

INFORME DE CONTRATISTA DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS PROFESIONALES

INFORMACIÓN DEL CONTRATO			
NÚMERO DEL CONTRATO:	CO1.PCCNTR. 7842703		
OBJETO DEL CONTRATO:	Prestación de servicios profesionales para apoyar la ejecución de actividades encaminadas a la identificación y cuantificación de la Recarga de Acuíferos presentes en el Municipio de Chía.		
CONTRATISTA:	DOUGLAS ARCESIO QUINTERO RESTREPO		
NO. DE CEDULA:			
FECHA INICIO DEL CONTRATO:	13/05/2025	FECHA DE TERMINACIÓN:	12/08/2025
PERIODO DEL INFORME:	13/07/2025 - 12/08/2025		

DOCUMENTO SOPORTE DE PAGO	
VALOR TOTAL DEL CONTRATO:	\$ 21.000.00
VALOR A PAGAR EN ESTE PERIODO:	\$ 7.000.000
SALDO POR PAGAR:	\$ 0
PAGO NO.	03

CONTRATOS DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS VIGENTES		
A la fecha de presentación del presente informe y documento soporte de pago, BAJO LA GRAVEDAD DE JURAMENTO, manifiesto que tengo vigentes los siguientes contratos adicionales de prestación de servicios, y que realicé el pago de aportes al SSI sobre el 40% del total de los ingresos mensuales así:		
ENTIDAD CONTRATANTE	VALOR MENSUAL DE LOS INGRESOS	FECHA INICIO / FECHA TERMINACIÓN CONTRATO
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA	\$ 7.800.000	7/02/2025 - 31/12/2025

RELACIÓN DE DOCUMENTOS APORTADOS QUE ACREDITAN PAGOS APORTES A LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD SOCIAL Y PARAFISCALES.			
TIPO DE APOORTE	PLANILLA No.	MES AL QUE CORRESPONDE EL APOORTE	VALOR PAGADO
Salud	88764711	JULIO	\$376.000
Pensión			\$481.300
ARL			\$31.400

En cumplimiento de las obligaciones establecidas en el contrato No. **CO1.PCCNTR. 7842703**, me permito relacionar **las actividades ejecutadas** durante el periodo **13/07/2025 – 12/08/2025**, en mi condición de contratista conforme a lo siguiente:

OBLIGACIONES ESPECÍFICAS		ACTIVIDADES DESARROLLADAS	ANEXOS
1	Apoyar en las actividades de recopilación, análisis y evaluación de información secundaria como cartografía básica, estudios, informes, diagnósticos, estadísticas, evaluaciones hidrogeológicas asociadas a identificación de zonas de recarga de acuíferos en el municipio.	Se brindó apoyo en la recopilación, análisis y evaluación de información secundaria como cartografía básica, estudios, informes, diagnósticos, estadísticas, evaluaciones hidrogeológicas asociadas a identificación de zonas de recarga de acuíferos en el municipio.	Informe 1
	Brindar apoyo en la evaluación de unidades litológicas, de textura de suelos y de usos de suelos en los procesos de recarga presentes en el municipio de Chía, para lo cual deberá realizar el respectivo informe técnico y salida gráfica.	Se evaluaron las unidades litológicas, de textura de suelos y de usos de suelos en los procesos de recarga presentes en el municipio de Chía.	Informe 2
	Apoyar la evaluación de la densidad de fractura miento y de drenajes en los procesos de recarga presentes en el municipio, para lo cual deberá realizar el respectivo informe técnico y salida gráfica.	Se evaluó la densidad de fractura miento en los procesos de recarga presentes en el municipio.	Informe 2

Apoyar técnicamente en la revisión y evaluación de las pendientes del terreno en los procesos de recarga presentes en el municipio de Chía, para lo cual deberá realizar el respectivo informe técnico y salida gráfica.	Se evaluaron las pendientes del terreno en los procesos de recarga presentes en el municipio de Chía.	Informe 2
Brindar apoyo en el análisis de zonas de altas concertaciones de la precipitación que aportan a las zonas de recarga de acuíferos, para lo cual deberá realizar el respectivo informe técnico y salida gráfica.	El contratista brinda apoyo en el análisis de zonas de altas concertaciones de la precipitación que aportan a las zonas de recarga de acuíferos.	Informe 3
Apoyar en la elaboración, y actualización de información con los datos generados en las diferentes actividades que realiza el presente contrato, para lo cual debe ser entregado en formato Shape.	Se brinda apoyo en la elaboración, y actualización de información con los datos generados en las diferentes actividades que realiza el presente contrato, para lo cual debe ser entregado en formato Shape.	MAPAS SHAPE
Brindar apoyo en alternativas de medidas de recuperación y protección para las zonas de recarga de acuíferos priorizadas en el municipio.	El contratista brinda apoyo en la evaluación de alternativas de medidas de recuperación y protección para las zonas de recarga de acuíferos priorizadas en el municipio.	Informe 3

Adicionalmente se adjuntan los anexos correspondientes a la ejecución del contrato CO1.PCCNTR. 7842703. Para el periodo de ejecución comprendido entre el 13 de julio de 2025 al 12 de agosto de 2025.



DOUGLAS QUINTERO RESTREPO
Geólogo
T.P. 3559
C.C.79.557091

El presente informe contiene el soporte de pago correspondiente de seguridad social, para el periodo del informe que se presenta. De igual manera, el presente documento se entenderá presentado por el contratista una vez se realice su respectivo cargue en SECOP II.

INFORME FINAL

**PERÍODO DE ACTIVIDADES COMPRENDIDO
ENTRE EL 13 DE MAYO DE 2025 AL 12 DE
AGOSTO DE 2025**

Contrato CO1.PCCNTR.7842703

Prestación de servicios profesionales para apoyar la ejecución de actividades encaminadas a la identificación y cuantificación de la Recarga de Acuíferos presentes en el Municipio de Chía

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'DQ-R', is centered on the page. The signature is fluid and stylized, with a horizontal line extending to the right.

Elaboró: Douglas Quintero Restrepo

Supervisor: Eliana Moreno

Tabla de contenido

1 REVISIÓN Y DEPURACIÓN DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA.....	3
1.1 Estratigrafía	4
Formación Chipaque (Ksch).....	4
Grupo Guadalupe	4
Formación Arenisca Dura (Kgd)	4
Formación Plaeners (Kglp)	4
Formación Labor y Tierna (KglT)	5
Formación Guaduas (Tkgu).....	5
Formación Arenisca del Cacho (Tpc).....	5
Formación Bogotá (Teb).....	5
Formación Arenisca de la Regadera (Ter).....	5
Formación Tilatá (QTt).....	5
Depósitos de Terraza Alta (Qta)	5
Depósitos Aluviales (Qal)	6
2. EVALUACIÓN ZONAS DE RECARGA ÁREA MUNICIPIO DE CHIA	7
2.3 Textura de Suelos	11
2.4 Usos de Suelos	12
2.6 Lineamientos	16
3 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA POTENCIAL	20
4.1 Ordenamiento Territorial Sostenible	31
4.2 Restauración Ecológica	31

1 REVISIÓN Y DEPURACIÓN DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA

Se determina inicialmente establecer una revisión geológica e hidrogeológica del municipio de Chia con base en la información secundaria del Servicio Geológico Colombiano, en adelante (SGC), estudios de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Tabla1. Relación de Información recopilada

Tema	Información
Geología	Mapa Geológico Chia, Proyecto Estudio Hidrogeológico en la Periferia de Santafé de Bogotá y en Algunas Poblaciones Cercanas para Abastecimiento de Agua. SGC – E.S.P. 1995. Geologia de la Plancha 228, Bogota Noreste, 2015. Plancha Geológica 228, Bogota Noreste, SGC, 2008.
Hidrogeología	Estudio Hidrogeológico en la Periferia de Santafé de Bogotá y en Algunas Poblaciones Cercanas para Abastecimiento de Agua, Chia. SGC – E.S.P. 1995. Realizar geofísica de magneto telúrica, perforación de piezómetros e instrumentación de transmisión satelital para monitoreo en tiempo real de niveles piezométricos y calidad de aguas subterráneas en la cuenca del Rio Bogotá, Magneto, 2018. Estudio Nacional del Agua, IDEAM, 2018. Evaluación Regional del Agua Cuenca Alta del Río Bogotá, CAR, 2020. Estudio Inclusión Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Sabana de Bogotá”, CAR, Contrato 107 de 2005. Realizar geofísica de magnetotelúrica MT, sondeos eléctrico - verticales – SEV’s y refracción sísmica para piezómetros de aguas subterráneas en las cuencas del rio Bogotá y rio Alto Suarez”, Contrato 1632 de 2022. Plan de Ordenación y Manejo de la Cueca Hidrográfica del Rio Bogota, CAR, 2019.

Geofísica	Contrato 1351 de 2018. Realizar Geofísica de Magneto telúrica, perforación de piezómetros e instrumentación de transmisión satelital para monitoreo en tiempo real de niveles piezométricos y calidad de aguas subterráneas en la cuenca del Río Bogotá. Estudio Hidrogeológico en la Periferia de Santafé de Bogotá y en Algunas Poblaciones Cercanas para Abastecimiento de Agua, Chia. SGC – E.S.P. 1995. Realizar geofísica de magnetotelúrica MT, sondeos eléctrico - verticales – SEV´s y refracción sísmica para piezómetros de aguas subterráneas en las cuencas del río Bogotá y río Alto Suarez”, Contrato 1632 de 2022.
--	---

1.1 Estratigrafía

Dentro de la caracterización geológica se hace énfasis en la litología del municipio de Chía, que está compuesta por rocas sedimentarias de edades que abarcan desde el Cretácico superior hasta depósitos Cuaternarios y recientes (Ingeominas, 1993). Las formaciones representativas de la zona de influencia del municipio de Chía se describen brevemente a continuación.

Formación Chipaque (Ksch)

Está constituida por lutitas con intercalaciones de lodolita negra y arenisca cuarzosa, por su composición predominantemente arcillosa la geomorfología presenta un relieve suave. Tiene un espesor entre 130 a 200 m.

Grupo Guadalupe

El Grupo Guadalupe se divide de base a techo en las formaciones Arenisca Dura, Plaeners, y Labor y Tierna (Renzoni, 1962).

Formación Arenisca Dura (Kgd)

Litológicamente está compuesta por potentes bancos de 2 a 15 m de areniscas cuarzosas de grano muy fino a medio, compactas macizas, duras, buena selección y cemento silíceo intercaladas con arcillolitas, limolitas silíceas y lodolitas con espesores que van desde 130 m hasta 460 m.

Formación Plaeners (KgIp)

Está conformada por liditas, limolitas silíceas y arcillolitas intercaladas con areniscas blancas a grises, de grano fino. Los espesores característicos de esta formación van desde 30 m hasta 80 m.

Formación Labor y Tierna (Kglt)

Está constituida por cuarzo arenitas blancas de grano fino a conglomeráticas, friables a compactas intercaladas con lodolitas, arcillolitas y liditas. Los espesores de esta formación en el área de estudio están comprendidos entre 100 y 260 m.

Formación Guaduas (Tkgu)

Está constituida por arcillolitas grises y rojizas, intercaladas con areniscas blancas, cuarzosas de grano fino a medio, compactas a friables. El espesor de esta formación abarca desde 120 a 500 m.

Formación Arenisca del Cacho (Tpc)

Está constituida por areniscas blancas, amarillentas y rojizas, cuarzosas de grano medio a conglomeráticas, friables, matriz arcillosa y cemento ferruginoso intercaladas con arcillolitas grises claras, rojizas y violáceas.

Formación Bogotá (Teb)

Constituida por arcillolitas y lodolitas con intercalaciones de limolitas y areniscas de grano variable, arcillosas y friables. La formación Bogotá morfológicamente forma áreas deprimidas, ligeramente onduladas y desgastadas por drenaje.

Formación Arenisca de la Regadera (Ter)

Constituida por una secuencia monótona de potentes bancos de arenisca blanca, cuarzosas de grano fino a medio, localmente conglomeráticas, friables con cemento arcilloso. Morfológicamente se caracteriza por colinas bajas, redondeadas no mayores a 50 m.

Formación Tilatá (QTt)

Conformada por gravas, con matriz arenosa de grano medio y esporádicos lentes de arcillas abigarradas. Hacia la superficie hay intercalaciones de arenas de grano fino con gravas regularmente seleccionadas. La morfología de la Formación Tilatá se presenta como pequeños filos que rellenan valles angostos.

Depósitos de Terraza Alta (Qta)

Están constituidos por arcillas, arenas y gravas. Su morfología es plana con ligeras ondulaciones, corresponde con la expresión morfológica del relleno lacustre de la Sabana de Bogotá.

En el área de estudio los Depósitos de terraza Alta rellenan todo el valle del Río Teusacá y que atraviesa los tres municipios que hacen parte de la zona franca (Sopó, Tocancipá y Gachancipá).

Depósitos Aluviales (Qal)

Constituidos por arenas y limos con escasa matriz arcillosa y esporádicos cantos de limolitas y calizas. Conforman una morfología suave y tienen un espesor promedio de 5 m.

2. EVALUACIÓN ZONAS DE RECARGA ÁREA MUNICIPIO DE CHIA

En el primer informe se realiza mapa de zonas de recarga en la que se tienen en cuenta cinco variables que permiten una transmisión potencial de agua proveniente de la precipitación desde la superficie hasta los acuíferos.

Las cinco variables consideradas fueron: la litología, la densidad de fallas, el valor de la pendiente de la topografía del terreno, la textura de suelos y los usos de los suelos. Estas variables fueron seleccionadas debido a que son los factores más constantes utilizados por diversas metodologías en la delimitación de zonas de recarga como lo argumenta el ENA, 2018.

Los cinco factores escogidos se re-clasifican en dos categorías para efectos de una definición de zonas de recarga, es decir, se clasificaron rangos que favorecen la recarga con un valor de 1 y rangos que no favorecen la recarga con un valor de 0.

Esta metodología tiene un cierto grado de incertidumbre ya que los valores de las variables no fueron basados en información primaria y no pueden ser probados ni verificados para determinar zonas de recarga, es decir que no hay datos de campo de infiltración de agua a través de fallas, datos de valores de permeabilidad de suelos y sedimentos necesarios para realizar una clasificación de la potencialidad de recarga a escala local. Los datos son tomados de estudios regionales y que no evalúan la recarga como tal.

La construcción del mapa de zonas de recarga se realiza de acuerdo a varias fases (figura 1).



Figura 1. Esquematisación de la etapa de identificación y recopilación de mapas por variable. Basado en IDEAM, 2018.

2.1 Evaluación de los Factores que permiten la Recarga

Para poder evaluar la capacidad de recarga de los cinco factores se utiliza la fórmula de la ecuación de recarga del ENA, 2018 (figura 2). Por medio del cual cada factor se suma y pondera con un porcentaje de importancia.

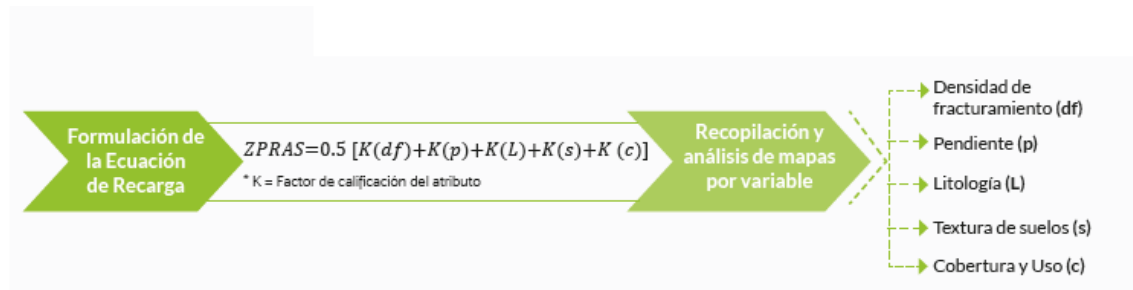


Figura 2. Esquematización del cálculo espacial de zonas de recarga. Tomado de ENA, 2018.

Mapas de Re categorización

Para las cinco categorías se realiza una re-clasificación o re-categorización de acuerdo a los factores que más influyen en la infiltración y capacidad de transmitir agua desde la superficie.

Grado de incertidumbre de la Metodología

Los cinco factores son ponderados mediante un peso que representa un valor en la escala potencial de la recarga. Se consideró ponderar cada variable por medio dos pesos o categorías 1 y 0. Según el ENA *“para un área a escala regional el valor potencial de recarga no puede ser probado y verificado; es por esta razón que el peso del puntaje potencial de recarga debe ser subjetivamente determinado de acuerdo con la importancia de cada factor durante el proceso de recarga”*. Por lo tanto, se establece un valor de 0 para las características de las variables que no son propicias para generar recarga y 1 para las características de las variables que son propicias para generar recarga.

Se escogen estas dos categorías ya que para el mapa de recarga se deben presentar zonas de recarga bien definidas, es decir, zonas donde hay una recarga considerable y zonas que están caracterizadas como zonas de no recarga así exista una recarga mínima.

2.2 Evaluación Litología

Se presenta una evaluación de la litología con base en las unidades geológicas que afloran en superficie en el municipio de Chía.

Se puede apreciar en la figura 3 una gran área central compuesta por depósitos del

Cuaternario como la Formación Sabana (Q1sa) y la Formación Chía (Q2ch) que está delimitada hacia el oriente y el occidente por rocas cretácicas. Hacia el occidente se presentan en franjas delgadas las formaciones Labor y Tierna (K2t), Plaenners (K2p) y Dura (K2d) pertenecientes al Grupo Guadalupe, mientras que al oriente hay una pequeña franja compuesta por rocas de la Formación Guaduas (K2E1g) seguida por una franja gruesa de la Formación Labor y Tierna (K2t).

Estructuralmente el municipio de Chía se encuentra sobre el Sinclinal de Chía - Checua y delimitado por fallas inversas hacia el occidente y

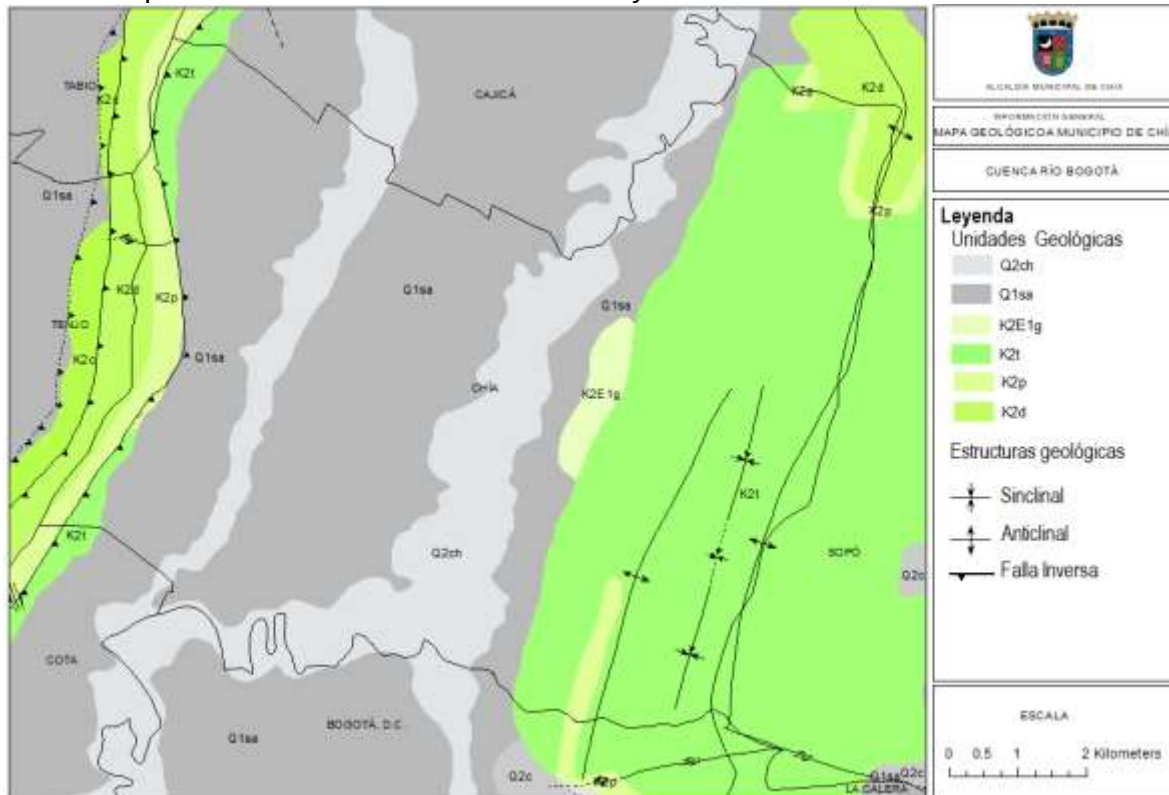


Figura 3. Mapa geológico Municipio de Chía: Fuente: POMCA Río Bogotá, 2019

Mapa re categorizado de Unidades Litológicas:

En cuanto a la litología se determina que las formaciones con contenidos de arenas, gravas, areniscas tienen la capacidad de transmitir agua, por lo tanto, se le dieron valores de 1 y formaciones arcillosas y limosas fueron ponderadas con valores de 0 (tabla 1).

Las formaciones Chía y Guaduas se consideran unidades geológicas con baja permeabilidad debido a su textura predominantemente arcillosa, mientras que depósito de la Formación Sabana y rocas del Grupo Guadalupe se consideran rocas con buenas permeabilidades primarias y secundarias (figura 4).

Tabla 1. Re categorización Litología Municipio de Chía

FORMACIÓN	LITOLOGÍA	PESO
Formación Sabana	arcillas, arenas y gravas	1
Formación Chía	limos y arcillas con escasa matriz arcillosa y esporádicos cantos de limolitas	0
Formación Guaduas	por arcillolitas grises y rojizas, intercaladas con areniscas blancas, cuarzosas de grano fino a medio	0
Formación Labor Tierna	arenitas blancas de grano fino a conglomeráticas, friables a compactas intercaladas con lodolitas, arcillolitas y liditas	1
Formación Plaeners	liditas, limolitas síliceas y arcillolitas intercaladas con areniscas blancas a grises, de grano fino	1
Formación Arenisca Dura	areniscas cuarzosas de grano muy fino a medio, compactas macizas, duras	1

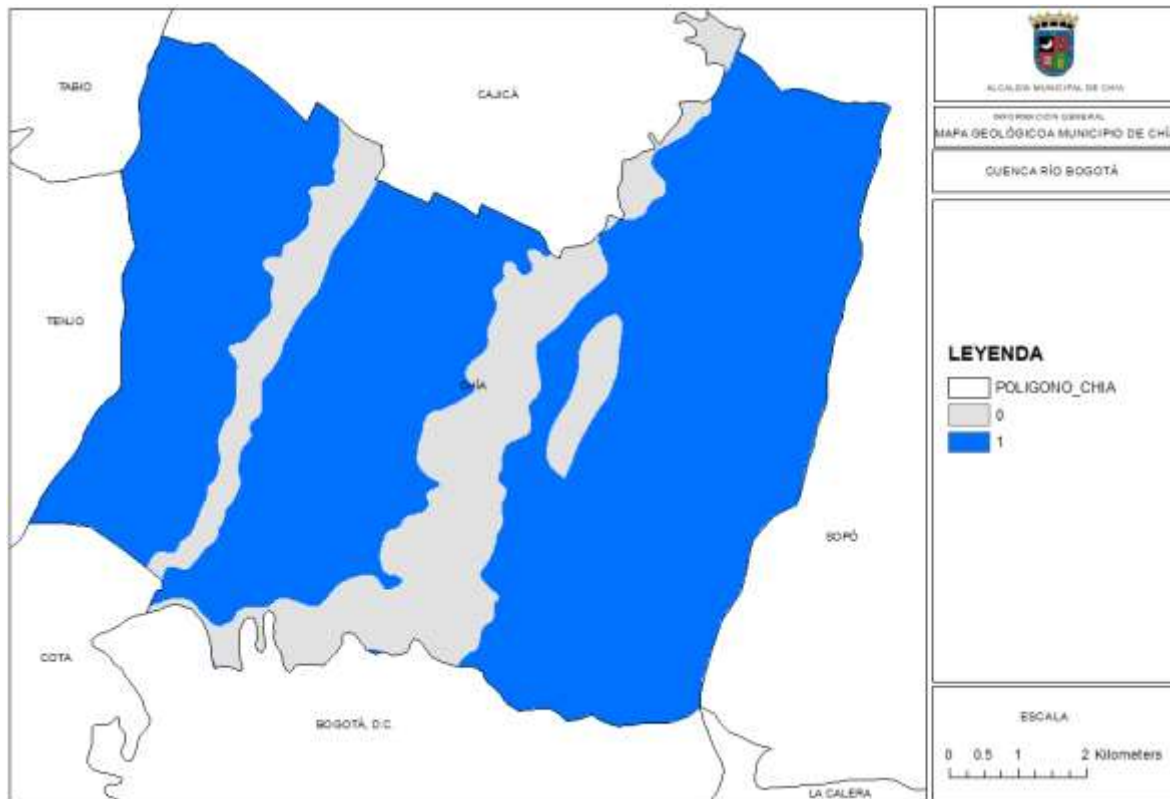


Figura 4. Mapa de Re-categorización de Litología Municipio de Chía

2.3 Textura de Suelos

Las propiedades del suelo influyen en el proceso de recarga de las aguas subterráneas, de tal forma que los suelos de grano grueso y medio con alta permeabilidad aumentan la recarga de las aguas subterráneas, en comparación con aquellas zonas con suelos de textura fina y baja permeabilidad (Healy 2010). Por lo tanto, la

textura, la estructura, la permeabilidad y la porosidad de los estratos del suelo ejercen un control significativo sobre la recarga de las aguas subterráneas.

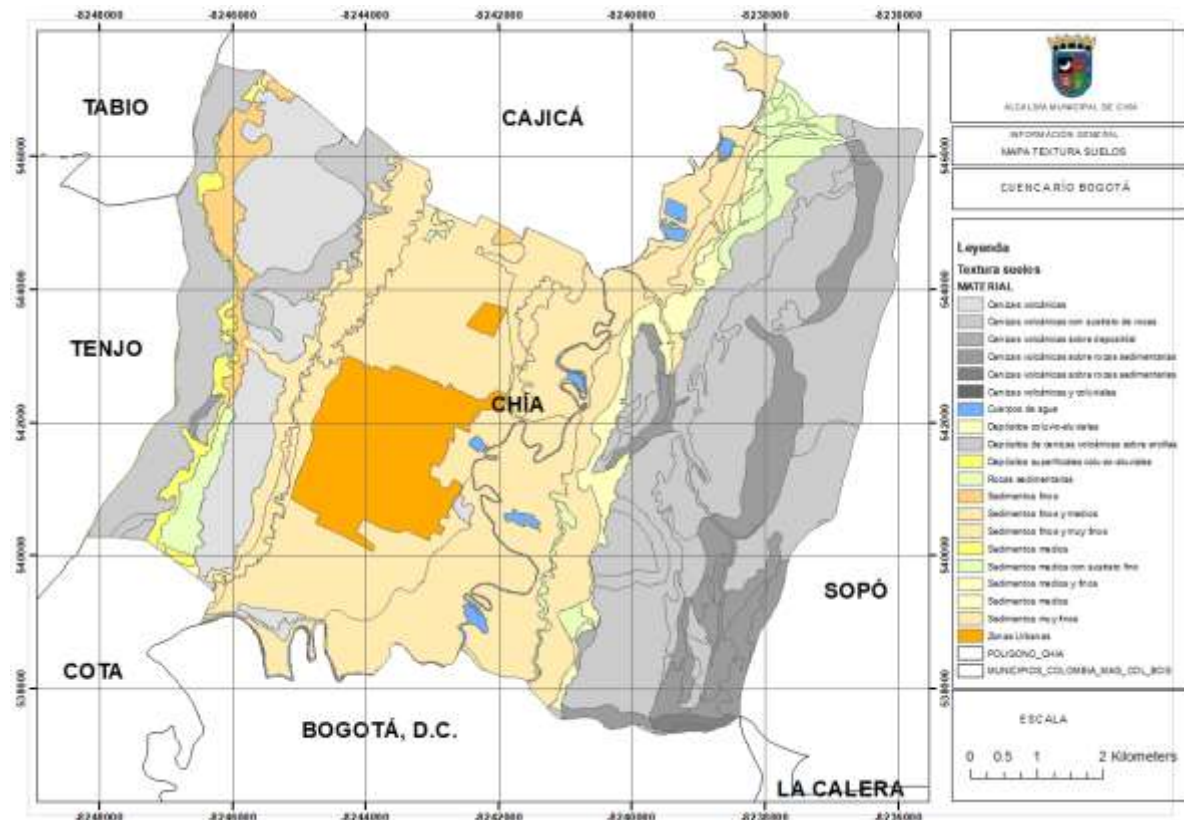


Figura 1. Textura de suelos en el municipio de Chía. Fuente: POMCA Río Bogotá, 2019 CAR.

Mapa re-categorizado de Textura de Suelos

De acuerdo con la metodología del IDEAM, 2018, en cuanto a la textura de suelos se determinó que los suelos con texturas de sedimentos gruesos y medios y rocas sedimentarias por sus propiedades de permeabilidad tienen la capacidad de infiltrar más fácilmente agua, por lo tanto, se le dieron valores de 1 y suelos con texturas arcillosas, limosas que no tienen una permeabilidad que permita infiltrar fácilmente agua desde la superficie fueron ponderadas con valores de 0 (figura 2).

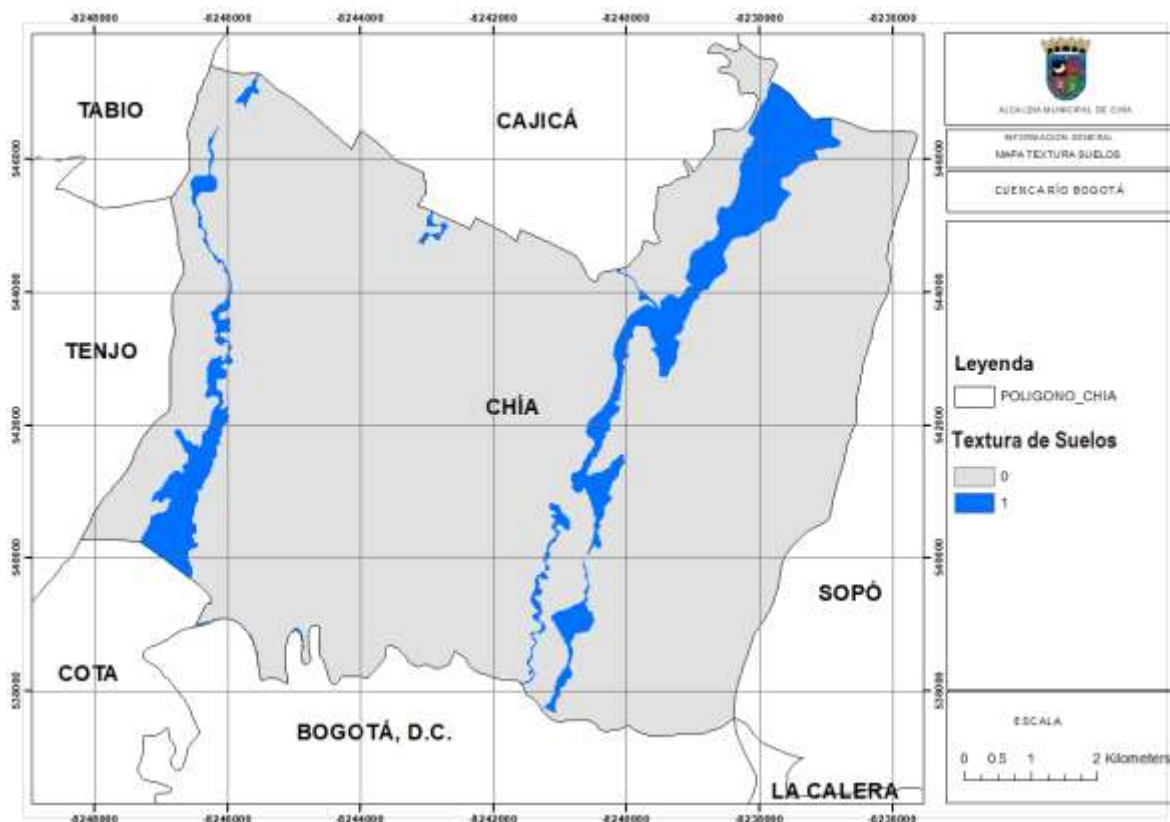


Figura 2. Mapa de re categorización de texturas de suelos, en color azul suelos arenosos y areniscos y en color gris sedimentos finos a muy finos. Fuente: Mapa modificado en base al POMCA Río Bogotá, 2019 CAR

2.4 Usos de Suelos

Los tipos de uso y cobertura del suelo desempeñan un papel importante en la recarga de las aguas subterráneas al modificar la respuesta hidrológica de los acuíferos modificando la respuesta hidrológica (Collin y Melloul, 2001; Lerner y Harris, 2009). Mientras que la superficie impermeable limita la percolación de las precipitaciones en el almacenamiento de aguas subterráneas, la cubierta vegetal favorece la recarga de las aguas subterráneas al acelerar la infiltración retrasando la escorrentía superficial.

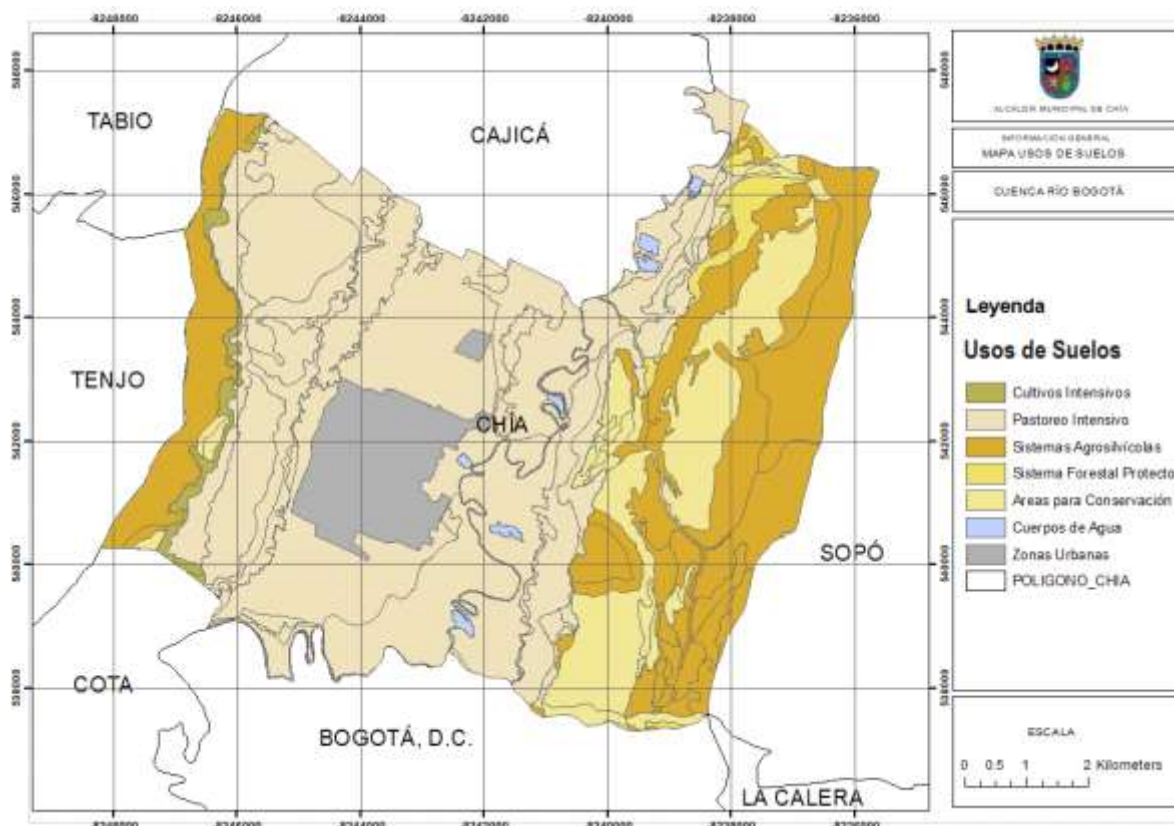


Figura 3. Mapa de usos de suelos del área de influencia del municipio de Chía. Fuente: POMCA Río Bogotá, 2019 CAR

Mapa re-categorizado de Uso de Suelos

Con base en la metodología del IDEAM, 2018, en cuanto al uso de suelos se determinó que los bosques áreas de conservación, protección y reforestación por su capacidad de retención de agua por precipitación tienen la capacidad de infiltrar agua, por lo tanto, se le dieron valores de 1, mientras que suelos utilizados para actividades de ganadería y agricultura intensiva y zonas urbanas al disponer de una menor cobertura vegetal representan áreas donde la infiltración por precipitación es menor, por lo tanto, estos usos fueron ponderados con valores de 0.

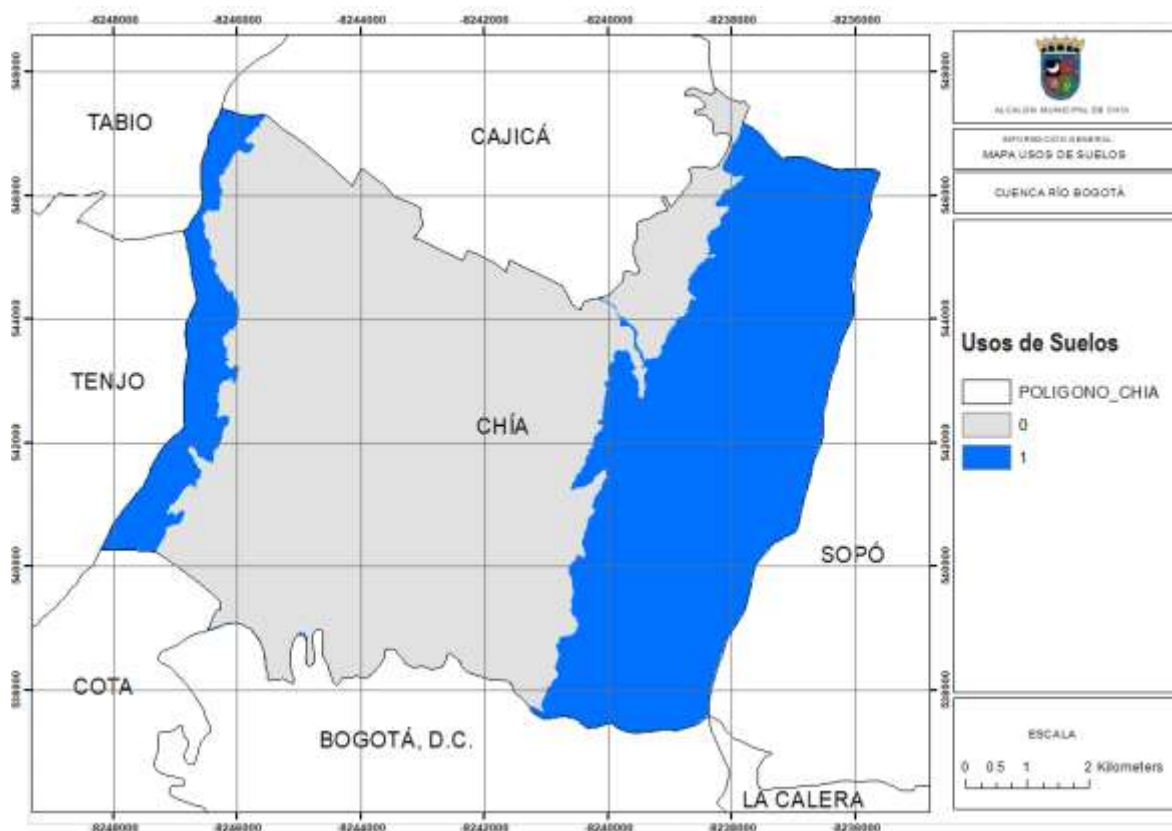


Figura 4. Mapa de re categorización de usos de suelos del municipio de Chía. Fuente: Mapa modificado en base al POMCA Río Bogotá, 2019 CAR

2.5 Pendientes

La pendiente puede controlar la recarga de las aguas subterráneas, especialmente en terrenos complejos. La pendiente controla directamente la velocidad del flujo superficial (Fontana y Marchi 2003; Detty y McGuire 2010) que determina la infiltración y, por tanto, la recarga de las aguas subterráneas.

Para calificar la influencia de la pendiente en la recarga se utiliza el mapa de pendientes obtenido del modelo digital de elevaciones del terreno a una escala adecuada al municipio, y se calificó la inclinación del terreno.

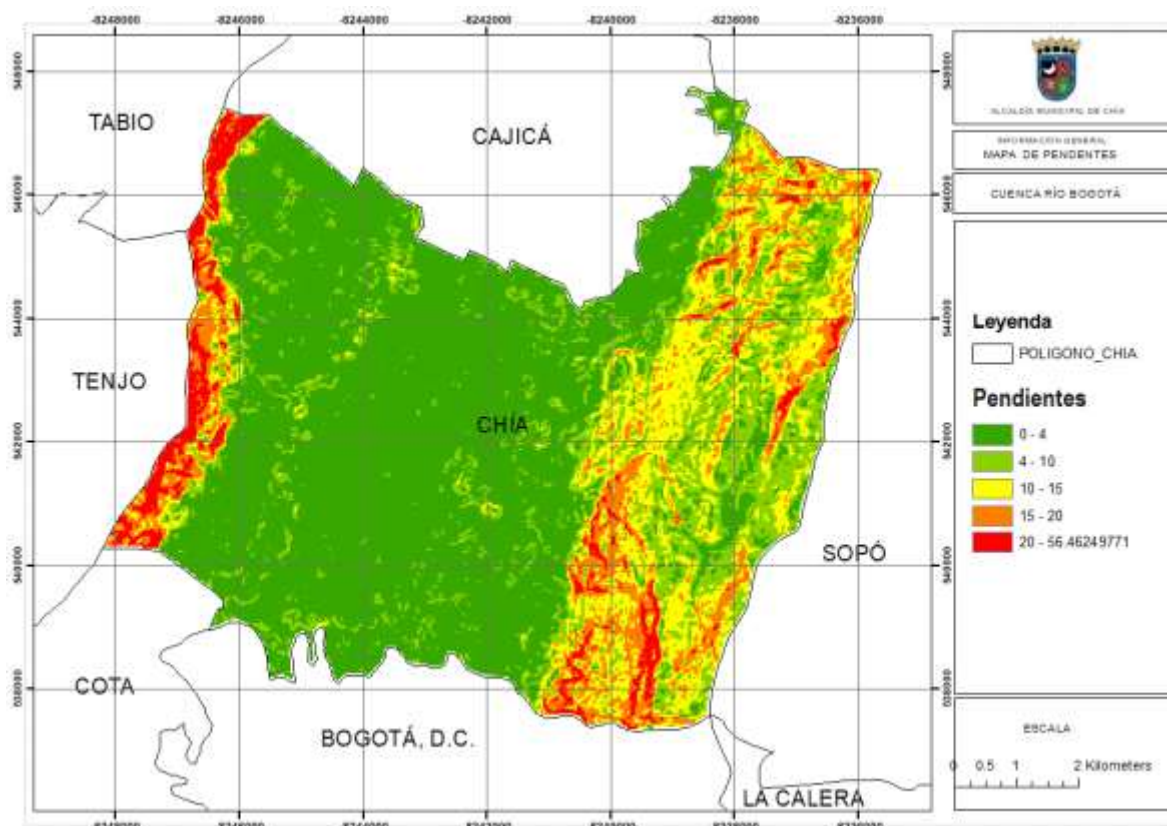


Figura 5. Mapa de pendientes del terreno del área de influencia del municipio de Chía.

Mapa de Re categorización de Pendientes

Se determinó el grado de inclinación del terreno ya que la inclinación influye en la escorrentía e infiltración. Es decir, que a medida que aumenta la inclinación aumenta la velocidad de la escorrentía y por lo tanto existe una menor capacidad de infiltración (Matus, 2007).

Con base en la metodología del IDEAM, 2018, se asignaron valores de 0 a pendientes mayores a 20 grados, ya que estos valores pueden influir en la velocidad de escorrentía y a la poca capacidad de infiltración, mientras que al rango de pendientes menores a 20° se les asignó un valor de 1 teniendo en cuenta que estos terrenos permiten que un porcentaje de la escorrentía al ser más lenta se pueda infiltrar al subsuelo.

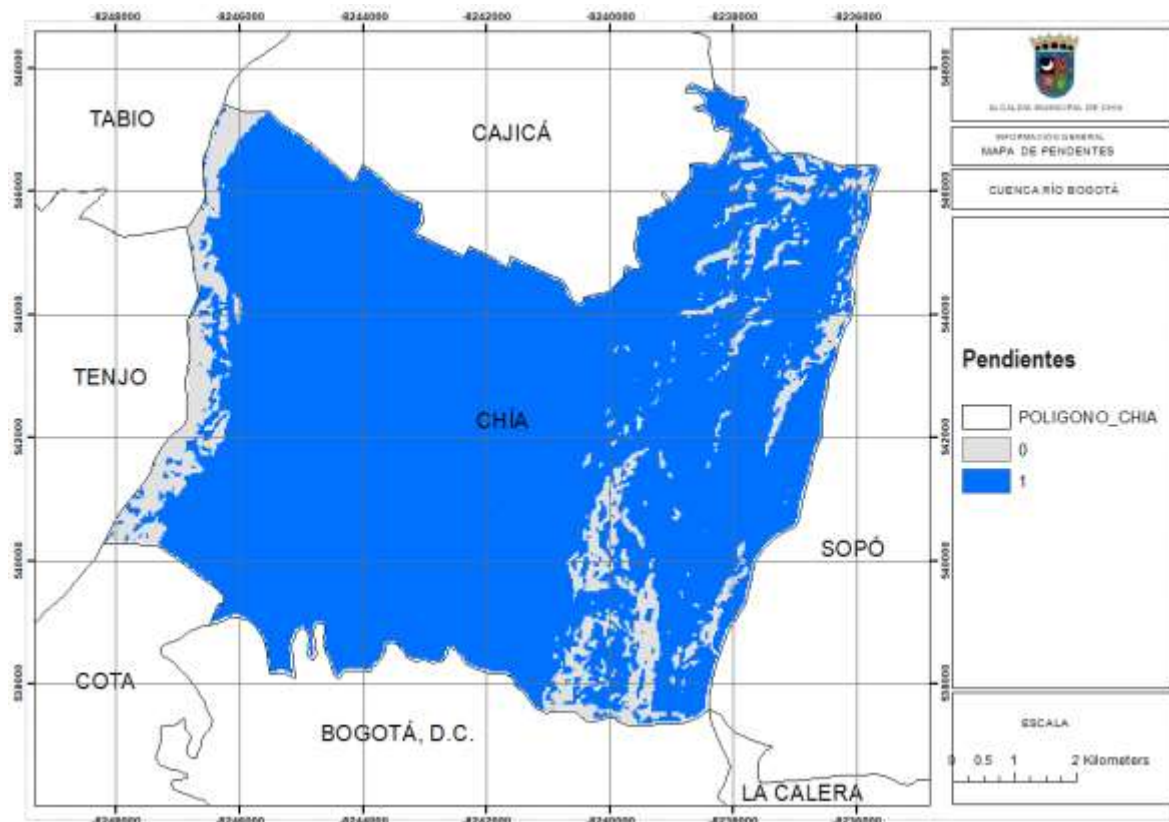


Figura 6. Mapa de re categorización de pendiente del terreno del municipio de Chía.

2.6 Lineamientos

Los lineamientos son rasgos geológicos lineales o curvilíneos, muy significativos en la aparición y el movimiento de las aguas subterráneas. Las fracturas como fallas y diaclasas que se desarrollan generalmente debido a fenómenos tectónicos son responsables de la infiltración de la escorrentía superficial y de la recarga de los acuíferos.

Para calcular la densidad de lineamientos se toman los sistemas de fallas cartografiados en mapas geológicos adecuados a escalas de municipios, se crea un algoritmo con el SIG que permita calcular la densidad de lineamientos por área.

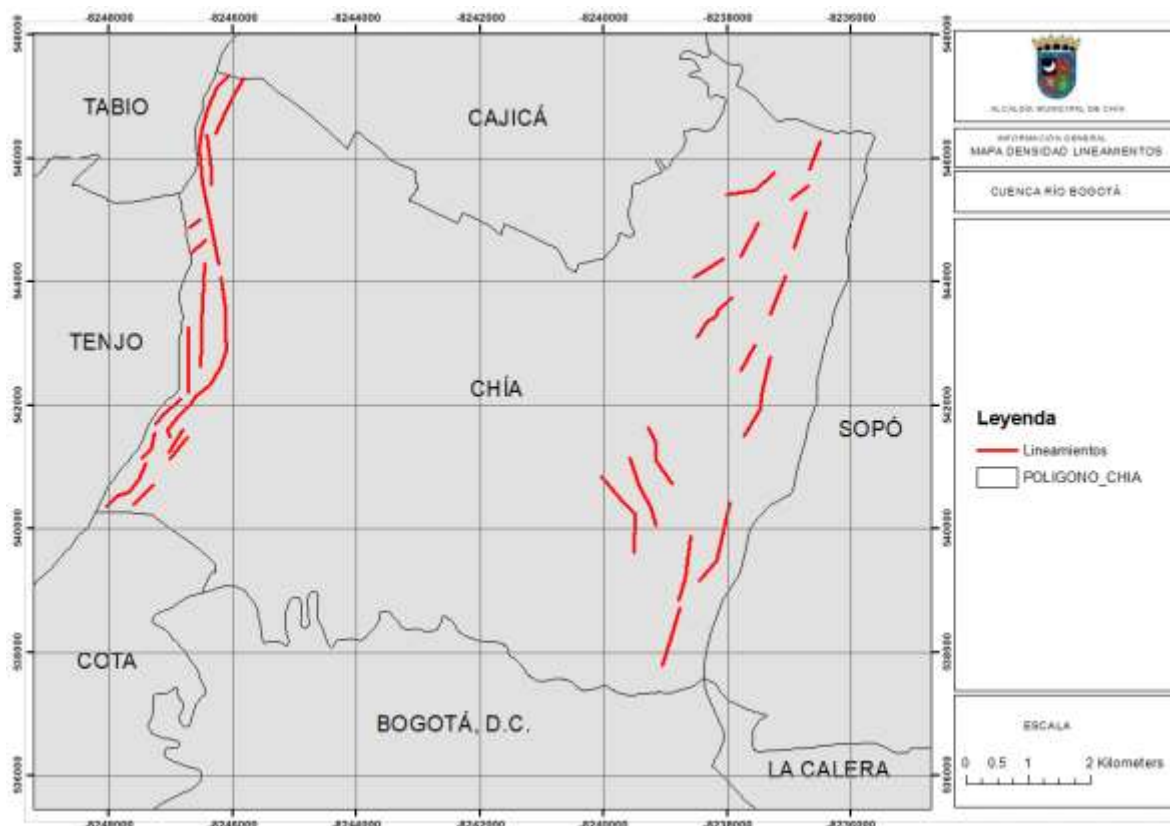


Figura 7. Mapa de Lineamientos del Municipio de Chía. Fuente: Mapa modificado en base al POMCA Río Bogotá, 2019 CAR

Mapa re-categorizado de Densidad de Lineamientos

Se realizó análisis de lineamientos con base en imágenes de satélite y sistemas de fallas cartografiados en el mapa geológico.

Con base en la metodología del IDEAM, 2018, se realizó una evaluación cualitativa en la que se asignaron valores de 0 a un rango de densidad de lineamientos entre 0 y 2, esta área cubre la mayor parte del municipio donde no se encontró una densidad importante de lineamientos, mientras que se asignó un peso de 1 a un rango de densidad de lineamientos entre 2 a 4.8 aproximadamente y que coincide con fallas regionales y lineamientos determinados mediante imágenes de satélite (figura 8).

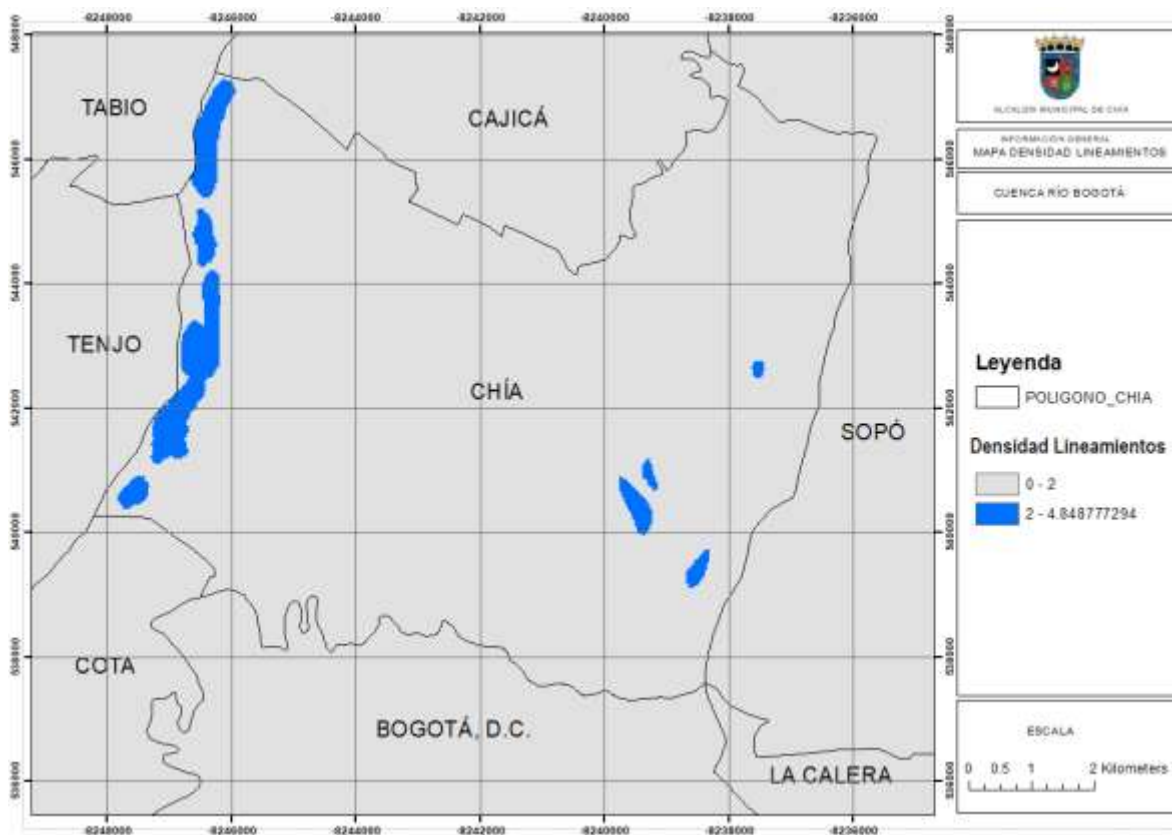


Figura 8. Mapa de re categorización de densidad de fracturamiento del municipio de Chía. Fuente: Mapa modificado en base al POMCA Río Bogotá, 2019 CAR

2.7 Mapa de recarga para el Municipio de Chía

Después de realizar la re-categorización de mapas para cada uno de los factores se superpusieron los cinco mapas para generar el mapa final de zonas de recarga (figura 1).

La zona occidental y oriental del municipio de Chía presenta franjas en dirección NE SW consideradas de alta recarga y que están constituidas por rocas del Grupo Guadalupe, con la mayor densidad de fracturamiento, franjas delgadas de suelos con texturas permeables, zonas altas que representan bosques de conservación, protección y reforestación.

Hacia la zona central a pesar de contar con pendientes menores a 20° que permiten una mayor retención de agua de precipitación y por lo tanto mayor posibilidad de infiltración, está constituida por sedimentos finos, zonas de uso agrícola y urbano y menor densidad de fracturamiento.

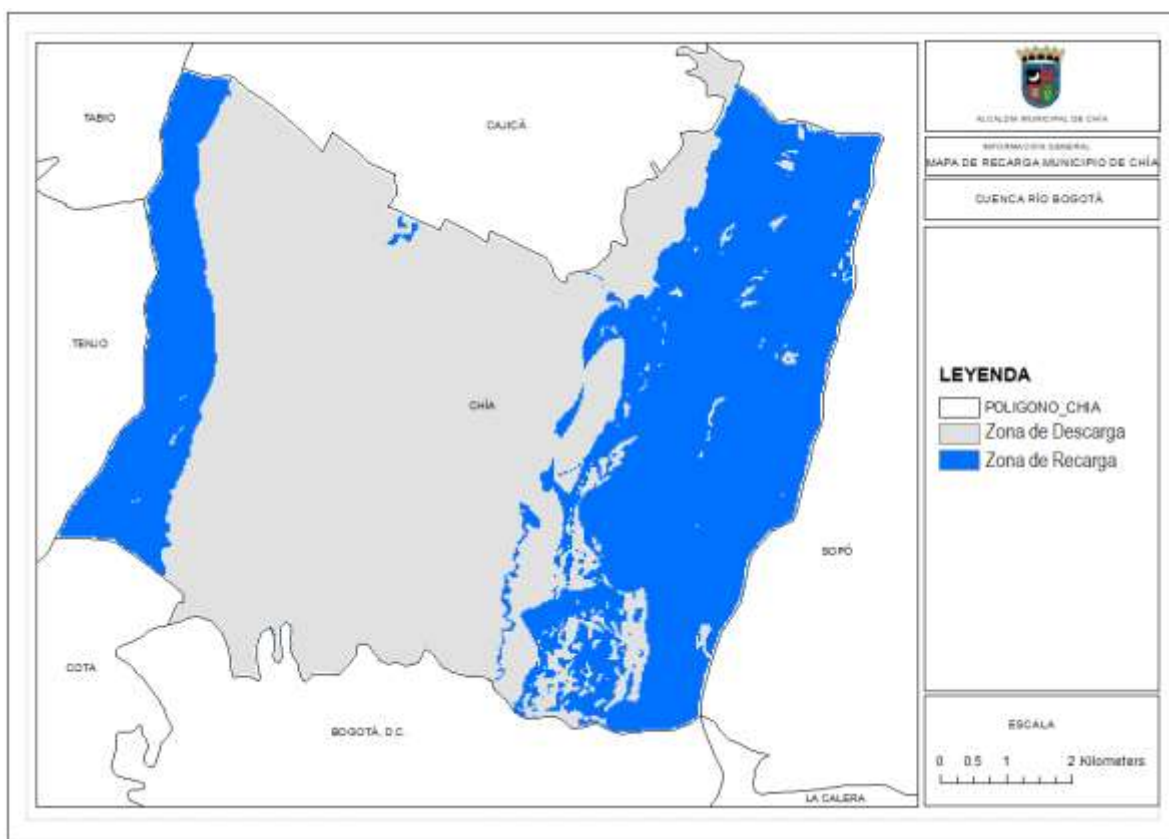


Figura 1. Mapa de recarga del municipio de Chía. Fuente: Autor.

3 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA POTENCIAL

La recarga es un factor clave para la sostenibilidad de los acuíferos y, por lo tanto, la importancia de conocer la dinámica alrededor de este fenómeno del ciclo hidrológico. En este apartado se expone la metodología utilizada para la estimación potencial de las recargas medias mensuales mediante la aplicación técnica del método de diferencias finitas que estima las variaciones del almacenamiento de agua en un sistema a partir de la diferencia entre las entradas y salidas en un periodo determinado.

3.1 Análisis de información secundaria

Los valores obtenidos para las variables de precipitación, evapotranspiración y escorrentía se encuentran dentro de los rangos promedio reportados en instrumentos de planificación y manejo ambiental, tales como el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá (POMCA). Este documento fue consultado como fuente de información secundaria con el fin de validar y contrastar los resultados obtenidos, garantizando su coherencia con la información oficial y técnica disponible para la región.

3.2 Descripción hidrográfica de la zona de estudio

Hidrológicamente, el municipio de Chía se encuentra ubicado en la macrocuenca Magdalena-Cauca dentro de la cuenca del río Bogotá, específicamente en la subcuenca del río Frío y subcuenca Río Bogotá (Sector Tibitoc – Soacha), el río Frío constituye el principal afluente, este recorre gran parte del territorio municipal antes de desembocar en el río Bogotá. Además, Chía cuenta con una red hídrica compuesta por varios afluentes menores como las quebradas Tíquiza, El Rincón, Las Manas, Chircal, Honda, Sindamanoy, entre otras, que nacen en las zonas altas del municipio y alimentan tanto al río Frío como directamente al río Bogotá.

En la Figura , se presenta la localización general y la cuenca de drenaje del río frío y demás afluentes.

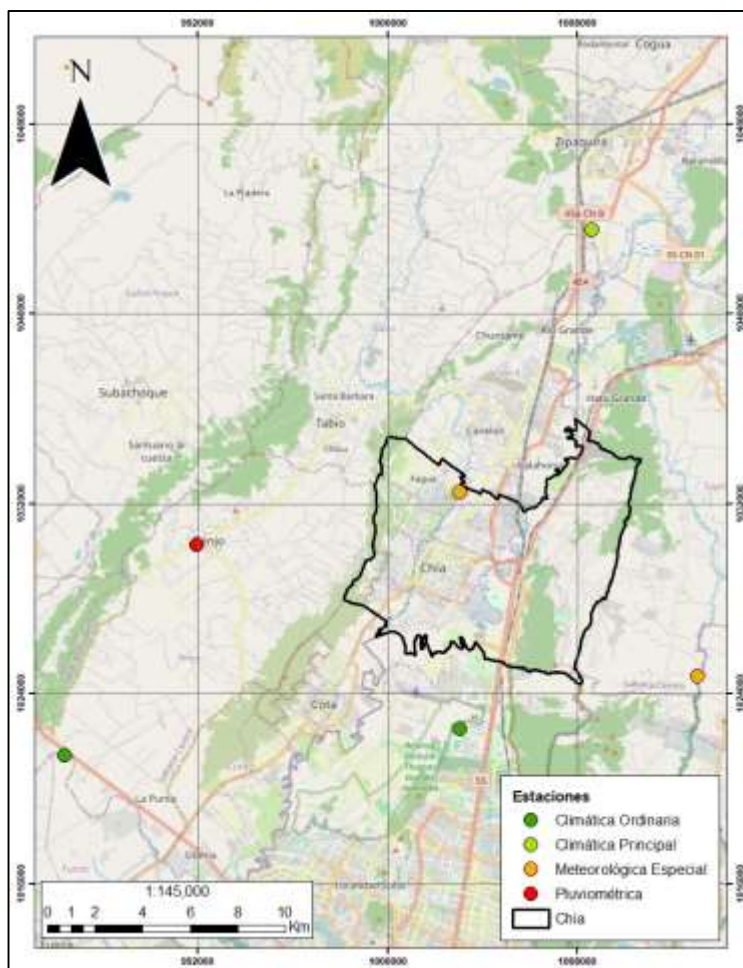


Figura 3. Localización de la red de monitoreo hidrometeorológico Fuente: Autor, 2025.

La caracterización se estimó a partir de la información reportada por la red de monitoreo operada por el IDEAM cerca de la cuenca hidrográfica del río Bogotá y subcuencas cercanas. Como resultado la caracterización se basó en la información de 6 estaciones hidrometeorológicas como se observa en la figura anterior y Tabla 1, las cuales cuentan con información representativa de 30 años. El porcentaje de datos faltantes no excede el 15 %, en concordancia con los criterios recomendados por el IDEAM y buenas prácticas hidrometeorológicas para garantizar la calidad estadística de las series.

Previo a la caracterización, la información surtió las fases de verificación de la calidad de la información, homogeneidad, completitud de las series de tiempo, identificación y remoción de datos anómalos, entre otros.

Tabla 1. Estaciones usadas para la caracterización hidroclimática

Estación	Código	Categoría	Coordenadas		
			Norte (m)	Este (m)	Altura(m)
GUANATA	21205890	Meteorológica Especial	2098429.234	4883623.851	2550
C.UNIV.AGROP-UDCA	21206260	Climática Ordinaria	2088483.141	4883608.454	2570
EL HATO	21201210	Pluviométrica	2096237.059	4872535.221	2575
GRANJA PROVIDENCIA	21205980	Climática Ordinaria	2087405.291	4866976.892	2560
LA COSECHA	21205910	Climática Principal	2109471.855	4889182.755	2570
SUASUQUE	21205920	Meteorológica Especial	2090678.675	4893588.948	2.650

Fuente: IDEAM,2025

Precipitación

Para el municipio de Chía se calculó la precipitación media multianual utilizando el método de polígonos de Thiessen, el cual permite ponderar la influencia de cada estación hidrometeorológica en función del área que le corresponde dentro del municipio. Este método se utiliza porque considera la distribución espacial de las estaciones, asignando mayor peso a las que cubren áreas más amplias y menor a las que influyen sobre superficies reducidas, lo que mejora la representatividad de los datos frente a un promedio aritmético. De esta manera, se obtiene un valor de precipitación más ajustado a las condiciones reales del territorio.

Los valores presentados en la tabla 2 muestran la variabilidad interanual en la precipitación total media mensual multianual para el municipio de Chía.

Tabla 2. Valores medios mensuales de precipitación para el municipio de Chía (mm/mes)

Área	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Chía	35.95	58.23	77.54	94.12	98.20	66.66	63.95	53.57	56.02	95.64	103.77	48.69	852.34

Fuente: Autor, 2025.

El régimen de lluvias en el municipio de Chía corresponde a un régimen bimodal, con dos temporadas lluviosas. Los picos de precipitación se registran en mayo (98.20 mm) y noviembre (103.77 mm), seguidos de valores también altos en abril (94.12 mm) y octubre (95.64 mm), lo que coincide con las temporadas de lluvias de la sabana de Bogotá. Los meses más secos son enero (35.95 mm) y agosto (53.37 mm), mientras que junio y julio presentan una disminución intermedia (Figura). La precipitación media anual es de 852.34 mm (Figura), este valor es concordante con los valores obtenidos en el POMCA del río Bogotá con un rango entre 750 – 850 mm/año.

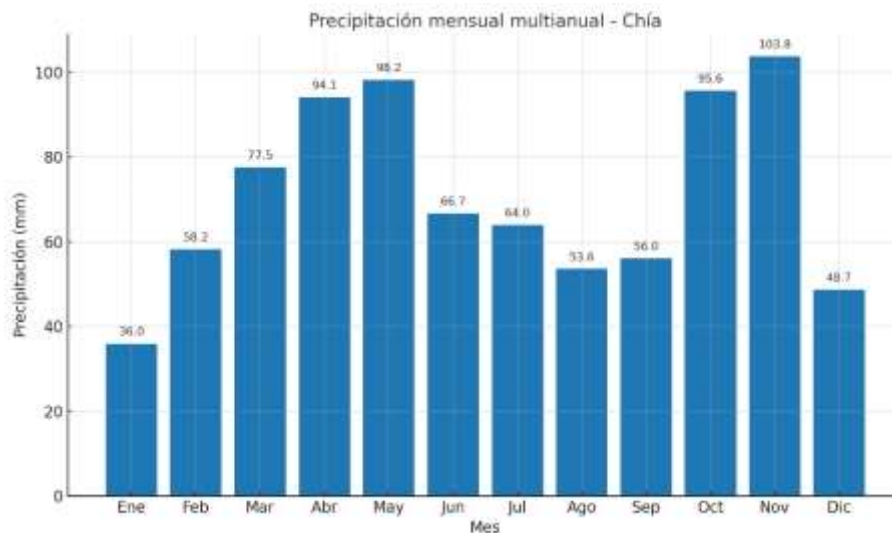


Figura 4. Distribución mensual multianual de la precipitación. Fuente: Autor, 2025.

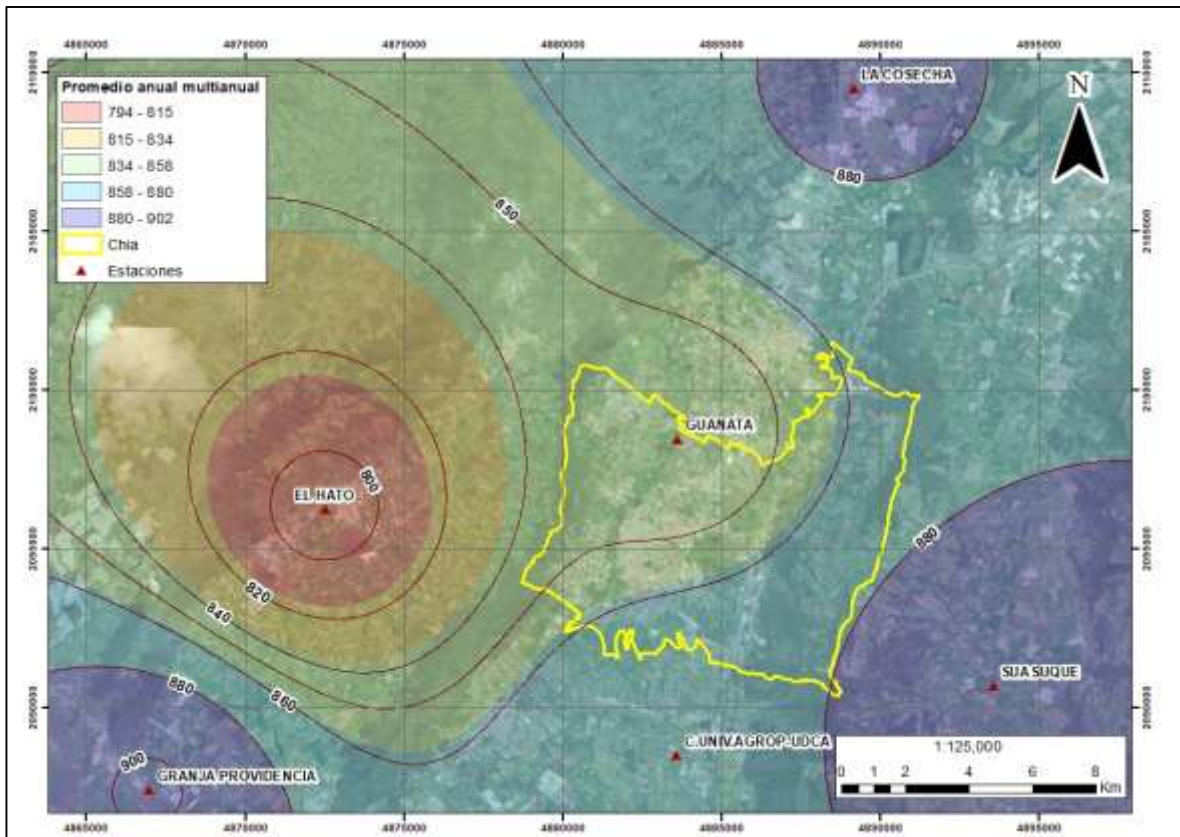


Figura 5. Distribución espacial de la precipitación Fuente: Autor, 2025.

Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial (ETP) representa la pérdida de agua desde una superficie de referencia hacia la atmósfera, como resultado combinado de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Su estimación es fundamental en estudios agrícolas, hidrológicos y ambientales, ya que permite calcular las necesidades hídricas de los cultivos, evaluar el balance hídrico de una región o diseñar sistemas de riego eficientes.

Existen diversos métodos para estimar la ETP, los cuales pueden clasificarse como empíricos o físico-matemáticos. Entre los más utilizados a nivel nacional e internacional se encuentra el método de Penman-Monteith que integra en su formulación variables meteorológicas claves como radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento, permitiendo una mejor estimación del balance hídrico.

- Método de Penman-Monteith (FAO-56)

El método Penman-Monteith es considerado el más completo y confiable para la estimación de la ET. Es recomendado por la FAO como el estándar de referencia,

debido a que se basa en fundamentos físicos que combinan la energía disponible (radiación) y las condiciones aerodinámicas (viento, humedad) del ambiente. La fórmula general utilizada es la siguiente:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Donde las variables principales incluyen:

- Temperatura del aire (máxima y mínima) (°C)
- Humedad relativa (%)
- Radiación solar (MJ m⁻² día⁻¹)
- Velocidad del viento a 2 metros (m/s)
- Altitud y latitud (para cálculos intermedios)

Para el caso del municipio de chí la evapotranspiración potencial fue estimada con este método el cual requiere una mayor cantidad de datos climáticos, pero ofrece una estimación precisa y representativa, incluso en regiones con variabilidad topográfica y climática.

La distribución de esta variable hidroclicmática es inversa al de la precipitación como se observa en la tabla 3. Las mayores pérdidas por evapotranspiración se presentan en los meses de enero y agosto, el valor medio mensual es de 87.34 mm y presenta un coeficiente de variación del 5.7 % lo cual es considerado muy bajo.

Tabla 3. Valores medios de evapotranspiración potencial (mm/mes)

Ár ea	En e	Feb	Mar	Ab r	Ma y	Ju n	Jul	Ag o	Se p	Oct	No v	Dic	Anua l
Chí a	99. 2	92. 12	91. 14	83. 4	84. 01	81. 3	87. 42	90. 21	87. 9	85. 87	81. 3	84. 32	1048. 19

Fuente: Autor, 2025.

La figura muestra las variaciones mensuales de la evapotranspiración potencial, con una variación mensual moderada a lo largo del año, y un máximo de 99,2 mm en enero y un mínimo de 81,3 mm en junio y noviembre, lo que representa una diferencia relativa del 22.01 %. El total anual es de 1048,19 mm, con un promedio mensual de 87,34 mm y un valor medio diario de aproximadamente 2.87 mm/día. Igualmente, estos valores coinciden con los valores obtenidos en el POMCA del rio Bogotá con un rango entre 1050 – 1100 mm/año para el municipio de chia.



Figura 6. Distribución mensual media de la Evapotranspiración Potencial Fuente: Autor, 2025.

Balance Hídrico

El balance hídrico contabiliza las ganancias de agua por lluvia o riego y las pérdidas por evaporación, escorrentía, drenaje profundo y la variación del almacenamiento de aguas en el suelo. El conocimiento del balance hídrico permite determinar la duración y la magnitud a nivel macro climático de los períodos con exceso o deficiencia de agua, y es de aplicación para definir la hidrología de una zona, realizar la clasificación climática de un área y para la planificación hidráulica.

El balance hídrico o balance de agua, es la cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, como de los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios en un área determinada, o una cuenca, así como la interrelación entre ellos, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha área, como lo representan López y Delgado (2009).

Para el cálculo de este balance se usó el método de diferencias finitas uno de los métodos numéricos más utilizados para resolver las ecuaciones que rigen el balance hídrico. Este método permite discretizar las ecuaciones diferenciales y obtener soluciones aproximadas para problemas complejos relacionados con el flujo de agua y la distribución espacial y temporal de la humedad en un área.

El balance hídrico general de un sistema puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta S = P - E - Q + I$$

donde:

ΔS : Cambio en el almacenamiento de agua en el sistema.

P: Precipitación.

E: Evapotranspiración

Q: Escorrentía

I: Infiltración

Este método permite obtener una versión discretizada de la ecuación de conservación de masa, la cual puede ser resuelta numéricamente. De esta manera, se obtiene una ecuación que relaciona los cambios en el almacenamiento de agua con las entradas y salidas del sistema, a lo largo del tiempo y en diferentes ubicaciones.

Para este cálculo, se utilizaron varios datos clave:

1. Numero de Curva (CN): El valor del número de curva (CN) se obtuvo aplicando la metodología del SCS-CN para identificar la composición y características hidrológicas del suelo. Esta clasificación, descrita en el *Manual de Drenaje para Carreteras* (Instituto Nacional de Vías, 2009) y en otras fuentes técnicas, divide los suelos en cuatro grupos hidrológicos: A, B, C y D.

La información de uso y capacidad de los suelos se obtuvo de la cartografía disponible en el IDEAM, a partir de la cual se identificaron las texturas y usos del suelo presentes en el municipio. Con estos datos, se utilizó la tabla de Número de Curva de Escorrentía para áreas urbanas bajo la condición de humedad media (AMC II), asignando a cada combinación de grupo hidrológico y uso del suelo su respectivo valor de CN.

El valor promedio del número de curva calculado para el municipio fue de 72,10; lo que indica una capacidad de infiltración moderada y una generación de escorrentía media-alta ante eventos de precipitación. Este valor es consistente con las características de la zona, que presenta un predominio de coberturas urbanas e infraestructuras impermeables, combinadas con áreas verdes y suelos de infiltración intermedia.

Este valor de CN se emplea posteriormente en el cálculo de la escorrentía directa dentro del balance hídrico, lo cual es esencial para determinar tanto el movimiento del agua superficial a través de la cuenca como la fracción que logra infiltrarse en el suelo.

2. Datos de Precipitación: Las mediciones de precipitación necesarias para el cálculo del balance hídrico fueron tomadas del apartado 1.2.1.1 Precipitación, donde se explica cómo se obtuvieron estos datos.

El balance hídrico se calculó con el fin de estimar la disponibilidad de agua y posibles recargas al acuífero. La precipitación representa el aporte total de agua al sistema, mientras que la evapotranspiración potencial corresponde a la cantidad

máxima de agua que la atmósfera podría extraer del suelo y de las plantas. La escorrentía se refiere al volumen de agua que fluye superficialmente fuera del área, disminuyendo la cantidad susceptible de infiltrarse o almacenarse. Finalmente, el cambio en el almacenamiento (ΔS) refleja la variación mensual en la cantidad de agua retenida en el suelo, siendo positivo cuando hay ganancia y negativo cuando hay pérdida. A partir de estas variables y su balance mensual, se determinó el comportamiento hidrológico del sistema y se estimó la recarga potencial, cuyos resultados se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados balance hídrico para el municipio de Chía (mm)

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
<i>Precipitación</i>	35.95	58.23	77.54	94.12	98.20	66.66	63.95	53.57	56.02	95.64	103.77	48.69	852.34
<i>ETP</i>	99.2	92.12	91.14	83.4	84.01	81.3	87.42	90.21	87.9	85.87	81.3	84.32	1048.19
<i>Escorrentía</i>	2.31	10.86	21.44	32.08	34.87	15.20	13.75	8.69	9.81	33.11	38.77	6.61	227.5
<i>Cambio en almacenamiento (ΔS)</i>	-65.66	-44.75	-35.04	-21.36	-20.68	-29.84	-37.22	-45.33	-41.69	-23.34	-16.30	-42.24	-423.45
<i>Infiltración (mm)</i>	-131.12	-89.50	-70.08	-42.72	-41.36	-59.68	-74.44	-90.66	-83.38	-46.68	-32.60	-84.48	-846.7

El análisis de balance hídrico indica que la recarga potencial en el municipio de Chía presenta valores negativos observados durante todos los meses del año por lo que se evidencia un déficit hídrico constante, donde la evapotranspiración potencial (ETP) supera de manera sostenida a la precipitación. Este comportamiento puede explicarse por varios factores: en primer lugar, la distribución estacional de las lluvias presenta periodos secos prolongados y picos de precipitación concentrados en pocos meses, lo que reduce la disponibilidad de agua para infiltración efectiva. En segundo lugar, la elevada ETP, influenciada por la radiación solar, temperatura y vientos característicos de la sabana de Bogotá, provoca que gran parte del agua precipitada se pierda por evaporación y transpiración antes de alcanzar los acuíferos.

Adicionalmente, las características del suelo y el uso del territorio con presencia significativa de áreas urbanizadas e impermeabilizadas limitan la infiltración y favorecen la escorrentía superficial, disminuyendo aún más el aporte a las reservas subterráneas. Como resultado, el balance hídrico mensual es negativo de forma sistemática.

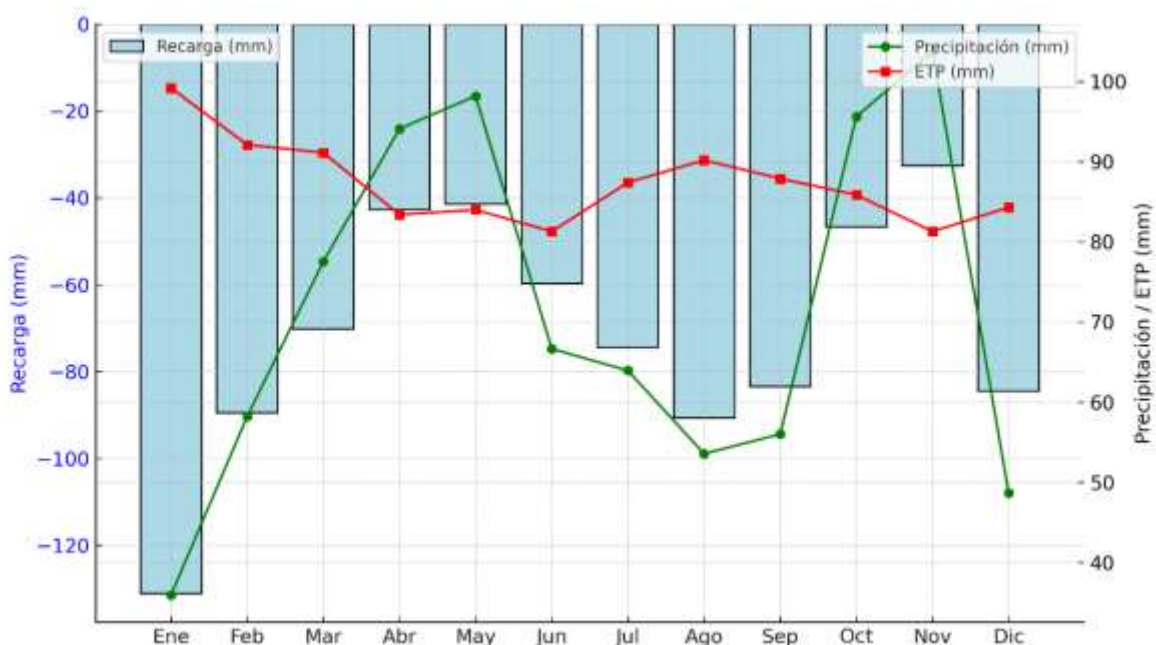


Figura 7. Gráfico combinado de precipitación, ETP e Infiltración

En la figura 7 se observa que los déficits son más severos en enero (-131.12 mm) y en meses secos como agosto y diciembre. Los menores déficits se dan en noviembre (-32.60 mm) y mayo, coincidiendo con meses de mayor precipitación. Aunque hay picos de precipitación (por ejemplo, noviembre y mayo), la ETP sigue siendo suficientemente alta para impedir una recarga positiva. En consecuencia, no se registra aporte neto a las reservas subterráneas en ninguno de los meses analizados, reflejando un patrón hídrico deficitario característico de la zona.

Este resultado se alinea con lo reportado en el *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Bogotá – POMCA del*, donde se señala que “el balance hídrico para la cuenca del río Bogotá, muestra los menores valores de agua disponible en sectores de las cuencas del río Balsillas y el río Frío (menos de 30 mm/año)”, subcuenca en la que se encuentra el municipio de Chía. De igual manera, el *Plan de Manejo Ambiental de Agua Subterránea en la Sabana de Bogotá y Zona Crítica en 2008*, indica que “cuando se calcula el balance hídrico, se presenta déficit en la medida en que la creciente demanda hídrica no es compensada con recarga de sistemas acuíferos [...] este déficit genera en la CAR dificultad para administrar el recurso hídrico subterráneo...”. Estas observaciones respaldan que el déficit obtenido en este estudio refleja condiciones reales de la zona.

4 ALTERNATIVAS DE RECUPERACIÓN Y PROTECCIÓN DE ZONAS DE RECARGA DE ACUÍFEROS

Las alternativas para proteger las áreas de recarga de acuíferos comprenden acciones como la preservación y recuperación de ecosistemas, incluyendo la reforestación y el manejo adecuado de la cobertura vegetal, así como la regulación del uso del agua mediante prácticas más eficientes de riego y el aprovechamiento de aguas tratadas. También se consideran medidas como la instalación de infraestructura verde, por ejemplo, pavimentos que permitan la infiltración. A esto se suman estrategias para prevenir y controlar la contaminación, como una adecuada gestión de aguas residuales y prácticas agrícolas responsables. Finalmente, es clave fomentar la participación de las comunidades y autoridades a través de educación ambiental, planes de manejo y mecanismos de incentivo económico.

4.1 Ordenamiento Territorial Sostenible

Objetivo: Limitar o controlar el uso del suelo en zonas de recarga

Zonificación Ecológica y económica: Delimitar las zonas de recarga como áreas de protección ambiental.

Prohibición o restricción de construcciones: Evitar desarrollos urbanos o industriales en zonas de recarga.

Las zonas de recarga podrán ser clasificadas como parte de las categorías de suelo de protección del suelo rural en los POT (o PBOT), según el artículo 2.2.2.2.1.3 del Decreto 1077 de 2015; dentro de la categoría de áreas de conservación y protección ambiental.

De esta manera, las zonas de recarga del suelo clasificado como suelo rural, deben ser incorporadas como suelo de protección. Sin embargo, en el numeral 3.3 se proponen unas medidas de manejo diferenciales para que los municipios dentro del proceso de concertación de la revisión, modificación y/o ajuste de los Planes de Ordenamiento Territorial tengan en cuenta, con el fin de precisar la clasificación y categorías del suelo, entre otras normas.

4.2 Restauración Ecológica

Objetivo: Recuperar la capacidad natural de infiltración del suelo.

Reforestación con especies nativas: Mejora la infiltración del suelo.

Eliminación de especies invasoras: Que afectan la infiltración o consumen grandes cantidades de agua

Control de Erosión: Mediante técnicas como terrazas, barreras vivas, etc.

4.3 Infraestructura Verde

Objetivo: Limitar procesos naturales en entornos urbanos

Jardines de Lluvia: Retienen y filtran el agua de escorrentía

Zanjas de Infiltración o Drenajes sostenibles: Permiten que el agua de lluvia se infiltre de forma controlada.

4.4 Participación ciudadana y educación ambiental

Objetivo: Sensibilizar y empoderar a la población

Programas comunitarios de conservación: Que involucren a vecinos en la reforestación o vigilancia ambiental.

Incentivos a Propietarios: Para que conserven sus predios como zonas de recarga.

4.5 Monitoreo Hidrogeológico y Evaluación Permanente

Objetivo: Tomar decisiones basadas en datos reales

Mapeo y delimitación precisa de zonas de recarga

Instalación de estaciones de monitoreo de calidad y cantidad de agua

Modelos hidrogeológicos para evaluar impacto urbano

4.6 Veredas asociadas a Zonas de Recarga

En la figura 8 se asocian las veredas y zonas que deben contemplar alternativas de recuperación y protección de zonas de recarga de acuíferos.

Hacia la zona occidental sobre la franja delgada de recarga alta las veredas Fagua, Tiquiza, Fonqueta y cerca de Piedra comparten parte de la franja occidental y que deben tener medidas de manejo de recarga.

Por otro lado, hacia el oriente del municipio a lo largo de la franja gruesa de zona de recarga alta la mayor parte de la vereda Yerbabuena se encuentra sobre área de recarga alta, así como la vereda Fusca.

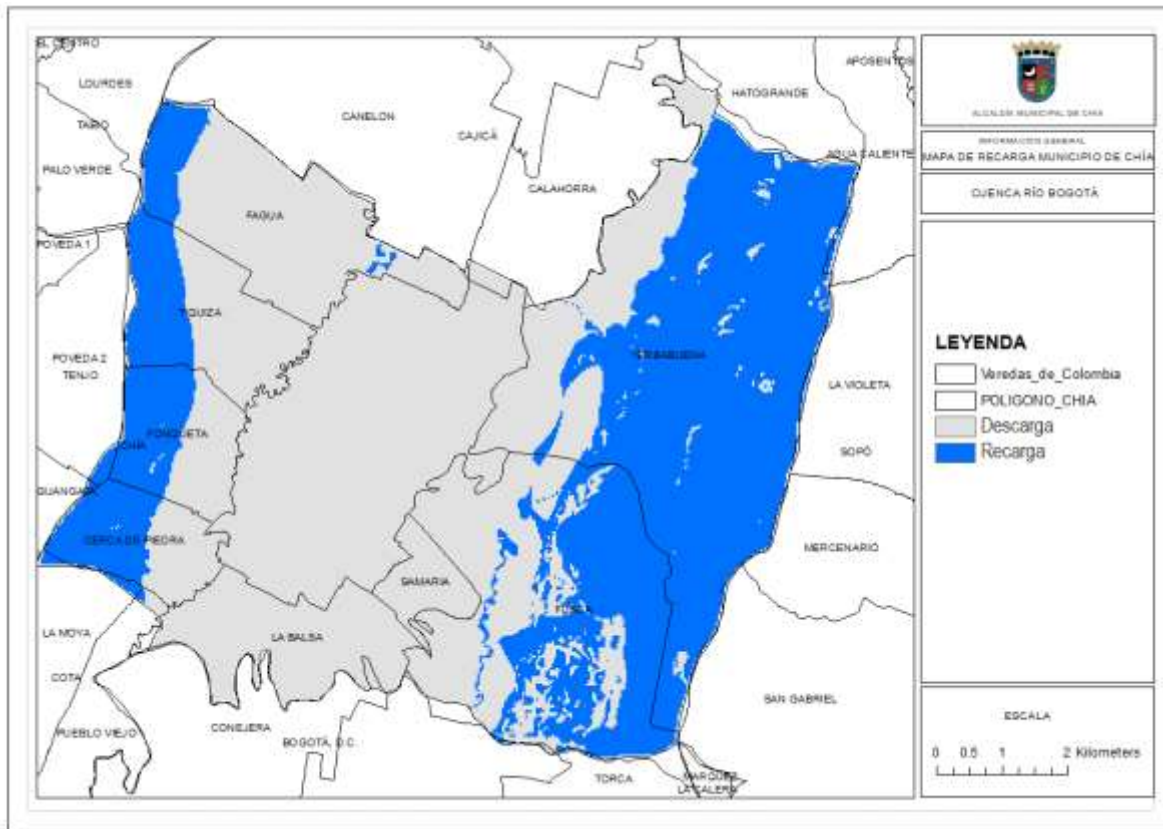


Figura 8. Areas de recarga alta y veredas que se encuentran asociadas

Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios hidrogeológicos de caracterización de aguas subterráneas en el municipio y generar modelos hidrogeológicos que permitan realizar un diagnóstico del recurso hídrico subterráneo, así mismo, contar con redes de monitoreo de acuíferos que permitan gestionar las aguas subterráneas.

CONCLUSIONES

El municipio de Chía, está compuesta por rocas sedimentarias de edades que abarcan desde el Cretácico superior como el Grupo Guadalupe hasta depósitos Cuaternarios como la Formación Sabana y Formación Chía.

Para re-categorizar las unidades geológicas se clasifica a las unidades más permeables de las menos permeables de acuerdo a su textura. Las formaciones con contenidos de arenas, gravas, areniscas tienen la capacidad de transmitir agua, por lo tanto, se le dieron valores de 1 y formaciones arcillosas y limosas fueron ponderadas con valores de 0.

Las formaciones Chía y Guaduas se consideran unidades geológicas con baja permeabilidad debido a su textura predominantemente arcillosa, mientras que depósito de la Formación Sabana y rocas del Grupo Guadalupe se consideran rocas con medias a altas permeabilidades.

Se utilizó metodología de cálculo de áreas de recarga del Estudio Nacional del Agua, IDEAM, 20018, basada en cinco (5) factores que influyen la transmisión de agua proveniente de precipitación desde la superficie hacia los acuíferos estos factores fueron: Litología que ha sido evaluada en el primer informe, densidad de fracturamiento, pendientes del suelo, usos del suelo y textura de los suelos.

Las texturas de los suelos en gran parte del municipio de Chía fueron caracterizadas como de baja permeabilidad por su textura fina. Por otro lado, suelos de conservación se encuentran hacia las partes altas del municipio lo que permite una mayor captación de agua de precipitación, mientras que usos intensivos y zonas urbanas se encuentran en la zona central.

Las pendientes del terreno en gran parte del municipio de Chía su mayor parte son menores a 20° lo que facilita la infiltración, mientras que la mayor densidad de lineamientos se concentran en las partes altas del municipio.

La zona occidental y oriental del municipio de Chía presenta franjas en dirección NE SW consideradas de alta recarga y que están constituidas por rocas del Grupo Guadalupe, con la mayor densidad de fracturamiento, franjas delgadas de suelos con texturas permeables, zonas altas que representan bosques de conservación, protección y reforestación.

Hacia la zona central a pesar de contar con pendientes menores a 20° que permiten una mayor retención de agua de precipitación y por lo tanto mayor posibilidad de

infiltración, está constituida por sedimentos finos, zonas de uso agrícola y urbano y menor densidad de fracturamiento.

El balance hídrico se calculó con el fin de estimar la disponibilidad de agua y posibles recargas al acuífero.

El análisis de balance hídrico indica que la recarga potencial en el municipio de Chía presenta valores negativos observados durante todos los meses del año. Los déficits son más severos en enero (-131.12 mm) y en meses secos como agosto y diciembre. Los menores déficits se dan en noviembre (-32.60 mm) y mayo, coincidiendo con meses de mayor precipitación.

Se deben implementar alternativas de recuperación y protección de zona de recarga alta de acuíferos como: zonificación ecológica, prohibición de construcciones, reforestación de especies nativas, control de erosión, drenajes sostenibles, programas comunitarios e incentivos a actores interesados, además de monitoreo hidrogeológico y evaluación de acuíferos en ciertas áreas de las veredas: Fagua, Tiquiza, Fonqueta, Cerca de Piedra, Yerbabuena y Fusca.

Bibliografía

CAR (2019). Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá.

Fetter, C. W. Jr. (2014). *Applied hydrogeology* (Vol. 4). Pearson Education.

Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice Hall.

IDEAM (2018). Estudio Nacional del Agua.

MINAMBIENTE (2014). Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos (PMAA).

SHAW, BEVEN, CHAPEL, LAMB (2011) *Hydrology In Practice*. Spon Press.
