

**EMPRESA DE ACUEDUCTO
Y ALCANTARILLADO DE
BOGOTÁ
(ACUEDUCTO)**

**ESTUDIO DE ABASTECIMIENTO
SOSTENIBLE DE AGUA PARA LA
CIUDAD DE BOGOTÁ Y ÁREAS
CIRCUNDANTES BASADO EN EL
MANEJO INTEGRADO DE RECURSOS
HÍDRICOS EN
LA REPÚBLICA DE COLOMBIA**

**INFORME FINAL
INFORME RESUMEN**

Marzo 2009

AGENCIA DE COPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN (JICA)

YACHIYO ENGINEERING CO., LTD.

Exchange Rate

US\$1.00 = Col.\$1,912.15 = ¥105.65

Average between May to November 2008

PROLOGO

En respuesta a la solicitud del Gobierno de la República de Colombia, el Gobierno del Japón decidió realizar un Estudio de Abastecimiento Sostenible de Agua para la Ciudad de Bogota y Áreas Circundantes Basado en el Manejo Integrado de Recursos Hídricos, en la República de Colombia, y confiando el estudio a JICA (Agencia de Cooperación Internacional del Japón).

JICA seleccionó y envió tres veces durante los meses de Noviembre del 2006 y Enero del 2009 un grupo de estudio liderado por el Sr. Hiroshi Nakamura de la Compañía, Yachiyo Engineering Co. Ltd. a Colombia.

El equipo sostuvo una serie de discusiones con los funcionarios encargados del Gobierno de Colombia y condujo estudios de campo en el área de estudio. Antes de su regreso al Japón, el equipo realizó estudios adicionales y preparó este informe final.

Espero que este informe contribuya al fomento de este proyecto y al fortalecimiento de las relaciones de amistad entre nuestros dos países.

Finalmente, deseo expresar mi afecto sincero a los funcionarios encargados del Gobierno de la República de Colombia por su cercana colaboración a lo largo de este estudio.

Marzo 2009

Ariyuki Matsumoto
Vice Presidente
Agencia de Cooperación Internacional del Japón

Marzo 2009

Señor Ariyuki Matsumoto,
Vice Presidente
Agencia de Cooperación Internacional del Japón

Estimado Señor Matsumoto

CARTA DE TRANSMISION

Nos complace hacerle entrega del informe final del Estudio de Abastecimiento Sostenible de Agua para la Ciudad de Bogotá y Áreas Circundantes Basado en el Manejo Integrado de Recursos Hídricos para la República de Colombia. Este informe tuvo en consideración los consejos y las recomendaciones de su Agencia. También se incluyen los comentarios realizados por La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

En la actualidad, el agua es distribuida a Bogotá desde una represa a 40 Km a través de túneles construidos en la montaña. Sin embargo, el abastecimiento de agua será suspendido por el colapso del túnel cuando ocurran desastres naturales como un terremoto considerable, el cual podría generar un gran impacto al suministro de agua para la ciudad de Bogotá. Una alternativa presta especial atención y pone altas expectativas a los recursos de agua subterránea alrededor de la Ciudad de Bogotá.

Este informe consiste de un Plan Maestro y un Estudio de Factibilidad para el suministro de agua en emergencias mediante el uso de agua subterránea para la ciudad de Bogotá y áreas vecinas, con el año 2020 como objetivo. En vista de la necesidad urgente de la implementación de los proyectos de abastecimiento de agua en emergencia, recomendamos al Gobierno de Colombia poner en marcha urgentemente los proyectos propuestos en el Estudio de Factibilidad. Respuesta en caso de emergencia en el suministro de agua sera mejorado mediante el uso de resultados de este informe.

Queremos aprovechar esta oportunidad para expresar nuestra sincera gratitud a su Agencia y al Ministerio de Asuntos Exteriores. También queremos expresar nuestra profunda gratitud a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y a las organizaciones relacionadas, por su cercana colaboración y asistencia durante nuestra investigación y estudio.

Muy Atentamente,

中村 浩

Hiroshi Nakamura

Líder del Grupo de Estudio

Estudio de Abastecimiento Sostenible de Agua para la Ciudad de Bogotá y Áreas
Circundantes Basado en el Manejo Integrado de Recursos Hídricos en la República de
Colombia.



Área de El Codito en los Cerros Orientales. El área residencial se distribuye sobre la pendiente.



Área de Soacha en los Cerros Sur. El área residencial se distribuye sobre la pendiente.



Sitio propuesto para perforar en el Proyecto Oriental, cerca del pozo E-12.



Sitio propuesto para perforar en el Proyecto Sur, cerca del punto de perforación B-3.



Sitio propuesto para perforar en el Proyecto Yerbabuena, cerca del punto de perforación Y-18.



Trabajos de Perforación de JICA en Ciudad Bolívar; sitio candidato para un proyecto piloto futuro.



Trabajos de Perforación del Acueducto en La Aguadora; sitio candidato para un proyecto piloto futuro.



Sitio para el Proyecto Piloto en Vitelma, el cual el Acueducto implementará desde abril del 2009.



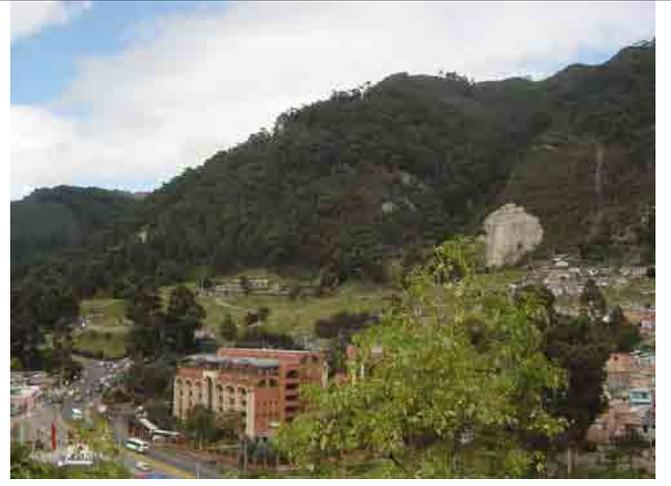
Sitio para el Proyecto Piloto en La Salle, el cual el Acueducto implementará desde abril del 2009.



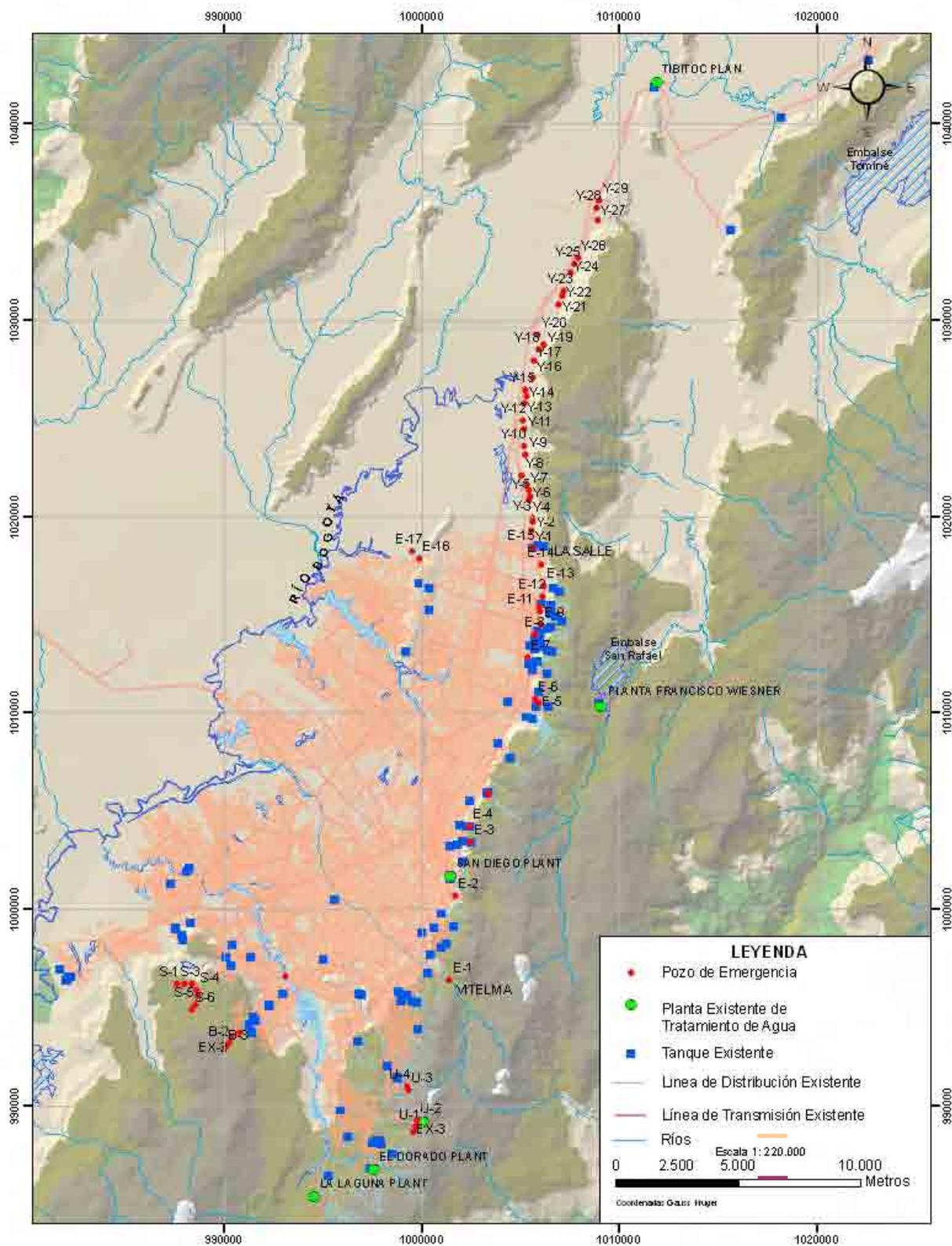
Instalación para tratamiento de agua subterránea en Tocancipa. Las instalaciones propuestas para tratamiento en este Estudio JICA son más compactas que ésta.



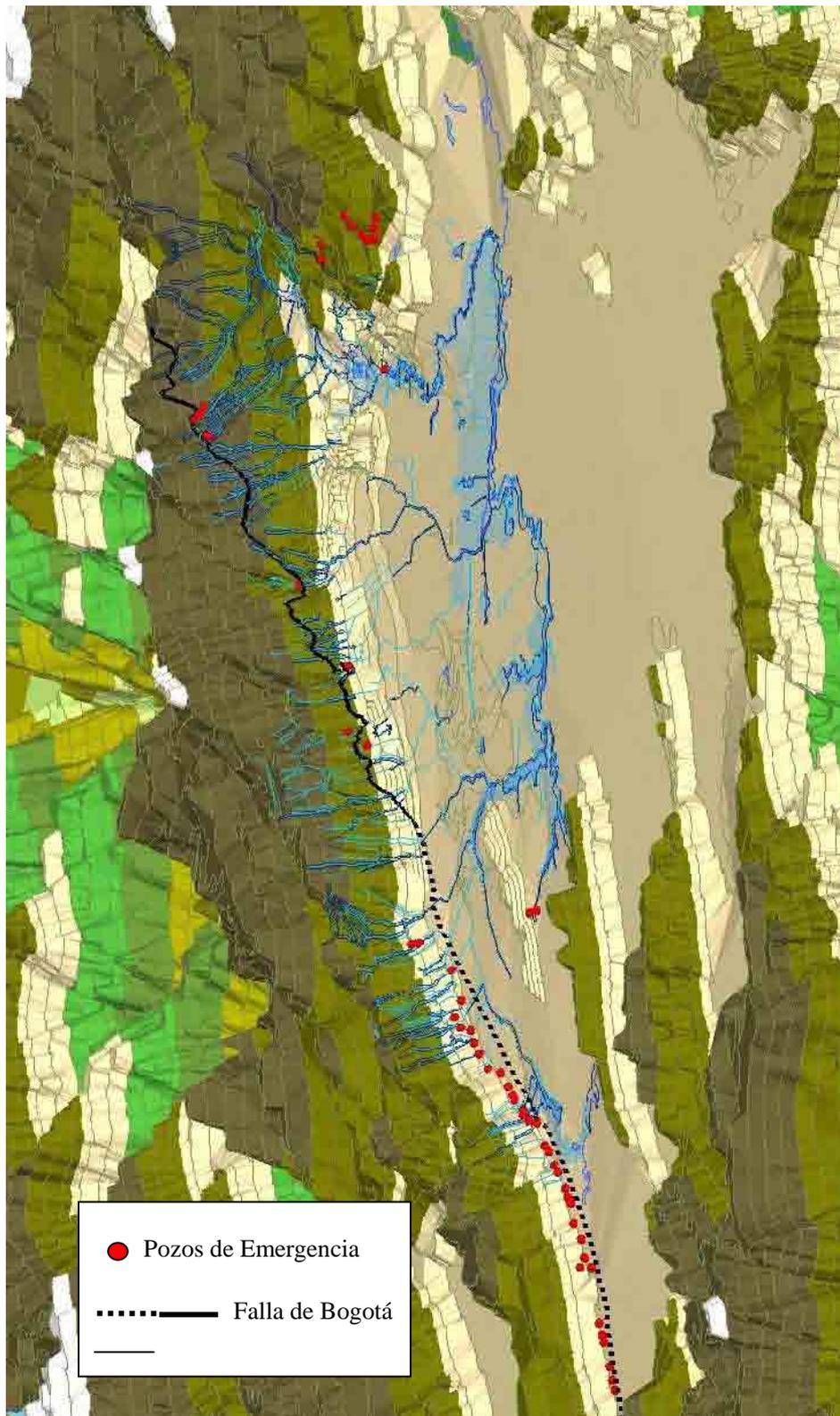
En los Cerros Orientales de Bogotá ocurren incendios forestales cada año. El agua subterránea de los Cerros puede utilizarse para apagar los incendios.



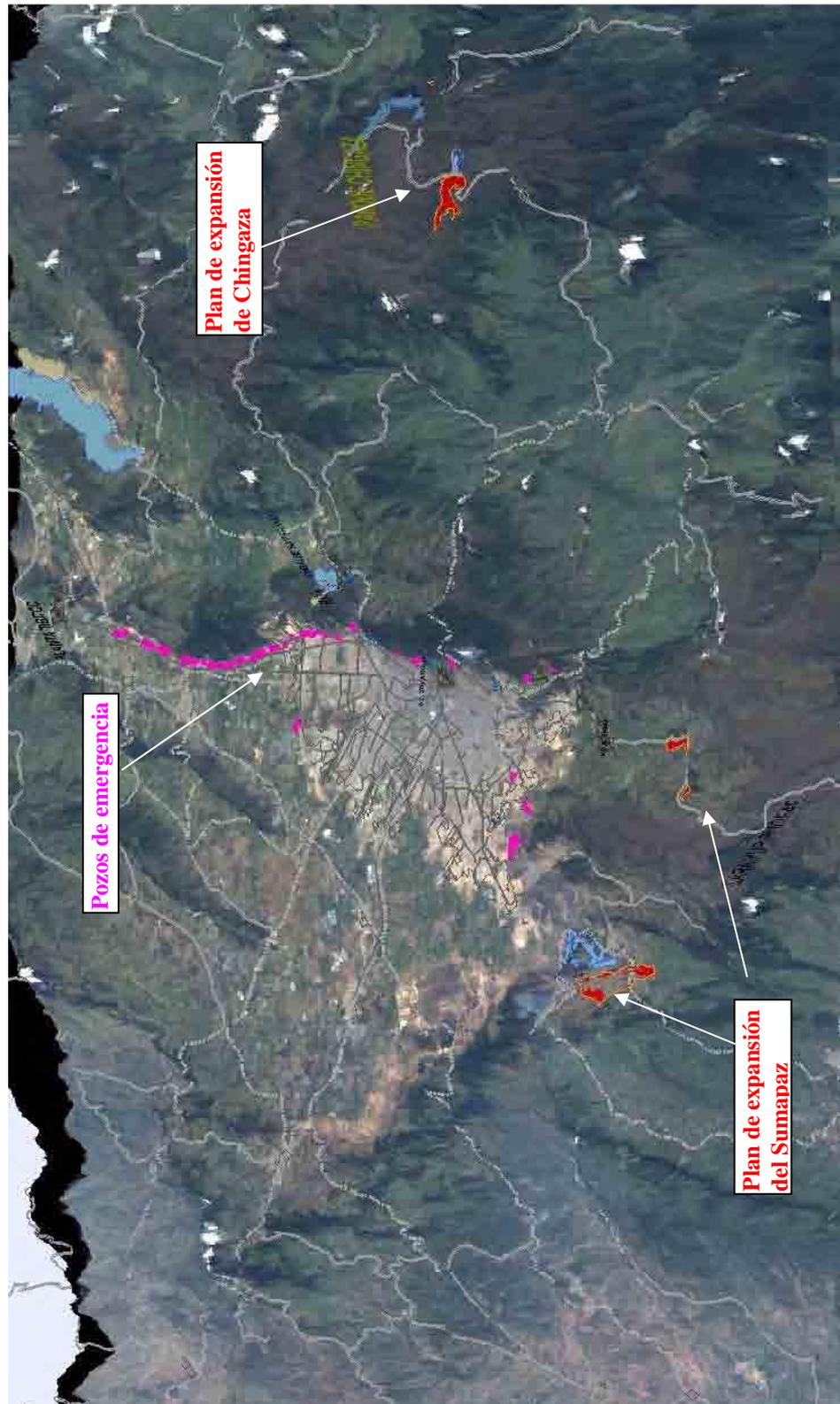
Paisaje de los Cerros Orientales. La pendiente pronunciada consiste de rocas Cretáceas, mientras que la moderada de rocas Terciarias. El límite entre ambas es la falla de Bogotá.



Área de Estudio



Pozos de Emergencia y Falla de Bogotá



Plan de Expansión de Recursos Lítricos Existente y Pozos de Emergencia

Lista del Informe

| | |
|-------------------|--|
| Informe Resumen | (Inglés, Español y Japones) |
| Informe Principal | (Inglés, Español y Japones) |
| Informe Soporte | (Inglés y Español) |
| | Parte – 1 Hidrogeología |
| | Parte – 2 Sondeo Geofísico |
| | Parte – 3 Análisis del Balance Hídrico |
| | Parte – 4 Simulación de Aguas Subterráneas |
| | Parte – 5 Perforaciones Exploratorias |
| | Parte – Subsistencia del Terreno |
| | Parte – 7 Manejo de la Producción de los Pozos |
| | Parte – 8 Calidad del Agua |
| | Parte – 9 Alcantarillado |
| | Parte -10 Estimación de Costos |
| | Parte -11 Consideraciones Ambientales |
| | Parte – 12 Economía y Análisis Financiero |
| | Parte – 13 Análisis Social |
| Libro de Datos | (Inglés y Español) |

ESTUDIO DE ABASTECIMIENTO SOSTENIBLE DE AGUA PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ Y ÁREAS CIRCUNDANTES BASADO EN EL MANEJO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS

Informe Final Preliminar – Informe Resumen

Tabla de Contenidos

| | Pág. |
|--|-------------|
| Las Fotografías | |
| Área de Estudio | i |
| Pozos de Emergencia y Falla de Bogotá | ii |
| Plan de Expansión de Recursos Lídricos Existente y Pozos de Emergencia | iii |
| Lista del Informe | vi |
| Tabla de Contenidos | v |
| Lista de Tablas | ix |
| Lista de Figuras | xi |
| Lista de Abreviaciones | xiii |
| Síntesis | S-1 |

Tabla de Contenidos

| | |
|--|--------|
| PARTE 1.INTRODUCCIÓN | 1-1-1 |
| CAPÍTULO 1 PERFIL DEL ESTUDIO | 1-1-1 |
| CAPITULO 2.ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO | 1-2-1 |
| 2. 1. Organización del Estudio | 1-2-1 |
| 2. 2. Reuniones Principales | 1-2-1 |
| 2. 3. Talleres de Trabajo | 1-2-1 |
| 2. 4. Seminario | 1-2-2 |
| PARTE 2. ESTUDIO DEL PLAN MAESTRO..... | 2-1-1 |
| CAPÍTULO 1.CONDICIONES GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO | 2-1-1 |
| 1.1. Situación Actual del Área de Estudio..... | 2-1-1 |
| 1.1.1. Condición Socio-económica..... | 2-1-1 |
| 1.1.2. Institución para el Abastecimiento y Manejo de los recursos Hídricos..... | 2-1-2 |
| 1.1.3. Condiciones Naturales | 2-1-5 |
| 1.2. Recursos Hídricos en el Área de Estudio | 2-1-10 |
| 1.2.1 Agua Superficial..... | 2-1-10 |
| 1.2.2 Agua Subterránea | 2-1-12 |
| 1.2.3 Análisis de Calidad de Agua..... | 2-1-13 |
| 1.3. Uso del agua y Manejo de Recursos Hídricos..... | 2-1-14 |
| 1.3.1 Instalaciones Existentes para el Abastecimiento de Agua | 2-1-14 |
| 1.3.2 Consumo de Agua..... | 2-1-17 |
| 1.3.3 Instalaciones de Alcantarillado y Tratamiento..... | 2-1-18 |
| 1.3.4 Administración del Recurso Hídrico | 2-1-20 |
| 1.3.5 Sistema de Administración y Monitoreo de la Calidad del Agua | 2-1-20 |
| 1.3.6 Ecosistema y Medio Ambiente | 2-1-21 |
| 1.3.7 Recarga Artificial de Aguas Subterráneas | 2-1-22 |
| 1.3.8 Resultados del Monitoreo de Aguas Subterráneas..... | 2-1-23 |
| CAPÍTULO 2. IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS RELACIONADOS CON EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA ACTUAL | 2-2-1 |
| 2.1 Garantía de Abastecimiento de Agua en Situaciones de Emergencia | 2-2-1 |
| 2.2 Abastecimiento de Agua en Áreas Residenciales de Bajos Ingresos Económicos Ubicadas en Zonas de Gran Altitud | 2-2-3 |
| 2.3 Derechos de Concesión de Agua Otorgados al Acueducto | 2-2-4 |
| CAPÍTULO 3. POTENCIAL PARA EL DESARROLLO DE RECURSOS HÍDRICOS | 2-3-1 |
| 3. 1. Potencial para el Desarrollo de Aguas Superficiales..... | 2-3-1 |
| 3. 2. Aguas Subterráneas..... | 2-3-2 |
| 3.2.1 Distribución del Acuífero | 2-3-2 |
| 3.2.2 Muestreo Geofísico | 2-3-4 |
| 3.2.3 Potencial de Desarrollo de Agua Subterránea | 2-3-7 |
| 3.2.4 Simulación de Aguas Subterráneas..... | 2-3-9 |
| 3.2.5 Perforaciones Exploratorias de Pozos | 2-3-13 |
| CAPÍTULO 4. ASPECTOS DEL PLAN MAESTRO ACTUAL DE ABASTECIMIENTO DE AGUA..... | 2-4-1 |
| 4.1. Plan Maestro Actual | 2-4-1 |

| | | |
|--|--|--------------|
| 4.2. | Revisión del Plan Maestro Existente..... | 2-4-3 |
| 4.3. | Manejo de los Recursos Hídricos..... | 2-4-4 |
| 4.4. | Propuestas al P/M del Acueducto..... | 2-4-5 |
| | | |
| CAPÍTULO 5 PLAN DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE BOGOTÁ POR MEDIO DE AGUA SUBTERRÁNEA..... | | |
| 5.1. Política Básica del Plan Maestro..... | | |
| 5.1.1 | Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia | 2-5-1 |
| 5.1.2 | Abastecimiento normal por medio de agua subterránea..... | 2-5-1 |
| 5.2. Plan de Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia | | |
| 5.2.1. | Alternativas para el Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia..... | 2-5-2 |
| 5.2.2. | Evaluación del Plan Alternativo | 2-5-3 |
| 5.3. | Demanda de Agua Subterránea | 2-5-4 |
| 5.4. Simulación de Aguas Subterránea..... | | |
| 5.4.1 | Pozos de Producción..... | 2-5-4 |
| 5.4.2 | Producción Óptima..... | 2-5-9 |
| 5.4.3 | Instalaciones Para el Tratamiento de Agua..... | 2-5-16 |
| 5.4.4 | Plan para las Instalaciones Conducción y Distribución de Agua | 2-5-17 |
| 5.5. | Manejo de la Operación de los Pozos | 2-5-18 |
| 5.6. | Análisis de Subsistencia del Terreno | 2-5-19 |
| 5.7. | Proyecto Piloto para el Uso de Agua Subterránea..... | 2-5-20 |
| 5.8. | Plan de Monitoreo | 2-5-21 |
| 5.9. | Institución y Operación/Mantenimiento..... | 2-5-22 |
| 5.10. | Cronograma de Implementación del Plan Maestro | 2-5-24 |
| 5.11. Diseño y Estimación de Costos..... | | |
| 5.11.1 | Diseño..... | 2-5-25 |
| 5.11.2 | Estimación de Costos | 2-5-26 |
| 5.12. Evaluación Ambiental Inicial (EAI)..... | | |
| 5.12.1 | Condiciones Ambientales y Sociales Actuales Dentro y Alrededor del Área del Proyecto..... | 2-5-27 |
| 5.12.2 | Impacto Ambiental y Social | 2-5-28 |
| 5.12.3 | Conformidad con Leyes, Estándares y Planes del Gobierno Colombiano y Categorización Respectiva | 2-5-29 |
| 5.12.4 | Medidas Recomendadas de Mitigación..... | 2-5-30 |
| 5.13. Evaluación del Proyecto..... | | |
| 5.13.1 | Evaluación Económica | 2-5-30 |
| 5.13.2 | Análisis Financiero..... | 2-5-31 |
| 5.13.3 | Evaluación Social | 2-5-34 |
| | | |
| PARTE 3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD..... | | 3-1-1 |
| | | |
| CAPÍTULO 1 PROYECTO PRIORITARIO | | 3-1-1 |
| | | |
| CAPÍTULO 2 PLAN DE ACCION | | 3-2-1 |
| | | |
| CAPÍTULO 3.PLAN PARA EL PROYECTO PRIORITARIO | | 3-3-1 |
| 3.1. Proyecto Prioritario: Proyecto Piloto para uso de Agua Subterránea..... | | |
| 3.1.1. | Objetivo del Proyecto Piloto para uso de Agua Subterránea..... | 3-3-1 |
| 3.1.2. | Sitio para el Proyecto Piloto | 3-3-1 |
| 3.1.3. | Plan de las Instalaciones para el Proyecto Piloto..... | 3-3-2 |
| 3.2. Proyecto del Primer Periodo | | |
| 3.2.1 | Plan de Distribución de los Pozos | 3-3-6 |
| 3.2.2 | Diseño de las Instalaciones..... | 3-3-9 |

| | | |
|---------------------------------|---|--------|
| 3. 3. | Proyecto del Segundo Periodo | 3-3-9 |
| 3.3.1 | Localización De Los Pozos | 3-3-10 |
| 3.2.3 | Diseño de las Instalaciones..... | 3-3-11 |
| 3. 4. | Proyecto del Tercer Periodo | 3-3-12 |
| 3.4.1 | Ubicación de los Pozos..... | 3-3-13 |
| 3.4.2 | Plan de las Instalaciones..... | 3-3-15 |
| 3. 5. | Diseño General de las Instalaciones..... | 3-3-15 |
| 3. 6. | Producción Óptima..... | 3-3-17 |
| 3.6.1 | Abatimiento del Nivel Freático | 3-3-17 |
| 3.6.2 | Subsidencia del terreno..... | 3-3-20 |
| 3. 7. | Operación/Mantenimiento e Institución..... | 3-3-22 |
| 3.7.1 | Lecciones del Desastre Sísmico de Kobe | 3-3-24 |
| 3. 8. | Consideraciones Sociales y Ambientales | 3-3-26 |
| 3.8.1. | Impacto Ambiental y Social Estimado | 3-3-27 |
| 3.8.2. | Conformidad con las Leyes, Reglamentos y Estándares del Gobierno Colombiano..... | 3-3-27 |
| 3.8.3. | Resultado de la Revisión Final | 3-3-28 |
| 3.8.4. | Medidas de Mitigación Recomendadas | 3-3-28 |
| 3. 9. | Diseño y Estimación de Costos..... | 3-3-29 |
| 3.9.1. | Diseño..... | 3-3-29 |
| 3.9.2. | Estimación de Costos | 3-3-30 |
| 3.9.3. | Costos de Operación y Mantenimiento | 3-3-30 |
| 3. 10. | Cronograma de Implementación del Proyecto | 3-3-31 |
| 3. 11. | Esquema Financiero | 3-3-33 |
| 3.11.1. | Costo del Desarrollo Anual | 3-3-33 |
| 3.11.2. | Financiación | 3-3-33 |
| 3. 12. | Evaluación del Proyecto..... | 3-3-33 |
| 3.12.1. | Evaluación Económica | 3-3-33 |
| 3.12.2. | Análisis Financiero..... | 3-3-34 |
| 3.12.3. | Seguridad y Solidez..... | 3-3-34 |
| 3.12.4. | Flujo de Caja..... | 3-3-34 |
| 3.12.5. | Evaluación Social | 3-3-36 |
| CAPÍTULO 4 RECOMENDACIONES..... | | 3-4-1 |

Lista de Tablas

| | |
|---|--------|
| Tabla-1.1-1 Alcance del Estudio y Resultados | 1-1-2 |
| Tabla-1.2- 1 Reuniones del Comité Directivo | 1-2-1 |
| Tabla-1.2- 2 Contenido de Talleres de Trabajo | 1-2-2 |
| Tabla-1.2- 3 Contenido del Seminario de Transferencia Técnica | 1-2-3 |
| Tabla-1.2- 3 Contenido del Segundo Seminario de Transferencia Técnica | 1-2-4 |
| | |
| Tabla-2.1- 1 Resultados Esperados por la Dirección de Redes | 2-1-4 |
| Tabla-2.1- 2 Resumen de los Recursos de Aguas Superficiales en la Cuenca del Río Bogotá | 2-1-12 |
| Tabla-2.1- 3 Fuentes de Agua para el Sistema de Abastecimiento para Bogotá | 2-1-16 |
| Tabla-2.1- 4 Fuentes de Agua y Volumen de Producción de las Plantas de Tratamiento | 2-1-16 |
| Tabla-2.1- 5 Consumo ² (1.000 m ³ /mes) | 2-1-17 |
| Tabla-2.1- 6 Consumo Unitario Estimado (litro/día/persona) | 2-1-17 |
| Tabla-2.1- 7 Pago de Agua Anual (Col\$/m ³) | 2-1-18 |
| | |
| Tabla-2.2- 1 Escenario de Desastre en el Sistema de Abastecimiento de Agua para el Área Metropolitana de Bogotá en caso de un Gran Terremoto | 2-2-2 |
| Tabla-2.2- 2 Concesión del Derecho al Uso de Agua por Sistem | 2-2-5 |
| | |
| Tabla-2.3-1 Resumen de la estimación de recarga subterránea en la Cuenca del Río Bogotá | 2-3-9 |
| Tabla-2.3-2 Ubicación de los Pozos Exploratorios | 2-3-13 |
| Tabla-2.3-3 Resultados de la Perforación Exploratoria del Cretáceo (1) | 2-3-15 |
| | |
| Tabla-2.4-1 Proyecto de Desarrollo de Recursos Hídricos en P/M en 1995 | 2-4-2 |
| Tabla-2.4-2 Derechos de Concesión de Agua y Capacidad de Producción de Agua del Acueducto (2007) | 2-4-2 |
| | |
| Tabla-2.5- 1 Evaluación del Plan de Abastecimiento en caso de emergencia | 2-5-3 |
| Tabla-2.5- 2 Demanda de agua subterránea en caso de emergencia | 2-5-4 |
| Tabla-2.5- 3 Alternativas de producción de los pozos | 2-5-10 |
| Tabla-2.5- 4 Alternativas para el Sistema de Tratamiento de Aguas Subterránea | 2-5-16 |
| Tabla-2.5- 5 Calidades deseadas de agua cruda y agua tratada (Alternativas A-1 y B-1) | 2-5-17 |
| Tabla-2.5- 6 Sistema de Tratamiento de Agua y Lodos Propuesto a ser Aplicado en este Estudio | 2-5-17 |
| Tabla-2.5- 7 Cantidad de Subsistencia del Terreno | 2-5-21 |
| Tabla-2.5- 8 Monitoreo para Inspeccionar La Influencia del Bombeo sobre el Ambiente Natural | 2-5-22 |
| Tabla-2.5- 9 Monitoreo para inspeccionar el Impacto Ambiental causado por el bombeo | 2-5-22 |
| Tabla-2.5- 10 Plan Maestro para el Abastecimiento de Agua de Emergencia por medio de Agua Subterránea | 2-5-24 |
| Tabla-2.5- 11 Cronograma de implementación del Proyecto | 2-5-25 |
| Tabla-2.5- 12 Estimación Aproximada de Costos (unidades: Col\$ millones) | 2-5-27 |
| Tabla-2.5- 13 Costo Anual del Desarrollo (Col\$ millones) | 2-5-33 |
| | |
| Tabla-3.1-1 Prioridad de los Proyectos Propuestos en el Plan Maestro | 3-1-1 |

| | |
|--|--------|
| Tabla -3.3-1 Composición y Punto de Conexión para la Unidad de Abastecimiento de Emergencia (Proyecto Piloto)..... | 3-3-2 |
| Tabla -3.3-2 Perfil del Proyecto Oriental | 3-3-5 |
| Tabla -3.3-3 Composición y Punto de Conexión para la Unidad de Abastecimiento de Emergencia (Proyecto Primer Periodo)..... | 3-3-9 |
| Tabla -3.3-4 Perfil del Proyecto Sur | 3-3-10 |
| Tabla -3.3-5 Composición y punto de Conexión para La unidad de Abastecimiento de Emergencia (Proyecto Tercer Periodo) | 3-3-12 |
| Tabla -3.3-6 Distribución de Agua del Proyecto Yerbabuena..... | 3-3-13 |
| Tabla -3.3-7 Composición y Punto de Conexión para la Unidad de Abastecimiento de Emergencia (Proyecto del Tercer Periodo)..... | 3-3-15 |
| Tabla -3.3-8 Métodos de Tratamiento de Agua | 3-3-16 |
| Tabla -3.3-9 Cantidad de Recarga para los Pozos Propuestos..... | 3-3-19 |
| Tabla -3.3-10 Subsistencia Total del Terreno | 3-3-21 |
| Tabla -3.3-11 Procedimiento para el Abastecimiento de Agua Subterránea en Caso de Emergencia | 3-3-22 |
| Tabla -3.3-12 Personal para el Abastecimiento de Agua de Emergencia por Agua Subterránea..... | 3-3-23 |
| Tabla -3.3-13 Unidad de Consumo de Agua en Emergencia..... | 3-3-25 |
| Tabla -3.3-14 Resultados de los Costos de Estimación..... | 3-3-30 |
| Tabla -3.3-15 Costos de Operación y Mantenimient..... | 3-3-31 |
| Tabla -3.3-16 Costo de Desarrollo Anual (millones Col\$)..... | 3-3-33 |
| Tabla -3.3-17 Estado de pérdidas y ganancias (millones Col\$) | 3-3-34 |
| Tabla -3.3-18 Proyección de flujo de Caja (Miles de Millones Col\$)..... | 3-3-35 |
| Tabla -3.3-19 Pago de deudas(Millones Col\$) | 3-3-35 |
| Tabla -3.3-20 Capacidad de pago (Millones Col\$)..... | 3-3-35 |
| Tabla -3.3-21 Proyección de pérdidas y ganancias (\$ miles de millones colombianos) | 3-3-36 |

Lista de Figuras

| | | |
|----------------|--|--------|
| Figura-2.1- 1 | Mapa Geológico del Área de Estudio..... | 2-1-7 |
| Figura-2.1- 2 | Subdivisiones distinguidas de la Cuenca del Río Bogotá basadas en datos DEM | 2-1-8 |
| Figura-2.1- 3 | Divisiones Redefinidas de la Cuenca del Río Bogotá..... | 2-1-9 |
| Figura-2.1- 4 | Variación Mensual Promedio de la Descarga para 37 ríos en la Cuenca del Río Bogotá..... | 2-1-10 |
| Figura-2.1- 5 | Distribución de la Precipitación en la Cuenca del Río Bogotá (unidades: mm/año)..... | 2-1-11 |
| Figura-2.1- 6 | Mapa Conceptual del Sistema de Abastecimiento para Bogotá D.C. y sus Municipios Cercanos..... | 2-1-15 |
| Figura-2.1- 7 | Descripción de los Proyectos de Infraestructura de Aguas Residuales | 2-1-18 |
| Figura-2.1- 8 | Fugas de Agua del Embalse de San Rafael | 2-1-23 |
| Figura-2.1- 9 | Sitio de Monitoreo..... | 2-1-24 |
| Figura-2.1- 10 | Tendencia a largo Plazo del Nivel de Agua Subterránea (Fluctuación Promedio)..... | 2-1-25 |
| Figura-2.1- 11 | Sitio de Monitoreo GUADARRAMA..... | 2-1-25 |
| Figura-2.2- 1 | Concepto de Posibles Emergencias | 2-2-1 |
| Figura-2.3-1 | Plan de Expansión para Abastecimiento de Agua del Acueducto y Ubicación de Los Proyectos | 2-3-1 |
| Figura-2.3-2 | Relación Entre la Topografía y la Distribución de los Acuíferos | 2-3-3 |
| Figura-2.3-3 | Estructura Hidrogeológica del Área de Estudio | 2-3-3 |
| Figura-2.3-4 | Puntos del Muestreo TEM y Resultados Analizados en los Cerros Orientales | 2-3-4 |
| Figura-2.3-5 | Puntos del Muestreo TEM y Resultados Analizados en el Sur de los Cerros Orientales (cerca de Usme)..... | 2-3-5 |
| Figura-2.3-6 | Puntos del Muestreo TEM y Resultados Analizados en los Cerros Sur..... | 2-3-6 |
| Figura-2.3-7 | Sistema de Flujo de Agua Subterránea en la Cuenca del Río Bogotá y su Área Circundante | 2-3-7 |
| Figura-2.3-8 | Distribución de la Evapotranspiración en la Cuenca del Río Bogotá..... | 2-3-8 |
| Figura-2.3-9 | Cuadrícula Modelo y Condiciones Límite en la Capa 1..... | 2-3-10 |
| Figura-2.3-10 | Distribución de la Recarga (mm/año)..... | 2-3-11 |
| Figura-2.3-11 | Ubicación de los Pozos Existentes | 2-3-12 |
| Figura-2.3-12 | Distribución de Cabezas Hidráulicas Después de la Calibración del Modelo Bajo Condiciones de Estado Permanente..... | 2-3-13 |
| Figura-2.3-13 | Ubicación de Los Pozos Exploratorios | 2-3-14 |
| Figura-2.3-14 | Localización de Pozos Recomendados..... | 2-3-16 |
| Figura-2.4-1 | Consumos Real de Agua y Demanda Estimada | 2-4-1 |
| Figura-2.4-2 | Demanda y Abastecimiento de Agua..... | 2-4-3 |
| Figura-2.5- 1 | Medidas Exhaustivas para el Abastecimiento de Agua en caso de Emergencia Sísmica..... | 2-5-2 |
| Figura-2.5- 2 | Recursos de Agua en Abastecimiento de Agua Normal y de Emergencia..... | 2-5-3 |
| Figura-2.5- 3 | Criterio para Perforar en los Cerros Orientales | 2-5-5 |
| Figura-2.5- 4 | Ubicación de Pozos para los Cerros Orientales..... | 2-5-6 |
| Figura-2.5- 5 | Área de Protección Forestal y Área Densamente Urbanizada..... | 2-5-7 |
| Figura-2.5- 6 | Ubicación de Posibles Pozos dentro del Área de Protección Forestal | 2-5-8 |
| Figura-2.5- 7 | Alternativas para la Ubicación de los pozos..... | 2-5-9 |

| | |
|--|--------|
| Figura-2.5- 8 Distribución en el Modelo de los Pozos Planeados..... | 2-5-11 |
| Figura-2.5- 9 Ubicación de los Pozos de Observación..... | 2-5-13 |
| Figura-2.5- 10 Relación Reducción Nivel Freático-Tiempo de Bombeo en el Acuífero Cretáceo..... | 2-5-14 |
| Figura-2.5- 11 Reducción de los niveles freáticos en las capas del sedimento cuaternario..... | 2-5-15 |
| Figura-2.5- 12 Composición de las Instalaciones de Conducción y Distribución de Agua para la Utilización de Agua Subterránea en caso de Emergencia..... | 2-5-17 |
| Figura-2.5- 13 Composición de las Instalaciones de Conducción y Distribución de Agua para Uso de Agua Subterránea..... | 2-5-18 |
| Figura-2.5- 14 Interferencia entre 5 Pozos..... | 2-5-19 |
| Figura-2.5- 15 Mecanismo de Subsistencia del Terreno..... | 2-5-20 |
| Figura-2.5- 16 Modelo de Consolidación..... | 2-5-20 |
| Figura-2.5- 17 Operación de Abastecimiento de Agua Subterránea en Caso de Emergencia..... | 2-5-23 |
| Figura-2.5- 18 Composición de las Instalaciones de Emergencia..... | 2-5-26 |
| Figura-2.5- 19 Mapa de Ubicación del Proyecto..... | 2-5-28 |
| | |
| Figura-3.2-1 Plan de Acción..... | 3-2-1 |
| | |
| Figura-3.3-1 Lugares para el Proyecto Piloto..... | 3-3-2 |
| Figura-3.3-2 Diseño Detallado para el Proyecto Piloto de Vitelma (Sitio del Pozo)..... | 3-3-3 |
| Figura-3.3-3 Plano para la Planta de Tratamiento de Agua de Vitelma..... | 3-3-4 |
| Figura-3.3-4 Diseño Detallado para el Proyecto Piloto de La Salle (Plano y Corte)..... | 3-3-4 |
| Figura-3.3-5 Plano y Corte para la Oficina de Operación y Mantenimiento en La Salle..... | 3-3-5 |
| Figura-3.3-6 Ubicación Óptima de los Pozos..... | 3-3-6 |
| Figura-3.3-7 Falla de Bogotá y Pozos..... | 3-3-7 |
| Figura-3.3-8 Ubicación de los Pozos..... | 3-3-8 |
| Figura-3.3-9 Ubicación de los Pozos en los Cerros Sur..... | 3-3-11 |
| Figura-3.3-10 Distribución de Agua en el Proyecto Yerbabuena..... | 3-3-12 |
| Figura-3.3-11 Ubicación de los Pozos del Proyecto Yerbabuena..... | 3-3-14 |
| Figura-3.3-12 Composición de las Instalaciones del Abastecimiento de Agua mediante Agua Subterránea..... | 3-3-17 |
| Figura-3.3-13 Ubicación de los Pozos de Observación..... | 3-3-18 |
| Figura-3.3-14 Curvas de Cambio en el Nivel Freático de los Pozos Temporales de Observación..... | 3-3-18 |
| Figura-3.3-15 Área Afectada por el Proyecto..... | 3-3-19 |
| Figura-3.3-16 Nivel de abatimiento Modificado de Aguas Subterránea..... | 3-3-20 |
| Figura-3.3-17 Flujo de Agua Subterránea por la Excavación y la Resultante de la Subsistencia del Terreno..... | 3-3-21 |
| Figura-3.3-18 Numero de Carrotanques /tiempo..... | 3-3-25 |
| Figura-3.3-19 Tanques de Agua para Carga de Camión..... | 3-3-26 |
| Figura-3.3-20 Cronograma del Proyecto Piloto s..... | 3-3-31 |
| Figura-3.3-21 Cronograma para el proyecto Oriental..... | 3-3-32 |
| Figura-3.3-22 Implementación del Cronograma del Proyecto de los Cerros del Sur..... | 3-3-32 |
| Figura-3.3-23 Cronograma del proyecto de Yerbabuena..... | 3-3-32 |

Lista de Abreviaciones

| Abreviación | Español | Inglés | Japonés |
|-----------------------------|---|---|-----------------|
| Acueducto | Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá | Bogotá Water Supply and Sewerage Company | ボゴタ上下水道公社 |
| AWWA | Asociación Americana de Acueductos | American Water Works Association | 米国水道協会 |
| ACCIÓN SOCIAL | Agencia Presidencial para la Acción Social y la Cooperación Internacional | Presidential Agency for the Social Action and International Cooperation | コロンビア社会開発・国際協力庁 |
| a.s.l. | Sobre el nivel del mar | Above sea level | 海拔 |
| ASOCOLFLORES | Asociación Colombiana de Exportadores de Flores | Colombian Flower Exporters Association | コロンビア花卉輸出業者組合 |
| B/C | Relación Beneficio-Costo | Benefit-Cost Ratio | 便益対費用比 |
| BOD | Demanda Bioquímica de Oxígeno | Biochemical Oxygen Demand | 生化学的酸素要求量 |
| CAR | Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca | Regional Autonomous Corporation of Cundinamarca | クンディナマルカ地域公社 |
| COD | Demanda Química de Oxígeno | Chemical Oxygen Demand | 化学的酸素要求量 |
| CORPOGUAVIO | Corporación Autónoma Regional del Guavio | Regional Autonomous Corporation of Guavio | グアビオ地域自治公社 |
| CORPOORINOQUIA | Corporación Autónoma Regional del Orinoco | Regional Autonomous Corporation of Orinoco | オリノキア地域自治公社 |
| CPI | Índice de Precio al Consumidor | Consumer Price Index | 消費者物価指数 |
| DANE | Departamento Administrativo Nacional de Estadística | National Administrative Department of Statistics | 国立統計局 |
| D.C. | Distrito Capital | Capital District | 首都圏 |
| DPAE | Dirección de Prevención y Atención de Emergencias | Prevention and Attention Emergencies Direction | ボゴタ首都圏都市防災局 |
| DEM | Modelo Digital de Elevación | Digital Elevation Model | 数値標高モデル |
| EEEB | Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá | Bogotá Electric Power Company | ボゴタ電力会社 |
| EIA | Estudio de Impacto Ambiental | Environmental Impact Assessment | 環境影響評価 |
| EIRR | Tasa Interna de Retorno Económico | Economic Internal Rate of Return | 経済的内部収益率 |
| EMGESA | Empresa de Generadora de Energía S.A. | Electric Power Generation Company | 発電会社 |
| FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación | Food and Agriculture Organization of the United Nations | 国際連合食糧農業機関 |
| FC | Capacidad de Campo | Filed Capacity | 圃場容水量 |
| FIRR | Tasa Interna de Retorno Financiero | Financial Internal Rate of Return | 財務的内部収益率 |
| FY | Año Fiscal | Fiscal Year | 会計年度 |
| GDP | PIB (Producto Interno Bruto) | Gross Domestic Product | 国内総生産 |
| GIS | Sistema de Información Geográfica | Geographic Information System | 地図情報システム |
| GL | Nivel de Terreno | Ground Level | 地盤高 |
| GOBERNACION DE CUNDINAMARCA | Gobernación de Cundinamarca | Cundinamarca Government | クンディナマルカ県庁 |
| GPS | Sistema de Posicionamiento Global | Global Positioning System | 全地球測位システム |
| GRDP | Producto Interno Bruto Regional | Gross Regional Domestic Product | 域内総生産 |

| Abreviación | Español | Inglés | Japonés |
|--------------------|--|--|--------------------|
| IDB | Banco Interamericano de Desarrollo | Inter-American Development Bank | 米州開発銀行 |
| IDEAM | Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales | Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies | 水文気象環境調査庁 |
| IEE | Examinación Ambiental Inicial | Initial Environmental Examination | 初期環境評価 |
| IGAC | Instituto Geográfico “Agustín Codazzi” | “Agustín Codazzi” Geographic Institute | 国土地理院 |
| INGEOMINAS | Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minera Ambiental y Nuclear | Institute of Geoscientific, Mining Environmental, Nuclear Research and Information | 国立地質科学鉱山環境核調査情報研究所 |
| ISO | Organización Internacional para la Estandarización | International Organization for Standardization | 国際標準化機構 |
| IVA | Impuesto al Valor Agregado | Value Added Tax | 付加価値税 |
| JBIC | Banco de Cooperación Internacional del Japón | Japan Bank for International Cooperation | 日本国際量録 |
| JICA | Agencia de Cooperación Internacional del Japón | Japan International Cooperation Agency | 日本国際協力機構 |
| Kc | Coeficiente de Cultivo | Crop Coefficient | 収穫率 |
| NGO | Organización No Gubernamental | Non-governmental Organization | 非政府組織 |
| MAVDT | Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial | Ministry of Environment, Housing and Land Use Development | 環境・住宅・土地開発省 |
| M/P | Plan Maestro | Master Plan | マスタープラン |
| DO | Oxígeno Disuelto | Dissolved oxygen | 溶存酸素 |
| PML | Evaluación por pérdida Máxima Probable | Evaluation for Probable Maximum Loss | 予想最高損害額評価 |
| POMCA | Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas | Settlement and Management Plan of Basins | 流域管理計画 |
| POMCO | Plan de Ordenamiento y Manejo de la cuenca de los Cerros Orientales | Settlement and Management of the Eastern Hills Basin | 東部山地帯流域管理計画 |
| POT | Plan de Ordenamiento Territorial | Territory Settlement Plan | 土地利用計画 |
| SCADA System | Control supervisor y Adquisición de Datos | Supervisory Control and Data Acquisition System | 監視制御データ収集システム |
| SDA | Secretaría Distrital de Ambiente | District Secretary of Environment | ボゴタ首都圏地区環境局 |
| SDP | Secretaria Distrital de Planeación | District Secretary of Planning | ボゴタ首都圏都市計画局 |
| SISBEN | Sistema de Selección de Beneficiarios para programas sociales | System of Selection of Beneficiaries for social programs | 社会保障年金制度 |
| S/W | Alcance del Trabajo | Scope of Work | 実施細則 |
| TEM | Método de Tiempo de Dominio Electromagnético | Time Domain Electro-magnetic Method | 時間領域電磁探査法 |
| UAESPNN | Unidad Administrativa Especial de Sistema de Parques Nacionales Naturales | Special Administrative Unit of National Natural Parks System | 国立自然公園システム特別管理ユニット |
| UAESP | Unidad Ejecutiva Servicios Públicos | Executive Unit of Public Services | ボゴタ首都圏地区公共事業局 |
| WB | Banco Mundial | World Bank | 世界銀行 |

| Abreviación | Español | Inglés | Japonés |
|--------------------|---|-----------------------------------|----------------|
| WHO | Organización Mundial de la Salud | World Health Organization | 世界保健機構 |
| WMO | Organización Meteorológica Mundial | World Meteorological Organization | 世界気象機関 |
| WTP | Planta de Tratamiento de Agua | Water Treatment Plant | 浄水場 |
| WWTP | Planta de Tratamiento de Aguas Residuales | Waste Water Treatment Plant | 下水処理場 |

SINOPSIS

Estudio sobre el Suministro de Agua Sostenible para la Ciudad de Bogotá y las Áreas Vecinas Basadas en el Manejo de los Recursos de Agua Integrados, en la República de Colombia.

Periodo de Estudio: Noviembre de 2007 - Marzo 2009
Agencia Contraparte: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá

1. Antecedentes del Estudio

La población del Área Metropolitana de Bogotá (Distrito Capital y 10 municipios cercanos) ascendió a 8.160.000 personas en el 2005, siendo el centro político y económico de Colombia donde se concentra el 20% de la población del país. La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (Acueducto) tiene la responsabilidad de suministrar el agua para Bogotá D.C. y los 10 municipios vecinos. El Acueducto satisface los estándares básicos de manejo tales como la relación entre el abastecimiento del agua y la demanda, calidad del agua, la tasa de cobertura del servicio y la situación financiera. Sin embargo, el Acueducto enfrenta el problema de abastecimiento de agua en caso de emergencia. En la actualidad se preparan los aspectos necesarios para cubrir el suministro de agua de emergencia. Además de las medidas anteriores, se señala que el agua subterránea puede ser desarrollada alrededor de la ciudad de como agua de emergencia, en caso de que la tubería sea averiada por un desastre natural. En respuesta a la solicitud de la contraparte Colombiana, este estudio ha empezado a resolver estos problemas.

2. Objetivo del Estudio

El propósito de este Estudio es el siguiente:

- a) Formular un Plan Maestro para el abastecimiento de agua (plan de abastecimiento para el área metropolitana de Bogotá), a través del uso de agua subterránea, con miras al año 2020.
- b) Implementar un Estudio de Factibilidad sobre los proyectos de alta prioridad seleccionados del Master Plan.

3. Perfil del Plan Maestro para el abastecimiento de Agua de Emergencia mediante el uso de Agua Subterránea.

(1) Plan Existente para la expansión del sistema de abastecimiento de agua del Acueducto y sus problemas.

En respuesta al incremento de la demanda de agua de la ciudad de Bogotá en el futuro, el Acueducto ha planeado el desarrollo de recursos hídricos en el área de Chingaza. Se espera que este proyecto tenga una alta eficiencia económica. El agua del Sistema Chingaza será distribuida desde la reserva que se ubica en un área distante a la ciudad de Bogotá, a través de un túnel que atraviesa la montaña de 40km de longitud. Por esta razón, existe, un alto riesgo de interrupción en la distribución del agua si el túnel llegará a colapsar. El daño por la interrupción de agua del Sistema de Chingaza será mayor, pues la importancia de este sistema será mayor en el futuro.

(2) Estrategia del Plan Maestro

La distribución de los recursos hídricos de Chingaza es vulnerable a un desastre natural. En este sentido, se ha propuesto formular el plan abastecimiento de agua en caso de emergencia mediante el uso de agua subterránea cerca de la ciudad de Bogotá. Con base en la estrategia anterior, el Plan Maestro para el suministro de agua de emergencia fue formulado en este Estudio.

(3) Escenario del Abastecimiento de Agua de Emergencia

Dos escenarios fueron preparados para el abastecimiento de agua de emergencia, y se presentan a continuación:

Tabla-1 Escenario del abastecimiento de agua de Emergencia

| Escenario | Suministro de Agua de Emergencia |
|-------------|---|
| Escenario-1 | La tubería para el suministro de agua es dañada seriamente a lo largo de la ciudad de Bogotá, inmediatamente después del terremoto: Así, el agua subterránea cerca a la ciudad es solamente la única fuente para el suministro de agua. |
| Escenario-2 | El agua de distribución del Sistema Chingaza es suspendida por un largo periodo de tiempo debido al colapso del túnel, y las otras fuentes alternativas para el suministro de agua son restauradas incluyendo el agua subterránea. |

El Escenario -1 y 2, son las situaciones más complejas en el abastecimiento del agua, las medidas para confrontar estos dos escenarios son el objetivo principal de este Plan Maestro. De estos dos escenarios. La disminución de agua por la corriente y la interrupción del suministro de agua por los trabajos de mantenimiento de las instalaciones se incluyen en la emergencia.

(4) Demanda de Agua para el Abastecimiento en Caso de Emergencia

La demanda de agua para el abastecimiento en caso de emergencia se planea de la siguiente manera:

Tabla-2 Demanda de agua en el suministro de emergencia mediante agua subterránea

| Escenario | | Periodo de Rehabilitación | Demanda de Agua Subterránea | | Nota |
|-------------|--|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|
| | | | Año | Demanda (m ³ /s) | |
| Escenario-1 | Daño en las Redes de distribución de la ciudad de Bogotá | 60 días | 2007 | 1.18 | El objetivo del Acueducto es alcanzar una Unidad de consumo de agua de 15ℓ/persona/día |
| | | | 2020 | 1.68 | |
| Escenario-2 | Daño en la distribución de agua desde Chingaza | 9 meses | 2007 | 2.20 | La disminución en el suministro de agua por la recuperación del sistema de agua será suplido mediante el agua subterránea. |
| | | | 2020 | 6.10 | |

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

(5) Desarrollo del Agua Subterránea

Sesenta y dos pozos fueron propuestos para el abastecimiento de agua en caso de emergencia. El acuífero de los pozos a lo largo de los Cerros Orientales y del Sur, de piedra arenisca del Cretáceo, ha demostrado tener una alta productividad de agua subterránea.

(6) Producción Óptima de los Pozos de Emergencia

La producción óptima para los sesenta y dos pozos de emergencia fue evaluada con base en el análisis del balance hídrico y la simulación se agua subterránea. El acuífero del Cretáceo y del Cuaternario fue analizado particularmente en los niveles de abatimiento por bombeo de los pozos de emergencia, como resultado de este análisis. Finalmente La producción de 1.44 m³/s de los sesenta y dos pozos fue propuesta como la optima.

(7) Plan y Costo del Proyecto

El proyecto total consta de tres proyectos que se enuncian en la Tabla -3. La cantidad total de 1.44m³/s será bombeada desde los sesenta y dos pozos. El objetivo del desarrollo de agua subterránea mediante agua subterránea, y por un periodo menor a 9 meses.

Tabla-3 Abastecimiento de Agua de Emergencia mediante el Uso de Agua Subterránea. Plan Maestro.

| Proyecto | | No. De Pozos | Desarrollo de Agua Subterránea (m ³ /s) | Costo del Proyecto (Col\$ Millon) |
|----------|---------------------|--------------|--|-----------------------------------|
| a) | Proyecto Oriental | 29 | 0.67 | Col\$46,310 |
| b) | Proyecto Sur | 16 | 0.38 | Col\$33,500 |
| c) | Proyecto Yerbabuena | 17 | 0.39 | Col\$28,800 |
| Total | | 62 | 1.44 | Col\$108,610 |

(Fuente: Equipo de Estudio de JICA)

(8) Organización para el Abastecimiento de Agua en caso de Emergencia Mediante Agua Subterránea

Por la reforma organizacional del Acueducto en el año 2007, el desarrollo de agua subterránea sostenible y su uso fue sumado a las responsabilidades de la división de suministro de agua del Acueducto. También, se propuso establecer una nueva unidad en el Departamento del Sistema Maestro, que sea responsable del abastecimiento de agua de emergencia mediante el uso del agua subterránea.

(9) Evaluación de Proyecto

(9-1) Evaluación Ambiental Inicial (EAI)

La Evaluación Ambiental Inicial fue puesta en marcha por el Equipo de Estudio. Como resultado de esta evaluación, fue concluido que el proyecto propuesto en el Plan director no causará mayores impactos sociales y ambientales. Por lo tanto, el proyecto propuesto es clasificado como categoría "B" según los lineamientos de JICA.

(9-2) Evaluación Económica

El objetivo del proyecto es el abastecimiento de agua en casos de emergencia. A pesar de la dificultad de valorar en términos monetarios el proyecto, se ha evaluado bajo los siguientes cuatro puntos de vista y concluyendo su alta eficiencia económica: i) la ubicación dispersa de los pozos de emergencia puede reducir el riesgo en la interrupción del abastecimiento de agua en la emergencia, ii) el costo para el desarrollo de agua subterránea es más barato que el desarrollo de aguas superficiales, iii) los pozos de emergencia podrán estar localizados cerca de la ciudad Bogotá, que seguramente tendrá una alta demanda de agua en una emergencia, iv) el desarrollo de agua subterránea puede posponer los proyectos para la expansión de Chingaza, cuya realización ha sido planeada para después del año de 2021.

(9-3) Evaluación Financiera

El proyecto propuesto es para el abastecimiento de agua de emergencia, por lo que no puede esperarse alguna ganancia financiera. El costo total del proyecto fue estimado en Col\$108.610 millones, que ocupa sólo el 7.2 % del plan de inversión a largo plazo del Acueducto. En este sentido, se concluye la capacidad del Acueducto puede costear tanto el capital como el interés para la totalidad del proyecto propuesto, aún cuando el presupuesto total sea obtenido en el País. La ganancia comercial del Acueducto aumenta constantemente cada año, por lo que el presupuesto adicional para el proyecto propuesto causará tan solo un impacto mínimo, a la situación financiera de Acueducto.

(9-4) Evaluación Social

Se espera que el proyecto genere varios beneficios sociales en las áreas donde se implemente, de la siguiente manera: a) aumento de la población servida en casos de Emergencia, b) suministro de agua para el control de incendios, c) aumento en las oportunidades de empleo por la construcción de las instalaciones del proyecto.

4. Estudio de Factibilidad del Proyecto de Alta Prioridad

El Plan Maestro para el abastecimiento de agua en caso de emergencia mediante el uso de agua subterránea fue aprobado por la Contraparte Colombiana. Siguiendo al Plan Maestro, se implementó el Estudio de Factibilidad, de acuerdo a las prioridades dadas a los proyectos, como se presentan a continuación:

| Prioridad | Proyecto | | |
|-----------|---------------------|---|--------------------------------------|
| i) | Proyecto Piloto | → | Proyecto Prioritario |
| ii) | Proyecto Oriental | → | Proyecto del 1 ^{er} Periodo |
| iii) | Proyecto Sur | → | Proyecto del 2 ^{do} Periodo |
| iv) | Proyecto Yerbabuena | → | Proyecto del 3 ^{er} Periodo |

El Estudio de Factibilidad se implementó en todos los proyectos, considerando que la dimensión total del proyecto no es tan grande, y la importancia que cada proyecto tiene por las fuertes relaciones entre ellos, para el abastecimiento de agua de emergencia.

4.1 Perfil del Proyecto

Los proyectos propuestos en el Plan Maestro fueron revisados en el Estudio de Factibilidad, y se decidieron finalmente de la siguiente manera:

(1) Proyecto Anterior: Proyecto Piloto para el Uso de Agua Subterránea

El proyecto piloto tiene el importante propósito de resolver los problemas técnicos del abastecimiento de agua de emergencia mediante aguas subterráneas. El proyecto Piloto debería ser implementado en ocho (8) sitios dentro del área urbana de Bogotá, antes que los otros proyectos. El proyecto piloto, como ejemplo de las instalaciones para el suministro de agua de emergencia promoverá la implementación de los proyectos propuestos a lo largo de la ciudad de Bogotá.

(2) Proyecto del Primer Periodo: Proyecto Oriental

En el Proyecto Oriental, la construcción de las instalaciones para el abastecimiento de agua de emergencia fue planeada en los cerros Orientales. La cercanía del centro de Bogotá a estos cerros, permite que el agua subterránea de los pozos pueda ser rápidamente enviada al centro de la ciudad. El fácil acceso desde los cerros Orientales al centro convierte al proyecto Oriental en el principal para el abastecimiento de agua de emergencia. El número de pozos de emergencia es treinta y tres (33), y la producción planeada es de 685,000 m³/día, lo cual proveerá de agua a 4.565.000 personas con una unidad de tasa de consumo de 15ℓ/persona/día.

(3) Proyecto del Segundo Periodo: Proyecto del Sur

En el proyecto Sur, se planearon las instalaciones para el abastecimiento de agua de emergencia para ser construidas en los Cerros del Sur. Se presume que el epicentro de un posible fuerte terremoto, se presente en los cerros del Sur, donde se ubican varias viviendas en la pendiente de los cerros. Se espera que el daño ocasionado por un terremoto, incluidos aquellos en las instalaciones de suministro de agua, sean más severos en esta área que en el resto de la ciudad de Bogotá. El número de pozos

de emergencia es de catorce (14), y la producción planeada es de 13.100m³/día, lo cual proveerá de agua a 872.000 personas con una tasa de consumo de 15ℓ/persona/día.

(4) Proyecto del Tercer Periodo: Proyecto Yerbabuena

El área de Yerbabuena está localizada al norte de la ciudad de Bogotá, entre los municipios de Chia y Sopó. En caso de emergencia, el agua subterránea de los pozos ubicados en esta área podrá ser enviada mediante carrotanques o ser conducida a través de tuberías a la ciudad de Bogotá y las áreas vecinas. El área de Yerbabuena se localiza relativamente lejos del centro del área urbana de Bogotá y es por esta razón, que la prioridad del Proyecto Yerbabuena ha sido evaluada como la más baja frente a los otros proyectos, aún cuando el potencial de desarrollo de agua subterránea es alto. El número de los pozos de emergencia es diecisiete (17), y la producción planeada es de 34.000 m³/día, lo cual proveerá de agua a 2.266.000 personas con una unidad de tasa de consumo de 15ℓ/persona/día.

4.2 Costo del Proyecto

El costo total para los proyectos propuestos (Oriental, del Sur y Yerbabuena) se estimó en \$122.300 millones y el promedio del costo anual estimado para su implementación es de \$15.400 millones, asumiendo que los trabajos de construcción de la totalidad de los proyectos sean terminados en 7 años.

Tabla-4 Proyecto para el Abastecimiento de Agua de Emergencia mediante el Uso de Agua Subterránea (Estudio de Factibilidad)

| Proyecto | | No. de Pozos | Desarrollo de Agua subterránea (m ³ /s) | Costo del Proyecto (Col\$ Millones) |
|----------|---------------------|--------------|--|-------------------------------------|
| a) | Proyecto Oriental | 33 | 0.79 | Col\$67,500 |
| b) | Proyecto del Sur | 14 | 0.15 | Col\$23,000 |
| c) | Proyecto Yerbabuena | 17 | 0.39 | Col\$32,800 |
| Total | | 64 | 1.33 | Col\$123,300 |

Nota) El número de Pozos y su producción, propuestos en el P/M, fueron revisados y modificados en el E/F.

4.3. Evaluación del proyecto

(1) Evaluación Técnica

- La ubicación y el numero de instalaciones para el suministro de agua de emergencia fueron planeadas, teniendo en cuenta las condiciones relacionadas, como la hidrogeología, el uso de la tierra y la accesibilidad en emergencias. La cantidad de agua producida por los pozos de emergencia pueden suplir la demanda de agua del área urbana de Bogotá en emergencias.
- Según el resultado del análisis de balance hídrico, la tasa de bombeo planeada por los pozos de emergencia fue calificada como óptima. El uso de aguas subterráneas de los pozos privados no será interrumpido por el abatimiento del nivel de agua ocasionado por el bombeo de los pozos de emergencia con una duración menor a 9 meses. También se concluyó que no se ocasionará subsidencia del terreno por el bombeo.
- La calidad del agua subterránea de los pozos de emergencia que corresponden al acuífero de arenisca del Cretáceo es excelente. Siendo necesario únicamente, la cloración y un tratamiento de agua simple para remover el hierro y el manganeso. Las instalaciones del tratamiento de agua fueron planeadas para satisfacer los estándares de calidad de agua de Colombia.
- El abastecimiento puntual de agua en emergencia puede ser puesto en marcha de manera eficaz, mediante carrotanques o camiones de carga comunes. Los tanques plásticos livianos son eficaces para cargar en los camiones.
- Las instalaciones propuestas para el abastecimiento de agua de emergencia cumplen los criterios de diseño de Colombia, y pueden ser construidas con tecnología Colombiana.

(2) Consideraciones Sociales y Ambientales

La Evaluación Inicial Ambiental (EIA) fue implementada en los proyectos propuestos, con base en los lineamientos de JICA para la Consideración Social y Ambiental. De acuerdo con los resultados de la evaluación, se concluyó que los proyectos propuestos no tendrán un impacto socio ambiental significativo en el área del proyecto. De este modo, los proyectos fueron clasificados como categoría B en los lineamientos de JICA.

(3) Evaluación Económica

El propósito del proyecto propuesto es asegurar el abastecimiento de agua en emergencia, por lo que una evaluación económica es difícil de determinar en términos monetarios. Por lo tanto, la viabilidad del proyecto propuesto fue señalada considerando las tres ventajas del desarrollo del agua subterránea a continuación:

- a) Diversificación de riesgos por la falla de la fuente de agua
- b) Bajo costo de desarrollo del recurso hídrico
- c) Desarrollo del recurso hídrico cerca al área de demanda

(4) Evaluación Financiera

El costo del proyecto propuesto es de \$123.000 millones. A juzgar por su condición financiera, el Acueducto puede cubrir la totalidad del pago de la deuda, aún cuando el costo total del proyecto sea producto de un préstamo de un banco doméstico. El costo incremental de los intereses y la depreciación generada por los proyectos propuestos no afectan seriamente la rentabilidad del Acueducto.

(5) Evaluación Social

Se espera que el proyecto genere varios beneficios sociales en las áreas de los proyectos, tal como se muestra a continuación:

- a) Aumento de la población servida en la emergencia, b) Suministro de agua para las actividades contra incendios forestales, c) Aumento en las oportunidades de empleo.

PARTE 1. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1. PERFIL DEL ESTUDIO

(1) Antecedentes del Estudio

La población del Área Metropolitana de Bogotá (Distrito Capital y 10 municipios cercanos) ascendió a 7.600.000 de personas en el 2005, siendo el centro político y económico de Colombia donde se concentra el 20% de la población del país. La tasa de crecimiento de población durante los últimos diez años (1993-2003) fue de 2,3%, excediendo el promedio nacional de 1,8%, lo cual refleja la influencia del desplazamiento interno de personas.

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (Acueducto) tiene la responsabilidad de suministrar agua para Bogotá D.C. El Acueducto ha venido expandiendo las áreas de abastecimiento de agua a 10 municipios vecinos con la expansión del “Área Urbana de Bogotá (distrito urbano)”, la cual está definida en el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C. A pesar de que existe una tasa de alrededor del 35% de agua no contabilizada, el Acueducto satisface los estándares básicos de manejo tales como la brecha entre el abastecimiento del agua y la demanda, calidad del agua, la tasa de cobertura del servicio y la situación financiera.

Sin embargo, el Acueducto enfrenta el problema de abastecimiento de agua en caso de emergencia. En el área metropolitana de Bogotá ocurren desastres naturales. El Acueducto, implementa las medidas preventivas físicas tales como el reforzamiento sismorresistente de los tanques de agua, y las medidas de mitigación preventivas, como el fortalecimiento de la coordinación con otras organizaciones y la preparación de manuales, no son necesariamente suficientes. Adicionalmente, es necesario salvaguardar el agua subterránea como fuente de agua alternativa cuando el abastecimiento regular de agua sea suspendido debido a un desastre natural. Es en estas eventualidades que la asistencia técnica del Gobierno Japonés ha sido requerida para solucionar estos problemas.

(2) Objetivo del Estudio

La agencia ejecutora de este Estudio es la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (Acueducto). El propósito de este Estudio es el siguiente:

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">a) Formular un plan maestro de abastecimiento de agua para el área metropolitana de Bogotá para casos de emergencia aprovechando el recurso hídrico subterráneo y desarrollarlo en su totalidad para el año 2020.b) Implementar un Estudio de Factibilidad sobre los proyectos de alta prioridad seleccionados del Plan Maestro. |
|---|

(3) Área de Estudio

Área de Estudio: La sabana de Bogotá, la cuenca del río Chingaza, la cuenca del río Sumapaz (Bogotá D.C. y 10 ciudades vecinas)

Área del terreno: Aproximadamente 4,305 km²

Población del Área de Estudio: 7.600.000 (2005)

(4) Alcance de Estudio y Principales Rendimientos

Este Estudio será implementado en dos fases: Los contenidos de cada fase se presentan en la Tabla-1.1- 1.

Tabla-1.1- 1 Alcance del Estudio y Principales Rendimientos

| Fase | Contenido |
|--|---|
| Fase-1: Formulación del Plan Maestro (M/P) | [Primer Año] 1) Análisis de la situación Actual y la posibilidad del uso del agua subterránea para suministro |
| | [Segundo Año] 2) Perforación Exploratoria 3) Formulación del Plan Maestro y selección de los proyectos prioritarios |
| Fase- 2: Estudio de Factibilidad por prioridad de proyectos (E/F) | [Tercer Año] 4) Formulación del plan de implementación del proyecto de alta prioridad 5) Divulgación de los acuerdos sobre el M/P (plan de abastecimiento de agua mediante agua subterránea) por la Contraparte Colombiana. |

Fuente: Equipo de Estudio JICA

CAPÍTULO 2. ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO

2.1. Organización del Estudio

El Equipo de Estudio y la Contraparte Colombiana discutió y decidió la organización de la siguiente manera:

- Las organizaciones Contrapartes Colombianas están conformadas por diez institutos, a) Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (Acueducto), b) Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial (MAVDT), c) Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), d) Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), e) Secretaria Distrital de Planeación (SDP), f) La Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE), g) El Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) y h) Instituto de Hidrología, i) Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), j) Gobernación de Cundinamarca y k) Agencia Presidencial para la Acción Social y la Cooperación Internacional (ACCIÓN SOCIAL).
- El Comité Directivo ha sido establecido para este estudio. El Comité Directivo esta organizado con miembros representantes de las diez organizaciones anteriores.

2.2. Reuniones Principales

Las siguientes reuniones del Comité Directivo fueron llevadas a cabo por el estudio entre el Equipo de Estudio y las organizaciones de la Contraparte. Refiérase al Apéndice-2. Actas de Reunión

Tabla-1.2- 1 Reuniones del Comité Directivo

| No. | Fecha | Contenido |
|-----|----------------------|--|
| 1 | Diciembre 1 de 2006 | Discusión del Informe de Inspección entre el la Contraparte Colombiana y el Equipo de Estudio. |
| 2 | Enero 11 de 2007 | Discusión de la organización y el contenido del Estudio entre la Contraparte Colombiana y el Equipo de Estudio JICA. |
| 3 | Febrero 15, 2007 | Discusión del contenido del Reporte de Progreso del Estudio entre la Contraparte Colombiana y el Equipo de Estudio JICA. |
| 4 | Julio 4, 2007 | Discusión sobre la continuidad del Estudio. Discusión de la definición y la necesidad del abastecimiento de suministro de agua entre la Contraparte Colombiana y el Equipo de Estudio JICA. |
| 5 | Noviembre 23 de 2007 | Discusión del progreso del Estudio entre la Contraparte Colombiana y el Equipo de Estudio JICA. Comentarios de la contraparte al Informe anterior de JICA. Se acordó que los comentarios deberían ser tenidos en cuenta en el próximo reporte de JICA. |
| 6 | Diciembre 28 de 2007 | Discusión sobre 4 ítems de la continuidad del Estudio Colombiano entre la contraparte Colombiana y el Equipo de Estudio de JICA. |
| 7 | Julio 7 de 2008 | Explicación y Discusión del Progreso del Estudio entre la contraparte Colombiana y el Equipo de Estudio de JICA. |
| 8 | Mayo de 2008 | Discusión del contenido del Informe Parcial entre la contraparte Colombiana y el Equipo de Estudio de JICA. |
| 9 | Septiembre 3 de 2008 | Discusión del contenido del Estudio de Factibilidad entre la contraparte Colombiana y el Equipo de Estudio de JICA. |
| 10 | Octubre 4 de 2008 | Explicación y discusión del progreso del Estudio de Factibilidad entre la contraparte Colombiana y el Equipo de Estudio de JICA. |

Fuente: Equipo de Estudio JICA

2.3. Talleres de Trabajo

Los siguientes talleres de trabajo se desarrollaron cubriendo todos los aspectos del Estudio. Las presentaciones realizadas por el Equipo de Estudio JICA han contribuido al programa de talleres de trabajo, como se muestra a continuación:

Tabla-1.2- 2 Contenido de Talleres de Trabajo

| No. | Fecha | Temas | Contenido | Ponente |
|-------|-----------------------|--|--|----------|
| WS1-1 | Enero 11 de 2008 | Contenido del análisis sobre el potencial de desarrollo de los recursos hídricos. | Análisis Hidrológico | Lei |
| | | | Estudio Topográfico y Geológico | Inoue |
| WS1-2 | Febrero 2 de 2007 | Estudio geofísico y resultados del anterior estudio de JICA. | Estudio Geofísico | Fujita |
| | | | Resultado del estudio anterior de JICA | Nakamura |
| WS1-3 | Febrero 8 de 2008 | Consideraciones Ambientales y resultados del estudio anterior de JICA. | Purificación de agua para lagos y Afluentes. | Ueda |
| | | | Resultados del Estudio anterior | Nakamura |
| WS1-4 | Febrero 7 de 2007 | Transferencia Técnica del Estudio de Campo con el método TEM | Estudio de Campo con el método TEM con TEM-FAST48HPC | Fujita |
| WS1-5 | Febrero 16 de 2007 | Análisis de los datos TEM. | Procedimiento del proceso y análisis de los datos TEM. | Fujita |
| WS2-1 | Octubre 2 de 2007 | Potencial de desarrollo de los recursos de aguas superficiales. | Análisis del balance de agua para aguas superficiales | Lei |
| WS2-2 | Octubre 17, 2007 | Potencial de desarrollo de los recursos de aguas subterráneas | Análisis del balance de agua para aguas subterráneas | Lei |
| WS2-3 | Octubre 26 de 2007 | Desarrollo potencial de los recursos hídricos. | Potencial de desarrollo de agua en el área de estudio. | Lei |
| WS2-4 | Diciembre 23 de 2007 | Consideraciones ambientales y ejemplos del desarrollo de los recursos hídricos en Japón. | Consideraciones Ambientales | Ueda |
| | | | Ejemplo del Desarrollo de Recursos Hídricos en Japón | Nakamura |
| WS2-5 | Diciembre 3 de 2007 | Simulación de Aguas subterráneas. | Introducción a la simulación de aguas subterráneas. | Yasuda |
| | | | Resumen del Proyecto | Nakamura |
| | | | Potencial de desarrollo de agua subterránea y diseño de las instalaciones de abastecimiento de agua. | Nakamura |
| | | | Plan para el proyecto piloto para el desarrollo de agua subterránea. | Nakamura |
| | | | Disminución del nivel de agua subterránea por el desarrollo de agua subterránea. | Yasuda |
| | | | Organización, operación y mantenimiento de las instalaciones del suministro de agua de emergencia. | Hara |
| | | | Estimativo de Costos | Fujii |
| | | | Evaluación Económica y Financiera | Osakabe |
| | | | Situación social del área de los cerros | Elsa |
| | | Exploración de pozos | Ikeda | |
| WS2-7 | Enero 22 de 2008 | Proyecto piloto para el uso de agua subterránea. | Tratamiento de agua para el proyecto piloto para el uso de agua subterránea | Nakamura |
| WS3-1 | Septiembre 17 de 2008 | Simulación de agua subterránea. | Simulación de agua subterránea | Nakamura |
| WS3-2 | Septiembre 24 de 2008 | Resultados del nivel de agua monitoreado con registradores automáticos. | Resultados del nivel de agua subterránea monitoreado con registradores automáticos | Nakamura |
| WS3-3 | Septiembre 1 de 2008 | Prueba de Bombeo. | Prueba de Bombeo | Nakamura |
| WS3-4 | Octubre 3 de 2008 | Diseño y Costo Estimado del Estudio de Factibilidad. | Diseño y Costo Estimado del Estudio de Factibilidad | Fujii |
| WS3-5 | Octubre 8 de 2008 | Método de Operación de Visual Modflow. | Método de Operación de Visual Modflow | Nakamura |
| WS3-6 | Octubre 15 de 2008 | Estudio Geofísico y de agua Subterránea. | Estudio Geofísico y de agua Subterránea. | Nakamura |
| WS3-6 | Octubre 22 de 2008 | Simulación de Agua subterránea. | Teoría y aplicación de la simulación de agua subterránea | Lei |
| WS3-7 | Octubre 29 de 2008 | Simulación de Agua Subterránea. | | Lei |
| WS3-8 | Octubre 31 de 2008 | Simulación de Agua Subterránea. | | Lei |
| WS3-9 | Octubre 7 de 2008 | Análisis del potencial de agua subterránea. | Resultado de simulación de Agua Subterránea | Lei |

Fuente: Equipo de Estudio JICA

2.4. Seminario

Primer Seminario de Transferencia Técnica

El primer seminario de transferencia técnica fue realizado el 13 de Mayo del año 2008. Las presentaciones fueron realizadas por el Equipo de Estudio y las organizaciones relacionadas. El contenido del seminario se resume en la Tabla-1.2-3.

Tabla-1.2- 3 Contenido del Seminario de Transferencia Técnica

| Hora | Presentación | Ponente | Organización |
|---------------|---|----------------------------|---------------------------|
| 8:00 - 8:15 | Discurso de Apertura | Sr. Kazunori HAYASHI | Oficina de JICA Colombia |
| 8:20 - 9:00 | Manejo de Recursos Hídricos por la CAR | Sr. Alfredo Molina | CAR |
| 9:05 - 10:20 | Recursos de Agua Subterránea y abastecimiento de Agua de emergencia | Sr. Hiroshi NAKAMURA | Equipo de Estudio de JICA |
| 10:50 - 11:30 | Área de Protección Forestal en los Cerros Orientales | Sra. Myriam Amparo Andrade | CAR |
| 11:35 - 12:15 | Propuesta para el abastecimiento de agua de emergencia | Sr. Guillermo Escobar | DPAE |
| 13:25 - 14:05 | Situación Actual del Agua Subterránea en Bogotá | Sr. Ismael Martínez | SDA |
| 14:10 - 14:50 | Demandas de Agua a largo Plazo de Bogotá | Sr. Néstor Raúl García | Acueducto |
| 14:50 - 15:00 | Discurso de Cierre | Sr. Alberto Groot | Acueducto |

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Los temas sobre el desarrollo y manejo de recursos hídricos en Bogotá D.C. fueron presentados por la CAR y el Equipo de Estudio de JICA. Las regulaciones sobre el desarrollo de los recursos hídricos fueron explicadas por la CAR; y el abastecimiento de agua de emergencia fue explicado por la DPAE y el Equipo de Estudio de JICA. SDA hizo su presentación sobre la situación ambiental actual del agua subterránea en la ciudad de Bogotá.

La participación de los asistentes fue activa, y la discusión prevaleció sobre la pregunta de cómo desarrollar el agua subterránea para el abastecimiento de agua subterránea. Existe un área de protección forestal en los Cerros Orientales, donde la actividad para el desarrollo económico es regulada. El desarrollo del recurso de agua subterránea también es regulado en el área de protección forestal. Los asistentes discutieron si es correcto o no regular el desarrollo de agua subterránea para el abastecimiento de agua de emergencia.

Segundo Seminario de Transferencia Técnica

El segundo seminario de transferencia técnica se realizó el 21 de Enero del 2009. El Equipo de Estudio y otras organizaciones relacionadas realizaron las presentaciones que se presentan en el Tabla-1.2-4.

Tabla-1.2- 4 Contenido del Segundo Seminario de Transferencia Técnica

| Hora | Presentación | Presentación | Organización |
|---------------|---|----------------------------|------------------------|
| 8:30 - 8:35 | Abertura del Seminario | Sr. Kiyoshi YOSHIMOTO | JICA Colombia |
| 8:35 - 8:45 | Discurso de Apertura | Sr. Alberto Groot | Acueducto |
| 8:45 - 10:00 | Abastecimiento Sostenible de Agua para la Ciudad de Bogotá y sus Áreas Circundantes Basado en el Manejo Integrado de Recursos Hídricos. | Sr. Hiroshi NAKAMURA | Equipo de Estudio JICA |
| 10:00 - 10:30 | Uso y Conservación de Aguas Subterráneas en Bogotá | Sr. Oscar Osorio | SDA |
| 10:45 - 11:05 | Cerros Protegidos de Bogotá, Propuesta para la modificación y ajuste del PMA | Sra. Miriam Amparo Andrade | CAR |
| 11:05 - 11:25 | Hidrogeología en los Cerros Orientales de Bogotá | Sr. Romulo Camacho | CAR |
| 11:25 - 12:00 | Abastecimiento de Agua en caso de Emergencia para Bogotá | Sr. Guillermo Escobar | DPAE |
| 12:00-12:30 | PTA para Aguas Subterráneas y Emergencias | Sr. Alvaro Sanjinez | VALREX |
| 13:30-14:30 | Visita al Pozo de La Aguadora | | |
| 14:30-15:00 | Plan de Abastecimiento de Agua Subterránea en Caso de Emergencia para Bogotá | Sr. Alberto Groot | Acueducto |
| 15:00-15:30 | Calidad del Agua Potable en Casos de Emergencia. | Sr. Jorge Arboleda | HIDROSAN |
| 15:30-15:45 | Cierre | Sr. Alberto Groot | Acueducto |

Fuente: Equipo de Estudio JICA

El Equipo de Estudio JICA presentó el resultado final de este Estudio JICA en el seminario. La necesidad e importancia del abastecimiento de agua en caso de emergencia y los aspectos actuales al respecto fueron esclarecidos con las presentaciones del seminario. Los asistentes comprendieron completamente la importancia del abastecimiento de agua en caso de emergencia. Los medios de comunicación también asistieron al seminario y presentaron los resultados de este estudio JICA en sus transmisiones, causando gran interés del público en este estudio. Adicionalmente, el Acueducto implementó una prueba de bombeo el día del seminario en el pozo de La Aguadora, a escasos metros del lugar del seminario. La imagen del bombeo fue transmitida por los medios de comunicación dejando una buena impresión en mucha gente.

La SDA hizo una presentación sobre el uso y la conservación del agua subterránea dentro de Bogotá. La CAR explicó las regulaciones en los Cerros Orientales de Bogotá y explicó una propuesta para modificar y ajustar el Plan de Manejo Ambiental. Adicionalmente, La CAR, realizó una presentación técnica acerca de la hidrogeología en los Cerros Orientales de Bogotá. El DPAE expuso sobre el abastecimiento de agua en Bogotá en caso de emergencia. Valrex presentó sus plantas móviles de tratamiento de agua, útiles en caso de emergencia.

El Acueducto y el Equipo de Estudio JICA explicaron el plan de abastecimiento de agua subterránea en caso de emergencia para Bogotá. Hidrosan expuso sobre la calidad del agua en caso de emergencia proveyendo algunas pautas en casos de emergencia.

PARTE 2. ESTUDIO DEL PLAN MAESTRO

CAPÍTULO 1. CONDICIONES GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.1. Situación Actual del Área de Estudio

1.1.1. Condición Socio-económica

(1) Área de Estudio

El Área de Estudio comprende el Distrito Capital de Bogotá (Bogotá D.C: 1.605 km²) junto con 10 municipios del departamento de Cundinamarca (1.173 km²). El Área de Estudio abarca 19 de las 20 localidades existentes en el Distrito Capital.

El departamento de Cundinamarca está dividido en 15 provincias, divididas a su vez en 116 municipios. En el Área de Estudio se incluyen 4 provincias y 10 municipios del departamento.

(2) Población

COLOMBIA

La población de Colombia es de 41,5 millones de personas de acuerdo al censo realizado en el 2005. El incremento poblacional durante un periodo de 12 años fue de 8,4 millones de personas de acuerdo al censo anterior realizado en 1993. La tasa de crecimiento anual durante este periodo (1993-2005) fue de 1,9%, lo que evidencia una disminución en la tasa de crecimiento comparada con la tasa registrada durante el mismo periodo entre 1985 y 1993, que fue de 2,2% de acuerdo a los censos.

EL ÁREA DE ESTUDIO

El censo poblacional del 2005 contabilizó 7,6 millones de personas en el área de estudio, un incremento de 2,2 millones respecto al censo anterior de 1993. La tasa de crecimiento entre los censos de 1993 y 2005 fue de 2,9% mostrando una leve disminución respecto a la misma durante el periodo de 1985 a 1993 de 3,0%.

- El censo poblacional de Bogotá D.C. en el 2005 muestra un aumento de 1,9 millones de personas, equivalente a un incremento de 2,7% anual, si se compara con los datos arrojados en el censo de 1993.
- La población de los 10 municipios del departamento de Cundinamarca aumentó en 0,4 millones desde el censo de 1993. El crecimiento poblacional de esta área se redujo al 5,0% comparado con la tasa anterior de 6,7%; sin embargo, el crecimiento es considerablemente alto, especialmente en los municipios de Mosquera, Chía y Tocancipá.

La densidad de población (personas/km²) de Bogotá D.C. y de los 10 municipios del departamento de Cundinamarca en el 2005 fue de 8.800 y 790 respectivamente.

(3) Producto Interno Bruto Regional

El PIB de Colombia creció 4,7% en el 2005 y llegó a Col\$ 285 millones de millones.

El PIBR de Bogotá D.C. en el 2005 creció 5,5% y llegó a Col\$ 64 millones de millones, 23% del PIB de Colombia. El PIBR del departamento de Cundinamarca fue de Col\$ 15 millones de millones equivalente al 5% del PIB nacional.

Tanto el PIBR como el PIB han tenido un crecimiento positivo desde el 2000 a pesar del crecimiento negativo de 1999 debido al estancamiento económico.

El PIBR per capita de Bogotá D.C. fue de US\$ 3.840 en el 2005, un 44% mayor que el PIB per capita de Colombia. Por otra parte, el PIBR per capita de departamento de Cundinamarca en el 2005 fue de US\$ 2.830, casi lo mismo que el PIB per capita de Colombia.

(4) Actividades Económicas

BOGOTÁ D.C.

El sector de servicios es una actividad económica predominante en Bogotá D.C. que considera el 67% del PIBR registrado en el 2005. Se destacan especialmente los sectores comercial/hotelero/restaurante, finca raíz y financieros en la ciudad.

El sector industrial también juega un papel importante en la actividad económica de Bogotá D.C. representando el 32% del PIBR en 2005. Las tres industrias más grandes en Bogotá D.C. son Textiles/ropa, comida/bebidas y petroquímica.

DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

La agricultura es un sector económico importante en el Departamento representando el 28% del PIBR. Los principales productos agrícolas del Área de Estudio son cosechas transitorias tales como tomate, zanahoria y arveja. La floricultura también es un sector económico muy importante en el área de estudio.

El sector industrial representó el 30% del PIBR en el 2005. Las industrias más importantes del Departamento son: 1) Comida y Bebida, 2) Cerámica y Vidrio y 3) Cemento.

1). Índice de Precios al Consumidor y Tasa de Cambio

El IPC para la década de los 90's mostró un aumento por año mayor al 15%. Posteriormente en 1999 cayó bruscamente a un 9%. El IPC ha caído continuamente desde 1999 alcanzando un nivel histórico de 4,5% en el 2006 durante los últimos 15 años.

El peso colombiano ha sido devaluado en el 2002 y 2003 a causa de la crisis financiera Suramericana. Sin embargo se ha estabilizado desde el 2004 e incluso se ha restaurado al nivel del año 2000 en el 2007. A finales de Octubre del 2007 la tasa de cambio del peso colombiano contra el dólar americano se cotizó en 1.999,44.

1.1.2. Institución para el Abastecimiento y Manejo de los recursos Hídricos

(1) Legislación Actual sobre el Manejo de Recursos Hídricos

La Constitución Colombiana de 1991 confiere al Estado la propiedad del subsuelo y de los recursos naturales y renovables. Los principales decretos, leyes y resoluciones relacionados con el manejo de los recursos hídricos son los siguientes:

<Decreto No. 2811 de 1974-Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección Ambiental>

El Decreto-Ley 2811 del 18 de Diciembre de 1974, denominado “Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección Ambiental” es la ley fundamental del manejo de los recursos hídricos. Todos los recursos hídricos en cualquier condición y en cualquier parte dentro del territorio nacional son reconocidos como recursos naturales renovables. En el Código, los recursos naturales renovables son considerados como propiedad pública de la Nación; el Estado participará en su preservación y manejo en función social.

<Decreto No. 1541 de 1978 y Acuerdo No. 10 de 1989 de la CAR>

El Decreto No. 1541 de 1978 estipula el uso de aguas no marinas con base en el Código Nacional de Recursos Renovables y de Protección Ambiental. El decreto define diferentes tipos como públicos y privados, de aguas no marinas y lechos de ríos. La parte principal del decreto está destinada a establecer procedimientos para otorgar derechos sobre el uso de aguas no marinas a personas individuales incluyendo personas jurídicas.

<Ley No. 99 de 1993>

La Ley No. 99 de 1993 institucionaliza organizaciones tales como el Ministerio del Medio Ambiente, el Concejo Nacional del Medio Ambiente, el Instituto de Estudios en Hidrología Meteorología y Medio Ambiente (IDEAM), y las Corporaciones Autónomas Regionales, para la administración pública de la protección y conservación ambiental al igual que el manejo de recursos naturales renovables. La Ley también establece los deberes y jurisdicciones de las organizaciones relevantes. La Ley estipula que las Corporaciones Regionales Autónomas con independencia financiera y propiedades propias, administren el medio ambiente y los recursos renovables naturales en concordancia con las leyes y las políticas del Ministerio.

<Ley No. 373 de 1997>

La Ley No. 373 de 1997 provee programas para el uso eficiente y ahorro del agua.

<Acuerdo de la CAR No. 8 del 2000>

EL acuerdo de la CAR No. 8 del 2000, determina el cobro sobre el derecho de concesión de agua. Los cargos básicos por municipio están calculados teniendo en cuenta los siguientes factores i) aridez, ii) necesidad básica insatisfecha, como condiciones socio-económicas y iii) disponibilidad de recursos hídricos.

<Resoluciones del DAMA (nombre previo de la SDA) en cuanto al Manejo de aguas Subterráneas>

La Resolución No. 250 de 1997 del DAMA determina la formula para calcular la tasa de cobro por extracción de agua subterránea.

La resolución No. 251 de 1997 del DAMA obliga al registro de pozos localizados en las zonas urbanas del Distrito Capital ante la SDA.

<Legislación sobre el Manejo de Cuencas Hidrográficas>

El Decreto No. 1604 de 2002 estipula la composición de la Comisión Conjunta y sus funciones con base en la Ley No. 99 de 1993. El Decreto No. 1729 del mismo año proporciona conceptos, objetivos, composiciones, implementaciones y la financiación para la implementación del Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA).

(2) Legislación sobre Prevención y Atención de Emergencias

El Decreto No. 332 del 2004 de Bogotá D.C. organiza, rige y sistematiza la prevención y atención de emergencias en Bogotá D.C. El Decreto define las situaciones de emergencia en el Distrito, las actividades para prevenir y mitigar los riesgos incluyendo el Plan Distrital de Prevención y Atención de Emergencias, el Sistema Distrital de Prevención y Atención de Emergencias, y otras disposiciones relevantes.

El Decreto No. 423 del 2006 de Bogotá D.C. establece las políticas, los objetivos generales, las líneas de acción, los escenarios y programa del Plan Distrital de Prevención y Atención de Emergencias. El Decreto establece siete objetivos generales del Plan, como se muestran en la Tabla-2.1-1. El Decreto también identifica escenarios territoriales. El escenario relacionado con el abastecimiento de agua es el de redes de servicios públicos que incluye abastecimiento de agua y sistema de alcantarillado.

Tabla-2.1- 1 Resultados Esperados por la Dirección de Redes

| |
|--|
| Objetivo General |
| Ubicación Segura |
| Construcción Segura |
| Operación Segura |
| Inclusión del manejo de Riesgo en la Cultura |
| Visibilidad y Responsabilidad |
| Atención Integrada de Emergencias |
| Resistencia frente al desastre |

Fuente: Decreto No. 423 de 2006.

(3) Organizaciones para el Uso y Manejo del Recurso Hídrico

Las organizaciones que tienen relación con el uso y manejo del recurso hídrico son las siguientes:

<Acueducto>

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (Acueducto) es una empresa pública, sin capital privado, encargada del abastecimiento de agua y el servicio de alcantarillado en Bogotá D.C. El Acueducto también suministra agua a 10 municipios cercanos: Cajicá, Sopó, Chía, Tocancipá, La Calera, Gachancipá, Soacha, Funza, Mosquera y Madrid, con contratos en cada municipio. En la actualidad la mayoría de las fuentes hídricas del Acueducto son de agua superficial. El Acueducto maneja su atención a clientes a través de cinco Oficinas de Gerencia por Zonas. La oficina de la Zona 1 se ubica en Usaquén y la de la Zona 4 en Santa Lucía mientras las otras oficinas (Zona 2, 3 y 5) su ubican en la sede principal del Acueducto.

<Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial>

El Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) está a cargo del manejo del medio ambiente y de los recursos naturales renovables tales como los recursos hídricos. El Ministerio formula políticas en estas materias a nivel nacional, mientras que las entidades regionales tales como la CAR o la SDA están encargadas de la formulación e implementación de políticas para el manejo en sus jurisdicciones. La Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Nacionales (UAESPNN) otorga la concesión para uso del agua dentro de los Parques Nacionales Nacionales.

<CAR>

La CAR tiene un papel principal en la conservación del medio ambiente y en el manejo de los recursos naturales renovables, incluyendo los recursos hídricos. La CAR fue originalmente establecida como una entidad de manejo de cuencas de agua y posteriormente cambió su nombre al actual mediante la Ley No. 99 de 1993. Su territorio también ha cambiado de áreas de cuencas, a áreas de unidades administrativas. La subdirección de Manejo del Medio Ambiente Compartido implementa el inventario de recursos naturales y analiza el uso de los recursos hídricos naturales. La Secretaría General y la Sub-Dirección Jurídica administran las licencias y permisos medioambientales.

<Secretaría Distrital de Ambiente>

La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) es uno de los Departamentos Técnico Administrativos del Distrito de Bogotá (Alcaldía Mayor) encargada del manejo del medio ambiente y de los recursos naturales renovables dentro del perímetro urbano de Bogotá D.C. La SDA otorga únicamente concesiones de agua subterránea y no de agua superficial debido a la escasa disponibilidad de ésta en el área y mala calidad.

<IDEAM>

El IDEAM está a cargo de las investigaciones hidrológicas, meteorológicas y medioambientales. Realiza los estudios e investigaciones para formular nuevas políticas para el Ministerio de Medio Ambiente

<INGEOMINAS>

INGEOMINAS es un centro tecnológico de geología o de cualquier otra materia relacionada con el subsuelo incluyendo agua subterránea.

<CORPOGUAVIO>

La Corporación Autónoma Regional del Guavio (CORPOGUAVIO) tiene jurisdicción en el área aguas arriba de la Cuenca del río Guavio. CORPOGUAVIO cumple casi la misma función de la CAR formulando políticas y planes e implementando programas y proyectos. Está autorizada para otorgar licencias medioambientales y concesión de derechos de agua en su área de Jurisdicción.

<CORPOORINOQUIA>

La Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía (CORPOORINOQUIA) tiene jurisdicción en el área aguas arriba de la Cuenca del río Orinoco. CORPOORINOQUIA cumple casi la misma función de la CAR y CORPOGUAVIO formulando políticas y planes e implementando proyectos y programas. Está autorizado para otorgar licencias ambientales y concesión de derechos de agua en el área de su jurisdicción.

1.1.3. Condiciones Naturales

(1) Meteorología

La formación de recursos hídricos en una región esta estrechamente relacionada con la división climática de la misma. Comúnmente se conoce que bajo un clima húmedo y lluvioso, los recursos hídricos son generalmente abundantes y por otra parte bajo un clima seco y árido, la recarga de agua superficial y subterránea es baja. La división climática se realizo por el método Koeppen.

(a) Distinción de Patrones de Precipitación

La cuenca del Río Bogotá tiene un mínimo de precipitación mensual por encima de los 30 mm (35,6 mm) y la relación entre los meses mas húmedos y los mas secos es de 2,47 (= 97,6 / 35,6) siendo esta mucho menor a 10. Por lo tanto su clima se clasifica dentro del Patrón Anual de Precipitación (f).

(b) Cálculo de Frontera Árida

Lo mas importante al determinar la zona climática es diferenciar entre clima seco y húmedo. Para hacer esto, la frontera árida “r” se calcula mediante la siguiente formula:

$$r = 20 \times (t + x)$$

Donde “r” es la Frontera Árida la cual se define como la cantidad de agua que se evapora anualmente en una región determinada. En la fórmula “t” es la temperatura promedio anual, y “x” es el factor determinado con base en el patrón de precipitación. Para el caso de la cuenca del Río Bogotá, este valor es igual a siete (x = 7). La temperatura promedio anual en la cuenca del Río Bogotá es de 13,3°C, por lo tanto la Frontera Árida se calcula de la siguiente manera:

$$r = 20 \times (13.3 + 7) = 406 \text{ mm}$$

(c) Clasificación Climática

Con base en el análisis de los datos meteorológicos recolectados en 60 estaciones de medición, la precipitación anual promedio en la cuenca del Río Bogotá se estima en 825 mm. Esto es más del

200% del valor de la Frontera Árida “r” calculada. Por lo tanto la cuenca del Río Bogotá se clasifica como de Clima Húmedo (C).

(d) Variación Mensual en la Precipitación Anual

En la Cuenca del Río Bogotá la precipitación se distribuye de forma bastante uniforme a lo largo del año y la diferencia entre la precipitación mínima y la máxima mensual es pequeña. Enero es el mes con menor precipitación y la precipitación presenta un patrón bi-modal. El primer pico se presenta entre Abril y Mayo, el segundo entre Octubre y Noviembre.

(e) Temperatura

La temperatura mensual promedio en el Área de Estudio muestra pequeñas variaciones, entre los 13 y 14°C.

(f) Evaporación

El patrón de fluctuación estacional de evaporación, muestra el pico más alto en Enero y el más bajo entre Mayo y Julio.

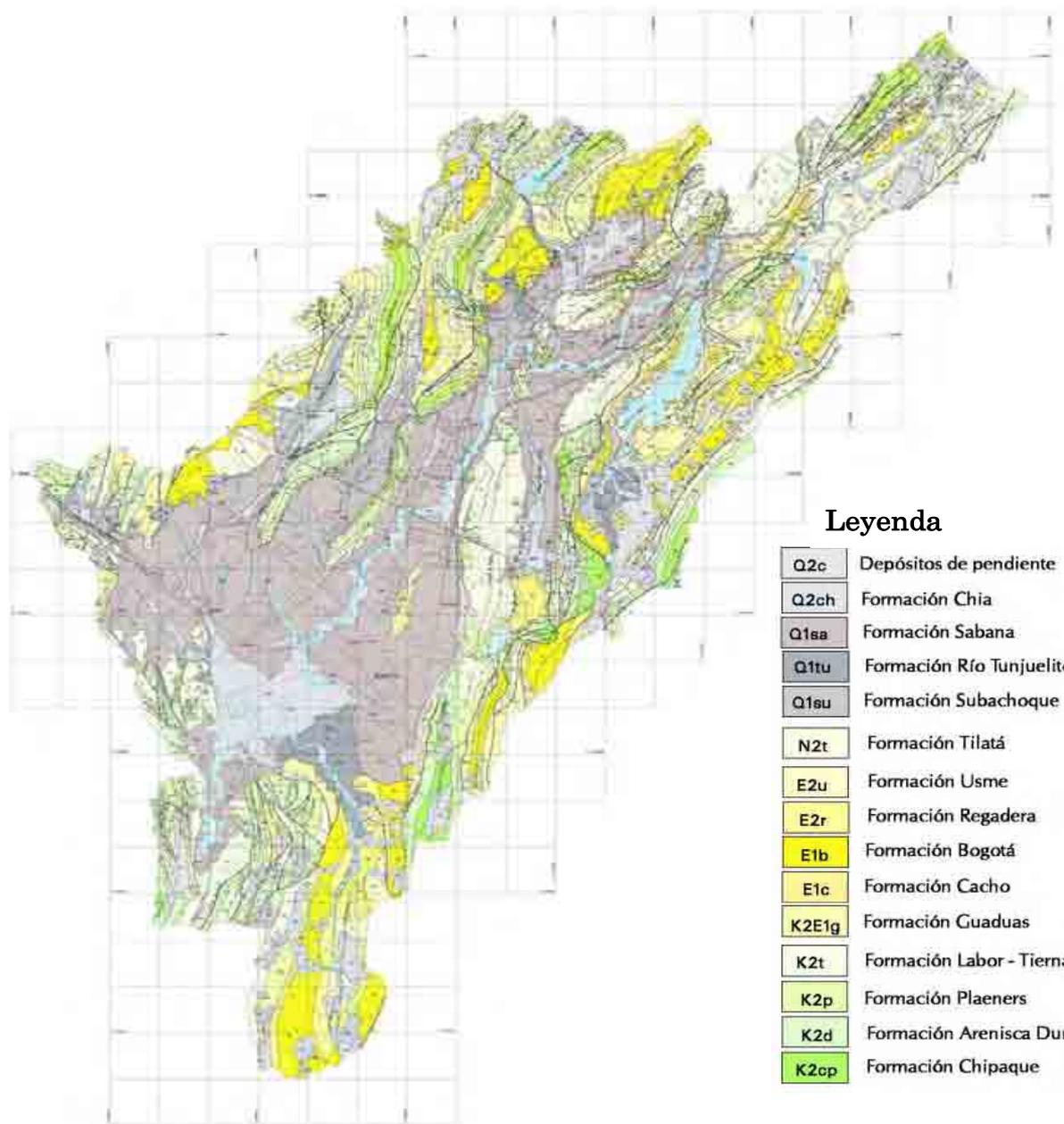
(2) Topografía y Geología

El área de estudio está localizada en la Cordillera Oriental limitada en su lado Oriental por los Cerros Orientales y en el lado Occidental por los cerros de la estribación Occidental de la Cordillera Oriental, la cual atraviesa de sur a norte la parte media del país. Esta cuenca se denomina Sabana de Bogotá. Su elevación está entre 2.500 y 2.600 m.s.n.m. y la superficie dominante del terreno es casi plana.

Por otro lado, la cuenca está rodeada por una Cordillera y un Cerro.

El mapa geológico de la Sabana de Bogotá donde se encuentra el área de estudio se muestra en la Figura-2.1- 1. La Sabana de Bogotá está compuesta de rocas sedimentarias y sedimentos del Cretáceo-Cuaternario con ausencia de rocas ígneas. En el Área de Estudio se encuentran formaciones superiores a la Formación Chipaque del Cretáceo.

La estructura geológica de la Sabana de Bogotá se caracteriza por la repetición anticlinal y sinclinal con ejes en dirección NNE-SSW o NE-SW. La falla de gran escala es principalmente longitudinal a lo largo de la estructura geológica tal como se ha mencionado. Sin embargo la estructura geológica del área de los Cerros del Sur es irregular en parte por una falla en dirección NW-SE.



Fuente: INGEOMINAS.

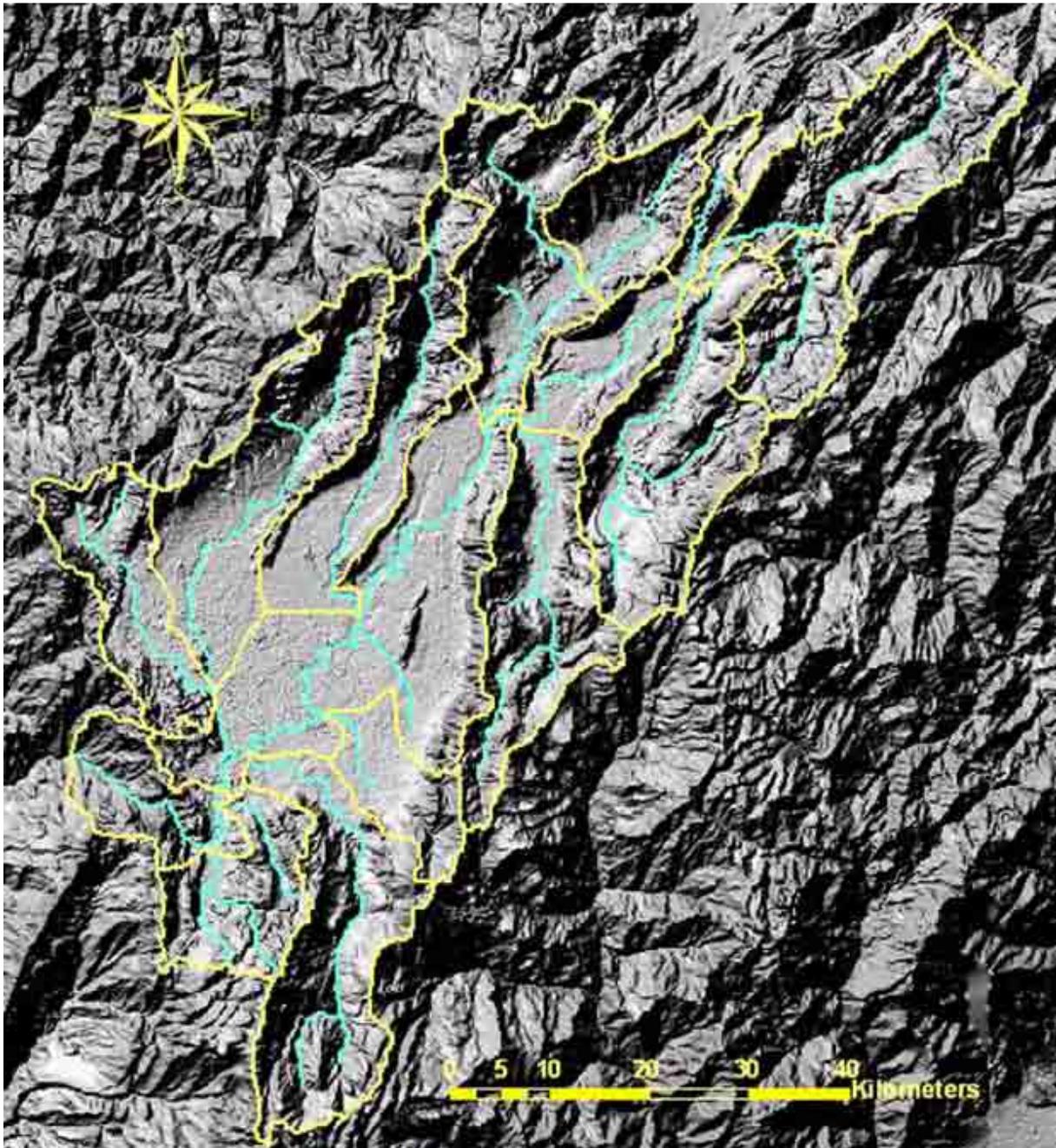
Figura-2.1- 1 Mapa Geológico del Área de Estudio

(3) Hidrología

(a) Sistema del Río

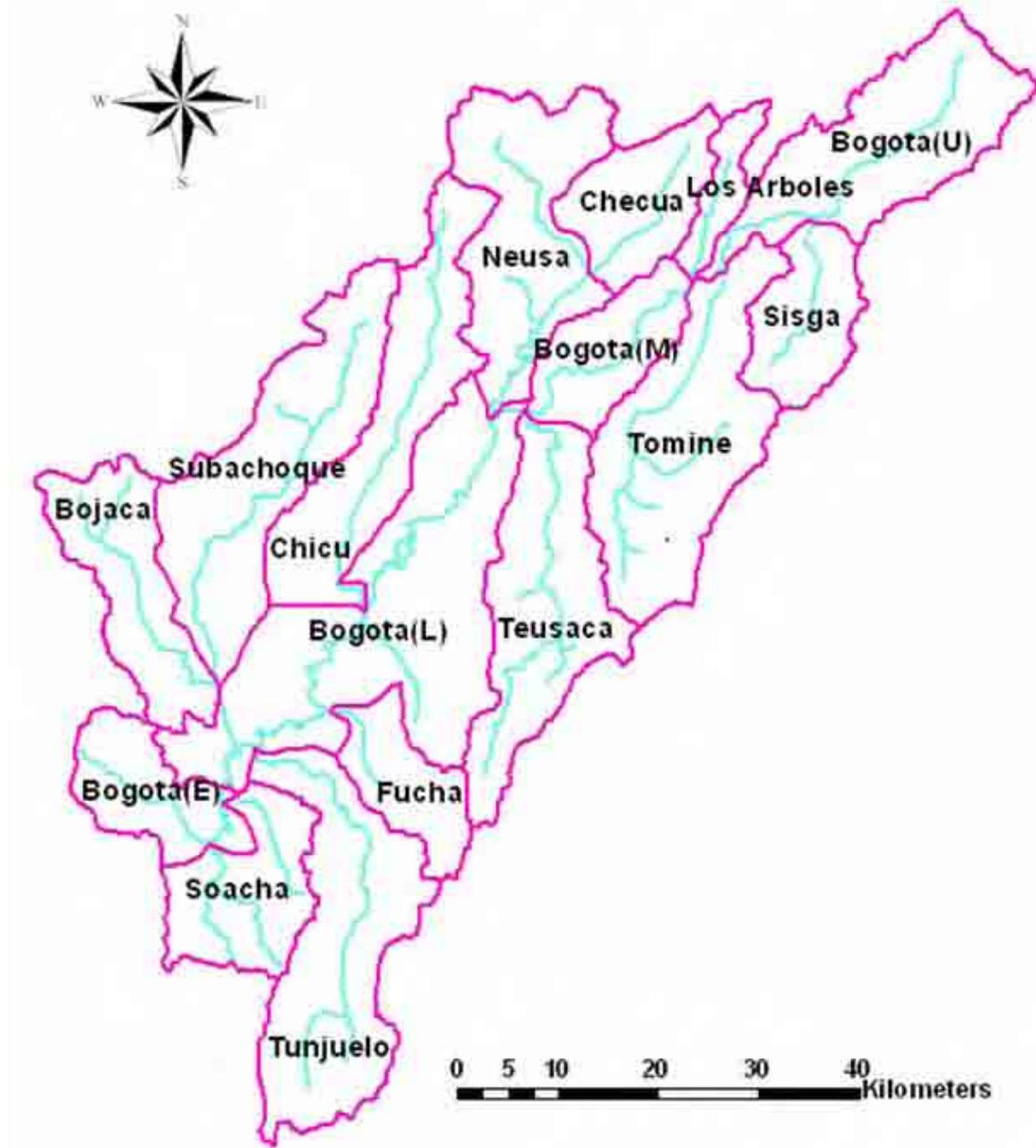
El Área de Estudio cubre las cuencas de ríos de Bogotá D.C. siendo su río principal el Río Bogotá. El área de la cuenca es de 4.396 km² y presenta una forma alargada que se extiende en dirección NE-SW.

El nacimiento del río Bogotá se origina en la parte nororiental de la cuenca y fluye hacia el sur-occidente. El río eventualmente fluye fuera de la cuenca en el sur-occidente desde el punto donde se ubica el Salto del Tequendama. La Cuenca del Río Bogotá ha sido dividida en un total de 16 partes que consisten en la subcuenca del caudal principal y otras 15 subcuencas primarias como se ilustra en la Figura-2.1-2 y Figura-2.1-3.



Fuente: US-NASA

Figura-2.1- 2 Subdivisiones distinguidas de la Cuenca del Río Bogotá basadas en datos DEM



Fuente: US-NASA

Figura-2.1- 3Divisiones Redefinidas de la Cuenca del Río Bogotá

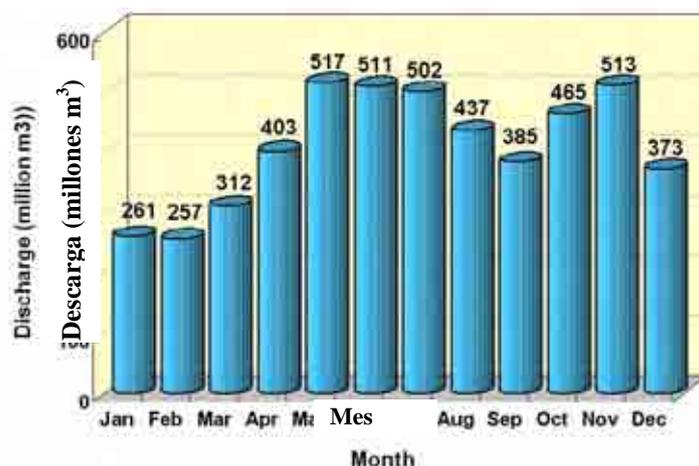
(b) Características Básicas del Régimen del Río

a) Volumen de Caudal Promedio

El análisis hidrológico reveló que el volumen promedio del caudal al salir de la Cuenca del Río Bogotá (salida al sur-occidente) es de $1,07 \times 10^9 \text{ m}^3$ (aproximadamente $33,9 \text{ m}^3/\text{s}$).

b) Variación del Caudal Anual

La descarga mensual del río es relativamente estable a través del año, reflejando el patrón de precipitación anual anteriormente discutido. El patrón de descarga presenta dos picos en Mayo y Noviembre, lo que se compara con la distribución bimodal de la precipitación mensual.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.1- 4 Variación Mensual Promedio de la Descarga para 37 ríos en la Cuenca del Río Bogotá

(4) Hidrogeología

(a) Clasificación de Acuíferos

Cada estrato distribuido en el Área de Estudio está caracterizado por su edad geológica y de sus rocas.

Acuífero Cuaternario

El agua subterránea actualmente bombeada por los pozos en el Área de Estudio está almacenada en capas de arena y grava de la Formación Sabana. El Acuífero Cuaternario consiste de capas de arena y grava que se distribuyen irregularmente a diferentes profundidades con pobre continuidad.

Acuífero Terciario

El terciario en el Área de Estudio consiste principalmente de sedimentos arcillosos. Solo pequeños estratos de arena y grava incluidos localmente en el estrato arcilloso pueden formar el acuífero. El desarrollo a gran escala de agua subterránea en el terciario es difícil ya que el acuífero es muy pequeño.

Acuífero Cretáceo

El sistema Cretáceo en el Área de Estudio consiste del Grupo Guadalupe (Formación Labor-Tierna, Formación Plaeners y Formación Arenisca Dura) y la Formación Chipaque. El Grupo Guadalupe forma un excelente acuífero incluyendo formación de arena. Por otro lado la Formación Chipaque consiste principalmente de lutita y no se considera como un buen acuífero.

(b) Estructura Hidrogeológica

La estructura hidrogeológica del Área de Estudio esta fuertemente dominada por una estructura geológica compleja, donde la distribución y continuidad de acuíferos esta influenciada por fallas y plegamientos. Al parecer los acuíferos Cuaternario, Terciario y Cretáceo forman acuíferos confinados. El acuífero superficial del Cuaternario al parecer forma un pequeño acuífero no confinado.

1.2. Recursos Hídricos en el Área de Estudio

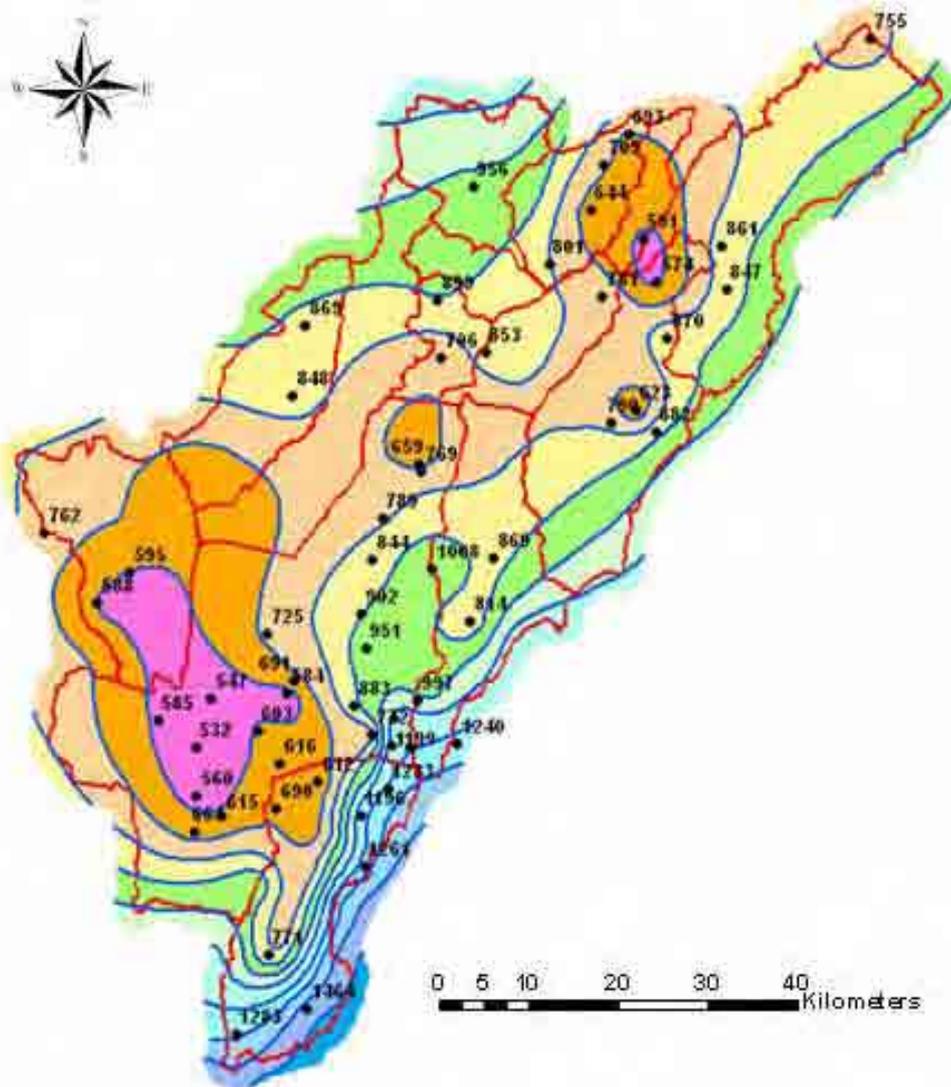
1.2.1 Agua Superficial

El agua superficial es el recurso hídrico más importante en la Cuenca del Río Bogotá y se usa en

varios sectores. Dadas las características topográficas de la cuenca no hay entradas de agua superficial ni subterránea de otras cuencas, a menos que el agua sea transferida artificialmente a través de una línea divisoria de agua. Por lo tanto la precipitación es la única fuente para reabastecer los recursos hídricos en la Cuenca del Río Bogotá.

(1) Distribución de la lluvia en la Cuenca del Río Bogotá

Con base en los datos de precipitación recolectados en 60 estaciones de observación para análisis de lluvia, se encontró que el promedio anual de precipitación presenta una gran fluctuación entre 532 mm y 1.464 mm. La precipitación anual promedio en la cuenca del Río Bogotá fue calculada en 825 mm.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.1- 5 Distribución de la Precipitación en la Cuenca del Río Bogotá (unidades: mm/año)

(2) Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Bogotá

El valor de la descarga específica para cada subcuenca se calculó usando los datos de las estaciones de medición y su distribución por subcuencas fue registrada en mapas. La Tabla-2.1-2, presenta los valores de descarga y precipitación para todas las subcuencas en la Cuenca del Río Bogotá.

Tabla-2.1- 2 Resumen de los Recursos de Aguas Superficiales en la Cuenca del Río Bogotá

| Nombre | Método | Área | Descarga | T_Disch | Precip. | R_pcntg | D_runoff |
|------------------|-------------|--------------|--------------|---------|--------------|-------------|--------------|
| Los Arboles | Estimación | 62.7 | 11.5 | 11.5 | 667.6 | 27.5 | 155.4 |
| Chicua | Estimación | 170.1 | 29.3 | 30.5 | 782.2 | 22.0 | 179.5 |
| Neusa | Observación | 88.5 | 23.3 | 65.7 | 940.7 | 21.1 | 196.7 |
| | Estimación | 261.9 | 42.4 | | | | |
| Chica | Observación | 142.8 | 35.8 | 53.7 | 795.0 | 20.5 | 162.8 |
| | Estimación | 186.8 | 17.9 | | | | |
| Subachoque | Observación | 214.4 | 20.3 | 39.5 | 753.0 | 13.2 | 99.2 |
| | Estimación | 183.5 | 19.2 | | | | |
| Bojaca | Observación | 93.5 | 24.0 | 42.1 | 684.9 | 27.9 | 191.3 |
| | Estimación | 126.6 | 16.1 | | | | |
| Sub Total | | 1,511 | 241.7 | | 793.0 | 20.2 | 160.0 |
| Bogotá(U) | Estimación | 337.1 | 98.4 | 98.4 | 651.3 | 34.3 | 247.0 |
| Bogotá(M) | Estimación | 152.3 | 22.2 | 22.2 | 759.8 | 19.2 | 123.2 |
| Bogotá(L) | Observación | 7.4 | 2.9 | 68.5 | 699.3 | 20.4 | 142.7 |
| | Estimación | 613.1 | 65.6 | | | | |
| Bogotá(E) | Estimación | 154.8 | 43.4 | 43.4 | 691.3 | 40.6 | 214.6 |
| Sub Total | | 1,265 | 252.4 | | 792.1 | 25.2 | 199.6 |
| Sesga | Estimación | 154.3 | 48.3 | 48.3 | 883.4 | 35.6 | 265.0 |
| Tomine | Observación | 94.7 | 76.0 | 150.7 | 640.9 | 44.4 | 373.1 |
| | Estimación | 309.3 | 74.7 | | | | |
| Teusaca | Observación | 160.9 | 82.5 | 109.8 | 963.6 | 34.0 | 327.6 |
| | Estimación | 174.3 | 27.3 | | | | |
| Fucha | Observación | 25.6 | 22.4 | 37.3 | 925.8 | 30.5 | 281.9 |
| | Estimación | 106.7 | 14.9 | | | | |
| Tunjuelo | Observación | 383.7 | 168.8 | 170.4 | 1,030 | 41.8 | 431.0 |
| | Estimación | 11.8 | 1.6 | | | | |
| Soacha | Estimación | 199.2 | 59.2 | 59.2 | 778.7 | 38.2 | 226.5 |
| Sub Total | | 1,620 | 575.8 | | 915.5 | 38.8 | 355.4 |
| Total | | 4,396 | 1,070 | | 825 | 29.5 | 243.4 |

Fuente: Equipo de Estudio JICA; Nota:Área: Kilómetros Cuadrados (km²); descarga: Descarga Observada y Descarga Estimada para el área donde la descarga no se pudo obtener de los resultados observados (Unidades: Millones m³); T_Disch: Combinación de descargas observadas y estimadas para cada subcuenca; R_pcntg: La relación en porcentaje entre escorrentía y precipitación. D_runoff: Profundidad de la escorrentía. Profundidad Promedio en mm/año.

1.2.2 Agua Subterránea

El agua subterránea es una fuente importante de agua en la Cuenca del Río Bogotá aunque su consumo domestico es pequeño. El volumen de agua subterránea utilizada en el año 2000 fue de 0,32 millones de m³/día. Esto explica el 14% del volumen total de uso agua de 2.672 millones de m³/día a través de la Cuenca del Río Bogotá . Cuando se utiliza agua subterránea es importante planear la cantidad de consumo teniendo una consideración detallada de la cantidad de recarga posible; de otra forma, un uso inadecuado del agua subterránea puede causar un abatimiento del nivel freático y otras consecuencias negativas.

CAR, INGEOMINAS y el equipo de estudio JICA analizaron y estimaron anteriormente la cantidad de recarga subterránea por precipitación y reportaron valores de 36 mm/año (CAR), 8 mm/año (INGEOMINAS), y 145 mm/año (JICA, 2003) respectivamente. Estos tres estudios emplearon el método de balance hídrico para calcular los valores de recarga subterránea. Los valores estimados de evapotranspiración, presentaron grandes diferencias entre las entidades, lo que llevó a una variación significativa en los valores estimados de recarga subterránea.

Al estimar la evapotranspiración se deben tener en cuenta varios parámetros. Por consiguiente si se presentan diferencias en la estimación de alguno de estos parámetros, los resultados de los cálculos presentarían diferencias igualmente. Adicionalmente, los resultados también se ven afectados por la frecuencia de los datos utilizados (promedios diarios, promedios mensuales, etc.).

En el presente estudio se adoptó el mismo método como herramienta principal para calcular la cantidad de recarga subterránea y a su vez facilitar la comparación con los procesos de cálculo y resultados de otros estudios. Sin embargo como se mencionó anteriormente, la estimación de los parámetros puede generar grandes diferencias al calcular el valor de recarga subterránea dependiendo de la escogencia de los valores para cada uno de ellos. Por lo tanto en el presente estudio se emplearon algunos otros métodos para estimar la recarga subterránea. Los métodos empleados y sus resultados se resumen a continuación.

- a) Método del Balance Hídrico
- b) Método de División Climática
- c) Método de la Descarga del Río
- d) Método del Modelo de Tanque

1.2.3 Análisis de Calidad de Agua

(1) Calidad de Agua en el Área de Estudio

(a) Río Bogotá

Desde el punto de vista de la polución, la calidad del agua en la Cuenca del Río Bogotá se puede dividir en cuatro sectores extendiéndose desde el nacimiento del río hasta su desembocadura. La información detallada sobre la calidad del agua se presenta en el informe de soporte.

Del nacimiento a Villapinzón

La calidad del agua en ésta sección es muy buena con una demanda biológica de oxígeno (DBO) menor a 2 mg/ℓ.

De Villapinzón a Chocontá

Se ubican un total de 171 curtiembres. Los residuos de estas fábricas son arrojados sin tratamiento alguno, al Río Bogotá afectando significativamente la calidad del agua. Sin embargo, aguas debajo de esta zona la descarga de numerosos afluentes al Río tiene un efecto de auto-limpieza que sirve para mejorar la calidad del agua.

Cuenca Media del Río Bogotá (Área Urbana de Bogotá)

A medida que el Río Bogotá pasa por el área urbana, la calidad del agua empeora dramáticamente. Los residuos domésticos de toda la población de Bogotá (6,4 millones de personas) son descargados al Río. Los principales ríos que fluyen por el área urbana de Bogotá son el Río Salitre, el Río Fucha y el Río Tunjuelo. La única planta de tratamiento de aguas residuales en el área metropolitana de Bogotá, la PTAR El Salitre, se encuentra ubicada en la confluencia del Río Bogotá con el Río Salitre. Esta planta solo realiza un tratamiento primario y ningún tratamiento orgánico, lo que resulta en una baja tasa de eliminación de DBO. Las aguas residuales sin tratamiento llegan al Río Bogotá con el caudal del Río Fucha y el Río Tunjuelo.

Sector entre el Río Subchoque y el Río Magdalena

Desde el área urbana hasta el Salto del Tequendama, la velocidad de la corriente es muy lenta por lo que no se espera una auto-purificación del Río. Sin embargo, entre el Salto del Tequendama y el Río Magdalena, la DBO está entre 18-34 mg/ℓ y el de OD es de 2-7 mg/ℓ indicando una recuperación en la calidad del agua.

Como se describió anteriormente, la calidad del agua en el área urbana (cuenca media del Río Bogotá) presenta una gran degradación. En respuesta a ésta situación el Acueducto y la CAR han formulado planes para mejorar la infraestructura del alcantarillado. Estos planes se encuentran en la etapa de implementación. Se anticipa que la implementación de los proyectos mejorará significativamente la calidad del agua del Río Bogotá.

Cuenca de los Ríos Chingaza y Sumapaz

A partir de los resultados de las pruebas de calidad de agua para la Cuenca del Río Chingaza, se concluye que el agua del río es una fuente segura de agua potable.

(2) Calidad del Agua Subterránea

(a) Acuífero Cuaternario

La calidad del agua de un gran número de pozos excede los estándares colombianos en coloración, turbiedad, bacterias coliformes, amonio, pH, Fe y Mn. No existen niveles estándar de calidad de agua en Colombia para Ba, H₂S, aun así estos valores exceden los estándares de la WHO. Se concluye que beber agua subterránea no tratada del Acuífero Cuaternario presenta un riesgo significativo a la salud.

(b) Acuífero Cretáceo

El agua del acuífero Cretáceo presenta valores que exceden los estándares de H₂S, Mn, Fe y coloración, aunque éstos son mínimos comparados con los del Acuífero Cuaternario. Una gran diferencia con el Acuífero Cuaternario es el hecho que casi no se detecta ninguna cantidad de NH₄ en el Acuífero Cretáceo. Por lo tanto se puede concluir que existe una diferencia entre la calidad del agua de los Acuíferos Cretáceo y Cuaternario.

Análisis Suplementarios de Calidad de Agua

(a) Sitios de Muestreo

Para este análisis, 20 pozos existentes y 15 ríos fueron escogidos para el muestreo. El muestreo se realizó por todo el área metropolitana de Bogotá, donde se tomaron muestras de agua subterránea y superficial para realizar análisis de calidad de agua.

(b) Resultados de las Pruebas Suplementarias de Calidad de Agua

a) Ríos

En el Río Bogotá, el Cr⁺⁶ (cromo hexavalente) ha sido detectado cerca de Tibitóc debido a la entrada de desechos de las curtiembres. Los otros parámetros son en general satisfactorios. Sin embargo, la calidad del agua se degrada dramáticamente a medida que el río pasa por el área urbana. Por ejemplo, aunque el valor de turbiedad es de 6-50 NTU en la parte alta del río antes del área urbana, este valor se eleva a 200 NTU en la parte baja del río después del área urbana. El valor del Oxígeno Disuelto (OD) es cero ya que el agua residual es arrojada sin tratamiento al río.

Los valores de Cr⁺⁶ son altos y están entre 0,1 y 0,3 mg/l. Los valores de NH₄ también son altos, lo que se atribuye a las características anaeróbicas de la sedimentación del río.

b) Pozos

Un gran número de pozos en el Área de Estudio exceden los valores estándar para Fe, Mn y NH₄. Es claro que estas altas concentraciones de Fe y Mn están relacionadas con la condición geológica del área. Comparando la condición geológica, la concentración de Mn en el agua del Cuaternario es mucho mayor que aquella en el agua del Cretáceo. En general, la calidad del agua del Cretáceo en los Cerros Orientales es buena, aunque presenta concentraciones un poco altas de Fe y Mn. Se detectaron valores de NH₄ y de sulfuro de hidrógeno (H₂S) en el agua subterránea, sin embargo, esta presencia no puede ser por contaminación del agua subterránea

1.3. Uso del agua y Manejo de Recursos Hídricos

1.3.1 Instalaciones Existentes para el Abastecimiento de Agua

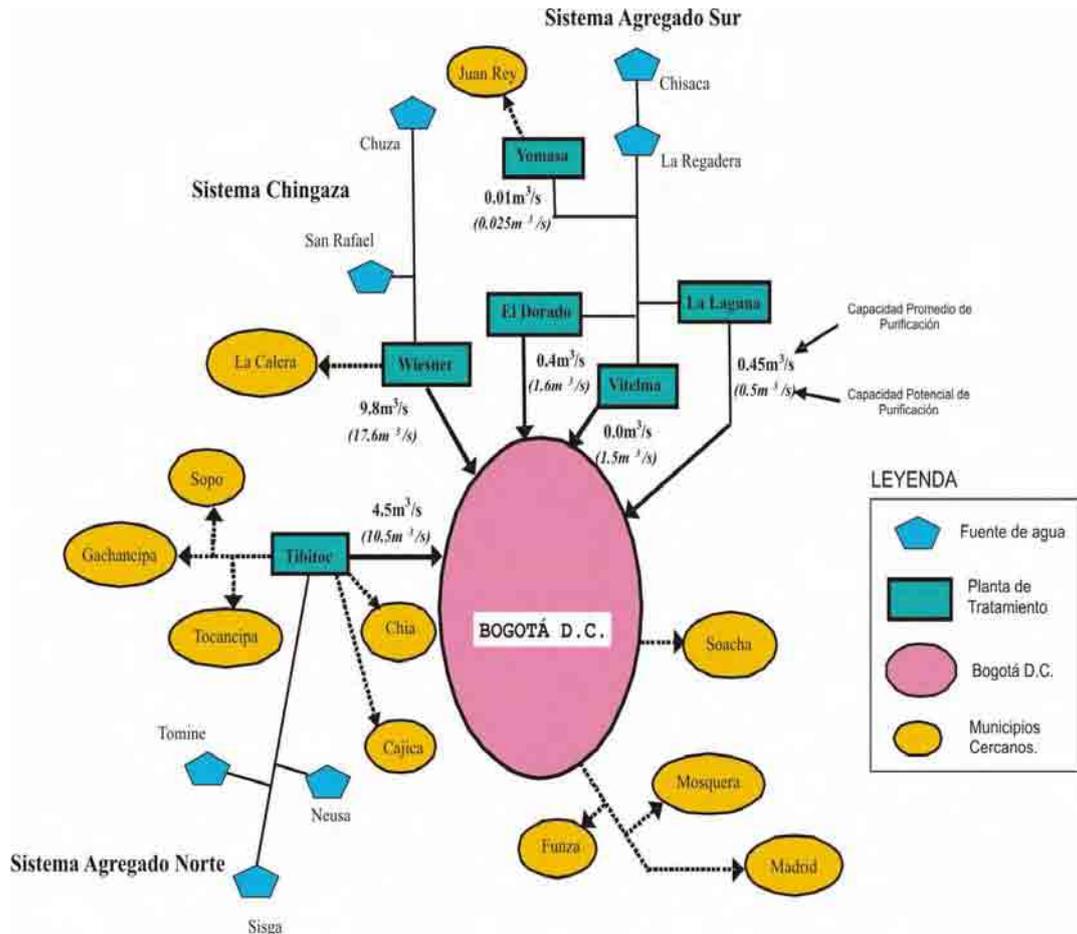
(1) Esquema del Sistema de Abastecimiento de Agua en Bogotá

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (Acueducto) es responsable del abastecimiento de agua y del servicio de alcantarillado en el Distrito Capital y 11 municipios circundantes. Actualmente la tasa de cobertura de abastecimiento de agua es cercana al 100%.

El Acueducto es una empresa bien organizada que ejecuta adecuadamente su operación y mantenimiento con un alto nivel de tecnología. Los sistemas de abastecimiento del Acueducto son los siguientes:

- - Sistema Chingaza.
- - Sistema Agregado Norte.
- - Sistema Agregado Sur.

Existen siete plantas (7) de tratamiento de agua a donde el agua cruda es conducida desde las fuentes anteriormente mencionadas. Sin embargo entre estas plantas cinco (5) están en operación normal y dos operan alternamente. El mapa conceptual del sistema de abastecimiento de agua para Bogotá y sus municipios circundantes se muestra en la Figura-2.1- 6.



Fuente: Acueducto.

Figura-2.1- 6 Mapa Conceptual del Sistema de Abastecimiento para Bogotá D.C. y sus Municipios Cercanos

(2) Fuentes de Agua y Sistema de Conducción

Como se mencionó anteriormente existen tres fuentes de agua para el sistema de abastecimiento de Bogotá: Sistema Chingaza, Sistema Agregado Norte y Sistema Agregado Sur. La capacidad de la represa respectiva se muestra en la Tabla-2.1-3.

Tabla-2.1- 3 Fuentes de Agua para el Sistema de Abastecimiento para Bogotá

| Fuente de Agua | Represa | Volumen de Almacenaje Efectivo (MCM) |
|------------------------|-------------|--------------------------------------|
| Sistema Chingaza | Chuza | 223,0 |
| | San Rafael | 70,0 |
| Sistema Agregado Norte | Sisga | 101,2 |
| | Tominé | 691,0 |
| | Neusa | 101,0 |
| | Aposentos | 0,8 |
| Sistema Agregado Sur | Chisacá | 6,7 |
| | La Regadera | 3,7 |

Fuente: Acueducto.

(3) Sistema de Purificación de Agua

La Tabla-2.1-4, presenta: el volumen otorgado por concesión para cada fuente de agua, sus respectivas plantas de tratamiento y su volumen potencial/actual de producción.

Tabla-2.1- 4 Fuentes de Agua y Volumen de Producción de las Plantas de Tratamiento

| Planta de Tratamiento de Agua (PTA) | Fuentes de Agua | Capacidad de Purificación Potencial (m ³ /s) | Capacidad de Purificación Promedio (m ³ /s) |
|-------------------------------------|------------------------|---|--|
| Tibitóc | Sistema Agregado Norte | 10,500 | 4,500 |
| Wiesner | Sistema Chingaza | 17,600 | 9,800 |
| El Dorado | Sistema Agregado Sur | 1,600 | 0,400 |
| La Laguna | Sistema Agregado Sur | 0,500 | 0,500 |
| Vitelma | Sistema Agregado Sur | 1,500 | 0,000 |
| San Diego | Sistema Agregado Sur | 0,210 | 0,000 |
| Yomasa | Sistema Agregado Sur | 0,025 | 0,010 |
| Total | - | 31,935 | 14,710 |

Nota: La PTA El Dorado y la PTA La Laguna tienen la misma fuente de agua. Usualmente, la PTA El Dorado es operada. Sin embargo, la PTA La Laguna será operada en caso de algún accidente o mantenimiento periódico en la PTA El Dorado.

Fuente: Acueducto

(4) Sistema de Transmisión de Agua y Distribución

El Sistema de Transmisión y Distribución de Agua en Bogotá se divide en tres sistemas principales:

- -Sistema Wiesner.
- Sistema Tibitóc.
- Sistema El Dorado.

El Sistema Wiesner y el Sistema Tibitóc están interconectados y por lo tanto el abastecimiento de agua puede ser manipulado en caso de accidente o de emergencia. El Sistema El Dorado se encuentra aislado de los otros dos sistemas principales y cubre el área de los Cerros Sur.

El Sistema Wiesner se considera como el sistema más importante de Bogotá cubriendo cerca del 70% del volumen total de agua distribuido en la Capital. El Sistema de Tibitóc cubre aproximadamente el 30% y el Sistema El Dorado cubre menos del 1%.

(5) Sistema de Control de las Instalaciones de Abastecimiento y Alcantarillado

Las instalaciones de abastecimiento y alcantarillado manejadas por el Acueducto se encuentran todas

monitoreadas y/o controladas por el sistema SCADA en el Centro de Control ubicado al occidente de Bogotá.

1.3.2 Consumo de Agua

(1) Consumo Actual de Agua en Bogotá, Soacha y Gachancipá

El Acueducto suministra el agua directamente a los usuarios de Bogotá, Soacha y Gachancipá.

La Tabla-2.1-5, presenta el consumo de agua (m³/mes) desde el 2002 hasta el 2006.

Tabla-2.1- 5 (Consumo2) (1.000 m³/mes)

| Sector | Clasificación | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Incremento ¹⁾ | | |
|----------------|---------------|----------|------|----------|----------|----------|--------------------------|------|------|
| Residencial | Estrato 1 | 1.071,7 | 6% | 1.152,3 | 1.225,0 | 1.266,8 | 1.309,5 | 8% | 237 |
| | Estrato 2 | 5.773,9 | 33% | 5.762,6 | 5.736,8 | 5.769,8 | 5.695,1 | 33% | -78 |
| | Estrato 3 | 6.568,4 | 38% | 6.546,0 | 6.271,8 | 6.301,5 | 6.158,7 | 36% | -410 |
| | Estrato 4 | 2.129,7 | 12% | 2.141,5 | 2.090,6 | 2.123,9 | 2.175,8 | 13% | 46 |
| | Estrato 5 | 958,1 | 6% | 927,2 | 894,0 | 915,0 | 931,6 | 5% | -26 |
| | Estrato 6 | 886,1 | 5% | 857,8 | 850,2 | 892,5 | 884,3 | 5% | -2 |
| | Subtotal | 17.387,9 | 100% | 17.387,4 | 17.068,4 | 17.269,4 | 17.155,0 | 100% | -233 |
| No-residencial | | 5.465,5 | - | 5.687,6 | 5.128,5 | 5.312,6 | 5.543,4 | - | 78 |
| Total | | 22.853,4 | - | 23.075,0 | 22.196,9 | 22.582,0 | 22.698,4 | - | -155 |

Nota: 1) El consumo del 2006 fluctuó comparado con el 2002.

2) El consumo es un promedio anual.

Fuente: Equipo de Estudio JICA con base en datos del Acueducto.

La Tabla-2.1-6, presenta el consumo en unidades de agua, litro/día/per-cápita del 2002 al 2006. La unidad de consumo promedio del año 2006 se estimó en 100 litro/día/persona como se muestra en la Tabla-2.1-6.

Tabla-2.1- 6 Consumo Unitario Estimado (litro/día/persona)

| Sector | Clasificación | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|----------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Residencial | Estrato 1 | 107 | 110 | 101 | 97 | 97 |
| | Estrato 2 | 112 | 115 | 109 | 105 | 100 |
| | Estrato 3 | 105 | 109 | 103 | 99 | 96 |
| | Estrato 4 | 103 | 112 | 105 | 102 | 99 |
| | Estrato 5 | 126 | 130 | 125 | 122 | 119 |
| | Estrato 6 | 140 | 149 | 147 | 145 | 137 |
| | Promedio | 109 | 114 | 108 | 104 | 100 |
| No-residencial | Litro día/ Establecido | 1.261 | 1.548 | 1.281 | 1.288 | 1.275 |

Nota: Para el cálculo de la unidad de consumo, 4,0 personas por vivienda fueron tomadas para cada año. Fuente: Equipo de Estudio JICA con base en datos del Acueducto (Gerencia Corporativa Servicio al Cliente).

La Tabla-2.1-7 muestra la tarifa promedio por el servicio de agua desde el 2002 hasta el 2006. La tarifa promedio ha venido en constante aumento, sin embargo, debido a la drástica revisión de tarifas hecha en Julio del 2004 (ver numeral 3), la tarifa del Estrato 1 descendió desde el 2005, y la de los Estratos 2 y 3 desde el 2006.

Tabla-2.1- 7 Pago de Agua Anual (Col\$/m³)

| Sector | Clasificación | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|----------------|---------------|-------|-------|-------|------------|--------------|
| Residencial | Estrato 1 | 550 | 733 | 823 | 816 | 732 |
| | Estrato 2 | 936 | 1.133 | 1.277 | 1.415 | 1.401 |
| | Estrato 3 | 1.551 | 1.878 | 2.067 | 2.306 | 2.252 |
| | Estrato 4 | 1.956 | 2.184 | 2.210 | 2.316 | 2.326 |
| | Estrato 5 | 2.999 | 3.389 | 3.186 | 3.223 | 3.596 |
| | Estrato 6 | 3.761 | 4.085 | 3.672 | 3.464 | 3.863 |
| | Promedio | 1.527 | 1.783 | 1.868 | 2.009 | 2.019 |
| No-residencial | | 1.977 | 2.007 | 2.258 | 2.393 | 2.436 |

Nota: El pago del agua esta dado en promedio anual.

Fuente: Equipo de Estudio JICA con base en datos Acueducto (Gerencia Corporativa Servicio al Cliente).

1.3.3 Instalaciones de Alcantarillado y Tratamiento

(1) Situación Actual del Sistema de Alcantarillado en el Área Urbana de Bogotá

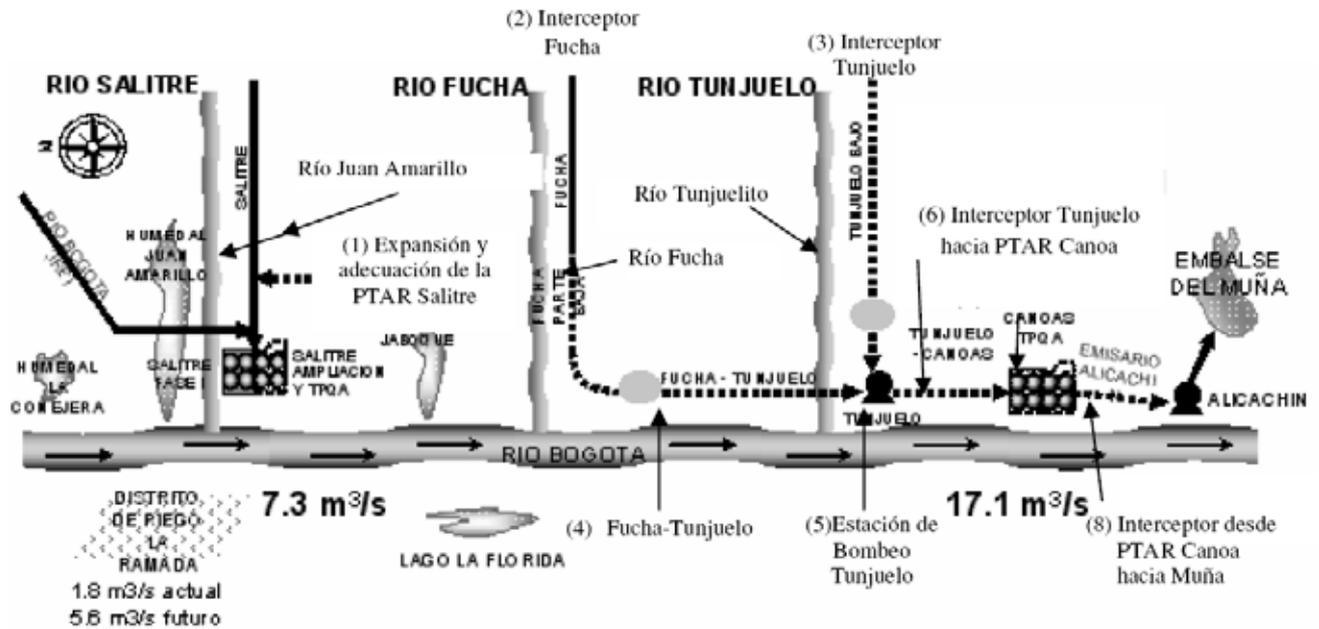
El servicio de alcantarillado cubre 85 a 90% del área urbana de Bogotá. Por otro lado no toda el agua residual recolectada es subsecuentemente tratada. Una tubería principal de alcantarillado e instalaciones de tratamiento de aguas residuales existen únicamente en el Sistema El Salitre. Aunque las tuberías de alcantarillado están bajo construcción en algunas partes de Bogotá, actualmente el agua residual termina sin previo tratamiento en los afluentes del Río Bogotá. Incluso en la planta de tratamiento El Salitre la tasa de eliminación del DBO es cercana al 65%.

Los siguientes tributarios principales en el área urbana de Bogotá y Soacha están bajo la jurisdicción del Acueducto en cuanto a alcantarillado.

- a) Sistema Salitre.
- b) Sistema Fucha.
- c) Sistema Tunjuelo.
- d) Sistema Soacha.

(2) Proyectos de Infraestructura Presentes y Futuros para el Sistema de Alcantarillado

Con el fin de implementar mejoras para hacer frente a las aguas residuales del área metropolitana de Bogotá, el Acueducto ha venido ejecutando y planeando los trabajos que se mencionan a continuación. El resumen del proyecto y su progreso se muestra en la Figura-2.1- 7.



Fuente: Acueducto

Figura-2.1- 7 Descripción de los Proyectos de Infraestructura de Aguas Residuales

(3) Relleno Sanitario Doña Juana

Todos los residuos sólidos del Área Metropolitana de Bogotá y de algunos municipios aledaños son procesados en la Planta de Disposición de Residuos Doña Juana. La agencia municipal de Bogotá con jurisdicción sobre la planta es la UAESP.

Tipos de Desechos

La planta procesa (por relleno sanitario) diariamente 6.000 toneladas de residuos sólidos, 12 toneladas de residuos hospitalarios diarios y 150 toneladas diarias de lodo de alcantarillado. La planta no maneja residuos industriales

(4) Infraestructura de Alcantarillado fuera del Área Metropolitana de Bogotá

Fuera del área metropolitana de Bogotá, la CAR ejecuta directamente la construcción, operación, administración y el mantenimiento de la infraestructura de alcantarillado.

Proyecto de la CAR para el Mejoramiento de la Calidad del Agua

La CAR implementó la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales de pequeña escala en 27 ubicaciones de 24 municipios. La CAR supervisa el diseño y la construcción de las instalaciones. Después de terminada la construcción, la autoridad para la operación y el mantenimiento de las instalaciones recae sobre el municipio respectivo.

Problemática Actual del Alcantarillado Existente

Después que la CAR entrega las plantas de tratamiento, los municipios no pueden soportar los costos ni los requerimientos técnicos del mantenimiento de las instalaciones. Como resultado, algunas instalaciones no han sido operadas. De acuerdo a esto, en Octubre del 2005, la CAR relegó la operación y el mantenimiento de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales al sector privado.

Nuevos Proyectos para Mejorar la Calidad del Agua

Para Octubre del 2006, un nuevo acuerdo de financiación de US\$ 5 millones fue firmado con el BID. Estos fondos serán dirigidos tanto a la expansión de la infraestructura del servicio de agua como a

mejorar las instalaciones de alcantarillado.

1.3.4 Administración del Recurso Hídrico

La administración de recurso hídrico en la Sabana de Bogotá esta a cargo de la CAR y de la SDA tanto a nivel cuantitativo como cualitativo. El uso del agua en la Sabana de Bogotá debe estar registrado en la SDA y en la CAR. Este sistema de registro cumple un papel importante en la administración de los recursos hídricos por parte de la SDA y de la CAR.

Manejo del Recurso Hídrico por la SDA

La SDA está encargada de la administración de los recursos hídricos subterráneos en el área urbana de Bogotá. Actualmente hay alrededor de 400 pozos registrados en la SDA. Los dueños de los pozos deben pagar por el uso del agua. La SDA lleva a cabo cada mes el monitoreo de los pozos registrados como parte de sus función de administrador de los recursos hídricos subterráneos.

Administración del recurso hídrico por la CAR

La CAR implementa la administración de los recursos hídricos con base en el análisis del desarrollo potencial de los recursos de aguas superficiales y subterráneas. La administración cuantitativa de los recursos hídricos se hace a través del control de las concesiones de agua, por lo que cada usuario de recursos hídricos en la Sabana de Bogotá debe registrarse ante la CAR. El usuario debe adquirir una concesión para su uso, con base en el desarrollo potencial evaluado por la CAR. La CAR cobra las tarifas de las concesiones de agua de los usuarios registrados.

1.3.5 Sistema de Administración y Monitoreo de la Calidad del Agua

La calidad del agua de los ríos que fluyen a través y desde el área Metropolitana de Bogotá es manejada y monitoreada por la SDA y por el Acueducto. La calidad del agua de ríos y pozos fuera del Área Metropolitana dentro de la Sabana de Bogotá es manejada y monitoreada por la CAR.

(1) Acueducto

El Acueducto tiene un sofisticado laboratorio y ha establecido 155 ubicaciones en el área urbana para monitoreo del agua potable, de los cuales diariamente se muestrean y analizan 52 puntos. Las muestras de agua superficial se toman entre 60 y 70 ubicaciones cada cuatro meses. Adicionalmente, la SDA y el Acueducto realizan juntos las pruebas de calidad de agua de los desechos para la mayoría de las fábricas en el área urbana de Bogotá (cerca de 800).

(2) Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA)

La SDA ejecuta el manejo de la calidad del agua para: descargas al río, aguas residuales industriales, pozos, aguas subterráneas y humedales. Específicamente, se analizan los desechos de 800 fábricas, y se dan guías de rectificación en caso de que los resultados excedan los niveles aceptables. La SDA tiene el poder de multar o suspender operaciones a una fábrica cuyos desechos estén por debajo de los estándares y no mejoren su calidad.

(3) Corporación Autónoma Regional (CAR)

La CAR ejecuta el manejo y monitoreo de la calidad del agua en todo el departamento de Cundinamarca por fuera del área urbana de Bogotá. La Corporación ejecuta un análisis regular de la calidad del agua para aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas residuales domesticas e industriales y las descargas de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Para el análisis de la calidad del agua, la CAR recolecta muestras de aguas superficiales en 280 ubicaciones cuatro veces al año y de aguas subterráneas una vez por año en 101 ubicaciones. Adicionalmente al manejo del agua, la CAR investiga los resultados de los análisis de calidad del agua cuando evalúa la adjudicación de concesiones de agua o licencias ambientales.

1.3.6 Ecosistema y Medio Ambiente

(1) La Cuenca del río Bogotá

Desarrollo Económico y Conservación Ambiental

En Colombia la Cuenca del río Bogotá es el área con mayor diversificación económica. El uso de la tierra dentro del área de la cuenca, está dedicada principalmente a la agricultura con cultivos de flores que representan el 80% del total de la producción nacional. Por otra parte, la ganadería y la industria lechera son la base de la economía de esta región. Los recursos hídricos son usados para diferentes propósitos: agricultura, ganadería, industrias, minería, abastecimiento de agua para embalses hidroeléctricos, etc.

Urbanización y Balance Hídrico

Adicionalmente, una rápida urbanización eleva la demanda de agua. El incremento del abastecimiento y de la demanda de agua debido a la expansión de las actividades socio-económicas causa restricciones en el consumo de recursos hídricos; limitados por los métodos de manejo que en ocasiones generan disputas sobre las concesiones de agua. En cuanto a la calidad se debe considerar que el río Bogotá, recibe el agua residual de 6,4 millones de habitantes del Área Metropolitana de Bogotá y de 430.000 habitantes de 26 municipios que se encuentran dentro de la cuenca del río. La contaminación es extremadamente crítica a causa de la erosión y la acumulación de sedimentos y el vertimiento de residuos tratados y sin tratar.

Humedales de Bogotá

Con relación a los humedales dentro del área urbana de Bogotá, hoy solamente quedan 13 a lo largo del río Bogotá. Sin embargo, las viviendas han invadido los humedales. La calidad del agua se encuentra bastante contaminada y en condiciones de riesgo debido a la invasión de casas, fábricas de construcción y por la descarga de agua residual doméstica e industrial. La Gerencia Corporativa Ambiental del Acueducto y la SDA están encargados de la conservación de los 13 humedales dentro del área urbana de Bogotá. Este no está relacionado con el plan que implementa la CAR para la recuperación de humedales.

(2) Ecosistemas y Medio Ambiente Afectado por el Desarrollo de Agua Subterránea en los Cerros Orientales y Cerros Sur

Área de Protección Forestal

Los Cerros Orientales y Cerros Sur se ubican a una altura entre los 2.600 y 3.000 m.s.n.m. Las áreas a una altura mayor a 2.700 m.s.n.m en los Cerros Orientales están dentro del área de reserva forestal de la CAR. La tala de árboles y construcciones dentro de esta área se encuentra estrictamente controlada.

Ninguna parte de los Cerros Sur ha sido designada como de reserva forestal. La urbanización ha continuado dentro del área metropolitana de Bogotá fuera del área de reserva. No hay por consiguiente bosques naturales o especies silvestres raras o amenazadas dentro de ésta área urbana.

Recursos Hídricos

El área de captación de los Cerros Orientales es pequeña y esta caracterizada por la ausencia de ríos de gran tamaño. Las pequeñas quebradas montañosas desaparecen durante la época seca. Los ríos en el área explican sólo aproximadamente el 1 % de las fuentes de agua potable.

Impacto Causado por el Desarrollo de Agua Subterránea

El área objetivo para desarrollo de agua subterránea en los Cerros Orientales propuesto en éste proyecto abarca predios vacíos y tierras de pastoreo ubicadas entre el área urbana y la reserva forestal. Esta área no requerirá reasentamiento de población por parte del proyecto. Por otro lado, el área de

desarrollo de agua subterránea dentro de los Cerros Sur yace por fuera del cinturón de asentamiento humano y solo abarca tierra de pastoreo para el ganado. No hay presencia de bosques naturales o lagos dentro de ésta zona de pastoreo.

(3) Ecosistemas y Medio Ambiente Natural Afectado por el Embalse Chingaza No. 2 y el Plan de Desviación del Sumapaz

Los sitios planeados para la construcción del Embalse Chingaza No. 2 (Embalse la Playa) y el plan de desviación del Sumapaz se ubican a una altura entre los 3.000 y 4.000 m.s.n.m en zona montañosa de páramo. La temperatura promedio anual en ésta área varía entre los 0 y 10°C y el medio ambiente natural comprende arbustos pequeños, vegetación de gran altitud, turba y humedales.

(4) Impacto Socio-Ambiental causado por el Embalse Chingaza No. 2

Bajo el plan de Expansión del Sistema de Abastecimiento de Agua, el Embalse Chingaza No. 2 (Embalse la Playa) y el plan de desviación de Sumapaz (Represa de Chisacá y Embalse del Muña) tendrán un mayor impacto ambiental.

Impacto al Medio Ambiente Natural

El impacto ambiental del proyecto ocurriría en la parte alta del Páramo, donde se encuentran especies raras de plantas y animales. Específicamente, la construcción del embalse tendrá un gran impacto sobre el medio ambiente natural. Sin embargo, como el ecosistema no presenta bosques de árboles de gran tamaño en su parte alta, no será necesaria una tala a gran escala.

Impacto sobre el Ambiente Social

El área del proyecto se encuentra deshabitada, por ende en términos de impacto social, no habrá necesidad de un reasentamiento de población. Adicionalmente, el Acueducto no tendrá necesidad de adquirir terrenos para el Proyecto Chingaza II, ya que éstos han sido adquiridos anteriormente bajo el Proyecto Chingaza I.

Evaluación del Impacto Ambiental

La evaluación del impacto ambiental (EIA) del proyecto Chingaza II fue preparado en el 2002. Sin embargo, debido a la postergación de la implementación del proyecto, el reporte de EIA no ha sido entregado a la MAVDT ni a otras agencias concernientes.

1.3.7 Recarga Artificial de Aguas Subterráneas

La recarga artificial de aguas subterráneas fue propuesta en el Estudio anterior de JICA, desde el punto de vista de la conservación del recurso hídrico subterráneo. De acuerdo con el Estudio Piloto del Estudio anterior, los acuíferos cretáceos de los Cerros Orientales muestran una gran capacidad de recarga artificial. La recarga artificial de aguas subterráneas es un medio efectivo para la conservación de los recursos hídricos de los Cerros Orientales.

Uso de las Instalaciones para la Recarga Artificial

Las instalaciones para la recarga artificial permanecen en la antigua planta de Vitelma, la cual puede ser operada de nuevo en el futuro para la recarga artificial

Los ríos perennes en los Cerros Orientales son muy pocos, se limitan a algunos tales como el Río San Cristóbal, El Río San Francisco y la Quebrada Yomasa. La recarga artificial es posible en la parte alta de los ríos anteriormente mencionados.

(1) Recarga de Agua Subterránea por el Embalse de San Rafael

El embalse de San Rafael esta localizado sobre la formación Cretácea de los Cerros Orientales. Se

asume que algún volumen de agua del embalse se infiltra al Cretáceo a través del fondo del embalse, como se muestra en la Figura-2.1- 8.

La infiltración de agua a través del fondo del embalse fue evaluada mediante un cálculo diario entre Enero de 1998 y Marzo del 2001.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

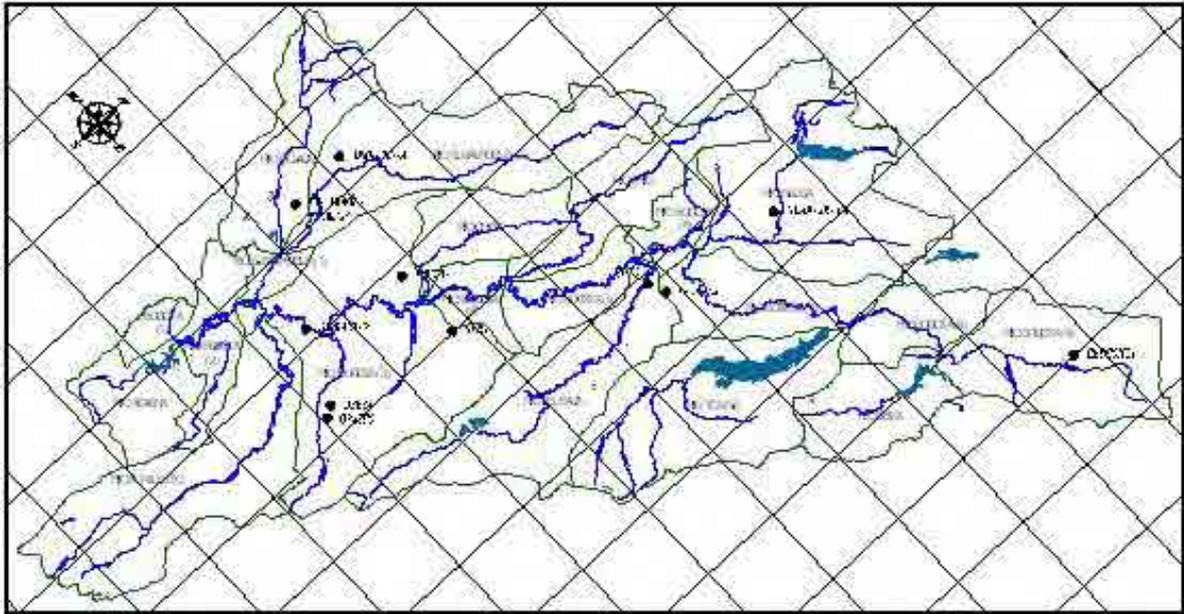
Figura-2.1- 8 Fugas de Agua del Embalse de San Rafael

De acuerdo a los resultados de los cálculos, el promedio mensual de infiltración de agua proveniente del embalse de San Rafael es de $3,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta cantidad de agua se infiltra al Acuífero Cretáceo de los Cerros Orientales, lo que aumentará el potencial de desarrollo de aguas subterráneas en el área.

Al formular el desarrollo de agua subterránea en los Cerros Orientales se debe tener en cuenta las posibles fugas de agua del Embalse de San Rafael, ya que estas tendrían un efecto de recarga subterránea.

1.3.8 Resultados del Monitoreo de Aguas Subterráneas

Se dice que el nivel de aguas subterránea del acuífero Cuaternario esta continuamente disminuyendo. Los registros automáticos del nivel de agua Subterránea fueron instalados en los 10 pozos de la sabana de Bogotá durante el Estudio anterior de JICA, en el año 2001. El Acueducto continúa monitoreando el nivel de agua subterránea automáticamente hasta ahora. Los sitios para el monitoreo de los pozos se muestran en la Figura-2.1- 9.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.1- 9 Sitio de Monitoreo

(1) Resultados del Monitoreo

El nivel del agua subterránea fue registrado automáticamente durante los años 2001 al 2008 en 10 sitios de monitoreo. Tres (3) fluctuaciones diferentes de nivel de agua subterránea son encontradas en los resultados de los monitoreos a largo plazo. Estos son:

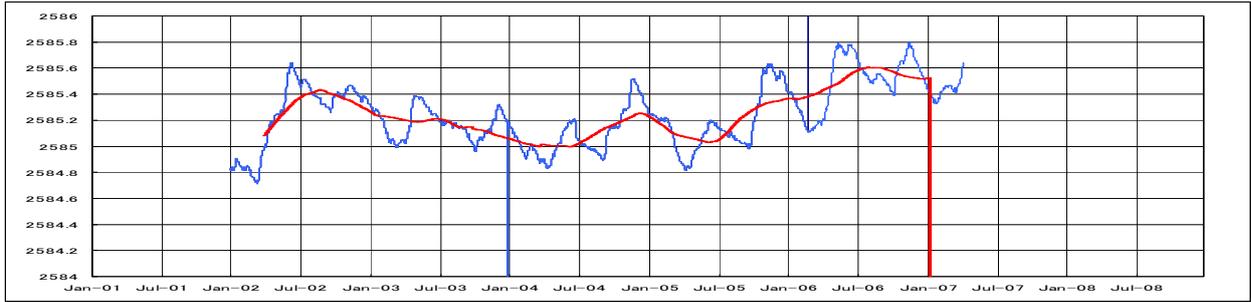
- a) Tendencia a largo Plazo
- b) Fluctuación Estacional
- c) Fluctuación Diaria

Algunas conclusiones importantes son resultado de estos análisis.

(Conclusión-1) El nivel de agua subterránea del Acuífero Cuaternario no disminuirá en un largo periodo de tiempo.

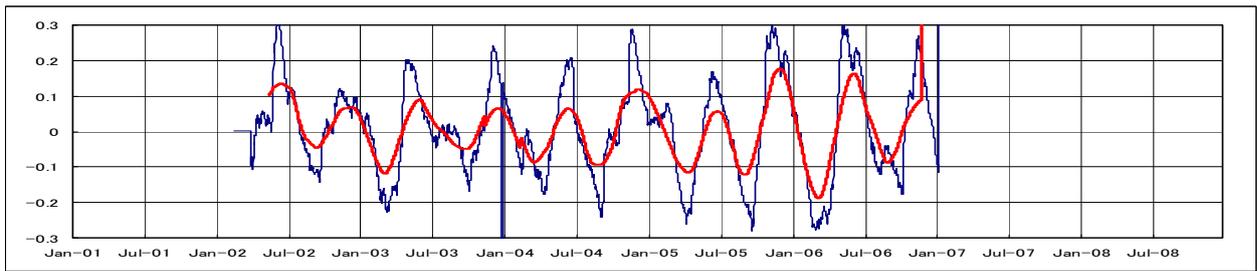
(Conclusión-2) El nivel del agua Subterránea del Acuífero Cuaternario responde claramente a la lluvia. Esto significa que el acuífero Cuaternario recibe una recarga de la lluvia.

Más de 7,000 pozos fueron perforados en el acuífero Cuaternario de la Sabana de Bogotá, donde una cantidad de 300,000m³/día de agua subterránea es bombeada cada día. Sin embargo, el nivel del agua del Cuaternario no se ha disminuido pues responde a la estación y caída de lluvia. Actualmente, la recarga de agua subterránea es mucho mayor que la tasa de bombeo, y el exceso de agua subterránea (= recarga de agua subterránea – cantidad de bombeo) fluye en el acuífero. Tal condición implica que hay un mayor potencial para el desarrollo de agua subterránea, mientras este sea menor que el total de la recarga de agua subterránea.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.1- 10 Tendencia a largo Plazo del Nivel de Agua Subterránea (Fluctuación Promedio)



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.1- 11 Sitio de Monitoreo GUADARRAMA

CAPÍTULO 2. IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS RELACIONADOS CON EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA ACTUAL

2.1 Garantía de Abastecimiento de Agua en Situaciones de Emergencia

El Alcalde Mayor de Bogotá establece mediante el Decreto 332 del 2004, que las entidades públicas de Bogotá D.C. deben realizar un trabajo interinstitucional para la prevención y atención de desastres en caso de emergencia tal como un evento sísmico. En respuesta a este decreto, las entidades públicas de Bogotá han hecho claras sus vulnerabilidades y han formulado planes de mitigación, los cuales han sido entregados a la DPAE en el 2006. Por su parte, el Acueducto ha estudiado los componentes de riesgo en el sistema de abastecimiento de agua tales como: captación, aducción, conducción, y distribución. También se trabaja en la identificación de desastres sísmicos que podrían afectar la operación normal de abastecimiento de agua para Bogotá.

(1) Escenario de Desastre en caso de Terremoto

Es necesario establecer escenarios de desastre para formular el plan de abastecimiento de agua en caso de emergencia. Los escenarios de desastre para un gran terremoto han sido evaluados en los dos siguientes reportes:

- Estudio para la Prevención de Desastres en el Área Metropolitana de Bogotá, República de Colombia (JICA, 2002).
- Evaluación por pérdida Máxima Probable (PML) por Terremoto Para la Infraestructura Indispensable del la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (Acueducto, 2006).

El concepto de posibles emergencias se muestra en la Figura-2.2- 1. En donde las consecuencias de los diferentes escenarios causadas por un gran terremoto han sido evaluadas como la situación de emergencia más grave.



En rojo se presentan los diferentes escenarios de daños a la infraestructura de abastecimiento. No necesariamente se presentan simultáneamente. Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2. 2- 1 Concepto de Posibles Emergencias

Escenario de desastre planteado en el “Estudio para la Prevención de Desastres en el Área Metropolitana de Bogotá, República de Colombia (JICA, 2002)”

En este reporte, se analizan los daños a las instalaciones de abastecimiento de agua del Área Metropolitana de Bogotá. El escenario de desastre propuesto en este estudio se resume en la Tabla-2.2-1.

Tabla-2.2- 1 Escenario de Desastre en el Sistema de Abastecimiento de Agua para el Área Metropolitana de Bogotá en caso de un Gran Terremoto

| Ítems | Escenario en caso de Terremoto | | |
|---|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | Caso-1 Terremoto La Cajita | Caso-2 Terremoto Duayuriba | Caso-3 Terremoto Subducción |
| Aceleración Pico del Terreno | Aceleración máxima 0,908 g | Aceleración máxima 0,361 g | Aceleración máxima 0,125 g |
| Daños estimados en el sistema de tuberías. (No. de puntos que resultarían afectados) | 3.753 puntos | 1.545 puntos | 16 puntos |

Fuente: Equipo de Trabajo JICA, Estudio en Prevención de Desastres para el Área Metropolitana de Bogotá.

Las consecuencias del Terremoto La Cajita (Caso-1) se predicen a continuación:

< Consecuencias del Terremoto La Cajita >

- El Abastecimiento de agua será suspendido por daños en el sistema de tuberías. El plan de emergencia deberá ser implementado. Sin embargo este será insuficiente y habrá escasez de agua. El Acueducto iniciará la reparación del sistema de tubería, pero la normalización de la prestación del servicio tomará un largo tiempo, y la escasez de agua continuará por un largo periodo de tiempo.
- La aceleración del terreno será de gran magnitud en el sur de la ciudad, en sectores tales como Usme, Ciudad Bolívar, San Cristóbal y Soacha donde los daños serán mayores. Ocurrirá licuefacción en las planicies bajas del sur de la ciudad de Bogotá, hecho que conducirá a la aparición de daños severos en el sistema de tuberías.

Escenario de Desastre planteado en la “Evaluación por Perdida Máxima Probable (PML) por Terremoto Para la Infraestructura Indispensable del la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (Acueducto, 2006)”

El Acueducto analizó posibles daños en los sistemas de captación y conducción de agua causados por un gran terremoto en este reporte. Ocho (8) epicentros fueron asumidos a lo largo de la falla principal de la Cordillera Oriental. Estos epicentros se sitúan en el área del Embalse de Chuza dentro del Sistema Chingaza.

Se llevaron a cabo simulaciones de terremotos para identificar el poder de las ondas sísmicas y su efecto con diferentes epicentros, para así realizar una estimación de los daños. Los resultados de estas simulaciones se encuentran en dicho informe.

(2) Medidas adoptadas para prevenir Desastres

(a) Sistema de Respuesta a Emergencias del Acueducto

El sistema de respuesta a emergencias del Acueducto se caracteriza por:

Refuerzo Sismo resistente de Estructuras

- Se identificaron las estructuras que se encuentran localizadas en zonas de alto riesgo sísmico y

que hacen parte del sistema de abastecimiento de agua (túneles, tanques y tuberías). En estas estructuras se adelantan trabajos de refuerzo sismorresistente.

- El Acueducto adelanta trabajos de refuerzo en el túnel de conducción de agua.

Garantía de la prestación del Servicio en Caso de Emergencia

- El agua almacenada en el embalse de San Rafael será utilizada para el abastecimiento de agua. El embalse de San Rafael puede almacenar agua tratada en la Planta Wiesner por un lapso de tres meses.
- La concesión actual de agua para la Planta Tibitóc es de 4,8 m³/s, aunque su capacidad máxima es de 10,5 m³/s. Sin embargo, el Acueducto puede aumentar la producción en la Planta Tibitóc, previa autorización de la CAR, en caso que el transporte de agua desde Chingaza se suspenda.
- En caso de emergencia, las plantas de tratamiento actualmente fuera de servicio (Laguna, Vitelma y San Diego) entrarán de nuevo en operación.

(b) Sistema de Respuesta Inmediata del Acueducto

Manual para Respuesta Inmediata

Se ha desarrollado un manual de repuesta en caso de emergencia, en el cual se definen las actividades que deben llevarse a cabo para responder de manera inmediata ante un escenario de desastre (ver apéndice-1).

Operación del Sistema del Centro de Control

El Centro de Control Operativo puede monitorear el estado del sistema operativo en todo momento. Basándose en los resultados del monitoreo, el Centro puede controlar automáticamente cada uno de los complejos que hacen parte del Sistema. Este Sistema puede responder, en casos de emergencia por desastres naturales.

(c) Fuentes de Agua Alternativas en Caso de Emergencia

En el “Estudio para el Desarrollo de Agua Subterránea en la Sabana de Bogotá (JICA, 2003)”, se propuso el desarrollo de agua subterránea en los Cerros Orientales y Sur de la ciudad como fuentes alternativas de agua en caso de emergencia. Así mismo, la importancia del agua subterránea en caso de emergencia fue propuesta en el Plan Maestro del Acueducto en 2005.

2.2 Abastecimiento de Agua en Áreas Residenciales de Bajos Ingresos Económicos Ubicadas en Zonas de Gran Altitud

Las condiciones actuales de abastecimiento y uso del agua, en áreas residenciales de bajos ingresos económicos ubicadas en zonas de gran altitud, fueron estudiadas a partir de las dos siguientes investigaciones: 1) Actividades Sociales del Acueducto y 2) Estudio Socio-Económico.

(1) Estudio Socio-Económico

1). Área de Estudio

El Equipo de Estudio JICA seleccionó finalmente 15 áreas de estudio, de acuerdo a los siguientes criterios.

- Áreas ubicadas sobre los Cerros Orientales y Sur.
- Áreas de bajos ingresos económicos ubicadas encima de 2.750 m.s.n.m
- Áreas no abastecidas por el Acueducto.

2). Cuestionarios

Los cuestionarios se realizaron en 200 hogares de 15 áreas.

3). **Análisis del Estudio**

- En el área de estudio habitan 1.057 personas, con una tasa promedio de 5,2 personas por vivienda. La tasa de cobertura de servicios públicos es muy baja: abastecimiento de agua 14%, alcantarillado 23,3%, gas 1% y teléfono 25%.
- El 61% de los habitantes son atendidos por el sistema de salud SISBEN (Sistema de Selección de Beneficiarios para Programas Sociales) y al parecer no padecen de problemas de salud.
- En cuanto a los ingresos mensuales, el 70% de los propietarios de viviendas tienen ingresos mensuales entre Col\$ 300.000 y 1.000.000. Por su parte los gastos mensuales para el 60% están igualmente entre Col\$ 300.000 y 1.000.000.
- En lo que al abastecimiento de agua respecta, el 32% de las viviendas se abastecen del sistema de abastecimiento comunitario, el 25% tienen captaciones ilegales del Acueducto y el 24% de los encuestados obtienen agua de tanques de plásticos locales y quebradas acondicionados por el Acueducto.
- El 45% de los encuestados que reciben agua del Acueducto, legal o ilegalmente, consideran que la calidad del agua es buena. Por otro lado, la calidad del agua del sistema de abastecimiento comunitario es considerada mala por el 32% de quienes lo usan en barrios como Ciudad Londres, San Manuel, La Cecilia, Caracolí, Sierra Morena, Verbenal y La Fiscala Fortuna.

4). **Abastecimiento de Agua Futuro para Comunidades de Bajos Ingresos Ubicados en Áreas del Gran Altitud**

El análisis social se realizó en áreas que no cuentan con abastecimiento de agua por parte del Acueducto. El Acueducto es responsable por el abastecimiento de agua en el área urbana donde el cubrimiento es casi del 100%. Por otro lado, el abastecimiento de agua está prohibido en zonas no legalizadas fuera del área urbana ya que de acuerdo a la legislación el asentamiento en tales áreas es ilegal.

- El abastecimiento de agua para asentamientos ilegales promueve el esparcimiento de este tipo de asentamientos. Por lo tanto, el Acueducto no tiene la intención de implementar el abastecimiento público de agua en tales áreas.
- Por otro lado, el Acueducto ha venido implementando el abastecimiento mediante carro-tanques y tuberías de abastecimiento temporales para viviendas fuera del área urbana.

Se estima que cerca de 40.000 personas de asentamientos ilegales no son abastecidas por el Acueducto. Esto equivale al 0,6% de la población total de Bogotá. Su tasa de consumo unitario es de 7 litros/persona/día, el cual escasamente satisface la demanda de agua necesaria para la supervivencia. Las condiciones de abastecimiento de agua para estos asentamientos ilegales deben ser mejoradas, bajo una revisión a la legislación vigente.

Por otro lado las áreas de gran altitud en los Cerros Orientales y Sur presentan un gran potencial para el desarrollo de agua subterránea. Sin embargo como se menciona anteriormente, el Acueducto no implementará el abastecimiento regular de agua para estas áreas y por lo tanto los residentes no serán objeto del abastecimiento mediante agua subterránea propuesto en este estudio.

2.3 Derechos de Concesión de Agua Otorgados al Acueducto

(1) **Derechos de Concesión de Agua**

Los derechos sobre los recursos hídricos en Colombia pertenecen al Estado. El uso y la exploración de recursos hídricos requiere: a) Concesión para el uso del agua y b) Un permiso respectivo.

La concesión de agua en la Tabla-2.2-2 muestra solamente las concesiones aprobadas y no aquellas que están pendientes o en negociación. Adicionalmente, las concesiones de agua que se han mantenido nominalmente pero que no son utilizadas, también han sido excluidas.

Tabla-2.2- 2 Concesión del Derecho al Uso de Agua por Sistema

| Sistema de Abastecimiento | Organización que Autoriza | Agua con Concesión (m ³ /s) | |
|---------------------------|---------------------------|--|-------------|
| | | Autorizada/Utilizada | Uso Actual |
| Chingaza | UAESPNN | 12,32 | 9,5 |
| | CAR | 0,90 | 0,0 |
| | Total | 13,22 | 9,5 |
| Tibitóc | CAR | 4,80 | 4,5 |
| Sur | CAR | 1,00 | 0,5 |
| Total | | 19,02 | 14,5 |

Fuente: Acueducto.

(2) POMCO

El Plan de Ordenamiento y Manejo de los Cerros Orientales (POMCO) se completo en el 2006. En el se trata lo relacionado con el desarrollo de recursos hídricos en los Cerros Orientales, incluyendo el manejo de las cuencas de los ríos.

Desarrollo y Uso de Recursos Hídricos en los Cerros Orientales

El desarrollo y uso de recursos hídricos necesita una concesión por parte de la CAR y la SDA. Las aplicaciones para las concesiones serán entregadas a la CAR y la SDA a través del comité de uso de agua en los Cerros Orientales.

Efectos del POMCO sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en Los Cerros Orientales

El POMCO hace énfasis en la conservación del ecosistema fuera del área urbana en los Cerros Orientales. Por lo tanto, el desarrollo de los recursos hídricos debe ser implementado dentro del área urbana de los Cerros Orientales. Por otro lado, el desarrollo de recursos hídricos es posible, incluso fuera del área urbana, en los Cerros Sur.

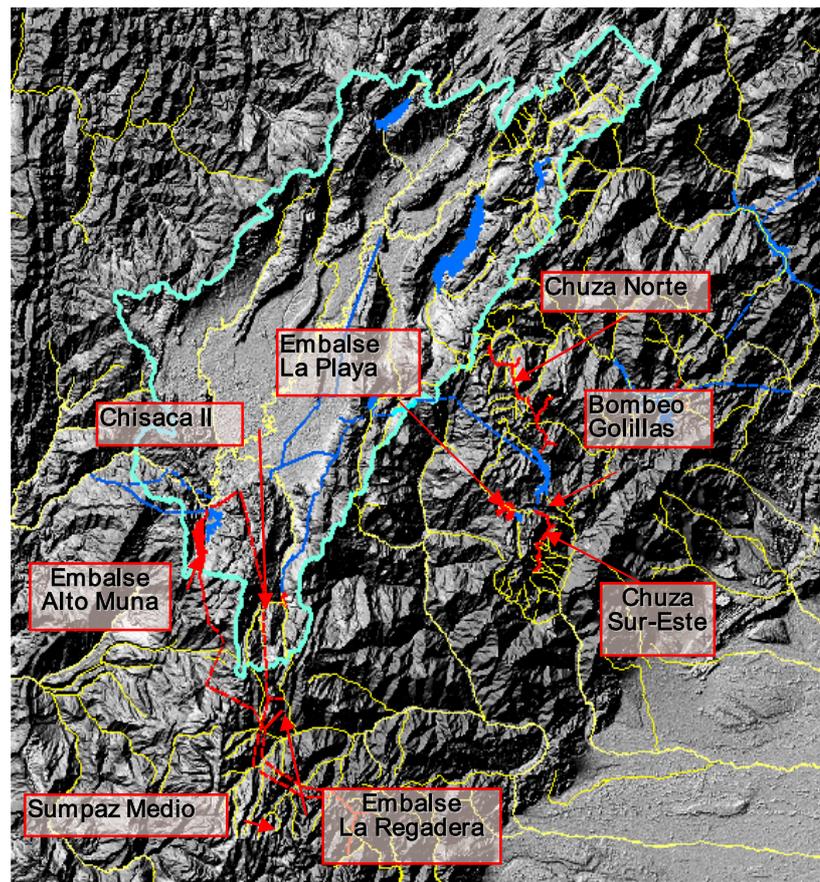
CAPÍTULO 3. POTENCIAL PARA EL DESARROLLO DE RECURSOS HÍDRICOS

3. 1. Potencial para el Desarrollo de Aguas Superficiales

(1) Desarrollo de Aguas Superficiales

En el abastecimiento de agua del sector no se han presentado mayores problemas de escasez de agua. Sin embargo, teniendo en cuenta la tendencia de crecimiento económico y poblacional de Bogotá y considerando la mejora en la calidad de vida, se espera el desarrollo de nuevos recursos hídricos sean necesarios después del año 2028. Para resolver este problema futuro, el Acueducto tiene un plan para introducir una mayor cantidad de agua desde el exterior de la cuenca, expandiendo la capacidad del Sistema Chingaza y los otros sistemas.

De acuerdo al plan de expansión de abastecimiento de agua del Acueducto, se planea una expansión de las instalaciones en el área del Embalse de Chuza y en el área del Sumapaz, ambas por fuera de la cuenca, para garantizar el abastecimiento de agua. Los nombres y la ubicación de los proyectos se dan en la Figura-2.3-1.



Fuente: Equipo de Estudio de JICA

Figura-2.3- 1 Plan de Expansión para Abastecimiento de Agua del Acueducto y Ubicación de los Proyectos

(2) Plan de Expansión de Chingaza

El área de captación que afecta el proyecto de expansión de Chingaza se ubica completamente por fuera de la Cuenca del Río Bogotá. La elevación promedio del terreno en el área de captación es de 3.393 m.s.n.m y el área total es de 223 km². Se utilizaron datos de descarga durante 28 años (de 1971 a 1998) para calcular la descarga específica. El valor encontrado fue de 38,5 l/s/km². La cantidad de agua a ser suministrada por este proyecto de expansión, por consiguiente, se calcula de la siguiente manera:

$$223 \text{ km}^2 \times 38,5 \text{ l/sec/km}^2 = 8,5 \text{ m}^3/\text{sec}$$

De acuerdo al Plan de Expansión de Chingaza, la cantidad de agua a ser desarrollada es de 6,13 m³/s, cantidad menor al valor estimado arriba, lo cual hace este desarrollo posible desde el punto de vista hidrogeológico.

(3) Plan de Desarrollo en el Sumapaz

Se localiza al sur de la cuenca del Río Bogotá. La mayoría de áreas de captación yacen fuera de la cuenca, excepto una pequeña parte del norte. La elevación promedio del terreno en el área de captación es de 3.434 m.s.n.m y el área total es de 678 km². Un hecho hidrogeológico general en el área del Sumapaz es que a mayor altura, mayor precipitación.

El Plan de Desarrollo en el Sumapaz fue evaluado usando la relación anterior. La cantidad de agua que podría ser recogida para la implementación del proyecto puede ser estimada multiplicando el área de captación por el valor de la descarga específica de la siguiente manera:

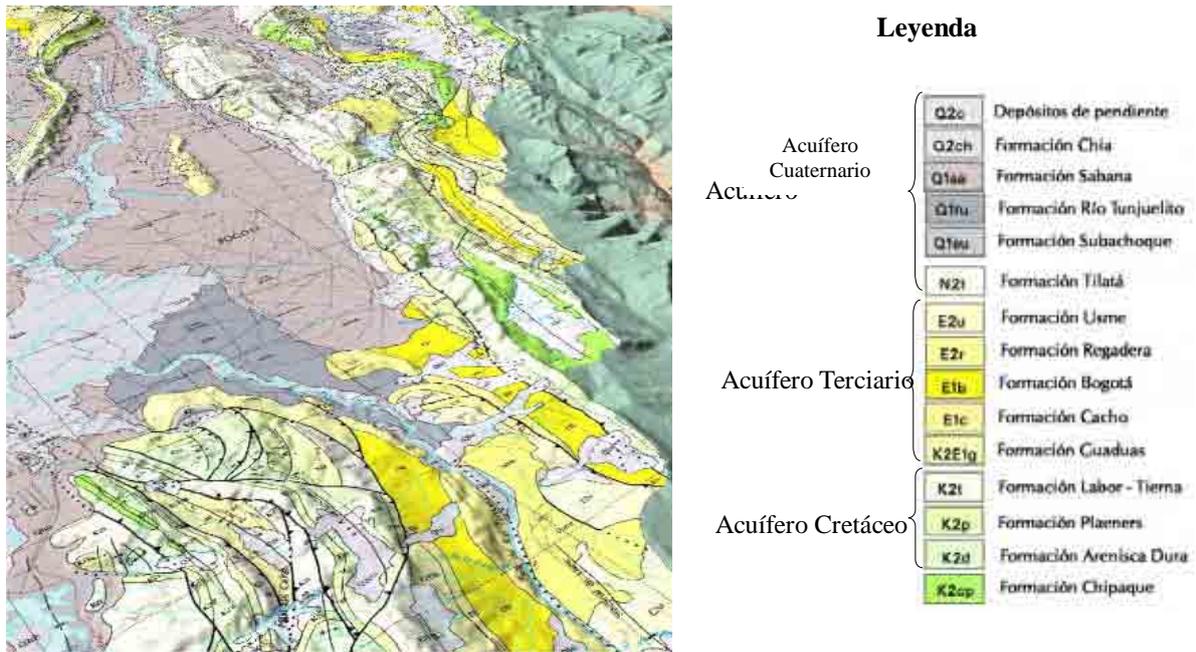
$$678 \text{ km}^2 (\text{área}) \times 19,1 \text{ l/s/km}^2 (\text{descarga específica}) = 12,95 \text{ m}^3/\text{s}$$

3. 2. Aguas Subterráneas

3.2.1 Distribución del Acuífero

El área de distribución del acuífero Cretáceo forma montañas empinadas generalmente. Por otro lado el área de distribución del acuífero Terciario forma pendientes suaves de piedemonte. En cuanto a el área de distribución del acuífero Cuaternario, forma una planicie de baja altitud (Figura-2.3- 2).

El Acuífero Terciario se distribuye debajo del acuífero Cuaternario adyacente, quien lo recubre y a su vez, el acuífero Cretáceo se distribuye de forma continua debajo del acuífero Terciario. Esta relación se observa en el área montañosa.



Fuente: INGEOMINAS arreglos por el Equipo de Estudio JICA.

Figura-2.3- 2 Relación Entre la Topografía y la Distribución de los Acuíferos

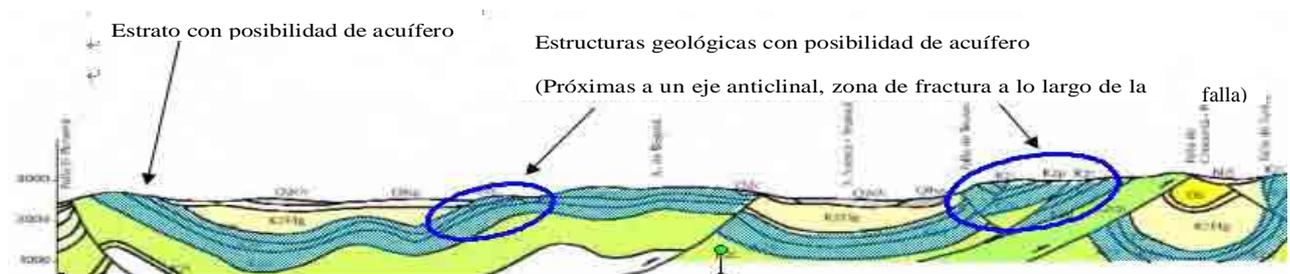
Estratos con Buenas Condiciones de Almacenamiento de Agua Subterránea

Un estrato que presente una gran cantidad de grietas, será un acuífero potencial, ya que el agua subterránea se almacena en dichas grietas. Las rocas cretácicas, agrupadas en arenisca, lodolitas, arcillolitas, etc., se encuentran ampliamente distribuidas el Área de Estudio. Las anticlinales y sinclinales se presentan repetidamente en el Área de Estudio. Las grietas se desarrollarán con más facilidad en areniscas que las otras rocas cuando sufren un movimiento estructural, dado que la arenisca es más dura y quebradiza que las lodolitas, las arcillolitas y otras.

Desde este punto de vista, las formaciones Arenisca Dura y Labor-Tierna pueden tener el potencial de convertirse en acuíferos dentro del Área de Estudio porque están conformadas principalmente de areniscas.

Estructuras Geológicas con buenas Condiciones para Almacenar Agua Subterránea

Generalmente, la posición geotectónica donde se desarrollarán muchas grietas en una masa de rocas, se conoce como una zona de fractura a lo largo de una falla. Adicionalmente, una grieta abierta frecuentemente se desarrolla cerca de un eje anticlinal, y se espera que sea un excelente acuífero. Esta condición geológica es deseable para la existencia de un acuífero.



Fuente: INGEOMINAS.

Figura-2.3- 3 Estructura Hidrogeológica del Área de Estudio

3.2.2 Muestreo Geofísico

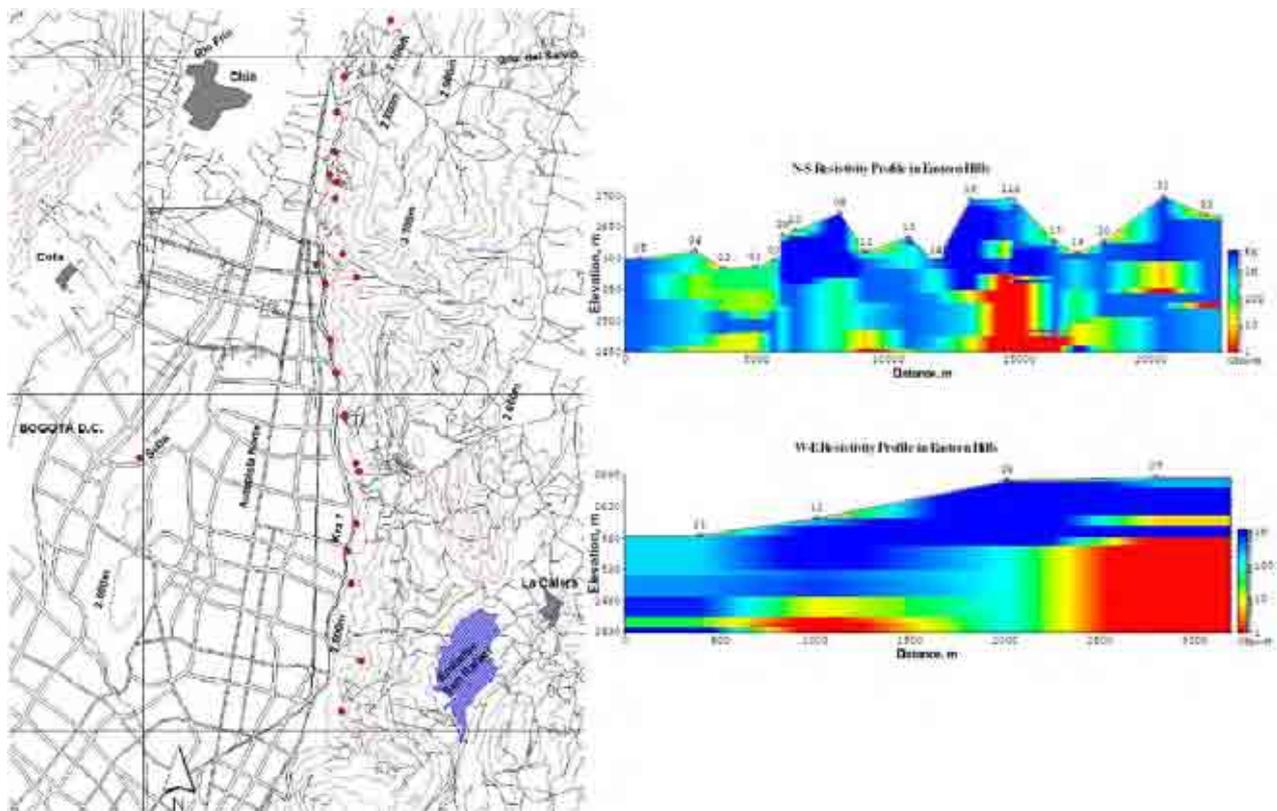
(1) Método Geofísico de Muestreo de Campo

- (a) El método TEM se empleó para el estudio geofísico en este Estudio. TEM es una técnica geofísica electromagnética (EM) que induce corrientes eléctricas en la tierra empleando la inducción electromagnética.

El muestreo TEM se llevó a cabo en tres áreas: Cerros Sur, Cerros Orientales y el área de Usme. Los puntos del muestreo TEM se muestran en las Figura-2.3- 4, Figura-2.3- 5 y Figura-2.3- 6.

(2) Cerros Orientales

El muestreo TEM se realizó en 22 puntos ubicados en los Cerros Orientales. La mayoría de los puntos en los Cerros Orientales han sido interpretados como un modelo de dos capas que consisten de una primera capa de alta resistividad y una segunda de baja resistividad.



Fuente: Equipo de Estudio JICA.

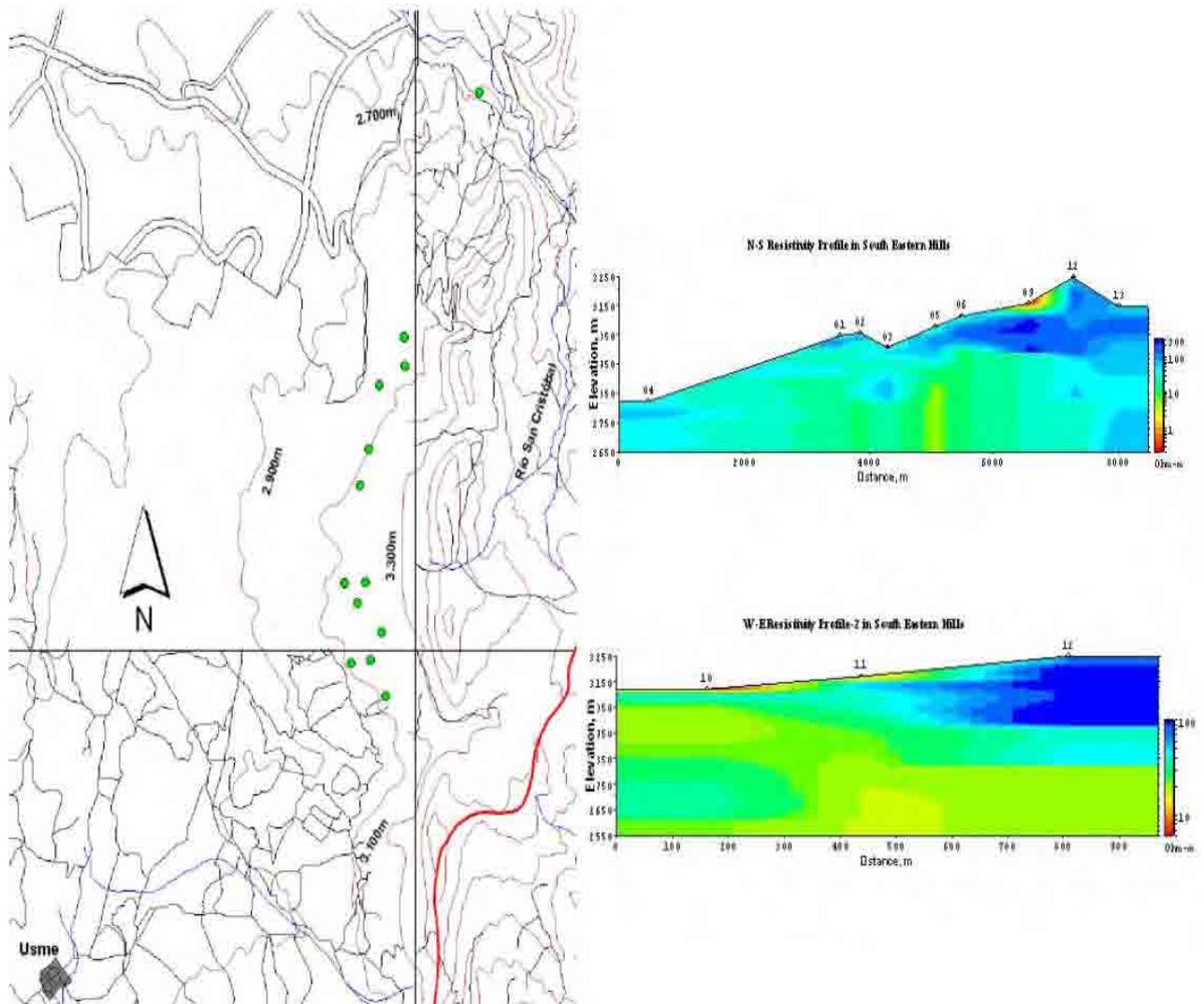
Figura-2.3- 4 Puntos del Muestreo TEM y Resultados Analizados en los Cerros Orientales

(3) Área de Usme

El muestreo TEM se realizó en 13 puntos del área de Usme. La mayoría de los puntos han sido interpretados como un modelo de dos capas que consiste de una primera capa de alta resistividad y una segunda de baja resistividad. Generalmente, la primera capa de los puntos de observación, situados a una mayor altura de los cerros, presenta resistividades más altas y mayor espesor. Por otro lado, la primera capa de los puntos de muestreo ubicados a menor altitud que los cerros, no presenta altas resistividades, contrastando con lo encontrado en lugares ubicados a alta altitud.

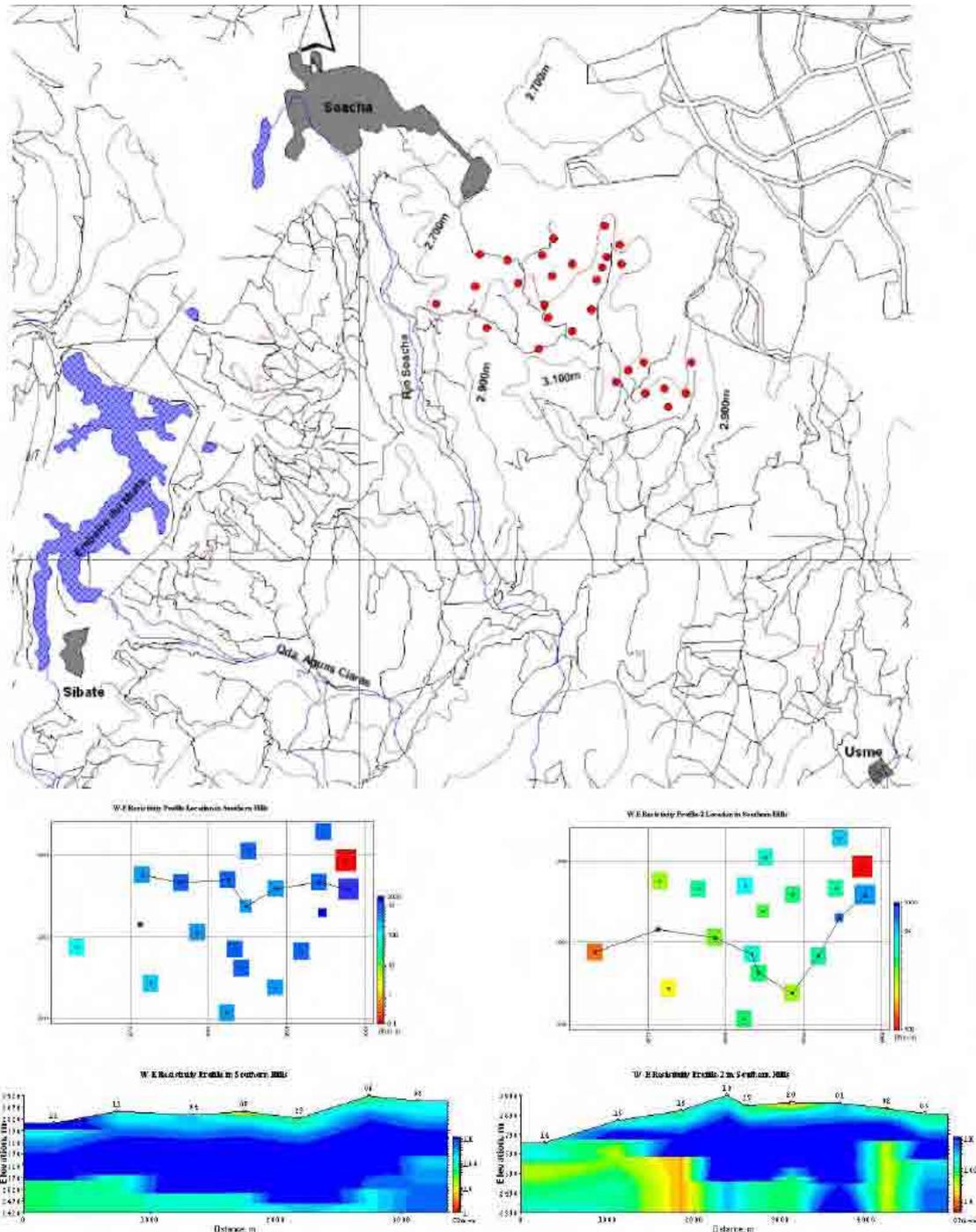
(4) Cerros Sur

El muestreo TEM se realizó en 29 puntos en los Cerros del Sur. La mayoría de los puntos de muestreo en los Cerros del Sur han sido interpretados como un modelo de dos capas que consiste de una primera capa de alta resistividad y una segunda de baja resistividad. La primera capa tiene una resistividad muy alta, más de $1,000 \Omega\text{m}$, y su espesor supera los 100 metros. La segunda capa presenta una baja resistividad menor a $10 \Omega\text{m}$.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.3- 5 Puntos del Muestreo TEM y Resultados Analizados en los Cerros Sur (cerca de Usme)



Fuente: Equipo de Estudio JICA.

Figura-2.3- 6 Puntos del Muestreo TEM y Resultados Analizados en los Cerros Sur.

(5) Interpretación de la Distribución del Acuífero

De acuerdo al análisis TEM y desde el punto de vista hidrogeológico, Los Cerros Orientales y Sur fueron clasificados usando los siguientes criterios:

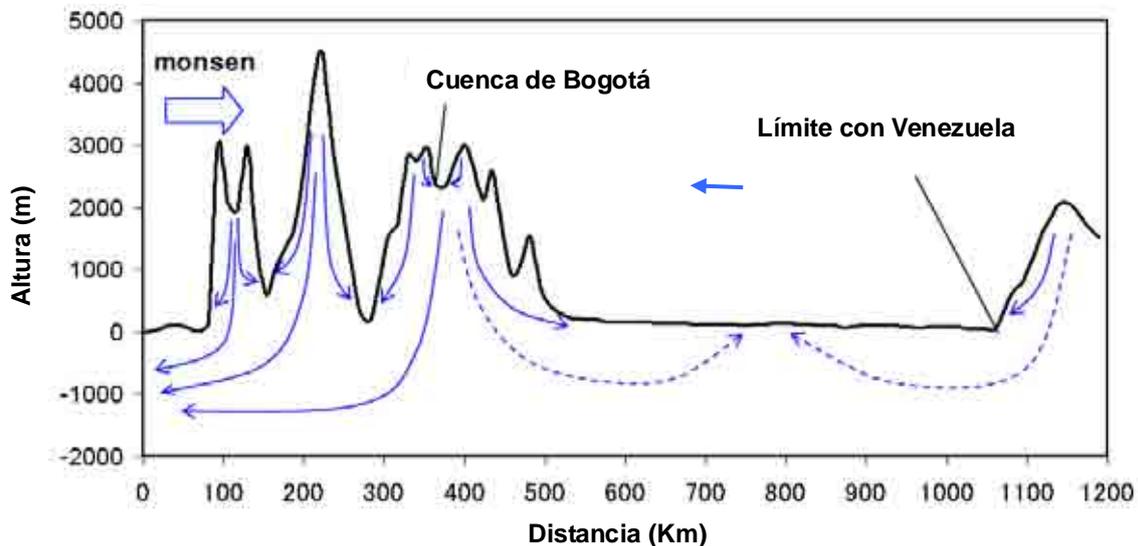
Estrato con receptividad eléctrica mayor a $100\Omega\text{m}$ → Arenisca, con posibilidad de Acuífero
Estrato con receptividad eléctrica menor a $100\Omega\text{m}$ → Lutita, con posibilidad de Acuiclusa

En el área de estudio, la arenisca y lutita hacen una alternación complicada. Interpretando los resultados del TEM, los estratos de los Cerros Orientales y Sur fueron simplificados y clasificados en dos estratos dominantes: i) arenisca dominante y ii) lutita dominante.

3.2.3 Potencial de Desarrollo de Agua Subterránea

(1) Sistema de Flujo de Agua Subterránea

La Figura-2.3- 7 muestra un corte transversal del terreno desde el Océano Pacífico en el occidente hasta Venezuela en el oriente; atravesando la cuenca del Río Bogotá. Mientras que el nivel freático de aguas subterráneas en la cuenca del Río Bogotá sea mayor que el de sus áreas circundantes, se mantendrá el flujo de agua subterránea desde la cuenca del Río Bogotá hacia sus áreas vecinas de menor altura. Esto a su vez indica que si no hubiera recarga subterránea en la cuenca del Río Bogotá, los niveles de aguas subterráneas estarían en constante decrecimiento.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.3- 7 Sistema de Flujo de Agua Subterránea en la Cuenca del Río Bogotá y su Área Circundante

(2) Método del Balance Hídrico

El método del balance hídrico ha sido aplicado por varias instituciones para analizar la recarga subterránea. La siguiente ecuación se deriva para el método del balance hídrico:

$$P = D + E + Rd \quad (1)$$

P: Precipitación

D: Descarga del Río

E: Evaporación o Evapotranspiración

Rd: Recarga al Acuífero Profundo

Reagrupando los términos en la ecuación (1), se obtiene la siguiente relación:

$$Rd = P - D - E \quad (2)$$

Sin embargo, evaluar la evapotranspiración no es tan fácil como calcular la recarga subterránea por

desarrollado.

Tabla-2.3- 1 Resumen de la estimación de recarga subterránea en la Cuenca del Río Bogotá

| NAME | Area | Precip. | Discharge | Evapo. | GW_Rechg |
|------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|
| Los Arboles | 62.7 | 668 | 184 | 458 | 26 |
| Checua | 170.1 | 782 | 172 | 453 | 157 |
| Neusa | 330.4 | 941 | 199 | 445 | 297 |
| Chicu | 329.7 | 795 | 163 | 445 | 187 |
| Subachoque | 397.9 | 753 | 99 | 440 | 214 |
| Bojaca | 220.1 | 685 | 191 | 429 | 65 |
| Sub Total | 1,511 | 793 | 160 | 443 | 190 |
| Bogota(U) | 337.1 | 851 | 292 | 467 | 92 |
| Bogota(M) | 152.3 | 760 | 146 | 457 | 157 |
| Bogota(L) | 620.5 | 699 | 143 | 438 | 118 |
| Bogota(E) | 154.8 | 691 | 280 | 405 | 6 |
| Sub Total | 1,265 | 792 | 200 | 444 | 148 |
| Sisga | 154.3 | 880 | 313 | 461 | 106 |
| Tomine | 404.0 | 841 | 373 | 462 | 6 |
| Teusaca | 335.2 | 964 | 328 | 469 | 167 |
| Fucha | 132.3 | 926 | 282 | 450 | 194 |
| Tunjuelo | 395.5 | 1030 | 431 | 470 | 129 |
| Soacah | 199.2 | 779 | 297 | 429 | 53 |
| Sub Total | 1,620 | 915 | 355 | 460 | 100 |
| Total | 4,396 | 825 | 243 | 450 | 132 |

Nota: Name: Nombre del lugar, Precip.: Precipitación, Discharge: Descarga, Evapo.: Evapotranspiración, GW_Rechg: Recarga Subterránea.

Fuente: Equipo de Estudio JICA

3.2.4 Simulación de Aguas Subterráneas

(1) Propósito de la Simulación

En el presente estudio se investigó principalmente el flujo de agua subterránea en el acuífero Cretáceo de los Cerros Orientales y Sur en la cuenca del Río Bogotá

(2) Diseño del Modelo

1). Modelo Conceptual

Dentro del modelo de simulación se asumieron los siguientes supuestos de acuerdo a algunas consideraciones hidrogeológicas.

Distribución del Acuífero

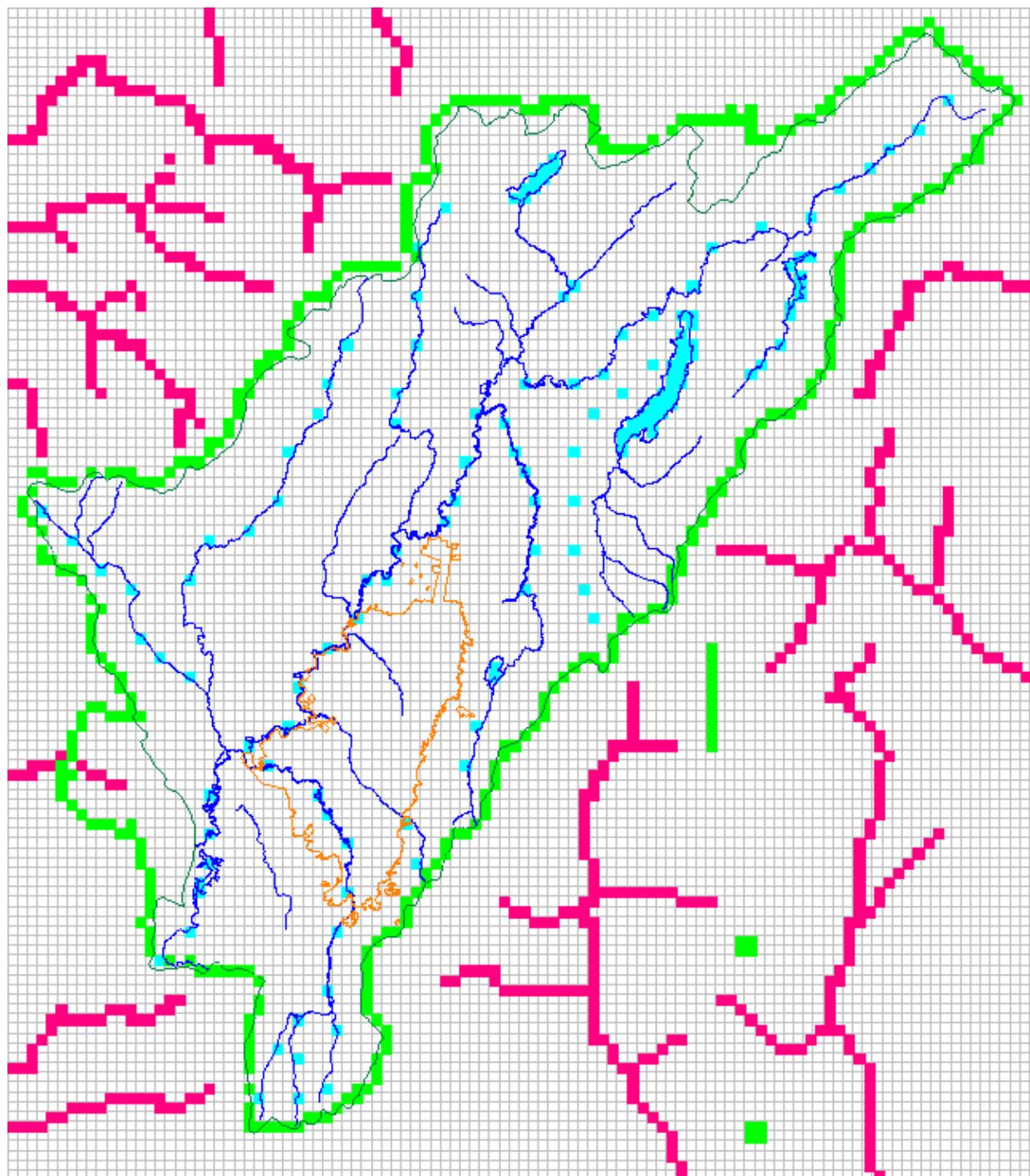
Las áreas montañosas que forman las líneas divisorias de agua en el sur y oriente de la cuenca del Río Bogotá están constituidas en su mayoría por rocas sedimentarias del Cretáceo. Estas rocas desarrollan fisuras extensivas, y por ende la permeabilidad se considera lo suficientemente alta para considerarlo un acuífero. Entretanto, se asume que las formaciones Terciaria y Cuaternaria, encima del acuífero Cretáceo, tienen baja permeabilidad considerando la naturaleza de sus rocas y las fases sedimentarias, por lo tanto no son buenos acuíferos.

Recarga / Dirección del Flujo / Niveles Subterráneos

Las áreas montañosas a grandes altitudes reciben una recarga mayor por precipitación. La precipitación infiltrada por la pendiente de la montaña fluye lentamente hacia abajo dentro de la cuenca de agua subterránea bajo la Sabana de Bogotá, donde hay una amplia distribución de sedimento Cuaternario. El Río Bogotá y sus afluentes fluyen a través de la Sabana de Bogotá y su descarga y etapas se consideran constantes. De la misma forma, las represas y lagunas de sedimentación en la cuenca tienen niveles constantes de agua.

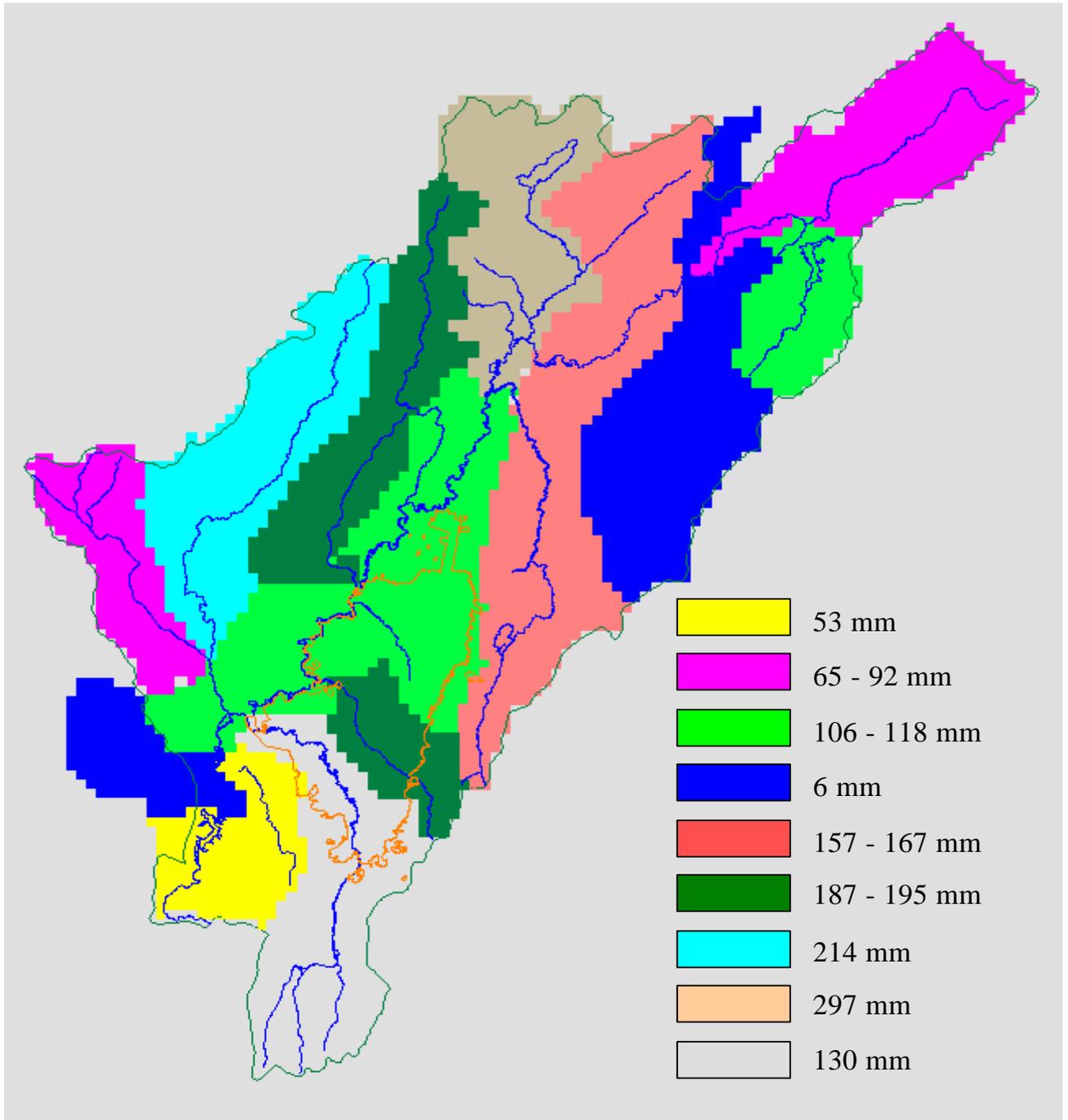
2). Estructura / Parámetros / Condiciones Límites del Modelo

La cuadrícula horizontal y las principales condiciones límites en la 1^{era} capa se muestran en la Figura-2.3- 9. La distribución de la recarga se muestra en la Figura-2.3- 10 y la ubicación de los pozos de bombeo existentes se presenta en la Figura-2.3- 11.



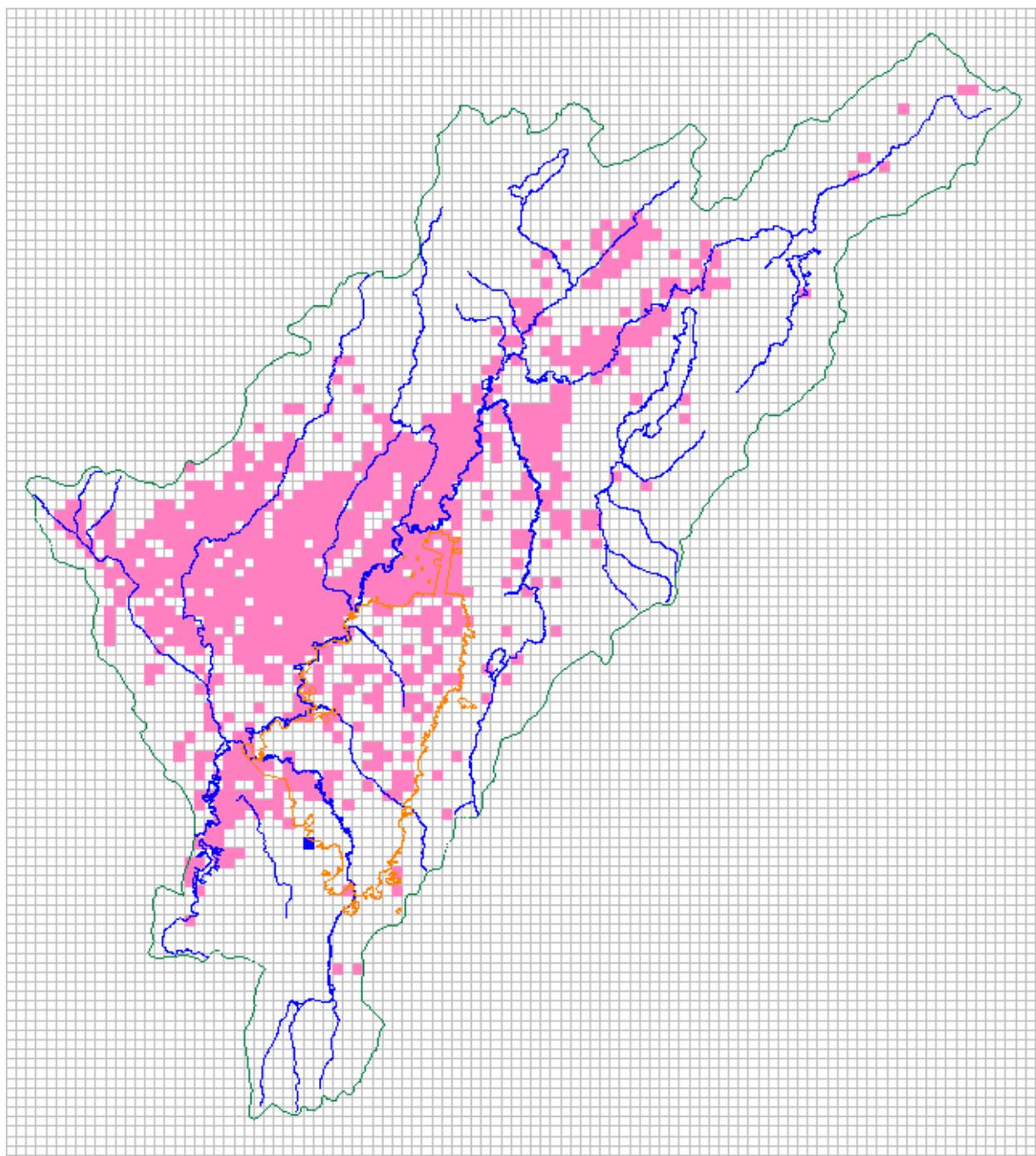
Nota: Azul-Cabeza hidráulica fija, Verde-GHB, Rojo-Drenaje, el GHB se estableció también para el perímetro de las capas 8 y 10, Las líneas azules representan ríos, Las líneas Naranjas representan los límites del área urbana. Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.3- 9 Cuadrícula Modelo y Condiciones Límite en la Capa 1



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.3- 10 Distribución de la Recarga (mm/año)



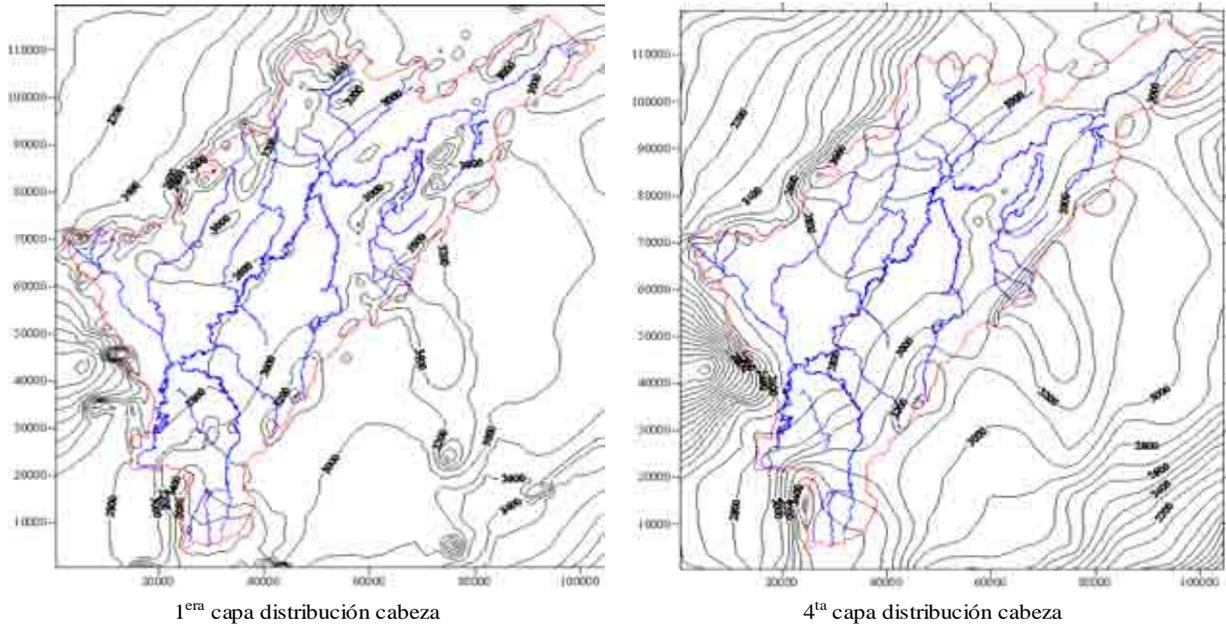
Nota: Las celdas en Rosado representan pozos de bombeo, existen un total de 7,000 pozos y la tasa de bombeo es cerca de 320,000 m³/día.

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.3- 11 Ubicación de los Pozos Existentes

3). Calibración del Modelo

La calibración del modelo se hizo ajustando los valores de conductividad hidráulica de cada capa dentro de un rango razonable.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.3- 12 Distribución de Cabezas Hidráulicas Después de la Calibración del Modelo Bajo Condiciones de Estado Permanente

3.2.5 Perforaciones Exploratorias de Pozos

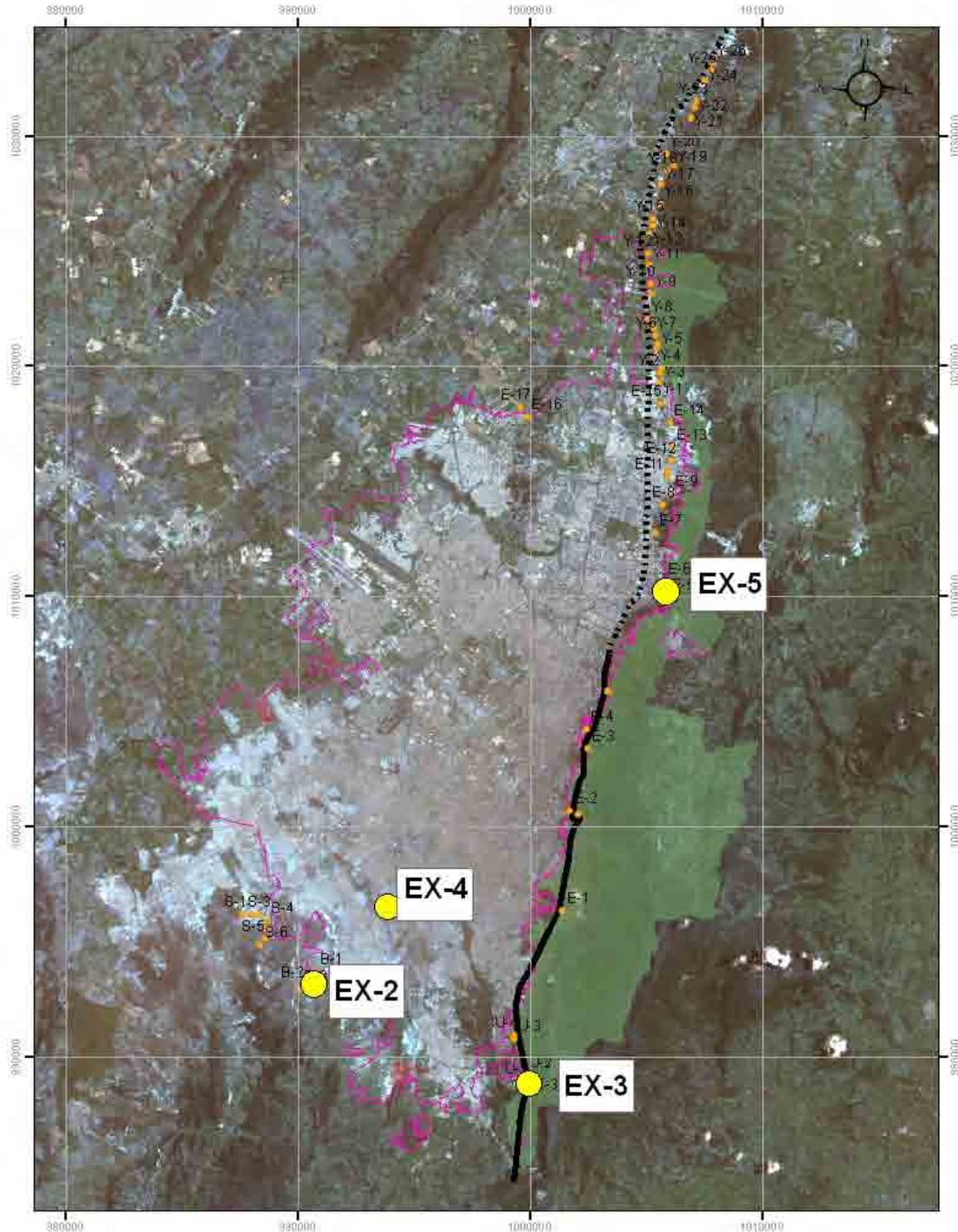
(1) Ubicación de los Pozos

La ubicación propuesta de los pozos exploratorios y de observación se muestra en la Tabla-2.3- 2.y en la Figura-2.3- 13.

Tabla-2.3- 2 Ubicación de los Pozos Exploratorios

| Propósito | No. Pozo | Área | Coordenadas | | Responsable |
|------------------|----------|-------------------------|----------------|------------------|-------------|
| | | | X | Y | |
| | EX-2 | Ciudad Bolívar Verbenal | 4 ° 32'14.4"N | 74 ° 09'51.7"W | JICA |
| | EX-3 | Usme Cervecería Alemana | 4 ° 29'38.1"N | 74 ° 04'51.5"W | JICA |
| | EX-5 | La Aguadora | 4 ° 38'04.4"N | 74 ° 03'20.7"W | Acueducto |
| Pozo Observación | EX-4 | Embalse Seco No.1 | 4 ° 33'48.84"N | 74 ° 08'18.696"W | JICA |

Fuente: Equipo de Estudio JICA



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.3- 13 Ubicación de Los Pozos Exploratorios

(2) Resultados de la Perforación Exploratoria

Resultados de la Perforación

Los resultados de la perforación exploratoria (EX-2 y EX-3) y del pozo de observación (EX-4) se resumen en la Tabla-2.3-3. Las pruebas de bombeo se llevaron a cabo después de la terminación de los pozos.

Tabla-2.3- 3 Resultados de la Perforación Exploratoria del Cretáceo (1)

| No. Pozo (Lugar) | EX-3 (Usme) | EX-2 (Ciudad Bolívar) | EX-5 (La Aguadora) | EX-4 (Embalse Seco No.1) | | | |
|--|---|--|---|--|----------------------------------|-----------------|---|
| Profundidad del Pozo (m) | 300m | 300m | 300m | 150m | | | |
| Profundidad del filtro | 37 - 40, 43 - 46, 48 - 51, 55 - 58, 59 - 68, 70 - 73, 80 - 83, 84 - 87, 102 - 108, 111 - 114, 133 - 136, 161 - 164, 195 - 201, 212 - 215, 217 - 220, 222 - 225, 233 - 240, 242 - 248, 273 - 275, 289 - 292 (Total 80m) | 40 - 46, 48 - 54, 56 - 62, 64 - 70, 76 - 82, 91 - 94, 106 - 109, 117 - 120, 126 - 135, 145 - 148, 155 - 158, 174 - 177, 194 - 197, 235 - 241, 253 - 256, 262 - 265, 275 - 281 (Total 80m) | 109 ~ 118, 120 ~ 129, 131 ~ 140, 148 ~ 154, 155 ~ 164, 165 ~ 174, 175 ~ 181, 194 ~ 197, 201 ~ 207, 216 ~ 222, 223 ~ 232, 233 ~ 242, 243 ~ 246, 256 ~ 262, 286 ~ 289, 290 ~ 299, (Total 111m) | 44 - 51, 56 - 68, 74 - 78, 110 - 115, 132 - 150 (Total 50m) | | | |
| Diámetro del Recubrimiento | 8 pulgadas | 8 pulgadas | 10 pulgadas | 4 pulgadas | | | |
| Acuífero | Arenisca | Arenisca | Arenisca | Arenisca y Grava | | | |
| Prueba de Bombeo Continuo | | | | | | | |
| S.W.L ¹⁾ (GL-m) | 20,7 | 18,2 | 37.6 | 25.2 | | | |
| Producción (m ³ /día) | 95 | 864 - 1,223 | 864 | 145 | | | |
| Reducción del Nivel Freático | 69,29 | 52,7 | 71.4 | 7.1 | | | |
| D.W.L ²⁾ (GL-m) | 89,99 | 70,9 | 109 | 32.3 | | | |
| Capacidad Especifica (m ³ /día/m) | 1,37 | 23,2 | 12.1 | 20.4 | | | |
| Transmisibilidad (m ² /día) | 1,9 | 14,7 | 13.6 | 27.8 | | | |
| Conductividad (m/día) | 0,023 | 0,18 | 0.17 | 0.56 | | | |
| Almacenamiento | 6,9x10 ⁻⁴ | 2,2x10 ⁻² | 2.06x10 ⁻² | 4.2x10 ⁻³ | | | |
| Prueba de Reducción del Nivel Freático Escalonada | | | | | | | |
| Paso | Producción (m ³ /día) | Abatimiento (m) | Producción (m ³ /día) | Abatimiento (m) | Producción (m ³ /día) | Abatimiento (m) | - |
| Paso 1 | 41 | 43,4 | 966 | 11,1 | 290 | 15.4 | - |
| Paso 2 | 82 | 47,9 | 1,24 | 17,1 | 360 | 22.3 | - |
| Paso 3 | 121 | 57,3 | 1,446 | 20,9 | 470 | 33.6 | - |

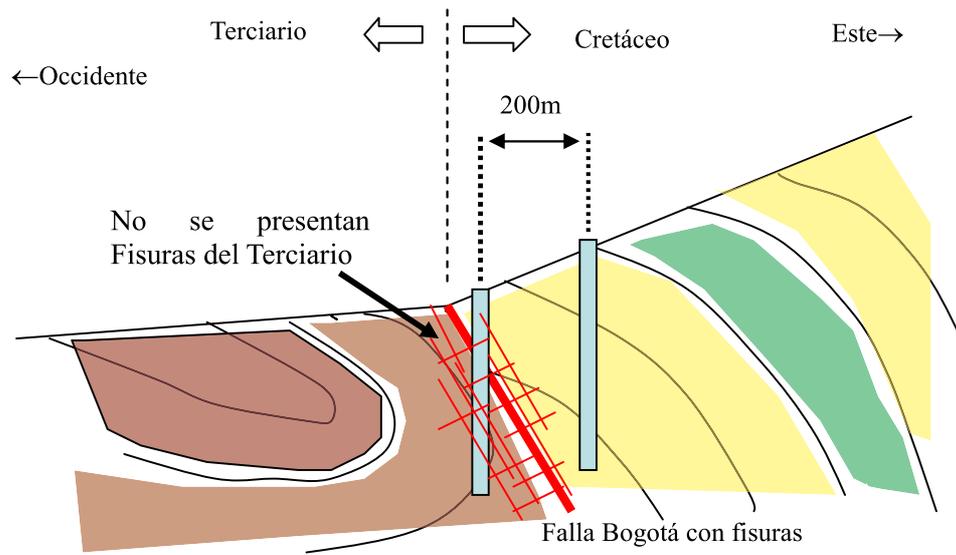
Fuente: Equipo de Estudio JICA

Nota) La conductividad y el almacenamiento fueron analizados por el método Jacob y por el método de recuperación

Características del Acuífero Cretáceo

La falla de Bogotá yace entre los grupos Cretáceo y Terciario de los Cerros Orientales. El pozo exploratorio EX-3 (Usme) se ubica justamente arriba de la falla de Bogotá. De acuerdo a los resultados de la perforación exploratoria del pozo EX-3, se concluyeron las siguientes condiciones hidrogeológicas:

- La arenisca del Cretáceo, la cual se distribuye al oriente de la falla de Bogotá, es un excelente acuífero en los Cerros Orientales.
- La falla de Bogotá es definitivamente una falla reversa. La falla reversa causará que la perforación encuentre rocas Cretáceas a poca profundidad y rocas Terciarias a gran profundidad. Esto significa que el estrato más antiguo recubre el estrato más joven.
- Es deseable localizar los puntos de perforación lo más lejos posible, al oriente de la falla de Bogotá. De acuerdo al ejemplo de la perforación exploratoria en Vitelma, los puntos de perforación ubicados a más de 200 m al oriente de la falla de Bogotá pueden librarse del efecto de la falla reversa (Figura-2.3- 14).



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.3- 14 Localización Recomendada de los Pozos