



**PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL ACUÍFERO DE LA FORMACIÓN
GUADALUPE Y DE LOS CERROS ORIENTALES COMO ZONA DE RECARGA
A PARTIR DE LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS.**

Nathalia Bibiana Rodríguez Ramos

Facultad de Estudios Ambientales y Rurales

Maestría en Gestión Ambiental

Bogotá, 2015

**PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL ACUÍFERO DE LA FORMACIÓN
GUADALUPE Y DE LOS CERROS ORIENTALES COMO ZONA DE RECARGA
A PARTIR DE LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS.**

Nathalia Bibiana Rodríguez Ramos

Tesis para optar al título de Magister en Gestión Ambiental

Director: Efraín Domínguez

Pontificia Universidad Javeriana

Facultad de Estudios Ambientales y Rurales

Bogotá D.C., 2015

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Objetivo general.....	10
1.2 Objetivos específicos	10
2. MARCO CONCEPTUAL.....	11
2.1 Agua Subterránea.....	12
2.2 Conceptos hidrogeológicos.....	13
2.2.1 Acuíferos	13
2.2.2 Acuicludo	13
2.2.3 Acuitardo	14
2.3 Recarga de Acuífero	14
2.3.1 Áreas de Recarga	16
2.3.2 Medidas Directas	17
2.3.3 Medidores de infiltración.....	17
2.3.4 Método de balance de agua	17
2.3.5 Recarga	18
2.4 Presiones	19
2.5 Caudal Captado.....	21
2.6 Caudal Explotable.....	22
2.7 Índice de Escasez para Aguas Subterráneas	23
3. INFORMACIÓN.....	24

3.1	Antecedentes Hidrogeológicos de la Sabana de Bogotá.....	24
3.2	Geografía de la Sabana de Bogotá.....	24
3.3	Geología de la sabana de Bogotá.....	25
3.3.1	Geología Estructural.....	26
3.3.2	Litología.....	29
3.4	Hidrología de la sabana de Bogotá.....	36
3.4.1	Información meteorológica de la Sabana de Bogotá.....	36
3.5	Hidrogeología de la Sabana de Bogotá.....	44
4.	METODOLOGÍA GENERAL.....	47
5.	RESULTADOS.....	48
5.1	Índice de escasez de agua subterránea.....	48
5.1.1	Volumen Diario Captado.....	54
5.1.2	Caudal Captado.....	54
5.1.3	Caudal Explotable.....	55
5.2	Plan de Gestión Ambiental del Acuífero de la Formación Guadalupe y de los Cerros Orientales Como Zona de Recarga.....	61
5.2.1	Proceso de Formulación del Plan de Gestión Ambiental del Acuífero de la Formación Guadalupe y de los Cerros Orientales como Zona de Recarga.....	62
5.2.1.1	Referentes técnicos-normativos.....	62
5.2.2	Políticas ambientales.....	65
5.2.3	Instrumentos de planeación ambiental.....	69
5.2.4	Objetivos de la gestión ambiental de los Cerros Orientales y de los Acuíferos de la Sabana de Bogotá.....	71

5.2.4.3	Armonía socio-ambiental	73
5.2.5	Estrategias.....	74
5.2.6	Escenario financiero	80
5.2.7	Seguimiento y evaluación.....	83
6.	CONCLUSIONES	92
	REFERENCIAS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Columna Estratigráfica generalizada de la Cordillera Oriental. Ariana Ltda, 2008.	29
Figura 2. Mapa geológico de la Sabana de Bogotá. Información base: Ariana Ltda, 2014. Mapa: Nathalia Rodríguez.....	35
Figura 3. Localización estaciones climatológicas. CO: Climatológica ordinaria; CP: Climatológica principal; SP: Sinóptica principal; SS: Sinóptica secundaria, IDEAM, 2014. Mapa: Nathalia Rodríguez.....	37
Figura 4. Localización estaciones pluviométricas. PM: Estación pluviométrica; PG: Estación Pluviográfica, IDEAM, 2014. Mapa: Nathalia Rodríguez, 2014.	39
Figura 5. Distribución espacial de la precipitación, IDEAM, 2014. Mapa: Nathalia Rodríguez.	42
Figura 6. Mapa hidrogeológico de la Sabana de Bogotá (CAR, 2013).....	46
Figura 7. Mapa localización puntos de extracción de agua subterránea. Inventario CAR, 2008. Mapa: Nathalia Rodríguez.....	49
Figura 8. Mapa localización fuentes de extracción. Pozos, aljibes y manantiales. Inventario CAR, 2008. Mapa: Nathalia Rodríguez.	50
Figura 9. Mapa localización de fuentes extractoras del Acuífero Cretáceo. Inventario CAR, 2008. Mapa: Nathalia Rodríguez.....	51
Figura 10. Mapa localización de fuentes extractoras del Acuífero Terciario. Inventario CAR, 2008. Mapa: Nathalia Rodríguez.	52
Figura 11. Mapa localización de fuentes extractoras del Acuífero Cuaternario. Inventario CAR, 2008. Mapa: Nathalia Rodríguez.	53

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. Precipitación (mm) por estaciones.....	41
GRÁFICA 2. Temperatura por estación.....	44
GRÁFICA 3. Índice de escasez vs. Alfa	60

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Datos Estaciones Climatológicas	36
TABLA 2. Datos estaciones pluviométricas y pluviográficas	38
TABLA 3. Promedio Precipitación (mm)	40
TABLA 4. Temperatura media mensual	43
TABLA 5. Cantidad de pozos por acuífero.....	54
TABLA 6. Evapotranspiración Total Potencial en las estaciones del área de estudio.....	56
TABLA 7. Precipitación (mm) en el área de estudio	57
TABLA 8. Resultados del balance hídrico por estaciones	58
TABLA 9. Valores del caudal explotable y del índice de escasez de agua subterránea en función de α	60
TABLA 10. Indicadores de Gestión.....	91

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los Cerros orientales, vistos como zona de recarga de los acuíferos de la Sabana de Bogotá y su vulnerabilidad a la escasez, es de gran importancia para el entendimiento del comportamiento de las reservas de agua subterránea que tenemos los habitantes de la Sabana de Bogotá en relación al tiempo. La población de la ciudad de Bogotá y de las poblaciones aledañas cada día aumenta más por efectos de migraciones y del crecimiento natural de la población, y por ende el consumo de agua se incrementa en el tiempo, siendo las aguas subterráneas una fuente importante para usos domésticos, agrícolas e industriales. De acuerdo a estudios realizados por la Empresa de Acueducto de Bogotá (EAAB) y por la Japan International Cooperation Agency (JICA), se tienen estimativos del consumo de aguas subterráneas para el 2015 de 2,64 m³/s, lo cual se verá reflejado en un descenso pronunciado del nivel del agua en las zonas de alto caudal de bombeo, lo cual significa un riesgo grande para toda la estructura acuífera de la Sabana de Bogotá.

La problemática de abastecimiento por cantidad y calidad de agua proveniente de los reservorios subterráneos, involucra el sector urbano en donde se destacan las actividades de saneamiento sin alcantarillado, las fugas de desagües, las descargas de desagües a cuerpos de agua, la lixiviación de rellenos sanitarios, el almacenamiento de combustibles, los drenajes por sumideros, zonas de cementerios, entre otros. También se ven involucrados el sector industrial, y el sector agrícola y ganadero.

Los Cerros orientales son de gran importancia a nivel hídrico e hidrológico, ya que posee varias microcuencas que abastecen al Río Bogotá y es una zona importante en donde se presenta recarga de acuíferos y condensación de lluvias, lo cual está íntimamente relacionado con la presencia de ecosistemas de Bosque Andino, Páramo y Subpáramo. De sus características físicas tales como la pendiente del terreno, cobertura vegetal, temperatura, permeabilidad del suelo, depende que las precipitaciones reabastezcan los

acuíferos por percolación. Por la misma capacidad de infiltración, los acuíferos están vulnerables a contaminarse por las actividades antropogénicas que se realizan en las zonas de recarga.

El conocimiento de la problemática socio-ambiental de los Cerros orientales, vista desde la explotación y utilización de aguas subterráneas, está implicada en el futuro aprovechamiento de las aguas de los acuíferos para uso de la población de la Sabana de Bogotá.

Este estudio, es de importancia tanto para la población que habita actualmente en Bogotá y en las poblaciones aledañas, como para las generaciones futuras que aún no se abastecen, pero en algún momento deberán abastecerse de los reservorios subterráneos de agua de la Sabana de Bogotá. La administración distrital y gubernamental, debe estar al tanto de las condiciones tanto de cantidad como de calidad del recurso, para determinar los métodos y técnicas más apropiadas para la extracción del recurso en un momento dado.

El índice de escasez de agua subterránea, relaciona los caudales captados y el caudal explotable, determinado la capacidad del acuífero. Es necesario establecer la situación actual de los acuíferos de aprovechamiento, desde la perspectiva de su explotación y de los niveles de infiltración o recarga para generar medidas que permitan recuperar y mejorar su cantidad y calidad. En el presente documento se propone un Plan de Gestión Ambiental (PGA) de los Cerros orientales, que busca la protección, recuperación y conservación de los Cerros, entendiéndolos como la más importante zona de recarga de los acuíferos de la Sabana de Bogotá.

1.1 Objetivo general

Generar un plan de gestión de las aguas subterráneas y de la zona de recarga del acuífero de la Formación Guadalupe a partir del cálculo del índice de escasez para aguas subterráneas de éste acuífero.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar las presiones antropogénicas significativas a las que está expuesto el acuífero de la Formación Guadalupe en la Sabana de Bogotá.
- Establecer el caudal captado, el caudal explotable, y la recarga del acuífero de la Formación Guadalupe en los Cerros Orientales.
- Establecer el índice de escasez para aguas subterráneas del acuífero de la Formación Guadalupe.
- Generar un plan de gestión de las aguas subterráneas que permita el desarrollo sostenible en los Cerros Orientales, vistos como zona de recarga del acuífero de la Formación Guadalupe.

2. MARCO CONCEPTUAL

La Sabana de Bogotá, localizada a 2.600 metros s.n.m. en la Cordillera Oriental de Colombia, es una cuenca que con el tiempo fue rellenada por cientos de metros de sedimentos, que formaron un gran piso hidrogeológico no uniforme. Dentro de esta estructura, hay formaciones permeables compuestas por arena y gravas (que son materiales que almacenan agua), conocidas como acuíferos, y capaces de aportar un suministro útil.

Los acuíferos pueden estar ubicados en la parte más profunda del suelo, pero también pueden encontrarse a pocos metros de la superficie. El agua subterránea incluye todo el líquido que proviene de la lluvia y que se ha infiltrado en las fisuras de las rocas más sólidas del suelo. Ese proceso de infiltración se conoce como recarga de los acuíferos, pero es muy lento y puede tardar millones de años.

En un estudio realizado por el científico holandés Thomas Van der Hammen (1998), se describe que la precipitación que cae sobre la cuenca de la Sabana es de 3.040 Mm³ (millones de metros cúbicos) por año, volumen del cual solo 100 Mm³ se infiltra en el suelo y constituyen la recarga de los acuíferos de la Sabana de Bogotá. Según otro estudio adelantado por Hidrogeocol para el DAMA (2000), la recarga de los acuíferos de la Sabana es muy lenta. Se calculó que el agua puede demorar en llegar desde los cerros hasta el centro de la cuenca de la sabana unos 10 mil años.

El complejo acuífero más importante en la Sabana de Bogotá, desde el punto de vista de abastecimiento, es el denominado complejo Guadalupe, que según estudios hidrogeológicos realizados por el Instituto Colombiano de Minería y Geología, Ingeominas (1992), estaría ubicado aproximadamente a 1.500 metros de profundidad.

El otro acuífero a destacar es el denominado Cuaternario, el más cercano a la superficie (50 metros según el mismo estudio), que tiene una relativa continuidad en la cuenca, pero está formado por arcillas, un material impermeable incapaz de retener el agua, por lo que este acuífero tiene muy poca capacidad de recarga.

Con base en los estudios realizados a los acuíferos sensibles de la Sabana de Bogotá, y los resultados acerca del acuífero Cuaternario y su deterioro, la CAR reglamentó el uso de aguas subterráneas y prohibió la explotación de más pozos en este nivel, abriendo las puertas para comenzar a explotar el acuífero Guadalupe.

2.1 Agua Subterránea

El agua subterránea es el agua contenida en la zona de saturación del subsuelo, la cual ocupa vacíos presentes en formaciones geológicas. La zona de saturación podría asimilarse a un gran embalse natural o sistema de embalses cuya capacidad total es equivalente al volumen conjunto de los poros o aberturas de las rocas que se hallan llenas de agua. El agua subterránea se encuentra en forma de un solo cuerpo continuo o también de varios cuerpos separados. El espesor de la zona de saturación varía desde unos pocos metros hasta cientos de ellos, dependiendo de la geología local, la permeabilidad, la presencia de poros o intersticios en las formaciones, la recarga y el movimiento o desplazamiento del agua desde las áreas de recarga hasta las de descarga.

El agua subterránea es normalmente utilizada como fuente en regiones áridas y en islas donde hay escasez de fuentes superficiales, y recientemente a causa de los costos de los sistemas de abastecimiento de agua superficial, se ha incrementado su uso en regiones de clima húmedo, considerando que es la mayor fuente de agua dulce del planeta. Además de su abundancia, el agua subterránea posee una excelente calidad natural por lo que puede ser consumida después de tratamientos simples (Vásquez, 2010).

2.2 Conceptos hidrogeológicos

2.2.1 Acuíferos

Los acuíferos son formaciones geológicas saturadas o parcialmente saturadas que permiten el movimiento del agua bajo la acción de la fuerza de la gravedad o fuerzas de presión, en condiciones tales que hacen adecuada su explotación. Tienen capacidad de conducir y almacenar el agua (MAVDT, 2010).

Los acuíferos se clasifican en tres tipos, dependiendo de sus características:

- Acuífero libre

El acuífero libre, freático o inconfinado, es aquel en el cual la superficie del agua (nivel freático), se encuentra a presión atmosférica.

- Acuífero semi-confinado

Un acuífero semiconfinado, es aquel que se encuentra confinado por capas con algún grado de permeabilidad menor que la de éste.

- Acuífero confinado

Un acuífero confinado es aquel en el cual el agua se encuentra a mayor presión que la atmosférica. En un acuífero confinado, el agua circula por una capa permeable la cual está confinada por dos capas impermeables (MAVDT, 2010).

2.2.2 Acuicludo

Los acuicludos son formaciones geológicas que contienen agua en su interior, incluso hasta la saturación no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación. No son aptos hidrogeológicamente para la construcción de captaciones de aguas subterráneas (MAVDT, 2010).

2.2.3 Acuitardo

Los acuitardos hacen referencia a la existencia de numerosas formaciones geológicas que contienen agua pero la transmiten muy lentamente por lo que tampoco se consideran aptos hidrogeológicamente para la construcción de captaciones de aguas subterráneas. Algunas veces, bajo condiciones especiales permiten recarga vertical de otros acuíferos (MAVDT, 2010).

2.3 Recarga de Acuífero

Dependiendo de la pendiente del terreno, de su cobertura vegetal, de la temperatura y de la permeabilidad del suelo, las precipitaciones reabastecen los acuíferos por percolación. Este fenómeno puede ocurrir con los ríos, embalses, lagunas o también con flujos subterráneos provenientes de cuencas adyacentes. El tiempo de viaje del agua hasta los acuíferos o dentro de éstos depende de la conductividad hidráulica de las capas geológicas en las cuales el agua está fluyendo. Los procesos de recarga son generalmente muy lentos (Balek, 1988). La estimación de la recarga de los acuíferos es de gran importancia, ya que es necesario determinar varios factores como la cantidad, calidad, procedencia y las zonas de recarga y descarga del flujo subterráneo (Isaar & Passchier, 1990).

La recarga de un acuífero puede ser natural, cuando es producto de la precipitación, de las aguas superficiales o por medio de transferencias desde otros acuíferos; o artificial cuando es producto de actividades antrópicas como la irrigación, fuga de redes de abastecimiento o por infiltraciones de estructuras como embalses (Custodio, 1997; Lerner, 1990).

Teniendo en cuenta lo anterior, Lerner (1990) reclasifica los tipos de recarga en 5 clases:

1. Directa o difusa: Recarga por precipitación.
2. Concentrada o indirecta: Recarga producto de cauces permanentes, estacionales o efímeros.

3. Flujos laterales: Recarga por transferencia desde otros acuíferos.
4. Retorno de riegos: Recarga por excesos de riegos o por pérdidas en los canales de distribución.
5. Urbana: Recarga producto de redes de abastecimiento y redes de alcantarillado

En el perfil del suelo, teniendo en cuenta las zonas húmedas de éste, se establecen dos zonas, la saturada y la no saturada. La zona saturada limita en su parte superior con el nivel freático sometido a la presión atmosférica, llenando de agua los vacíos existentes entre los materiales del suelo. La zona no saturada está comprendida entre el nivel freático y la superficie del terreno, y está subdividida en tres subzonas según Vega (2001). La Subzona sometida a evaporación está comprendida entre la superficie del terreno y los extremos de las raíces de la vegetación, por lo que su espesor está directamente relacionado con la presencia de vegetación. La Subzona intermedia se encuentra debajo de la Subzona sometida a evaporación, y sus características son similares. La Subzona capilar, es una zona de transición a la zona saturada, por lo que su parte inferior está saturada.

Rushton (1997), determinó seis factores involucrados en la recarga de acuíferos para su estimación:

1. Superficie de la tierra: topografía, precipitación (magnitud, intensidad, duración, distribución espacial), escorrentía, patrón de cosechas y evapotranspiración real.
2. Irrigación: horario de irrigación, pérdidas que se presentan en canales y cursos de agua, cantidad irrigada necesaria para la preparación de la tierra.
3. Ríos: cantidad de ríos y caudal de éstos en el área, los que salen del área y los que ganan o pierden agua del acuífero.
4. Zona superior del suelo: naturaleza del suelo, profundidad y propiedades hidráulicas, variaciones de las características del suelo según la extensión lateral y

la profundidad, profundidad de la zona de raíces, capacidad que tiene el suelo de agrietarse al secarse o de hincharse luego de humedecerse.

5. Zona no saturada entre el suelo y el acuífero: mecanismo de flujo a través de la zona no saturada, zonas con diferentes conductividades hidráulicas.
6. Acuífero: características físicas e hidráulicas del acuífero.

2.3.1 Áreas de Recarga

Es de importancia relevante conocer cuáles son las áreas de recarga y descarga de una cuenca, para determinar los sistemas acuífero y zonas de depósitos, de descarga de desechos y vulnerables a la contaminación (Scanlon et al., 2002). Estas áreas pueden ser determinadas mediante la utilización de trazadores o de redes de flujo. En la mayoría de las redes de flujo, se puede distinguir los sistemas locales, los intermedios y los regionales de flujo de agua subterránea. Dependiendo del flujo del agua, se puede establecer a que tipo de sistema corresponde. En un sistema de flujo local, el agua fluye hacia áreas de descarga cercanas; en un sistema de flujo regional, el agua fluye hacia ríos principales, lagos o hacia el mar; en un sistema de flujo intermedio, es caracterizado por uno o más crestas y valles localizados entre su recarga y su descarga (Tóth, 1963).

Para estimar la recarga de un acuífero, es necesario realizar un estudio previo y disponer de los datos disponibles para realizar la estimación. Custodio (1997), propone cuatro pasos para estimar la recarga:

1. Evaluación: Obtención de valores medios por medio de fórmulas y modelos pre-establecidos.
2. Observación y medida: Observación de la recarga en un tiempo suficiente para caracterizar las variables hidrológicas, para posteriormente medirlas.

3. Calibración: Ajuste de las observaciones con los parámetros de los métodos de evaluación.
4. Validación: Validación del método y de sus errores.

Los métodos para el cálculo de la recarga deben tener en cuenta el balance hídrico, los mecanismos y procesos de la recarga, errores de estimación inherentes al método, que sea fácil de usar y que permita la extrapolación (Lerner, 1990). Los métodos según Lerner (1990) y Samper (1997), se clasifican en 5 grupos: medidas directas, balance de agua, técnicas de Darcy, técnicas de trazadores, y métodos empíricos.

2.3.2 Medidas Directas

Las medidas directas aunque tienen un balance de masa implícito, son métodos costosos muy puntuales en donde solo se mide la recarga producida por la precipitación y aquella que se da por la pérdida de canales, como lo es el método del lisímetro (Lerner et al., 1990). Los lisímetros son tanques o bloques instrumentados que son una muestra representativa del suelo que lo rodea, ya que tiene la misma vegetación y está expuesto a las mismas presiones climáticas, por lo que el flujo que circula a través de él puede ser medido.

2.3.3 Medidores de infiltración

Los medidores de infiltración son una campana de filtración introducida dentro del sedimento en la base de un canal junto a un tanque de agua. Los cambios en el volumen del tanque se dan por la infiltración hacia la campana. Estos medidores han sido desarrollados para medir la recarga en canales de riego y ríos, calculando la tasa de infiltración (Lerner et al., 1990). Estos medidores tienen la ventaja de ser livianos y fáciles de transportar, su costo es bajo, su operación es sencilla y se realiza en un tiempo corto.

2.3.4 Método de balance de agua

Para realizar en balance hídrico, se aplica el principio de la conservación de masa a una cierta región de volumen control, durante un periodo de tiempo. Este tipo de balance se puede hacer en la zona superficial, en la zona no saturada y en la zona saturada (Samper

F.J., 1997). Para hallar la recarga por balance hídrico, se debe tener en cuenta las variables de precipitación, escorrentía, evapotranspiración y cambio en el almacenamiento.

Lerner et al. (1990), se refiere a cuatro tipos de balance hídrico:

- Balance de humedad del suelo: Dónde la lluvia y la evapotranspiración potencial componen los datos de entrada al balance, y la evapotranspiración real y la recarga componen los datos de salida del balance.
- Balance de ríos y canales de agua: Se puede realizar por dos métodos, medidas de caudal y encharcamiento. Las medidas de caudal estiman las pérdidas por transmisión a lo largo de un canal mediante un balance de agua del flujo, en dónde se tiene en cuenta el caudal, el flujo aguas arriba y aguas abajo, flujo que entra, flujo que sale, la evaporación de los cuerpos superficiales y el cambio de almacenamiento. El encharcamiento determina la recarga por la disminución del nivel del agua de una sección aislada del canal, en dónde se tiene en cuenta la tasa de infiltración por unidad de longitud, la profundidad media inicial, la profundidad media después de un tiempo, el ancho promedio inicial y el ancho promedio después de un tiempo.

2.3.5 Recarga

La recarga del acuífero de la formación Guadalupe, se estima por el balance hídrico, por la comparación entre los aportes y pérdida de agua en la Sabana de Bogotá, en el acuífero cretácico de la formación Guadalupe, en un periodo de tiempo determinado. El aporte se relaciona directamente con las precipitaciones sobre el área de recarga y su infiltración según la permeabilidad de la litología, y las pérdidas se asocian a la evapotranspiración de la cobertura vegetal y al escurrimiento. Tanto los aportes como las pérdidas se evalúan en cantidad de agua por unidad de superficie.

$$\text{Recarga} = \text{Estado} + \sum \text{Entradas} - \sum \text{Salidas}$$

En donde,

Las entradas de agua pueden darse por: lluvia, nieve, granizo y condensaciones.

Las salidas de agua pueden darse por:

- Evapotranspiración: de bosques y áreas cultivadas con y sin riesgo. Evaporación desde superficies líquidas, como lagos, estanques, pantanos, etc.
- Infiltraciones profundas que van a alimentar el acuífero.
- Derivaciones hacia otras cuencas hidrográficas.
- Derivaciones para consumo humano e industrial.
- Salida de la cuenca hacia un receptor.

2.4 Presiones

Los Cerros Orientales en sus aproximadamente 14.000 hectáreas son parte importante del sistema orográfico y de la estructura ecológica principal distrital, al ser un corredor natural entre los Parques Nacionales Naturales de Chingaza y Sumapaz. A lo largo y ancho de su extensión, limitados al norte por Torca y al sur por el Boquerón de Chipaque, nacen diversas fuentes hídricas superficiales en una diversidad de ambientes y ecosistemas producto del gradiente altitudinal, el cual se encuentra entre los 2.575 m.s.n.m y 3.575 m.s.n.m.

Los Cerros Orientales presentan un alto grado de concentración en la distribución demográfica y de tenencia de la tierra, sobretodo en el borde urbano o borde occidental, y en la zona norte, correspondiente a la vereda Torca. Las veredas localizadas al oriente de los Cerros, Verjón Bajo y Verjón Alto, presentan una concentración moderadamente alta. La zona de los Cerros correspondientes a los terrenos pertenecientes a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), al Distrito Capital y al ejército Nacional es el sector con menor grado de concentración.

Algunos de los factores que afectan el recurso hídrico subterráneo del acuífero Guadalupe en la zona de recarga de los Cerros Orientales son:

- El crecimiento demográfico sobre los Cerros Orientales (aproximadamente 80.000 personas). Construcciones de carácter legal e ilegal, desarrollo progresivo de vivienda (74.700 personas = 3.7% de la reserva), minería, establecimientos educativos, comercio, áreas públicas en conservación (40% de la reserva), conjuntos residenciales campestres, desarrollo de vivienda sub-urbana, fincas campesinas, fincas encargadas, áreas privadas en conservación, predios sin construir (15.5% de la reserva) y telecomunicaciones (SDA, 2011).
- La migración masiva del campo a las ciudades. Generación de cordones de miseria y barrios de invasión en los Cerros Orientales.
- El aumento de la competencia entre los diferentes usos de los recursos hídricos.
- La contaminación producida por asentamientos humanos y por actividades agrícolas en la zona de los Cerros Orientales.
- Presencia de actividad extractiva de arena y piedra.
- Tala para ampliar la frontera agrícola y de pastoreo.
- Actividades de tipo industrial y agroindustrial.

El estudio de las presiones antropogénicas significativas a las que está expuesto el acuífero de la formación Guadalupe, se debe tener en cuenta según el marco normativo de la planificación hidrológica hecho por la CAR.

Los criterios a tener en cuenta acerca de las presiones significativas sobre las aguas subterráneas en cuestión son:

- Criterios hidrogeológicos del Acuífero de la Formación Guadalupe (permeabilidad de las formaciones geológicas y espesor de la zona no saturada).

- Criterio de carga y volumen de agentes contaminantes (vertidos directos e indirectos) producto de las diferentes actividades llevadas a cabo en los Cerros Orientales (urbanización, minería, actividades agrícolas y de pastoreo).
- Criterio de presencia de sustancias peligrosas producto de los vertimientos industriales y agroindustriales llevados a cabo en los Cerros Orientales.
- Criterio de evaluación de contenido de nitrógeno y fitosanitarios producto del uso de fertilizantes y de la actividad ganadera.
- Evaluación de la alteración de la tasa de recarga natural por usos del suelo por análisis de imágenes satelitales, fotos aéreas y sensores remotos, mapas litoestratigráficos y de permeabilidad.

2.5 Caudal Captado

Los caudales captados de los acuíferos corresponden al caudal extraído por captaciones de pozos, aljibes y manantiales del acuífero de la formación Guadalupe según la CAR, la cual es la autoridad ambiental competente en este caso para recaudar las tasas de utilización de agua, de acuerdo con lo dispuesto con el artículo 3 del decreto 155 de 2004 del MAVDT. Dichos caudales son seguidos y monitoreados por la CAR con su Programa de Contadores, el cual debe seguir y monitorear el uso y manejo del recurso. La precisión y exactitud de la estimación de los caudales captados del acuífero dependerá del análisis de:

- Un inventario actualizado de puntos de agua, el cual alimenta los modelos hidrogeológicos conceptuales, y los modelos numéricos y matemáticos.
- Legalización de los puntos de agua inventariados que deben ser sujeto de cobro de tasa por el uso del agua, además de tener en cuenta el uso ilegal del recurso, los pozos en trámite de legalización y los de explotación temporal del recurso.
- Implementación de medidores de caudal en pozos de concesión de aguas subterráneas.

$$Q_C = \text{Volumen diario captado} / \text{tiempo (seg/día)}$$

2.6 Caudal Explotable

Los caudales explotables de los acuíferos, está directamente relacionado con los recursos y reservas, los cuales sirven para una aproximación conceptual de la cantidad de agua disponible para efectos de la tasa por uso del agua subterránea. La oferta de aguas subterráneas está relacionada con las condiciones geológicas del acuífero, sus cualidades hidráulicas y las condiciones de recarga del almacenamiento. Los recursos explotables, representan el volumen de agua, expresado en forma de caudal que se puede captar del acuífero de la formación Guadalupe a largo plazo, sin causar alteraciones en el régimen de aguas subterráneas, teniendo en cuenta las condiciones técnicas y económicas.

$$Q_E = \alpha * Q_N$$

En donde,

Q_E = Los recurso explotables,

α = Coeficiente de utilización de las reservas naturales, que toma valores entre 0,5 y 1, el cual es definido por las autoridades ambientales (Art. 2 del decreto 155 de 2004).

Q_N = Los recursos naturales que corresponden a la recarga del acuífero en condiciones naturales.

2.7 Índice de Escasez para Aguas Subterráneas

El índice de escasez se obtiene teniendo en cuenta los factores preponderantes que hacen referencia a la capacidad del acuífero y a la explotación del mismo, es decir el Caudal Captado y el Caudal Explotable.

$$I_{EG} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{c_i}}{Q_E}$$

Donde:

I_{EG} = Índice de escasez para aguas subterráneas

Q_{c_i} = Caudal captado en la i-esima captación, expresado en m³/año

Q_E = Caudal explotable del acuífero, expresado en m³/año

n = Número de captaciones

3. INFORMACIÓN

3.1 Antecedentes Hidrogeológicos de la Sabana de Bogotá

La cuenca Alta del río Bogotá, cuenta con varios estudios hidrogeológicos, realizados en su mayoría por Ingeominas con el fin de aportar las herramientas técnicas suficientes para el manejo idóneo de las aguas subterráneas de la Sabana de Bogotá. A pesar de los estudios realizados, aún existen vacíos acerca del funcionamiento del sistema hidrogeológico en la región, sobre todo en lo que se refiere a la recarga de los acuíferos, ya que por una parte se considera una cuenca “cerrada”, en donde los acuíferos no reciben la recarga, en especial el acuífero del Grupo Guadalupe (Rodríguez, 2004); por otro lado se sugiere una sobreexplotación de la cuenca (Van der Hammen, 1998).

3.2 Geografía de la Sabana de Bogotá

Los Cerros Orientales enmarcan la geografía de la capital del país, Bogotá, brindando múltiples servicios ambientales como lo son el suministro de agua, la regulación del clima de la ciudad, además de ser el hábitat de especies de fauna y flora claves en la biodiversidad andina, por lo que a partir de octubre de 1977 fueron declarados como Reserva Forestal Protectora, extendiéndose desde el corredor vial de la vía a Villavicencio hasta Torca.

En cuanto a la hidrología, los cerros poseen en general corrientes de tipo dendrítico de zonas de alta montaña con pendientes pronunciadas y un carácter dinámico. La concentración de la lluvia es de corta duración, lo que les da una gran capacidad de drenajes y caudales máximos instantáneos altos e intermitentes.

3.3 Geología de la sabana de Bogotá

Durante el Cretáceo, en el mar se depositaron capas de espesores de miles de metros de arcilla y de arena. Las capas de arena originaron las areniscas de la parte superior del Grupo Guadalupe, localizadas actualmente en los cerros de Guadalupe y Monserrate y en la región del Salto del Tequendama. Al final del Cretáceo, con la retirada del mar, se formaron ríos lagunas, ciénagas y pantanos, empezando la depositación de sedimentos de agua dulce sobre los sedimentos marinos, constituyendo la formación Guaduas, rica en arcillas, arenas y carbón.

El ciclo de sedimentación terminó durante la primera parte del Terciario (Paleoceno, Eoceno y Oligoceno), en donde se depositaron sedimentos de agua dulce, salobres y marinos, formando la Cordillera Oriental, la cual se levantaría hasta su altura actual por efecto del plegamiento de los sedimentos durante el Terciarios Superior, el Mioceno y el Plioceno. Como producto del proceso de levantamiento de la Cordillera Oriental, y de la erosión consecuente por parte de los ríos en las rocas blandas como arcillas y lutitas, se formaron los valles y montañas de ésta. La morfología actual de la Cordillera Oriental es el producto de los procesos de sedimentación, plegamiento y erosión (Van der Hammen, 1958).

En la Sabana de Bogotá, producto de los procesos antes mencionados, se formaron valles paralelos, anchos y relativamente profundos, lo que dio lugar a una cuenca cerrada, sin drenaje hacia afuera. Esta cuenca, durante el Plioceno, se llenó de agua, formando así la laguna de la Sabana de Bogotá, la cual existió hasta una gran parte del Cuaternario. Los valles antes formados, se llenaron de depósitos de la laguna, de pantano y de ríos, los cuales se sedimentaron en capas de turba, intercaladas entre arcillas lagunares. Esta sedimentación en capas se dio durante las fluctuaciones de los periodos fríos y húmedos, con los periodos

glaciales y fluviales, y con las épocas secas y calientes que se han presentado durante el Cuaternario (Van der Hammen, 1958).

En el estudio de aguas subterráneas, la geología diferencia y delimita las unidades litológicas permeables de las poco o muy poco permeables, además de determinar la geometría de los reservorios de agua subterránea o acuíferos. Para realizar esto, es necesario el levantamiento de columnas estratigráficas detalladas y la identificación de rasgos estructurales y tectónicos asociados al fracturamiento de las rocas y por ende a sus características de porosidad y permeabilidad, referentes importantes para conocer el comportamiento de almacenamiento y de flujo del agua subterránea.

3.3.1 Geología Estructural

Los Andes colombianos, son una amplia zona de deformación continental que vincula 3 dominios tectónicos (Dimaté *et al*, 2002):

1. Cratón suramericano en el oriente
2. Complejo Caribeño en el norte
3. Placas de Cocos y Nazca

La Sabana de Bogotá en los altiplanos Cundi-Boyacenses, muestra un engrosamiento de la cordillera con anticlinales y sinclinales sucesivos con una dirección NE-SW, y con pliegues que presentan un cabeceo hacia el sur de la Sabana. Existen zonas con diapirismo de sal en el núcleo de los anticlinales, principalmente en el área de Zipaquirá y Nemocón, donde hay bloques de roca de diferentes unidades, generando un angostamiento de estos anticlinales. Esta situación también se presenta en el sector de Sesquile y la Calera (El Salitre), en donde se presenta igualmente el angostamiento de la serranía, produciendo una saliente hacia el oriente (INGEOMINAS, 2005).

La Sabana de Bogotá está subdividida en tres bloques o dominios que agrupan características similares (INGEOMINAS, 1988):

- a. Bloque localizado al norte de la Falla de Usaquén

- b. Bloque localizado al sur de la falla de San Cristóbal
- c. Bloque central hundido, situado entre las fallas de Usaquén y San Cristóbal

La deformación predominante en el rumbo, está relacionada con aspectos de fracturamiento y su consiguiente aumento en la permeabilidad de las rocas, lo que determina la infiltración hacia los acuíferos en los casos en que la litología tenga la porosidad adecuada y de que exista disponibilidad del recurso hídrico. Ésta distribución estructural, divide la Sabana de Bogotá en tres Bloques:

- Bloque Norte: al norte de la falla de Muzo
- Bloque Central: entre las fallas de Usaquén y San Cristobal
- Bloque Sur: al sur de la falla de San Cristobal-Zipacuirá

BLOQUE NORTE DE LA SABANA DE BOGOTÁ

El Bloque Norte de la Sabana de Bogotá es un bloque tectónico que limita hacia el sur con la Falla de Usaquén – Juan Amarillo, controlada a partir del río Juan Amarillo. Esta es una falla deslizante de dirección N50W. Se relaciona con la terminación abrupta del extremo sur de las sierras de Suba, Juaica y Manjuy, las cuales corresponden a estructuras anticlinales que ofrecen una abrupta terminación en el extremo sur. De manera análoga con la terminación norte del Anticlinal de Bogotá – Usaquén. Controla el río Chicú hacia su desembocadura en el río Bogotá y su control sobre el río Juan Amarillo es muy fuerte. Esta falla controla el espesor de sedimentos y la forma de la cuenca (DPAE, 2007). En éste bloque, predominan fallas de tipo rumbo deslizantes sinestrales como la de Usaquén, Torca y La Floresta, que contribuyen al control de causas, como es el caso de la quebrada de la Floresta. En el Bloque Norte, también se evidencian fallas dextrales, como la Falla del Boquerón del Carbón, la cual desplaza la loma de la Conejera de las lomas de Suba.

BLOQUE CENTRAL DE LA SABANA DE BOGOTÁ

Este bloque se encuentra delimitado al norte por la Falla Usaquén – Juan Amarillo y al sur por la Falla Facatativá – San Cristóbal, siendo el bloque que presenta los mayores espesores de cobertura de sedimentos en la Sabana. A partir del control del río Juan Amarillo al norte, se definen estructuras con termales alineados en el sector de Los Lagartos (Aguascalientes). Se identifica una falla dextral de carácter regional, que bordea el límite occidental del Modelo y que puede ejercer control estructural sobre un tramo de poco más de 7 kilómetros del curso del río Bogotá (Veloza, 2013). Esta falla aunque regional, se nombra aquí con nombres locales: Falla Lagartos – Codito. Un rasgo importante de esta falla es que al cruzar la falla de Usaquén – Juan Amarillo, lo hace hacia el extremo sur de las lomas de Suba, y junto con ésta falla, parece controlar la continuidad hacia el sur de estas lomas. Es posible que tenga que ver con las manifestaciones hidrotermales en el club de los Lagartos. A lo largo de su trazo sobre esta parte de los cerros orientales, se nota en su vecindad la fuerte reorientación del rumbo general de las estructuras, junto con el truncamiento de pliegues menores tipo anticlinal. La Falla de santa Bárbara, de tipo sinistral, define el curso del río San Francisco, marcando el cambio en la orientación de la inclinación de las capas de las unidades rocosas al oeste de la falla de Bogotá.

BLOQUE SUR DE LA SABANA DE BOGOTÁ

El Bloque tectónico sur de la Sabana de Bogotá, delimita al norte con la Falla de Facatativá – San Cristóbal, y se expresa en la cuenca del río Fucha, a lo largo de su cauce en la zona de los cerros orientales. El bloque, hace parte de una serie de estructuras que definen la morfología de la Sabana hacia el sur. La Falla de Facatativá – San Cristóbal influye en el alineamiento de valles, lomos y los cursos de agua del río Fucha y de la quebrada La Upata. Según Fierro et al, 2007, la falla también se relaciona con el cambio de curso del río Bogotá al sur del Aeropuerto El Dorado. Dentro de este bloque, delimitado al norte por la falla de Facatativá – San Cristóbal, se destaca como la principal estructura, de carácter regional, la

Zona de Cizalla del Sur de Bogotá (Fierro & Angel, 2008); franja de deformación conformada por secuencias de fallas rumbo – deslizantes, que genera la desviación y truncamiento abrupto del trazo del eje del Sinclinal de Usme sobre la zona minera del río Tunjuelo, en el sector de las lomas de Guacamayas.

3.3.2 Litología

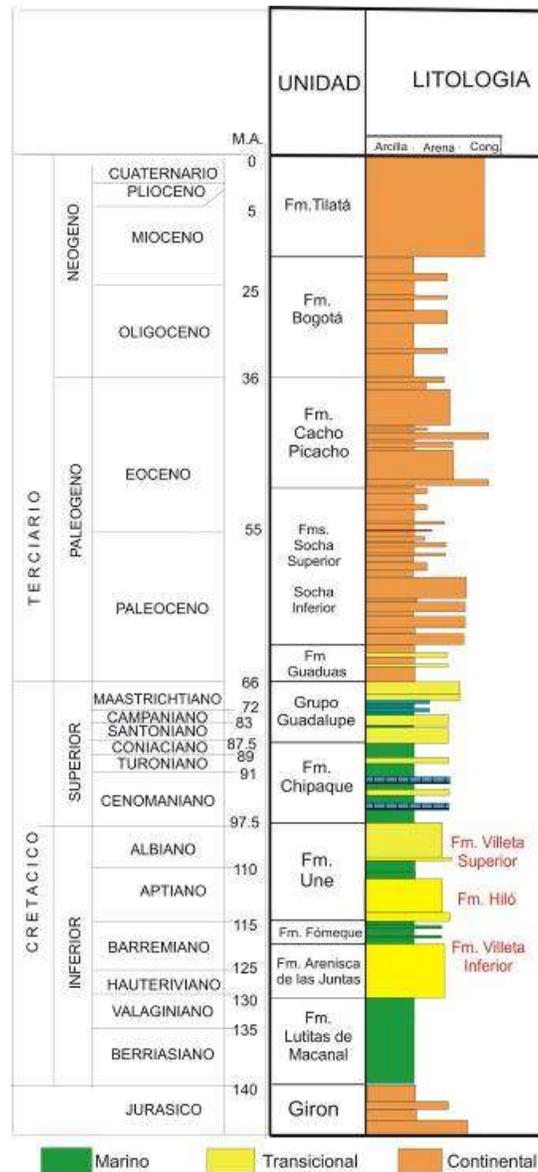


Figura 1. Columna Estratigráfica generalizada de la Cordillera Oriental. Ariana Ltda, 2008.

En la Sabana de Bogotá afloran unidades litológicas con edades desde el Cretáceo hasta el reciente.

Formación Une (Kmu) (Díaz, Ramos, 2008)

AUTOR: Nombre propuesto por Hubach (1931).

SECCIÓN TIPO: Aflora sobre la carretera Bogotá-Villavicencio, entre las poblaciones de Chipaque y Cáqueza.

LITOLOGÍA: Los intervalos superior e inferior son de cuarzoarenitas de grano medio a grueso, de color gris claro a blanco con abundantes fragmentos de plantas y glauconita; internamente presentan laminación inclinada en artesa y planar de escala grande a media. Se interponen arcillolitas laminadas de color gris oscuro. Es común la presencia de bioturbación en las arenitas de grano fino. El segmento intermedio se caracteriza por la interposición de intervalos de cuarzo-arenitas de grano fino a medio en capas tabulares a lenticulares, con laminación ondulada y ondulada ascendente y arcillolitas de color gris oscuro en capas finas tabulares con laminación plano paralela.

ESPESOR: 600 y 800 m.

EDAD: Albiano Medio.

Formación Tablazo (Kmch) (Díaz, Ramos, 2008)

AUTOR: Morales y otros (1958).

SECCIÓN TIPO: Aflora en el primer monte al este del pueblo de El Tablazo, Santander.

LITOLOGÍA: Presenta facies calcáreas de bioesparitas, color gris azulado y micritas fosilíferas. Las areniscas son de grano fino a muy fino con cemento calcáreo bioturbadas.

En la mitad superior predominan las calizas, mientras en la mitad inferior las lodolitas calcáreas.

ESPESOR: Varía entre 150 y 325 m.

EDAD: Aptiano- Albiano.

Formación Chipaque (Ksc) (Díaz, Ramos, 2008)

AUTOR: Nombre propuesto por Hubach (1931), Renzoni, G (1962), Ulloa y Rodríguez (1984), Miller (1972).

SECCIÓN TIPO: Municipio de Chipaque, Sabana de Bogota, la carretera Sogamoso-Aguazúl.

LITOLOGÍA: Shale en paquetes decamétricos de color gris, localmente carbonosas, intercaladas con cuarzoarenitas con laminación paralela, ligeramente ondulosa a irregular por bioturbación, en capas métricas a decimétricas, tabulares. Ocasionalmente se encuentran capas de caliza arenosa rica en bivalvos y fragmentos de bivalvos.

ESPESOR: 300 y 2000 m.

EDAD: Cenomaniano a Coniaciano.

Grupo Guadalupe (Ksg) (Díaz, Ramos, 2008)

AUTOR: El término Guadalupe fue propuesto por Hettner (1892) y redefinido por Hubach (op.cit.), Julivert (1962) como Formación Guadalupe, y Pérez & Salazar (1978) como Grupo Guadalupe.

SECCIÓN TIPO: Los cerros situados al oriente de Bogotá, desde el Cerro de Guadalupe y el Páramo del Rajadero hasta las veredas Barrancas y la Calera.

LITOLOGÍA: De acuerdo con Pérez y Salazar (*ibid.*), el Grupo Guadalupe está compuesto de base a techo por las Formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Arenisca de Labor y Arenisca Tierna La Formación Arenisca Dura está constituida por arenitas de grano fino y muy fino con interstratificaciones de limolitas, lodolitas y arcillolitas de colores claros. La Formación Plaeners consiste de arcillolitas y lodolitas silíceas. La Arenisca de Labor está compuesta por arenitas separadas por capas muy delgadas de arcillolitas. La Arenisca Tierna está constituida por intercalaciones de bancos gruesos de arenitas cuneiformes con laminación inclinada de escala grande a mediana y bancos menos gruesos de lodolitas y arcillolitas finamente interstratificadas.

ESPESOR: Varía entre 350 y 1000 m de espesor.

EDAD: Santoniano - Maastrichtiano Inferior (?).

Formación Guaduas (Kug) (Díaz, Ramos, 2008)

AUTOR: Hetner (1892), Hubach (1933, 1957).

SECCIÓN TIPO: Guatavita, Cundinamarca.

LITOLOGÍA: Arcillolitas y lodolitas de color gris café a gris oscuro, en intervalos decamétricos de capas finas a medias tabulares, con laminación plano paralela; se interpone con intervalos de 5 a 10 metros de arenitas cuarzosas sublíticas con laminación inclinada planar y ondulada ascendente. Localmente capas finas de carbón.

ESPESOR: 500 y 800 m.

EDAD: Maastrichtiano Superior - Paleoceno Inferior.

Formación Cacho (Tec) (Díaz, Ramos, 2008)

AUTOR: González, 1985.

SECCIÓN TIPO: Zipaquirá, Cundinamarca.

LITOLOGÍA: Constituida por cuarzoarenitas de grano medio a muy grueso, de color blanco, con laminación inclinada en artesa, planar y sigma de escala mediana y grande, con cintas de conglomerados de guijos, clasto soportados. Se presentan interposiciones de capas muy finas a finas, tabulares, de cuarzoarenitas de grano fino con laminación plano paralela y arcillolitas tabulares laminadas a macizas de color gris claro y gris oscuro.

ESPESOR: Varía entre 150 y 200 m.

EDAD: Eoceno Inferior a Medio.

Formación Bogotá (Tmb) (Díaz, Ramos, 2008)

AUTOR: Hunter 1942.

SECCIÓN TIPO: Sección tipo Sabana de Bogotá.

LITOLOGÍA: Bancos decamétricos de arcillolitas macizas de color gris medio, gris verdoso y gris claro con bancos métricos de cuarzoarenitas arcillosas, con laminación ondulada e inclinada en artesa y planar; localmente capas muy finas de carbón y turba de color café claro, y abundantes fragmentos de plantas.

ESPESOR: Varía entre 700 y 1300 m.

EDAD: Oligoceno a Mioceno Inferior.

Formación Tilatá (Tqt) (Díaz, Ramos, 2008)

AUTOR: Scheibe, 1922.

SECCIÓN TIPO: Hacienda de Tilatá.

LITOLOGÍA: La unidad corresponde a rellenos lacustrinos y a depósitos aluviales de cantos y bloques de cuarzo arenitas. Los cantos son redondeados, elipsoidales y se observan imbricados y orientados de forma plana paralela.

ESPESOR: Varía entre 500 y 800 m.

EDAD: Cuaternario Pleistoceno.

Depósitos Recientes (Díaz, Ramos, 2008)

Se diferenciaron cuatro tipos de depósitos cuaternarios recientes: 1) terrazas, 2) depósitos glaciares, 3) depósitos aluviales recientes y 4) terrazas altas.

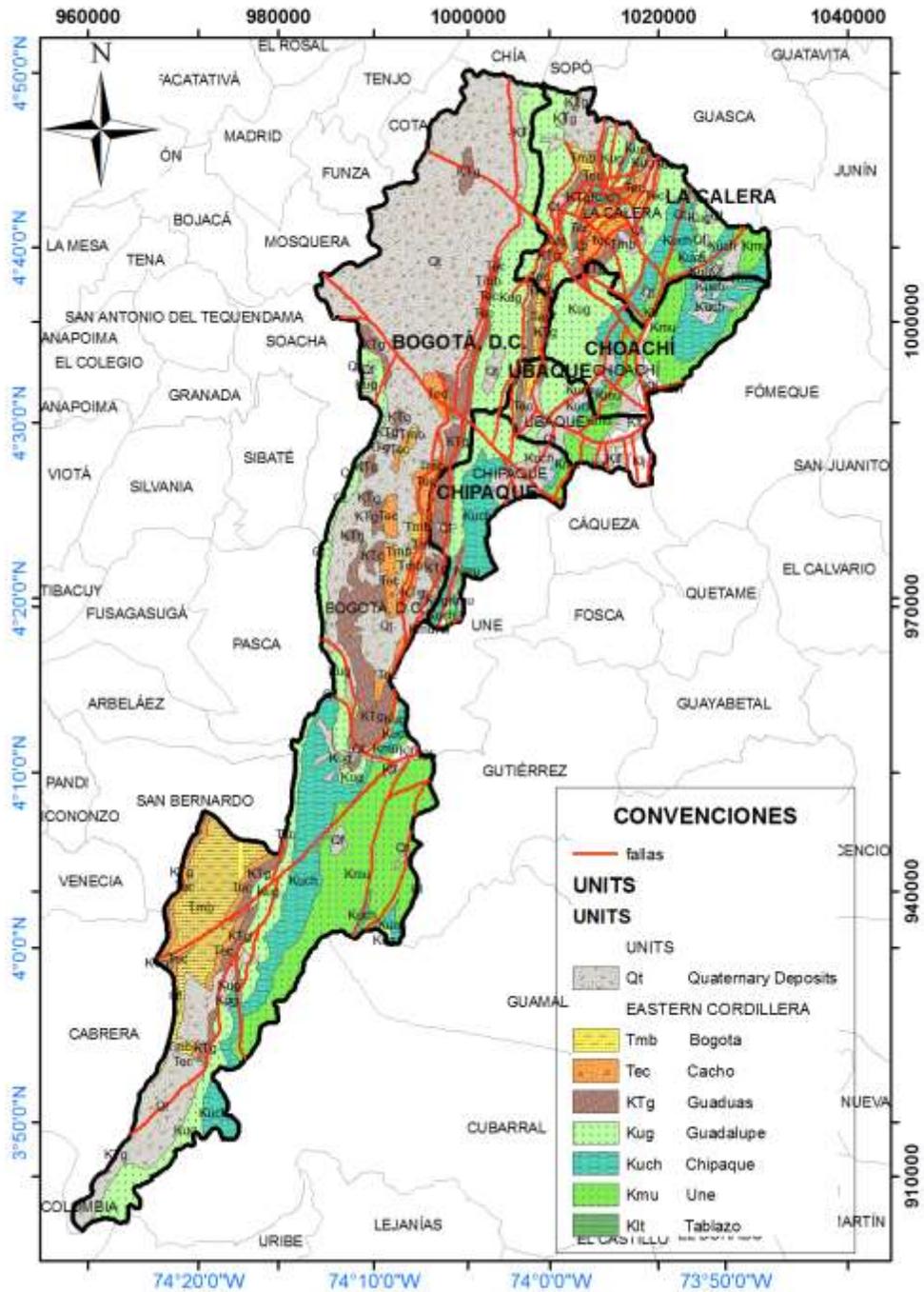


Figura 2. Mapa geológico de la Sabana de Bogotá. Información base: Ariana Ltda, 2014. Mapa: Nathalia Rodríguez.

3.4 Hidrología de la sabana de Bogotá

3.4.1 Información meteorológica de la Sabana de Bogotá

TABLA 1. Datos Estaciones Climatológicas

ESTACIÓN	TIPO	X	Y	Z
Fontibón	CO	1007180	992500	2518
Vitelma	CO	997682	1000642	2800
Guaymaral	SS	1024100	1000725	2560
Muña	CP	994560	980700	2565
Doña Juana	CP	992300	993700	2700
El Dorado	SP	1010773	993176	2547
ECI	CP	1020729	1003513	2650
La Ramada	CO	1011430	989110	2545
El Dorado Didáctica	CP	1011164	9923335	2546
Flores Colombianas	ME	1014850	990486	2560
Jardín Botánico	CO	1007478	997882	2556
Universidad Nacional	CP	1003791	997882	2556
Vivero Venado de Oro	CO	1000105	1001581	2725
Universidad Pedagógica Nacional	CO	1007478	101581	2570
La Lumbre	CO	1003730	987701	2540

CO: Climatológica ordinaria; CP: Climatológica principal; SP: Sinóptica principal; SS: Sinóptica secundaria

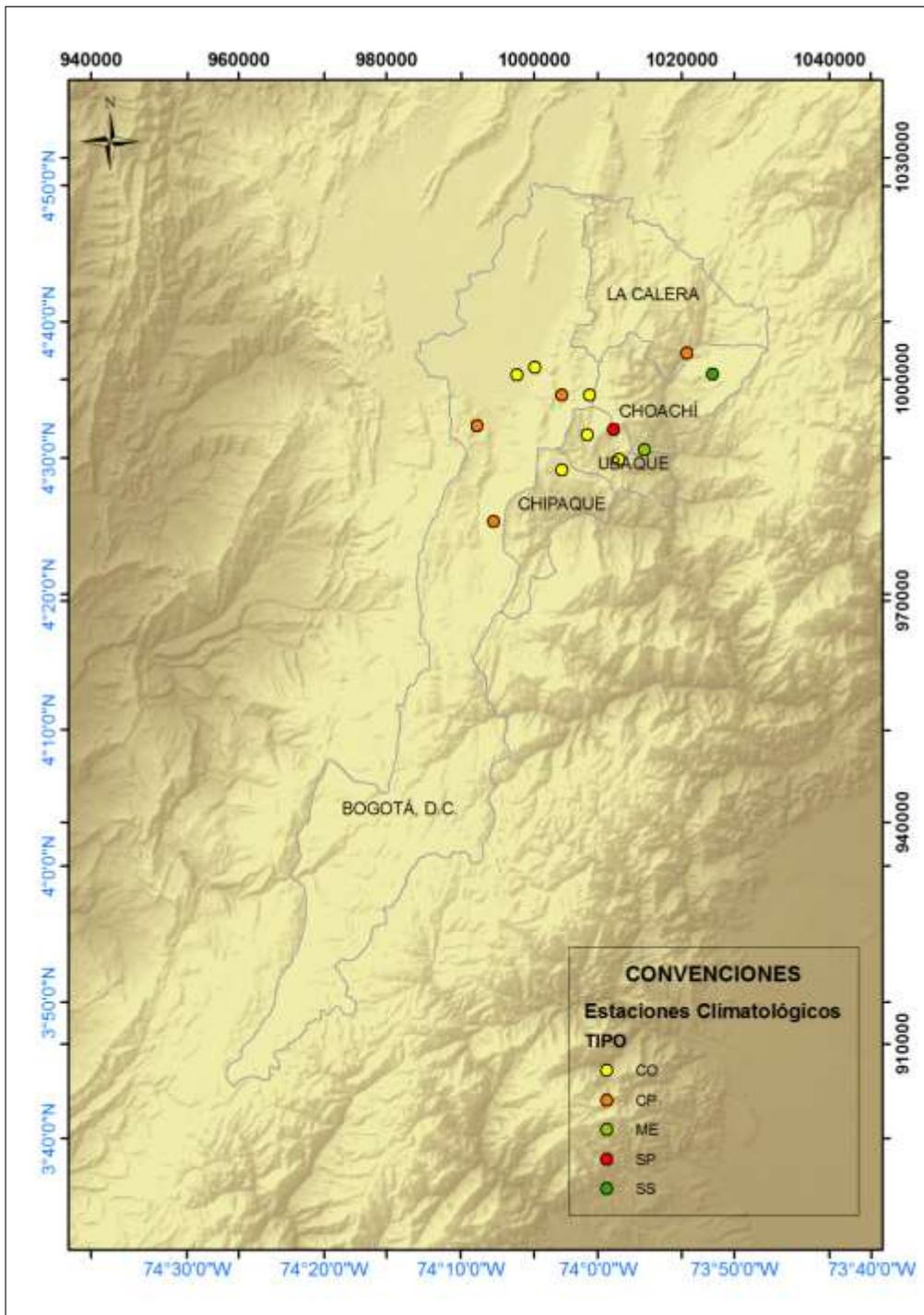


Figura 3. Localización estaciones climatológicas. CO: Climatológica ordinaria; CP: Climatológica principal; SP: Sinóptica principal; SS: Sinóptica secundaria, IDEAM, 2014. Mapa: Nathalia Rodríguez.

TABLA 2. Datos estaciones pluviométricas y pluviográficas

ESTACIÓN	TIPO	X	Y	Z
El Bosque	PG	986200	995560	2880
Santa Teresa	PG	1017300	1017200	2580
La Picota	PG	995500	994600	2580
Peñas Blancas	PG	995200	967200	2450
El Fute	PG	1002150	977280	2607
Torca	PM	1021800	1005320	2579
La Casita	PM	1004320	1005400	3045
Bosa	PG	1000106	986786	2640
Casa Blanca	PM	998377	990428	2665
Juan Rey	PG	991780	999260	2985
Santa Lucía	PM	997550	995080	2630
Quiba	PG	992305	989998	3000
Guadalupe	PG	996419	1003431	3316
La Conejera	PG	1018536	1001581	2500
Regadera	PM	978751	992782	3056
Verjón	PM	998263	1007130	3250
El Delirio	PM	994576	1003431	3000
Usaquén	PM	1009321	1007129	2647
Cerro de Suba	PM	1016693	1011581	2691
Emmabuel Dalzón	PM	1011164	1001581	2520
Centro Médico Andes	ME	1011164	1005279	2575

PM: Estación pluviométrica; PG: Estación Pluviográfica

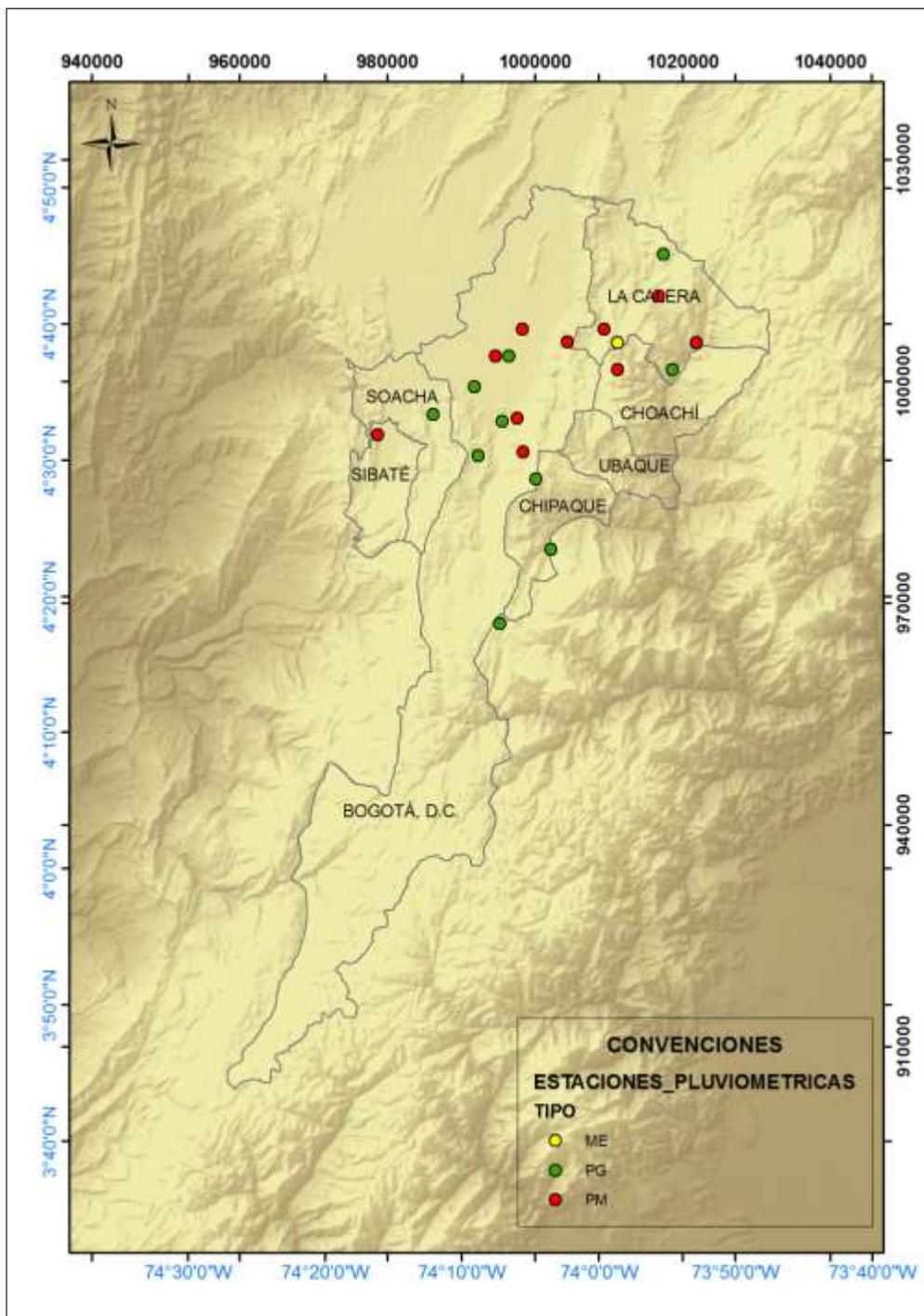
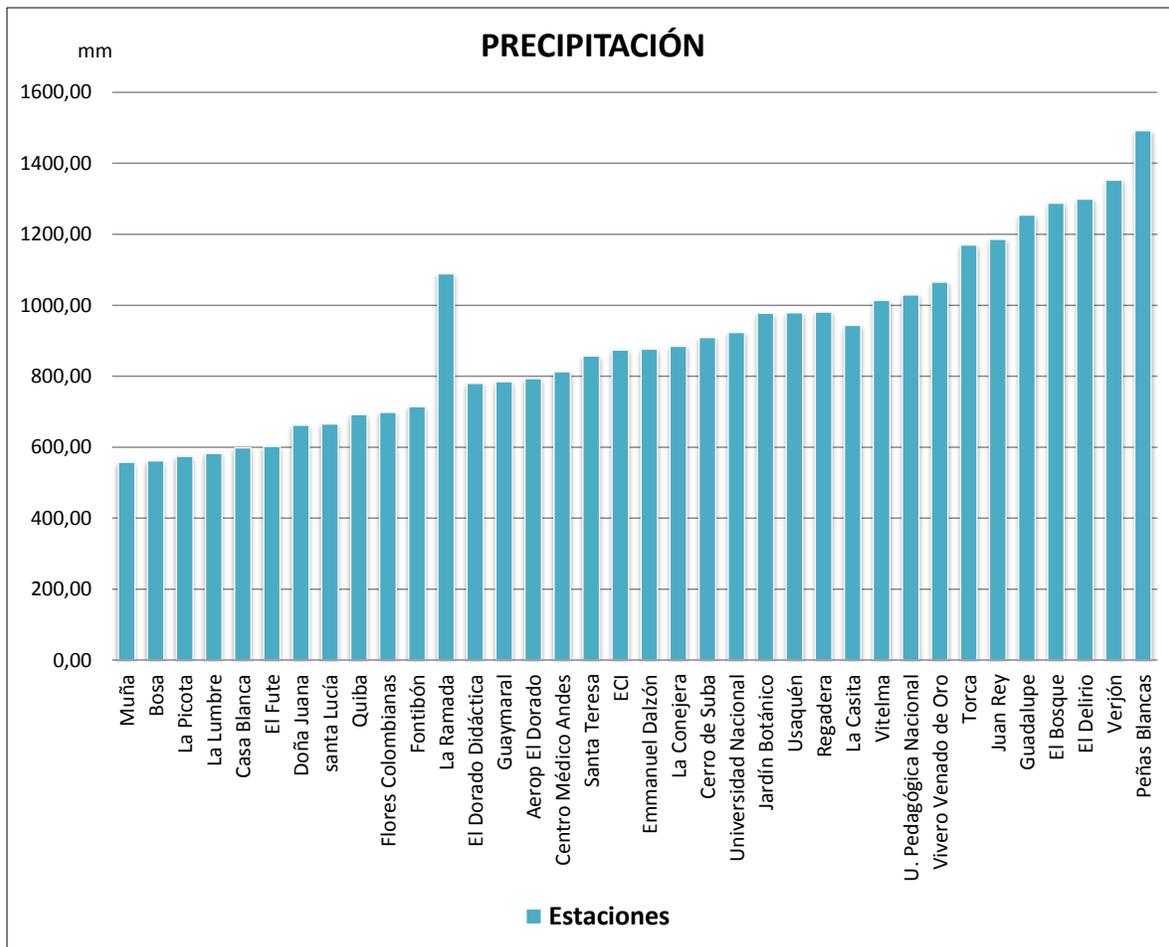


Figura 4. Localización estaciones pluviométricas. PM: Estación pluviométrica; PG: Estación Pluviográfica, IDEAM, 2014. Mapa: Nathalia Rodríguez, 2014.

TABLA 3. Promedio Precipitación (mm)

Estaciones	Precipitación en mm												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Muña	19,10	28,90	49,10	71,50	70,40	44,60	24,80	30,80	47,20	72,90	64,10	34,30	557,70
Bosa	16,30	27,50	48,70	72,00	74,10	51,80	31,80	32,20	45,60	72,10	60,00	29,90	561,80
La Picota	23,60	33,50	52,50	73,50	64,30	42,90	37,00	35,30	34,80	66,10	71,10	40,10	574,60
La Lumbre	19,00	26,80	42,90	77,00	67,30	49,50	30,40	32,70	45,40	81,80	74,90	35,00	582,70
Casa Blanca	19,50	26,80	50,50	78,20	80,70	51,20	39,30	32,40	47,40	74,20	64,00	34,40	598,50
El Fute	25,90	31,50	52,10	82,70	66,60	43,60	28,00	32,30	45,00	85,50	68,30	41,20	602,70
Doña Juana	26,60	36,10	61,60	70,10	84,30	61,20	50,90	45,50	35,50	71,70	75,60	43,00	662,20
santa Lucía	19,30	39,80	67,80	81,10	81,90	49,00	40,60	36,80	50,90	80,60	71,20	46,50	665,40
Quiba	16,20	40,60	60,10	71,40	97,80	63,50	47,50	44,20	58,00	85,70	65,40	42,10	692,40
Flores Colombianas	29,80	38,30	73,50	88,70	94,50	48,80	43,40	35,00	51,80	94,90	65,20	34,20	698,10
Fontibón	22,70	39,80	71,80	90,40	82,70	54,90	40,60	36,70	60,90	88,40	82,40	43,40	714,70
La Ramada	25,80	390,00	56,00	93,00	88,40	57,80	40,00	42,00	53,30	106,30	85,30	50,70	736,50
El Dorado Didáctica	29,90	38,30	58,50	102,90	88,70	62,30	43,00	43,10	58,90	109,30	93,40	52,00	780,30
Guaymaral	27,60	53,20	65,10	92,70	84,10	62,90	45,10	43,20	66,90	105,20	93,20	45,90	785,40
Aerop El Dorado	29,40	41,10	65,30	103,00	92,20	53,80	41,90	45,90	70,00	107,00	91,30	52,80	793,70
Centro Médico Andes	56,70	80,80	81,70	90,10	103,60	42,60	36,60	31,40	44,40	104,10	93,20	47,90	813,10
Santa Teresa	32,30	38,30	63,40	74,50	94,80	89,60	87,00	81,10	68,20	98,10	83,90	45,80	857,10
ECl	49,00	60,00	91,00	87,00	98,00	57,00	43,00	40,00	62,00	117,00	103,00	67,00	874,00
Emmanuel Dalzón	45,80	64,50	86,00	106,50	97,90	41,70	27,50	38,40	59,80	121,20	110,20	77,10	876,60
La Conejera	47,40	63,40	90,10	94,10	92,40	60,70	41,80	44,80	72,90	120,80	92,00	64,00	884,30
Cerro de Suba	30,60	77,90	92,40	106,70	99,70	59,30	39,10	47,70	80,70	103,80	106,10	65,20	909,20
Universidad Nacional	51,70	63,20	93,90	88,50	107,20	46,40	42,20	40,20	76,00	106,60	127,60	80,30	923,70
Jardín Botánico	43,00	56,20	87,80	127,50	126,30	63,60	43,00	48,50	79,50	114,90	120,20	67,20	977,70
Usaquén	81,30	88,30	106,60	98,60	86,80	58,5	49,60	42,30	57,1	111,90	104,70	93,30	979,60
Regadera	15,90	36,00	62,60	95,60	148,50	121,10	119,80	95,20	77,90	95,40	79,00	34,00	980,80
La Casita	53,00	67,80	92,80	110,20	108,80	77,50	7,50	64,40	53,80	107,60	119,80	80,50	1006,60
Vitelma	49,30	65,30	88,90	115,70	103,00	72,50	78,60	64,70	59,30	115,30	121,50	79,80	1012,90
U. Pedagógica Nacional	75,70	100,20	124,90	100,30	101,10	57,70	49,30	45,90	66,60	107,80	133,80	66,00	1029,30
Vivero Venado de Oro	59,20	75,60	99,90	124,20	111,10	77,20	68,00	66,30	68,50	123,00	144,20	48,20	1065,40
Torca	61,20	79,60	102,20	134,50	118,60	82,20	72,20	62,40	97,00	137,40	139,20	83,60	1170,10
Juan Rey	41,70	66,70	89,10	98,20	138,50	147,20	143,30	114,90	73,70	103,40	103,70	65,70	1186,20
Guadalupe	61,60	88,00	116,50	108,60	139,1	115,30	94,00	100,60	78,80	149,30	115,20	87,40	1254,40
El Bosque	36,70	52,10	73,70	121,30	141,70	152,50	167,30	134,50	101,40	116,80	123,90	65,90	1287,90
El Delirio	63,20	86,00	98,10	101,30	140,30	154,50	173,70	131,40	75,80	105,90	104,50	64,30	1299,00
Verjón	58,40	80,60	102,60	114,10	147,60	170,00	159,40	134,10	89,20	116,10	111,10	69,30	1352,30
Peñas Blancas	93,70	96,60	158,50	171,20	132,40	73,90	70,20	66,80	95,10	187,00	196,40	150,40	1492,10



GRÁFICA 1. Precipitación (mm) por estaciones.

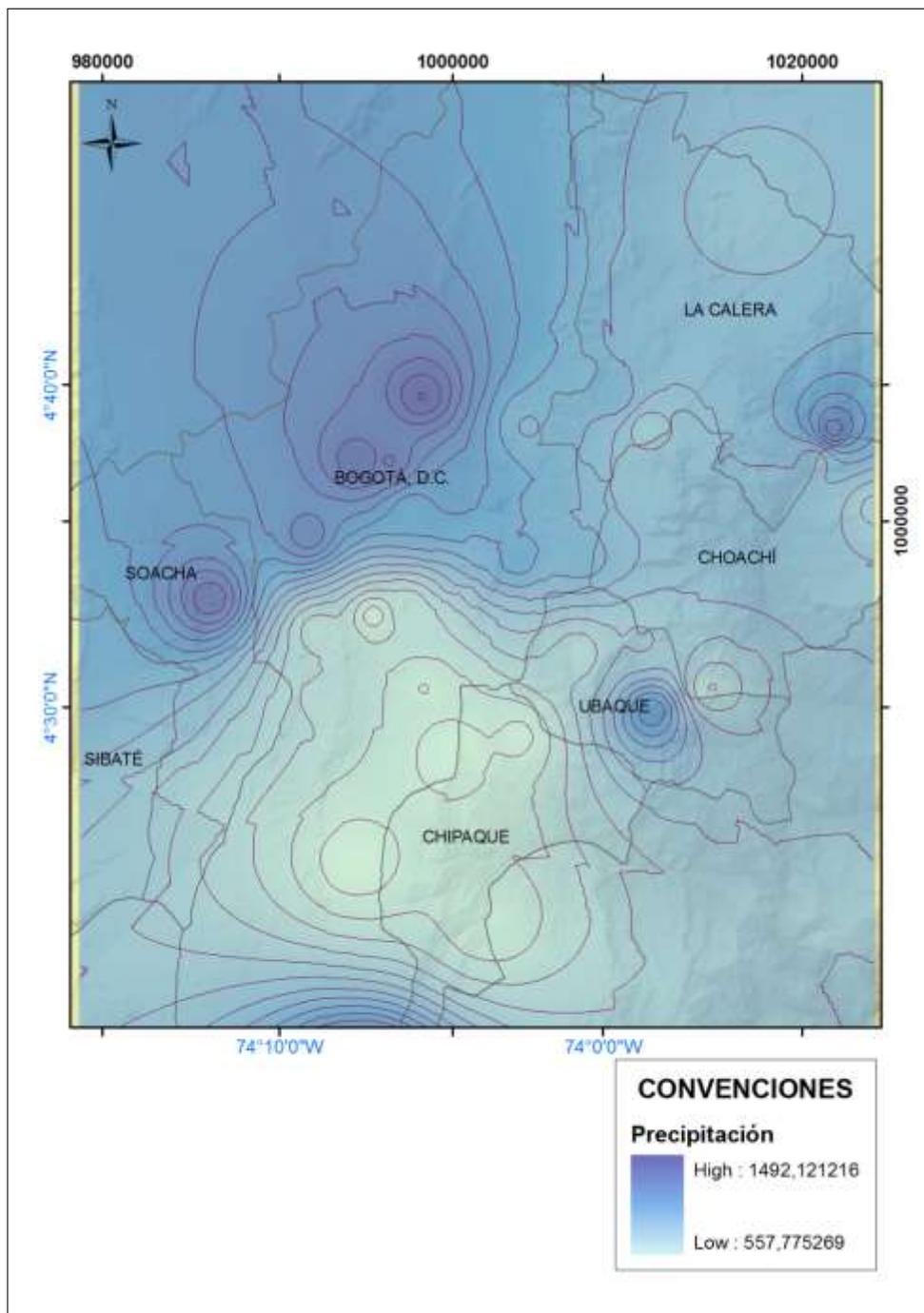
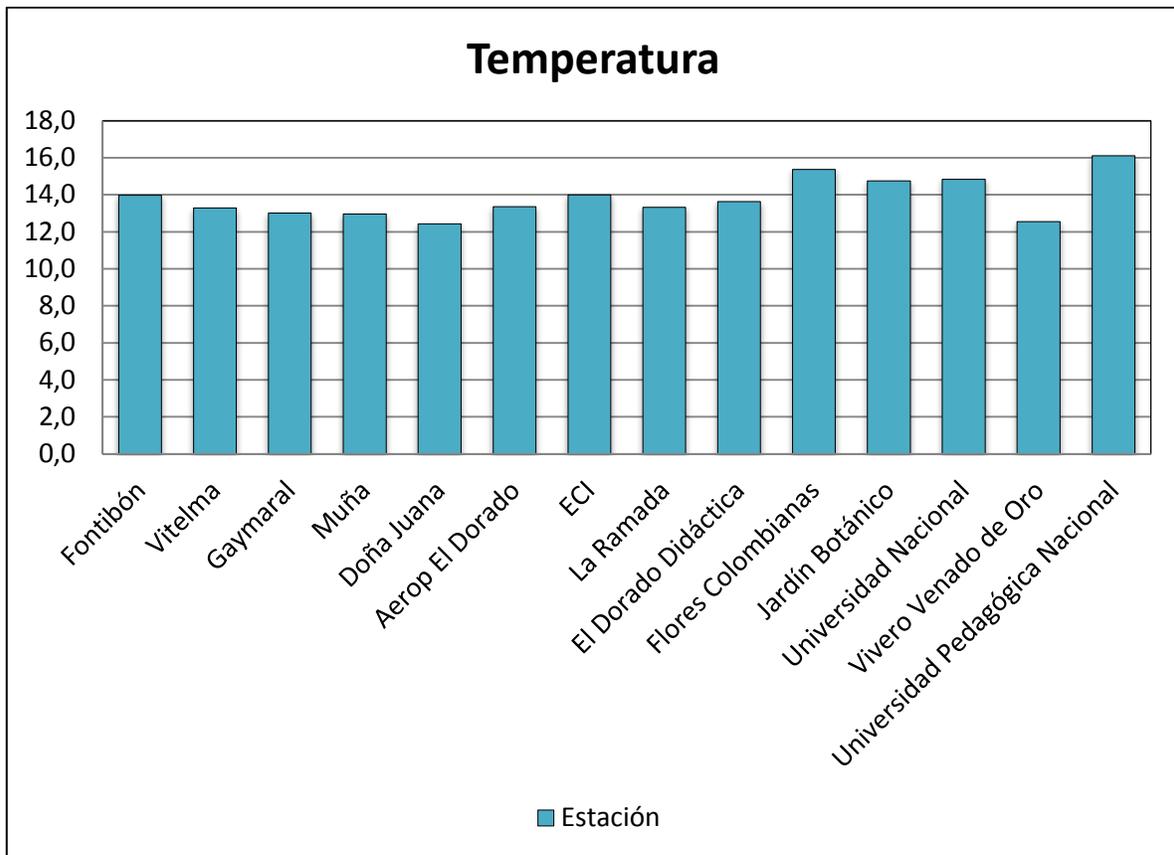


Figura 5. Distribución espacial de la precipitación, IDEAM, 2014. Mapa: Nathalia Rodríguez.

La distribución espacial de la precipitación total anual en el área correspondiente a la zona de estudio, muestra que la precipitación promedio mensual multianual en las estaciones, disminuye con respecto a la altura; hacia la parte alta de los cerros orientales el valor promedio de precipitación total anual varía entre 1000 y 1400 mm, así mismo, hacia la parte urbana, la precipitación varía entre los 1000 y 800 mm, siendo la parte más seca, aquella localizada hacia el occidente en cercanías al río Bogotá. Se aprecia también que, en la parte baja de la cuenca del río Tunjuelo, los valores de precipitación oscilan entre los 500 y 600 mm, siendo este el sector más seco de la ciudad. La precipitación anual muestra un comportamiento descendente de la precipitación en relación con la altura.

TABLA 4. Temperatura media mensual

Estación	Temperatura en °C												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Fontibón	13,9	14,2	14,2	14,2	14,4	13,9	13,8	13,7	13,7	13,9	13,9	13,9	14,0
Vitelma	13,6	13,2	13,2	13,8	13,5	13	12,7	13,2	13,3	13,2	13,4	13,3	13,3
Gaymaral	12,8	13,1	13,7	13,8	13,2	12,8	12,4	12,6	12,9	12,9	13,1	12,8	13,0
Muña	12,3	12,8	13,2	13,5	13,5	13,4	13,1	12,9	12,7	12,9	12,7	12,5	13,0
Doña Juana	12,4	12,6	12,7	12,8	12,6	13,1	11,4	11,7	12,2	12,5	12,6	12,4	12,4
Aerop El Dorado	13,1	13,4	13	14	13,7	13,3	13,2	13,3	13,4	13,4	13,4	13,1	13,4
ECI	13,7	14,5	14,4	14,5	14,3	13,9	13,4	13,6	13,7	13,9	14,2	13,7	14,0
La Ramada	13	13,1	13,6	13,8	13,9	13,4	12,9	13	13	13,4	13,6	13,2	13,3
El Dorado Didáctica	13,2	13,7	13,9	14,1	14,2	13,8	13,5	13,4	13,5	13,5	13,5	13,2	13,6
Flores Colombianas	15,1	15,6	15,5	15,2	15,8	15,4	15,4	15,4	14,8	15,4	15,3	15,4	15,4
Jardín Botánico	14,7	14,7	15,2	15	15	14,7	14,5	14,6	14,7	14,6	14,7	14,6	14,8
Universidad Nacional	14,6	14,8	15	15,2	15,3	15	14,4	14,5	14,6	14,8	14,9	14,9	14,8
Vivero Venado de Oro	12,6	12,6	12,8	13,1	12,9	12,6	12,1	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12,5
Universidad Pedagógica Nacional	16,2	16,2	16,4	16,1	16,4	16,1	15,9	15,5	15,9	15,9	16	16,6	16,1



GRÁFICA 2. Temperatura por estación.

3.5 Hidrogeología de la Sabana de Bogotá

La hidrogeología de la Sabana de Bogotá ha sido de gran interés, por lo que se han realizado varios estudios, entre ellos los hechos por el INGEOMINAS desde 1918, TAHAL (1973), y TNO (1975).

A partir de las características litológicas, hidráulicas y de distribución espacial, se puede clasificar los diferentes tipos de rocas en la Sabana de Bogotá en (Alarcón, 1998):

- Rocas porosas y sedimentos no consolidados.
- Rocas fracturadas y porosas.
- Rocas y sedimentos de poca importancia hidrogeológica.

El acuífero de la Formación Guadalupe es de tipo confinado con aproximadamente 700 metros de espesor, en donde circula el agua entre zonas angostas que tienen alta fracturación entre sus rocas, principalmente areniscas, arcillolitas, limolitas y liditas. Los pozos que se alimentan de este acuífero tienen un rendimiento entre 10 y 15 l/s (Fandiño, 1975).

El acuífero de la Formación Guaduas, también de tipo confinado, alberga el recurso hídrico entre las areniscas y mantos de carbón presentes en ésta unidad geológica (Fandiño, 1975).

Las unidades semiconfinantes de la Formación Tilatá, constituyen acuíferos libres, colgados y confinados, cuyos pozos tienen un rendimiento de 3.5 a 20 l/s. Su recarga proviene de la infiltración directa en los bordes de la Sabana donde aflora. El uso de sus aguas principalmente es para los cultivos de flores y para las industrias que se ubican en el valle de Subachoque, Funza y Bogotá (Lobo-Guerrero, 1992).

Dentro de la importancia de la hidrogeología de la sabana de Bogotá, se deben tener en cuenta las unidades hidrogeológicas correspondientes a la Formación Sabana, Formación Labor – Tierna, Formación Guaduas y Formación Arenisca Dura.

La Formación Sabana, constituye un acuífero colgado de porosidad primaria atribuida a sus niveles arenosos, de gran relevancia hidrogeológica. Por su condición de acuífero colgado sin conexión hidráulica, no presenta posibilidad de recarga natural. La Formación Labor – Tierna, constituye un acuífero también de porosidad primaria, el cual es recargado por la presencia de las fallas de Torca y Boquerón del Carbón. El acuífero presente en la formación Guaduas, a pesar de presentar una porosidad primaria gracias a su litología, es de recarga limitada. La Formación Arenisca Dura es de gran interés hidrogeológico por sus características de fracturamiento regional, aunque su profundidad supere los 650 metros de profundidad (Veloza, 2013).

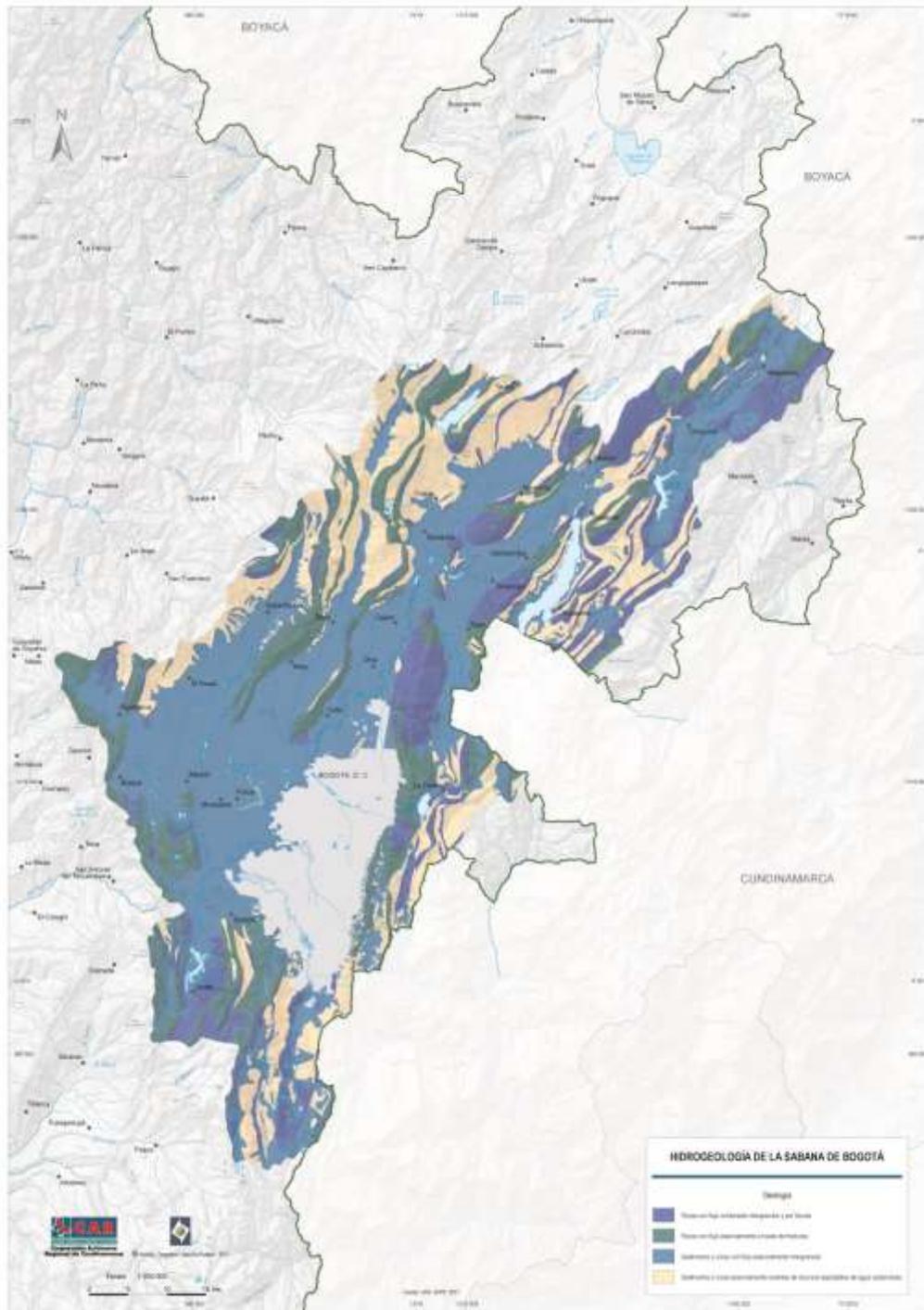


Figura 6. Mapa hidrogeológico de la Sabana de Bogotá (CAR, 2013).

4. METODOLOGÍA GENERAL

- Búsqueda, selección y recopilación de información.
- Evaluación de la información disponible sobre volúmenes extraídos del acuífero mediante pozos, aljibes y manantiales para determinar el caudal captado.
- Estudio del balance hídrico de la cuenca hidrogeológica identificada.
- Evaluación de la recarga del acuífero en los Cerros Orientales para determinar el caudal explotable.
- Evaluación de las presiones a las que es sometido el recurso en la zona de recarga de los Cerros Orientales según la incidencia de la actividad humana en las aguas subterráneas.
- Establecer el índice de escasez para el acuífero de la Formación Guadalupe.
- Elaboración de un plan de gestión de las aguas subterráneas que permita el desarrollo sostenible de los Cerros Orientales.

5. RESULTADOS

5.1 Índice de escasez de agua subterránea

Según el inventario de pozos realizado por INGEOMINAS, la CAR y la SDA, en la Sabana de Bogotá se estima la existencia de aproximadamente 7.000 pozos profundos y aljibes legales e ilegales, con una tasa de utilización del agua subterránea de 3.7 m³/seg. El recurso hídrico extraído de fuentes subterráneas, en su mayoría del acuífero cuaternario, es de uso agrícola e industrial principalmente. El acuífero Cuaternario, soporta el 93% de los pozos en el área de estudio y el 78% del volumen total del agua extraída (0). El acuífero Cretáceo, solo es explotado con un 5% del total de los pozos reportados, y con el 20% del volumen total del agua extraída (0). (AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN – JICA y EABB, 2003). El acuífero Terciario, según el inventario más reciente realizado por la CAR (2008), equivale al 3% de la totalidad de puntos de extracción de la totalidad de los pozos reportados (0).

De acuerdo a los últimos reportes dados por la CAR, más del 60% de los pozos de explotación de aguas subterráneas es ilegal, sino que al año en la totalidad de los pozos, aljibes y manantiales, se extraen más de 42 millones de metros cúbicos de estos reservorios subterráneos. Según el último censo realizado por la Corporación (CAR) en el 2008, existen 5.709 puntos de extracción acuífera entre pozos, aljibes y manantiales (0 y 0). La zona con mayor impacto por extracción de agua subterránea abarca las cuencas Chicú, Subachoque, Fontibón, Bojacá, Balsillas, Socha y Muña, en los municipios de Tenjo, Tabio, Subachoque, El Rosal, Madrid, Funza, Mosquera, Cota, Bojacá, Soacha y Sibaté (CAR, Sept 2013).

El volumen de agua subterránea actualmente concesionado para la extracción, depende de la disponibilidad del recurso y de la interferencia de los pozos existentes. En este orden de ideas, el mayor volumen otorgado proviene del acuífero Cuaternario dada su profundidad

somera y su fácil disposición. En menor porcentaje está el otorgamiento de agua subterránea del acuífero Cretácico y del acuífero Terciario, también superficiales.

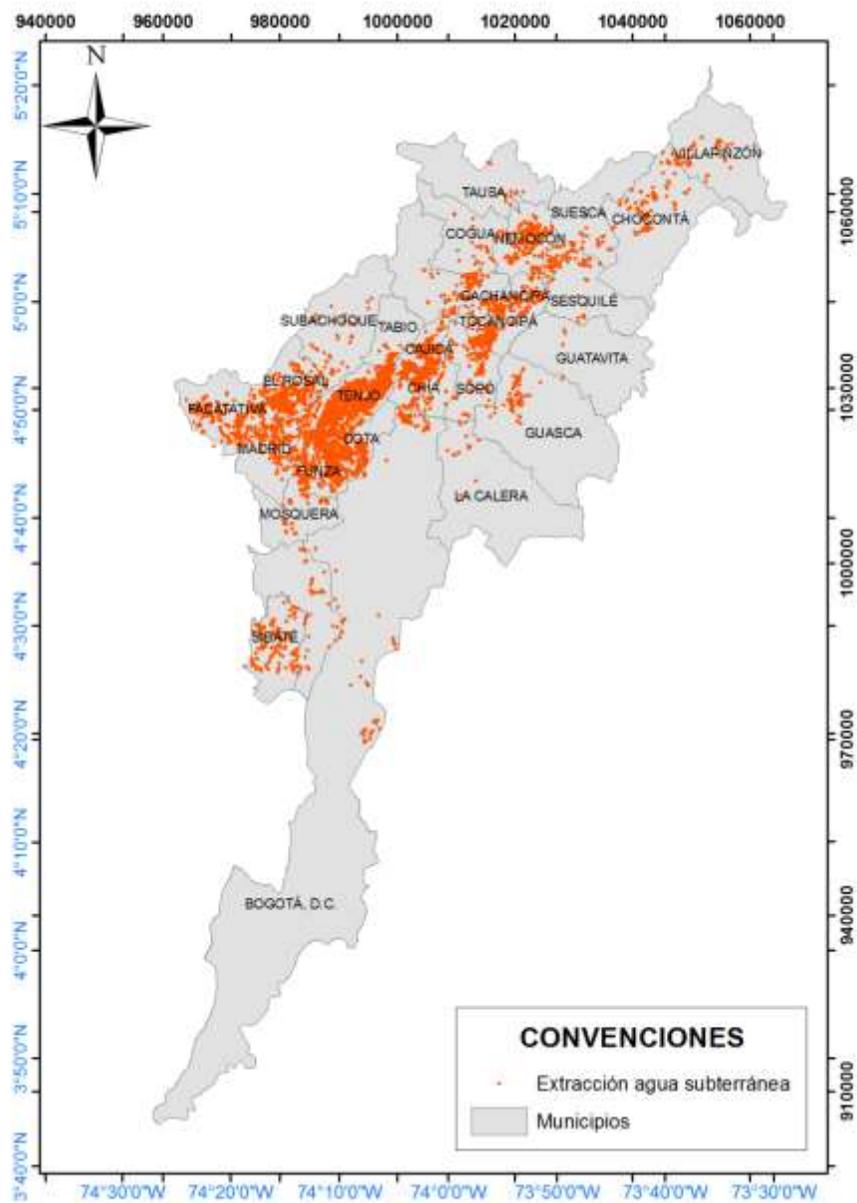


Figura 7. Mapa localización puntos de extracción de agua subterránea. Inventario CAR, 2008. Mapa: Nathalia Rodríguez.

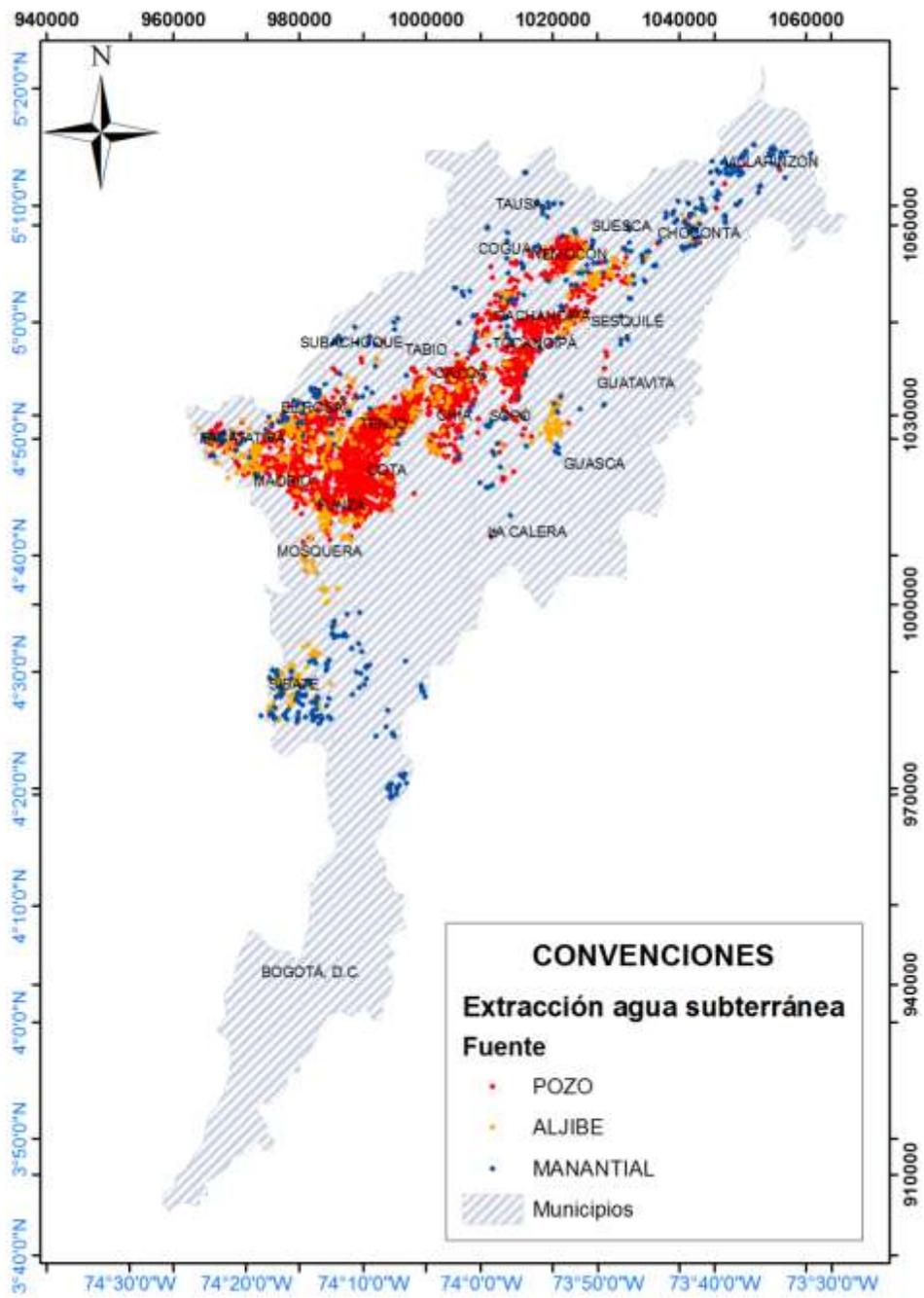


Figura 8. Mapa localización fuentes de extracción. Pozos, aljibes y manantiales. Inventario CAR, 2008.
 Mapa: Nathalia Rodríguez.

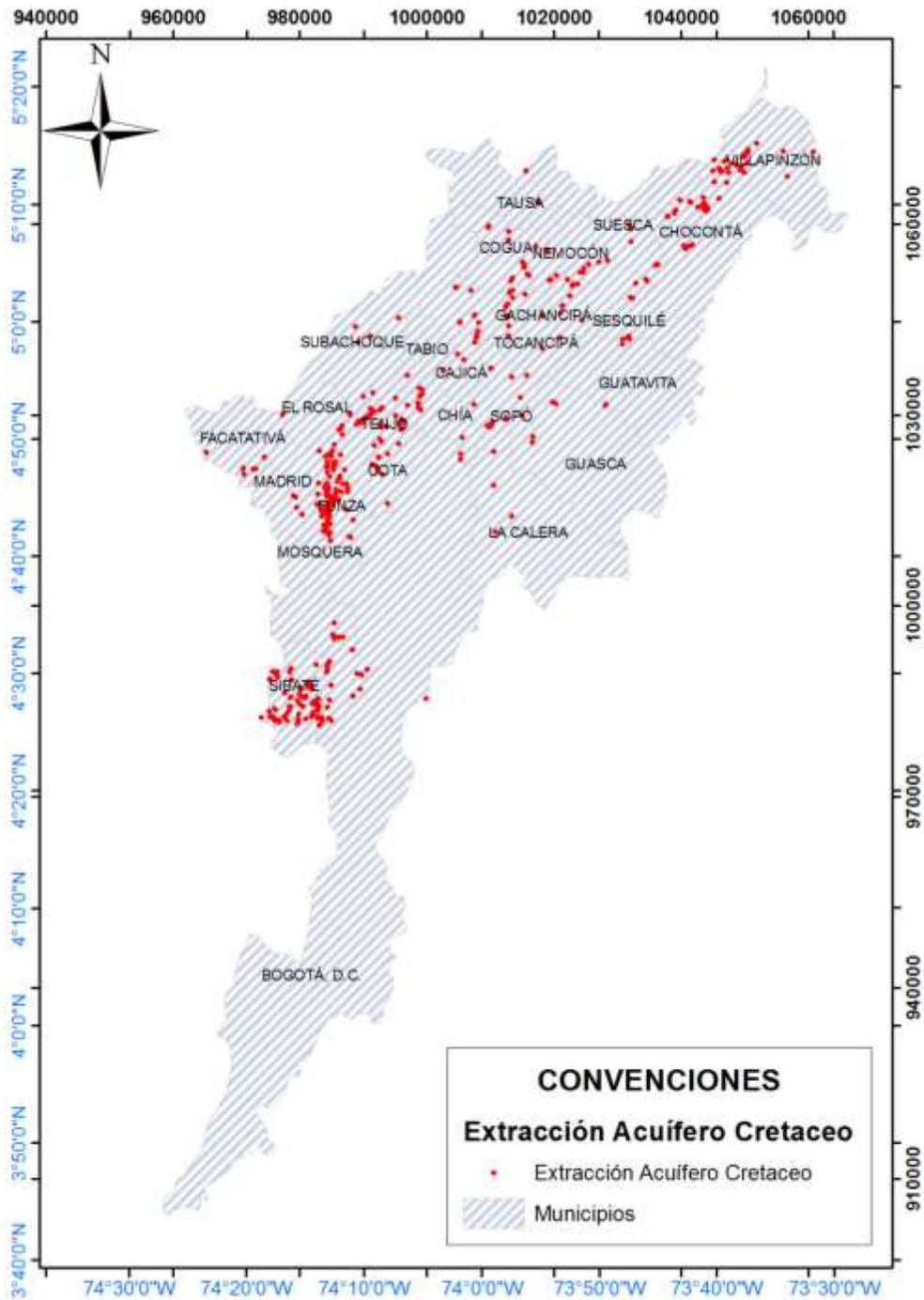


Figura 9. Mapa localización de fuentes extractoras del Acuífero Cretáceo. Inventario CAR, 2008.
 Mapa: Nathalia Rodríguez.

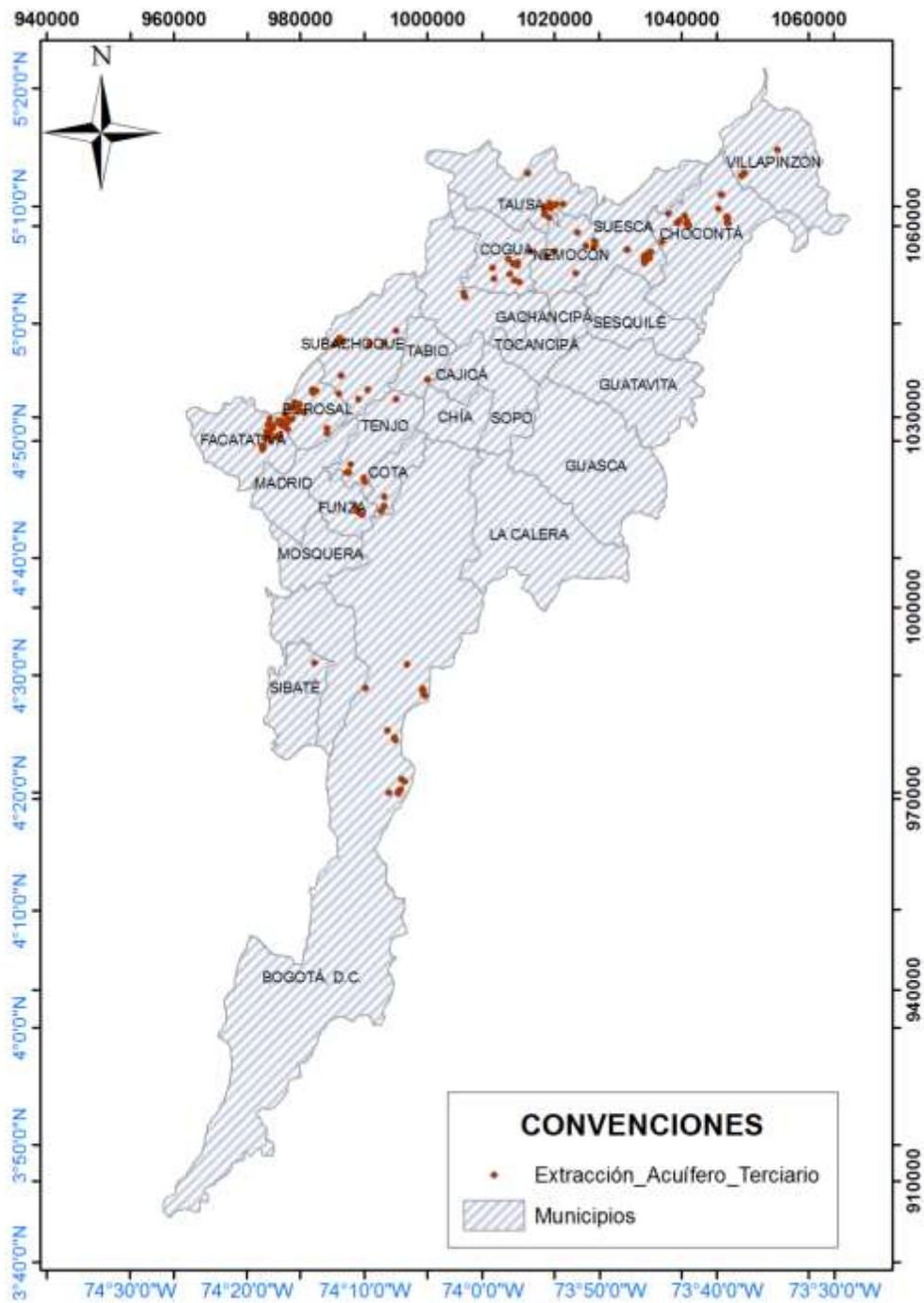


Figura 10. Mapa localización de fuentes extractoras del Acuífero Terciario. Inventario CAR, 2008.
 Mapa: Nathalia Rodríguez.

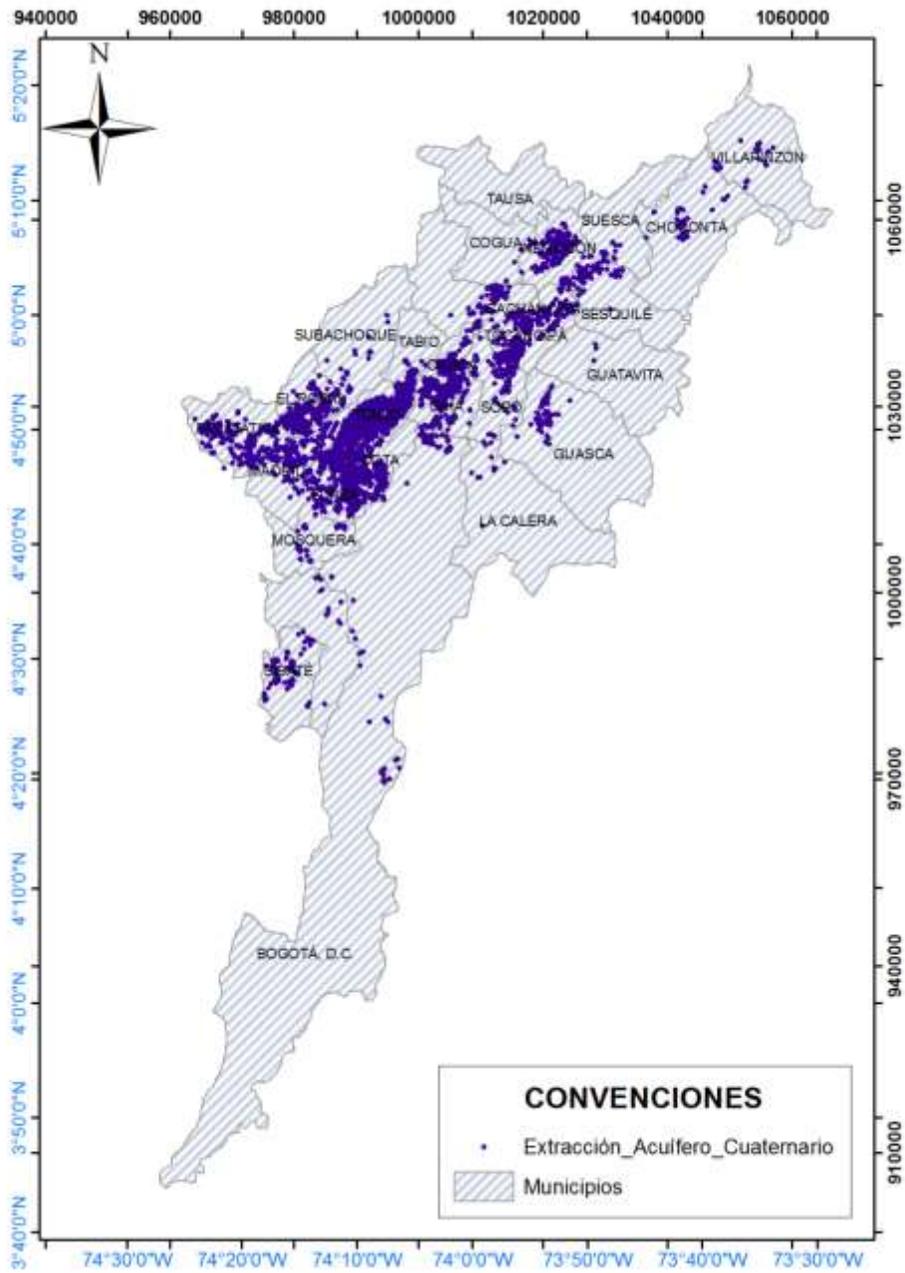


Figura 11. Mapa localización de fuentes extractoras del Acuífero Cuaternario. Inventario CAR, 2008. Mapa: Nathalia Rodríguez.

TABLA 5. Cantidad de pozos por acuífero

Cantidad de pozos	Acuífero
4671	Cuaternario
181	Terciario
484	Cretácico
136	No identificado

5.1.1 Volumen Diario Captado

Para hallar el volumen diario captado, se utiliza el valor estimado en el último reporte de la CAR (2013) para el estimado del volumen anual captado.

$$\text{Volumen Diario Captado} = \frac{\text{Volumen anual captado}}{365} = \frac{42000000 \text{ m}^3}{365} = \mathbf{115068.5 \text{ m}^3}$$

5.1.2 Caudal Captado

$$Q_c = \frac{V. \text{ diario capt.}}{\text{tiempo} \left(\frac{sg}{\text{día}}\right)} = \frac{115068.5 \text{ m}^3}{86400 \text{ sg}} = 1.3318 \text{ m}^3/\text{sg} * 1000 = \mathbf{1331.8 \text{ lt/sg}}$$

5.1.3 Caudal Explotable

La capacidad de un acuífero es una función de su volumen útil, por lo que estimarla depende de los factores condicionantes para ello como lo son las condiciones geológicas del acuífero, sus propiedades hidráulicas y las condiciones de recarga del almacenamiento.

El caudal explotable (Q_E), representa el volumen de agua que se puede captar de un acuífero a largo plazo sin causar alteraciones, por lo que no debe exceder la recarga ni los recursos disponibles (IDEAM, 2005).

Para establecer la recarga o infiltración de los reservorios de agua subterránea en el área de estudio, se utilizó la metodología del balance hídrico a partir de los datos de precipitación y evapotranspiración potencial de las estaciones pluviométricas, pluviográficas y climatológicas, anteriormente mencionadas.

5.1.3.1 Balance Hídrico

El balance hídrico se realizó comparando mensualmente las pérdidas por evapotranspiración potencial (ETP), combinación de la evaporación y la transpiración de las plantas, y los aportes por precipitación neta, encontrando inicialmente un déficit. Las dos magnitudes se evalúan en cantidad de agua por unidad de superficie, pero se traducen generalmente en alturas de agua. Posterior a ello, se introduce en el cálculo, la reserva útil del suelo que depende de la textura y espesor del suelo.

Dicha reserva útil se calcula como la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento. Cuando escasea el agua en el suelo, la evapotranspiración real (ETR) es inferior a la potencial existiendo escasez o falta de agua. Lo contrario, es decir, cuando hay abundancia de agua en el suelo, permiten la ocurrencia de la infiltración y por ende la recarga hacia los acuíferos.

- Evapotranspiración

La evaporación potencial (E_j) se halla usando la ecuación de Thornthwaite, en dónde se tienen en cuenta los valores mensuales de temperatura (T_j) en °C y el índice de calor (I) (0).

$$E_j = 16\left(\frac{T_j}{I}\right)^\alpha$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_j}{5}\right)^{1.514}$$

$$a = 0.675 \times 10^{-6} I^3 - 0.771 \times 10^{-4} I^2 + 1.792 \times 10^{-2} I + 0.49$$

TABLA 6. Evapotranspiración Total Potencial en las estaciones del área de estudio

Evapotranspiración Total Potencial (mm)													
Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Fontibón	56	52,6	58,6	58,1	61,1	56,6	57,6	56,5	54,5	57	54,4	56,5	680
Vitelma	56,9	49,9	55,2	58	58,5	54,4	54,3	56,5	54,7	5,1	54,3	55,3	613
Guaymaral	53,7	50,2	59,2	59	57,9	54,1	53,6	54,3	53,6	54,4	53,4	53,8	657
Muña	50,9	49,2	56,3	57,5	60,1	57,4	57,5	56	52,8	54,6	51,7	52,2	656
Doña Juana	53	49,7	55,8	55,5	56,6	57,8	50	51,4	52,2	54,6	53,2	53,8	644
El Dorado	54	50,7	54	59	59,5	55,6	56,7	56,7	55,1	56,2	54	54	666
ECI	55,1	54,3	59,6	59,6	60,7	56,7	55,5	56,1	54,5	56,7	56,2	55,1	680
La Ramada	53,7	49,2	57,2	58,1	60,6	56,4	55,1	55,1	53,3	56,3	54,9	54,6	665
El Dorado Didáctica	53,6	51,4	58	58,6	61,4	57,4	57,4	57,4	54,7	55,8	53,6	53,6	673
Flores Colombianas	58,1	55,7	61,1	58,7	64,7	60,5	62,3	61,7	55,8	60,5	57,6	59,9	717
Jardín Botánico	58	52,9	61,5	59,7	62,1	58,6	59,1	59,1	57,4	58	56,3	57,4	700
Universidad Nacional	57,1	53,1	60	60,6	63,6	60	58,2	58,2	56,5	58,8	57,1	58,8	702
Vivero Venado de Oro	54,2	49,4	55,8	56,9	58	54,7	53,5	53,6	52,6	54,2	51,6	52,6	647
Universidad Pedagógica	62,1	56,6	64	61,5	65,9	62,1	62,7	59,6	59,7	60,9	59,1	64,6	739

- Precipitación

TABLA 7. Precipitación (mm) en el área de estudio

Estaciones	Precipitación en mm												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Muña	19,10	28,90	49,10	71,50	70,40	44,60	24,80	30,80	47,20	72,90	64,10	34,30	557,70
Bosa	16,30	27,50	48,70	72,00	74,10	51,80	31,80	32,20	45,60	72,10	60,00	29,90	561,80
La Picota	23,60	33,50	52,50	73,50	64,30	42,90	37,00	35,30	34,80	66,10	71,10	40,10	574,60
La Lumbre	19,00	26,80	42,90	77,00	67,30	49,50	30,40	32,70	45,40	81,80	74,90	35,00	582,70
Casa Blanca	19,50	26,80	50,50	78,20	80,70	51,20	39,30	32,40	47,40	74,20	64,00	34,40	598,50
El Fute	25,90	31,50	52,10	82,70	66,60	43,60	28,00	32,30	45,00	85,50	68,30	41,20	602,70
Doña Juana	26,60	36,10	61,60	70,10	84,30	61,20	50,90	45,50	35,50	71,70	75,60	43,00	662,20
santa Lucía	19,30	39,80	67,80	81,10	81,90	49,00	40,60	36,80	50,90	80,60	71,20	46,50	665,40
Quiiba	16,20	40,60	60,10	71,40	97,80	63,50	47,50	44,20	58,00	85,70	65,40	42,10	692,40
Flores Colombianas	29,80	38,30	73,50	88,70	94,50	48,80	43,40	35,00	51,80	94,90	65,20	34,20	698,10
Fontibón	22,70	39,80	71,80	90,40	82,70	54,90	40,60	36,70	60,90	88,40	82,40	43,40	714,70
La Ramada	25,80	390,00	56,00	93,00	88,40	57,80	40,00	42,00	53,30	106,30	85,30	50,70	736,50
El Dorado Didáctica	29,90	38,30	58,50	102,90	88,70	62,30	43,00	43,10	58,90	109,30	93,40	52,00	780,30
Guaymaral	27,60	53,20	65,10	92,70	84,10	62,90	45,10	43,20	66,90	105,20	93,20	45,90	785,40
Aerop El Dorado	29,40	41,10	65,30	103,00	92,20	53,80	41,90	45,90	70,00	107,00	91,30	52,80	793,70
Centro Médico Andes	56,70	80,80	81,70	90,10	103,60	42,60	36,60	31,40	44,40	104,10	93,20	47,90	813,10
Santa Teresa	32,30	38,30	63,40	74,50	94,80	89,60	87,00	81,10	68,20	98,10	83,90	45,80	857,10
ECl	49,00	60,00	91,00	87,00	98,00	57,00	43,00	40,00	62,00	117,00	103,00	67,00	874,00
Emmanuel Dalzón	45,80	64,50	86,00	106,50	97,90	41,70	27,50	38,40	59,80	121,20	110,20	77,10	876,60
La Conejera	47,40	63,40	90,10	94,10	92,40	60,70	41,80	44,80	72,90	120,80	92,00	64,00	884,30
Cerro de Suba	30,60	77,90	92,40	106,70	99,70	59,30	39,10	47,70	80,70	103,80	106,10	65,20	909,20
Universidad Nacional	51,70	63,20	93,90	88,50	107,20	46,40	42,20	40,20	76,00	106,60	127,60	80,30	923,70
Jardín Botánico	43,00	56,20	87,80	127,50	126,30	63,60	43,00	48,50	79,50	114,90	120,20	67,20	977,70
Usaquén	81,30	88,30	106,60	98,60	86,80	58,5	49,60	42,30	57,1	111,90	104,70	93,30	979,60
Regadera	15,90	36,00	62,60	95,60	148,50	121,10	119,80	95,20	77,90	95,40	79,00	34,00	980,80
La Casita	53,00	67,80	92,80	110,20	108,80	77,50	7,50	64,40	53,80	107,60	119,80	80,50	1006,60
Vitelma	49,30	65,30	88,90	115,70	103,00	72,50	78,60	64,70	59,30	115,30	121,50	79,80	1012,90
U. Pedagógica Naciona	75,70	100,20	124,90	100,30	101,10	57,70	49,30	45,90	66,60	107,80	133,80	66,00	1029,30
Vivero Venado de Oro	59,20	75,60	99,90	124,20	111,10	77,20	68,00	66,30	68,50	123,00	144,20	48,20	1065,40
Torca	61,20	79,60	102,20	134,50	118,60	82,20	72,20	62,40	97,00	137,40	139,20	83,60	1170,10
Juan Rey	41,70	66,70	89,10	98,20	138,50	147,20	143,30	114,90	73,70	103,40	103,70	65,70	1186,20
Guadalupe	61,60	88,00	116,50	108,60	139,1	115,30	94,00	100,60	78,80	149,30	115,20	87,40	1254,40
El Bosque	36,70	52,10	73,70	121,30	141,70	152,50	167,30	134,50	101,40	116,80	123,90	65,90	1287,90
El Delirio	63,20	86,00	98,10	101,30	140,30	154,50	173,70	131,40	75,80	105,90	104,50	64,30	1299,00
Verjón	58,40	80,60	102,60	114,10	147,60	170,00	159,40	134,10	89,20	116,10	111,10	69,30	1352,30
Peñas Blancas	93,70	96,60	158,50	171,20	132,40	73,90	70,20	66,80	95,10	187,00	196,40	150,40	1492,10

- Recarga

En el balance hídrico, la recarga está dada por:

$$Recarga = Estado + \sum_{ij=1} Entradas - \sum_{j=1} Salidas$$

Las entradas están dadas por el volumen de control de la precipitación correspondiente a la precipitación media mensual en cada una de las estaciones, la cual puede ser por lluvia, nieve, granizo y condensaciones. Las salidas están dadas por el volumen de escurrimiento y la evapotranspiración.

Teniendo en cuenta lo anterior, se muestra a continuación los resultados del balance hídrico en la Sabana de Bogotá.

TABLA 8. Resultados del balance hídrico por estaciones

Balance Hídrico													
Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Fontibón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vitelma	0	0	0	16,8	44,5	18,1	24,3	8,2	3,6	60,2	67,2	24,5	267
Guaymaral	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muña	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Doña Juana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El Dorado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ECl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,1	10,1
La Ramada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El Dorado Didáctica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flores Colombianas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jardín Botánico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29,1	63,9	9,8	103
Universidad Nacional	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,5	21,5	37
Vivero Venado de Oro	0	0	0	52,6	53,1	22,5	14,5	12,7	15,9	68,8	92,6	0	333
Universidad Pedagógica	0	0	0	0	2,1	0	0	0	0	22,4	74,7	1,4	101

De acuerdo con los resultados obtenidos en el balance hídrico, se puede decir que las estaciones que se localizan hacia la parte oriental de la zona de estudio, no representan una zona de recarga hacia el acuífero, debido a que la precipitación, alcanza los volúmenes de

evapotranspiración y los volúmenes que se escurren superficialmente por cada uno de los cauces que cruzan por ésta área.

Hacia la zona sur-occidental se presenta una menor recarga potencial, en las desembocaduras de los Ríos Fucha y Tunjuelo, cuyos valores se encuentran entre 0 y 50 mm/año.

La zona de mayor recarga potencial se localiza hacia los Cerros Orientales, especialmente hacia las partes altas. Como resultado general, para la zona de estudio se calculó que la recarga potencial promedio es de 854 lt/sg.

Entonces, el caudal explotado hallado con la siguiente ecuación, en dónde Q_N representa los recursos naturales que corresponden a la recarga del acuífero y α representa un coeficiente de utilización de las reservas naturales, que toma valores entre 0.5 a 1, es definido, por las autoridades ambientales y legitima la definición expresada en el Art. 2 del decreto 155 de 2004, cuando se refiere al caudal que se puede extraer de los recursos disponibles de un acuífero, sin alterar el régimen de explotación establecido por la autoridad ambiental competente (CAR).

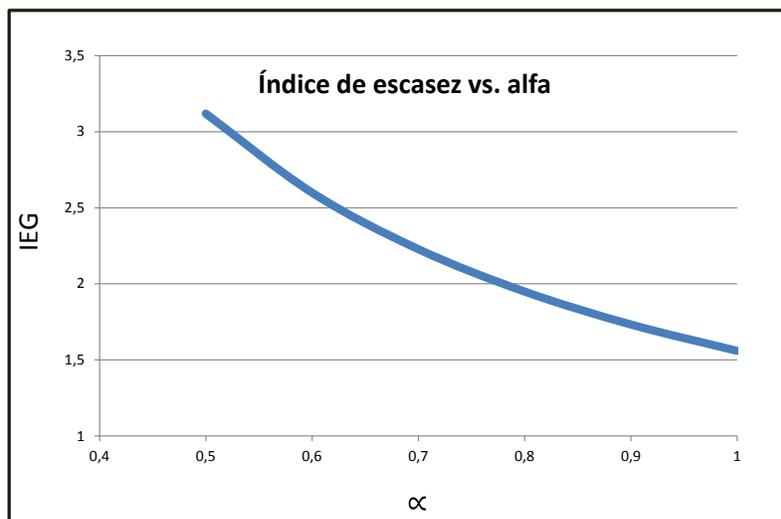
$$Q_E = \alpha Q_N$$

Acorde con los valores de α de 0,5 a 1, se calculó el caudal explotable, y posteriormente el Índice de escasez de agua subterránea para todos los α (0).

$$I_{EG} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{c_i}}{Q_E}$$

TABLA 9. Valores del caudal explotable y del índice de escasez de agua subterránea en función de α

Índice de Escasez en función de valores α				
α	Qci	QN	QE	IEG
0,5	1331,81	854	427	3,118992974
0,6	1331,81	854	512,4	2,599160812
0,7	1331,81	854	597,8	2,227852124
0,8	1331,81	854	683,2	1,949370609
0,9	1331,81	854	768,6	1,732773875
1	1331,81	854	854	1,559496487



GRÁFICA 3. Índice de escasez vs. Alfa

5.2 Plan de Gestión Ambiental del Acuífero de la Formación Guadalupe y de los Cerros Orientales Como Zona de Recarga

El Plan de Gestión Ambiental (PGA) de los Cerros orientales vistos como zona de recarga de los acuíferos Cuaternario y de la Formación Guadalupe, orienta la gestión ambiental de las aguas subterráneas de aprovechamiento y de su zona de recarga, con el fin de generar la sostenibilidad a largo plazo tanto de la zona de recarga como de los reservorios subterráneos.

La propuesta de objetivos y estrategias orientados a la gestión ambiental de la recuperación y conservación de los Cerros orientales, vistos como la zona de mayor infiltración de los acuíferos aprovechados para su explotación en la Sabana de Bogotá, incorpora criterios ambientales que involucran la sostenibilidad y el desarrollo de la ciudad y de la región, teniendo en cuenta a todos los actores inmersos en la problemática ambiental.

Los Cerros, además de prestar bienes y servicios ambientales, hay que verlo como el lugar de asentamiento de poblaciones, las cuales tienen derecho a un hábitat sano y seguro. Las poblaciones asentadas y los sectores productivos que sacan provecho de los Cerros orientales, deben involucrarse activamente en el desarrollo del PGA, manifestando la problemática que visualizan y aportando para que sea posible el cumplimiento de los objetivos y estrategias propuestas.

Los Cerros vistos como zona de recarga de los acuíferos de la Sabana de Bogotá, son de especial interés no solo para las poblaciones asentadas allí, o a las que de una u otra manera se benefician directamente de ellos, sino también debería ser de interés de los habitantes de la ciudad y de las poblaciones aledañas, que sacan provecho del uso del agua subterránea a través de pozos profundos, aljibes o manantiales en donde el nivel freático corta la superficie. La pretensión del PGA, además de cumplir con los objetivos propuestos, se enmarca en el trasfondo de armonizar los procesos urbanos y rurales con los procesos

ecológicos, integrando las demandas sociales y del sistema económico con respecto a las capacidades de oferta y conservación del sistema acuífero.

5.2.1 Proceso de Formulación del Plan de Gestión Ambiental del Acuífero de la Formación Guadalupe y de los Cerros Orientales como Zona de Recarga

5.2.1.1 Referentes técnicos-normativos

Los principios generales de la política ambiental establecidos en la Ley 99 de 1993, determinan los procesos de desarrollo económico y social; la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad; la conservación prioritaria de zonas sensibles, entre ellas páramos, subpáramos, nacimientos de agua y zonas de recarga de acuíferos; la investigación científica y el principio de precaución; los costos ambientales para la prevención, corrección y restauración del deterioro ambiental; la protección del paisaje como patrimonio común; la prevención de desastres; la acción conjunta del Estado, comunidad, organizaciones no gubernamentales y el sector privado para la protección y recuperación ambiental; los estudios de impacto ambiental; la gestión ambiental democrática, descentralizada y participativa; el establecimiento del Sistema Nacional Ambiental (SINA) y la estructuración de instituciones ambientales (Ley 99, 1993).

Dentro del Plan de Gestión Ambiental (PGA), las competencias de las diferentes entidades del Estado son las encargadas de coordinar las propuestas con las posibilidades de acción. En el caso del PGA de los Cerros Orientales, la legislación vigente define las funciones del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, el departamento de Cundinamarca y los municipios en donde se encuentran los Cerros en cabeza del Distrito Capital. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible tiene como principal función la formulación, dirección y coordinación de las políticas, la regulación, los planes y los programas en materia ambiental.

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca tiene como funciones la ejecución de las políticas, planes y programas nacionales sobre medio ambiente y recursos renovables

definidos por el Ministerio y ejercer como máxima autoridad ambiental en el departamento (Artículo 30, Ley 99, 1993).

El departamento y los municipios, también tienen la función de ejecutar las políticas y programas ambientales, expidiendo disposiciones relacionadas con el ambiente, sujetas a las normas establecidas por el Ministerio y la Corporación. Además deben cumplir funciones de control y vigilancia, apoyando técnica, financiera y administrativamente a la Corporación en los programas y proyectos de carácter ambiental.

De acuerdo a lo anterior, el esquema de gestión ambiental se construye a través de la inclusión e integración de todos los actores involucrados, en donde los recursos de inversión derivados de los Programas del Estado, de la Corporación y demás entidades del Estado son el principal instrumento de gestión. La regulación de la gestión ambiental se da a través de la aplicación de la normatividad dada por el Estado, al igual que el control y vigilancia sobre las obligaciones ambientales de los diferentes actores.

La democracia participativa establecida en la Constitución Política de 1991 y fortalecida con la Ley 134 de 1994, generó el espacio para que la ciudadanía pueda participar en los asuntos del gobierno. La gestión ambiental definida en la Ley 99 de 1993, también incentiva la participación social en lo referente a asuntos de materia ambiental, y han sido éstos especialmente del interés de un gran número de organizaciones sociales. Los mecanismos de participación social como lo son la consulta previa y las audiencias públicas, han tenido gran acogida, vistos como espacios que favorecen la participación social en la gestión ambiental.

Los conflictos ambientales han incentivado la participación social de aquellos que se ven afectados, dirigiendo los ojos del gobierno sobre las causas y consecuencias reales de la problemática ambiental asociada a actividades de tipo social, cultural, política y económica, lo que ha repercutido directamente sobre el modelo de desarrollo.

5.2.1.2 Propuesta Metodológica

Para el diseño metodológico del planteamiento del Plan de Gestión Ambiental (PGA) de los Cerros Orientales, se tuvo en cuenta los elementos de gestión ambiental que amparan, los Cerros dentro del marco de la protección de zonas de recarga, y los acuíferos de la Sabana de Bogotá. Dentro de estos se tuvieron en cuenta el PGA del Distrito Capital (2008 – 2038) y sus informes anexos de gestión de recursos, los Lineamientos de Política Ambiental para la Región Central, y el Decreto 1200 de 2004, para tener una concepción del estado actual ambiental de los Cerros Orientales y de las aguas subterráneas de la Sabana de Bogotá y visualizar sus principales problemáticas.

Las problemáticas ambientales que se concentran en torno a los Cerros Orientales y al acuífero de la Formación Guadalupe, son explicadas con detalle en este mismo documento en el marco conceptual de presiones, haciendo evidente la necesidad de desincentivar y controlar la ocupación y asentamiento de la población en la zona de los Cerros, para mejorar su funcionalidad ambiental, como lo propone el Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito (POT 2013).

El análisis integral del territorio tiene como objetivo seleccionar las formas óptimas de uso de suelo según la cobertura vegetal, en este caso de los Cerros Orientales, considerando los aspectos biofísicos, socioeconómicos, administrativos, y de funcionamiento espacial, cada uno ya estudiado con profundidad en el marco conceptual. A partir de éste análisis, se evalúa el estado ambiental actual para la construcción de éste Plan de Gestión, tomando en cuenta las políticas ambientales que recaen sobre el área de los Cerros Orientales vistos como zona de recarga del acuífero de la Formación Guadalupe, y las políticas de aguas subterráneas que recaen sobre el mismo.

- Cronograma

CRONOGRAMA PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL, ZONA DE RECARGA CERROS ORIENTALES													
ACTIVIDAD	MES												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Revisión y análisis de documentos de política nacional, regional y local	■	■											
Consolidación de la información			■	■									
Análisis integral del territorio				■	■								
Análisis de la Gestión Ambiental del área					■	■							
Formulación de las líneas estratégicas							■	■					
Formulación de los instrumentos de seguimiento y evaluación del Plan de Gestión Ambiental								■	■				
Aprobación del Plan de Gestión Ambiental										■	■	■	
Divulgación del Plan de Gestión Ambiental													■

5.2.2 Políticas ambientales

5.2.2.1 Políticas ambientales nacionales

- Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH)

La política para la GIRH se desarrolla en el marco de garantizar el desarrollo de la población colombiana actual y futura, por medio de la conservación y uso sostenible del recurso natural más importante para los humanos y ecosistemas. Esta política se ha establecido en base a seis (6) objetivos específicos (Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, 2010).

- OFERTA. Conservar los sistemas naturales y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país.
 - DEMANDA. Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua del país.
 - CALIDAD. Mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico.
 - RIESGO. Desarrollar la gestión integral de riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua.
 - FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL. Generar las condiciones institucionales y normativas para la GIRH.
 - GOBERNABILIDAD. Consolidar y fortalecer la gobernabilidad para una gestión integral del recurso hídrico.
- Programa para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de la alta montaña colombiana: Páramos

Este programa tiene como objetivo principal orientar la gestión ambiental de los páramos, adelantando acciones para su manejo sostenible y restauración con cuatro (4) subprogramas.

- Generación de conocimiento y socialización de información de la ecología, la diversidad biológica y el contexto sociocultural de los ecosistemas de páramo.
 - Planificación ambiental del territorio como factor básico para avanzar hacia el manejo ecosistémico sostenible.
 - Restauración ecológica en ecosistemas de páramo.
 - Identificación, evaluación e implementación de alternativas de manejo y usos sostenible en ecosistemas de páramo.
- Política nacional para humedales interiores de Colombia
- Esta Política tiene como fin mantener y obtener beneficios ecológicos, económicos y socioculturales a partir de la conservación y uso sostenible de los humedales del interior de Colombia. Se pretende lograr lo anterior por medio de tres objetivos específicos.

- Manejo y uso racional. La integración de los humedales en los procesos de planificación y ordenamiento territorial, a través del Ordenamiento Ambiental territorial de humedales y la promoción de la sostenibilidad ambiental de los sectores productivos relacionados con éstos.
 - Conservación y recuperación. Se plantea la conservación de humedales y la rehabilitación y restauración de éstos.
 - Concientización y sensibilización.
- Política Nacional de Gestión Integral de la Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos
Esta política reconoce la biodiversidad como fuente principal de servicios ecosistémicos, indispensables para el desarrollo del país, en el marco de la Gestión Integral para la Conservación de la Biodiversidad y de sus Servicios Ecosistémicos, contenida en el actual Plan Nacional de Desarrollo. La Política tiene diferentes ejes temáticos, donde involucra al Estado, sectores productivos y sociedad civil.
 - Biodiversidad, conservación y cuidado de la naturaleza
 - Biodiversidad, gobernanza y creación de valor público
 - Biodiversidad, desarrollo económico, competitividad y calidad de vida
 - Biodiversidad, gestión del conocimiento, tecnología e información
 - Biodiversidad, gestión del riego y suministro de servicios ecosistémicos
 - Biodiversidad, corresponsabilidad y compromisos globales.
 - Política de Bosques
El objetivo general de ésta política es el uso sostenible de los bosques, para conservarlos, incorporar el sector forestal en la economía nacional y el mejoramiento de la calidad de vida de la población, a través de cuatro (4) estrategias.
 - Modernizar el sistema de administración de bosques
 - Conservar, recuperar y usar los bosques naturales

- Fortalecer los instrumentos de apoyo como la investigación, los sistemas de información, la participación ciudadana y la educación ambiental
- Consolidar la posición internacional en materia de bosques.

5.2.2.2 Políticas Ambientales Regionales

- Política Ambiental para la Región Central (Bogotá – Cundinamarca, Boyacá – Tunja, Meta, Villavicencio, Tolima – Ibagué)

Para ésta política se consideró una propuesta conceptual de estructura ecológica propia de la Región Central, que delimita y consolida “*Un sistema natural interconectado que da sustento a los procesos y funciones ecológicas esenciales y a la oferta de servicios ecosistémicos (actuales y futuras) que soporta el desarrollo socioeconómico y cultural de las poblaciones en el territorio*”. La Estructura Ecológica Regional – EER de la Región Central se constituye por dos componentes.

- Estructura ecológica principal (o de soporte). Son el conjunto de ecosistemas naturales interconectados estructural y funcionalmente
 - Infraestructura ecológica. Son los elementos construidos o transformados que prestan servicios ecosistémicos, soportando el desarrollo socioeconómico y cultural de las poblaciones.
- Ley 388 de 1997 “Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones”, Por la cual se dictan normas sobre planes de desarrollo municipal.
 - Plan de Desarrollo Departamental – Cundinamarca 2012 – 2016 “Cundinamarca, calidad de vida”.
 - Plan de Desarrollo 2012 – 2016 “Bogotá Humana”.
 - Plan de Gestión Ambiental de la CAR – PGA 2012-2015.
 - Plan de Ordenamiento Territorial POT Bogotá.

5.2.3 Instrumentos de planeación ambiental

Los instrumentos de planeación ambiental son los componentes de la gestión ambiental que, de acuerdo a sus alcances y características específicas, cumplen, se enmarcan y permiten materializar el Plan de Gestión Ambiental. Dentro de estos se encuentran los “instrumentos operativos de planeación ambiental”, por un lado, y “otros instrumentos de planeación ambiental”.

Los instrumentos operativos de planeación ambiental son aquellos que se implementan de manera directa y a corto plazo por las entidades distritales, municipales o locales. Para el caso específico de los Cerros Orientales, estarían implícitos los Planes Institucionales de Gestión Ambiental (PIGA), los cuales tienen implicaciones político-administrativas.

Los otros instrumentos de planeación ambiental, son aquellos que se orientan hacia el manejo específico de la recuperación y conservación de los recursos naturales, entre los cuales estarían incluidos los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) y los Planes de Manejo Ambiental de áreas protegidas (PMA).

5.2.3.1 Planes Institucionales de Gestión Ambiental (PIGA)

Los PIGA son instrumentos de planeación ambiental institucional a corto plazo que priorizan y proyectan las acciones ambientales a ejecutar por las diferentes entidades involucradas, en éste caso con el uso ecoeficiente del recurso hídrico subterráneo de la Sabana de Bogotá.

El PIGA de cada entidad involucrada en la problemática ambiental definida, deberá establecer políticas ambientales y las metodologías de evaluación de impacto ambiental. A partir de lo anterior, surge el diagnóstico integral de la situación ambiental, donde se identifican las debilidades y fortalezas. Los objetivos son formular los programas de gestión ambiental institucional e implementar el plan de acción.

5.2.3.2 Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA)

Los POMCA, son los instrumentos de planeación encargados de la ordenación de las cuencas hidrográficas sujetos a los objetivos del PGA teniendo como objetivo principal *“el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos. La ordenación así concebida constituye el marco para planificar el uso sostenible de la cuenca y la ejecución de programas y proyectos específicos dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o restaurar la cuenca hidrográfica.”*(Decreto 1729, 2002).

En el caso específico de los Cerros Orientales como zona de recarga de los acuíferos de la Sabana de Bogotá, las autoridades ambientales a cargo de establecer el POMCA de las cuencas hidrográficas asociadas a los Cerros y a la Sabana de Bogotá, son la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), la Corporación Autónoma Regional (CAR) y la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN), organizaciones y la ciudadanía en general. Las principales cuencas implicadas con el caso de estudio son las del río Bogotá, El Tunjuelo, El Fucha, El Salitre y Torca.

5.2.3.3 Planes de Manejo Ambiental (PMA)

Los PMA son instrumentos que se encaminan al cumplimiento de los objetivos del PGA en el marco de la calidad ambiental y de la armonía socio-ambiental, los cuales son implementados de acuerdo a las necesidades y particularidades del área de estudio, de los recursos naturales específicos y las actividades socio-económicas. De acuerdo a lo establecido por el Decreto 190 de 2004 *“las áreas declaradas como parte del Sistema de Áreas Protegidas contarán con un Plan de Manejo, el cual debe ser aprobado por la*

autoridad ambiental competente”, en éste caso la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), la Corporación Autónoma Regional (CAR) y la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN).

5.2.4 Objetivos de la gestión ambiental de los Cerros Orientales y de los Acuíferos de la Sabana de Bogotá

5.2.4.1 Calidad ambiental

Lograr que el estado y las condiciones de los recursos naturales asociados a los Cerros Orientales y a los acuíferos de la Sabana de Bogotá sean óptimos en cuanto a los valores permisibles determinados por la normativa ambiental. Se incluye la calidad del agua y la regulación hidrológica, el paisaje, la conservación y adecuado manejo de la flora, la estabilidad climática y la gestión de riesgos y desastres.

- **Calidad del agua y regulación hidrológica**

Contribuir a la recuperación y conservación de las características fisicoquímicas y biológicas de los cuerpos de agua como humedales, lagos, ríos, quebradas y canales, relacionados con los acuíferos y sus aguas subterráneas, que estén asociados a los Cerros Orientales y a la Sabana de Bogotá. Caracterización y vigilancia de la calidad en la masa de agua subterránea tanto del acuífero Cuaternario, como del acuífero de la Formación Guadalupe. Determinación y vigilancia de la situación en que se encuentran los parámetros que limitan el uso de la masa de agua y que son específicos de su calidad natural, (p.ej. arsénico, fluoruros, etc.). Identificación de los efectos que tienen sobre la calidad de la masa de agua subterránea las fuentes de contaminación difusa, tales como la aplicación de fertilizantes o plaguicidas.

- Calidad del paisaje

Proteger e incrementar el valor escénico de los Cerros Orientales, con la preservación de los elementos naturales asociados a estos.

- Conservación y adecuado manejo de la flora

Aportar a la restauración, preservación e incremento de la riqueza biológica y ecosistémica asociada a la cobertura vegetal nativa, clave en el mantenimiento de los suelos y en los procesos de infiltración y recarga del recurso hídrico en los Cerros Orientales y en la Sabana de Bogotá.

- Estabilidad climática

Reducir los impactos del cambio climático, protegiendo la región frente a los efectos de éste. Gestionar y ejecutar proyectos encaminados a la adaptación al cambio climático global, vinculando la participación activa de la población local, urbana y rural de los Cerros orientales y de la Sabana de Bogotá.

- Gestión ambiental de riesgos y desastres

Ejecutar acciones dirigidas a la prevención y atención de desastres relacionados con la ocurrencia de fenómenos naturales, antrópicos y socio-naturales asociados a los Cerros Orientales.

5.2.4.2 Ecoeficiencia

Crear más bienes y servicios, utilizando menos recursos y generando menos desechos y polución, teniendo en cuenta el uso eficiente del agua de fuentes subterráneas en la Sabana de Bogotá.

- Uso eficiente del agua

Mantener la oferta hídrica mediante la conservación de los ecosistemas reguladores y el ciclo hidrológico regional, protegiendo páramos y bosques nativos de los Cerros Orientales. Identificación de posibles tendencias, en relación con el uso del agua subterránea. Estimación del potencial para un desarrollo posterior de las aguas subterráneas. Promover la explotación y el consumo racional del recurso acuífero para su sostenibilidad, vinculando a los actores involucrados en la situación ambiental. Incentivar la cultura de consumo del recurso, mediante medidas racionales, identificando los impactos tanto positivos como negativos de éstas. Implementación de alternativas de tecnologías limpias y análisis de costos y beneficios.

5.2.4.3 Armonía socio-ambiental

Establecer una relación armónica entre los efectos de la eficiencia del ecosistema y la calidad del ambiente y del recurso hídrico subterráneo sobre el desarrollo físico, cultural, social y económico. Optimizar la relación entre los diferentes componentes ambiental-cultural, ambiental-social y ambiental-económico, incluyendo la productividad y competitividad sostenible; la cultura ambiental y la socialización.

- Productividad y competitividad sostenible

Dirigir el aprovechamiento y transformación sostenible del territorio de los Cerros Orientales y de la Sabana de Bogotá y los recursos hídricos subterráneos, donde se generen directa o indirectamente condiciones para la población de satisfacer las necesidades básicas y en general el incremento de la competitividad de la región y de su oferta ambiental. Potencializar el efecto de la oferta del recurso hídrico subterráneo y su gestión ambiental relacionada con el desarrollo económico, y el subsecuente bienestar de la población asentada en los Cerros Orientales, en el Distrito Capital y municipios aledaños de la Sabana de Bogotá.

- Cultura ambiental

Fomentar culturalmente conceptos, valores y prácticas relacionadas con la conservación del patrimonio natural y la gestión de los recursos naturales, en especial del recurso hídrico subterráneo.

Generar conciencia entre los diferentes actores relacionados con la situación ambiental que implica la explotación y uso de las aguas subterráneas de la Sabana de Bogotá. Involucrar activamente a los diferentes actores, creando valores ambientales orientados hacia los indicadores de ecoeficiencia, calidad ambiental y desarrollo armónico.

- Socialización

Establecer estrategias para divulgar y crear conciencia de la problemática ambiental y de la responsabilidad individual y colectiva de la sociedad civil, el sector privado y las entidades públicas con la ecoeficiencia y la calidad ambiental de los acuíferos de la Sabana de Bogotá y de los Cerros orientales como zona de recarga de estos.

Generar redes de información y de comunicaciones, incentivando la participación de la sociedad para que se apersona de los aspectos ambientales del territorio, problemáticas y soluciones, y asuma actividades de corresponsabilidad.

5.2.5 Estrategias

Las estrategias del Plan de Gestión Ambiental (PGA) de los Cerros Orientales y del Acuífero de la Formación Guadalupe, están representadas a partir de planteamientos que surgen de la necesidad de integrar las acciones institucionales, económicas y sociales para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en éste PGA. Las estrategias tienen por finalidad hacer frente a las problemáticas ambientales identificadas en este documento, relacionadas con el conocimiento, preservación, conservación y uso sostenible tanto de la zona de recarga como del recurso hídrico subterráneo.

5.2.5.1 Investigación

La investigación busca la construcción del conocimiento ambiental, mediante información científica y técnica para la planificación y la gestión ambiental de los Cerros Orientales como zona de recarga de los acuíferos de la Sabana de Bogotá. Este planteamiento estratégico, se basa en la necesidad de articular y coordinar las acciones, los proyectos y los recursos destinados a la investigación ambiental. Esta investigación debe estar soportada por las entidades ambientales gubernamentales y también por actores externos académicos como universidades públicas y privadas, institutos y organizaciones ambientalistas de Cundinamarca y del Distrito, principalmente. Dentro del marco de investigación son de gran aporte:

- CAR (Corporación Autónoma de Cundinamarca)
- SDA (Secretaria Distrital de Ambiente)
- COLCIENCIAS (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación)
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia)
- IDIGER (Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático)
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
- Jardín Botánico José Celestino Mutis
- Empresa de Acueducto de Bogotá
- Universidades Públicas
- Universidades Privadas

La comunidad científica comprometida con la generación de conocimiento sobre la problemática ambiental, principalmente ecólogos, biólogos, hidrogeólogos y ambientalistas en general, deben dar cabida a acciones y observaciones referentes a la situación actual de los Cerros Orientales vistos como zona de recarga y su relación directa con las reservas de

agua subterránea de la Sabana de Bogotá. En cabeza de la Corporación Autónoma de Cundinamarca, de la Secretaria Distrital de Ambiente, de la Empresa de Acueducto de Bogotá y acueductos de los municipios circundantes, y de la mano de institutos, organizaciones y universidades, se debe fortalecer la investigación para la conservación y uso sostenible tanto de los recursos de los Cerros Orientales como de los acuíferos alimentados por éstos.

Dentro del marco de la gestión del recurso hídrico subterráneo y de la estrategia de investigación, deben surgir proyectos ligados a la implementación de modelos numéricos para la gestión, como es el caso de este documento, en donde se calcula el índice de escasez de agua subterránea para el acuífero de la Formación Guadalupe.

Estos proyectos aportarán conocimiento de la relación entre las aguas superficiales y subterráneas para entender el comportamiento del acuífero ante situaciones y supuestos específicos. Además los modelos numéricos mostraran el estado actual de la información disponible, detectando las falencias que existen en ésta, incentivando a la búsqueda de aproximaciones más acertadas de los modelos conceptuales previamente establecidos.

5.2.5.2 Educación ambiental

La educación ambiental pretende construir conceptos y valores comunes que faciliten la comunicación y cooperación entre los distintos actores involucrados en la situación ambiental. De esta manera, se concientiza a los diferentes actores de la problemática ambiental asociada a la explotación y utilización del recurso hídrico subterráneo y a su relación con la zona de recarga de los reservorios acuíferos, promoviendo cambios en la conducta, mejorando la interacción con el recurso y sus potencialidades.

La vinculación de diferentes actores en la educación ambiental, es fundamental en la construcción colectiva del conocimiento para la consecuente apropiación del recurso para su conservación y cuidado desde el diario vivir, con hábitos y actitudes favorables. Dentro

de los actores que deben involucrarse en la estrategia de educación ambiental están la comunidad educativa, la sociedad civil, las ONG, entidades gubernamentales, universidades, líderes comunitarios y demás actores que tienen incidencia, como lo plantea la Política Nacional de Educación Ambiental.

En el marco de la educación ambiental, se han conformado y consolidado Comités Técnicos Interinstitucionales de Educación Ambiental (CIDEA) a nivel departamental y local, los cuales apoyan la educación ambiental escolar con los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE) y los Proyectos Ciudadanos de Educación Ambiental (PROCEDA). El fortalecimiento de conocimiento acerca de la importancia de los Cerros Orientales y de su relación con el recurso hídrico del cual nos beneficiamos, puede comenzar con la inclusión de ésta problemática ambiental en el ámbito escolar con los PRAE tanto de los colegios del distrito como de los municipios de la Sabana de Bogotá. Las instituciones distritales, municipales y departamentales como la SDA, el IDIGER de mano de otras instituciones ambientales como el Jardín Botánico y el IDEAM, deben fortalecer sus programas de educación ambiental y de apropiación territorial con las comunidades y mesas de trabajo de los Cerros Orientales y de las cuencas hidrográficas enmarcadas en la recarga del acuífero de la Formación Guadalupe, para encaminar conocimiento tanto para la protección, conservación y recuperación de los Cerros Orientales, como para limitar la explotación de aguas subterráneas para mantener el recurso en el tiempo. De igual forma el tema de conservación y uso sostenible de acuíferos, debe comenzar a ser parte de los Proyectos Ciudadanos y de los Comités Interinstitucionales. El fortalecimiento de la educación ambiental en ésta temática, también puede ser potenciado con otras estrategias como lo son las Aulas Ambientales, donde se forja la intervención y apropiación de la ciudadanía en las problemáticas ambientales; y la promoción por parte tanto del sector público como privado, de actividades de senderismo y ecoturismo por los Cerros Orientales, enfatizando su diversidad ecosistémica y su papel como “fábrica de agua”.

5.2.5.3 Participación

La participación tiene como objetivo, la retroalimentación de los distintos actores sociales en torno a la situación ambiental inherente a la explotación y utilización de las aguas subterráneas en la Sabana de Bogotá, optimizando los flujos de información y la coordinación entre los distintos actores involucrados en la gestión ambiental (comunidad Cerros Orientales, sectores agrícolas, ganaderos, mineros, autoridades ambientales, población Distrito Capital y municipios aledaños). El fortalecimiento del desempeño de cada uno de los actores involucrados, para potencializar el dinamismo participativo de la población es clave para la conservación y uso eficiente del recurso.

Con la participación activa de los diferentes actores sociales involucrados, se trabajará en la construcción de un modelo de gestión ambiental que permita atender las demandas ciudadanas, de forma ágil y efectiva, donde se tenga perfecta claridad de las competencias y funciones ambientales entre lo local y lo regional, considerando el marco legal vigente y las propuestas de la administración central, así como el fortalecimiento de la democracia local participativa y representativa y optimizar la oferta institucional a la población. Es necesario la apertura de espacios y mecanismos de participación por parte de las agencias gubernamentales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, CAR, Secretaria Distrital de Ambiente), en donde las organizaciones sociales – ambientales - económicas y la comunidad puedan ser parte de la gestión del recurso.

Las mesas de trabajo como la existente entorno a los Cerros Orientales debe ser fortalecida y orientada hacia la participación ambiental de los líderes como de la comunidad en general para proteger y conservar el recurso hídrico subterráneo para su uso sostenible en el tiempo.

5.2.5.4 Control y vigilancia

El objetivo de la estrategia de control y vigilancia es monitorear y hacer seguimiento a los objetivos, determinantes, variables ambientales, normas ambientales y acciones pedagógicas.

El cumplimiento de la normatividad ambiental, para defender los derechos ambientales colectivos e individuales, es de vital importancia para la conservación y el uso normado del recurso hídrico subterráneo. El control y la vigilancia, van enfocados hacia la conducta ambiental más adecuada, propiciando mecanismos que faciliten su cumplimiento, acompañados de la previa socialización de la normativa.

Con base en la educación ambiental y en la concientización de la importancia del uso del recurso, se espera un fortalecimiento del autocontrol y el control social, buscando aportar a la solución de las causas de la problemática ambiental, a la recuperación y conservación del ambiente.

La explotación y uso de las aguas subterráneas en la Sabana de Bogotá están sujetos a la legislación normada por:

- Código Nacional de los Recursos Naturales – Decreto Ley 2811 de 1974
- Decreto 1541 de 1978 – Reglamenta el uso de aguas superficiales y subterráneas
- Ley 99 de 1993 – Sistema ambiental de Colombia
- Decreto 1220 de 2005 – Licencias ambientales
- Ley 373 de 1997 – Ahorro y uso eficiente del agua en Colombia
- Acuerdo 10 de 1989 de la CAR – Reglamenta usos del agua
- Decreto 1575 de 2007 – Establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano
- Ley 142 de 1994 – Servicios públicos domiciliarios
- Decreto 901 de 1997 – Tasas retributivas por uso de agua
- Decreto 1449 de 1977 – Conservación y protección del recurso hídrico

5.2.6 Escenario financiero

Este PGA por no ser un instrumento exclusivo de ninguna de las entidades ambientales concernientes al área de los Cerros Orientales y del acuífero de la Formación Guadalupe, es más bien una herramienta base para la formulación de los instrumentos de planificación, los cuales deben ser armonizados para la gestión ambiental como se establece en este documento, en donde los diferentes actores tienen compromisos y responsabilidades ambientales, por lo que es necesario el aporte financiero de estos para el cumplimiento de los objetivos del PGA.

El componente financiero del PGA, se basa en las inversiones ambientales que realizarán la Corporación Autónoma de Cundinamarca CAR, los municipios enmarcados por los Cerros Orientales y por el acuífero de la Formación Guadalupe, en cabeza del Distrito Capital, los sectores económicos e instituciones, a través de la financiación o ejecución de programas, proyectos o actividades de protección, conservación, uso sostenible del recurso hídrico subterráneo, educación ambiental y fortalecimiento institucional.

Para establecer lo anterior se tuvieron en cuenta:

- Ley 1450 de 2011, Artículo 20. Apoyos de la Nación al Sector Agua y Saneamiento Básico. Para efectos de lo previsto en la Ley 1450 de 2011, en especial, en el artículo 21, los recursos de cofinanciación, aportes de inversión regional y apoyo de la Nación al sector, son los apoyos financieros constituidos por las apropiaciones en el Presupuesto General de la Nación en el marco de los PAP-PDA, al igual que la asistencia técnica y/o los apoyos en especie entregados.
- Ley 1450 de 2011, Artículo 210. El artículo 111 de la Ley 99 de 1993 quedará así: Adquisición de áreas de interés para acueductos municipales. Declárense de interés público las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten de agua los acueductos municipales y distritales. Los departamentos y municipios dedicarán un porcentaje no inferior al 1% de sus ingresos corrientes para la adquisición y mantenimiento de dichas zonas o para financiar esquemas de pago por servicios ambientales. Los recursos de que trata el

presente artículo, se destinarán prioritariamente a la adquisición y mantenimiento de las zonas.

- Ley 1176 de 2007, Artículo 4. Distribución de los Recursos. El monto total del Sistema General de Participaciones, una vez descontados los recursos a que se refiere el párrafo 2° del artículo 2° de la Ley 715 y los párrafos transitorios 2° y 3° del artículo 4° del Acto Legislativo 04 de 2007, se distribuirá entre las participaciones mencionadas en el artículo 3° de la Ley 715, así: Un 5.4% corresponderá a la participación para agua potable y saneamiento básico.
- Decreto 1640 de 2012, Artículo 65. Se establece que la autoridad ambiental competente, las entidades territoriales y demás entidades del orden nacional, departamental o municipal, asentadas y con responsabilidades en el área del acuífero, podrán en el marco de sus competencias, invertir recursos en la ejecución de los proyectos y actividades de preservación, restauración y uso sostenible del acuífero.
- Decreto 1640 de 2012, Artículo 41. De las fuentes de financiación. Las entidades responsables de la implementación del Plan, en el marco de sus competencias, podrán destinar para este fin, los siguientes recursos:
 - Los provenientes de las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible competentes, tales como:
 - Las tasas retributivas por vertimientos a los cuerpos de agua.
 - Las tasas por utilización de aguas.
 - Las transferencias del sector eléctrico.
 - Las sumas de dinero que a cualquier título le transfieran las personas naturales y jurídicas con destino a la ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica.
 - Las contribuciones por valorización.
 - Las provenientes de la sobretasa o porcentaje ambiental.

- Las compensaciones de que trata la Ley 141 de 1994 o la norma que la modifique o adicione.
- Las tasas compensatorias o de aprovechamiento forestal.
- Convenio o contrato plan a que se refiere la Ley 1450 de 2011 en su artículo 8 para ejecución de proyectos estratégicos.
- Los demás recursos que apropien para la ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas.
- Recursos provenientes de las entidades territoriales, tales como:
 - El 1 % de que trata el artículo 111 de la Ley 99 de 1993 o la norma que la modifique, sustituya o adicione.
 - Los apropiados en su presupuesto en materia ambiental.
 - Los previstos en materia ambiental en el Plan Nacional de Desarrollo vigente, en relación con los planes para el manejo empresarial de los servicios de agua y saneamiento.
- Recursos provenientes de los usuarios de la cuenca hidrográfica, tales como:
 - El 1 % de que trata el parágrafo del artículo 43 de la Ley 99 de 1993 o la norma que la modifique, sustituya o adicione.
 - Los que deban ser invertidos en medidas de compensación por el uso y aprovechamiento y/o intervención-afectación de los recursos naturales renovables.
 - Los no derivados del cumplimiento de la legislación ambiental en el marco de su responsabilidad social empresarial.
- Los provenientes del Sistema General de Regalías.
- Los provenientes del Fondo de Compensación Ambiental.
- Los provenientes del Fondo Nacional Ambiental -FONAM.
- Los provenientes del Fondo de Adaptación.
- Los provenientes de los fondos que para tal efecto reglamente el gobierno nacional.

- Los provenientes de cualquier otra fuente financiera y económica que la autoridad ambiental competente, identifique y deba ser ejecutada por parte de las personas naturales y/o jurídicas que tengan asiento en la cuenca hidrográfica.
 - Los provenientes de donaciones.
- Recursos provenientes de la Ley 1454 de 2011. Las inversiones y costos de los programas, proyectos y actividades definidos en el plan de manejo ambiental de acuíferos, así trasciendan los límites jurisdiccionales, podrán ser asumidos conjuntamente por las autoridades ambientales competentes, y las entidades territoriales.

5.2.7 Seguimiento y evaluación

El seguimiento y evaluación del Plan de Gestión Ambiental (PGA) del Acuífero de la Formación Guadalupe y de los Cerros Orientales como zona de recarga, se coordinará con las instituciones y los sectores productivos y sociales. Principalmente, la Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR) de la mano de los Sistemas de Información Ambiental diseñados por el IDEAM, liderarán el monitoreo de sostenibilidad ambiental.

Para llevar a cabo el seguimiento de la gestión, es pertinente la realización de informes periódicos (anuales), reportando los avances en el cumplimiento de los objetivos propuestos en éste PGA. La participación de los diferentes sectores en los espacios dispuestos para la divulgación y socialización de la gestión ambiental, dará cabida al control social de los objetivos propuestos en el PGA, a través de mecanismos como Audiencias Públicas y Rendición de Cuentas Públicas.

Para la evaluación del PGA se plantean aquí Indicadores de Gestión, derivados de lo propuesto en la Resolución 0964 de 2007 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, adaptados y ajustados para las condiciones de los Cerros Orientales y del Acuífero de la Formación Guadalupe.

5.2.7.1 Indicadores de Gestión

Un indicador es un instrumento útil para medir variaciones y posibilitar comparaciones. Su objetivo fundamental es que informe de una manera clara, sencilla y rápida, permitiendo la evaluación de un recurso determinado de acuerdo a los planes y proyectos del que es objetivo.

LÍNEA ESTRATÉGICA	ACCIÓN	DESCRIPCIÓN	ACTORES	LUGAR DE ACCIÓN	INDICADOR
Conservación y Protección de la zona de recarga	Identificación y delimitación de la zona de recarga (Cerros Orientales)	Se debe identificar y delimitar las zonas en que se realiza la recarga de los acuíferos Cuaternario y de la Formación Guadalupe, sobre los Cerros Orientales. Tomar medidas que permitan la sostenibilidad del sistema acuífero, además de impedir efectos negativos sobre éste, relacionados con el uso de suelo en éstas zonas.	Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), Secretaria Distrital de Ambiente (SDA)	Cerros Orientales	Área de recarga acuíferos (km ²)
	Identificación zonas de vulnerabilidad y zonas afectadas	Se debe identificar las zonas con mayor vulnerabilidad dentro del área de recarga de los acuíferos. Así mismo debe identificarse las zonas que tienen afectación dentro de ésta área, relacionadas con las presiones antropogénicas. Tomar medidas de gestión, con la zonificación ambiental sobre la zona de recarga	Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), Secretaria Distrital de Ambiente (SDA)	Cerros Orientales	Áreas vulnerables y afectadas (km ²) - Mapa zonificación ambiental y de clasificación de suelos

LÍNEA ESTRATÉGICA	ACCIÓN	DESCRIPCIÓN	ACTORES	LUGAR DE ACCIÓN	INDICADOR
		y la clasificación de suelos.			
	Reforestación y Restauración zonas de recarga	Después de identificar las zonas de recarga vulnerables y afectadas por deforestación, se debe iniciar programas y proyectos de reforestación con vegetación nativa favorecedora de recarga de agua por infiltración.	Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), Jardín Botánico de Bogotá, Organizaciones ambientales involucradas	Cerros Orientales	Áreas vulnerables y afectadas reforestadas (km ²)
Recarga	Monitoreo Precipitación	Establecer puntos de medición de precipitación sobre la zona de recarga a través de las redes de	IDEAM	Cerros Orientales	Precipitación (mm/año)

LÍNEA ESTRATÉGICA	ACCIÓN	DESCRIPCIÓN	ACTORES	LUGAR DE ACCIÓN	INDICADOR
		pluviómetros en el área.			
	Monitoreo Infiltración	Establecer puntos de medición de infiltración en la zona de recarga a través de infiltrómetros en el área.	IDEAM	Cerros Orientales	Infiltración (mm/min)
Modelo Hidrogeológico	Licitación Estudio modelo hidrogeológico acuífero Formación Guadalupe	Abrir licitación para realizar la construcción del modelo hidrogeológico de la Formación Guadalupe	Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) y Contratistas.	Cerros Orientales, Distrito Capital y Sabana de Bogotá.	Contratista escogido
	Construcción modelo hidrogeológico	Realizar estudios con métodos de alta resolución y alcance como métodos magnetotelúricos, para determinar a ciencia cierta la forma, profundidad y características litológicas y estructurales del acuífero de la Formación Guadalupe.	Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) y Contratistas.	Cerros Orientales, Distrito Capital y Sabana de Bogotá.	Modelo Hidrogeológico

LÍNEA ESTRATÉGICA	ACCIÓN	DESCRIPCIÓN	ACTORES	LUGAR DE ACCIÓN	INDICADOR
Gestión de la Oferta hídrica Subterránea	Implementación de redes de monitoreo de niveles del acuífero Cuaternario y del acuífero de la Formación Guadalupe	Se utilizan para proveer datos representativos sobre el estado natural y las tendencias del acuífero, con fines de planeación, manejo y toma de decisiones sobre la protección y conservación de las aguas subterráneas.	IDEAM	Cerros Orientales, Distrito Capital y Sabana de Bogotá.	Variabilidad niveles piezométricos en el tiempo
	Evaluación de los efectos de cambio climático sobre las aguas subterráneas	Es necesario tener conocimiento de los posibles efectos del cambio climático sobre las aguas subterráneas para tomar medidas ante cualquier eventualidad.	Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), Universidades Públicas y Privadas	Cerros Orientales, Distrito Capital y Sabana de Bogotá.	Medidas de acción ante los efectos de cambio climático sobre acuíferos
Caracterización de la demanda	Actualización de inventarios de puntos de extracción de agua subterránea (Formulario Único Nacional de Aguas Subterráneas)	Los inventarios y el registro de usuarios permitirán establecer la demanda para los diferentes usos y proyectar las tendencias de uso y evaluar su sostenibilidad	Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), Secretaria Distrital de Ambiente (SDA)	Cerros Orientales, Distrito Capital y Sabana de Bogotá.	Inventario puntos de extracción de agua subterránea - usos. Puntos legalizados

LÍNEA ESTRATÉGICA	ACCIÓN	DESCRIPCIÓN	ACTORES	LUGAR DE ACCIÓN	INDICADOR
	Programas de legalización de puntos de extracción de agua subterránea existentes sin legalizar				
	Establecimiento de programas de uso eficiente y ahorro de agua	Promover el uso sostenible del recurso mediante la implementación de tecnologías apropiadas y programas de educación ambiental	Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), Acueducto de Bogotá y Acueductos municipales, comunidad educativa	Cerros Orientales, Distrito Capital y Sabana de Bogotá.	Consumo (m ³) de agua subterránea
Reducción de la contaminación de acuíferos	Redes de monitoreo de calidad de agua subterránea	Obtención de datos sobre el estado de la calidad del recurso hídrico subterráneo. Toma de decisiones para la planeación, manejo, protección y conservación de los acuíferos Cuaternario y de la Formación	IDEAM - Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), Secretaria Distrital de Ambiente (SDA)	Cerros Orientales, Distrito Capital y Sabana de Bogotá.	Datos sobre calidad de agua subterránea: Físicos, químicos, bacteriológicos y de interés sanitario

LÍNEA ESTRATÉGICA	ACCIÓN	DESCRIPCIÓN	ACTORES	LUGAR DE ACCIÓN	INDICADOR
		Guadalupe			
	Medidas de manejo en zonas identificadas como de alta vulnerabilidad	Establecimiento de restricciones o condicionamientos en las zonas más susceptibles de contaminación de acuíferos.	Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), Secretaria Distrital de Ambiente (SDA)	Cerros Orientales, Distrito Capital y Sabana de Bogotá.	Planes de manejo ambiental sobre actividades contaminantes de acuíferos. Legislación para la prevención de contaminación de aguas subterráneas
	Control y seguimiento de permisos de vertimientos y planes de cumplimiento	Control de vertimientos puntuales y difusos a corrientes y al suelo por las diferentes actividades socioeconómicas: Gasolineras, cementerios, minería, talleres automotrices	Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), Secretaria Distrital de Ambiente (SDA)	Cerros Orientales, Distrito Capital y Sabana de Bogotá.	Regulación de las diferentes actividades socioeconómicas

LÍNEA ESTRATÉGICA	ACCIÓN	DESCRIPCIÓN	ACTORES	LUGAR DE ACCIÓN	INDICADOR
Fortalecimiento institucional y Gobernanza	Educación ambiental	Establecer programas de educación ambiental que permitan conocimiento para mejorar actitudes de la población ante zonas de recarga y recurso hídrico subterráneo	Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), comunidad educativa	Cerros Orientales, Distrito Capital y Sabana de Bogotá.	Programas de educación ambiental - comunidad con conocimiento acerca zonas de recarga y recurso hídrico subterráneo
	Conformación de grupos de trabajo para gestionar el recurso hídrico subterráneo	Personal calificado para gestionar el recurso hídrico subterráneo con conocimientos hidrogeológicos y de gestión ambiental	Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), Secretaria Distrital de Ambiente (SDA)	Cerros Orientales, Distrito Capital y Sabana de Bogotá.	Personas capacitadas para trabajar en planes de manejo del recurso hídrico subterráneo

TABLA 10. Indicadores de Gestión

6. CONCLUSIONES

Los aspectos sociales, económicos y políticos que ejercen presión sobre los Cerros Orientales vistos como zona de recarga del Acuífero de la Formación Guadalupe, son un determinante en la situación ambiental actual y futura tanto de los Cerros, como del Acuífero.

El presente Plan de Gestión Ambiental (PGA), hace énfasis en la importancia de la gestión y control de las presiones antropogénicas, tales como crecimiento demográfico y de asentamientos humanos; competencia entre usos del recurso hídrico; contaminación por actividades agrícolas, ganaderas y mineras; deforestación de bosques e intervención en ecosistemas estratégicos.

Reconocer a los Cerros Orientales como un área estratégica de gran importancia, por los diferentes servicios ambientales que ofrece, nos conlleva a resaltar la importancia de generar y ejecutar Planes y Proyectos que garanticen su conservación y uso sostenible. La participación activa de todos los actores implicados en la problemática ambiental de los Cerros y del Acuífero, desde la concientización derivada de la educación ambiental, es vital para el desarrollo de la gestión de los recursos inherentes a los Cerros Orientales, destacando los recursos hídricos subterráneos, en el PGA propuesto aquí.

El Acuífero de la Formación Guadalupe, es un gran reservorio de agua, que aunque actualmente es aprovechado, debe ser estudiado con mayor atención, ya que en un futuro podría solucionar los problemas de desabastecimiento de agua a la población del Distrito Capital, como a las de los municipios aledaños de la Sabana de Bogotá. Estudios geológicos, hidrogeológicos y ambientales, deben ser una prioridad tanto para el Gobierno Nacional, como para las administraciones distrital y municipales, ya que urge un conocimiento certero acerca de los caudales captados, caudales explotables, la tasa de recarga natural y el índice de escasez de agua subterránea.

El presente trabajo evalúa las diferentes variables y factores determinantes en la capacidad del Acuífero de la Formación Guadalupe, para establecer su índice de escasez, y a partir de allí, construye un Plan de Gestión Ambiental de gran utilidad para la Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR) y para las diferentes instituciones encargadas de los aspectos ambientales, con el fin de conservar y gestionar un uso sostenible del recurso, pensando en las generaciones futuras que van a hacer uso del recurso hídrico subterráneo de éste Acuífero.

REFERENCIAS

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN – JICA Y EAAB (2003). Estudio del Desarrollo Sostenible del Agua Subterránea en la Sabana de Bogotá.

Betancourt, T. (2010). Hidrogeología para la gestión del recurso hídrico. Técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas para la validación de modelos hidrogeológicos conceptuales. Pp. 75-85.

Custodio, E. (1997). La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica.

Díaz, L; Ramos, B. (2008). Mapa Geológico de Colombia. Ariana Ltda.

Fandiño, E. (1975). Investigación para agua subterránea y perforación de un pozo para SUIZER S.A. EN Facatativá, Cundinamarca. Informe inédito de A. LOBO-GUERRERO Y CIA LTDA. para SUIZER S.A.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2005). El Índice de escasez de las aguas subterráneas como elemento de cálculo de la Tasa por uso del Agua. Documento de discusión. Publicado en línea.

INGEOMINAS (2004). Programa de exploración de aguas subterráneas.

LERNER, D.N. (1990). Techniques. En: Groundwater recharge. A guide to understanding the natural recharge. Pp. 99-229.

LOBO-GUERRERO (1992). Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y su Sabana.

MAVDT. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 1729 de 2002.

MAVDT. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 155 de 2004.

- MAVDT. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 190 de 2004.
- MAVDT. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico.
- Molano, C. (2002). Flujo y contaminación de aguas subterráneas.
- Palacio, P. y Betancour T. (2007). Identificación de fuentes y zonas de recarga a un sistema acuífero a partir de isótopos estables del agua. *Gestión y Ambiente*, Vol. 10. No. 1. Pp. 167-181.
- Rodríguez, C. (2004). Línea meteórica isotópica de Colombia. *Meteorol.Colomb.*8: Pp 43-51.
- Rushton, K. (1997). Recharge from permanent water bodies. En: *Recharge of Phreatic Aquifers in (Semi-) Arid Areas*. Róterdam: A.A. Balkema. Pp. 215-255.
- Samper, F.J. (1997). Métodos de evaluación de la recarga por la lluvia por balance de agua: utilización, calibración y errores. En: *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica*. Instituto Tecnológico Geominero de España. Pp. 41-79.
- Scanlon, B.R.; Healy, P.G.; Cook. (2002). Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. En: *Hydrogeology Journal*, No. 10. Pp.18-39.
- Toth, J (1963). A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins.
- Van der Hammen, T. (1958). Servicio Geológico Nacional. El Salto de Tequendama. Informe 1301.
- Van der Hammen, T. (1998). Plan Ambiental de la Cuenca Alta del Río Bogotá, Bogotá.
- VEGA, D.N. (2001). Flujo de Agua y contaminantes en la zona no saturada [En línea]. Universidad de Panamá. Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas. <<http://www.utp.ac.pa/universal/78.htm>

Veloza, J.A. (2013). Sistema de modelamiento hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá.