

Tabla de Contenido

| | |
|---|-----------|
| 1. GENERALIDADES..... | 6 |
| 1.1 Localización | 7 |
| 1.2 Metodología | 9 |
| 2. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA | 13 |
| 2.1 Geología..... | 13 |
| 2.1.1 Generalidades..... | 13 |
| 2.1.2 Estratigrafía..... | 14 |
| 2.2 Hidrogeoquímica | 21 |
| 2.2.1 Generalidades..... | 21 |
| 2.2.2 Recopilación y análisis de la información..... | 22 |
| 2.3 Hidrogeología..... | 23 |
| 2.3.1 Antecedentes | 23 |
| 3. HIDROGEOLOGÍA..... | 26 |
| 3.1 Sedimentos con flujo intergranular con baja a alta productividad | 26 |
| 3.1.1 Acuífero Tilatá (QTt)..... | 26 |
| 3.1.2 Acuífero Sabana (Qs) | 27 |
| 3.1.3 Acuífero depósitos aluviales (Qal) | 28 |
| 3.2 Rocas con flujo intergranular y esencialmente a través de fracturas con mediana a alta productividad | 28 |
| 3.2.1 Acuífero arenisca labor y tierna (Ksglt) | 29 |
| 3.2.2 Acuífero Arenisca Dura (Ksgd) | 29 |
| 3.3 Sedimento y rocas con limitados o ningún recurso de aguas subterráneas | 30 |
| 3.4 Relación entre la tectónica y los acuíferos del área | 30 |

| | |
|---|-----------|
| 4. ASPECTOS SOCIO – ECONÓMICOS..... | 36 |
| 4.1 Población y Demanda | 36 |
| 4 CAPTACION Y ADUCCION..... | 40 |
| 5 CALCULO HIDRAULICO..... | 42 |
| 6.1 Parámetros de diseño..... | 42 |
| 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 44 |
| BIBLIOGRAFÍA | 46 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Localización del Municipio | 11 |
| Figura 2 Localización de la Vereda Tierra Grata | 12 |
| Figura 3 Mapa Geológico del Municipio de Facatativá | 32 |
| Figura 4 Corte A – A' | 33 |
| Figura 5 Corte B – B' | 34 |
| Figura 6 Corte C – C' | 35 |
| Figura 7 Proyección Poblacional | 38 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Capacidad específica de los pozos con pruebas de bombeo | 27 |
| Tabla 2 Población en la Vereda Tierra Grata | 36 |
| Tabla 3 Método de cálculo permitidos según el Nivel de Complejidad del Sistema | 37 |
| Tabla 4 Asignación del nivel de complejidad | 38 |
| Tabla 5 Cálculo del crecimiento poblacional | 38 |
| Tabla 6 Población demás a tener en cuenta | 38 |
| Tabla 7 Población y demanda | 39 |

Índice de Anexos

| | |
|---|-----|
| Anexo 1 Glosario | 47 |
| Anexo 2 Cálculos Hidráulicos | 63 |
| Anexo 3 Presupuesto General de Obra y Análisis de Precios Unitarios | 69 |
| Anexo 4 Programación de Obra | 119 |

ACUEDUCTO VEREDAL TIERRA GRATA MUNICIPIO DE FACATATIVA - CUNDINAMARCA

La Alcaldía del municipio de Facatativá con el propósito de satisfacer las necesidades de consumo de agua potable que aquejan a la población de la vereda Tierra Grata, generó los mecanismos necesarios para dar origen al diseño de distribución del acueducto Veredal, cuya fuente de abastecimiento son aguas subterráneas; de esta manera se inicia un proceso que propende por el mejoramiento del nivel y calidad de vida de los habitantes de la vereda objeto del presente estudio.

1. GENERALIDADES

El objetivo general es elaborar el diseño de la red de distribución de la Vereda Tierra Grata del Municipio de Facatativá, requerido para proveer el suministro en condiciones hidráulicas satisfactorias.

Como objetivos específicos se plantearon los siguientes:

Presentar la información necesaria obtenida mediante consultas bibliográficas en los archivos y bibliotecas de instituciones afines al tema, así como datos obtenidos de las entrevistas con los funcionarios encargados del manejo del sistema de acueducto, para fundamentar adecuadamente el proyecto.

Evaluar la demanda para consumo humano, con base en los estimativos de población futura, necesarios para calcular el caudal requerido de quince (15) años para abastecer el suministro durante el periodo de diseño.

Descripción de los aspectos hidrogeológicos de las zonas de influencia del sistema de acueducto.

Elaborar las memorias de cálculo y los planos para sustentar adecuadamente los diseños hidráulicos, para la red de distribución.

Calcular las cantidades de obra y elaborar el presupuesto del proyecto.

1.1 Localización

El Municipio de Facatativá, se encuentra ubicado geográficamente en el extremo occidental de la Sabana de Bogotá D .C. a 36 Km de la ciudad capital, cerrándose en dos ramificaciones de la cordillera Oriental, constituidas por los cerros del "Aserraderos" y "Santa Elena", de los cuales uno sigue la dirección de Occidente Sur, formando el cerro de Manjuy y el otro de Occidente - Oriente formando los cerros de Churrasi, Piedrecitas y Mancilla, para terminar en el punto de la vuelta del cerro, en el camino que conduce a Subachoque.

Límites del municipio

Facatativá limita por el norte con el Municipio de Sasaima, la Vega, y San Francisco; por el Sur, con Zipacón y Bojacá; por el Oriente con Madrid y el Rosal; por el Occidente, con Anoláima y Albán.

Extensión total: 158 Km²

Extensión área urbana: 6 Km² de zona urbana Km²

Extensión área rural: 152 Km² de zona rural Km²

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): su altura sobre el nivel del mar es de 2.586 m.

Temperatura media: 19 °C

Distancia de referencia: 36 Km

Dentro de su geografía se destacan el alto de la Tribuna con una Altura aproximada de 3.000 metros, ubicado al occidente de la Vía Albán; El alto de las Cruces con 2800 metros, ubicado al sur de la Vía Anoláima por el Camino Real; el cerro Manjuy con 3150 metros; caminos reales de Zipacón, Anoláima al Gualivá (Sasaima): sendero vereda Mancilla la Selva San Rafael, Camino Antiguo Ferrocarril Mancilla El Dintel: reservas naturales Vereda la Selva. Entre otros. Actualmente a Facatativá, se llega desde Bogotá por la ruta de la autopista Medellín y la otra por la salida al Corzo.

Actualmente, el municipio se encuentra dividido en las siguientes veredas: El Corzo, Corito, Pueblo Viejo, Los Manzanos, La Tribuna, La Selva, San Rafael, Mancilla, Prado, Cuatro Esquinas de Bermeo, Tierra Morada, Tierra Grata, Paso Ancho y Moyano.

La vereda de Tierra Grata, se encuentra ubicada en la parte Nororiental del Municipio de Facatativá, y cuenta con tres centros poblados, El Mirador, Tierra Grata y Tierra Grata parte Baja. La quebrada el Hoyo, hace parte de

su límite Occidental con las veredas Tierra Morada y Paso Ancho, y por la parte oriental de la Vereda, es la Quebrada Puerta del Cuero que define los límites con el municipio de El Rosal.



Vista general de la vereda Tierra Grata (Cruce El Rosal)



Barrio Tierra Grata



Barrio Tierra Grata Media



Barrio El Mirador

1.2 Metodología

Para este proyecto se utilizó la metodología que se describe a continuación:

Recopilación de la información:

Para el proceso de recopilación de la información se contó con la colaboración de la Alcaldía de Facatativá específicamente el Departamento de Planeación Municipal en donde facilitaron los planos del municipio y sus veredas, en medio digital, posterior a ello en el Instituto Colombiano de Geología y Minería – Ingeominas, se recopiló la información hidrogeológica

de la sabana haciendo énfasis en el sector de interés para el presente estudio, para finalizar se visitó la vereda Tierra Grata en donde se recogió la información socio-económica y poblacional de la misma.

Evaluación Hidrogeológica:

En esta parte del proceso se revisó la bibliografía obtenida en Ingeominas y mediante una detallada clasificación de la información se trabajaron las temáticas aplicables para el estudio.

Fuente de suministro

Alcaldía Municipal de Facatativá – Departamento de Planeación Municipal
Datos in situ de la Vereda Tierra Grata
Biblioteca del Instituto Colombiano de Geología y Minería - Ingeominas
Biblioteca de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB

Diseño hidráulico de la red

El diseño hidráulico de la red está basado en toda la información recopilada durante el proceso de investigación y documentación del proyecto, complementado con la información arrojada por el programa WaterCAD, el cual es un software especializado para cálculos hidráulicos.

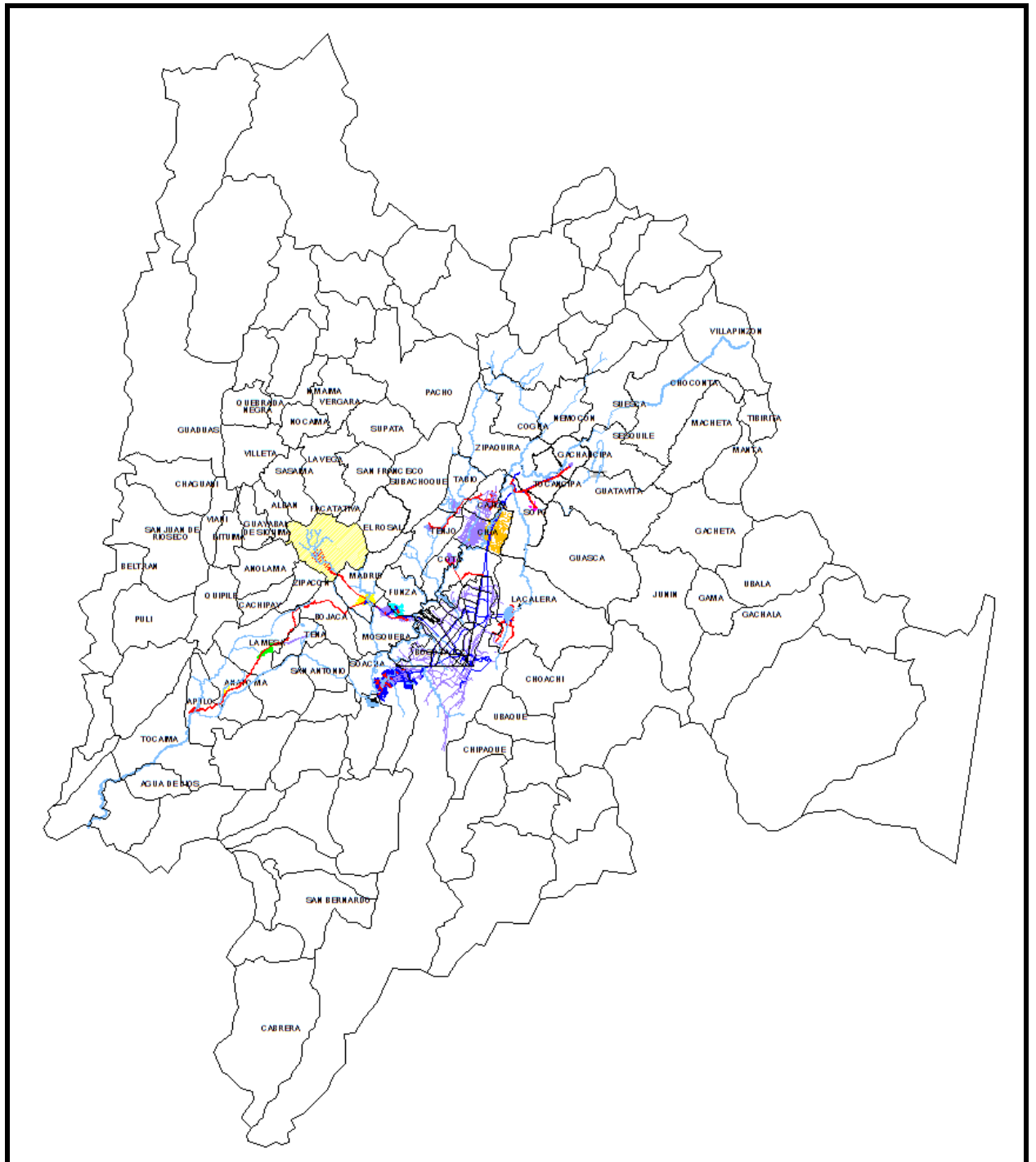


Figura 1 Localización del Municipio

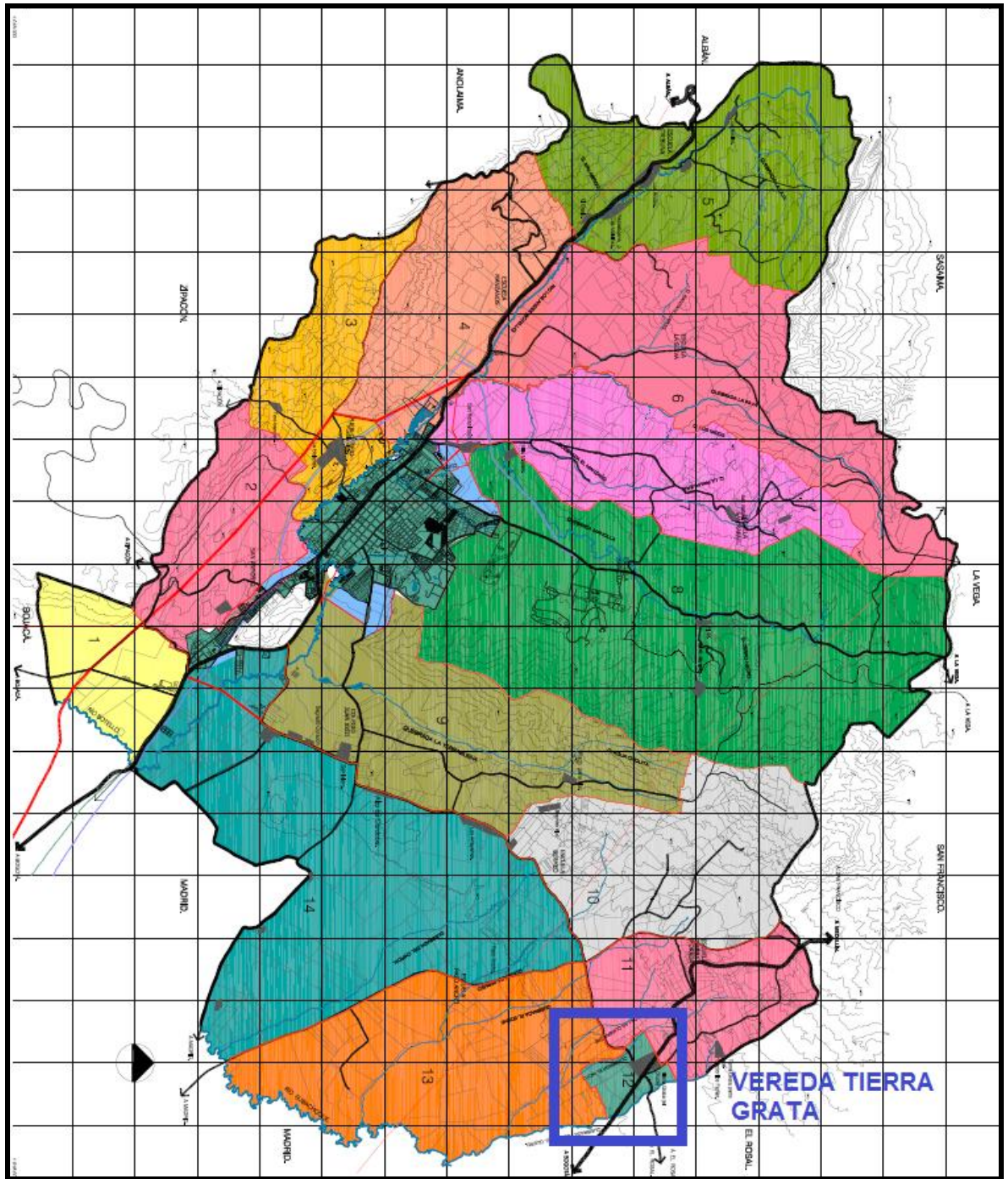


Figura 2 Localización de la Vereda Tierra Grata

2. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Dada la gran cantidad de autores, se hace mención de ellos según las citas reportadas por el Ingeominas [1].

2.1 Geología

Los aspectos geológicos más sobresalientes de la zona se describen a continuación:

2.1.1 Generalidades

La Sabana de Bogotá, se localiza en la parte alta de la Cordillera Oriental a altitudes entre 2.600 y 2.700 metros. Corresponde a una Planicie intramontaña con forma irregular, de alrededor de 800 Km² constituida por más de 500 metros del Plio - Cuaternario, en su mayor parte materiales de origen lacustre, los cuales se presentan poco consolidados y débilmente deformados. Se cree que su formación ocurrió hace 25 a 5 millones de años, durante un intenso periodo de deformación, y el relleno de la sabana durante los últimos 5 millones de años.

Alrededor de la Sabana se presentan rocas sedimentarias estratificadas. Las partes elevadas están constituidas por areniscas cuarzosas del Grupo Guadalupe, de edad Cretácea, por lo general formando anticlinales, mientras que en los piedemontes y relieves bajos predominan rocas arcillosas blandas, de edad Terciaria, las que por lo común conforman sinclinales.

La configuración de la zona Occidental de la Sabana de Bogotá, de la cual hace parte el municipio de Facatativá, se puede explicar, de manera general, mediante una tectónica que ha operado en dos fases principales: una de tipo distensivo con anterioridad al Paleógeno, que permitió la depositación y litificación de sedimentos del Cretáceo y del Terciario en una cuenca limitada por fallas normales y otra comprensiva a partir del Neógeno que plegó y fracturó las rocas y produjo un rápido levantamiento de la cordillera, donde las fallas normales preformas invirtieron su movimiento, formándose además fallas transcurrentes. Esta última fase se atribuye al choque entre las Placas de Nazca y Suramérica, lo que está generando acumulación de esfuerzos tectónicos y liberación de energía sísmica.

La zona de estudio se caracteriza por ser plana a semiplana en su parte Surcentral y Suroriental, conformada por sedimentos inconsolidados del Cuaternario de origen lacustre y fluvial, bordeada por una morfología montañosa conformada por rocas consolidadas Cretácicas de ambiente marino y rocas semiconsolidadas Terciarias de ambiente continental.

A nivel de estructura se presenta un patrón de fallamiento principal de tipo inverso con una dirección NNE-SSW., como la Falla del Río Sabaneta, colocando en contacto las rocas Cretácicas con las Terciarias, cubiertas en partes por los Depósitos Cuaternarios. La mayoría de estas fallas tiene vergencia (dirección de transporte tectónico) Occidental, que en el subsuelo pueden corresponder a una secuencia imbricada de retrocabalgamientos que se unen en profundidad al sistema principal de fallamiento de la Cordillera Oriental, el cual tiene vergencia Oriental, responsable del actual levantamiento de la misma. Adicionalmente existe un patrón definido de fallamientos y lineamientos aproximadamente transversales, como la Falla de Facatativá, que sugieren movimientos tectónicos más recientes.

A nivel de plegamiento se presentan estrechos anticlinales como los de Mancilla y Sabaneta seguidos de amplios sinclinales como el Sinclinal de El Dintel. Tanto los plegamientos como muchas de las fallas existentes son de origen neotectónico, aunque no todas son activas. Las fallas más activas, en el área de estudio, están asociadas a los piedemontes de los cerros Noroccidentales.

2.1.2 Estratigrafía

La siguiente es la descripción litoestratigráfica de las unidades aflorantes dentro del área de estudio, de más joven a más antigua [1] [2].

- **Nombre: DEPÓSITOS CUATERNARIOS SIN DIFERENCIAR (Q).** Los depósitos Cuaternarios sin Diferenciar, están constituidos por bloques, gravas, arenas, limos y arcillas, de origen continental, caracterizados por su conformación y reducido espesor. Afloran esporádicamente al norte del municipio de Facatativá, cubriendo discordantemente a rocas del Grupo Guadalupe.
- **Nombre: DEPÓSITOS ALUVIALES (Qal).** Están conformados por arenas, guijarros, gravas finas, limos y arcillas, asociadas al cauce de las corrientes superficiales, con un espesor que en la mayoría de los casos no sobrepasa los 10 m.

- **Nombre: FORMACIÓN SABANA (Qs).** Autor: Hubach (1933, 1957). Ingeominas (1993) la denomina Depósitos Terraza Alta (Qta)

Localidad Tipo: Corazones del pozo Punza II en el centro de la Sabana de Bogotá (Van der Hammen, 1989).

Afloramientos: Esta Formación se encuentra cubriendo toda la parte plana y semiplana del área de estudio.

Espesor: 320 m en el pozo Punza II (Van der Hammen, 1989). En el área de estudio existen pozos como el 227 II C- 477 que atravesó 293 m de esta formación.

Edad: Pleistoceno Medio a Tardío (Van der Hammmen, 1963). Con base en datación de Carbono 14, se ha calculado una edad entre 1 a 0.2 millones de años (Hooghiemstra, 1995).

Litología: Constituida principalmente por arcillas, limos, arenas y algunas intercalaciones de gravas finas. Hacia los márgenes de la cuenca del río Bogotá, existe un incremento en las intercalaciones de arcilla orgánica, turba/lignita, arcillas arenosas y arenas arcillosas.

Límite Inferior: Discordante con las formaciones infrayacentes, primordialmente con las formaciones Tilatá, Guaduas, Labor y Tierna y la Arenisca Dura.

Límite Superior: Concordante con los Depósitos Cuaternarios de origen aluvial.

Ambiente de Depósito: Lagunar con fluctuaciones en el nivel de agua (Van der Hammen, 1989).

Presenta una porosidad primaria y una conductividad hidráulica que varía de 1.0 E-03 a 1.0 E-02 m/día. La conductividad del agua subterránea fluctúa desde 110 hasta 1060 uS/cm.

- **Nombre: FORMACIÓN TILATÁ (QTt).** Autor: Sheibe (1933). Julivert (1961) la redefine comparando los afloramientos que encuentran al Noreste del municipio de Villapinzón con los que aparecen al Suroccidente en el Sector de Mondoñedo, llevándola al grado de Formación. Helms (1990) la subdivide en Formación Tilatá Superior con los miembros Guasca y Superior y Formación Tilatá Inferior con los miembros Tequendama y Tibagota.

Localidad Tipo: Hacienda Tilatá a 4 Km al SW de Chocontá.

Afloramientos: Esta formación no aflora en el área de estudio de hallarse cubierta por la formación Sabana. Varios pozos construidos en el municipio de Mosquera encuentran su techo a una profundidad que varía entre 300 a 450 m.

Espesor: 200 m en el área del Salto de Tequendama (Julivert, 1961)

Edad: Plioceno Temprano - Plioceno Tardío- Pleistoceno Temprano (Vander Hammen et al, (1989) por huellas de fisión

Litología: Hacia el techo está conformada por arcillas arenosas de color gris o verde, arcillas orgánicas, limos y arenas con intercalaciones de turbas, gravas y arcillas diatomíticas blancas o abigarradas. Hacia la base está constituida por gravas y arenas de origen aluvial, localmente ocurren intercalaciones de arenas y arcillas con turbas y lignitos. Las secuencias de grano grueso ocasionalmente presentan manchas de intensos colores rojos y violetas.

Límite Inferior: Discordante con la Formación Guaduas. Límite Superior: Concordante con la Formación Sabana.

Ambiente de Depósito: Ambiente fluvio - lacustre (Van der Hammen, et al., 1989. Su porosidad es primaria con una permeabilidad que varía desde 0.4 hasta 3.0 m/día. La conductividad promedio del agua subterránea es de 70 uS/cm.

- **Nombre: FORMACIÓN GUADUAS (TKg).** Autor: Hettner, A. (1892) utilizó el término Formación Guaduas, para definir "todos los sedimentos que en la región de Bogotá se encuentran por encima de la Formación Guadalupe". Hubach, (1957a) restringe el uso del término únicamente a las sedimentitas que se encuentran entre el Grupo Guadalupe y la Formación Areniscas del Cacho.

Localidad Tipo: Boquerones de Lenguazaque y Gacheta (Hubach E, 1957a)

Afloramientos: Al Nororiente del municipio de Facatativá, conformando los núcleos del Sinclinal de El Dintel y el Anticlinal de Sabaneta y en un pequeño sector al Suroccidente de este municipio.

Espesor: 1.090 m, medidos sobre la Quebrada de Peñas (Sarmiento, 1992). En el área de estudio el espesor varía entre 200 y 500 m.

Edad: Maastrichtiano - Paleoceno (Van der Hammen, 1957a) por análisis lógico; Maastrichtiano Superior - Paleoceno Inferior (Sarmiento, 1992).

Litología: Sarmiento (1992) levantó una columna estratigráfica en los alrededores de la localidad tipo subdividiéndola en 9 segmentos informales denominados de base a techo como: "Segmento 1 donde predominan las arcillolitas y lodolitas con lentes delgadas a gruesos de limolitas o cuarzoarenitas. El segmento 2 constituido por la primera zona productora decarbon, separada de los segmentos 1 y 3 por niveles arenosos; en general son lodolitas con contenidos variables de materia orgánica y manotos de carbón. El segmento 3; corresponde a la parte superior de la Arenisca la Guía de Hubach (1957) pero con intercalaciones de limolitas y lodolitas; el segmento 4 conforma el segundo sector productor de carbón, con abundantes lodolitas de contenidos variables en materia orgánica y algunos niveles arenosos intercalado. El segmento 5 constituido principalmente por arcillolitas rojizas y verdosas. El segmento 6 conforma el tercer nivel de carbón y asocia lodolitas con contenidos variables de materia orgánica; son comunes también las lodolitas con lentes delgadas de limolita o arenita de cuarzo.

El segmento 7 está dividido en tres zonas, la inferior conformada por lodolitas con baja cantidad de materia orgánica, en general rojizas y verdosas; la intermedia caracterizada por la ocurrencia de capas de carbón de espesores delgados, con lodolitas reticulares y varios niveles arenosos y la superior constituida por lodolitas rojizas y verdosas. El segmento 8 son arenitas grano decrecientes e inmaduras tectural y composicionalmente. El segmento 9, es una sucesión de capas de lodolitas moteadas y verdosas que le dan al paisaje un aspecto bandeado, con delgados niveles arenosos.

Límite Inferior: Discordante y fallado con la Formación Arenisca Labor y Tierna y fallado con las formaciones Plaeners y Arenisca Dura.

Límite Superior: No se ha podido establecer en campo para el área de estudio, por lo general está cubierta discordantemente por la Formación Sabana. (Ingeominas, 1996).

Ambiente de Depósito: Ambiente de laguna costera que pasa progresivamente desde una zona intermareal a llanura aluvial hasta un ambiente continental de llanuras de inundación (Sarmiento, 1992).

Tiene una porosidad primaria y una permeabilidad promedio de 0.08 m/día. La conductividad del agua subterránea varía desde 10 hasta 980 uS/cm.

- **Nombre: GRUPO GUADALUPE (Ksg).** Autor: La primera descripción fue hecha por Karsten (1858), pero fue Hetner (1892) el primero en denominar y ubicar estratigráficamente la secuencia como Piso de Guadalupe, comprendido entre el Piso del Villeta en la base y el Piso del Guaduas hacia el techo. Hubach (1931,1933) considera el Guadalupe bajo la categoría de Piso y lo divide en un conjunto superior con los niveles de Areniscas Tiernas, Plaeners y Areniscas Dura, posteriormente lo eleva al rango de Grupo con dos formaciones el Guadalupe Superior (Areniscas Duras, Plaeners y Arenisca Tierna) y el Guadalupe Inferior de carácter arcilloso. Pérez y Salazar (1973) retoman todos los trabajos anteriores (Ujueta, 1961; Julivert, 1963, Renzoni 1962,1968, C.S.P.G.G, 1961) y redefinen el grupo Guadalupe de base a techo de la siguiente manera: Formación Arenisca Dura, Formación Plaeners y Formación Arenisca Labor y Tierna.

Localidad Tipo: Para la Arenisca Dura se encuentra en el carreteable al Cerro del Cable frente a la ciudad de Bogotá. Para la Formación Plaeners la localidad tipo se sitúa entre las Quebradas Rosales y La Vieja en el carreteable al Cerro del Cable. Para la Formación Arenisca de Labor la localidad tipo se ubica en las canteras que aparecen entre las Quebradas La Vieja y El Higuérón frente a Bogotá, y finalmente para la Formación Arenisca Tierna la localidad tipo se encuentra en la bajada al Páramo del Rajadero en la vía Bogotá - Choachí.

Afloramientos: En el municipio de Facatativá las formaciones del Grupo Guadalupe afloran en las partes topográficamente altas situadas al Norte, Sur y Occidente del municipio y en un pequeño sector de su parte Suroriental.

Espesor: Según Pérez y Salazar (1973) la Formación Arenisca Dura alcanza un espesor de 449 m, mientras que Ingeominas (1996) reporta un espesor de 400 m. La Formación Plaeners tiene un espesor de 73,4 m (Pérez y Salazar, 1973) según Ingeominas (1996)

de 110 m. Para la Formación Arenisca Labor y Tierna, Pérez y Salazar (1973) señalan un espesor de 225.6 m. y 230 m. (Ingeominas, 1996).

Edad: Arenisca Dura: Campaniano (Hubach, 1957a); Coniaciano o Santoniano al Campaniano (Pérez y Salazar, 1973). Formación Plaeners: Maastrichtiano Inferior (Surgí, 1958, Etayo 1964) por micropaleontología. Formación Arenisca de Labor y Tierna Maastrichtiano Inferior a Medio (Diana Gutiérrez, 1973, Ujueta, 1961, Etayo, 1964) por micropaleontología.

Límite Inferior: Transicional con la Formación Chipaque (Ingeominas, 1997). Contacto no se pudo establecer en el área de estudio.

Límite Superior: Disconcordante con la Formación Guaduas en el área del Sinclinal El Dintel.

Ambiente de Depósito: La parte inferior se depositó en un ambiente de plataforma (offshore) de baja influencia de olas y la parte superior en una zona de frente costero (shoreface) y de planicie intermareal dominada por la acción del lavado de olas (Sarmiento, 1992).

Formación Arenisca Dura (Ksgd): Hacia la base bancos de arenisca de grano fino, con estratificación gruesa, intercaladas con limolitas blancas a grises con laminación plano paralela, de espesor variable. Hacia la parte media, areniscas levemente arcillosas blancas de grano muy fino, bien seleccionadas, limpias intercaladas con limolitas y arcillolitas blancas, caracterizándose las areniscas por presentar iconita de color blanco a pardo amarillento. Hacia el tope ocurren areniscas levemente arcillosas con estratificación gruesa, intercaladas con areniscas, limolitas y arcillolitas. Petrográficamente corresponde a ortocuarcitas, con diversos tipos de cuarzo, asociados a micas blancas, glauconita y en menor proporción minerales pesados.

La Formación Arenisca Dura presenta una porosidad secundaria por fracturamiento con una conductividad hidráulica entre 0.1 y 3.0 m/día. La conductividad específica del agua subterránea varía de 30 a 50 uS/cm.

Formación Plaeners (Ksgpl): Hacia la base limolitas silíceas, liditas y arcillolitas silíceas, de colores claros, finamente interestratificadas, caracterizadas por presentar un fracturamiento en dos direcciones. Esta secuencia se encuentra intercalada con bancos de areniscas de

grano muy fino y liditas en pequeños bancos separadas por capas más finas de arcillolitas con fractura concoide y fracturamiento en dos direcciones. Hacia la parte media existe una sucesión de bancos de arcillolitas grises claras a oscuras, liditas, limolitas, arcillolitas amarillentas y limolitas arcillosas. Hacia la base se encuentra una sucesión de arcillolitas limosas grises claras, oscuras y negras o pardo amarillentas en gruesos bancos, intercaladas con bancos de limolitas, areniscas de grano muy fino y arcillolitas.

La Formación Plaeners desarrolla una porosidad secundaria por fracturamiento y tiene una conductividad hidráulica promedio de 0.3 m/día. La conductividad específica del agua subterránea varía de 40 a 200 uS/cm.

Formación Arenisca Labor y Tierna (Ksglt): Hacia la base bancos gruesos de areniscas arcillosas grises a blancas de grano muy fino a fino y bien seleccionadas, intercaladas con capas de areniscas arcillosas con tamaño de grano variable, de color blanco a pardo amarillento, interestratificadas con paquetes de lodolitas y arcillolitas. Hacia el techo, areniscas arcillosas de color blanco a pardo amarillento o gris claro, con estratificación gruesa, separadas por finas capas de arcillas grises.

Hacia la base se presentan intercalaciones de potentes bancos de arenisca arcillosa sucias de grano grueso a conglomeráticas de color pardo amarillento a blanco, con arcillolitas finamente interestratificadas.

La Formación Arenisca Labor y Tierna desarrolla una porosidad primaria y secundaria por fracturamiento, con una conductividad hidráulica que fluctúa entre 0.5 y 1.5 m/día. La conductividad específica del agua subterránea varía de 20 a 500 uS/cm.

- **Nombre: FORMACIÓN CHIPAQUE (Ksc).** Autor: Hubach (1931b) empleó el término Chipaque por primera vez para separar la parte alta del Grupo Villeta. Renzoni, G. (1968) redefinió el techo de la unidad llevándolo hasta la base de la Formación Arenisca Dura.

Localidad de Referencia: Cordillera Oriental al Oriente de la ciudad de Santafé de Bogotá

Afloramientos: No aflora en el área de estudio. Se considera que constituye la base del Grupo Guadalupe.

Espesor: Entre 800 m y 900 m. Hubasch (1957)

Edad: Cenomaniano Superior Coniaciano (Hubasch, 1957; Burgl, H (1959), Etayo, F. (1964), McLaughlin D. et al., (1969)

Litología: Esta constituida por lodolitas negras con intercalaciones esporádicas de calizas principalmente hacia la parte inferior; en la parte superior se presentan areniscas cuarzosas de color gris claro a gris oscuro y además ocurren esporádicos niveles de carbón. Desarrolla una porosidad secundaria por fracturamiento.

Ambiente de Depósito: Rodríguez y Ulloa (1976), sugieren un ambiente de depósito marino de aguas poco profundas y circulación restringida. Autores como Hubach (1957a), Bürgl (1959) y Etayo (1964), indican para esta formación una edad desde el Cenomaniano Superior hasta el Coniaciano.

2.2 Hidrogeoquímica

Los aspectos hidrogeoquímicos más sobresalientes de la zona se describen a continuación:

2.2.1 Generalidades

La calidad química del agua subterránea depende de la composición y características químicas de las rocas por donde ella transita y se almacena, de las condiciones climáticas del medio, de la composición del agua de recarga y su tiempo de residencia en el acuífero, por lo tanto el uso de este recurso para cualquier fin, estará supeditado tanto a la cantidad como a su calidad. El agua subterránea, a su paso y almacenamiento en un medio poroso, disuelve los componentes mineralógicos de las rocas de tal manera que el grado de concentración de los iones, afecta de una u otra forma la calidad de la misma.

Los pozos ubicados en el área de estudio captan los acuíferos Formación Sabana de edad Cuaternaria, depositada en un ambiente lagunar, los niveles arenosos de la Formación Guaduas, depositada en un ambiente continental y los acuíferos de la formaciones Arenisca Labor y Tierna, Plaeners y Arenisca Dura que conforman el Grupo Guadalupe de edad Cretácica, depositadas en un ambiente marino. Cada uno estos acuíferos tienen características hidrogeoquímicas definidas y diferentes entre sí. La posición de cada acuífero dentro del marco geológico - estructural del área estudiada y las actividades

antrópicas, principalmente desarrollada en las áreas de recarga del Acuífero Grupo Guadalupe, pueden incorporar elementos que modifican la calidad físico-química del agua.

Para determinar la calidad de este recurso, se efectúan análisis físico-químicos completos que indican la concentración de los principales iones en solución, con los cuales se puede establecer las condiciones de potabilidad o el tratamiento que requiere para ser utilizada en cualquier actividad.

Un análisis físico-químico completo debe determinar parámetros tales como: calcio, sodio, potasio, cloruros, magnesio, manganeso, hierro total, carbonates, bicarbonatos, dióxido de carbono, oxígeno disuelto, hidróxido, nitratos, sulfates, sólidos totales disueltos, alcalinidad, dureza total, conductividad específica, pH y temperatura.

Estos parámetros se pueden analizar por medio de representaciones gráficas, empleando los diagramas de Piper, Scholler, Durov o Stiff, que sirven para clasificar el agua, estimar su origen, determinar las posibles áreas de recarga y la dirección del flujo subterráneo. La elaboración de curvas de isovalores de diferentes parámetros también sirve para caracterizar hidrogeoquímicamente los diferentes tipos de aguas subterráneas, permitiendo identificar anomalías hidrogeoquímicas.

El análisis de las curvas de isovalores de elementos químicos como el hierro, el pH, los cloruros y los carbonates permiten visualizar los patrones de mezclas, distribución de los elementos en superficie y el origen de estos elementos.

2.2.2 Recopilación y análisis de la información

La recopilación de la información referente a estudios hidrogeológicos de carácter regional llevados a cabo por Ingeominas o de estudios locales efectuados por firmas particulares, incluyen, para algunos pozos, reportes de análisis físico-químico, pero muchos de estos análisis tienen un balance de error mayor del 15% (límite permisible para determinar el tipo de agua). Por otra parte la mayoría de los análisis no son representativos de un determinado acuífero porque casi todos los pozos captan horizontes acuíferos de diferentes formaciones geológicas. En algunos casos, especialmente las firmas perforadoras, no tienen un control del proceso de muestreo y transporte y por consiguiente los resultados de los análisis no son confiables. Por esta razón, es necesario reinterpretar los datos reportados y adelantar un proceso de filtración y depuración antes de iniciar cualquier tipo de interpretación.

En el municipio de Facatativá se recopiló la información de 20 pozos que presentan análisis físico – químicos. La reinterpretación de estos análisis señala que un 20% tienen un porcentaje de error en el balance iónico mayor de 15 %, siendo los ejecutados por el Ingeominas los de mayor confiabilidad.

La mayoría del agua almacenada en el Acuífero Formación Sabana es de tipo bicarbonatada - sódica, clasificada, en cuanto a dureza, como de blanda con contenidos de dureza expresada como CaCO₃ entre 30 a 50 mg/l y contenido de hierro entre 2.5 y 7.0 mg/l. El agua almacenada en los niveles arenosos de la Formación Guaduas, es de tipo sulfatada bicarbonatada calcica, con un contenido de hierro que varía de 2.5 a 3.7 mg/l. El agua de la Formación Arenisca Labor y Tierna, comúnmente es de tipo bicarbonatada sódica, dulce, blanda, en ocasiones con concentraciones de hierro que pueden alcanzar valores hasta de 2.7 mg/l, que la hacen no apta para el consumo humano a no ser que se efectúe un tratamiento previo. El agua procedente de la Formación Arenisca Dura es de tipo bicarbonatada calcica, con un contenido de hierro menor de 0.5 mg/l y por consiguiente puede usarse directamente para su consumo.

2.3 Hidrogeología

Los aspectos hidrogeológicos más sobresalientes de la zona se describen a continuación:

2.3.1 Antecedentes

Las aguas subterráneas almacenadas en los acuíferos Formación Sabana, de edad Cuaternario, y del Grupo Guadalupe, de edad Cretácica, presentes en el subsuelo del municipio de Facatativá, e inclusive la almacenada en los niveles arenosos de la Formación Guaduas, ofrecen actualmente una alternativa para el abastecimiento de agua potable, así como para labores agrícolas e industriales. Esto ha generado un interés por parte de las entidades gubernamentales y particulares por definir la geometría, el volumen de almacenamiento,, las zonas de recarga y las propiedades hidráulicas de estos acuíferos. Para tratar de alcanzar los objetivos anteriormente planteados, varias entidades estatales han realizado estudios hidrogeológicos de carácter regional.

El de mayor importancia ha sido realizado por INGEOMINAS-CAR entre los años 1989 - 1993, denominado "Estudio Hidrogeológico Cuantitativo de la

Sabana de Bogotá, en donde se definen y delimitan las formaciones acuíferas de importancia, caracterizándose sus parámetros hidráulicos y los caudales esperados para cada uno de los acuíferos. El estudio presenta mapas hidrogeológicos, de curvas de isorresistividad a diferentes profundidades y de calidad química del agua subterránea, en escala 1:25000. Igualmente presenta cálculos de recursos, reservas y caudales totales de explotación de los diferentes acuíferos. El estudio cubre el 100% del área correspondiente al municipio de Facatativá.

De acuerdo a la información hidrogeológica compilada en el área conformada por el municipio de Facatativá, se describen las siguientes unidades hidrogeológicas, definidas principalmente por sus características litoestratigráficas y geohidráulicas. Estas unidades son:

- **Sedimentos con flujo Intergranular, con Baja a Alta Producción:** A este primer grupo pertenecen los acuíferos que están conformados por sedimentos poco a medianamente consolidados, con porosidad primaria. Está representado por:

Acuífero Tilatá (QTt). No aflora en el área del municipio de Facatativá debido a que está cubierto por el Acuífero Sabana (Qs). Es de extensión regional y de tipo confinado, de alta productividad con caudales entre 3.0 y 10 L/s, conductividades hidráulicas desde 0.1 hasta 0.4 m/día, valores de transmisividad de 10 a 50 m²/día y coeficientes de almacenamiento del orden de 1.6 E-08.

Acuífero Depósitos Aluviales (Qal). De extensión regional y de tipo confinado y libre, baja a mediana productividad con rendimientos desde 1.5 hasta 3.5 L/s, con s conductividades hidráulicas, de 0.1 a 0.076 m/día, valores de transmisividad entre 10 y 20 m²/día y coeficientes de almacenamiento desde 1.0 E-05 hasta 1.0 E- 02

- **Rocas con Flujo Intergranular y Esencialmente a través de Fracturas, con Baja a Alta a Alta Producción:** Se incluyen en este segundo grupo a las rocas sedimentarias consolidadas del Grupo Guadalupe que constituyen acuíferos donde el agua subterránea esta almacenada en poros, fracturas y diaclasas.

Estos acuíferos son: Acuífero Arenisca Dura (Ksgd). Es un acuífero discontinuo de extensión regional con porosidad secundaria por fracturas, que produce caudales desde 2.5 hasta 70 L/s con valores de transmisividad entre 20 y 150 m²/día, coeficientes de almacenamiento

promedios de 1.0×10^{-6} y valores de conductividades hidráulica entre 0.1 y 0.5 m/día.

Acuífero Arenisca Labor y Tierna (Ksglt). De extensión regional, por lo general de tipo confinado y de alta productividad con porosidad primaria y secundaria por fracturamiento, con agua subterránea de buena calidad química para su consumo y de tipo bicarbonatada cálcica. Los caudales de explotación varían entre 0.7 y 12 L/s, una conductividad hidráulica de 0.08 a 1.0 m/día, una transmisividad desde 10 hasta 30 m²/día y un coeficiente de almacenamiento promedio de 1.0×10^{-5}

Acuífero Plaeners (Ksgpl). Considerado de extensión local, supeditado a la densidad del fracturamiento, de baja productividad con caudales desde 0.05 a 0.5 L/s, transmisividad desde 1.5 hasta 10 m²/día, coeficiente de almacenamiento entre 1.0×10^{-7} hasta 1.0×10^{-9} y conductividad hidráulica de 0.013 m/día.

- **Sedimentos y Rocas con limitados o Ningún Recurso de Aguas Subterráneas**, En este último grupo se encuentran identificados aquellas rocas que por su composición litológica de granulometría fina a muy fina, carecen de capacidad para almacenar agua subterránea en cantidad importante, de tal manera que pueda ser utilizada a través de una explotación. En el área de estudio están representados por:

Acuitardo Guaduas (Tkgu). Es un acuitardo continuo de extensión regional de bajo rendimiento, asociado principalmente a rocas arcillosas. Especialmente en el municipio de Facatativá, los niveles arenosos de esta Formación, conocidos como Arenisca La Guía y Arenisca Lajosa pueden desarrollar acuíferos de carácter local muy limitados en su extensión, con agua de regular calidad química para su consumo por su alto contenido en hierro. Tiene rendimientos entre 0.3 y 4.0 L/s, conductividades hidráulicas muy baja con valores de 0.0005 m/día, transmisividad de 5.0 a 25 m²/día y un coeficiente de almacenamiento promedio de 1.0×10^{-6} .

Depósitos Aluviales Sin Diferenciar (Q), Son depósitos Cuaternarios de poca extensión, con un alto componente arcilloso.

3. HIDROGEOLOGÍA

Las formaciones geológicas presentes en el municipio de Facatativá se han dividido en tres sistemas hidrogeológicos de acuerdo a las características litológicas, tipo de porosidad y al valor de la capacidad específica de las diferentes unidades acuíferas o no acuíferas en : 1-Sedimentos con flujo intergranular con baja a Alta Producción, al cual pertenecen los acuíferos Tilatá (QTt), Sabana (Qs) y Depósitos Aluviales (Qal); 2- Rocas con flujo intergranular y esencialmente a través de fracturas con baja a alta producción, al cual pertenecen los acuíferos Arenisca Dura (Ksgd), Arenisca Labor y Tierna (Ksglt) y Plaeners (Ksgpl) y; 3- Rocas con limitados a ningún recurso de aguas subterráneas, al cual pertenecen el acuitardo Guaduas (Tkgu) y los Depósitos Aluviales sin Diferenciar (Q).

Los tres sistemas hidrogeológicos anteriormente descritos se presentan subdivididos de acuerdo a sus características hidrogeológicas y capacidad específica. Las capacidades específicas de los principales acuíferos fueron calculadas a partir de pozos que tuvieran datos de pruebas de bombeo a caudal constante [1] [2].

3.1 Sedimentos con flujo intergranular con baja a alta productividad

A este sistema pertenecen los siguientes acuíferos: Acuífero Tilatá con capacidades entre 0.08 y 0.43 L/s/m; Acuífero Sabana (Qs) con capacidades que varían desde 0.031 hasta 0.31 L/s/m y Depósitos Aluviales (Qal), el carece de datos hidráulicos debido a que en el área de estudio no hay pozos que capten este acuífero. Por referencia en otras áreas de la Sabana de Bogotá, se estima una capacidad específica menor de 0.01 L/s/m (Ingeominas, 1993).

3.1.1 Acuífero Tilatá (QTt)

El acuífero Tilatá está constituido a la base por arenas de color blanco y blancos grisáceos, males seleccionados, cuarzosos, y gravas finas a medias; al medio hay una alternancia de arenas cuarzosas de verde plástica. Al techo arenas de grano muy fino, curzosas con ligeras representaciones de arcilla gris.

El acuífero Tilatá (QTt) se depositó durante el Terciario-Cuaternario en un ambiente fluvio-lacustre en forma discordante sobre el acuífero Arenisca Labor y Tierna (Ksglt) de edad Cretácica y está cubierto por el Acuífero Sabana (Qs). Este acuífero es de extensión regional, continuo y de tipo confinado, presentando niveles piezométricos entre 5.5 y 74 m de profundidad. Es

recargado por el agua lluvia infiltrada en los piedemontes mediante flujos regionales que posiblemente siguen la dirección de antiguos cauces enterrados. Probablemente también es recargado por flujos laterales provenientes del Acuífero Arenisca Labor y Tierna (Ksglt). La descarga ocurre a través de su explotación con pozos profundos que producen caudales entre 3.0 y 10 L/s con niveles dinámicos entre 30 y 80 m.

Tabla 1 Capacidad específica de los pozos con pruebas de bombeo

| Pozo | Nombre | Acuífero | N.E. (m) | N.D. (m) | Q (L/s) | C.E. (L/s-m) |
|---------------|---------------|----------|-------------|-------------|------------|-----------------|
| 227 II C-434 | Cartagenita | Ksgd | 57.00 | 84.00 | 30.00 | 1.11 |
| 227 I D-66 | San Rafael 1 | Ksglt | 0 | 68.00 | 30.00 | 0.44 |
| 227 I D-X3 | San Rafael 2 | Ksglt | 11,00 | 84.00 | 30.00 | 0.41 |
| 227 I D-X1 | Deudora | Ksglt - | 8.10 | 40.70 | 40.00 | 1.23 |
| 227 I D-X2 | Guapucha | Ksgit - | 25.00 | 44.00 | 40.00 | 2.10 |
| 227 II C-94 | Ecopetrol | Ksglt | 36.10 | 63.88 | 11.00 | 0.40 |
| 227 I D-57 | La Torre del | Qs | 0.50 | 16.40 | 3.50 | 0.22 |
| 227 II C-350 | El Moyano | QTt | 15 | 52.2 | 2.90 | 0.08 |
| 227 II C-379 | Almacenar | Qs | 30.10 | 31.70 | 0.50 | 0.31 |
| 227 II C-518 | Promasa 5 | Ksgd | 40.75 | 51.54 | 2.25 | 0.21 |
| 227 II C-604 | La Plazoleta | Qs | 14.50 | 20.20 | 0.90 | 0.16 |
| 227 II C-642 | La Añoranza | Tkgu | 45.00 | 48.20 | 0.75 | 0.23 |
| 227 I D-334 | Manablanca | Ksgd | 52,0 | 78.8 | 30.0 | 1.12 |
| 227 II C-663 | Agrícola | Ksgd | 84.74 | 98.7 | 7.5 | 0.53 |
| 227 II C-295 | Chambourcy | Ksglt | 55.0 | 69.3 | 8.3 | 0.58 |
| 227 II C-252 | Casa de Teja | QTt | 5.5 | 46.8 | 8.0 | 0.19 |
| 227 II C -477 | Tisquesusa | QTt | 74.2 | 97.1 | 10.0 | 0.43 |
| 227 I D-9 | El Candelabro | Qs | 9.8 | 31.4 | 2.0 | 0.092 |
| 227 II C-441 | El Corzo | Qs | 38.15 | 57.1 | 0.6 | 0.031 |

3.1.2 Acuífero Sabana (Qs)

Este acuífero cubre aproximadamente el 50% del área correspondiente al municipio de Facatativá, constituyendo el principal relleno cuaternario de la Sabana de Bogotá, Litológicamente está constituido por arcillas plásticas de color gris oscuro, con intercalaciones lenticulares de arena suelta, gravas y arena volcánica de color gris claro, registrándose además niveles de turba y

lignito. Hacia la base se presentan arenas finas a gravas finas. El espesor de estos depósitos fluctúa entre 60 m y 230 m, pero considerando solamente sus intercalaciones arenosas, se plantea un espesor saturado de 170 m. El acuífero Sabana (Qs) es de ambiente lacustre depositado concordantemente sobre el acuífero Tilatá (QTt) y en algunos sectores se encuentra cubierto por los Depósitos Aluviales (Qal).

De acuerdo al corte hidrogeológico A-A'; trazado en el Mapa Hidrogeológico del municipio con una dirección Este-Oeste, del acuífero Sabana (Qs) solo aparece en el sector Oriental un espesor hasta de 180 m, desapareciendo hacia el sector Oriental por acuñamiento con las rocas del Grupo Guadalupe. En el corte B-B' de igual dirección al anterior el espesor varía desde 50 m en el sector Occidental hasta 195 m en el Oriental. En el corte C-C se observa un aumento de espesor en la parte Oriental, llegando a los 230 m. Los datos hidráulicos de los pozos que aparecen en los anteriores cortes hidrogeológicos.

3.1.3 Acuífero depósitos aluviales (Qal)

Este acuífero se presenta rellenando los cauces de los ríos Los Andes y Botello, que atraviesan el municipio de Noroeste al Suroeste y sus principales afluentes, constituidos por sedimentos de arenas, limos y gravas, con espesores que no superan los 10 m.

Es un acuífero discontinuo de extensión local de tipo libre, conformado por sedimentos no consolidados asociados a los cauces de las corrientes superficiales de edad Cuaternaria. En este municipio este acuífero es captado por algunos con bajos caudales de extracción por lo general menores de 0.5 L/s, pero carecen de pruebas de bombeo, razón por la cual se desconocen sus parámetros hidráulicos.

3.2 Rocas con flujo intergranular y esencialmente a través de fracturas con mediana a alta productividad

A este sistema pertenecen los acuíferos Arenisca Labor y Tierna (Ksglt) con capacidad específica entre .40 y 0.58 L/s m y el Arenisca Dura (Ksgd) con capacidad específica entre 0.21 y 1.12 L/s m.

3.2.1 Acuífero arenisca labor y tierna (Ksglt)

Este acuífero aflora en la parte norte y central, sin embargo, se encuentra en la mayor parte del área municipal a diferentes profundidades. Está compuesto por areniscas blancas y pardo amarillentas de grano fino a medio en la base y gruesa conglomerática en el tope, cuarzosas, interestratificadas con arcillositas y limolitas silíceas depositadas en un ambiente marino. El espesor promedio de este acuífero es de 130 m. es un acuífero continuo de extensión regional y de tipo confinado con porosidad primaria y secundaria por fracturamiento, donde los niveles piezométricos del agua se encuentran desde los 13 m hasta los 40 m de profundidad.

La recarga de este acuífero ocurre directamente a través del agua lluvia y del agua superficial infiltrada en sus áreas de afloramiento, dirigiéndose mediante flujos regionales profundos que convergen hacia el centro de la cuenca. Otra fuente de recarga posiblemente proviene de aguas termales que ascienden principalmente a través de fallas como la de Facatativá. Su descarga se sucede mediante flujos laterales que aportan agua a los acuíferos Sabana (Qs) y Tilatá (QTt) y a través de la explotación mediante pozos profundos que producen caudales desde 0.7 L/s hasta 11 L/s, con niveles dinámicos entre 15 m y 85 m.

Según el corte hidrogeológico A – A´ el citado Acuífero se encuentra en el sector occidental cerca de la falla de Madrid, a una profundidad de aproximadamente 50 m, cubierto por el Acuífero Tilatá (QTt), profundizándose hacia el Oriente donde aparece a los 350 m. El espesor promedio es de 130 m, cubriendo a su vez el Acuífero Arenisca Dura (Ksgd). Similar situación se puede observar en el corte B – B´ de dirección Norte – Sur.

Los valores de transmisividad fluctúan desde 10 m²/día hasta los 30 m²/día, el coeficiente de almacenamiento varía desde 2.0 E-07 hasta 2.0 E-05, en tanto que la conductividad hidráulica varía de 0.08 m/día hasta 1.0 m/día.

3.2.2 Acuífero Arenisca Dura (Ksgd)

Este acuífero aflora en la región Occidental, Sur y Central del área municipal; sin embargo, a diferentes profundidades se presenta en la mayor parte del área. Corresponde a una sucesión de areniscas de grano fino a medio, blancas a gris amarillentas, cuarzosas, cemento silíceo, duras y bien seleccionadas, interestratificadas con limonitas silíceas con foraminíferos y arcillositas depositadas en un ambiente marino durante el Cretáceo.

Es un acuífero discontinuo de extensión regional, restringido a zonas fracturadas, de tipo confinado donde los niveles piezométricos varían desde los 2.5 m hasta los 60 m de profundidad. Su recarga ocurre únicamente en las áreas de afloramiento, cuando estas se encuentran fracturadas, siguiendo el flujo subterráneo una dirección irregular a través de las fracturas. Su descarga se presenta mediante la explotación con pozos profundos los cuales, producen caudales entre 30 L/s y 70 L/s con niveles dinámicos desde 40 m hasta 84 m.

De acuerdo con el corte hidrogeológico A – A´ de dirección Este – Oeste, el acuífero Arenisca Dura (Ksgd) tiene un espesor promedio de 300 m y se encuentra cubierto por el Acuífero Plaeners (Ksgpl), captándose a profundidades cercanas a los 400 m. Se aprecia además que este acuífero reposa sobre un basamento prácticamente impermeable constituido por la Formación Chipaque (Ksch) de edad Cretácica. Los valores de la transmisividad del acuífero varían desde 20 hasta 100 m²/día con coeficientes de almacenamiento entre 4.0 E-06 y 6.3 E-05.

3.3 Sedimento y rocas con limitados o ningún recurso de aguas subterráneas

A este sistema pertenecen los acuíferos Depósitos Aluviales Sin Diferenciar (Q), Guaduas (Tkgu) y Plaeners (Ksgpl). En general, son de extensión local, de tipo libre a confinado que por su fina litología contienen limitados recursos de agua subterránea.

En el área del municipio de Facatativá el acuitardo Guaduas (Tkgu) presenta algunos niveles o intercalaciones arenosas que producen bajos caudales, generalmente entre 0.3 y 1.5 L/s a partir de niveles piezométricos entre 15 m y 54 m, con niveles dinámicos profundos, desde 48 m hasta 77 m. La transmisividad varía de 0.5 m²/día a 25 m²/día, el coeficiente de almacenamiento va desde 7.0 E-07 hasta 5.0 E-06 y la conductividad hidráulica fluctúa entre 3.0 E-08 y 5.0 E-05.

Los Depósitos Aluviales Sin Diferenciar (Q) son impermeables y no son explotados, razón por la cual se desconocen sus parámetros hidráulicos.

3.4 Relación entre la tectónica y los acuíferos del área

Desde el punto de vista de tectónica, el área del municipio de Facatativá se caracteriza por presentar dos sistemas de fallas bien definidas: Uno de dirección NNE, conocida como fallas longitudinales, y otro de dirección 45 W a

N60W, denominadas fallas transversales. El efecto de estos dos sistemas origina una tectónica de bloques hundidos y levantados.

Las fallas longitudinales por lo general son de cabalgamiento con inclinación preferencial hacia el Oriente, desconociéndose el ángulo de inclinación, la magnitud del desplazamiento vertical y el grado de permeabilidad desarrollados en sus planos de fallas. A su vez, las fallas transversales son de rumbo, desconociéndose igualmente los tres parámetros anteriormente anotados.

Ambos sistemas de fallas afectan tanto a rocas Cretácicas como Terciarias. La principal falla longitudinal se conoce como la Falla de Sabaneta que pone en contacto las rocas Terciarias de la Formación Guaduas (TKg) con la formación Arenisca Labor y Tierna (Ksglt) de edad Cretácica.

La falla transversal de mayor importancia en el área es la de Facatativá que afecta a rocas de Grupo Guadalupe (Ksg), cubierta en su mayor parte por los sedimentos Cuaternarios. En los cortes hidrogeológicos se infiere el valor de los ángulos de inclinación de las fallas como la magnitud de su desplazamiento vertical.

De acuerdo a la interpretación hidrogeológica, relacionada fundamentalmente con el comportamiento de los niveles estáticos de los pozos que captan los acuíferos Cretácicos, los cuales tienden a recuperarse cuando cesa el bombeo, se deduce que aquellas fallas que afectan a estas rocas por lo general son de carácter permeable. Aquellas fallas que ponen en contacto las rocas Terciarias y Cretácicas se consideran de carácter impermeable.

4. ASPECTOS SOCIO – ECONÓMICOS

La vereda Tierra Grata, tiene una extensión de 116.17 hectáreas y está compuesta por tres barrios claramente definidos, El Mirador ubicado en la parte alta de la vereda, Tierra Grata y Tierra Grata Baja, este último es el más desarrollado, allí se encuentra un puesto de salud del Hospital San Rafael, una estación de bombeo de Terpel, una industria de concentrados y gran parte del comercio. El barrio El mirador pertenece al estrato dos bajo, mientras los barrios Tierra Grata y Tierra Grata Baja pertenecen al estrato tres.

La vereda en general no cuenta con centros de educación por lo que la población en edad escolar tiene que desplazarse hasta el casco urbano del municipio o a la vereda Tierra Morada la cual está ubicada aproximadamente a tres (3) Km. hacia el norte; es importante mencionar que la Autopista a Medellín atraviesa de sur a norte la vereda y está próxima a iniciar su proceso de ampliación a la doble calzada, por lo que se tendrán que demoler treinta (30) metros en ambos costados del barrio Tierra Grata Baja.

4.1 Población y Demanda

Se elaboró un censo detallado en campo en el mes de Junio y Julio del año 2010.

Tabla 2 Población en la Vereda Tierra Grata

| Barrio | Estrato | Habitantes (2010) | Viviendas | Lotes Baldíos | Comercio |
|----------------------|----------------|------------------------------|------------------|--------------------------|-----------------|
| El Mirador | 2 | 190 | 37 | 6 | 5 |
| Tierra Grata | 3 | 42 | 16 | 1 | 2 |
| Tierra Grata Baja | 3 | 462 | 102 | 10 | 28 |
| TOTAL | | 694 | 255 | 17 | 35 |

Fuente: Datos tomados "In Situ"

Población Veredal en Facatativá

Año 1993: 6.315

Año 2005: 11.708

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas "DANE"

Según la Norma R.A.S. 2000, para todo el territorio nacional se establecen los siguientes niveles de complejidad:

1. Bajo
2. Medio
3. Medio Alto
4. Alto

La clasificación del proyecto en uno de estos niveles depende del número de habitantes en la zona urbana del municipio, su capacidad económica y el grado de exigencia técnica que se requiera para adelantar el proyecto, de acuerdo con lo establecido en la tabla 3.

Tabla 3 Asignación del nivel de complejidad

| Nivel de complejidad | Población en la zona urbana ⁽¹⁾ (habitantes) | Capacidad económica de los usuarios ⁽²⁾ |
|----------------------|---|--|
| Bajo | < 2500 | Baja |
| Medio | 2501 a 12500 | Baja |
| Medio Alto | 12501 a 60000 | Media |
| Alto | > 60000 | Alta |

Fuente: R.A.S. 2000 – Título A

- Notas:**
- (1) Proyectado al periodo de diseño, incluida la población flotante.
 - (2) Incluye la capacidad económica de población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP

El método escogido para la proyección de la población es el aritmético esto a que, supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración.

El Método Aritmético supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La Ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \times (T_f - T_{uc})$$

Donde, P_f es la población (hab) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población, P_{uc} es la población (hab) correspondiente al último año censado con información, P_{ci} es la población (hab) correspondiente al censo inicial con información, T_{uc} es el año correspondiente al último año censado con información, T_{ci} es el año correspondiente al censo inicial con información y T_f es el año al cual se quiere proyectar la información.

Tabla 4 Método de cálculo permitidos según el Nivel de Complejidad del Sistema

| Método por Emplear | Nivel de Complejidad del Sistema | | | |
|---|----------------------------------|-------|------------|------|
| | Bajo | Medio | Medio Alto | Alto |
| Aritmético, Geométrico y Exponencial | X | X | | |
| Aritmético + Geométrico + Exponencial + Otros | | | X | X |
| Por componentes (demográfico) | | | X | X |
| Detallar por zonas y detallar densidades | | | X | X |

Fuente: R.A.S. 2000 – Título B

Tabla 5 Cálculo del crecimiento poblacional

| Año | Habitantes (2010) |
|------|-------------------|
| 1993 | 468 |
| 2010 | 694 |
| 2025 | 976 |

Crecimiento anual 18,79

Tabla 6 Población demás a tener en cuenta

| Ítem a tener en cuenta | Población (2010) |
|------------------------|------------------|
| Vereda Tierra Morada | 1.350 |
| Proyecto Colegio | 750 |
| Industria Concentrados | 210 |

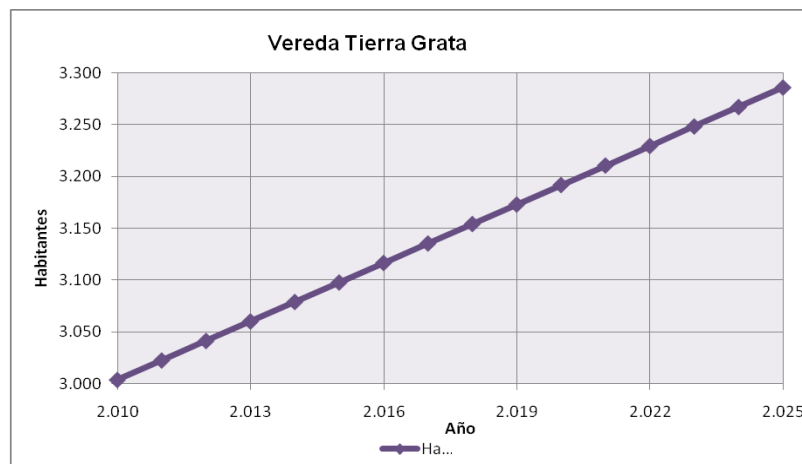


Figura 7 Proyección Poblacional

- **Dotación Bruta.** La dotación bruta debe establecerse según la siguiente ecuación:

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \% p}$$

Según R.A.S. 2000:

Dotación bruta $d_{neta} = 150$ L/hab/dia
 Porcentaje de perdidas $\%p = 30\%$
 Dotación bruta $d_{bruta} = 214.29$ L/hab/dia

- **Demanda.** Caudal medio diario - El caudal medio diario, Qmd, es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{p \cdot d_{bruta}}{86400}$$

Qmd = 8.149

Tabla 7 Población y demanda

| Año | Habitantes | Demanda (L/s) |
|------------|-------------------|----------------------|
| 2010 | 3.004 | 9,24 |
| 2011 | 3.023 | 9,30 |
| 2012 | 3.042 | 9,35 |
| 2013 | 3.060 | 9,41 |
| 2014 | 3.079 | 9,47 |
| 2015 | 3.098 | 9,53 |
| 2016 | 3.117 | 9,59 |
| 2017 | 3.136 | 9,64 |
| 2018 | 3.154 | 9,70 |
| 2019 | 3.173 | 9,76 |
| 2020 | 3.192 | 9,82 |
| 2021 | 3.211 | 9,87 |
| 2022 | 3.229 | 9,93 |
| 2023 | 3.248 | 9,99 |
| 2024 | 3.267 | 10,05 |
| 2025 | 3.286 | 10,11 |

4 CAPTACION Y ADUCCION

Tanto la captación como la aducción, para este caso, se realiza de aguas subterráneas y cada una se encuentra sobre las Plantas de Tratamiento 1 y 2.



Vista general Tanque – Planta de Tratamiento 1



Vista Pozo, Tanque – Planta de Tratamiento 1



Vista general Tanque – Planta de Tratamiento 2



Vista general Tanque – Planta de Tratamiento 2, junto al Pozo

5 CALCULO HIDRAULICO

En el caso de mallas cerradas, el equilibrio hidráulico de la red puede hacerse por cualquier método que permita el cierre o diferencia de presiones entre la entrada y la salida menor de un (1) metro. Los métodos tradicionales de cálculo son Hardy – Cross y longitudes equivalentes. Sin embargo para el presente estudio se utilizará el programa de computador “WaterCAD”, que ofrece como opción de trabajo las ecuaciones de Hazen – Williams, Darcy – Weisbach o la de Chezy para resolver cualquier tipo de sistema. Este programa fue creado por la “Heastad Methods, Inc” y está compuesto por un modulo de análisis hidráulico que permite simular el comportamiento dinámico de una red de distribución de agua potable.

Para el presente análisis hidráulico se utiliza la opción de la ecuación de Hazen – Williams, para calcular las pérdidas de cabeza por fricción. El programa utiliza la metodología de la teoría lineal para la solución matemática de la red.

$$h_f = (V^{1.852}) / ((0.347 * C)^{1.853} * DI^{1.167})$$

Donde:

Hf = Perdidas por fricción, m/m

V = Velocidad, m/s

C = Factor de fricción, adimensional, para PVC, C = 150

DI = Diámetro interno, m

6.1 Parámetros de diseño

Para el uso de la ecuación de Hazen – Williams, se debe limitar a ciertas características del fluido y del flujo. Los límites establecidos claramente son los siguientes:

- El fluido debe ser agua a temperaturas normales
- El diámetro debe ser superior o igual a 2 pulgadas
- La velocidad en las tuberías se debe limitar a 3 m/s

$$Q = A * V$$

$$10.11 \text{ (L/s)} = A * 1.11 \text{ (m/s)}$$

$$A = \pi * \phi^2/4; \quad 10.11 \text{ (L/s)} = 0.01011 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\phi = \sqrt{[0.01011/1.11]*4/\pi}$$

$$\phi \approx 4''$$

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El nivel de captación deberá ser aumentado paulatinamente hasta alcanzar los 10.11 L/s, ya que en estos momentos la explotación de aguas subterráneas alcanza los 6.5 L/s, se sugiere la explotación del pozo 227-IIC-110 explorado por INGEOMINAS, y cercano a la Planta de Tratamiento 1, con muy buenas perspectivas de agua.

Recomendaciones Constructivas [5]

Debe ser definida la ubicación de todos los tramos de la red considerando las características específicas de cada vía en donde se va a instalar la red. De manera general, se debe localizar por los andenes o áreas verdes.

La profundidad mínima a clave debe ser de 0,60 metros en zonas de andén o verdes y de 1,00 metro en cruces de calzada o vías. En caso de no poder cumplir esta especificación, las tuberías se deben proteger mediante placas de concreto.

Las distancias mínimas libres entre la línea considerada y los colectores del sistema de recolección de aguas residuales, deben ser de 1.0 m en la dirección horizontal, y 0.3 m en la dirección vertical. En todos los casos la distancia vertical se mide entre la cota clave de la tubería de red de alcantarillado, y la cota batea de la tubería de acueducto.

Por ningún motivo se debe cruzar una tubería de acueducto por dentro de pozos colectores de alcantarillado, cámaras de teléfonos, cajas de energía, gas, entre otras.

Localización de los Hidrantes [5]

La localización de los hidrantes debe cumplir los siguientes requisitos:

- Los hidrantes deben instalarse en el límite de dos predios, aproximadamente a 10 m de la intersección de los parámetros y en una zona verde o en un andén.
- Cuando se coloquen en el andén no deben instalarse a una distancia mayor de 0.5 m del borde exterior hacia adentro.

- Cuando se instalen sobre la zona verde, no deben ponerse a una distancia menor que 0.5 m del borde exterior del cordón.
- Los hidrantes deben instalarse alejados de obstáculos que impidan su correcto uso.
- No deben localizarse en las calzadas de las vías ni contiguos a postes u otros obstáculos que no permitan su correcto uso en caso de incendio.
- Las bocas de los hidrantes deben quedar hacia la calle.
- En la colocación del hidrante deben colocarse tantas extensiones que sean necesarias para que el hidrante quede saliente en su totalidad por encima del nivel del terreno.
- Antes de colocar el hidrante debe comprobarse si su funcionamiento es correcto.

Localización de las Válvulas y componentes

- Las tapas de válvulas deben estar orientadas en el sentido de flujo.
- La válvula, jamás deberá instalarse sobre la vía, esta siempre deberá estar sobre el andén o zona verde.
- La localización de las válvulas, será para control de cada uno de los ramales de la tubería, y estará de acuerdo al criterio de la Interventoría.

Profundidad máxima de instalación a clave de las tuberías de distribución

La profundidad de instalación de las tuberías que conforman la red de distribución, no debe exceder de 1.50 m medidos desde la clave de la tubería hasta la superficie del terreno.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Ingeominas – CAR - Estudio Hidrogeológico Cuantitativo de la Sabana de Bogotá, 1989 - 1993.

[2] Hidroconsulta, Hidrogeología – Municipio de Facatativá, Marzo de 2001

[3] Alcaldía Municipal de Facatativá, Plan de Desarrollo Municipal para el periodo 2008 – 2011.

[4] Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS – 2000

[5] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – E.S.P. – Sistema Técnico – SISTEC –

[6] PAVCO, Manuales del usuario