		
ETP corr.	65	59	66	64	67	64	65	68	66	64	61	63	65	772	

Al finalizar y obtener todos los datos de evapotranspiración potencial para las 31 estaciones se determinó la evapotranspiración real, a través de dos factores ya conocidos como la ETP y la pluviometría con el fin de determinar la suma de las cantidades de vapor de agua evaporadas por el suelo y transpiradas por las plantas durante un periodo determinado bajo las condiciones meteorológicas y de humedad de suelo existentes, siguiendo la siguiente ecuación:

$$ETR = [((P * ETP * TanH(P/ETP))(1 - COSH(ETP/P) + SENH(ETP/P)))]0.5$$

Donde

ETP: Evapotranspiración potencial

P: Precipitación

Esta fórmula también se desarrolló en una plantilla de Excel de tal manera que al ser integrados los datos de evapotranspiración potencial y precipitación generara



la evapotranspiración real (ETR) para las 31 estaciones de estudio, como se muestra a continuación:

Tabla 18. Resultado ETR para la estación 2120567

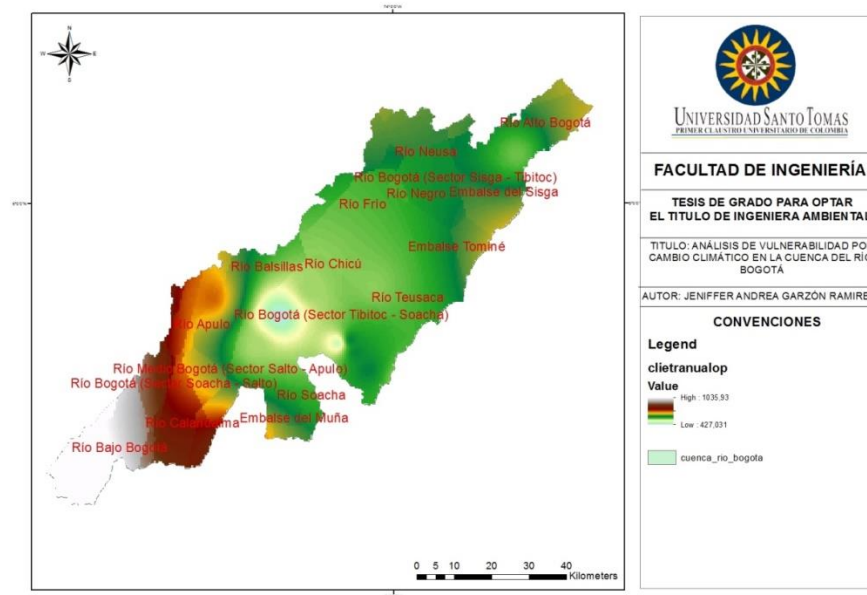
Area de drenaje	ETP	P	RAIZ (ETR)	Índice aridez
ENERO	64,648	72,530	47	0,27
FEBRERO	58,986	85,263	47	0,20
MARZO	65,779	111,600	55	0,16
ABRIL	63,827	155,681	57	0,10
MAYO	66,920	123,442	57	0,14
JUNIO	64,447	56,520	42	0,35
JULIO	65,140	45,787	37	0,43
AGOSTO	67,539	63,710	46	0,33
SEPTIEMBRE	66,441	106,417	55	0,17
OCTUBRE	64,118	173,230	58	0,09
NOVIEMBRE	60,997	161,370	55	0,09
DICIEMBRE	63,399	84,487	50	0,22

Fuente: El autor

En resumen los datos de evapotranspiración presentan una diferencia entre 70 y 80 mm entre los valores más bajos y más altos para cada mes, obteniendo como mínimo 14,0188 mm correspondiente al mes de enero y 130,843113 mm como valor máximo correspondiente al mes de octubre. Según la distribución que presenta la imagen 10 donde se muestra el comportamiento anual de la evapotranspiración los valores entre los 427 mm y los 898 mm se presentan en las cuencas altas y medias del río con una tonalidad de verde claro a café claro, luego para la cuenca baja los valores aumentan en el rango de las subcuencas del río Calandaima y Apulo a un valor de los 900 a 1035 mm hasta los alrededores del municipio de Girardot.



Imagen 10. Interpolación ETR Río Bogotá.



Fuente: El autor

Una vez se tiene la estimación de la ETR por estación se organizan los datos en una nueva plantilla de excel, de tal manera que esta pueda ser integrada al software Arcgis para generar la interpolación en el área de trabajo, de tal manera que se pueda determinar la escorrentía de manera espacial.

4.3.3 CALCULO DE LA ESCORRENTIA

Al realizar un balance hídrico a largo plazo los cambios en los volúmenes de agua almacenados en la atmosfera y los volúmenes de agua almacenados en el suelo son despreciables. En consecuencia el flujo promedio en la atmosfera es igual al promedio de la escorrentía neta y son iguales a la diferencia entre la precipitación media y la evapotranspiración real, por lo tanto [12]:

$$Esc.Total = P - ETR$$

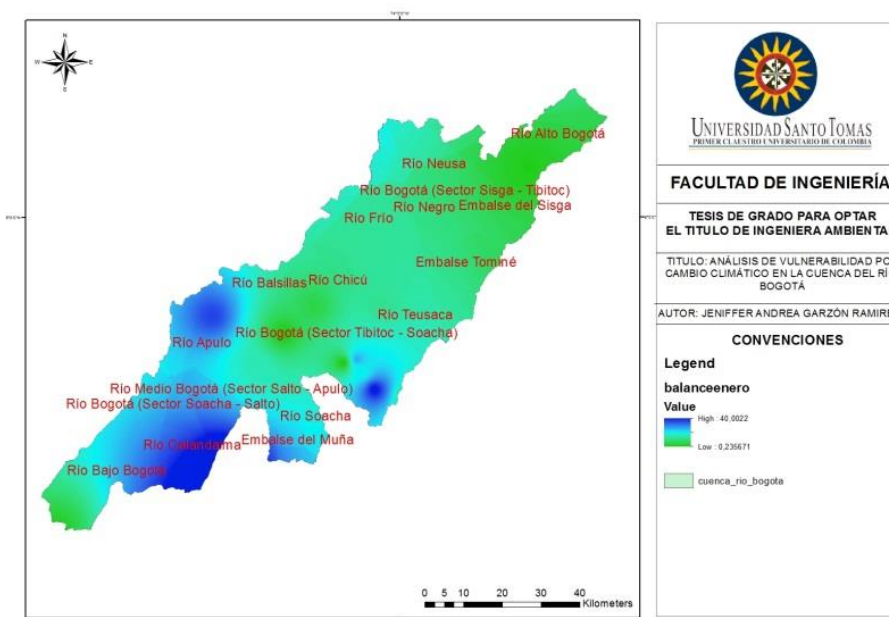
Con esto entonces se determina que la oferta hídrica será calculada mediante la variable de escorrentía superficial.

Para ello una vez se tienen los datos de precipitación y evapotranspiración real, se procede a aplicar la ecuación de escorrentía neta. Como se mencionó anteriormente tanto la precipitación como la evapotranspiración real se llevaron a una distribución espacial, obedeciendo a esto se aplicó la diferencia entre las dos variables a nivel espacial utilizando el software Arcgis con la herramienta Raster Calculator y se obtuvo la distribución espacial de la escorrentía para toda la cuenca del rio Bogotá como se muestra a en la imagen 11 para el mes de enero.



En la leyenda de la Imagen 11 se puede observar el resultado por defecto de la operación realizada en Arcgis donde se da a conocer el mínimo y el máximo de la escorrentía en mm para el mes de enero. Los valores resultantes están entre 0,23 y 40,02 mm, relacionando los valores más bajos con los colores verdes claro y los valores más altos con el color azul.

Imagen 11. Escorrentía para el mes de enero.



Fuente: El autor

De acuerdo a esto, se procedió a recortar el raster de la escorrentía obtenida por mes para cada subcuenca, obteniendo 216 recortes, este paso se desarrolló con la herramienta Clip Raster de Arcgis con el fin de estimar el valor específico de la escorrentía para cada una de las 18 subcuencas que conforman la cuenca del río Bogotá y poder determinar la oferta neta disponible y más adelante el índice de escasez, por medio de Excel.

Como se puede observar en la tabla 19 la oferta estimada varía desde 6,82 a 121,018 mm/mes, indicando que la zona y la temporada del año ejercen un cambio en el comportamiento del recurso, los datos obedecen a un régimen bimodal, ya que la escorrentía al ser el agua que no es evaporada ni infiltrada es mayor para aquellos meses lluviosos entre abril-junio, y septiembre-octubre, mientras que disminuye gradualmente para los meses secos entre enero-marzo y julio- agosto.

Para generar un buen análisis y operación de los datos se decidió transformar la oferta resultante en mm a m³/s utilizando la herramienta Excel y la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ mm} = \frac{1l}{m^2} = \frac{10m^3}{ha}$$

Para la subcuenca Alto Bogotá en el mes de enero quedaría de la siguiente forma:

$$= \frac{6.820mm * 10m^3 * 2765 \text{ ha}}{ha * (86400 * 31)s} = 0.0704 \frac{m^3}{s}$$

Donde las 2765 Ha pertenecen al área de la subcuenca y los (86400*31) s hacen referencia a la equivalencia en tiempo para llevar la unidad de mes a segundo (*ir a al Anexo h. tabla ofertas 2015 m³/s*).

Tabla 19. Resultado ESC [OFERTA] por subcuencas en mm

SUBCUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ALTO BOGOTÁ	6,820	14,012	38,528	73,340	112,380	121,018	107,670	79,655	51,007	71,520	61,080	19,746
EMBALSE DEL SISGA	12,110	12,780	29,880	62,050	89,580	91,160	98,180	66,910	38,650	54,039	47,391	14,160
EMBALSE DE TOMINE	10,410	20,680	26,070	62,570	87,720	80,540	85,980	57,960	36,590	61,274	60,460	23,870
SISGA TIBITOC	8,510	18,466	33,050	56,670	76,210	84,080	96,380	62,710	34,100	69,940	62,490	23,520
RIO NEUSA	14,320	25,970	49,760	80,990	81,470	79,800	85,320	59,120	43,560	82,670	73,850	28,640
RIONEGRO	8,750	18,420	34,540	56,390	58,700	35,590	35,510	24,300	24,450	59,380	56,080	20,770
RIO TEUSACA	22,204	35,375	55,214	80,123	97,264	73,230	85,346	61,210	36,280	73,940	84,210	40,220
RIO FRIO	12,500	24,110	45,199	73,990	70,590	45,540	43,260	31,420	36,720	76,230	68,836	26,340
RIO CHICU	9,030	19,050	33,740	54,640	53,000	25,030	22,330	16,520	22,270	58,380	54,630	22,570
TIBITOC-SOACHA	28,420	42,190	60,630	83,920	77,780	46,990	51,790	37,910	35,120	86,660	91,660	46,450
RIO BALSILLAS	19,520	30,840	47,655	83,050	63,310	33,600	29,430	23,360	40,610	94,510	86,210	29,830
RIO SOACHA	14,488	24,920	45,240	63,077	60,060	29,820	27,640	19,570	23,190	61,610	64,740	29,790
EMBALSE MUÑA	26,220	35,150	61,250	69,680	62,000	31,440	29,270	20,070	25,120	69,450	73,940	41,910
SALTO SOACHA	17,200	26,820	47,500	69,360	56,600	23,200	19,590	16,470	23,780	64,620	63,820	32,250
MEDIO BOGOTA	21,470	30,350	50,560	70,770	56,640	17,790	13,130	10,260	27,950	73,310	85,540	35,530
RIO CALANDAIMA	40,000	48,390	79,670	78,540	70,680	19,940	14,300	10,350	27,520	75,970	83,940	58,010
RIO APULO	25,240	37,850	56,310	98,300	66,090	15,460	10,360	18,190	51,390	114,870	105,980	34,890
RIO BAJO BOGOTA	30,070	38,140	62,890	76,210	62,410	17,790	13,330	9,780	33,450	71,820	75,230	44,000

Fuente: El autor

4.4 ESTIMACIÓN OFERTA HÍDRICA NETA

Para obtener la oferta hídrica neta disponible, se procede a reducir la oferta hídrica total calculada con el caudal mínimo ecológico.



4.4.1 REDUCCION POR CAUDAL ECOLOGICO

El caudal mínimo ecológico es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua, para obtener el caudal ecológico se utilizó la siguiente metodología.

Se tomaron las estaciones Limnigráficas del IDEAM y se distribuyeron dentro del área de estudio, luego se tomaron las estaciones que quedaron ubicadas dentro de la subcuenca con un registro mínimo de 5 años como se muestra en la tabla 20. *(Ir al Anexo i. Mapa ubicación estaciones Limnigráficas).*

Tabla 20. Estaciones Limnigráficas

CODIGO CAD	NOMBRE ESTA	NOMBRE MUN	LONGITUD	LATITUD
2120719	SAUCIO-PTE BARAYA	CHOCONTA	644101	563864
2120816	STA ROSITA	CHOCONTA	638558	563853
2120798	SAN ISIDRO	GUASCA	621975	536183
2120767	PTE FLORENCIA	GACHANCIPA	627485	556461
2120732	PTE CARRETERA NEUSA	COGUA	616389	561970
2120734	PTE-VARGAS	CAJICA	610874	543536
2120726	TAMBOR EL	LA CALERA	612758	519585
2120742	BALSA LA	CHIA	603497	532470
2120811	PTE LA VIRGEN	COTA	601651	530625
2120805	PTE MICOS	MADRID	581323	526915
2120824	GIRARDOT	GIRARDOT	525891	477134

Fuente: IDEAM

Luego de tener las estaciones se procedió a filtrar cada uno de los datos de caudales mensuales multianuales en m^3/s , y se organizaron en Excel. Después con el uso del software HidroEsta, en la opción de curvas características-Curvas de duración, se estimó la curva de duración de caudales mensuales multianuales, para los 12 meses del año para las 31 estaciones *(Ir a la carpeta anexa sig-rio Bogotá-Ecologico-caudal ecológico -caudales mensuales).*

Los periodos de permanencia usados fueron del 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80, 85, 90, 95 y 97,5% para estimar el área bajo la curva y el Índice de Regulación Hídrica que se usara más adelante. El caudal tomado como el caudal ecológico fue el caudal que permanece 97,5% del tiempo siguiendo la resolución 865 y el Estudio Nacional del Agua 2000.

Tabla 21. Caudal ecológico

SUBCUENCA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ALTO BOGOTÁ	0,03	0,03	0,11	0,14	1,06	1,25	2,25	2,25	1,13	1,06	0,25	0,05
EMBALSE DEL SISGA	0,81	0,92	0,18	1,09	1,18	3,18	0,53	4,18	2,53	3,35	3,18	1,25
EMBALSE DE TOMINE	0,08	0,03	0,10	0,10	0,28	0,28	0,28	0,03	0,14	0,18	0,17	0,03
SISGA TIBITOC	0,30	1,10	2,80	3,13	1,25	0,25	1,50	3,25	2,75	3,25	1,13	1,09
RIO NEUSA	0,25	0,25	0,13	0,13	0,66	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,13	0,13
RIONEGRO	0,50	1,42	2,25	2,00	3,75	2,87	3,25	2,12	0,35	3,55	4,65	0,13
RIO TEUSACA	0,10	0,09	0,90	0,14	0,06	0,11	0,10	0,10	0,10	0,06	0,13	0,04
RIO FRIO	0,27	0,76	1,20	1,07	2,00	1,53	1,73	1,13	0,19	1,89	2,48	0,07
RIO CHICU	0,14	0,48	0,68	3,01	2,56	0,20	0,08	0,29	0,80	3,05	3,75	1,38
TIBITOC-SOACHA	1,51	1,55	2,05	4,10	3,40	1,80	1,70	1,88	0,90	3,80	5,80	1,35
RIO BALSILLAS	0,09	0,09	0,09	0,11	0,11	0,11	0,09	0,14	0,14	0,36	0,70	0,11
RIO SOACHA	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,09	0,01
EMBALSE MUÑA	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06	0,06	0,16	0,31	0,05
SALTO SOACHA	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,13	0,25	0,04
MEDIO BOGOTA	0,19	0,01	0,28	1,50	0,87	0,07	0,01	0,03	0,93	1,35	1,20	0,33
RIO CALANDAIMA	0,16	0,01	0,23	1,27	0,74	0,06	0,01	0,02	0,79	1,14	1,02	0,28
RIO APULO	0,90	0,06	1,33	7,21	5,20	0,35	0,41	0,07	4,49	6,48	10,44	2,13
RIO BAJO BOGOTA	0,51	0,03	0,75	4,07	2,36	0,20	0,03	0,08	2,54	3,66	3,27	0,89

Fuente: El autor

El caudal ecológico se presenta obedeciendo al tipo de subcuenca y los caudales que esta mantiene en el transcurso del tiempo, como se puede observar en la tabla 21 la subcuenca que muestra el valor más alto de caudal ecológico es la subcuenca Tibitoc-soacha, la cual para la oferta y la demanda también presenta los valores más altos. Los valores mínimos de caudales se mantienen entre los $[0,01 \text{ y } 0,09] \text{ m}^3/\text{s}$ y máximos entre los $[1,51\text{-}10,44] \text{ m}^3/\text{s}$, en promedio la Cuenca en toda su extensión maneja un caudal ecológico entre $[0,33 \text{ y } 2,16] \text{ m}^3/\text{s}$, siendo el valor representativo para el sostenimiento del hábitat.

Luego de tener el caudal ecológico por subcuenca se desarrolló la diferencia entre la oferta hídrica y el caudal, de tal manera que se generara la oferta hídrica neta con el fin de reservar en el cálculo del índice de escasez la cantidad de agua que permite el funcionamiento del sistema hídrico y que se supone no es usado por la población aledaña.

$$\text{Oferta neta} = \text{Oferta hidrica} - \text{Caudal ecologico}$$

Tabla 22. Oferta Neta de la cuenca del río Bogotá

SUBCUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ALTO BOGOTÁ	0,67	1,57	3,86	7,67	10,52	11,64	8,85	6,24	4,31	6,31	6,26	1,99
EMBALSE DEL SISGA	0,44	0,54	2,91	5,52	8,06	6,54	9,60	2,95	1,59	2,22	1,87	0,21
EMBALSE DE TOMINE	0,99	2,33	2,59	6,57	8,77	8,31	8,59	6,15	3,76	6,13	6,28	2,43
SISGA TIBITOC	0,58	1,01	0,61	2,91	6,61	8,71	8,44	3,43	0,88	3,96	5,53	1,33
RIO NEUSA	1,23	2,71	5,01	8,50	7,74	8,45	8,73	6,24	4,58	8,46	7,74	2,83
RIONEGRO	0,40	0,68	1,31	4,01	2,30	0,92	0,41	0,47	2,25	2,57	1,32	2,01
RIO TEUSACA	2,19	3,95	4,79	8,40	9,97	7,69	8,70	6,42	3,77	7,56	8,84	4,11
RIO FRIO	1,02	2,00	3,46	6,82	5,28	3,32	2,73	2,22	3,73	5,97	4,86	2,65
RIO CHICU	0,79	1,69	2,80	2,81	2,90	2,47	2,22	1,47	1,57	2,97	2,07	0,95
TIBITOC-SOACHA	1,42	3,27	4,20	4,84	4,62	3,21	3,64	2,16	2,84	5,13	3,97	3,44
RIO BALSILLAS	1,92	3,43	4,82	8,74	6,42	3,47	2,94	2,35	4,19	9,38	8,48	2,97
RIO SOACHA	1,48	2,83	4,65	6,71	6,18	3,16	2,84	2,07	2,45	6,30	6,80	3,06
EMBALSE MUÑA	2,66	3,97	6,28	7,37	6,34	3,30	2,98	2,08	2,61	7,00	7,57	4,27
SALTO SOACHA	1,74	3,03	4,87	7,35	5,80	2,43	1,99	1,71	2,48	6,54	6,55	3,29
MEDIO BOGOTA	2,03	3,45	4,94	6,04	4,97	1,82	1,34	1,06	2,04	6,21	7,91	3,34
RIO CALANDAIMA	3,97	5,51	7,98	7,10	6,55	2,06	1,47	1,08	2,14	6,69	7,92	5,70
RIO APULO	1,71	4,26	4,47	3,26	1,61	1,30	0,66	1,87	0,98	5,37	0,85	1,46
RIO BAJO BOGOTA	2,59	4,32	5,73	4,05	4,07	1,70	1,35	0,96	1,03	3,75	4,74	3,65

Fuente: El autor

4.5 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA

La estimación de la demanda se desarrolló tomando parte de los datos estimados del POMCA para el río Bogotá. Estos datos fueron las demandas del sector agropecuario y del sector servicios como se muestra en la tabla 23.

El POMCA para determinar el cálculo de la demanda agropecuaria se guio de los mapas de uso actual del suelo, determinando las áreas agropecuarias bajo riego luego relacionó los módulos de consumo de riego para la época de estiaje de acuerdo con el tipo de cultivo y por ultimo relacionó cada una de las áreas contempladas, de acuerdo con su uso.

Para la demanda Industrial el POMCA tomó como base los consumos reales del sector industrial en Bogotá, proyectados al resto del país con base en la distribución industrial del Producto Interno Bruto (PIB), encontrándose que correspondía a un 6.87% del total de la demanda doméstica.



Tabla 23. Demanda Agropecuaria e Industrial

subcuencas	Demanda m ³ /s	
	AGROPECUARIO	INDUSTRIAL
ALTO BOGOTÁ	1,662	0,002
EMBALSE DEL SISGA	0,77	0
EMBALSE DE TOMINE	1,764	0
SISGA TIBITOC	1,806	0,015
RIO NEUSA	2,33	0,02
RIONEGRO	0,124	0
RIO TEUSACA	1,945	0,002
RIO FRIO	1,076	0,007
RIO CHICU	0,899	0,001
TIBITOC-SOACHA	2,262	0,006
RIO BALSILLAS	2,3	0,024
RIO SOACHA	0,074	0
EMBALSE MUÑA	0,627	0,002
SALTO SOACHA	0,511	0
MEDIO BOGOTA	1,11	0,004
RIO CALANDAIMA	0,662	0,001
RIO APULO	2,135	0,004
RIO BAJO BOGOTA	3,399	0,016
TOTAL	25,456	0,104

Fuente: POMCA,2006

4.5.1 DEMANDA DE AGUA PARA USO DOMESTICO

Para determinar la demanda para uso doméstico como se mencionó en el marco teórico (inciso 4.46) se utilizó las proyecciones de población por subcuenca al año 2015 (*Ir a la tabla 5*) y se relacionó el piso térmico con el tamaño de la población en l/hab/día, definidos en el Acuerdo 31 de septiembre de 2005, por la subdirección de Gestión Ambiental de la CAR, el cual cubre todos los acueductos municipales y veredales de la cuenca analizada. En la tabla 24 se presentan los módulos adoptados y en la tabla 25, el estimativo de la población y el cálculo de la demanda para la población del 2015.

Tabla 24. Módulos de consumo domestico

Piso térmico	tamaño población	Consumo l/hab/día	
		urbano	rural
Frío	≤ 5.000	150	125
	5.0001 a 10.000	165	125
	10.000 a 20.000	180	125
	≥ 20.001	195	125
Templado	≤ 5.000	165	135
	5.0001 a 10.000	180	135
	10.000 a 20.000	190	135
	≥ 20.001	200	135
Cálido	≤ 5.000	190	140
	5.0001 a 10.000	200	140
	10.000 a 20.000	210	140
	≥ 20.001	220	140

Tabla 25. Demanda Doméstica (DUD)

DEMANDA DOMESTICA	Población			Consumo [m^3/s]		
	TOTAL	U	R	U	R	TOTAL
ALTO BOGOTÁ	33726	18839	14887	0,03925	0,02154	0,06078579
EMBALSE DEL SISGA	8944	0	8944	0,00000	0,01294	0,01293981
EMBALSE DE TOMINE	24536	11347	13189	0,00034	0,01908	0,0194249
SISGA TIBITOC	77074	30404	35473	0,06862	0,05132	0,11994068
RIO NEUSA	69231	31403	37828	0,07088	0,05473	0,12560322
RIONEGRO	102825	99647	3179	0,22490	0,00460	0,22949774
RIO TEUSACA	63349	35131	28218	0,07929	0,04082	0,12011367
RIO FRIO	105273	65638	39635	0,14814	0,05734	0,20548367
RIO CHICU	67856	37785	30071	0,08528	0,04351	0,1287839
TIBITOC-SOACHA	482245	388736	93509	0,87736	0,13528	1,01264081
RIO BALSILLAS	324665	263341	61324	0,59434	0,08872	0,68306669
RIO SOACHA	208806	207193	1615	0,46762	0,00234	0,46995888
EMBALSE MUÑA	40286	28305	11981	0,06388	0,01733	0,0812165
SALTO SOACHA	203917	197150	6767	0,45637	0,01057	0,46693911
MEDIO BOGOTA	55268	20172	35096	0,04670	0,05484	0,10153225
RIO CALANDAIMA	19002	4136	14866	0,00910	0,02409	0,03318387
RIO APULO	66812	24798	30179	0,06314	0,04890	0,11204409
RIO BAJO BOGOTA	122458	104326	18132	0,26565	0,02938	0,2950256
TOTAL	2076273	1568352	484892	3,56085	0,71734	4,27818119

Fuente: El autor



Como se puede observar en la tabla 25 el consumo se llevó a m^3/s para mantener las mismas unidades en las variables que determinan el índice de escasez. La subcuenca que presenta mayor número poblacional es la subcuenca Tibitoc-Soacha con un valor total de 482245 habitantes y un consumo total de $1.01m^3/s$, estableciendo la mayor demanda de todas las subcuencas. Para un mejor análisis de las relaciones las subcuencas se encuentran clasificadas con el color del módulo que les corresponde, estableciendo que 13 de las subcuencas pertenecen al piso térmico Frio, y tan solo tres pertenecientes a la parte baja de la cuenca forman parte del piso térmico Cálido.

Una vez se obtiene la demanda correspondiente a cada sector se procede a determinar la demanda total, como la suma entre la demanda doméstica, la demanda agropecuaria y la demanda Industrial. Como tan solo se obtiene un valor de demanda se estableció que esta era igual para todos los meses del año.

Tabla 26. Demanda Total

DEMANDA DOMESTICA	Población TOTAL	Consumo TOTAL	AGROPECUARIO	INDUSTRIAL	TOTAL
ALTO BOGOTÁ	33726	0,061	1,66	0,00	1,72
EMBALSE DEL SISGA	8944	0,013	0,77	0,00	0,78
EMBALSE DE TOMINE	24536	0,019	1,76	0,00	1,78
SISGA TIBITOC	77074	0,120	1,81	0,02	1,94
RIO NEUSA	69231	0,126	2,33	0,02	2,48
RIONEGRO	102825	0,229	0,12	0,00	0,35
RIO TEUSACA	63349	0,120	1,95	0,00	2,07
RIO FRIO	105273	0,205	1,08	0,01	1,29
RIO CHICU	67856	0,129	0,90	0,00	1,03
TIBITOC-SOACHA	482245	1,013	2,26	0,01	3,28
RIO BALSILLAS	324665	0,683	2,30	0,02	3,01
RIO SOACHA	208806	0,470	0,07	0,00	0,54
EMBALSE MUÑA	40286	0,081	0,63	0,00	0,71
SALTO SOACHA	203917	0,467	0,51	0,00	0,98
MEDIO BOGOTA	55268	0,102	1,11	0,00	1,22
RIO CALANDAIMA	19002	0,033	0,66	0,00	0,70
RIO APULO	66812	0,112	2,14	0,00	2,25
RIO BAJO BOGOTA	122458	0,295	3,40	0,02	3,71
TOTAL	2076273	4,278	25,46	0,10	29,84

Fuente: El autor



4.6 ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ

Para la determinación del Índice de escasez se establece que:

$$I_e = \frac{Dt}{On} * 100$$

Dónde:

I_e : Índice de escasez(%)

Dt : Demanda total de agua (m^3)

On : Oferta Hídrica superficial neta (m^3)

Una vez obtenida la oferta neta y la demanda total en Excel se genera la fórmula para cada una de las 18 subcuencas, obteniendo los siguientes resultados

Tabla 27. Índice de Escasez

Índice de escasez	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ALTO BOGOTÁ	257	110	45	22	16	15	19	28	40	27	28	87
EMBALSE DEL SISGA	179	145	27	14	10	12	8	27	49	35	42	373
EMBALSE DE TOMINE	180	77	69	27	20	21	21	29	47	29	28	73
SISGA TIBITOC	336	193	319	67	29	22	23	57	220	49	35	145
RIO NEUSA	202	91	49	29	32	29	28	40	54	29	32	88
RIONEGRO	88	52	27	9	15	38	86	75	16	14	27	18
RIO TEUSACA	94	52	43	25	21	27	24	32	55	27	23	50
RIO FRIO	126	65	37	19	24	39	47	58	35	22	27	49
RIO CHICU	130	61	37	37	35	42	46	70	65	35	50	109
TIBITOC-SOACHA	231	100	78	68	71	102	90	152	115	64	83	95
RIO BALSILLAS	156	88	62	34	47	87	102	128	72	32	35	101
RIO SOACHA	37	19	12	8	9	17	19	26	22	9	8	18
EMBALSE MUÑA	27	18	11	10	11	22	24	34	27	10	9	17
SALTO SOACHA	56	32	20	13	17	40	49	57	39	15	15	30



MEDIO BOGOTA	60	35	25	20	24	67	90	114	59	20	15	36
RIO CALANDAIMA	18	13	9	10	11	34	47	65	33	10	9	12
RIO APULO	132	53	50	69	140	173	342	120	229	42	264	154
RIO BAJO BOGOTA	143	86	65	92	91	218	275	386	361	99	78	102

Fuente: El autor

Luego se genera la interpolación de los datos por mes de tal manera que se pueda generar un análisis espacial del Índice usando Arcgis.

Como se puede observar el Índice de escasez presenta un promedio de 66%, esto quiere decir que la subcuenca, presenta una demanda alta a comparación de la oferta y puede llegar a ocasionar una condición crítica que genere conflictos por el uso del agua, según la tabla 27 el mayor índice se presenta en el mes de agosto para la subcuenca río Bajo Bogotá y sus valores más bajos están entre un intervalo del 8 al 26%.

A continuación se muestra cada uno de los mapas que reflejan el índice de escasez para cada mes del año 2015, los datos establecidos en la leyenda de cada mapa muestran el valor mínimo y el máximo del índice en toda la cuenca del río Bogotá de tal manera que revela el comportamiento mensual. Estos valores se obtienen por defecto al generar la interpolación en Arcgis de forma adimensional sin ser multiplicados por el 100% de la ecuación del Índice de escasez y se confirma con la serie de datos realizada en Excel que se muestra en la Tabla 27.

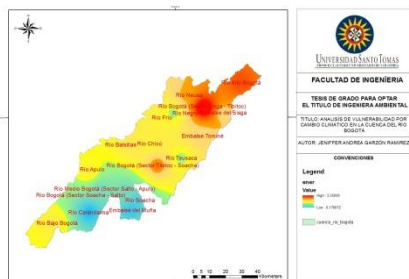
Respecto a los colores se diseñó una plantilla en Arcgis que mostrara los valores más bajos de la serie con tonalidades azul claro, los valores medios con tonalidades amarillas y los valores altos del índice de escasez con tonalidades rojas, de tal manera que la intensidad del color hiciera referencia a un mayor valor del índice de escasez.

Como se puede observar en el transcurso del año la cuenca alta y media del río Bogotá presentan valores bajos del índice que aumentan conforme van llegando a la cuenca baja del río. Para los meses de enero, febrero y diciembre el índice de escasez es mayor en la cuenca alta debido al aumento de la temperatura y disminución de la precipitación para estos meses del año.

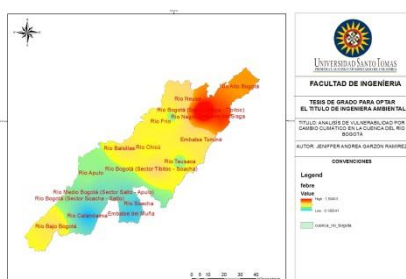


• Mapas Índice de escasez Mensual

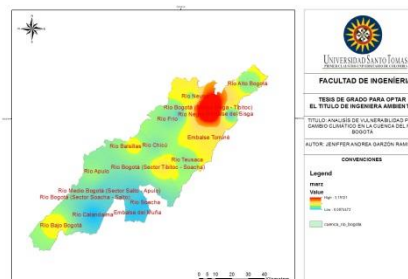
Enero



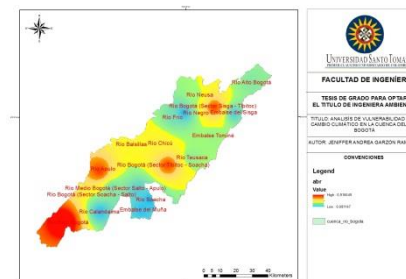
Febrero



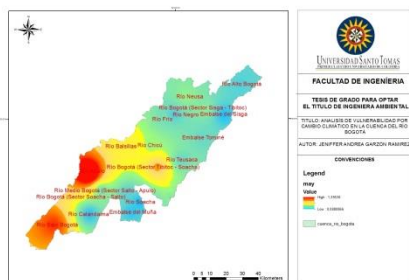
Marzo



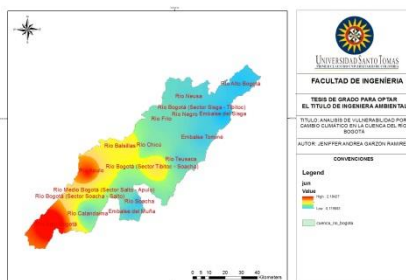
Abril



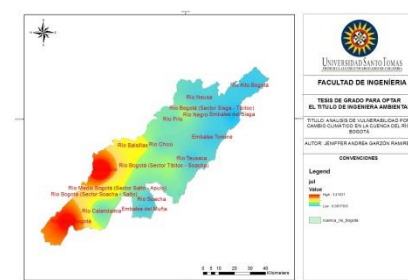
Mayo



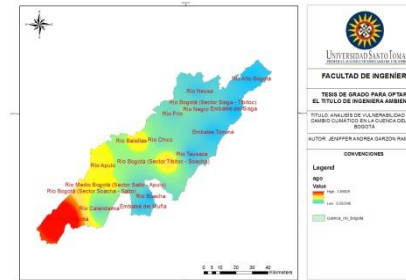
Junio



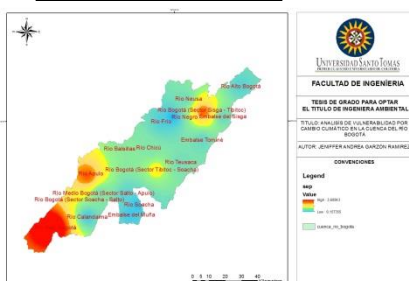
Julio



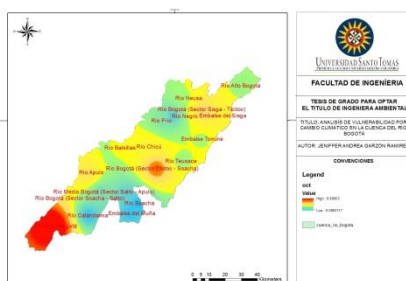
Agosto



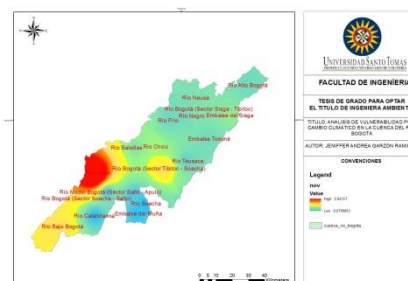
Septiembre



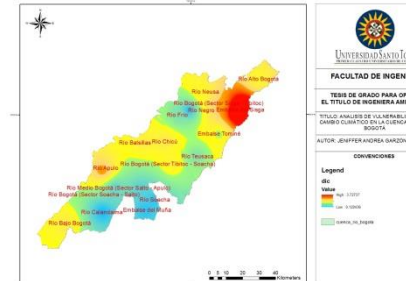
Octubre



Noviembre



Diciembre





Para un análisis más general, se estimó un promedio del índice de escasez por mes, de tal manera que se generara un valor estimativo del comportamiento total de la cuenca del río Bogotá, y de acuerdo al resultado se le estableció la categoría correspondiente.

Como se puede observar la cuenca presenta un Índice de escasez Alto y Medio Alto para el año 2015, al igual que las variables anteriormente estudiadas, el índice obedece a un comportamiento bimodal, ya que al presentar mayor régimen de precipitación el índice disminuirá satisfaciendo las necesidades tanto de la población como del hábitat con mayor facilidad.

Tabla 28. Promedios mensuales del Índice de Escasez

MES	Promedio	Clasificación
ENERO	136	ALTO
FEBRERO	72	ALTO
MARZO	55	ALTO
ABRIL	32	MEDIO ALTO
MAYO	35	MEDIO ALTO
JUNIO	56	ALTO
JULIO	75	ALTO
AGOSTO	83	ALTO
SEPTIEMBRE	86	ALTO
OCTUBRE	32	MEDIO ALTO
NOVIEMBRE	45	MEDIO ALTO
DICIEMBRE	86	ALTO

Fuente: El autor

4.7 ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad fue desarrollada para el año 2015 y se estimó a partir del índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico (IVH), con el fin de determinar el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener la oferta de agua para abastecimiento ante amenazas [34].

Principalmente el IVH se determina a través de una matriz de relación de rangos entre el Índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso de agua (IUA) que es el mismo Índice de Escasez (IE) hídrica obtenido en el inciso anterior.



Tabla 29. Matriz de relación para categorizar el Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento

Categorías Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH)		
Índice de uso de agua	Índice de regulación	Categoría Vulnerabilidad
Muy bajo	Alto	Muy bajo
Muy bajo	Moderado	Bajo
Muy bajo	Bajo	Medio
Muy bajo	Muy bajo	Medio
Bajo	Alto	Bajo
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy bajo	Muy alto
Muy alto	Alto	Medio
Muy alto	Moderado	Alto
Muy alto	Bajo	Alto
Muy alto	Muy bajo	Muy alto

Fuente: IDEAM, 2014

4.7.1 INDICE DE RETENCIÓN Y REGULACIÓN HIDRICA (IRH)

El índice de regulación hídrica permite estimar la capacidad de la subzona para mantener los regímenes de caudales, por medio del uso de la distribución de las series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios que en el presente estudio serán de los caudales mensuales multianuales. Sus valores se mueven entre 0 y 1, siendo los valores más bajos los que se interpreten como de menor regulación [35].

$$IRH = \frac{V_p}{V_t}$$

Donde

IRH: Índice de retención y regulación hídrica.

V_p: Volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio 50%



Vt: Volumento total representado por el área bajo la curva de duración de caudales.

Para la interpretación del IRH se utiliza la siguiente calificación:

Tabla 30. Interpretación del IRH

Descripción	Rango del indicador	Color
Muy baja retención y regulación de humedad	(< 0.50)	Muy baja
Baja retención y regulación de humedad	(0.50 – 0.65)	Baja
Media retención y regulación de humedad media	(0,65 – 0.75)	Moderada
Alta retención y regulación de humedad	(0.75 - 0.85)	Alta
Muy alta retención y regulación de humedad	(> 0.85)	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2014

Para estimar el IRH como se mencionó anteriormente en el inciso 5.4.1 Estimación del caudal ecológico, se utilizaron las mismas estaciones Limnigráficas de la tabla 20, una vez se desarrolló la curva de duración de caudales usando el software Hidroesta para los periodos de permanencia del 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80, 85, 90, 95 y 97,5%, se estimó el IRH para cada estación de manera mensual, como se muestra a continuación:

Tabla 31. Registro de caudales para la estación 2120719 [SAUCIP PTE BARAYA]

CAUDALES											
ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2,26	1,611	1,482	5,663	7,947	13,24	15,91	6,158	5,902	6,368	6,903	3,869
1,448	1,128	0,826	2,15	5,439	6,93	10,01	4,755	5,332	5,528	4,196	2,706
0,927	0,635	0,716	2,036	4,32	6,788	6,676	4,701	3,644	4,845	4,15	1,674
0,835	0,615	0,701	1,828	2,782	6,292	5,073	4,573	3,334	2,567	3,178	1,484
0,558	0,503	0,697	1,825	2,553	4,67	4,662	4,267	2,707	2,361	2,696	1,203
0,536	0,457	0,592	1,544	2,008	4,564	4,553	4,09	2,541	2,263	2,638	0,911
0,493	0,379	0,54	1,015	1,896	4,022	4,019	3,847	2,454	1,807	2,064	0,846
0,449	0,371	0,299	0,892	1,696	3,093	3,899	3,794	2,208	1,674	1,55	0,736
0,321	0,257	0,257	0,614	1,175	1,9	3,833	3,421	1,986	1,266	1,536	0,649
0,215	0,19	0,188	0,396	1,145	1,689	2,164	2,909	1,528	1,065	0,886	0,5

Fuente: El autor

Se lleva cada uno de los registros al Hidroesta para generar la curva de duración



Tabla 32. Frecuencias de la estación 2120719 [SAUCIO PTE BARAYA]

Periodo de retorno	FRECUENCIAS											
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
10	2			5	7	13	15	6		6	6	3
20	1	1	2,77	3,5	5	10,66	10	5,6	5	5	5	2
30	0,875	0,875	1	2	4	8,33	6	5,2	3	4	4	1,66
40	0,75	0,75	0,888	1,75	3,333	6	5	4,8	4	3,33	3	1,33
50	0,625	0,625	0,77	1,5	2,66	5,33	4,66	4,4	2,75	2,66	2,66	1
60	0,5	0,5	0,66	1,25	2	4,66	4,33	4	2,5	2	2,33	0,8
70	0,375	0,375	0,55	1	1,75	4	4	3,66	2,25	1,75	2	0,6
75	0,1325	0,1325	0,44	0,833	1,625	3,5	3,75	3,5	2,125	1,625	1,75	0,5
80	0,25	0,25	0,33	0,66	1,5	3	3,5	3,333	2	1,5	1,5	0,4
85	0,1875	0,1875	0,277	0,5	1,375	2,5	3,25	3,166	1,75	1,375	1,25	0,3
90	0,125	0,125	0,222	0,33	1,25	2	3	3	1,5	1,25	1	0,2
95	0,0625	0,0625	0,166	0,166	1,125	1,5	2,5	2,5	1,25	1,125	0,5	0,1
97,5	0,03125	0,03125	0,11	0,14	1,0625	1,25	2,25	2,25	1,125	1,0625	0,25	0,05

Se determina el volumen total y el volumen que representa el área bajo la curva del 50% o caudal medio.

Tabla 33. IRH de la estación 2120719 [SAUCIO PTE BARAYA]

MES	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
DEBAJO DE 50	5,3	3,3	5,4	13,8	22,0	43,3	40,7	26,0	14,8	21,0	20,7	9,0
TOTAL	6,9	4,9	8,2	18,6	33,7	65,7	67,2	51,4	29,3	32,7	31,2	11,9
IRH	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8

Una vez se estimó cada uno de los IRH para las estaciones Limnigráficas, se reunieron los datos y se estimó un promedio mensual de tal manera que se arrojava un valor por cada mes, estableciendo su categoría como se muestra en la tabla 14. *(Para mayor información ir al anexo j. Promedio y diagrama IRH para el 2015)*

Tabla 34. IRH –Promedio mensual

PROMEDIO	CATEGORIA
0,66	Moder.
0,66	Moder.
0,66	Moder.
0,70	Moder.
0,63	Moder.
0,70	Moder.
0,71	Moder.

0,67	Moder.
0,65	Moder.
0,62	Moder.
0,60	Moder.
0,67	Moder.

Fuente: El autor

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede decir que el índice de regulación hídrico de la cuenca es moderado por lo tanto la cuenca presenta una retención de la humedad estable sin presentar picos o variaciones en toda su extensión.

Con el resultado final se procede a determinar el índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico comparando los resultados del índice de escasez o Índice de uso de agua y el Índice de retención hídrica.

Tabla 35. IVH de la cuenca del río Bogotá

IUA	IRH	IVH
alto	moderado	alto
alto	moderado	alto
alto	moderado	alto
medio alto	moderado	medio
medio alto	moderado	medio
alto	moderado	alto
alto	moderado	alto
alto	moderado	alto
alto	moderado	alto
medio alto	moderado	medio
medio alto	moderado	medio
alto	moderado	alto

Fuente: El autor

Como se puede observar en la tabla 35 la cuenca del río Bogotá, presenta un grado de fragilidad entre alto y medio para mantener la oferta y de esta forma abastecer agua en toda la superficie que abarca, por lo tanto si se presenta un evento extremo que genere periodos largos de estiaje, el uso de agua y el mantenimiento del hábitat se consideraría disminuido y deteriorado fácilmente.



4.8 ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ PARA ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Los Nuevos escenarios de cambio climático como se mencionó en el inciso 4.1.20 (Escenarios de cambio climático) contemplan el comportamiento de las precipitaciones y la temperatura para las regiones de Colombia, estos indican que las variaciones son diferentes para cada región por lo tanto el análisis debe desarrollarse de manera específica [21].

Para el análisis de la cuenca del río Bogotá se escogió el escenario (camino representativo de concentración) RCP 6.0 que presenta un forzamiento radiactivo de 6.0 una presencia de CO_2 atmosférico en 650 ppm, una anomalía de temperatura de 2.4 grados centígrados y una trayectoria de estabilización después de 2100. Sus características a comparación de los otros escenarios muestran valores intermedios y es equivalente al escenario B2 del cuarto informe de escenarios de cambio climático.

El escenario B2: describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Un mundo cuya población aumenta progresivamente, con unos niveles de desarrollo económico intermedios, centrado principalmente a los niveles local y regional [36].

La finalidad de realizar la proyección en el periodo 2011-2040, es estimar el índice de escasez para la cuenca del río Bogotá y analizar su variación tomando como el año de inicio el 2020.

4.8.1 PROYECCIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA

Para estimar la oferta hídrica en el escenario RCP 6.0 primero se recopilamos los datos de ese escenario tanto en la variable temperatura como en la variable precipitación. Luego de ello se buscaron las estaciones meteorológicas escogidas para el análisis de la oferta hídrica del presente año, establecidas en el anexo b, y como resultado se encontraron datos para 18 estaciones como se muestra en el Anexo k. Estaciones utilizadas para la proyección del índice de escasez.

Una vez se filtraron las estaciones junto con los datos de precipitación y temperatura se procedió a separarlos en un intervalo de tiempo de 5 años hasta el 2040. Por lo tanto se tomaron los años 2020, 2025, 2030, 2035 y 2040. *(Ir al Anexo L. Precipitación y temperatura del escenario RCP 6.0 para los años 2020, 2025, 2030, 2035 y 2040).*

Con estos datos separados se calculó la oferta hídrica por medio del método de thornthwaite, generando la ETP y la ETR tal y como se desarrolló en el inciso 5.3 estimación de la oferta hídrica *(Ir al Anexo m. Oferta Hídrica de las proyecciones).*



Tabla 36. Oferta Hídrica proyección año 2020

SUBCUENCA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
ALTO BOGOTÁ	1,31	1,13	3,65	6,57	9,97	14,86	11,30	9,70	5,60	6,41	4,69	1,45
EMBALSE DEL SISGA	2,11	1,97	4,36	7,10	8,82	12,75	9,99	8,13	4,78	6,75	5,59	2,40
EMBALSE DE TOMINE	1,85	1,68	4,10	6,84	8,56	12,49	9,74	7,86	4,51	6,49	5,32	2,14
SISGA TIBITOC	1,86	1,78	4,10	6,94	7,78	12,51	10,01	7,82	4,62	6,62	5,00	2,09
RIO NEUSA	2,89	2,50	5,33	8,61	8,39	12,08	9,49	7,67	5,64	8,88	6,37	3,02
RIONEGRO	2,20	2,04	4,41	7,46	7,62	9,31	7,01	6,18	4,92	7,38	5,35	2,39
RIO TEUSACA	2,89	2,49	5,23	7,06	8,52	10,79	10,29	9,00	4,46	7,20	7,62	3,18
RIO FRIO	2,69	2,38	4,98	8,32	8,04	9,61	7,13	6,34	5,53	8,37	6,01	2,83
RIO CHICU	2,20	2,06	4,29	6,81	5,86	5,55	4,06	3,87	3,96	7,10	5,40	2,48
TIBITOC-SOACHA	3,18	2,79	5,48	7,14	7,47	9,11	6,90	6,37	4,62	7,23	8,17	3,42
RIO BALSILLAS	4,53	4,86	7,04	8,66	6,70	6,72	4,82	4,50	4,94	10,59	6,13	4,34
RIO SOACHA	2,08	1,93	4,36	6,26	5,41	4,35	3,41	3,47	2,98	6,45	5,83	2,55
EMBALSE MUÑA	2,02	1,90	4,29	6,17	5,19	4,13	3,21	3,28	2,90	6,35	5,58	2,52
SALTO SOACHA	1,91	1,91	4,07	5,99	4,88	3,58	2,65	2,81	2,86	6,26	5,39	2,41
MEDIO BOGOTA	3,32	3,56	5,48	7,26	3,91	2,81	2,01	2,15	3,96	8,58	5,34	3,44
RIO CALANDAIMA	2,46	2,60	4,60	6,41	3,68	2,39	1,77	1,91	3,18	7,21	4,96	2,87
RIO APULO	5,50	5,90	8,16	9,80	3,49	1,97	1,49	1,72	5,63	12,15	6,75	5,25
RIO BAJO BOGOTA	2,82	5,06	7,21	3,20	1,58	1,49	1,87	3,82	6,34	4,44	2,41	2,50

Fuente: El autor

Como las estaciones obtenidas para el análisis de la oferta estaban dispersas en el área de trabajo, se desarrolló una especialización de la oferta hídrica y luego se procedió a cortar los rasters obtenidos por cada subcuenca de tal manera que se pudiera estimar la oferta neta. Este procedimiento generó un total de 1080 capas raster resultado de los 5 escenarios a evaluar [2020, 2025, 2030, 2035y 2040] para cada una de las 18 subcuencas por los 12 meses del año.

Luego de obtener la oferta se le resta el caudal ecológico. Es importante mencionar que para todas las proyecciones, el caudal ecológico determinado en el 2015 se mantuvo constante.

Tabla 37. Oferta Neta proyección año 2020 [m^3/s]

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
ALTO BOGOTÁ	1,28	1,10	3,54	6,43	8,90	13,61	9,05	7,45	4,48	5,34	4,44	1,40
EMBALSE DEL SISGA	1,30	1,05	4,18	6,01	7,64	9,58	9,47	3,95	2,25	3,40	2,42	1,15
EMBALSE DE TOMINE	1,77	1,65	4,00	6,74	8,28	12,21	9,46	7,83	4,37	6,31	5,16	2,10
SISGA TIBITOC	1,56	0,68	1,30	3,82	6,53	12,26	8,51	4,57	1,87	3,37	3,87	1,00

RIO NEUSA	2,64	2,25	5,20	8,49	7,73	12,03	9,43	7,61	5,58	8,81	6,24	2,89
RIONEGRO	1,70	0,62	2,16	5,46	3,87	6,44	3,76	4,06	4,57	3,83	0,70	2,26
RIO TEUSACA	2,79	2,40	4,33	6,92	8,45	10,68	10,19	8,90	4,36	7,14	7,48	3,14
RIO FRIO	2,42	1,62	3,79	7,25	6,04	8,08	5,40	5,21	5,35	6,48	3,53	2,77
RIO CHICU	2,06	1,58	3,61	3,80	3,30	5,35	3,98	3,58	3,16	4,05	1,65	1,10
TIBITOC-SOACHA	1,67	1,24	3,43	3,04	4,07	7,31	5,20	4,49	3,72	3,43	2,37	2,07
RIO BALSILLAS	4,44	4,77	6,95	8,55	6,59	6,61	4,73	4,36	4,80	10,23	5,43	4,23
RIO SOACHA	2,07	1,92	4,35	6,25	5,39	4,33	3,39	3,45	2,96	6,40	5,73	2,54
EMBALSE MUÑA	1,99	1,86	4,25	6,12	5,14	4,08	3,17	3,21	2,84	6,19	5,27	2,47
SALTO SOACHA	1,88	1,88	4,04	5,95	4,84	3,54	2,62	2,76	2,81	6,13	5,14	2,37
MEDIO BOGOTA	3,13	3,55	5,21	6,96	3,81	2,74	2,00	2,12	3,03	7,23	5,12	3,11
RIO CALANDAIMA	2,31	2,59	4,36	6,16	3,59	2,32	1,77	1,89	2,39	6,07	4,77	2,59
RIO APULO	4,60	5,84	6,83	8,38	2,71	1,62	1,08	1,65	1,14	5,68	5,06	3,12
RIO BAJO BOGOTA	2,31	5,02	6,45	2,40	1,29	1,30	1,84	3,74	3,80	0,79	1,81	1,62

Fuente: El autor

Una vez se obtiene la oferta neta para los años de proyección se procede a determinar la demanda.

4.8.2 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA HIDRICA

Al igual que la oferta neta para la demanda se utilizó la misma metodología de estimación que en el 2015 en los años 2020, 2025, 2030, 2035 y 2040, respectivamente. Se utilizó como constante la demanda agropecuaria y la demanda industrial para cada uno de los años y se estableció una proyección de la demanda doméstica estableciendo primero una proyección de la población en cada una de las subcuencas para cada año de estudio y luego una relación con el módulo de consumo como se muestra a continuación:

Tabla 38. Proyección de la población

	POBLACIÓN				
subcuencas	2020	2025	2030	2035	2040
ALTO BOGOTÁ	37840	41953	46076	50189	54302
EMBALSE DEL SISGA	9845	10745	11646	12548	13449
EMBALSE DE TOMINE	27533	30529	33526	36524	39521
SISGA TIBITOC	95057	113040	131024	149006	166989
RIO NEUSA	77766	86301	94837	103374	111910
RIONEGRO	116589	130353	144117	157881	171645
RIO TEUSACA	75040	86730	98421	110113	121804
RIO FRIO	186909	223545	260181	296818	333454
RIO CHICU	86221	104586	122951	141316	159681



TIBITOC-SOACHA	613266	744287	875308	1006329	1137350
RIO BALSILLAS	381408	438150	494892	551634	608376
RIO SOACHA	249204	289603	330001	370399	410797
EMBALSE MUÑA	45624	50962	56300	61638	66976
SALTO SOACHA	242938	282097	321187	360277	399367
MEDIO BOGOTA	59971	64674	69378	74082	78786
RIO CALANDAIMA	19224	19446	19668	19890	20112
RIO APULO	71992	77172	82352	87532	92712
RIO BAJO BOGOTA	128738	135018	141298	147578	153858
TOTAL	2525165	2929191	3333163	3737128	4141089

Fuente: ECOFOREST, 2005

Tomando como guía las proyecciones poblacionales establecidas por ECOFOREST LTDA. que se basan en los registros del DANE se estima la población de la cuenca para cada año de proyección. Luego manteniendo los porcentajes de población rural y urbana descritos en la tabla 5 se determina la distribución poblacional en cada subcuenca como se muestra a continuación para el año 2020 (*Ir al anexo n. Población-proyecciones*)

Tabla 39. Proyección de la población para el año 2020

subcuencas	2020		
	TOTAL	U	R
ALTO BOGOTÁ	37840	21136,9788	16703,0212
EMBALSE DEL SISGA	9845	0	9845
EMBALSE DE TOMINE	27533	12733,1217	14799,8783
SISGA TIBITOC	95057	37497,3947	43750,0935
RIO NEUSA	77766	35274,9916	42491,0084
RIONEGRO	116589	112985,9	3604,64815
RIO TEUSACA	75040	41614,8319	33425,1681
RIO FRIO	186909	116538,376	70370,6244
RIO CHICU	86221	48010,998	38210,002
TIBITOC-SOACHA	613266	494351,945	118914,055
RIO BALSILLAS	381408	309365,611	72042,3888
RIO SOACHA	249204	247278,645	1927,30167
EMBALSE MUÑA	45624	32055,5813	13568,4187
SALTO SOACHA	242938	234875,979	8062,02104
MEDIO BOGOTA	59971	21888,9709	38082,0291
RIO CALANDAIMA	19224	4184,44298	15039,557
RIO APULO	71992	26720,429	32519,0158
RIO BAJO BOGOTA	128738	109676,29	19061,7099

TOTAL	2525165	1906190,49	592415,941
--------------	----------------	------------	------------

Fuente: El autor

Una vez determinada la población se relaciona el módulo de consumo, obteniendo la demanda doméstica.

Tabla 40. Proyección de la Demanda Doméstica para el año 2020

	TOTAL	U	R	U	R	TOTAL
ALTO BOGOTÁ	41953	23434	18519	0,05289026	0,02679188	0,07968214
EMBALSE DEL SISGA	10745	0	10745	0	0,01554543	0,01554543
EMBALSE DE TOMINE	30529	14119	16410	0,00034375	0,02374179	0,02408554
SISGA TIBITOC	113040	44591	52027	0,10063986	0,07527024	0,1759101
RIO NEUSA	86301	39147	47154	0,08835149	0,0682212	0,15657269
RIONEGRO	130353	126325	4030	0,28510745	0,00583073	0,29093818
RIO TEUSACA	86730	48098	38632	0,10855393	0,05589158	0,16444551
RIO FRIO	223545	139381	84164	0,31457527	0,12176499	0,43634025
RIO CHICU	104586	58237	46349	0,13143835	0,06705541	0,19849376
TIBITOC-SOACHA	744287	599968	144319	1,35409353	0,20879544	1,56288896
RIO BALSILLAS	438150	355390	82760	0,80209521	0,11973397	0,92182918
RIO SOACHA	289603	287366	2240	0,64856802	0,00324037	0,65180838
EMBALSE MUÑA	50962	35806	15156	0,08081233	0,02192697	0,1027393
SALTO SOACHA	282097	272735	9362	0,6313321	0,01462739	0,6459595
MEDIO BOGOTA	64674	23606	41068	0,05464243	0,06416948	0,11881192
RIO CALANDAIMA	19446	4233	15213	0,00930816	0,02465107	0,03395924
RIO APULO	77172	28643	34859	0,07293364	0,05648423	0,12941787
RIO BAJO BOGOTA	135018	115026	19992	0,29289139	0,03239374	0,32528513
TOTAL	2929191	2216104	682999	5,02857716	1,00613591	6,03471307

Fuente: El autor

De acuerdo a esto se procede a sumar todas las demandas obteniendo la demanda total para cada una de las estaciones en los doce meses del año.

41. Proyección de la Demanda Total para el año 2020

subcuencas	Demanda m ³ /s		
	DOMESTICA	AGROPECUARIO	INDUSTRIAL
ALTO BOGOTÁ	0,07968214	1,662	0,002
EMBALSE DEL SISGA	0,01554543	0,77	0
EMBALSE DE TOMINE	0,02408554	1,764	0
SISGA TIBITOC	0,1759101	1,806	0,015



RIO NEUSA	0,15657269	2,33	0,02
RIONEGRO	0,29093818	0,124	0
RIO TEUSACA	0,16444551	1,945	0,002
RIO FRIO	0,43634025	1,076	0,007
RIO CHICU	0,19849376	0,899	0,001
TIBITOC-SOACHA	1,56288896	2,262	0,006
RIO BALSILLAS	0,92182918	2,3	0,024
RIO SOACHA	0,65180838	0,074	0
EMBALSE MUÑA	0,1027393	0,627	0,002
SALTO SOACHA	0,6459595	0,511	0
MEDIO BOGOTA	0,11881192	1,11	0,004
RIO CALANDAIMA	0,03395924	0,662	0,001
RIO APULO	0,12941787	2,135	0,004
RIO BAJO BOGOTA	0,32528513	3,399	0,016
TOTAL	6,03471307	25,456	0,104

Fuente: El autor

Luego se establece el índice de escasez por medio de la Excel para cada año. Como este procedimiento es el mismo al establecido en el inciso 5.6 no se mostrara en detalle. *(Ir a la carpeta anexa, sig rio bogota- proyeccion- Balance)*

Al igual que el procedimiento para el año 2015, se generó la distribución espacial de la información obtenida para cada año generando 60 mapas de índice de escasez que se encuentran en la carpeta adjunta tesis- mapas en jpeg.

Para mayor facilidad en el análisis, se muestra a continuación el resultado del índice de escasez para cada uno de los escenarios planteados por mes.

4.8.3 PROYECCIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ

Como el procedimiento es el mismo para cada una de las proyecciones establecidas, se optó por mostrar el resultado final del índice de escasez en cada uno de los escenarios. *(Ir al Anexo O. Mapas Índice de escasez mensual para el 2020, 2025, 2030, 2035, 2040)*

4.8.3.1 PROYECCIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ 2020

Se observa que se genera una disminución en el valor del índice esto quiere decir que se hay un aumento de la oferta con el paso del tiempo ligado a un aumento de la precipitación y una estabilidad en la temperatura.

El comportamiento sigue obedeciendo a un ciclo bimodal ya que los meses en los que se genera mayor número de precipitación el índice es menor, se puede



observar que el índice general presenta un promedio total de 46.03% por lo tanto disminuye el índice con respecto al año 2015 en un 14%.

Tabla 42. Promedio del Índice de escasez para el año 2020

MES	PROMEDIO	CLASIFICACIÓN
ENERO	75,0953813	ALTO
FEBRERO	99,3269382	ALTO
MARZO	43,2165517	MEDIO ALTO
ABRIL	28,4358693	MEDIO
MAYO	27,4262141	MEDIO
JUNIO	23,0511057	MEDIO
JULIO	31,0842227	MEDIO ALTO
AGOSTO	34,8366109	MEDIO ALTO
SEPTIEMBRE	43,556643	MEDIO ALTO
OCTUBRE	28,7544357	MEDIO
NOVIEMBRE	42,2948882	MEDIO ALTO
DICIEMBRE	75,2915692	ALTO

Fuente: El autor

4.8.3.2 PROYECCIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ 2025

Se observa que se genera una aumento en el valor del índice en un 22.27 % esto quiere decir que se hay un disminución de la oferta con el paso del tiempo ligado a una disminución de la precipitación y una estabilidad en la temperatura, puesto que de un índice representativo de 46.03% pasa a un índice de 68.27% para el año 2025.

El comportamiento muestra que hay datos atípicos de [160, 150, 155] % para los meses de mayo, septiembre y diciembre respectivamente, esto quiere decir que la demanda es mucho mayor a la oferta generada por la cuenca, obedeciendo al aumento de la población, también se puede determinar un aumento en la evapotranspiración por el aumento de la temperatura ocasionando un entorno de competencia por el recurso y el uso.

Tabla 43. Promedio del Índice de escasez para el año 2025

MES	PROMEDIO	CLASIFICACIÓN
ENERO	53,4654109	ALTO
FEBRERO	49,5449358	MEDIO ALTO
MARZO	36,1113551	MEDIO ALTO
ABRIL	24,6459457	MEDIO
MAYO	160,409836	ALTO
JUNIO	63,1430981	ALTO

JULIO	46,1960256	MEDIO ALTO
AGOSTO	55,6518408	MEDIO ALTO
SEPTIEMBRE	105,808462	ALTO
OCTUBRE	37,3099249	MEDIO ALTO
NOVIEMBRE	30,9380302	MEDIO ALTO
DICIEMBRE	155,96395	ALTO

Fuente: El autor

4.8.3.3 PROYECCIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ 2030

Se observa que continua en aumento el valor del índice, para el año 2030 presenta un valor general de 72.25% demostrando un alto índice de escasez o índice de uso de agua.

El comportamiento muestra que hay datos atípicos de [177,138, 108] % para los meses de marzo, septiembre y diciembre respectivamente, esto quiere decir que la demanda es mucho mayor a la oferta generada por la cuenca, obedeciendo al aumento de la población, también se puede determinar un aumento en la evapotranspiración por el aumento de la temperatura ocasionando un entorno de competencia por el recurso y el uso, también se observa que aquellos meses donde los valores atípicos se presentan son meses correspondientes a los meses secos dentro del comportamiento bimodal.

Tabla 44. Promedio del Índice de escasez para el año 2030

MES	PROMEDIO	CLASIFICACIÓN
ENERO	93,3676339	ALTO
FEBRERO	66,5781293	ALTO
MARZO	177,714081	ALTO
ABRIL	33,9935704	MEDIO ALTO
MAYO	36,2744321	MEDIO ALTO
JUNIO	43,4551149	MEDIO ALTO
JULIO	40,7523771	MEDIO ALTO
AGOSTO	57,6494207	ALTO
SEPTIEMBRE	138,82782	ALTO
OCTUBRE	31,1291173	MEDIO ALTO
NOVIEMBRE	39,0622345	MEDIO ALTO
DICIEMBRE	108,198355	ALTO

Fuente: El autor

4.8.3.4 PROYECCIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ 2035

Al observar el comportamiento del índice de escasez para el año 2035 se determina que presento una leve disminución a comparación de los años anteriores ya que el porcentaje calculado esta alrededor de 57.58% esto



demuestra que para un periodo de 15 años la oferta será mayor en un 10.69%, con respecto a los valores obtenidos en el 2030.

El comportamiento muestra que se presentan un dato atípico del índice de 124% para el mes de septiembre, aun así obedece a un comportamiento bimodal.

Tabla 45. Promedio del Índice de escasez para el año 2035

MES	PROMEDIO	CLASIFICACIÓN
ENERO	59,8228477	ALTO
FEBRERO	98,7505578	ALTO
MARZO	43,0952348	MEDIO ALTO
ABRIL	34,0376266	MEDIO ALTO
MAYO	33,4569199	MEDIO ALTO
JUNIO	45,3841665	MEDIO ALTO
JULIO	60,8278245	ALTO
AGOSTO	42,0304091	MEDIO ALTO
SEPTIEMBRE	124,559701	ALTO
OCTUBRE	32,0493346	MEDIO ALTO
NOVIEMBRE	37,0667083	MEDIO ALTO
DICIEMBRE	79,9706554	ALTO

Fuente: El autor

4.8.3.5 PROYECCIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ 2040

Para el último escenario se observa que la demanda excede el valor de la oferta en los meses de enero, septiembre y diciembre, considerados unos de los meses más secos del año, al observar el índice general para todo el 2040 se observa que vuelve a aumentar tomando un valor de 72.19%.

Las categorías establecidas no presentan una disminución en el rango, se mantienen en un índice de escasez Alto y muy alto determinando que el uso del agua continuara presentando conflictos, esto por el aumento continuo de la población, la disminución gradual de la precipitación establecida en el escenario y el aumento de la temperatura.

Tabla 46. Promedio del Índice de escasez para el año 2040

MES	PROMEDIO	CLASIFICACIÓN
ENERO	156,43622	ALTO
FEBRERO	50,6484813	ALTO
MARZO	55,4423189	ALTO
ABRIL	46,3526507	MEDIO ALTO
MAYO	38,9770208	MEDIO ALTO



JUNIO	40,2333123	MEDIO ALTO
JULIO	49,6058076	MEDIO ALTO
AGOSTO	60,7207428	ALTO
SEPTIEMBRE	131,876799	ALTO
OCTUBRE	54,8502995	MEDIO ALTO
NOVIEMBRE	76,7184197	MEDIO ALTO
DICIEMBRE	104,451482	ALTO

Fuente: El autor

A nivel general se puede observar que los valores del índice de escasez para el mes de enero en todos los escenarios presenta un índice alto, para el mes de febrero presenta un aumento en el 2020 con un porcentaje de 99,32% y disminuye a un 49,54% para el año 2025 en el mismo mes, generando de nuevo un aumento progresivo en el año 2030,2035 y 2040 que clasifica una categoría del índice Alta.

Para los meses de abril, mayo y junio se generan valores medio alto del índice de escases o índice de uso de agua, resaltando que estas épocas presentan mayor precipitación y consigo mayor cantidad de agua que entra al recurso hídrico, al igual que los meses de octubre y noviembre.

Con base a esto se puede establecer que aun así se presente un cambio climático donde la precipitación presente una variación del 7,9 % aproximadamente y un aumento de la temperatura de 2,4 °C la cuenca mostrara un aumento estable que debe ser vigilado, para mitigar sus puntos de atípicos y evitar que aumente aun más.

4.8.4 PROYECCIÓN DE LA VULNERABILIDAD

El procedimiento para estimar la vulnerabilidad por medio del índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico, es el mismo al establecido en el inciso 5.7 (estimación de la vulnerabilidad), por lo tanto los pasos de desarrollo no serán mencionados.

Es importante indicar que el valor del IRH se mantuvo constante en el tiempo ya que no se estimó una proyección de los caudales ni de su curva de duración, por lo tanto se supone es el mismo, para establecer la relación correspondiente.



Tabla 47. Proyección del Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico

	2020	2025	2030	2035	2040
MES	IVH	IVH	IVH	IVH	IVH
ENERO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
FEBRERO	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO
MARZO	MEDIO	MEDIO	ALTO	MEDIO	ALTO
ABRIL	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
MAYO	MEDIO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
JUNIO	MEDIO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
JULIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	MEDIO
AGOSTO	MEDIO	MEDIO	ALTO	MEDIO	ALTO
SEPTIEMBRE	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
OCTUBRE	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
NOVIEMBRE	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
DICIEMBRE	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO

Fuente: El autor

Como se puede observar en la tabla 47 el IVH se mantiene entre los valores medio y alto de tal manera que no presenta una variación radical con el paso de los años, también se determina que el grado de fragilidad de mantener la oferta de agua es mayor en los meses de enero, septiembre y diciembre los cuales se consideran los meses más secos del año, y los meses de abril, octubre y noviembre presentan una fragilidad media en el paso del tiempo. Esto establece que las medidas de adaptación, como de prevención y mitigación deben ser dirigidas a los periodos de meses secos del año, ya que son los que presentan mayor vulnerabilidad y fragilidad para abastecer de agua la región que abarca la cuenca.



4.8.5 IMPACTO DEL PROYECTO

El presente proyecto junto con sus resultados permite estimar el comportamiento de las variables de temperatura y precipitación en la cuenca del río Bogotá bajo el escenario de cambio climático RCP 6.0, estableciendo que el uso del agua actualmente presenta conflictos en su uso no solo porque el aprovechamiento que se le haga de esta sea para la agricultura, uso pecuario o doméstico, sino porque mucha del agua es inútil para el uso debido a la gran contaminación que se genera.

Se demuestra con valores cuantitativos y cualitativos que la disponibilidad del recurso hídrico no tiende a mejorar y una población aproximada de 2.076.273 habitantes depende de este, por lo tanto los mecanismos y proyectos desarrollados a mejorar la calidad del agua de la cuenca son fundamentales no solo establecerlos, si no implementarlos.

A nivel del medio ambiente es importante determinar que los cultivos como las actividades pecuarias son una actividad bastante común a lo largo de la cuenca que toma casi el 70% del territorio y está marcando un cambio importante en su comportamiento por la disminución de vegetación que esta genera en el área, ocasionando una variación del comportamiento del recurso que disminuye la captación de agua y consigo su disponibilidad desde su nacimiento, hasta su desembocadura. Esto se ve reflejado en la fragilidad con la que el sistema no puede mantener la oferta necesaria ante una alteración o amenaza.

El estudio permite establecer los periodos de tiempo en los cuales se va a generar los cambios en la oferta proporcionada por la cuenca y su magnitud, de tal manera que muestra la variación y las cantidades para poder implementar medidas de adaptación, prevención y mitigación más coherentes y realistas que cumplan con el intervalo de tiempo estudiado.



5. CONCLUSIONES

El comportamiento de los datos de precipitación en las estaciones escogidas permite descartar el uso del método de las proporciones, ya que al estimar las pruebas estadísticas tal como la T de student y la prueba de Rachas antes y después de completar los datos no presentan un gran cambio en los resultados. Permitiendo determinar que la calidad inicial de los datos es representativa mostrando el comportamiento del ambiente desde su recopilación inicial.

El índice de escasez no solo estima la variación de la oferta y la demanda en la cuenca, si no que permite determinar cómo es la variación a nivel de evapotranspiración y escorrentía. El índice de escasez para toda la cuenca fue de un 66% por lo tanto la demanda es mayor a la oferta disponible. Si este valor continúa en aumento, como consecuencia se obtendrá que la cuenca será mucho más vulnerable y llegará el punto en que no podrá mantener ni abarcar el agua necesaria para su mantenimiento.

De acuerdo a las subcuencas se establece que el índice es variable en el tiempo y en la trayectoria de toda la cuenca del río Bogotá. Para la cuenca baja los valores tienden a ser mayores, esto se debe a que el agua en ese trayecto mantiene la contaminación dada aguas arriba y segundo por las características climatológicas que disminuyen la cantidad de agua presente en la zona; como se estimó para la cuenca baja la evapotranspiración real llega a los 1300 mm y a los 30 grados centígrados en un mes.

El índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico confirma el resultado obtenido por el índice de escasez (en una escala de medición cualitativa-ordinal). Al revelar que los valores de fragilidad se mantienen en medio alto y alto, indica que la cuenca presenta una problemática correspondiente a su oferta y esta interviene en la regulación hídrica y la manera en que el agua realiza el ciclo hidrológico. La regulación hídrica al ser moderada presenta una cuenca que es estable y tienen una retención de agua media que se ve afectada por el índice de escasez.

El índice de escasez se mantuvo con valores altos, por lo tanto de acuerdo a las condiciones del RCP 6.0 la cuenca seguirá con su vulnerabilidad así los mecanismos ambientales que considera el escenario sean aplicados. En algunos de los meses establecidos el índice de escasez superó el 100%, llegando a tener valores de 177% en el mes de marzo en la proyección 2030, este valor establece que la demanda es mucho más grande que la oferta, por lo tanto se pueden establecer dos apartados: 1. El aumento de la población genera una demanda mayor consumiendo y usando más agua de la que la cuenca puede abastecer y 2. La oferta disminuye de tal manera que solo puede cumplir con el caudal ecológico.

Para los dos apartados mencionados anteriormente es importante entonces determinar las herramientas de prevención de tal manera se pueda mejorar el



estado del recurso y se disminuya el índice en ese periodo de tiempo específico, determinando la creación de planes con periodos de implementación cortos.

A nivel general la cuenca del río Bogotá presentara un índice de escasez de 68,26 %, y 72,25% para el año 2025 y el año 2030 respectivamente. Luego disminuirá a un 57,58% para el año 2035 y volverá a aumentar a 72.19% para el año 2040. Esto demuestra que el índice de escasez aunque presenten una fluctuación en el transcurso del tiempo no será menor al 50 %, por lo tanto el conflicto entre demanda y oferta será continuo.

6. RECOMENDACIONES

Los valores obtenidos del índice de escasez están en función de la precisión de los datos obtenidos por las estaciones, por lo tanto en la medida en que las estaciones posean registros más actualizados, más completos y con mayor cantidad de años las estimaciones obtenidas serán muchos más precisas al igual que sus resultados.

El cálculo de la población se desarrolló con base en la proyección de la población establecida por el DANE desde el 2005 hasta el 2040. Estimar el crecimiento, comportamiento de los sectores económicos y el uso del agua en esta escala de tiempo es muy riesgoso, por cuanto está sujeto a variables aleatorias cuyo comportamiento tiene un cierto nivel de incertidumbre.

El uso de herramientas de sistemas de información geográfica para la determinación y manejo de grandes grupos de datos que representen terrenos extensos, son muy útiles, ya que permiten trabajar los datos de una manera más eficaz, y ordenada no solo de manera cuantitativa así como con representaciones graficas que son mucho más claras al momento de desarrollar los análisis.

La metodología de desarrollo del índice de escasez adoptada por la resolución 865, y el IDEAM es una guía oportuna para poder llevar a cabo su estimación. Esta resolución considera diferentes metodologías de desarrollo presentando al usuario alternativas que pueden ser aplicadas bajo diferentes escenarios.



7. BIBLIOGRAFIA

- [1] J. F. Crespo and P. Garcés Andreu , "El agua un recurso Indispensable," 2003.
- [2] A. Pérez Preciado , "El problema del río Bogota".
- [3] Corporación autonoma regional de Cundinamarca , "Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá," CAR, Bogotá, 2006.
- [4] M. Chavarro Pinzón , A. García Guerrero , J. García Portilla , J. D. Pabón, A. Prieto Rozo and A. Ulloa Cubillos , "Preparándose para el futuro," UNODC, Bogotá, 2008.
- [5] Alcaldía Mayor de Bogotá, "LEY 812 DE 2003," Bogotá, 2003.
- [6] B. Holding , "Agua residual y purificación del aire," Rotterdamseweg.
- [7] R. D. Arizabalo and G. Díaz , La contaminación del agua subterránea y su transporte en medios porosos, UNAM.
- [8] Ministerio de Ambiente y recursos naturales , Conceptos Básicos de Cuencas, El Salvador : World Vision .
- [9] H. G. Rivera, E. Domínguez Calle, R. Marin Ramírez and R. Vanegas, "Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial," Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales., Lima, 2004.
- [10] C. Charry Gónzales and J. León Rodríguez, "Perfil ambiental subcuenca río Sisga - Tibitoc en la cuenca alta del río Bogotá," Universidad de la Salle, Bogotá, 2010.
- [11] G. Azzi, Ecología agraria., La habana, Cuba: Instituto Cubano del libro, 1971.
- [12] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Ssostenible , Resolucion 865 de 2004, Bogotá, 2004.
- [13] J. J. Ordoñez Gálves , Que es cuenca Hidrologica?, Lima: Sociedad Geográfica de Lima, 2011.
- [14] F. J. Otárola, Planificacion y manejo de los recursos hidrológicos en la agricultura mediante el balance hídrico, Turrialba , 1994.
- [15] Ministerio de educación y ciencia, "Metereología y Climatología," Fundación española para la ciencia y la tecnología, 2004.



- [16] Secretaría de salud de Duitama , "Mapade riesgo de la calidad de agua para consumo humano de la vereda la Trinidad y la vereda Tocogua municipio de Duitama," Alcaldía de Duitama, Duitama , 2012.
- [17] IDEAM, "Evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático en la parte media y alta de la subcuenca del Río Molino, Municipio de Popayán," Alcaldía de Popayán, Popayán, 2010.
- [18] IPPC, "Informe de Síntesis. Anexo B: Glosario de términos utilizados en el Tercer Informe de Evaluación del IPCC.," IPPC, 2001.
- [19] UNFCCC, "Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático," UNFCCC, 1992.
- [20] IPPC, "Cambio Climático: glosario del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático," New York, 1995.
- [21] IDEAM, "Guía de procedimientos para la generación de escenarios de cambio climático regional y local a partir de los modelos globales," IDEAM, Bogotá, 2010.
- [22] G. E. Armenta Porras, J. Dorado Delgado , A. O. Rodríguez Roa and J. F. Ruiz Murcia, Escenarios de cambio climatico para precipitación y temperatura en Colombia, Bogotá: IDEAM.
- [23] IDEAM, Nuevos escenarios de cambio climático para colombia 2011-2100, Bogotá: IDEAM, 2015.
- [24] UNFCCC, "PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO," 1998.
- [25] Universidad Santo Tomás, "Universidad Santo Tomás," [Online]. Available: <http://www.usta.edu.co/index.php/nuestra-institucion/mision-vision>. [Accessed 2012 05 20].
- [26] Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible , "Minambiente," [Online]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/ministerio/objetivos-y-funciones>. [Accessed 20 05 2012].
- [27] IDEAM , "ENTIDAD," [Online]. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/entidad/acerca-entidad>. [Accessed 20 05 2015].
- [28] CAR, "Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-La Entidad," [Online]. Available: <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=21764>. [Accessed 05 27 2015].



- [29] ECOFOREST LTDA., "Elaboración del diagnostico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá," CAR, Bogotá, 2005.
- [30] CAR, "Adecuación hidráulica y recuperación ambiental río Bogotá," CAR, 2009.
- [31] Secretaría de Hacienda , "Conflictos interregionales generados por el uso del agua," [Online]. Available: <http://institutoestudiosurbanos.info/endatos/0100/0110/0112-hidro/01121183.htm>. [Accessed 2015 05 27].
- [32] Universidad Nacional de Colombia, "Climatología," [Online]. Available: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000134/contenido/cap10/lec4.htm>. [Accessed 23 06 2015].
- [33] A. Cahuana Andia and W. Yugar Morales , MATERIAL DE APOYO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE HIDROLOGIA CIV-233, Cochabamba: Universidad Mayor de San simón, 2009.
- [34] IDEAM, Estudio Nacional del Agua, Colombia: Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo territorial, 2010.
- [35] IDEAM, Guía Técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas POMCAS, Colombia: Ministerio de Vivienda, Ambiente y Desarrollo sostenible , 2014.
- [36] IPPC, Informe especial del IPPC- escenarios de emisiones, PNUMA, 2000.
- [37] Alcaldía Mayor de Bogotá, "Decreto 1640 de 2012," Bogotá, 2012.
- [38] J. F. Ruiz Murcia , Escenarios de cambio climático, algunos modelos y resultados de lluvia para Colombia bajo el escenario A1B, Bogotá: Subdirección de metereología, 2007.
- [39] Ministerio de Ambiente , "Línea del tiempo Normativa Cambio Climático," [Online]. Available: <http://cambioclimatico.invemar.org.co/acciones-del-cambio-climatico-en-colombia>. [Accessed 20 05 2015].
- [40] C. Y. Mira Zapata , "Normatividad Sobre recurso Hídrico en Colombia," [Online]. Available: <https://es.scribd.com/doc/92037361/NORMATIVIDAD-RECURSO-HIDRICO-EN-COLOMBIA>. [Accessed 20 05 2015].
- [41] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Documento CONPES 3320," Departamento Nacional de Planeación, Bogotá, 2004.
- [42] A. Pérez Preciado, "El problema del Río Bogotá".



[43] G. Silva, Hidrología Básica, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1998.

8. ANEXOS

a. Población de la cuenca río Bogotá

subcuencas	2005					2010			2015		
	TOTAL	U	%	R	%	TOTAL	U	R	TOTAL	U	R
ALTO BOGOTÁ	25500	14244	55,86	11256	44,14	29613	16541	13072	33726	18839	14887
EMBALSE DEL SISGA	6006	0	0,00	6006	100,00	8043	0	8043	8944	0	8944
EMBALSE DE TOMINE	17385	8040	46,25	9345	53,75	21539	9961	11578	24536	11347	13189
SISGA TIBITOC	40454	15958	39,45	18619	46,03	59090	23309	27196	77074	30404	35473
RIO NEUSA	52160	23660	45,36	28500	54,64	60695	27532	33163	69231	31403	37828
RIONEGRO	75297	72970	96,91	2328	3,09	89061	86309	2754	102825	99647	3179
RIO TEUSACA	39968	22165	55,46	17803	44,54	51659	28648	23011	63349	35131	28218
RIO FRIO	77002	48011	62,35	28991	37,65	113638	70854	42784	105273	65638	39635
RIO CHICU	31054	17292	55,68	13762	44,32	49491	27558	21933	67856	37785	30071
TIBITOC-SOACHA	220203	177505	80,61	42698	19,39	351224	283121	68103	482245	388736	93509
RIO BALSILLAS	211181	171292	81,11	39889	18,89	267923	217316	50607	324665	263341	61324
RIO SOACHA	128009	127020	99,23	990	0,77	168408	167107	1302	208806	207193	1615
EMBALSE MUÑA	29691	20861	70,26	8830	29,74	34947	24554	10393	40286	28305	11981
SALTO SOACHA	126501	122303	96,68	4198	3,32	164828	159358	5470	203917	197150	6767
MEDIO BOGOTA	45916	16759	36,50	29157	63,50	50564	18455	32109	55268	20172	35096
RIO CALANDEIMA	18565	4041	21,77	14524	78,23	18780	4088	14692	19002	4136	14866
RIO APULO	56453	20953	37,12	25500	45,17	61633	22876	27840	66812	24798	30179
RIO BAJO BOGOTA	109897	93625	85,19	16272	14,81	116177	98975	17202	122458	104326	18132
TOTAL	1311242	976699	74,48	318668	24,30	1717313	1286562	411251	2076273	1568352	484892

Fuente: DANE, 2005.

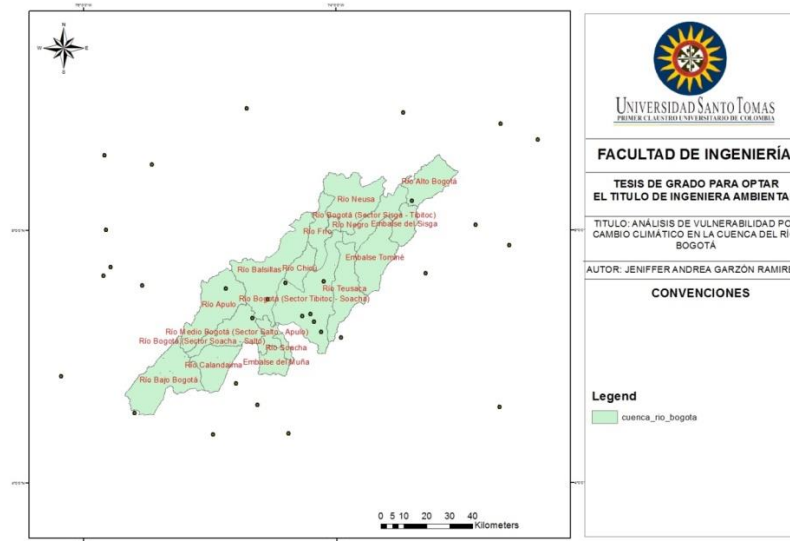
b. Estaciones climatológicas seleccionadas

CODIGO	NOMBRE	TIPO	CLASE	NOMBRE_DEP	NOMBRE_MUN	UTM	LONGITUD	LATITUD
2120567	FLORIDA LA [21205670]	CON	MET	CUND.	ANOLAIMA	18N	562364	527370
2120574	SILOS [21205740]	CON	MET	CUND.	CHOCONTA	18N	643945	565828
2120577	BASE AEREA MADRID [21205770]	CON	MET	CUND.	MADRID	18N	580684	522734
2120598	PROVIDENCIA GJA [21205980]	CON	MET	CUND.	TENJO	18N	588615	529772
2120628	ACAPULCO [21206280]	CON	MET	CUND.	BOJACA	18N	573975	514440
2306511	YACOPI [23065110]	CON	MET	CUND.	YACOPI	18N	571496	606228
2119512	ITA VALSALICE [21195120]	CON	MET	CUND.	FUSAGASUGA	18N	567002	485907
2119506	PANDI [21195060]	CON	MET	CUND.	PANDI	18N	557221	463343
2119507	PASCA [21195070]	CON	MET	CUND.	PASCA	18N	576374	476445
2401512	ISLA DEL SANTUARIO [24015120]	CON	MET	CUND.	FUQUENE	18N	640165	604470
3502506	BOLSA LA [35025060]	CON	MET	CUND.	CHOACHI	18N	612994	505817
3506501	GACHETA [35065010]	CON	MET	CUND.	GACHETA	18N	650102	534070
2120558	VENADO ORO VIVERO [21205580]	CON	MET	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	18N	604100	508341
2120571	JARDIN BOTANICO [21205710]	CON	MET	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	18N	599529	516182
2120622	UNIV NACIONAL [21206220]	CON	MET	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	18N	601040	512729
2120656	INEM KENNEDY [21206560]	CON	MET	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	18N	595968	515268
2120626	C.UNIV.AGROP-UDCA [21206260]	CON	MET	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	18N	605382	530485
3502507	TAQUES LOS [35025070]	CON	MET	BOGOTA D.C.	BOGOTA D.C.	18N	589794	463917
3507503	VILLA LUISA [35075030]	CON	MET	BOYACA	RAMIRQUI	18N	682884	599592
3508502	RONDON [35085020]	CON	MET	BOYACA	RONDON	18N	699065	592582
3507502	SUTATENZA [35075020]	CON	MET	BOYACA	SUTATENZA	18N	671938	555337
3507504	INST AGR MACANAL [35075040]	CON	MET	BOYACA	MACANAL	18N	686652	546391
3504502	CABAÑA LA HDA [35045020]	CON	MET	META	CUMARAL	18N	682290	475539
2124501	PERALES HATO OPIA [21245010]	CON	MET	TOLIMA	IBAGUE	18N	489868	489040
2125509	ARMERO GJA [21255090]	CON	MET	TOLIMA	ARMERO	18N	509921	552969
2125514	QUINTA LA [21255140]	CON	MET	TOLIMA	LERIDA	18N	508794	532951
2118504	APTO SANTIAGO VILA [21185040]	CON	MET	TOLIMA	FLANDES	18N	522335	472401
2125508	SALTO EL [21255080]	CON	MET	TOLIMA	AMBALEMA	18N	525733	528770
2125515	GARCIA HDA [21255150]	CON	MET	TOLIMA	LERIDA	18N	512024	536689
2302502	ESPERANZA LA [23025020]	CON	MET	TOLIMA	HONDA	18N	530012	581724
2302504	ALBANIA [23025040]	CON	MET	TOLIMA	MARIQUITA	18N	509326	585556

Fuente: IDEAM.



c. Mapa estaciones meteorológicas seleccionadas



Fuente: El autor

d. Resultados Grupo 10 prueba de homogeneidad T de Student antes de aplicar el método de las proporciones

A	B	A	C	A	D	B	C	B	D	C	D
39,81	25,30	39,81	18,63	39,81	27,58	25,30	18,63	25,30	27,58	18,63	27,58
87,09	56,26	87,09	31,92	87,09	44,34	56,26	31,92	56,26	44,34	31,92	44,34
179,53	105,62	179,53	59,12	179,53	78,86	105,62	59,12	105,62	78,86	59,12	78,86
408,76	197,06	408,76	117,01	408,76	132,11	197,06	117,01	197,06	132,11	117,01	132,11
473,31	320,75	473,31	174,02	473,31	171,32	320,75	174,02	320,75	171,32	174,02	171,32
425,68	355,16	425,68	180,94	425,68	156,70	355,16	180,94	355,16	156,70	180,94	156,70
375,92	354,03	375,92	179,23	375,92	151,80	354,03	179,23	354,03	151,80	179,23	151,80
285,20	296,82	285,20	149,32	285,20	115,96	296,82	149,32	296,82	115,96	149,32	115,96
322,14	206,53	322,14	109,41	322,14	94,40	206,53	109,41	206,53	94,40	109,41	94,40
339,27	158,81	339,27	98,93	339,27	116,14	158,81	98,93	158,81	116,14	98,93	116,14
299,53	109,88	299,53	75,48	299,53	102,80	109,88	75,48	109,88	102,80	75,48	102,80
100,65	50,13	100,65	27,17	100,65	47,09	50,13	27,17	50,13	47,09	27,17	47,09
media	278,07	186,37	278,07	101,76	278,07	103,26	186,37	101,76	186,37	103,26	101,76
S ²	20653,74	14721,96	20653,74	3628,65	20653,74	2184,69	14721,96	3628,65	14721,96	2184,69	3628,65

T_d	0,01	0,03	0,03	0,02	0,02	0,00
prueba	Homogéneo	homogéneo	homogéneo	homogéneo	homogéneo	homogéneo

e. Resultados Grupo 10 prueba de homogeneidad T de Student después de aplicar el método de las proporciones.

	A	B	A	C	A	D	B	C	B	D	C	D
	39,56	25,38	39,56	18,63	39,56	27,58	25,38	18,63	25,38	27,58	18,63	27,58
	86,80	56,46	86,80	31,92	86,80	44,41	56,46	31,92	56,46	44,41	31,92	44,41
	179,09	105,25	179,09	59,12	179,09	78,86	105,25	59,12	105,25	78,86	59,12	78,86
	408,76	197,06	408,76	117,09	408,76	132,11	197,06	117,09	197,06	132,11	117,09	132,11
	468,44	319,12	468,44	174,02	468,44	171,32	319,12	174,02	319,12	171,32	174,02	171,32
	425,68	355,16	425,68	180,94	425,68	156,92	355,16	180,94	355,16	156,92	180,94	156,92
	375,92	348,33	375,92	175,93	375,92	151,80	348,33	175,93	348,33	151,80	175,93	151,80
	281,87	292,00	281,87	146,50	281,87	115,62	292,00	146,50	292,00	115,62	146,50	115,62
	322,14	201,24	322,14	107,28	322,14	93,85	201,24	107,28	201,24	93,85	107,28	93,85
	339,27	154,60	339,27	96,99	339,27	114,62	154,60	96,99	154,60	114,62	96,99	114,62
	298,16	106,86	298,16	73,98	298,16	102,22	106,86	73,98	106,86	102,22	73,98	102,22
	100,01	48,70	100,01	27,17	100,01	46,90	48,70	27,17	48,70	46,90	27,17	46,90
media	277,14	184,18	277,14	100,80	277,14	103,02	184,18	100,80	184,18	103,02	100,80	103,02
S^2	20522,58	14494,13	20522,58	3564,83	20522,58	2184,82	14494,13	3564,83	14494,13	2184,82	3564,83	2184,82

T_d	0,012	0,033	0,034	0,021	0,022	-0,002
prueba	homogéneo	homogéneo	homogéneo	homogéneo	homogéneo	homogéneo

Fuente: El autor



f. Método de las proporciones para la estación [LA FLORIDA]

Registro antes de completar datos

1984	108,6	72,2	56,8	128,9	164,8	73,1	55,7	53,5	173,7	65,2	200,6	82,8	1235,9
1985	51,2	33,7	94,5	273,9	101,2	34,8	30,3	43,5	58,7	157,5	203,1	66,8	1149,2
1986	110,5	111,3	113,7			72,8	36,9	7,9	152,7	308,4	204,2	34,1	1152,5
1987	147	80,1	111,4	69,5	138	44,9	79,9	37,2	129,9	316,9	86	16,4	1257,2
1988	69,6	79,6	71,1	108,1	60,5	102	85,9	105,6	137,6	137,7	130	129,8	1217,5
1989	60,1	175,4	194,3	48,7	141,8	19	45,9	98,6	170,7	218,1	101,6	38,1	1312,3
1990	83,5	99,2	78	191,8	148,3	63,5	23,9	28,5	84,9	197,3	144,6	124,3	1267,8
1991	21,5	48,5	171	138,8	98,9	23	32,5	64,7	136,3	103,2	164,5	168,3	1171,2
1992	93,4	30,8	53,3	49,3	64,2	16,4	25,4	38,5	43,1	42,8	201,8	86,9	745,9
1993	142,6	102,9	47,6	267,3	166,2	41,2	39,5	21,3	163,6	173,3	192,5	83,1	1441,1
1994	194,1	116,3	97,8	196,6	115,5	25,7	10,5	46,9	28,6	259,6	148,4	9,2	1249,2
1995	27,9	70,8	94,9	160,9	135,3	97,2	52	175,3	133,5	117,3	69	96,1	1230,2
1996	89,2	41	167,4	61,2	195,9	100,1	67,6	88,7	120,5	177,9	128,1	61,7	1299,3
1997	174,4	41	73,5	138,6	56,6	36,8	11,3	11,8	9,1	138,2	95,1	26,4	812,8
1998	31	78,1	158,2	87,7	95,9	50,4	141,1	34	214,1	163,8	91,6	304,9	1450,8
1999	97	199,2	159,7	159,5	116,9	96,5	13,4	61,7	137	277,5	215,1	60,9	1594,4
2000	44,5	214,2	153	81,5	79,9	33	70,4	34,2	130,1	57,7	113,9	49	1061,4
2001	9,5	53,2	162,1	21,1	57,2	34,6	49	0	112,8	146,5	117,1	49,7	812,8
2002	39	40,9	106	350,5	91,2	73,5	30,8	10,7	99,2	172,8	87,5	79,9	1182
2003	18,3	74	137,3	190,8	19,6	41,9	52,3	42,8	86,8	168,3	158,7	73,2	1064
2004	14,8	114,1	22,1	218,1	137,8	37,9	38,5	8,1	136,9	207	131,5	45,6	1112,4



2005	45,5	79,5	83,8	94,9	234,5		39,6	36,7	112,5	187,2	133,6	116,8	1164,6
2006	38,4	54	139,5	147,8	123,1	76,3	32,1	112,5	108,6	116,4	172,6	65,9	1187,2
2007	27,2	9,6	131,9	226,2		38,9	13,9	311,9	33,3	231,4	147,2	153,4	1324,9
2008	102,2	92,4	143,8	88,4	153	100,8	57,9	153,8	67,5	129,1	300	42	1430,9
2009	99,4	75,1	188,1	82,4	65,6	89,6	28,1	30,9	70	201,8	69,3	61,9	1062,2
2010	17,8	43,2	38,6	231,8	246,7	88,1	80	40	114,9	131,9	254,5	76,4	1363,9
2011	52	158,6	121,3	281,4	210,7	66,7	44,4	36,9	173,2	191,7	340,9	166,6	1844,4
2012	94,4	39,7	104,1	196,2	51,6	30	65,4	128,1	23,7	201	141,2	41,5	1116,9
2013	71,3	129,3	73,2	211	156,9	30,5	19,4	47	29	199,4	296,9	122,9	1386,8
MEDIA	72,5	85,3	111,6	155,3	122,4	56,5	45,8	63,7	106,4	173,2	161,4	84,5	
MAX	194,1	214,2	194,3	350,5	246,7	102	141,1	311,9	214,1	316,9	340,9	304,9	
MIN	9,5	9,6	22,1	21,1	19,6	16,4	10,5	0	9,1	42,8	69	9,2	

Fuente: El autor

Registro luego de completar datos

1984	108,6	72,2	56,8	128,9	164,8	73,1	55,7	53,5	173,7	65,2	200,6	82,8	1235,9	1235,9
1985	51,2	33,7	94,5	273,9	101,2	34,8	30,3	43,5	58,7	157,5	203,1	66,8	1149,2	1149,2
1986	110,5	111,3	113,7	167,5	128,2	72,8	36,9	7,9	152,7	308,4	204,2	34,1	1448,19053	1152,5
1987	147,0	80,1	111,4	69,5	138,0	44,9	79,9	37,2	129,9	316,9	86,0	16,4	1257,2	1257,2
1988	69,6	79,6	71,1	108,1	60,5	102,0	85,9	105,6	137,6	137,7	130,0	129,8	1217,5	1217,5
1989	60,1	175,4	194,3	48,7	141,8	19,0	45,9	98,6	170,7	218,1	101,6	38,1	1312,3	1312,3
1990	83,5	99,2	78,0	191,8	148,3	63,5	23,9	28,5	84,9	197,3	144,6	124,3	1267,8	1267,8
1991	21,5	48,5	171,0	138,8	98,9	23,0	32,5	64,7	136,3	103,2	164,5	168,3	1171,2	1171,2

1992	93,4	30,8	53,3	49,3	64,2	16,4	25,4	38,5	43,1	42,8	201,8	86,9	745,9	745,9
1993	142,6	102,9	47,6	267,3	166,2	41,2	39,5	21,3	163,6	173,3	192,5	83,1	1441,1	1441,1
1994	194,1	116,3	97,8	196,6	115,5	25,7	10,5	46,9	28,6	259,6	148,4	9,2	1249,2	1249,2
1995	27,9	70,8	94,9	160,9	135,3	97,2	52,0	175,3	133,5	117,3	69,0	96,1	1230,2	1230,2
1996	89,2	41,0	167,4	61,2	195,9	100,1	67,6	88,7	120,5	177,9	128,1	61,7	1299,3	1299,3
1997	174,4	41,0	73,5	138,6	56,6	36,8	11,3	11,8	9,1	138,2	95,1	26,4	812,8	812,8
1998	31,0	78,1	158,2	87,7	95,9	50,4	141,1	34,0	214,1	163,8	91,6	304,9	1450,8	1450,8
1999	97,0	199,2	159,7	159,5	116,9	96,5	13,4	61,7	137,0	277,5	215,1	60,9	1594,4	1594,4
2000	44,5	214,2	153,0	81,5	79,9	33,0	70,4	34,2	130,1	57,7	113,9	49,0	1061,4	1061,4
2001	9,5	53,2	162,1	21,1	57,2	34,6	49,0	0,0	112,8	146,5	117,1	49,7	812,8	812,8
2002	39,0	40,9	106,0	350,5	91,2	73,5	30,8	10,7	99,2	172,8	87,5	79,9	1182	1182
2003	18,3	74,0	137,3	190,8	19,6	41,9	52,3	42,8	86,8	168,3	158,7	73,2	1064	1064
2004	14,8	114,1	22,1	218,1	137,8	37,9	38,5	8,1	136,9	207,0	131,5	45,6	1112,4	1112,4
2005	45,5	79,5	83,8	94,9	234,5	56,4	39,6	36,7	112,5	187,2	133,6	116,8	1221,01438	1164,6
2006	38,4	54,0	139,5	147,8	123,1	76,3	32,1	112,5	108,6	116,4	172,6	65,9	1187,2	1187,2
2007	27,2	9,6	131,9	226,2	147,3	38,9	13,9	311,9	33,3	231,4	147,2	153,4	1472,22133	1324,9
2008	102,2	92,4	143,8	88,4	153,0	100,8	57,9	153,8	67,5	129,1	300,0	42,0	1430,9	1430,9
2009	99,4	75,1	188,1	82,4	65,6	89,6	28,1	30,9	70,0	201,8	69,3	61,9	1062,2	1062,2
2010	17,8	43,2	38,6	231,8	246,7	88,1	80,0	40,0	114,9	131,9	254,5	76,4	1363,9	1363,9
2011	52,0	158,6	121,3	281,4	210,7	66,7	44,4	36,9	173,2	191,7	340,9	166,6	1844,4	1844,4
2012	94,4	39,7	104,1	196,2	51,6	30,0	65,4	128,1	23,7	201,0	141,2	41,5	1116,9	1116,9
2013	71,3	129,3	73,2	211,0	156,9	30,5	19,4	47,0	29,0	199,4	296,9	122,9	1386,8	1386,8
													1240,03754	1223,39
MEDIA	72,5	85,3	111,6	155,7	123,4	56,5	45,8	63,7	106,4	173,2	161,4	84,5		
MAX	194,1	214,2	194,3	350,5	246,7	102,0	141,1	311,9	214,1	316,9	340,9	304,9		
MIN	9,5	9,6	22,1	21,1	19,6	16,4	10,5	0,0	9,1	42,8	69,0	9,2		



g. Promedios mensuales de precipitación

CODIGO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
2120567	72,530	85,263	111,600	155,681	123,442	56,520	45,787	63,710	106,417	173,230	161,370	84,487	1240,038
2120574	17,449	33,546	59,537	82,671	113,261	130,786	143,192	108,277	71,543	79,357	72,098	31,013	942,731
2120577	14,721	33,402	44,750	65,833	71,056	47,666	37,137	36,191	42,038	74,798	63,990	30,906	560,293
2120598	28,238	45,947	75,915	98,115	98,046	66,198	55,980	46,618	63,726	101,524	88,186	50,159	818,654
2120628	44,206	56,740	82,332	120,305	91,337	42,819	36,331	33,507	60,116	111,764	92,467	69,599	841,521
2306511	109,154	153,380	229,412	334,109	308,246	224,557	178,152	179,013	244,692	325,719	268,176	147,032	2701,641
2119512	109,874	115,160	159,425	150,044	143,768	70,460	57,890	45,977	87,138	148,343	154,195	131,674	1367,714
2119506	75,454	95,250	136,707	138,103	131,739	57,939	50,302	45,060	79,305	143,747	163,122	103,561	1220,289
2119507	48,750	57,413	93,757	101,080	85,217	52,397	52,750	44,113	57,306	115,637	115,692	66,236	890,349
2401512	60,930	65,258	125,410	148,645	109,439	42,207	47,700	40,216	78,374	152,686	146,383	95,804	1103,575
3502506	31,723	50,973	95,335	129,191	156,719	135,109	152,112	120,252	83,123	122,011	113,599	62,014	1247,190
3506501	27,576	44,414	78,855	132,110	171,317	156,923	151,800	115,616	93,850	114,618	102,220	46,904	1236,204
2120558	70,710	84,831	110,396	122,279	115,732	67,979	67,261	60,584	52,523	115,347	139,699	92,201	1096,512
2120571	56,468	65,890	94,767	134,878	126,058	66,463	54,892	52,775	79,546	136,759	127,215	89,286	1068,598
2120622	51,734	68,871	92,889	99,586	103,164	48,234	42,367	38,915	67,183	105,457	134,328	79,515	932,244
2120656	14,254	42,961	58,639	88,580	76,862	54,339	37,667	32,610	43,647	82,173	67,004	42,082	637,573
2120626	40,692	56,886	73,715	91,692	97,161	54,060	53,531	47,328	50,437	107,088	97,569	56,658	826,817
3502507	27,867	50,986	96,082	134,653	171,756	172,167	169,697	122,041	91,925	99,740	94,156	51,365	1278,758
3507503	19,229	38,341	61,177	95,604	124,921	104,493	113,195	94,052	75,841	110,193	96,680	37,805	971,532
3508502	36,468	62,862	108,125	192,379	258,381	267,092	265,400	224,438	163,415	192,876	187,231	88,293	2041,563
3507502	18,631	31,921	59,117	117,089	174,021	180,938	175,929	146,501	107,281	96,989	73,975	27,166	1208,456
3507504	25,381	56,463	105,255	197,063	319,117	355,165	348,326	292,004	201,244	154,597	106,862	48,705	2203,824
3504502	39,561	86,805	179,090	408,765	468,437	425,677	375,919	281,871	322,139	339,268	298,156	100,012	3325,699



2124501	62,493	69,521	119,961	201,546	198,458	89,161	62,922	75,084	145,916	164,350	128,901	77,622	1395,935
2125509	81,019	111,970	139,926	226,456	223,989	104,940	86,437	118,199	175,132	228,341	179,054	106,437	1775,413
2125514	67,625	86,886	115,915	180,923	204,140	101,858	84,640	101,810	156,882	166,364	135,044	75,889	1451,544
2118504	54,313	82,597	118,903	179,165	146,526	62,680	37,083	37,739	116,107	151,129	106,913	80,689	1173,844
2125508	60,018	77,596	106,704	191,417	158,904	62,807	47,074	79,641	156,821	182,665	138,177	71,962	1333,787
2125515	71,235	79,024	132,761	216,231	205,751	77,094	66,930	107,568	146,820	203,427	129,328	86,267	1522,436
2302502	56,407	82,139	120,821	189,943	160,461	67,729	56,464	77,929	138,714	219,571	206,332	110,061	1486,571
2302504	228,927	190,108	315,014	384,027	337,092	144,000	120,292	195,321	254,608	491,172	493,440	393,372	3547,374

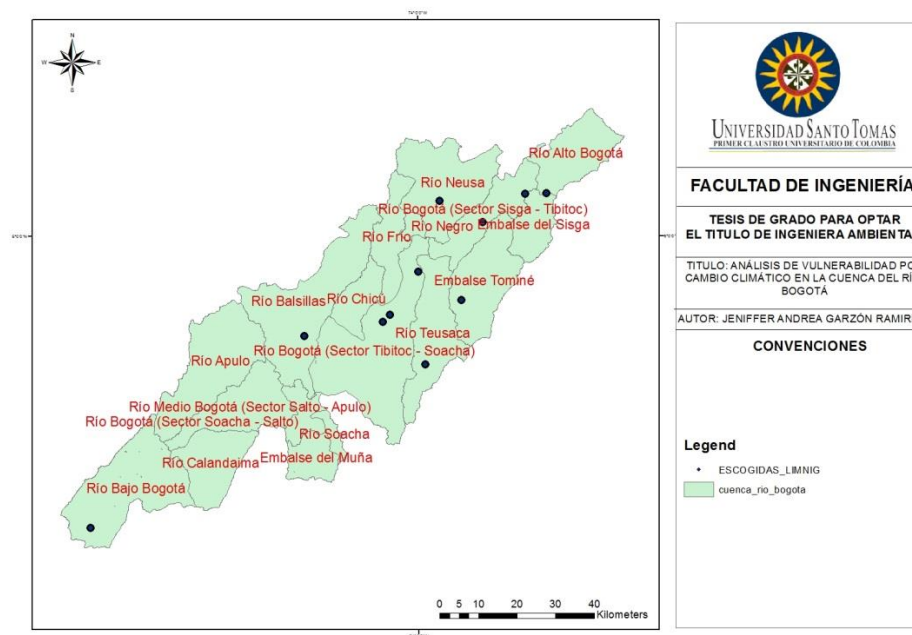
Fuente: El autor

h. Oferta 2015 m^3/s

SUBCUENCA	AREA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
ALTO BOGOTÁ	276150328,5	0,7	1,6	4,0	7,8	11,6	12,9	11,1	8,5	5,4	7,4	6,5	2,036
EMBALSE DEL SISGA	155260096,7	1,2	1,5	3,1	6,6	9,2	9,7	10,1	7,1	4,1	5,6	5,0	1,460
EMBALSE DE TOMINE	374284879,1	1,1	2,4	2,7	6,7	9,0	8,6	8,9	6,2	3,9	6,3	6,4	2,461
SISGA TIBITOC	253972928,1	0,9	2,1	3,4	6,0	7,9	9,0	9,9	6,7	3,6	7,2	6,7	2,425
RIO NEUSA	447349949,8	1,5	3,0	5,1	8,6	8,4	8,5	8,8	6,3	4,6	8,5	7,9	2,953
RIONEGRO	33897891,3	0,9	2,1	3,6	6,0	6,1	3,8	3,7	2,6	2,6	6,1	6,0	2,141
RIO TEUSACA	358184181,1	2,3	4,0	5,7	8,5	10,0	7,8	8,8	6,5	3,9	7,6	9,0	4,147
RIO FRIO	201597106,1	1,3	2,8	4,7	7,9	7,3	4,9	4,5	3,3	3,9	7,9	7,3	2,716
RIO CHICU	141888858,6	0,9	2,2	3,5	5,8	5,5	2,7	2,3	1,8	2,4	6,0	5,8	2,327
TIBITOC-SOACHA	712840016,3	2,9	4,8	6,3	8,9	8,0	5,0	5,3	4,0	3,7	8,9	9,8	4,789
RIO BALSILLAS	624416103,2	2,0	3,5	4,9	8,8	6,5	3,6	3,0	2,5	4,3	9,7	9,2	3,076
RIO SOACHA	40516088,1	1,5	2,8	4,7	6,7	6,2	3,2	2,8	2,1	2,5	6,4	6,9	3,071
EMBALSE MUÑA	134216930,8	2,7	4,0	6,3	7,4	6,4	3,3	3,0	2,1	2,7	7,2	7,9	4,321
SALTO SOACHA	107249311,1	1,8	3,1	4,9	7,4	5,8	2,5	2,0	1,8	2,5	6,7	6,8	3,325
MEDIO BOGOTA	316495018,3	2,2	3,5	5,2	7,5	5,8	1,9	1,4	1,1	3,0	7,6	9,1	3,663
RIO CALANDAIMA	268397358,0	4,1	5,5	8,2	8,4	7,3	2,1	1,5	1,1	2,9	7,8	8,9	5,981
RIO APULO	485054867,7	2,6	4,3	5,8	10,5	6,8	1,6	1,1	1,9	5,5	11,8	11,3	3,597
RIO BAJO BOGOTA	544310127,2	3,1	4,4	6,5	8,1	6,4	1,9	1,4	1,0	3,6	7,4	8,0	4,537

Fuente: El autor

i. Mapa ubicación estaciones Limnigráficas



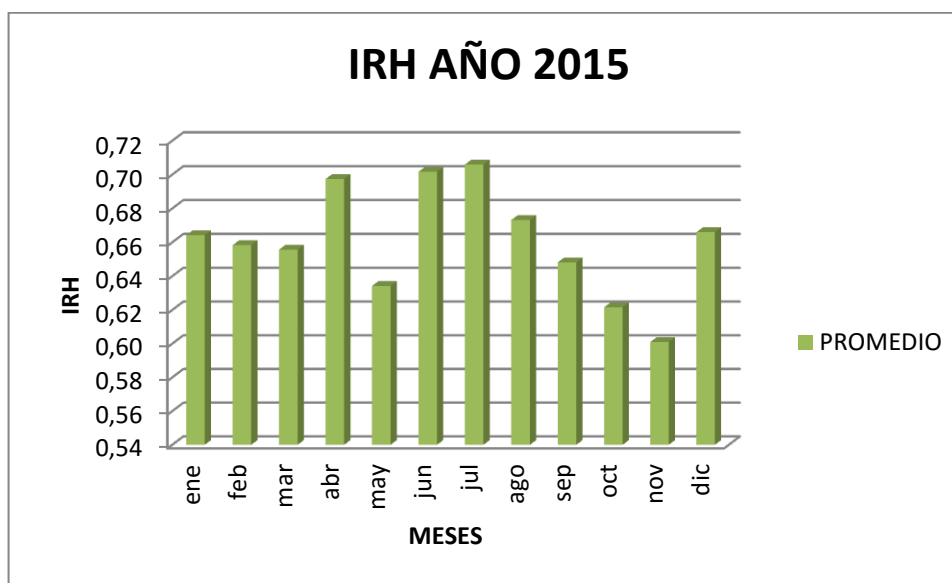
Fuente: El autor



j. Promedio y diagrama IRH para el 2015

ESTACIÓN	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2120719	0,7594	0,6614	0,6633	0,7381	0,6530	0,6591	0,6047	0,5057	0,5043	0,6423	0,6613	0,7529
2120816	0,5329	0,6295	0,7302	0,6680	0,6074	0,5851	0,6253	0,5435	0,5261	0,4598	0,5091	0,5584
2120798	0,6675	0,7889	0,6852	0,9417	0,4757	0,6241	0,6232	0,7889	0,6069	0,6795	0,6957	0,5538
2120767	0,7481	0,5765	0,5795	0,6404	0,6641	0,7273	0,7400	0,6265	0,6103	0,5583	0,6232	0,6819
2120732	0,6369	0,5848	0,6789	0,6622	0,6570	0,7958	0,7399	0,7399	0,7505	0,6999	0,6328	0,6436
2120734	0,6595	0,6105	0,6448	0,6310	0,6031	0,6349	0,6812	0,6715	0,7155	0,5849	0,5675	0,6345
2120726	0,6786	0,6903	0,6291	0,8115	0,6877	0,8693	0,7492	0,8377	0,8101	0,7855	0,6664	0,7675
2120742	0,6922	0,6563	0,6772	0,6269	0,5667	0,7311	0,8130	0,6747	0,6872	0,6189	0,5633	0,6015
2120811	0,6330	0,6617	0,5740	0,5729	0,6618	0,6682	0,7073	0,5793	0,6304	0,6284	0,5362	0,6555
2120805	0,6894	0,6899	0,6945	0,8507	0,7919	0,8437	0,8035	0,7322	0,7201	0,6376	0,6210	0,7463
2120824	0,6089	0,6914	0,6555	0,5276	0,6079	0,5794	0,6782	0,7049	0,5685	0,5424	0,5341	0,7302
PROMEDIO	0,6642	0,6583	0,6557	0,6974	0,6342	0,7016	0,7060	0,6732	0,6482	0,6216	0,6010	0,6660
CATEGORIA	Moder.	Moder.	Moder.	Moder.	Moder.	Moder.	Moder.	Moder.	Moder.	Moder.	Moder.	Moder.

Fuente: El autor



Fuente: El autor



k. Estaciones utilizadas para la proyección del índice de escasez

CODIGO	NOMBRE	UTM	LONGITUD	LATITUD
2120567	FLORIDA LA [21205670]	18N	562364	527370
2120574	SILOS [21205740]	18N	643945	565828
2120577	BASE AEREA MADRID [21205770]	18N	580684	522734
2306511	YACOPI [23065110]	18N	571496	606228
2119506	PANDI [21195060]	18N	557221	463343
2119507	PASCA [21195070]	18N	576374	476445
2401512	ISLA DEL SANTUARIO [24015120]	18N	640165	604470
3502506	BOLSA LA [35025060]	18N	612994	505817
3506501	GACHETA [35065010]	18N	650102	534070
2120558	VENADO ORO VIVERO [21205580]	18N	604100	508341
2120571	JARDIN BOTANICO [21205710]	18N	599529	516182
3507503	VILLA LUISA [35075030]	18N	682884	599591
3508502	RONDON [35085020]	18N	699065	592581
3507502	SUTATENZA [35075020]	18N	671938	555336
3507504	INST AGR MACANAL [35075040]	18N	686652	546390
2124501	PERALES HATO OPIA [21245010]	18N	489868	489039
2118504	APTO SANTIAGO VILA [21185040]	18N	522335	472400
2302502	ESPERANZA LA [23025020]	18N	530012	581724

Fuente: El autor



I. Precipitación y temperatura del escenario RCP 6.0 para los años 2020, 2025, 2030, 2035, 2040

Precipitación año 2020

CODIGO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
2120567	92,6222	86,2316	113,7813	142,0753	114,5182	55,8892	40,3063	53,4046	97,6125	167,2670	121,0280	86,6222	1171,3583
2120574	37,4003	31,1840	57,6341	76,5066	103,4443	162,7034	143,5149	116,5155	70,3830	67,2004	53,4476	28,4003	948,3345
2120577	37,7493	24,6225	40,4269	61,4918	59,7715	52,1829	35,4375	37,0285	47,6066	70,5191	51,0965	24,7493	542,6824
2306511	168,9770	131,2768	212,9399	314,4989	279,3478	223,9489	151,1118	158,8108	239,2900	325,0293	227,5036	162,9770	2595,7116
2119506	115,9324	93,4210	134,9900	137,1067	120,9467	59,0571	42,0199	48,0108	78,6243	141,8223	124,9845	109,9324	1206,8481
2119507	75,5731	46,9296	93,2148	102,0142	72,0142	50,8113	41,1892	47,1861	57,6963	106,0709	96,2297	69,5731	858,5023
2401512	80,3985	54,8001	126,0976	128,5561	102,2342	49,1414	33,6189	45,2312	79,9350	148,2340	124,7315	74,3985	1047,3769
3502506	66,9198	41,8256	89,4949	111,5609	137,2114	166,6020	167,4228	146,8354	89,0756	115,4171	95,7058	60,9198	1288,9912
3506501	53,0945	42,1527	78,0887	125,2137	154,6243	181,2741	152,3743	126,8887	94,6643	104,8868	85,8149	42,0945	1241,1716
2120558	83,2906	64,0811	102,9453	116,8428	110,0964	76,8663	64,4860	73,3820	64,3766	119,4907	124,6844	77,2906	1077,8326
2120571	73,9651	51,2885	87,8240	117,0029	112,7018	67,5275	41,7417	54,4012	79,1011	116,4228	106,7076	67,9651	976,6493
3507503	45,3974	30,6558	55,6115	86,7800	124,3654	137,8143	108,4265	99,7802	77,0258	103,2636	81,9347	38,3974	989,4527
3508502	87,7939	53,4991	99,8873	172,1595	248,3298	311,6418	266,7022	239,9155	162,9799	171,2006	159,2857	78,7939	2052,1890
3507502	50,4893	26,8984	52,9488	107,0125	164,9684	219,9264	170,1653	157,6787	105,0154	88,7166	60,5651	25,4893	1229,8743
3507504	51,8068	58,1010	102,5037	185,7669	308,6996	434,6136	371,5484	329,8516	208,9057	149,1057	90,8296	45,8068	2337,5395
2124501	89,6501	28,2108	42,6145	52,9076	71,3124	34,8936	16,6648	21,7690	62,1884	66,3132	31,5670	31,6501	549,7413
2118504	108,1183	91,7376	115,1197	155,0099	135,3079	64,3985	28,6152	39,0693	110,1021	172,0637	98,6041	95,1183	1213,2645
2302502	133,2211	81,2419	116,1888	171,5806	151,1607	82,4498	54,1823	73,0007	139,3091	210,5436	169,1664	127,2211	1509,2660

Fuente: IDEAM, 2015

Precipitación año 2025

CODIGO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
2120567	124,4335	106,6479	130,0459	176,9543	109,0424	47,3870	42,0911	51,2576	102,4096	170,4877	146,6199	72,9605	1280,3375
2120574	48,3960	41,2649	68,4313	94,3600	99,3590	112,1645	168,2252	118,8795	69,4727	69,3889	61,1206	27,7722	978,8350
2120577	42,9072	29,7336	47,3644	74,3950	55,0519	38,5725	37,6432	36,1541	47,3014	67,6121	63,1038	22,4932	562,3325
2306511	144,6745	160,3528	250,4060	387,5267	261,8489	167,9649	158,5134	154,2022	238,1602	312,0078	284,0726	141,6358	2661,3659
2119506	119,5953	119,9230	139,8679	171,6969	111,0102	54,4402	50,6824	43,8054	78,9283	141,4472	146,2268	79,0877	1256,7113
2119507	90,5336	67,3536	101,2906	123,7486	68,2224	43,9104	47,4459	43,3333	58,3441	99,2864	114,9855	54,4718	912,9263
2401512	89,9535	83,1008	147,6995	169,0496	98,0365	39,6484	37,5672	44,0567	79,2933	144,9154	143,1144	74,0615	1150,4968
3502506	66,7687	58,0386	108,8703	132,6617	130,5351	122,3494	185,1053	143,0506	91,5453	111,1209	116,4679	57,8471	1324,3608
3506501	62,6267	62,4632	88,9194	153,4712	146,0020	128,6292	174,9288	132,1818	93,4547	110,4907	97,4057	38,3685	1288,9419
2120558	118,7078	101,9346	125,1406	144,9043	109,5714	62,1063	71,5255	68,9492	65,9920	116,6946	150,0088	70,5709	1206,1061
2120571	82,6166	65,3622	101,9235	142,4940	103,1869	52,3005	45,0778	53,2573	80,9611	109,8644	131,7909	59,3267	1028,1620
3507503	49,1950	45,5965	63,1875	106,2239	117,0770	98,0739	124,6233	103,7570	76,1095	108,2517	92,8249	35,4895	1020,4098
3508502	71,4400	80,3443	114,3600	214,3400	237,0087	221,0870	305,3697	248,6325	160,0016	180,3355	181,9649	71,4084	2086,2926
3507502	49,1180	39,0761	60,3608	130,5588	155,5510	154,2721	195,6260	164,8304	103,7166	93,7784	68,7713	23,2602	1238,9197
3507504	62,6127	86,4783	118,3511	229,7819	295,9503	303,8481	425,3083	344,1368	206,4970	158,8530	103,9304	41,6095	2377,3574
2124501	60,7915	31,6686	49,0577	64,8925	67,2222	31,1841	21,2219	26,6722	68,4954	62,8433	34,2645	29,8016	548,1157
2118504	95,7371	108,3740	122,6397	190,2335	131,0830	55,7308	37,1534	41,2611	116,8409	166,6511	116,4001	76,4431	1258,5479
2302502	94,5759	84,3846	129,6542	215,3150	144,5330	62,4953	59,6364	70,5622	145,9007	207,3400	204,4303	113,4147	1532,2424

Fuente: IDEAM, 2015



Precipitación año 2030

CODIGO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
2120567	95,9327	104,2450	102,6396	158,8387	125,8103	56,9687	49,4220	53,1702	100,4750	182,9815	138,0266	84,7886	1253,2990
2120574	43,2704	31,7526	46,6299	85,2253	109,8668	138,1746	173,2286	108,4197	65,6593	75,7565	56,7250	27,9975	962,7061
2120577	40,7583	30,5038	34,4089	66,4031	65,8658	45,8781	41,2176	35,9880	46,8459	75,2239	57,6482	24,3822	565,1239
2306511	114,2132	169,0630	184,5404	343,0620	311,7278	202,1008	175,3121	153,7667	237,6821	346,0006	261,4459	157,6100	2656,5247
2119506	98,8621	110,6862	124,0248	150,8178	132,1987	64,6214	53,6219	47,9691	78,0274	147,6278	140,7667	91,9191	1241,1430
2119507	73,1721	59,8747	84,0363	110,3580	80,4121	53,3266	51,4576	48,4454	56,8457	107,3518	105,9805	60,1081	891,3688
2401512	75,4410	58,8665	108,9079	147,5251	105,4550	48,6843	41,9349	41,8543	72,5406	157,0628	122,6111	78,7586	1059,6422
3502506	59,7105	50,6779	76,1140	116,3999	153,1738	151,8667	200,4152	143,5268	85,3886	125,1625	107,4746	58,8528	1328,7633
3506501	55,2943	46,8770	63,2447	138,6942	161,7248	154,5002	176,4640	120,3832	90,2818	115,7475	93,0548	40,6486	1256,9150
2120558	93,0888	81,8118	91,4502	126,2305	121,9608	78,4970	81,3727	72,5309	61,4754	127,2878	136,4734	76,9840	1149,1633
2120571	69,5289	65,2120	76,6510	127,2126	125,3209	64,1081	50,6264	53,9998	77,5696	123,0607	119,5662	66,0338	1018,8900
3507503	52,5775	33,9456	45,0323	95,9310	129,5937	117,4437	125,9531	94,5748	73,2745	113,5957	88,1206	37,6737	1007,7163
3508502	54,3828	60,6887	81,0562	191,4920	261,7310	265,8262	306,3815	227,4416	156,0341	189,7055	173,8905	76,2932	2044,9236
3507502	51,8601	29,6602	42,5559	117,9916	172,5509	185,6678	196,5474	149,4673	100,4730	98,2721	66,2212	24,3149	1235,5825
3507504	63,2871	65,6425	83,5044	206,5180	328,3989	365,9144	422,9768	313,1370	201,5053	166,9162	101,9788	44,2135	2363,9931
2124501	77,3855	32,4758	38,1814	58,4907	75,7919	35,3663	35,3249	36,8402	64,7806	66,4982	32,5436	31,9968	585,6759
2118504	147,6580	103,6367	99,9745	165,1014	147,1294	65,1321	56,9052	54,2590	112,4972	171,2243	113,6381	84,7216	1321,8774
2302502	107,7923	88,6324	98,6879	187,8602	164,1839	73,1809	66,0178	70,7644	140,3858	219,2864	193,4640	127,9172	1538,1730

Fuente: IDEAM, 2015

Precipitación año 2035

CODIGO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
2120567	116,4244	91,0640	125,6382	162,5166	129,6179	54,6482	40,2205	52,7714	101,2574	186,5170	143,2760	95,4446	1299,3962
2120574	55,6164	30,0153	65,3910	83,6326	112,9890	140,5413	142,6059	119,2499	68,9157	73,1575	57,4652	31,3009	980,8809
2120577	47,9255	26,3283	45,4040	67,9299	69,8305	46,6425	34,7304	37,1403	48,4576	75,8032	59,2699	27,0165	586,4787
2306511	143,0589	144,2921	236,9272	349,2774	330,0330	204,5540	148,9570	157,3263	245,6683	347,1785	266,7707	179,0296	2753,0728
2119506	125,5179	100,9759	149,3349	150,3747	130,1040	59,3433	38,0259	41,8375	79,5765	152,0791	145,1416	110,8945	1283,2058
2119507	94,7071	53,3482	103,7571	110,0021	80,5977	49,8367	38,7130	44,6217	57,7702	109,0390	110,4715	71,6577	924,5219
2401512	95,7495	54,0168	137,6334	142,4785	106,8790	49,1490	35,5635	42,6612	74,6787	160,2546	133,0420	78,5106	1110,6168
3502506	76,9228	42,5791	98,9933	118,6157	160,2227	148,2907	162,4677	141,5304	92,4151	118,4568	106,6435	63,6779	1330,8158
3506501	71,0807	40,6186	80,8194	135,6210	167,5094	166,4008	151,2207	131,6003	90,8320	110,1370	97,1343	46,6152	1289,5894
2120558	118,1346	70,2398	112,9099	125,6881	125,0897	74,8887	66,2643	69,8629	65,9968	125,8320	141,0184	84,8389	1180,7639
2120571	83,0309	56,2169	97,9296	127,8230	129,4344	62,9711	41,2034	52,4280	80,7223	124,3889	123,4443	73,3236	1052,9163
3507503	56,3777	29,3044	57,5528	93,8318	134,2952	126,6092	107,8603	103,1187	73,6501	108,6078	92,6634	42,4590	1026,3304
3508502	82,1028	51,9054	102,7915	187,5328	271,4984	285,7625	263,1932	248,0313	156,9844	178,4215	179,7280	87,2538	2095,2055
3507502	57,0490	25,6960	55,0292	115,6297	179,5351	200,2075	168,5648	164,6769	101,2700	93,0563	68,8833	28,2711	1257,8689
3507504	72,6557	56,4076	106,6111	202,3970	340,9028	393,0040	364,3027	343,6243	203,4658	155,7170	103,1535	51,5074	2393,7490
2124501	53,3502	30,2054	42,9052	59,1585	83,5367	35,0818	16,2934	21,7235	67,2535	69,5057	31,9262	35,6588	546,5989
2118504	86,0171	95,6922	124,9350	170,3569	155,8360	62,6669	27,6417	37,0058	116,5961	179,2608	110,5323	95,3691	1261,9098
2302502	80,5552	79,6364	124,8288	196,2337	180,1556	74,3196	54,6346	72,8075	146,4451	228,0648	194,4452	133,7441	1565,8706

Fuente: IDEAM, 2015



Precipitación año 2040

CODIGO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
2120567	78,0176	111,2051	113,6258	149,9105	123,3600	62,0921	47,4654	52,5909	102,0189	156,8562	158,0588	90,5181	1245,7195
2120574	13,2972	46,9170	62,6552	76,5253	111,4455	140,6997	152,4913	113,3041	66,6540	62,4583	61,2241	25,8185	933,4901
2120577	12,1515	30,9801	38,3266	60,0429	64,7922	51,0386	39,6238	36,4012	46,9778	64,7436	63,2528	24,8219	533,1530
2306511	99,1871	172,1406	200,1698	306,4210	305,7869	225,1407	169,0009	153,5618	237,1314	299,2652	286,6579	163,2945	2617,7579
2119506	74,7591	112,2561	132,1723	143,7492	136,1687	64,1429	51,6327	44,8325	79,9290	129,9636	159,4037	103,2480	1232,2577
2119507	50,5601	63,1347	85,5618	100,8989	80,6313	55,5825	50,1176	44,7258	56,0732	90,8286	116,5649	64,5080	859,1874
2401512	38,9510	81,4954	133,3658	136,1162	105,7474	50,3542	41,0044	41,7613	74,8794	131,5825	137,3672	73,4080	1046,0327
3502506	23,8473	59,6108	91,2924	105,0060	149,1261	156,7192	179,6351	142,4018	90,1247	100,6765	115,4666	57,3729	1271,2794
3506501	21,9720	69,5799	83,6050	125,5344	164,5321	163,6464	158,7203	126,6050	88,4901	93,7460	98,2147	37,6772	1232,3231
2120558	47,6672	96,8155	105,4245	114,8339	119,6606	81,4136	75,3666	67,9770	64,8438	103,7888	147,6608	76,5992	1102,0513
2120571	45,7911	67,9931	84,1984	115,1077	122,3412	69,5031	48,6031	53,2393	78,4782	105,2407	132,3490	68,1617	991,0066
3507503	53,3571	49,5952	59,5249	87,1771	131,8386	124,6237	113,6342	99,4751	72,0539	91,8639	93,0027	34,7261	1010,8725
3508502	86,4648	89,4573	105,1811	171,7546	265,5482	280,5262	274,9028	237,5713	152,0206	152,9770	183,1605	71,1910	2070,7554
3507502	73,3399	44,4127	57,0833	106,7818	175,9383	196,7530	175,7087	157,9567	98,4801	79,5259	70,0475	22,5558	1258,5837
3507504	20,9778	99,4423	109,7514	184,3641	333,6347	386,5711	377,3095	326,0683	195,9799	133,3862	106,7825	41,3092	2315,5769
2124501	46,7993	35,7034	43,3474	54,6942	76,2014	38,3468	19,5343	20,8287	65,3006	60,8745	35,4208	34,4190	531,4703
2118504	102,8954	113,9914	113,3797	156,5866	151,6151	70,4385	35,4375	35,8279	114,5176	149,6446	122,8918	89,3472	1256,5733
2302502	92,8867	96,2238	115,2608	176,0437	162,8999	82,8816	62,8499	69,9794	147,1436	191,3983	216,8668	130,3653	1544,7998

Fuente: IDEAM, 2015

Temperatura año 2020

CODIGO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2120567	13,9885	17,7373	17,7918	17,5501	17,6546	17,3472	17,2728	17,6960	17,6366	17,3812	17,4248	17,4885
2120574	12,1224	12,8797	13,1652	13,0328	12,8841	12,1300	11,6243	11,8654	12,1376	12,7996	13,0803	12,6224
2120577	14,7685	14,1855	14,2927	14,4213	14,5824	14,4229	14,2067	14,3218	14,1883	14,2674	14,3891	14,2685
2306511	13,2072	13,8074	13,9685	14,3147	14,5743	14,3182	13,8723	14,0159	13,9828	13,8964	13,8776	13,7072
2119506	24,8372	24,6866	24,3614	23,9909	24,2058	24,3479	24,5190	25,2930	24,8950	24,4086	24,0438	24,3372
2119507	15,8440	16,1065	16,1566	16,1588	16,2950	16,1623	15,9709	16,2218	16,2288	16,1838	16,2129	16,3440
2401512	15,9958	16,3089	16,4529	16,5750	16,5173	16,5436	16,2816	16,3234	16,5441	16,4319	16,4198	16,4958
3502506	8,4608	8,9867	9,1910	9,4294	9,3089	8,8478	8,4948	8,8036	9,0691	9,2204	9,2269	8,9608
3506501	19,7470	20,4314	20,3926	19,9660	19,9150	19,3194	18,8873	19,3329	19,5789	20,1141	20,2793	20,2470
2120558	12,7192	13,5299	13,6211	13,6914	13,5106	13,1302	12,6665	12,8066	12,9134	13,2035	13,1937	13,2192
2120571	15,8037	15,3387	15,3924	15,4716	15,5459	15,2365	15,0740	15,0675	15,0278	15,1335	15,3436	15,3037
3507503	16,0400	17,8102	18,0249	17,4628	17,2098	16,5499	16,0138	16,1939	16,4430	17,1123	17,3905	17,5400
3508502	17,6939	17,5675	17,3417	16,7503	16,5740	15,8780	15,5253	15,8060	16,2803	16,6992	17,0426	17,1939
3507502	19,6124	19,1327	19,1581	18,6264	18,2736	17,5497	17,1062	17,5407	17,9982	18,5569	18,9357	19,1124
3507504	20,1851	20,2047	20,1867	19,7014	19,3712	18,5518	18,2403	18,3499	18,8315	19,3242	19,5369	19,6851
2124501	25,9173	25,7242	25,4714	25,7816	25,8048	25,7933	25,8492	25,9133	25,4848	25,5452	25,4025	25,4173
2118504	28,9646	30,0515	29,8034	28,9179	28,9175	28,8927	29,8278	30,8876	30,0030	28,9004	28,8181	29,4646
2302502	29,1130	29,3002	29,2106	28,7496	28,8955	29,0211	30,1227	30,7531	29,4530	28,3676	28,4386	28,6130

Fuente: IDEAM, 2015

Temperatura año 2025

CODIGO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2120567	17,0983	17,6844	17,6602	17,6339	17,7544	17,2754	17,2032	17,6495	17,6666	17,3694	17,2818	17,3379
2120574	12,9167	13,0347	13,3251	13,3429	13,1089	12,2033	11,6906	11,8907	12,2137	12,8862	13,0224	12,4580
2120577	14,4931	14,3312	14,3970	14,6790	14,7400	14,4828	14,2555	14,3138	14,2923	14,3604	14,3036	14,1831
2306511	14,1020	13,9250	14,0629	14,5373	14,7178	14,3675	13,9033	14,0047	14,0816	13,9921	13,7862	13,6094
2119506	25,4318	25,3181	24,9097	24,5546	24,3958	24,2773	24,7184	25,3095	25,0293	24,5123	24,0808	24,3079
2119507	15,7983	16,3473	16,4110	16,4887	16,4812	16,2285	16,0430	16,2414	16,3415	16,2716	16,1654	16,2766
2401512	15,9083	15,7363	15,6913	15,5033	15,4828	14,9707	14,6254	14,6888	14,7727	14,9515	14,9808	15,0075
3502506	8,1972	8,9852	9,1979	9,4607	9,4154	8,9261	8,6228	8,8702	9,1366	9,1956	9,2049	8,9370
3506501	20,7891	20,6235	20,5886	20,5024	20,2318	19,4153	19,0147	19,3667	19,6987	20,2714	20,2387	20,0601
2120558	12,8850	13,7193	13,7578	13,9461	13,7111	13,1685	12,7068	12,8051	12,9801	13,2802	13,1226	13,0842
2120571	15,9322	15,5632	15,5451	15,7430	15,7394	15,2987	15,1344	15,0752	15,1391	15,2348	15,2714	15,2057
3507503	16,2335	17,8900	18,1284	17,8794	17,4834	16,5990	16,0761	16,2040	16,5314	17,2350	17,3424	17,3943
3508502	17,1505	17,6899	17,4768	17,1795	16,8723	15,9337	15,6035	15,8164	16,3628	16,8306	17,0123	17,0374
3507502	19,8712	19,2622	19,1828	19,0432	18,6152	17,6384	17,1918	17,5429	18,0834	18,6906	18,8678	19,0060
3507504	20,5920	20,4329	20,4380	20,2551	19,7223	18,6466	18,3932	18,4396	18,9552	19,5202	19,5329	19,5041
2124501	25,9416	25,7090	25,7170	25,8906	25,9664	25,8452	25,8953	26,0317	25,4983	25,4117	25,3485	25,4727
2118504	29,1369	30,6630	30,1650	29,4864	29,3430	29,0012	30,0286	30,9694	30,2603	29,3023	28,8702	29,3964
2302502	28,6433	29,6401	29,3344	29,0193	29,1398	29,1264	30,3186	30,7724	29,7360	28,6200	28,3821	28,5303

Fuente: IDEAM, 2015

Temperatura año 2030

CODIGO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2120567	17,6937	17,7641	18,2047	17,7426	17,8971	17,4988	17,4604	17,8305	17,7037	17,5641	17,3581	17,6119
2120574	12,3258	12,9262	13,5587	13,3034	13,1279	12,2959	11,8041	11,9354	12,2203	12,8782	13,0884	12,6784
2120577	14,0313	14,3478	14,7717	14,6699	14,8126	14,6108	14,3841	14,4151	14,2717	14,4578	14,3773	14,4359
2306511	13,6552	13,9654	14,4354	14,5607	14,7881	14,5062	14,0416	14,1268	14,0754	14,1105	13,8750	13,8934
2119506	25,6547	25,1315	25,3418	24,3719	24,5187	24,6028	24,8781	25,3301	24,9700	24,3522	23,9068	24,4198
2119507	16,3078	16,2912	16,7448	16,4793	16,5862	16,3767	16,1918	16,3458	16,3213	16,3538	16,1961	16,5210
2401512	15,2615	15,5930	15,9500	15,4529	15,4954	15,0896	14,7642	14,7379	14,7821	14,9283	15,0404	15,2891
3502506	8,6515	8,9476	9,2999	9,4985	9,4504	8,9435	8,5758	8,8880	9,2226	9,2871	9,3263	9,0494
3506501	20,1809	20,5466	21,0156	20,3841	20,2547	19,5405	19,1181	19,3804	19,7156	20,2667	20,2965	20,3333
2120558	12,2971	13,6590	14,0894	13,9058	13,7643	13,3073	12,8370	12,8841	12,9930	13,3411	13,1728	13,3642
2120571	15,4271	15,5174	15,9329	15,7224	15,7967	15,4304	15,2672	15,1695	15,1140	15,3138	15,3185	15,5037
3507503	17,6579	17,8747	18,5566	17,8453	17,5674	16,7415	16,2553	16,2528	16,5824	17,2269	17,4049	17,6787
3508502	16,5161	17,6315	17,8446	17,1153	16,9180	16,0619	15,7653	15,8511	16,4165	16,7915	17,0467	17,3374
3507502	19,3326	19,2314	19,6924	19,0112	18,7444	17,7587	17,3168	17,5566	18,1042	18,6625	18,9022	19,2767
3507504	20,9769	20,3231	20,7587	20,1049	19,6719	18,7360	18,3846	18,3665	18,9360	19,4610	19,5646	19,7624
2124501	25,4739	25,6409	25,9285	25,5622	26,0257	25,8883	25,8971	25,9568	25,5740	25,5494	25,6280	25,5772
2118504	30,4599	30,6633	30,8035	29,5097	29,4485	29,3464	30,1414	31,1696	30,2492	29,3929	28,9840	29,9991
2302502	29,2318	29,8630	30,2642	29,1458	29,2473	29,4393	30,5291	31,0685	29,7379	28,9864	28,5708	29,1089

Fuente: IDEAM, 2015

Temperatura año 2035

CODIGO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2120567	17,6846	17,8866	17,7990	17,7444	17,7848	17,5678	17,5618	17,8080	17,9029	17,5318	17,4533	17,5041
2120574	12,4642	13,0718	13,1881	13,3755	13,0583	12,2685	11,7989	12,0000	12,3255	12,8755	13,1298	12,6479
2120577	13,1057	14,4197	14,4531	14,6774	14,7229	14,6278	14,4592	14,4362	14,4179	14,4099	14,4261	14,3609
2306511	14,7291	14,0277	14,1430	14,5557	14,7056	14,5226	14,1154	14,1373	14,2242	14,0551	13,9191	13,7946
2119506	25,6118	25,0293	24,8345	24,4105	24,3622	24,5007	24,8538	25,5051	25,1020	24,5332	24,0928	24,6195
2119507	16,3186	16,3610	16,4142	16,4263	16,4780	16,4111	16,2338	16,3929	16,4677	16,3198	16,2745	16,4687
2401512	15,4346	15,7583	15,4992	15,5426	15,4102	15,0457	14,7536	14,8207	14,9051	14,9364	15,0907	15,2514
3502506	9,8173	9,1750	9,2889	9,5523	9,4630	8,9355	8,6660	8,8920	9,2700	9,2915	9,2520	9,0238
3506501	19,3227	20,7622	20,5209	20,4842	20,1887	19,6040	19,1737	19,5469	19,9208	20,2589	20,3388	20,3235
2120558	12,4154	13,7616	13,7534	13,9395	13,6646	13,3146	12,8701	12,9283	13,1036	13,3127	13,2035	13,2971
2120571	14,5019	15,6093	15,5448	15,7252	15,6937	15,4661	15,3341	15,2196	15,2605	15,2751	15,3622	15,4136
3507503	18,7711	18,0379	18,0946	17,8850	17,4314	16,7349	16,2439	16,3484	16,6920	17,2278	17,4499	17,5869
3508502	17,6531	17,8112	17,4095	17,1705	16,7993	16,0522	15,7415	15,9532	16,5117	16,7953	17,0751	17,2393
3507502	19,3909	19,4467	19,1042	19,0575	18,5342	17,7670	17,3465	17,6721	18,2759	18,6753	18,9750	19,1922
3507504	20,0696	20,5134	20,3325	20,2248	19,6396	18,8606	18,5163	18,5928	19,2039	19,4842	19,5738	19,7533
2124501	26,7317	26,2365	25,8573	25,9521	25,9276	25,8345	26,1321	26,1053	25,7330	25,6208	25,4525	25,5385
2118504	30,5138	30,5885	30,1557	29,4707	29,2707	29,3283	30,2943	31,1748	30,4417	29,2644	28,9187	29,8289
2302502	29,1957	29,8102	29,5583	29,1543	29,1120	29,4330	30,6660	30,9773	29,9440	28,7444	28,4833	28,9263

Fuente: IDEAM, 2015



Temperatura año 2040

CODIGO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2120567	17,83797	17,81346	18,00968	17,91193	17,84001	17,74529	17,55614	17,76717	17,88029	17,65775	17,65242	17,61357
2120574	12,41070	12,83423	13,13268	13,20984	13,09480	12,39722	11,86487	11,91701	12,37478	12,92599	13,19849	12,66811
2120577	14,09546	14,29774	14,46460	14,69780	14,72230	14,72796	14,47584	14,37657	14,46448	14,50500	14,55743	14,41915
2306511	13,71968	13,91955	14,14368	14,56842	14,69910	14,61574	14,12691	14,09107	14,26060	14,14584	14,03003	13,84646
2119506	25,17015	25,20196	24,83612	24,46931	24,41847	24,82182	25,03118	25,27412	25,27526	24,57253	24,25107	24,42773
2119507	16,42781	16,30886	16,45291	16,57497	16,51730	16,54363	16,28156	16,32337	16,54412	16,43193	16,41983	16,49584
2401512	15,37691	15,47611	15,45033	15,34624	15,44933	15,22045	14,84256	14,71521	14,96307	14,98778	15,16731	15,26162
3502506	8,80127	9,04319	9,29086	9,46293	9,49727	9,03132	8,68254	8,89467	9,26437	9,38653	9,35670	9,09962
3506501	20,33927	20,41893	20,35038	20,30679	20,28913	19,77872	19,24688	19,40820	19,93950	20,31317	20,53503	20,33324
2120558	13,46454	13,64966	13,81586	13,96729	13,66885	13,44288	12,92717	12,85717	13,15550	13,39991	13,34688	13,34802
2120571	15,54771	15,52687	15,63747	15,80597	15,70738	15,60149	15,35894	15,14809	15,32469	15,38969	15,53484	15,47520
3507503	17,83175	17,81835	17,98350	17,75596	17,52788	16,92052	16,32614	16,27660	16,75354	17,26646	17,56703	17,62092
3508502	17,70381	17,57910	17,29170	17,01447	16,88633	16,24614	15,82522	15,85676	16,56054	16,82714	17,20856	17,26388
3507502	19,39121	19,17646	19,09393	18,99153	18,66505	17,98519	17,44537	17,62827	18,34068	18,73501	19,14620	19,23695
3507504	20,13467	20,24950	20,20484	20,08864	19,78812	19,02610	18,56297	18,45138	19,16278	19,51748	19,82100	19,77855
2124501	25,74826	25,96584	26,07401	25,90303	26,19157	26,26309	26,22440	26,01266	25,83886	25,82868	25,78384	25,78577
2118504	30,76511	30,51329	30,22546	29,58601	29,39844	29,67672	30,42394	31,05675	30,58257	29,48810	29,38936	29,86667
2302502	29,50758	29,63833	29,56810	29,17917	29,19546	29,72097	30,70625	30,96781	30,05070	29,01649	28,90224	28,96332

Fuente: IDEAM, 2015



m. Oferta hídrica de las proyecciones

Oferta 2025

SUBCUENCA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
ALTO BOGOTÁ	1,54	1,45	2,56	7,82	10,69	11,90	13,95	8,98	5,19	7,45	5,24	1,51
EMBALSE DEL SISGA	2,23	2,74	3,20	7,97	9,62	10,27	12,60	7,51	4,44	7,52	6,58	2,23
EMBALSE DE TOMINE	1,97	2,46	2,94	7,70	9,36	10,00	12,34	7,25	4,17	7,26	6,31	1,98
SISGA TIBITOC	1,83	2,46	2,90	7,90	8,81	9,94	12,91	7,12	4,29	7,44	5,95	1,91
RIO NEUSA	2,19	3,37	3,92	9,84	9,62	9,69	12,04	7,01	5,32	9,79	7,45	2,86
RIONEGRO	1,91	2,74	3,14	8,48	8,88	7,75	8,87	5,77	4,60	8,19	6,38	2,20
RIO TEUSACA	3,73	3,92	4,06	7,87	9,96	9,58	13,13	8,71	4,14	8,09	8,81	3,10
RIO FRIO	2,12	3,19	3,61	9,45	9,37	8,01	9,01	5,91	5,22	9,23	7,11	2,64
RIO CHICU	1,92	2,81	3,03	7,66	7,22	4,84	5,31	3,67	3,69	7,76	6,55	2,19
TIBITOC-SOACHA	4,42	4,41	4,31	8,11	8,68	7,59	8,92	6,18	4,30	7,96	9,41	3,37
RIO BALSILLAS	2,72	5,09	4,06	9,39	8,17	5,78	6,23	4,23	4,53	11,06	7,88	3,01
RIO SOACHA	2,20	2,91	3,24	6,99	6,58	4,03	4,61	3,36	2,76	7,03	6,91	2,27
EMBALSE MUÑA	2,09	2,83	3,19	6,89	6,35	3,83	4,35	3,18	2,70	6,90	6,72	2,20
SALTO SOACHA	1,98	2,75	2,97	6,69	6,09	3,34	3,64	2,72	2,65	6,80	6,50	2,11
MEDIO BOGOTA	2,20	3,93	3,39	7,95	5,77	2,65	2,77	2,08	3,52	9,02	6,79	2,46
RIO CALANDAIMA	1,80	3,20	3,14	7,09	5,38	2,40	2,45	1,85	2,90	7,59	6,20	2,15
RIO APULO	3,14	6,03	4,68	10,58	6,80	2,20	2,04	1,66	4,84	12,63	8,82	3,49
RIO BAJO BOGOTA	1,76	3,13	3,00	6,98	5,30	2,08	1,94	1,55	2,91	7,53	5,95	2,10

Fuente: EL autor

Oferta 2030

SUBCUENCA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
ALTO BOGOTÁ	1,54	1,45	2,56	7,82	10,69	11,90	13,95	8,98	5,19	7,45	5,24	1,51
EMBALSE DEL SISGA	2,23	2,74	3,20	7,97	9,62	10,27	12,60	7,51	4,44	7,52	6,58	2,23
EMBALSE DE TOMINE	1,97	2,46	2,94	7,70	9,36	10,00	12,34	7,25	4,17	7,26	6,31	1,98
SISGA TIBITOC	1,83	2,46	2,90	7,90	8,81	9,94	12,91	7,12	4,29	7,44	5,95	1,91
RIO NEUSA	2,19	3,37	3,92	9,84	9,62	9,69	12,04	7,01	5,32	9,79	7,45	2,86
RIONEGRO	1,91	2,74	3,14	8,48	8,88	7,75	8,87	5,77	4,60	8,19	6,38	2,20
RIO TEUSACA	3,73	3,92	4,06	7,87	9,96	9,58	13,13	8,71	4,14	8,09	8,81	3,10
RIO FRIO	2,12	3,19	3,61	9,45	9,37	8,01	9,01	5,91	5,22	9,23	7,11	2,64
RIO CHICU	1,92	2,81	3,03	7,66	7,22	4,84	5,31	3,67	3,69	7,76	6,55	2,19
TIBITOC-SOACHA	4,42	4,41	4,31	8,11	8,68	7,59	8,92	6,18	4,30	7,96	9,41	3,37
RIO BALSILLAS	2,72	5,09	4,06	9,39	8,17	5,78	6,23	4,23	4,53	11,06	7,88	3,01



RIO SOACHA	2,20	2,91	3,24	6,99	6,58	4,03	4,61	3,36	2,76	7,03	6,91	2,27
EMBALSE MUÑA	2,09	2,83	3,19	6,89	6,35	3,83	4,35	3,18	2,70	6,90	6,72	2,20
SALTO SOACHA	1,98	2,75	2,97	6,69	6,09	3,34	3,64	2,72	2,65	6,80	6,50	2,11
MEDIO BOGOTA	2,20	3,93	3,39	7,95	5,77	2,65	2,77	2,08	3,52	9,02	6,79	2,46
RIO CALANDAIMA	1,80	3,20	3,14	7,09	5,38	2,40	2,45	1,85	2,90	7,59	6,20	2,15
RIO APULO	3,14	6,03	4,68	10,58	6,80	2,20	2,04	1,66	4,84	12,63	8,82	3,49
RIO BAJO BOGOTA	1,76	3,13	3,00	6,98	5,30	2,08	1,94	1,55	2,91	7,53	5,95	2,10

Fuente: EL autor

Oferta 2035

SUBCUENCA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
ALTO BOGOTÁ	1,71	1,11	4,23	7,54	11,33	12,89	11,09	8,98	5,29	7,15	5,62	1,74
EMBALSE DEL SISGA	3,17	2,09	4,97	7,94	10,17	11,01	9,83	8,42	4,62	7,31	6,85	2,69
EMBALSE DE TOMINE	2,92	1,81	4,72	7,67	9,92	10,74	9,58	8,16	4,36	7,06	6,59	2,44
SISGA TIBITOC	2,56	1,86	4,64	7,85	10,06	11,17	7,83	2,43	4,50	7,26	6,22	2,35
RIO NEUSA	3,08	2,63	6,04	9,84	10,21	10,16	9,34	7,92	5,54	9,79	8,16	3,40
RIONEGRO	2,71	2,20	4,98	8,47	9,43	8,09	6,86	5,77	4,83	8,09	6,66	2,64
RIO TEUSACA	5,93	2,93	6,10	7,84	10,61	9,28	9,91	8,55	4,70	7,72	9,14	3,72
RIO FRIO	3,02	2,46	5,62	9,43	10,00	8,36	6,99	6,45	5,45	9,18	7,44	3,15
RIO CHICU	2,96	2,12	4,77	7,73	7,71	4,88	3,96	3,80	3,90	7,77	6,82	2,69
TIBITOC-SOACHA	6,90	3,29	6,37	8,08	9,21	7,59	6,75	6,17	4,51	7,83	9,86	4,06
RIO BALSILLAS	4,38	4,00	6,06	9,70	8,74	5,91	4,71	4,48	4,76	11,43	8,33	3,83
RIO SOACHA	3,69	2,16	5,03	7,03	6,95	3,86	3,31	3,26	3,01	7,00	7,23	2,84
EMBALSE MUÑA	3,55	2,10	4,96	6,94	3,56	3,21	2,98	2,93	7,13	6,71	6,97	2,77
SALTO SOACHA	3,32	2,04	4,66	6,75	6,46	3,20	3,13	2,63	2,87	6,78	6,76	2,64
MEDIO BOGOTA	3,49	3,06	5,16	8,17	6,16	2,55	1,92	2,01	3,59	9,31	7,14	3,13
RIO CALANDAIMA	2,90	2,47	4,92	7,24	5,74	2,28	1,68	1,79	3,00	7,75	6,47	2,79
RIO APULO	5,16	4,69	6,91	10,95	7,21	2,09	1,38	1,61	4,84	13,00	9,30	4,41
RIO BAJO BOGOTA	2,75	2,42	4,72	7,16	5,70	1,99	1,32	1,50	3,00	7,74	6,19	2,72

Fuente: EL autor

Oferta 2040

SUBCUENCA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
ALTO BOGOTÁ	1,12	2,78	4,07	6,69	10,97	12,66	11,81	9,57	5,05	5,39	5,89	1,36
EMBALSE DEL SISGA	1,03	3,66	4,34	6,85	9,77	10,89	10,70	7,99	4,42	5,58	7,44	2,26
EMBALSE DE TOMINE	0,77	3,38	4,09	6,58	9,52	10,62	10,44	7,73	4,15	5,32	7,17	2,00
SISGA TIBITOC	0,84	3,37	4,05	6,78	8,85	74,29	10,81	7,60	4,29	5,53	6,78	1,95
RIO NEUSA	1,22	4,25	5,21	8,51	9,62	10,14	10,20	7,44	5,30	7,61	8,53	2,91
RIONEGRO	0,91	3,63	4,31	7,29	8,84	8,32	7,64	6,00	4,62	6,20	7,28	2,23

RIO TEUSACA	1,02	5,21	5,39	6,75	9,60	9,28	11,34	8,56	4,48	5,78	9,83	3,08
RIO FRIO	1,13	4,06	4,82	8,12	9,29	8,60	7,78	6,15	5,20	7,10	8,12	2,69
RIO CHICU	0,83	3,47	4,00	6,63	7,14	5,28	4,62	3,72	3,77	5,92	753,66	2,29
TIBITOC-SOACHA	1,09	5,95	5,69	6,95	8,68	8,21	7,61	5,96	4,32	5,79	10,51	3,37
RIO BALSILLAS	1,21	5,75	5,04	8,51	8,08	6,29	5,41	4,32	4,57	8,79	9,56	3,43
RIO SOACHA	0,83	3,64	4,17	6,00	6,46	4,33	4,02	3,25	2,89	5,20	7,92	2,37
EMBALSE MUÑA	0,83	3,50	4,05	5,89	6,20	4,07	3,73	3,02	2,79	6,84	7,65	2,31
SALTO SOACHA	0,80	3,36	3,80	5,73	5,94	3,61	3,15	2,60	2,74	5,04	7,44	2,22
MEDIO BOGOTA	1,15	4,46	4,20	7,05	5,66	2,92	2,38	1,99	3,60	7,11	8,11	2,76
RIO CALANDAIMA	1,26	3,64	3,80	6,20	5,34	2,64	2,15	1,79	2,92	5,79	7,28	2,41
RIO APULO	1,37	6,73	5,74	9,61	6,63	2,46	1,79	1,61	4,94	10,03	10,71	3,97
RIO BAJO BOGOTA	1,60	3,56	3,67	6,12	5,31	2,31	1,70	1,49	2,92	5,76	6,98	2,36

Fuente: EL autor

n. Proyección poblacional

Proyección Población 2025

subcuencas	2025		
	TOTAL	U	R
ALTO BOGOTÁ	41953	23434,4522	18518,5478
EMBALSE DEL SISGA	10745	0	10745
EMBALSE DE TOMINE	30529	14118,6747	16410,3253
SISGA TIBITOC	113040	44591,1979	52026,7899
RIO NEUSA	86301	39146,5042	47154,4958
RIONEGRO	130353	126324,534	4030,19754
RIO TEUSACA	86730	48097,7394	38632,2606
RIO FRIO	223545	139381,042	84163,958
RIO CHICU	104586	58237,2999	46348,7001
TIBITOC-SOACHA	744287	599967,593	144319,407
RIO BALSILLAS	438150	355389,878	82760,1221
RIO SOACHA	289603	287365,522	2239,74072
EMBALSE MUÑA	50962	35806,0787	15155,9213
SALTO SOACHA	282097	272735,468	9361,53237
MEDIO BOGOTA	64674	23605,5311	41068,4689
RIO CALANDAIMA	19446	4232,7652	15213,2348
RIO APULO	77172	28643,029	34858,8383
RIO BAJO BOGOTA	135018	115026,436	19991,5639
TOTAL	2929191	2216103,74	682999,104

Fuente: EL autor

Proyección Población 2030

subcuencas	2030		
	TOTAL	U	R
ALTO BOGOTÁ	46076	25737,5115	20338,4885
EMBALSE DEL SISGA	11646	0	11646
EMBALSE DE TOMINE	33526	15504,6903	18021,3097
SISGA TIBITOC	131024	51685,3956	60303,9466
RIO NEUSA	94837	43018,4705	51818,5295
RIONEGRO	144117	139663,167	4455,74692
RIO TEUSACA	98421	54581,2016	43839,7984
RIO FRIO	260181	162223,708	97957,2916
RIO CHICU	122951	68463,6019	54487,3981
TIBITOC-SOACHA	875308	705583,242	169724,758
RIO BALSILLAS	494892	401414,145	93477,8554
RIO SOACHA	330001	327451,406	2552,17203
EMBALSE MUÑA	56300	39556,5761	16743,4239
SALTO SOACHA	321187	310528,246	10658,7539
MEDIO BOGOTA	69378	25322,4563	44055,5437
RIO CALANDAIMA	19668	4281,08742	15386,9126
RIO APULO	82352	30565,629	37198,6608
RIO BAJO BOGOTA	141298	120376,582	20921,4178
TOTAL	3333163	2525957,12	773588,008

Fuente: EL autor

Proyección Población 2035

subcuencas	2035		
	TOTAL	U	R
ALTO BOGOTÁ	50189	28034,9849	22154,0151
EMBALSE DEL SISGA	12548	0	12548
EMBALSE DE TOMINE	36524	16891,1682	19632,8318
SISGA TIBITOC	149006	58778,8043	68580,1828
RIO NEUSA	103374	46890,8903	56483,1097
RIONEGRO	157881	153001,8	4881,29631
RIO TEUSACA	110113	61065,2183	49047,7817
RIO FRIO	296818	185066,998	111751,002
RIO CHICU	141316	78689,9038	62626,0962
TIBITOC-SOACHA	1006329	811198,89	195130,11



RIO BALSILLAS	551634	447438,411	104195,589
RIO SOACHA	370399	367537,29	2864,60335
EMBALSE MUÑA	61638	43307,0735	18330,9265
SALTO SOACHA	360277	348321,025	11955,9754
MEDIO BOGOTA	74082	27039,3814	47042,6186
RIO CALANDAIMA	19890	4329,40964	15560,5904
RIO APULO	87532	32488,2291	39538,4833
RIO BAJO BOGOTA	147578	125726,728	21851,2718
TOTAL	3737128	2835806,21	864174,483

Fuente: EL autor

Proyección Población 2040

subcuencas	2040		
	TOTAL	U	R
ALTO BOGOTÁ	54302	30332,4584	23969,5416
EMBALSE DEL SISGA	13449	0	13449
EMBALSE DE TOMINE	39521	18277,1838	21243,8162
SISGA TIBITOC	166989	65872,6075	76856,8792
RIO NEUSA	111910	50762,8566	61147,1434
RIONEGRO	171645	166340,434	5306,84569
RIO TEUSACA	121804	67548,6804	54255,3196
RIO FRIO	333454	207909,665	125544,335
RIO CHICU	159681	88916,2057	70764,7943
TIBITOC-SOACHA	1137350	916814,538	220535,462
RIO BALSILLAS	608376	493462,678	114913,322
RIO SOACHA	410797	407623,174	3177,03466
EMBALSE MUÑA	66976	47057,5708	19918,4292
SALTO SOACHA	399367	386113,803	13253,1969
MEDIO BOGOTA	78786	28756,3066	50029,6934
RIO CALANDAIMA	20112	4377,73186	15734,2681
RIO APULO	92712	34410,8291	41878,3058
RIO BAJO BOGOTA	153858	131076,874	22781,1257
TOTAL	4141089	3145653,6	954758,513

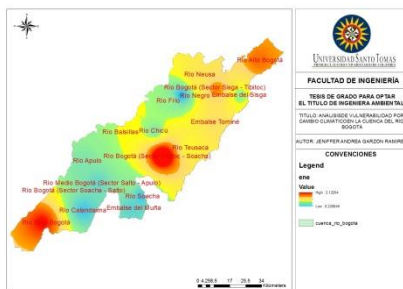
Fuente: EL autor



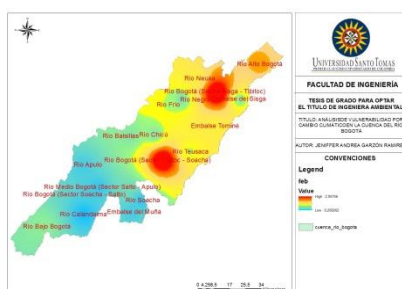
o. Mapas Índice de escasez mensual para el 2020, 2025, 2030, 2035, 2040

• 2020

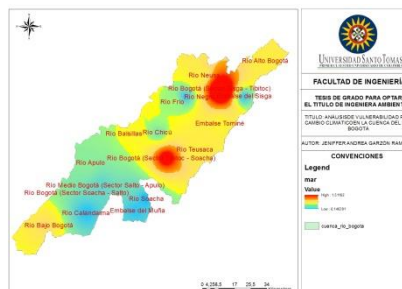
Enero



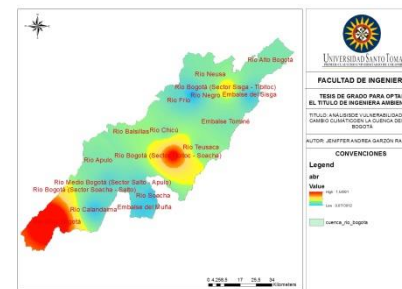
Febrero



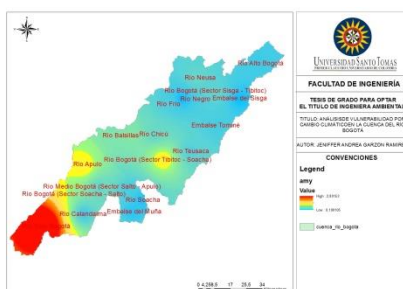
Marzo



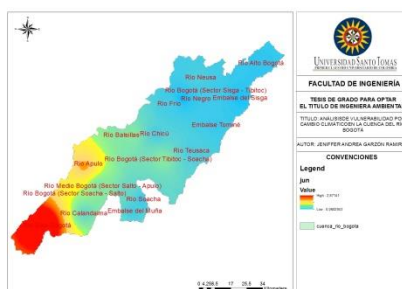
Abril



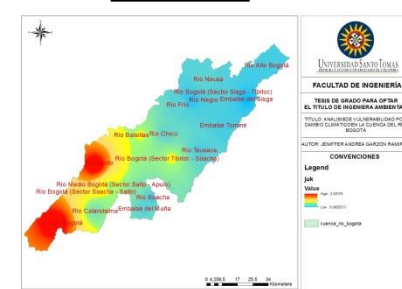
Mayo



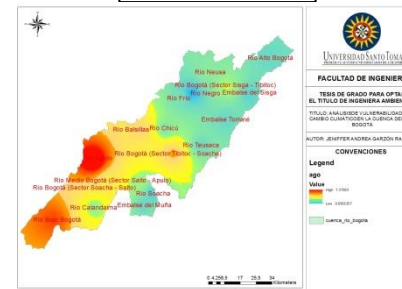
Junio



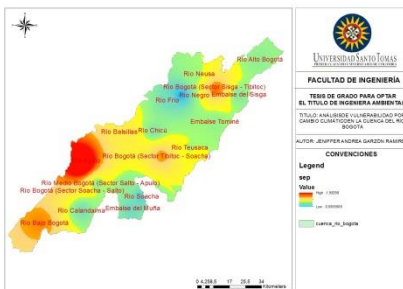
Julio



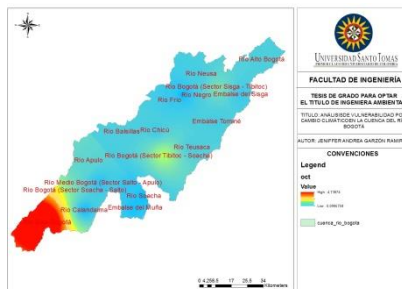
Agosto



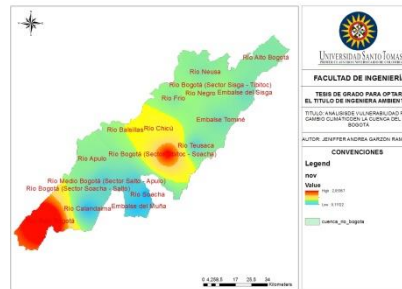
Septiembre



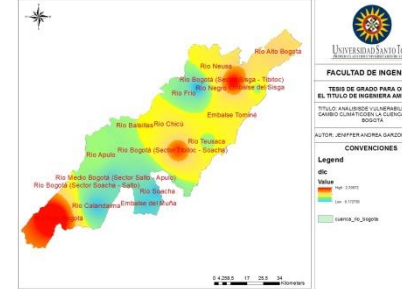
Octubre



Noviembre



Diciembre

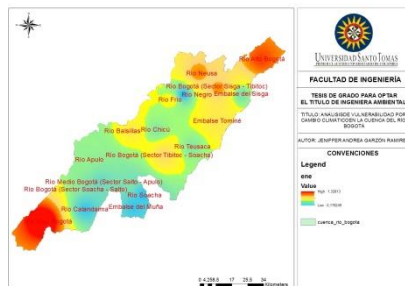


Pr
NW.

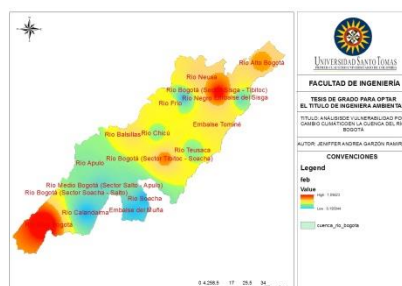
de N
otoma

• 2025

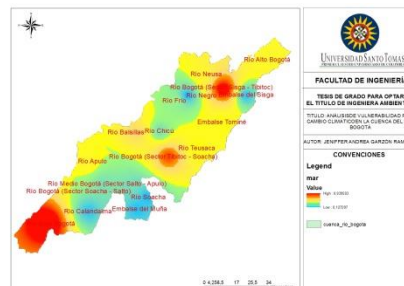
Enero



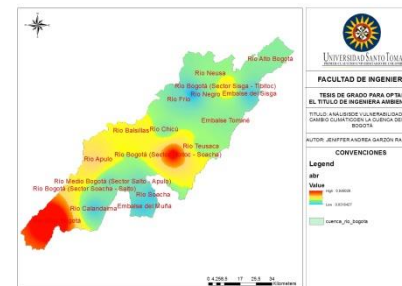
Febrero



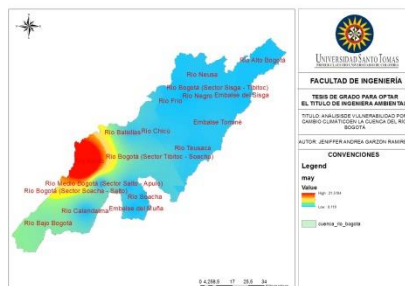
Marzo



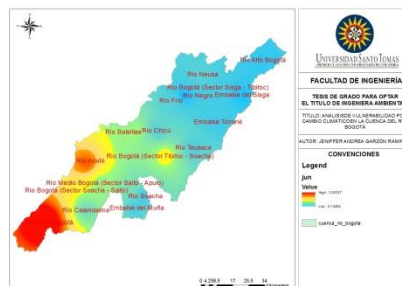
Abril



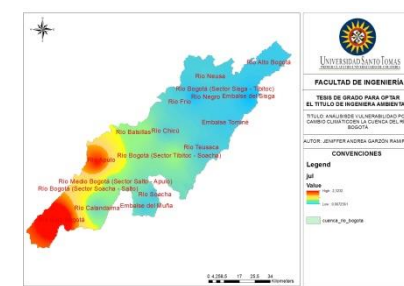
Mayo



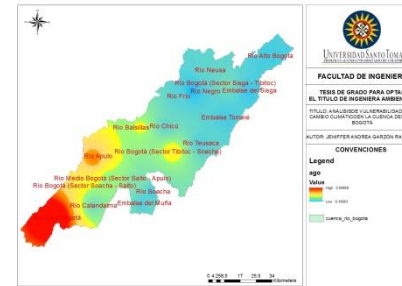
Junio



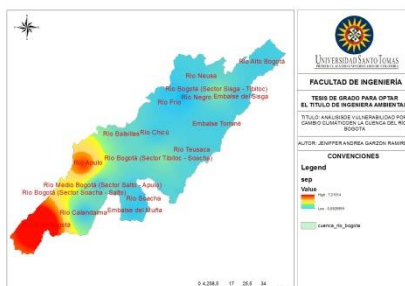
Julio



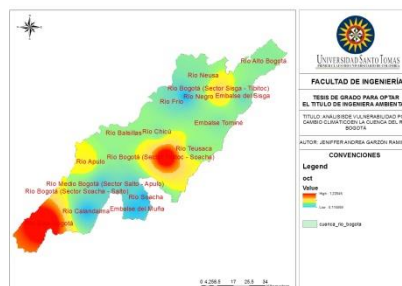
Agosto



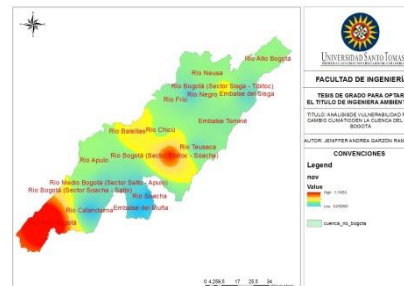
Septiembre



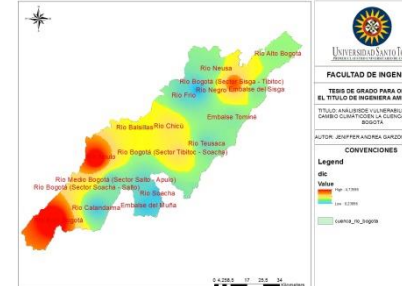
Octubre



Noviembre



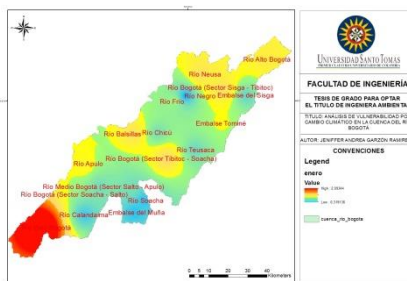
Diciembre



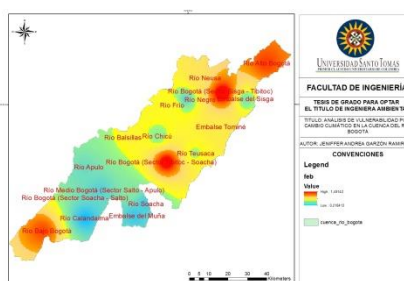


• 2030

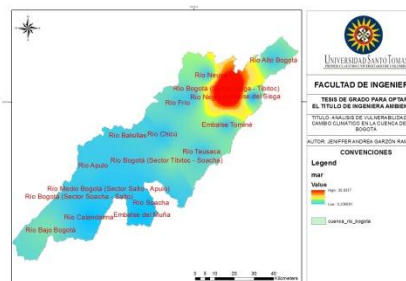
Enero



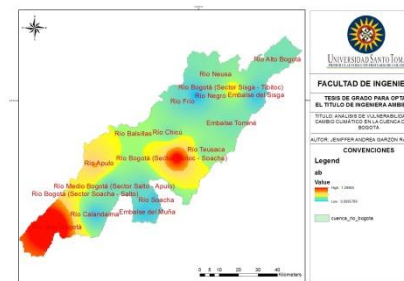
Febrero



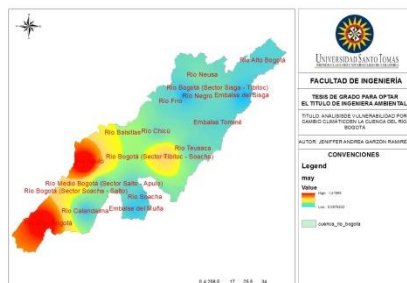
Marzo



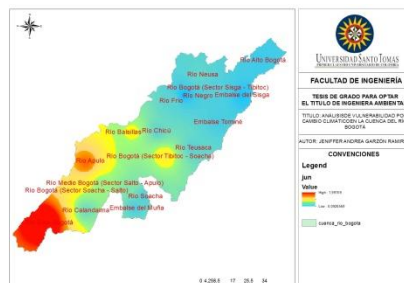
Abril



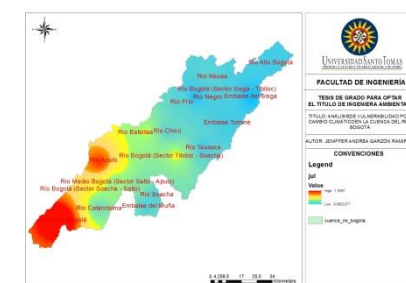
Mayo



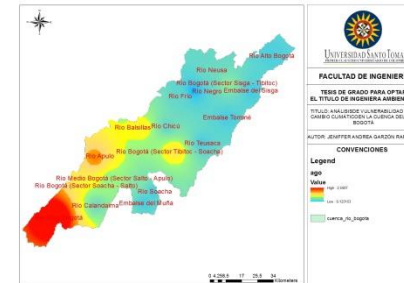
Junio



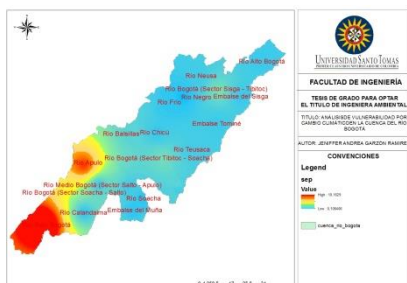
Julio



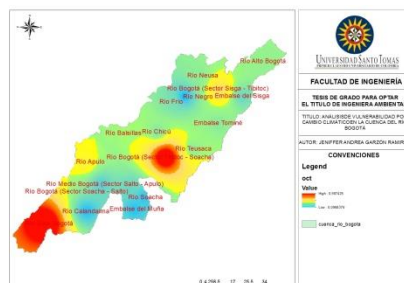
Agosto



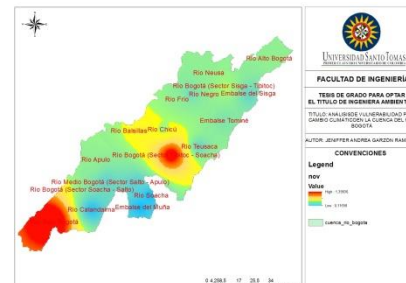
Septiembre



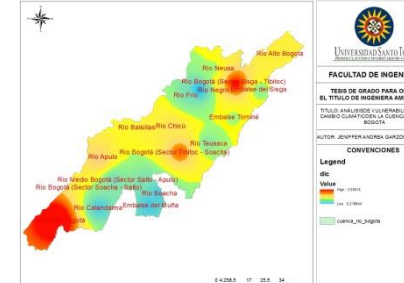
Octubre



Noviembre

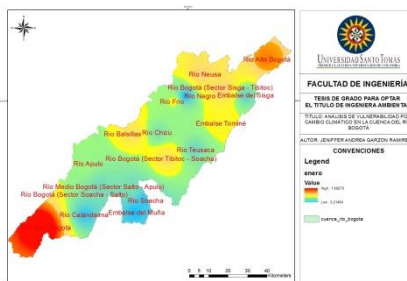


Diciembre

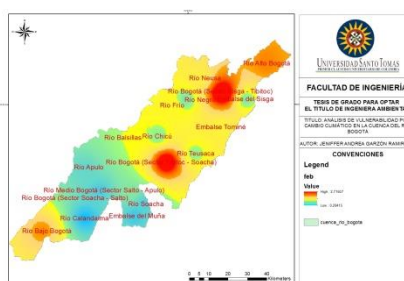


• 2035

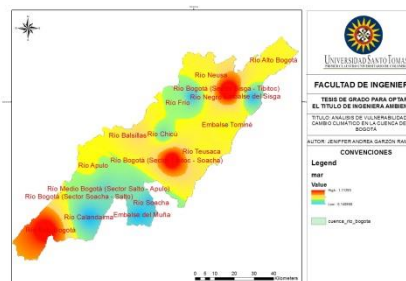
Enero



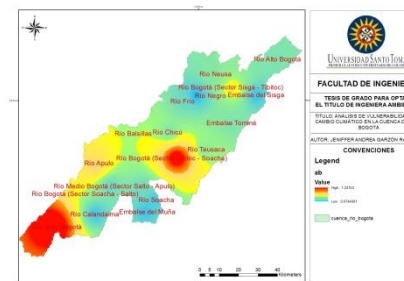
Febrero



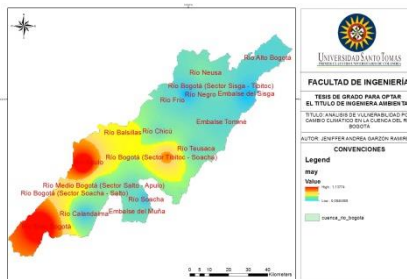
Marzo



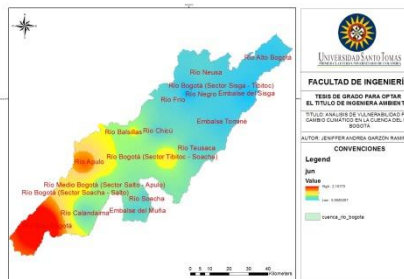
Abril



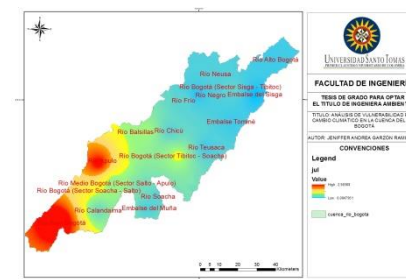
Mayo



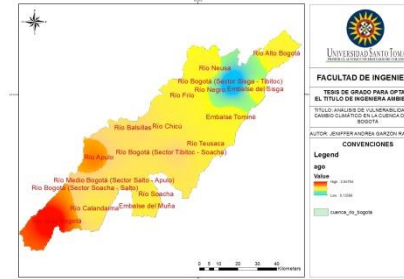
Junio



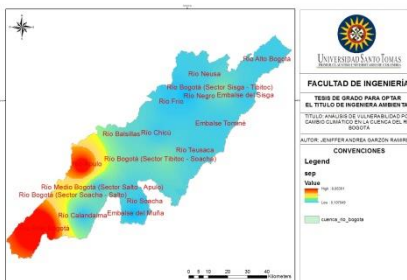
Julio



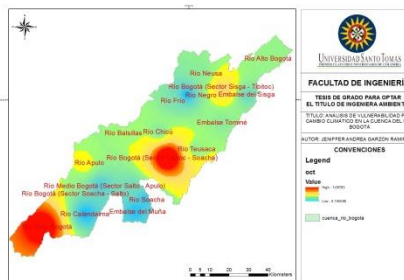
Agosto



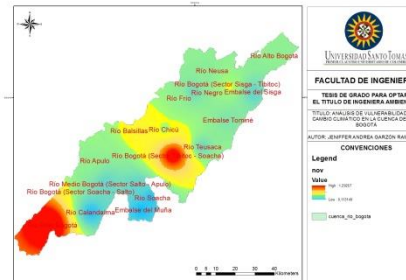
Septiembre



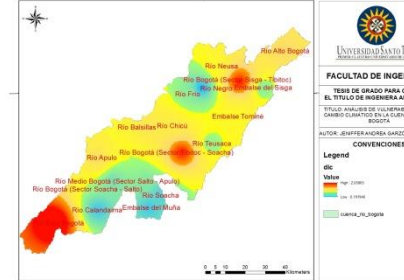
Octubre



Noviembre

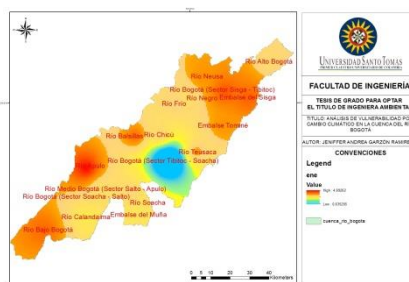


Diciembre

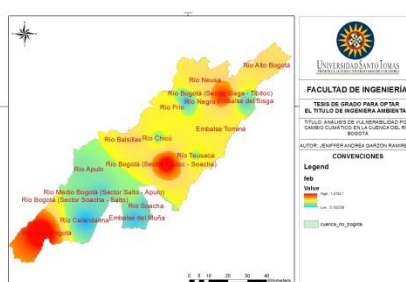


• 2040

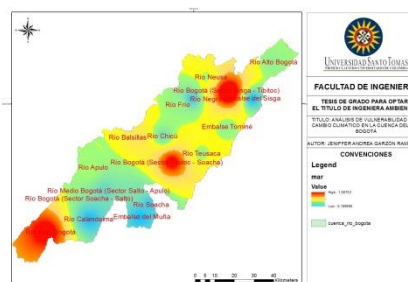
Enero



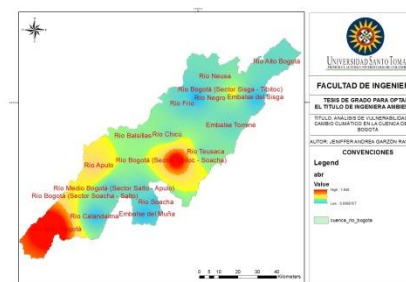
Febrero



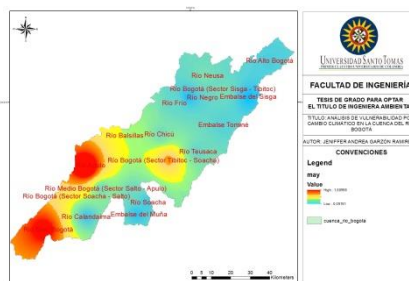
Marzo



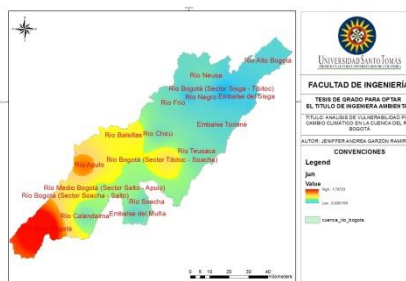
Abril



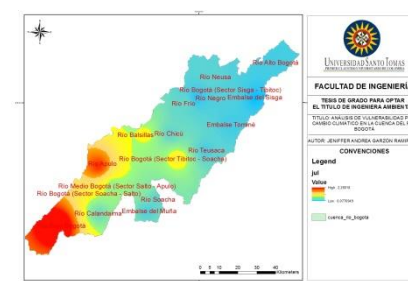
Mayo



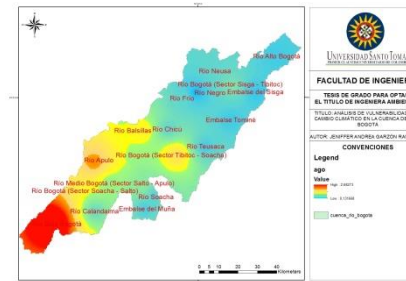
Junio



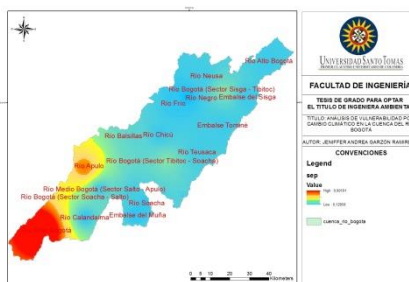
Julio



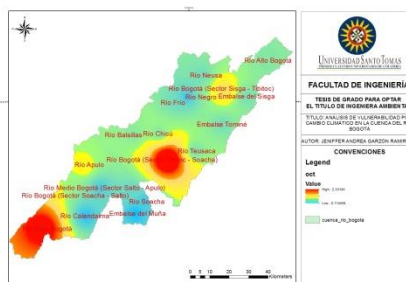
Agosto



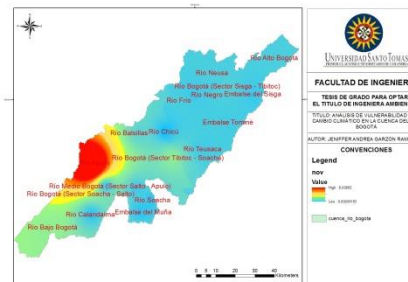
Septiembre



Octubre



Noviembre



Diciembre

