

**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 PRINCIPAL**

Marzo 2009

AGENCIA DE COOPERACIÓN 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

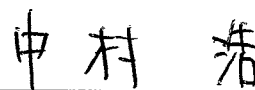
Nos complace hacerle entrega del informe final del Estudio de Abastecimiento Sostenible de Agua para la Ciudad de Bogotá y Áreas Circundantes Basado en el Manejo Integrado de Recursos Hídricos para la República de Colombia. Este informe tuvo en consideración los consejos y las recomendaciones de su Agencia. 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,



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.



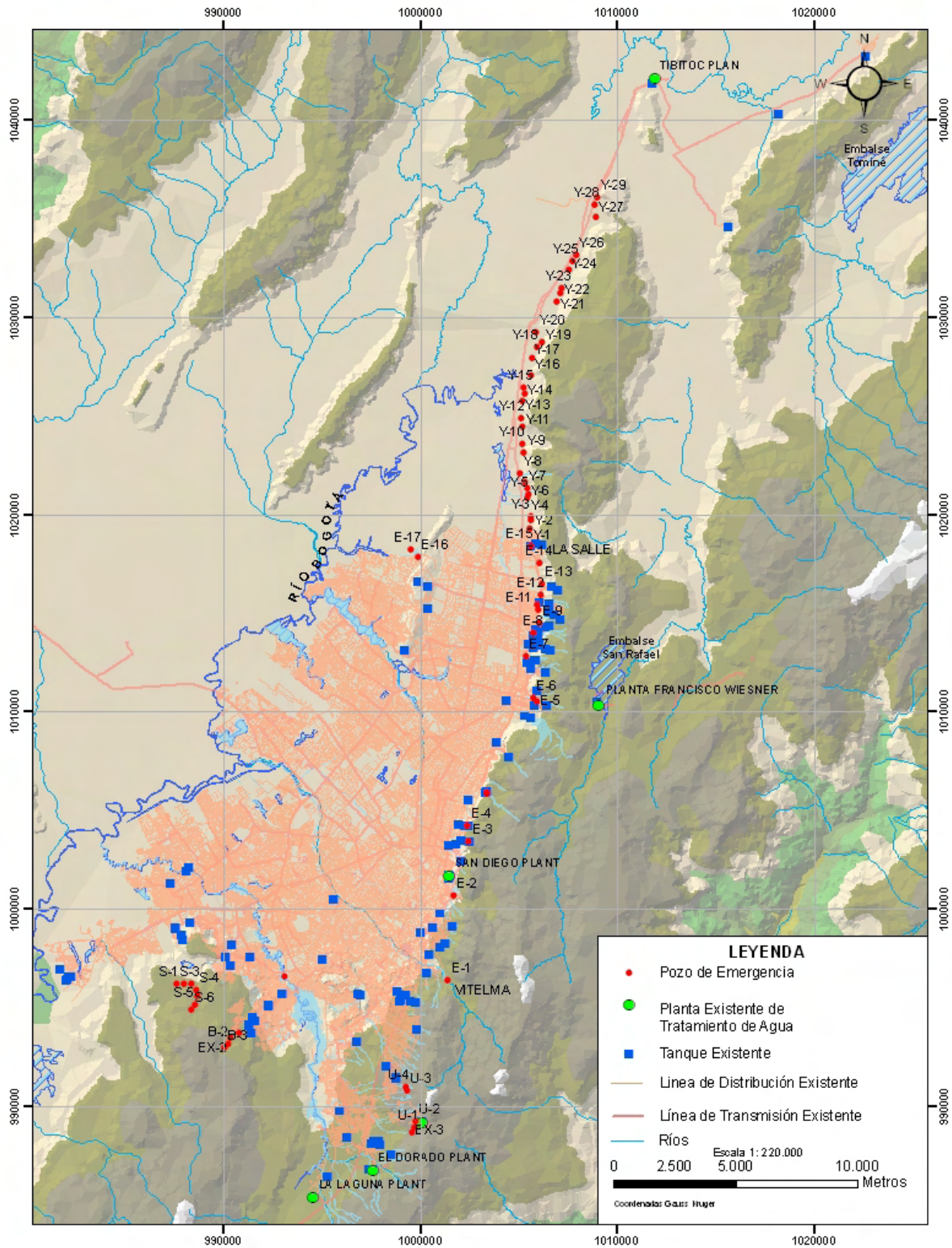
Instalación para tratamiento de agua subterránea en Tocancipa. Las instalaciones propuestas para tratamiento en este Estudio JICA son más compactas que ésta.



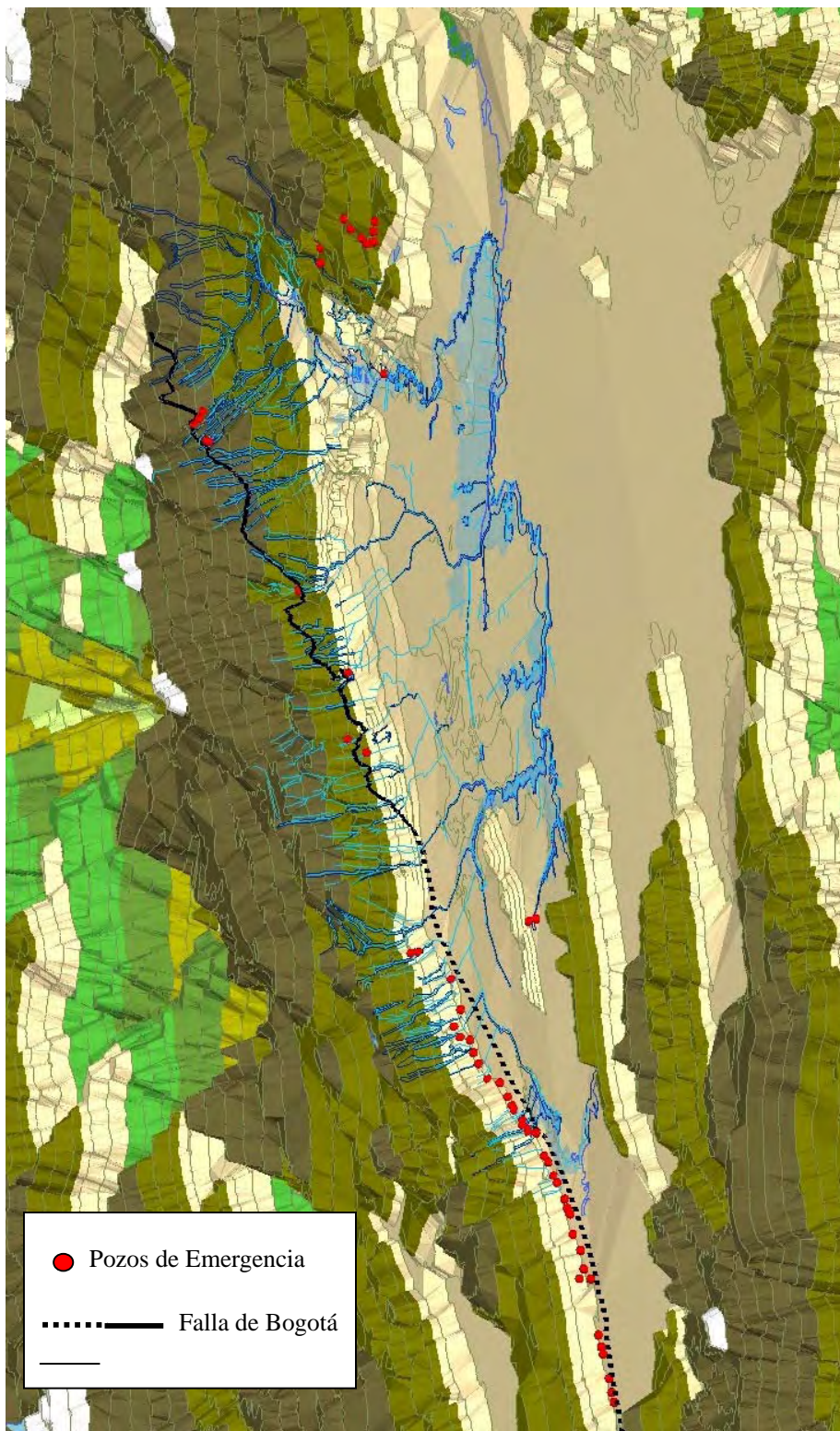
En los Cerros Orientales de Bogotá ocurren incendios forestales cada año. El agua subterránea de los Cerros puede utilizarse para apagar los incendios.



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 Hídricos 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 Pozos Propuestos
	Parte – 2 Monitoreo de Agua Subterránea
	Parte – 3 Análisis Geofísico
	Parte – 4 Exploración de Perforación
	Parte – 5 Análisis de Balance de Agua
	Parte – 6 Simulación de Agua Subterránea del Plan Maestro
	Parte – 7 Simulación de Agua Subterránea del Estudio de Factibilidad
	Parte – 8 Subsistencia de Tierra
	Parte – 9 Manejo de Producción de Pozos
	Parte –10 Pozos en Zona de Reserva Forestal
	Parte –11 Calidad de Agua
	Parte –12 Instalaciones de Sistemas de Alcantarillado
	Parte –13 Análisis Ambiental y 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 – INFORME PRINCIPAL

Tabla de Contenidos

	Pág.
Las Fotografías	
Área de Estudio.....	i
Pozos de Emergencia y Falla de Bogotá.....	ii
Plan de Expansión de Recursos Hídricos y Pozos de Emergencia	iii
Tabla de Contenidos.....	vi
Lista de Tablas.....	x
Lista de Figuras.....	xv
Lista de Abreviaciones.....	xxi
Sinopsis	S-1

Tabla de Contenidos

PARTE 1.INTRODUCCIÓN	1-1-1
CAPÍTULO 1 PERFIL DEL ESTUDIO	1-1-1
CAPÍTULO 2 RESUMEN DEL ESTUDIO	1-2-1
2.1 Resumen de la Organización y Operación del Estudio	1-2-1
2.1.1 Condiciones Generales del Área de Estudio.....	1-2-1
2.1.2 Identificación de Deficiencias en el Sistema de Abastecimiento de Agua Actual.....	1-2-5
2.1.3 Potencial para el Desarrollo de Recursos Hídricos	1-2-5
2.1.4 Aspectos del Plan Maestro Existente de Abastecimiento De Agua.....	1-2-7
2.1.5 Plan Maestro de Abastecimiento de Agua para Bogotá Mediante Agua Subterránea ...	1-2-8
2.2 Resumen del Estudio de Factibilidad	1-2-14
CAPÍTULO 3 ORGANIZACIÓN Y OPERACIÓN DEL ESTUDIO	1-3-1
3.1 Organización del Estudio.....	1-3-1
3.2 Reuniones Principales.....	1-3-1
3.3 Talleres de Trabajo.....	1-3-1
3.4 Seminario.....	1-3-3
PARTE 2 ESTUDIO 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.....	2-1-4
1.1.3 Condiciones Naturales	2-1-14
1.2 Recursos Hídricos en el Área de Estudio	2-1-25
1.2.1 Agua Superficial	2-1-25
1.2.2 Agua Subterránea	2-1-28
1.2.3 Análisis de Calidad de Agua.....	2-1-32
1.3 Uso del agua y Manejo de Recursos Hídricos.....	2-1-39
1.3.1 Instalaciones Existentes para el Abastecimiento de Agua	2-1-39
1.3.2 Consumo de Agua.....	2-1-48
1.3.3 Instalaciones de Alcantarillado y Tratamiento.....	2-1-50
1.3.4 Administración del Recurso Hídrico	2-1-55
1.3.5 Sistema de Administración y Monitoreo de la Calidad del Agua.....	2-1-56
1.3.6 Ecosistema y Medio Ambiente	2-1-57
1.3.7 Recarga Artificial de Aguas Subterráneas	2-1-59
1.3.8 Resultados del Monitoreo de Agua Subterránea.....	2-1-61
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.....	2-2-5
2.3. Derechos de Concesión de Agua Otorgados al Acueducto.....	2-2-12
CAPÍTULO 3. POTENCIAL PARA EL DESARROLLO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	2-3-1
3. 1. Potencial para el Desarrollo de Aguas Superficiales	2-3-1
3.1.1 Cuenca del Río Bogotá	2-3-1
3.1.2 Otras Cuencas de Ríos	2-3-2
3. 2. Aguas Subterráneas	2-3-6
3.2.1. Distribución del Acuífero	2-3-6
3.2.2. Muestreo Geofísico.....	2-3-7
3.2.3. Potencial de Desarrollo de Agua Subterránea	2-3-18
3.2.4. Simulación de Aguas Subterránea	2-3-26
3.2.5. Perforaciones Exploratorias de Pozos	2-3-30
CAPÍTULO 4. ASPECTOS DEL PLAN MAESTRO ACTUAL DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	2-4-1
.....	2-4-1
4.1. Plan Maestro Actual.....	2-4-1
4.2. Revisión del Plan Maestro Existente	2-4-5
4.3. Manejo de los Recursos Hídricos	2-4-7
4.4. Propuestas al P/M del Acueducto	2-4-10
CAPÍTULO 5 PLAN DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE	2-5-1
 BOGOTÁ POR MEDIO DE AGUA SUBTERRÁNEA	2-5-1
5. 1. Política Básica del Plan Maestro	2-5-1
5.1.1 Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia	2-5-1
5.1.2 Abastecimiento normal por medio de agua subterránea.....	2-5-2
5. 2. Plan de Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia.....	2-5-2
5.2.1. Alternativas para el Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia	2-5-2
5.2.2. Evaluación del Plan Alternativo	2-5-6
5. 3. Demanda de Agua Subterránea.....	2-5-7
5. 4. Simulación de Aguas Subterránea	2-5-8
5.4.1 Pozos de Producción.....	2-5-8
5.4.2 Producción Óptima	2-5-17
5.4.3 Instalaciones Para el Tratamiento de Agua.....	2-5-24
5.4.4 Plan para las Instalaciones Conducción y Distribución de Agua	2-5-29
5. 5. Manejo de la Operación de los Pozos.....	2-5-30
5. 6. Análisis de Subsistencia del Terreno.....	2-5-34
5. 7. Proyecto Piloto para el Uso de Agua Subterránea	2-5-39
5. 8. Plan de Monitoreo	2-5-42
5. 9. Institución y Operación/Mantenimiento	2-5-43
5. 10. Cronograma de Implementación del Plan Maestro	2-5-49
5. 11. Diseño y Estimación de Costos	2-5-51
5.11.1 Diseño	2-5-51
5.11.2 Estimación de Costos.....	2-5-61
5.11.3 Evaluación de Costos.....	2-5-63
5. 12. Evaluación Ambiental Inicial (EAI).....	2-5-63

5.12.1 Condiciones Ambientales y Sociales Actuales Dentro y Alrededor del Área del Proyecto	2-5-63
5.12.2 Impacto Ambiental y Social	2-5-67
5.12.3 Conformidad con Leyes, Estándares y Planes del Gobierno Colombiano y Categorización Respectiva.....	2-5-69
5.12.4 Medidas de Mitigación Recomendaciones	2-5-70
5.13. Evaluación del Proyecto	2-5-71
5.13.1 Evaluación Económica	2-5-71
5.13.2 Análisis Financiero	2-5-73
5.13.3 Evaluación Social	2-5-77
CAPÍTULO 6 RECOMENDACIONES	2-6-1
PARTE 3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	3-1-1
CAPÍTULO 1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.....	3-1-1
CAPÍTULO 2 PLAN DE ACCION	3-2-1
CAPÍTULO 3 PLAN PARA EL PROYECTO PRIORITARIO	3-3-1
3.1 Proyecto Piloto para uso de Agua Subterránea.....	3-3-1
3.1.1 Objetivo del proyecto Piloto.....	3-3-1
3.1.2 Lugar para el Proyecto Piloto	3-3-2
3.1.3 Instalaciones Planeadas para el Plan Piloto	3-3-3
3.2 Proyecto del Primer Periodo.....	3-3-13
3.2.1 Pozos de producción	3-3-13
3.2.2 Diseño de las Instalaciones	3-3-17
3.3 Proyecto del Segundo Periodo.....	3-3-23
3.3.1 Pozos de Producción.....	3-3-24
3.3.2 Diseño de las Instalaciones	3-3-26
3.4 Proyecto del Tercer Periodo.....	3-3-28
3.4.1 Pozos de Producción.....	3-3-29
3.4.2 Plan de las Instalaciones	3-3-32
3.5 Diseño General de las Instalaciones	3-3-33
3.6 Producción Óptima	3-3-37
3.6.1 Subsistencia del Terreno.....	3-3-44
3.7 Operación/Mantenimiento e Institución	3-3-49
3.8 Lecciones del Desastre Sísmico en Kobe	3-3-53
3.9 Consideraciones Sociales y Ambientales	3-3-58
3.9.1 Introducción	3-3-58
3.9.2 Condiciones Ambientales y Sociales Dentro y Alrededor de los Lugares del Proyecto.....	3-5-58
3.9.3 Impacto Ambiental y Social Estimado	3-3-62
3.10 Diseño y Estimación de Costos	3-3-67
3.10.1 Diseño	3-3-67
3.10.2 Costo del Proyecto.....	3-3-69
3.10.3 Costo de Operación y Mantenimiento (O&M).....	3-3-74

3.11	Cronograma de Implementación del Proyecto	3-3-76
3.12	Esquema Financiero	3-3-79
3.12.1	Costo Anual del Desarrollo.....	3-3-79
3.12.2	Financiamiento	3-3-79
3.13	Evaluación del Proyecto	3-3-80
3.13.1	Evaluación Económica	3-3-80
3.13.2	Análisis Financiero	3-3-81
3.13.3	Evaluación Social	3-3-84

CAPÍTULO 4 RECOMENDACIONES	3-4-1
----------------------------------	-------

APÉNDICES

Apendice-1	Manual para Proyecto Piloto
Apendice-2	Dibujos Proyecto Piloto
Apendice-3	Lista del Equipo de Contraparte
Apendice-4	Minuta de Discusiones

Lista de Tablas

Tabla-1.1-1 Alcance del Estudio y Resultados.....	1-1-1
Tabla-1.2- 1 Demanda de Agua Subterránea en caso de Emergencia.....	1-2-9
Tabla-1.2- 2 Trabajos y Costos De Construcción	1-2-12
Tabla-1.3-1 Historial de Reuniones del Comité Directivo.....	1-3-1
Tabla-1.3-2 Contenido de los Talleres de Trabajo	1-3-2
Tabla-1.3-3 Contenido del Primer Seminario de Transferencia Técnica	1-3-3
Tabla-1.3-4 Contenido del Segundo Seminario de Transferencia Técnica.....	1-3-4
Tabla-2.1- 1 Área Total del Estudio	2-1-1
Tabla-2.1- 2 Población Actual y su Crecimiento en el Área de Estudio.....	2-1-2
Tabla-2.1- 3 PIB & PIBR (a precio constante del 2005)	2-1-3
Tabla-2.1- 4 PIB y PIBR per Capita (a precio constante del 2005).....	2-1-3
Tabla-2.1- 5 Distribución y Crecimiento por Sector Económico.....	2-1-4
Tabla-2.1- 6 Índice de Precios al Consumidor y Tasa de Cambio	2-1-4
Tabla-2.1- 7 Resultados Esperados para el Manejo de Redes (1).....	2-1-8
Tabla-2.1- 7 Resultados Esperados para el Manejo de Redes (2).....	2-1-8
Tabla-2.1- 8 Número de Empleados en las dos Gerencias Corporativas (1)	2-1-11
Tabla-2.1- 8 Número de Empleados en las dos Gerencias Corporativas (2)	2-1-12
Tabla-2.1- 9 Clasificación de Acuíferos en el Área de Estudio	2-1-24
Tabla-2.1- 10 Resumen Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Bogotá.....	2-1-28
Tabla-2.1- 11 Calidad del Agua del Río Chingaza.....	2-1-34
Tabla-2.1- 12 Resultados de Pruebas de Calidad de Agua para Ríos (1) (Agua Superficial).....	2-1-37
Tabla-2.1- 12 Resultados de Pruebas de Calidad de Agua para Ríos (2) (Agua Superficial).....	2-1-37
Tabla-2.1- 13 Resultados de Pruebas de Calidad de Agua para Pozos (1) (Agua Subterránea)	2-1-37
Tabla-2.1- 13 Resultados de Pruebas de Calidad de Agua para Pozos (2).....	2-1-38
Tabla-2.1- 14 Resumen del Manejo de Abastecimiento de Agua y Alcantarillado por Acueducto (Octubre 2007).....	2-1-41
Tabla-2.1- 15 Fuentes de Agua para el Sistema de Abastecimiento para Bogotá.....	2-1-42
Tabla-2.1- 16 Fuentes de Agua y Volumen de Producción de las Plantas de Tratamiento	2-1-43
Tabla-2.1- 17 Características de las Plantas de Tratamiento Principales de Bogotá.....	2-1-44
Tabla-2.1- 18 Instalaciones Monitoreadas y Controladas por el Centro de Control.....	2-1-47
Tabla-2.1- 19 Número de Usuarios (1000)	2-1-48
Tabla-2.1- 20 Consumo (1.000 m ³ /mes)	2-1-48
Tabla-2.1- 21 Consumo Unitario Estimado (litro/día/persona)	2-1-49
Tabla-2.1- 22 Pago de Agua Anual (Col\$/m ³)	2-1-49
Tabla-2.1- 23 Abastecimiento de Agua en Bloque (1.000 m ³ /mes) y Tarifas	2-1-49
Tabla-2.1- 24 Tarifa de Agua en Junio 2004 (Col\$).....	2-1-50
Tabla-2.1- 25 Tarifa de Agua en Octubre 2008 (Col\$)	2-1-50
Tabla-2.1- 26 Resumen del sistema Actual de Alcantarillado del Acueducto	2-1-51
Tabla-2.1- 27 Población Proyectada (unidades: personas)	2-1-51

Tabla-2.1- 28 Volumen Promedio de Agua Residual (m ³ /s)	2-1-51
Tabla-2.1- 29 Resumen del Proyecto del Sistema de Alcantarillado y sus progresos	2-1-54
Tabla-2.1- 30 Método de Monitoreo de la CAR	2-1-56
Tabla-2.1- 31 Resultados del Estudio Piloto	2-1-60
Tabla-2.1- 32 Pozos de Monitoreo con Registradores Automáticos	2-1-62
Tabla-2.2- 1 Agencias que Lideran y Coordinan Temas Relacionados con Prevención y Atención de Desastres	2-2-1
Tabla-2.2- 2 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- 3 Daños Esperados	2-2-4
Tabla-2.2- 4 Área de Estudio	2-2-8
Tabla-2.2- 5 Estudio por medio de Entrevistas	2-2-9
Tabla-2.2- 6 Contenidos del Cuestionario.....	2-2-10
Tabla-2.2- 7 Resultados del Estudio Social	2-2-11
Tabla-2.2- 8 Organizaciones Encargadas de la Concesión de Derechos del Agua para Captación por parte del Acueducto	2-2-12
Tabla-2.2- 9 Concesión Otorgada al Acueducto para Abastecimiento de Agua	2-2-13
Tabla-2.2- 10 Concesión del Derecho al Uso de Agua por Sistema	2-2-13
Tabla-2.3-1 Criterios para Establecer el Coeficiente de Evaporímetro	2-3-23
Tabla-2.3-2 Valores de FC propuestos por el libro guía de la FAO	2-3-23
Tabla-2.3-3 Valores de Punto de Marchitamiento Propuesto por el Libro Guía de La FAO	2-3-24
Tabla-2.3-4 Valores de Kc Propuestos	2-3-24
Tabla-2.3-5 Resultados y Datos Ingresados para la Estimación de la Evapotranspiración	2-3-25
Tabla-2.3-6 Resumen de la Estimación de Recarga Subterránea en la Cuenca del Río Bogotá.....	2-3-26
Tabla-2.3-7 Diseño del Modelo de Simulación de Agua Subterránea	2-3-27
Tabla-2.3-8 Ubicación de los Pozos Exploratorios.....	2-3-30
Tabla-2.3-9 Resultados de la Perforación Exploratoria del Cretáceo	2-3-36
Tabla-2.3-10 Condiciones Geológicas del Pozo	2-3-40
Tabla-2.3-11 Calidad del Agua en el Pozo EX-6 Ciudad Bolívar.....	2-3-41
Tabla-2.3-12 Calidad del Agua en el Pozo EX-3 Usme Cervecería Alemana	2-3-42
Tabla-2.4-1 Proyecto de Desarrollo de Recursos Hídricos en P/M en 1995.....	2-4-2
Tabla-2.4-2 Proyectos Propuestos en el P/M Revisado (2005).....	2-4-2
Tabla-2.4-3 Estrategia Básica y Diseño Durante 2005-2020	2-4-3
Tabla-2.4-4 Optimización del Sistema de Abastecimiento de Agua.....	2-4-3
Tabla-2.4-5 Expansión del Sistema de Abastecimiento de Agua.....	2-4-4
Tabla-2.4-6 Derechos de Concesión de Agua y Capacidad de Producción de Agua del Acueducto (2007)	2-4-4
Tabla-2.4-7 Situación Actual del Control de Calidad del Agua	2-4-8
Tabla-2.4-8 Medidas Para el Abastecimiento de Agua en caso de Emergencia.....	2-4-10
Tabla-2.5- 1 Abastecimiento de Agua de Emergencia	2-5-4
Tabla-2.5- 2 Fuentes Alternativas de Agua en Caso de Interrupción de la Conducción de Agua en Chingaza (1)	2-5-5
Tabla-2.5- 2 Fuentes Alternativas de Agua en caso de Interrupción de la Conducción de Agua en	

Chingaza (2)	2-5-6
Tabla-2.5- 3 Evaluación del Plan de Abastecimiento en Caso de Emergencia.....	2-5-6
Tabla-2.5- 4 Demanda de Agua Subterránea en Caso de Emergencia.....	2-5-7
Tabla-2.5- 5 Pozos Propuestos (1)	2-5-9
Tabla-2.5- 5 Pozos Propuestos (2)	2-5-10
Tabla-2.5- 6 Condiciones Básicas y Criterios De Selección De La Ubicación De Los Pozos	2-5-11
Tabla-2.5- 7 Ubicación de Posibles Pozos Dentro del Área de Protección Forestal	2-5-14
Tabla-2.5- 8 Alternativas para la Ubicación de los pozos.....	2-5-16
Tabla-2.5- 9 Relación Entre el Número de Pozos y La Producción Total de los Pozos	2-5-17
Tabla-2.5- 10 Producción Necesaria de Los Pozos de Emergencia	2-5-17
Tabla-2.5- 11 Alternativas de producción de los pozos	2-5-17
Tabla-2.5- 12 Cronograma de Bombeo de los Pozos para la Simulación.....	2-5-18
Tabla-2.5- 13 Criterios para Juzgar la Influencia del Bombeo en los Pozos Planeados	2-5-23
Tabla-2.5- 14 Alternativas para el Sistema de Tratamiento de Aguas Subterránea	2-5-24
Tabla-2.5- 15 Calidades Deseadas de Agua Cruda y Agua Tratada (Alternativas A-1 y B-1).....	2-5-25
Tabla-2.5- 16 Calidades Deseadas de Agua Cruda y Tratada (Alternativa A-2).....	2-5-25
Tabla-2.5- 17 Calidades Deseadas de Agua Cruda y Agua Tratada (Alternativa A-3)	2-5-26
Tabla-2.5- 18 Criterios para Establecer el Sistema de Tratamiento de Lodos	2-5-27
Tabla-2.5- 19 Áreas de Instalación para Tratamiento de Agua y Lodos (Alternativas A-3).....	2-5-28
Tabla-2.5- 20 Sistema de Tratamiento de Agua y Lodos Propuesto a ser Aplicado en este Estudio	2-5-29
Tabla-2.5- 21 Tasa de Producción Óptima de los Pozos.....	2-5-34
Tabla-2.5- 22 Valores Típicos del Coeficiente de Compresibilidad del Volumen (mv).....	2-5-35
Tabla-2.5- 23 Subsistencia del Terreno después de un Largo Periodo de Bombeo.....	2-5-38
Tabla-2.5- 24 Cantidad de Subsistencia del Terreno	2-5-39
Tabla-2.5- 25 Instalaciones de Tratamiento de Agua Alternativas.....	2-5-40
Tabla-2.5- 26 Diferencias entre las Alternativas.....	2-5-40
Tabla-2.5- 27 Monitoreo para Inspeccionar la Influencia del Bombeo sobre el Ambiente Natural .	2-5-43
Tabla-2.5- 28 Monitoreo para inspeccionar el Impacto Ambiental causado por el bombeo.....	2-5-43
Tabla-2.5- 29 Procedimiento Para El Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia	2-5-44
Tabla-2.5- 30 Trabajos Operativos para el Abastecimiento de Agua de Emergencia Mediante Aguas Subterráneas.....	2-5-46
Tabla-2.5- 31 Personal Para El Abastecimiento De Agua De Emergencia Mediante Agua Subterránea	2-5-47
Tabla-2.5- 32 Trabajos Operativos para el Abastecimiento Regular de Agua Mediante Agua Subterránea	2-5-48
Tabla-2.5- 33 Organización para el Manejo del Abastecimiento de Agua por Medio de Agua Subterránea	2-5-49
Tabla-2.5- 34 P/ M para el Abastecimiento de Agua de Emergencia por medio de Agua Subterránea	2-5-49
Tabla-2.5- 35 Pre-Condiciones para la Formulación del Cronograma del Proyecto	2-5-50
Tabla-2.5- 36 Cronograma de Implementación del Proyecto	2-5-50
Tabla-2.5- 37 Capacidad Estándar de los Pozos	2-5-51
Tabla-2.5- 38 Composición de las Unidades de Abastecimiento de Emergencia (1)	2-5-52
Tabla-2.5- 38 Composición de las Unidades de Abastecimiento de Emergencia (2)	2-5-53
Tabla-2.5- 39 Diseño de las Instalaciones (1).....	2-5-60
Tabla-2.5- 39 Diseño de las Instalaciones (2).....	2-5-61
Tabla-2.5- 40 Estimación Aproximada de Costos (unidades: Col\$ millones).....	2-5-62

Tabla-2.5- 41 Evaluación de los Costos del Proyecto.....	2-5-63
Tabla-2.5- 42 Condiciones Ambientales y Sociales Actuales Dentro y Alrededor del Área del Proyecto	2-5-64
Tabla-2.5- 43 Lista de Ítems a Revisar (1).....	2-5-67
Tabla-2.5- 43 Lista de Ítems a Revisar (2).....	2-5-68
Tabla-2.5- 44 Producción Planeada	2-5-71
Tabla-2.5- 45 Plan de Expansión de Abastecimiento de Agua	2-5-72
Tabla-2.5- 46 Informe de Pérdidas y Ganancias (millones Col\$).....	2-5-73
Tabla-2.5- 47 Balance Contable (miles de millones Col\$)	2-5-74
Tabla-2.5- 48 Proyección de Flujo de Caja (Col\$ miles de millones)	2-5-75
Tabla-2.5- 49 Costo Anual del Desarrollo (Col\$ millones)	2-5-75
Tabla-2.5- 50 Pago de la Deuda (Col\$ millones).....	2-5-76
Tabla-2.5- 51 Habilidad para Pagar (Col\$ millones)	2-5-76
Tabla-2.5- 52 Proyecciones de Ganancias y Perdidas (miles de millones Col\$).....	2-5-76
Tabla-2.5- 53 Población Posiblemente Servida	2-5-77
Tabla-3.1-1 Prioridad de los Proyectos Propuestos en el Plan Maestro.....	3-1-1
Tabla -3.3-1 Perfil de las Instalaciones para el Proyecto Piloto.....	3-3-3
Tabla -3.3-2 Composición y Punto de Conexión para la Unidad de Abastecimiento de Emergencia (Proyecto Piloto).....	3-3-3
Tabla -3.3-3 Nombre del Pozo para Cada Unidad de Abastecimiento de Agua	3-3-4
Tabla -3.3-4 Perfil del Proyecto Oriental	3-3-13
Tabla -3.3-5 Pozos Proyecto Oriental	3-3-14
Tabla -3.3-6 Composición y Punto de Conexión para la Unidad de Abastecimiento de Emergencia (Proyecto Primer Periodo)	3-3-18
Tabla -3.3-7 Perfil del Proyecto Sur	3-3-23
Tabla -3.3-8 Lista de Pozos en el Proyecto Sur	3-3-25
Tabla -3.3-9 Pozos en Usme	3-3-26
Tabla -3.3-10 Composición y Punto de Conexión para la Unidad de Abastecimiento de Emergencia (Proyecto Segundo Periodo).....	3-3-27
Tabla -3.3-11 Perfil del Proyecto Yerbabuena	3-3-28
Tabla -3.3-12 Ubicación de los Pozos en Yerbabuena	3-3-30
Tabla -3.3-13 Composición y Punto de Conexión para la Unidad de Abastecimiento de Emergencia (Proyecto Tercer Periodo).....	3-3-32
Tabla -3.3-14 Métodos de Tratamiento de Agua.....	3-3-36
Tabla -3.3-15 Cantidad de Recarga para los Pozos Propuestos	3-3-43
Tabla -3.3-16 Subsistencia del Terreno en el Cuaternario	3-3-46
Tabla -3.3-17 Subsistencia del Terreno en el Terciario y el Cretáceo.....	3-3-47
Tabla -3.3-18 Subsistencia Total del Terreno.....	3-3-47
Tabla -3.3-19 Procedimiento para el Abastecimiento de Agua Subterránea en Caso de Emergencia	3-3-49
Tabla -3.3-20 Personal para el Abastecimiento de Agua de Emergencia por Agua Subterránea.....	3-3-50
Tabla -3.3-21 Organización para el Manejo del Abastecimiento de Agua por medio de Agua Subterránea	3-3-53
Tabla -3.3-22 Consumo Unitario de Agua en Emergencia	3-3-55
Tabla -3.3-23 Proyectos Prioritarios Propuestos en el Plan Maestro	3-3-58

Tabla -3.3-24 Condiciones Ambientales y Sociales Dentro y Alrededor de los Lugares del Proyecto	3-3-59
Tabla -3.3-25 Resultados de la Revisar.....	3-3-63
Tabla -3.3-26 Resultados después de Cumplir con los Requisitos del Gobierno Colombiano.....	3-3-66
Tabla -3.3-27 Precio Estimado del Proyecto.....	3-3-70
Tabla-3.3-28 Precios Unitarios para la Fase-I (Proyecto Oriental).....	3-3-71
Tabla-3.3-29 Precios Unitarios para la Fase-II (Proyecto Sur).....	3-3-72
Tabla-3.3-30 Precios Unitarios para la Fase-III (Proyecto Yerbabuena)	3-3-73
Tabla-3.3-31 Sistema de Operación de los Pozos	3-3-74
Tabla -3.3-32 Costos de Operación y Mantenimiento (Costo Estandarizado).....	3-3-74
Tabla -3.3-33 Costos de Operación y Mantenimiento en Mosquera (Costos Reales)	3-3-75
Tabla-3.3-34 Comparación del Precio del Agua por Unidad para Suministro de Agua en Emergencia (Col\$/m ³)	3-3-75
Tabla -3.3-35 Cronograma de Construcción Proyecto Piloto	3-3-76
Tabla -3.3-36 Cronograma de Construcción Proyecto Oriental.....	3-3-77
Tabla -3.3-37 Cronograma de Construcción Proyecto Sur	3-3-78
Tabla -3.3-38 Cronograma de Construcción Proyecto Yerbabuena	3-3-78
Tabla -3.3-39 Costo Anual de Desarrollo (Millones Col \$).....	3-3-79
Tabla -3.3-40 Plan de Expansión de Abastecimiento de Agua del Acueducto	3-3-80
Tabla -3.3-41 Estado De Pérdidas y Ganancias (millones Col \$).....	3-3-81
Tabla -3.3-42 Hoja de Balance (mil millones Col \$).....	3-3-82
Tabla -3.3-43 Proyección del Flujo de Caja (mil millones Col \$).....	3-3-82
Tabla -3.3-44 Pago de Deudas (millones Col \$).....	3-3-83
Tabla -3.3-45 Capacidad de Pago (millones Col \$)	3-3-83
Tabla -3.3-46 Proyección de Pérdidas y Ganancias (mil millones Col \$)	3-3-83
Tabla -3.3-47 Población Posiblemente Servida	3-3-84

Lista de Figuras

Figura-1.2-1 Composición de las Instalaciones de Transmisión y Distribución para Agua Subterránea	1-2-10
Figura-1.2-2 Operación de Abastecimiento de Agua de Emergencia Mediante Agua Subterránea..	1-2-11
Figura-2.1- 1 Tarifa de Agua Subterránea en Bogotá D.C.....	2-1-6
Figura-2.1- 2 Gerencias de Zonas del Acueducto	2-1-9
Figura-2.1- 3 Organigrama del Acueducto	2-1-10
Figura-2.1- 4 Organigrama del MAVDT	2-1-13
Figura-2.1- 5 Organigrama de la CAR.....	2-1-13
Figura-2.1- 6 Organigrama de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA).....	2-1-14
Figura-2.1- 7 Variación mensual de la Precipitación en la Cuenca del Río Bogotá	2-1-15
Figura-2.1- 8 Temperatura Promedio Mensual en la Cuenca del Río Bogotá	2-1-16
Figura-2.1- 9 Comparación de Patrones de Precipitación entre la Cuenca del Río Bogotá y toda Colombia	2-1-17
Figura-2.1- 10 Variación Mensual de la Evaporación en una Estación Representativa de Guaymaral, ubicada en la mitad de la Cuenca del Río Bogotá	2-1-17
Figura-2.1- 11 Características Geográficas de la Sabana de Bogotá (de acuerdo con Misión topográfica Radar Shuttle MTRS)	2-1-18
Figura-2.1- 12 Mapa Geológico del Área de Estudio	2-1-20
Figura-2.1- 13 Ubicación del Departamento.....	2-1-21
Figura-2.1- 14 Topografía de Colombia de Cundinamarca	2-1-21
Figura-2.1- 15 Ubicación y Topografía de la Cuenca del Río Bogotá.....	2-1-21
Figura-2.1- 16 Subdivisiones distinguidas de la Cuenca del Río Bogotá basadas en datos DEM ...	2-1-22
Figura-2.1- 17 Divisiones Redefinidas de la Cuenca del Río Bogotá	2-1-22
Figura-2.1- 18 Distribución de la Probabilidad de Descarga del Río en la Estación Las Huertas....	2-1-23
Figura-2.1- 19 Variación Mensual Promedio de la Descarga para 37 ríos en la Cuenca del Río Bogotá	2-1-23
Figura-2.1- 20 Ejemplo de la Variación en la Descarga Mensual en la Cuenca de Turpan	2-1-24
Figura-2.1- 21 Ubicación de las Estaciones de Observación.....	2-1-26
Figura-2.1- 22 Distribución de la Precipitación en la Cuenca del Río Bogotá (unidades: mm/año)	2-1-27
Figura-2.1- 23 Distribución de la Precipitación por Subcuenca en la Cuenca del Río Bogotá	2-1-27
Figura-2.1- 24 Ubicación de las Estaciones de Medición.....	2-1-28
Figura-2.1- 25 Ejemplo de Análisis de Descarga de Río	2-1-30
Figura-2.1- 26 Ubicación de la Estación de Medición 2120946 y la Estación Climatológica 2120112 y las cuencas relevantes del río.....	2-1-31
Figura-2.1- 27 Correlación de datos de Descarga y Precipitación en las dos estaciones.....	2-1-31
Figura-2.1- 28 Resultado del Análisis de Escorrentía por el Modelo de Tanque.....	2-1-32
Figura-2.1- 29 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅) en el Río Bogotá.....	2-1-32
Figura-2.1- 30 Sitios de Muestreo.....	2-1-36
Figura-2.1- 31 Sistema de Flujo Global de las instalaciones de Abastecimiento de Agua en Bogotá	2-1-41
Figura-2.1- 32 Mapa Conceptual del Sistema de Abastecimiento para Bogotá D.C. y sus Municipios Cercanos	2-1-42
Figura-2.1- 33 Mapa Conceptual del Sistema de Conducción de Agua en el Sistema de Abastecimiento	

de Bogotá.....	2-1-42
Figura-2.1- 34 Formación Conceptual del Sistema de Transmisión de Agua y Sistemas de Agua y Sistemas de Distribución en Bogotá.....	2-1-45
Figura-2.1- 35 Flujo Completo del Sistema de Transmisión y Distribución de Agua en Bogotá D.C	2-1-46
Figura-2.1- 36 Imagen del Cuarto Central de Control en el Centro de Control	2-1-47
Figura-2.1- 37 Vista General de La Planta de Tratamiento El Salitre.....	2-1-52
Figura-2.1- 38 Flujo de Tratamiento de La PTAR El Salitre	2-1-52
Figura-2.1- 39 Descripción de los Proyectos de Infraestructura de Aguas Residuales.....	2-1-53
Figura-2.1- 40 Fugas de Agua del Embalse de San Rafael.....	2-1-61
Figura-2.1- 41 Recarga de Agua Subterránea desde el Embalse de San Rafael (Promedio Mensual en m ³ /s).....	2-1-61
Figura-2.1- 42 Lugares de Monitoreo.....	2-1-63
Figura-2.1- 43 Monitoreo en Guadarrama	2-1-64
Figura-2.1- 44 Monitoreo en la Diana	2-1-64
Figura-2.1- 45 Monitoreo en Sopo.....	2-1-65
Figura-2.2- 1 Concepto de Posibles Emergencias	2-2-2
Figura-2.2- 2 Epicentros del Terremoto	2-2-3
Figura-2.2- 3 Esquema Organizacional para Cooperación con la Comunidad.....	2-2-6
Figura-2.3- 1 Mapa de Ubicación de los Reservorios Existentes	2-3-2
Figura-2.3-2 Plan de Expansión para Abastecimiento de Agua del Acueducto y Ubicación de Los Proyectos	2-3-3
Figura-2.3- 3 Áreas de Captación Dentro del Proyecto de Expansión en el Oriente y el Área de Captación de la Estación de Medición	2-3-4
Figura-2.3-4 Área de Captación Dentro del Proyecto de Expansión en el Sur.....	2-3-5
Figura-2.3-5 Relación Entre la Descarga Específica y la Altitud	2-3-5
Figura-2.3-6 Relación Entre la Topografía y la Distribución de los Acuíferos	2-3-6
Figura-2.3-7 Estructura Hidrogeológica del Área de Estudio.....	2-3-7
Figura-2.3-8 Exploración Electromagnética Tiempo-Dominio	2-3-8
Figura-2.3-9 Puntos del Muestreo TEM y Resultados Analizados en los Cerros Orientales	2-3-9
Figura-2.3-10 Puntos del Muestreo TEM y Resultados Analizados en el Sur de los Cerros Orientales (cerca de Usme).....	2-3-10
Figura-2.3-11 Puntos del Muestreo TEM y Resultados Analizados en los Cerros Sur (Cerca a Usme)	2-3-11
Figura-2.3-12 Resultados del Muestreo TEM en el Punto No. 6.....	2-3-12
Figura-2.3-13 Interpretación del Resultado TEM (Cerros Orientales)	2-3-14
Figura-2.3-14 Interpretación del Resultado TEM (Usme).....	2-3-15
Figura-2.3-15 (1) Interpretación del Resultado TEM (Cerros Sur) (1).....	2-3-16
Figura-2.3-15 (2) Interpretación del Resultado TEM (Cerros Sur) (2).....	2-3-17
Figura-2.3-16 Concepto Básico del Flujo de Agua en un Sistema Subterráneo.....	2-3-18
Figura-2.3-17 Sistema de Flujo de Agua Subterránea en la Cuenca del Río Bogotá y su Área Circundante.....	2-3-19
Figura-2.3-18 Esquema de la Medición de Recarga Subterránea Utilizando un Lisímetro.....	2-3-19
Figura-2.3-19 Ejemplo de Datos No-correlacionados de Precipitación y Descarga.....	2-3-20
Figura-2.3-20 Ejemplo de Datos Correlacionados de Precipitación y Descarga.....	2-3-20

Figura-2.3-21 Resultado de la Simulación por el Modelo de Tanque.....	2-3-21
Figura-2.3-22 Concepto de un Análisis Hidrográfico.....	2-3-21
Figura-2.3-23 Procedimiento del Método de la FAO para Estimar la Evapotranspiración.....	2-3-22
Figura-2.3-24 Distribución de la Evapotranspiración en la Cuenca del Río Bogotá.....	2-3-25
Figura-2.3-25 Cuadrícula Modelo y Condiciones Límite en la Capa 1.....	2-3-28
Figura-2.3-26 Distribución de la Recarga (mm/año).....	2-3-28
Figura-2.3-27 Ubicación de los Pozos Existentes.....	2-3-29
Figura-2.3-28 Distribución de Cabezas Hidráulicas Después de la Calibración del Modelo Bajo Condiciones de Estado Permanente.....	2-3-30
Figura-2.3-29 Ubicación de Los Pozos Exploratorios.....	2-3-31
Figura-2.3-30 Estructura del Pozo EX-2 (a).....	2-3-33
Figura-2.3-30 Estructura del Pozo EX-3 (b).....	2-3-34
Figura-2.3-30 Estructura del Pozo EX-4 (c).....	2-3-35
Figura-2.3-31 Columna Geológica del Pozo EX-2 (a).....	2-3-37
Figura-2.3-31 Columna Geológica del Pozo EX-3 (b).....	2-3-38
Figura-2.3-31 Columna Geológica del Pozo EX-4 (c).....	2-3-39
Figura-2.3-32 Estructura Geológica del Sitio EX-3.....	2-3-41
Figura-2.3-33 Localización de Pozos Recomendados.....	2-3-41
Figura-2.3-34 Estructura de los Pozos de Observación.....	2-3-43
Figura-2.4-1 Consumos Real de Agua y Demanda Estimada.....	2-4-1
Figura-2.4-2 Consumo Unitario de Agua para uso Doméstico y su Predicción.....	2-4-1
Figura-2.4-3 Demanda y Abastecimiento de Agua.....	2-4-5
Figura-2.4-4 Cantidad y Costos de los Proyectos (todos).....	2-4-6
Figura-2.4-5 Cantidad y Costos del Desarrollo Hídrico (Optimización y Expansión).....	2-4-6
Figura-2.4-6 Eficacia Económica de los Proyectos.....	2-4-7
Figura-2.5- 1 Medidas Exhaustivas para el Abastecimiento de Agua en caso de Emergencia Sísmica	2-5-3
Figura-2.5- 2 Fuentes de Agua en Condiciones Normales de Abastecimiento y de Emergencia.....	2-5-5
Figura-2.5- 3 Ubicación de los Pozos.....	2-5-8
Figura-2.5- 4 Área de Protección Forestal y Área Densamente Urbanizada.....	2-5-12
Figura-2.5- 5 Ubicación de los Pozos Propuestos.....	2-5-13
Figura-2.5- 6 Criterio para Perforar en los Cerros Orientales.....	2-5-13
Figura-2.5- 7 Ubicación de Posibles Pozos dentro del Área de Protección Forestal.....	2-5-15
Figura-2.5- 8 Alternativas para la Ubicación de los pozos.....	2-5-16
Figura-2.5- 9 Distribución en el Modelo de los Pozos Planeados.....	2-5-19
Figura-2.5- 10 Ubicación de los Pozos de Observación.....	2-5-20
Figura-2.5- 11 Relación Reducción Nivel Freático-Tiempo de Bombeo en el Acuífero Cretáceo... ..	2-5-20
Figura-2.5- 12 Relación Entre la Reducción del Nivel Freático y la Tasa De Bombeo en el Acuífero Cretáceo.....	2-5-21
Figura-2.5- 13 Recuperación de la Cabeza con Tiempo Después del fin del Bombeo.....	2-5-21
Figura-2.5- 14 Reducción de los Niveles Freáticos en las Capas del Sedimento Cuaternario.....	2-5-22
Figura-2.5- 15 Sistema de Tratamiento de Agua para la Alternativa A-1 y B-1.....	2-5-25
Figura-2.5- 16 Sistema de Tratamiento de Agua para la Alternativa A-2.....	2-5-26
Figura-2.5- 17 Sistema de Tratamiento de Agua para la Alternativa A-3.....	2-5-26
Figura-2.5- 18 Sistema de Tratamiento de Lodos para la Alternativa A-3.....	2-5-27

Figura-2.5- 19 Diseño Típico de una Planta de Tratamiento de Agua Subterránea (para la Alternativa A-3).....	2-5-28
Figura-2.5- 20 Composición de las Instalaciones de Conducción y Distribución de Agua para la Utilización de Agua Subterránea en Caso de Emergencia.....	2-5-29
Figura-2.5- 21 Composición de las Instalaciones de Conducción y Distribución de Agua para Uso de Agua Subterránea	2-5-30
Figura-2.5- 22 Diagrama de Flujo del Uso de Aguas Subterráneas en Caso de Emergencia en todo Bogotá (2020)	2-5-31
Figura-2.5- 23 Interferencia entre Pozos.....	2-5-32
Figura-2.5- 24 Interferencia entre 5 Pozos.....	2-5-32
Figura-2.5- 25 Ubicación de los Pozos	2-5-33
Figura-2.5- 26 Presión de Agua en los Poros del Acuífero.....	2-5-35
Figura-2.5- 27 Mecanismo de Subsistencia del Terreno.....	2-5-36
Figura-2.5- 28 Modelo de Consolidación	2-5-37
Figura-2.5- 29 Modelo de Consolidación de Capas Aluviales.....	2-5-37
Figura-2.5- 30 Sitio para el Proyecto Piloto	2-5-40
Figura-2.5- 31 Sistema de Tratamiento de Agua (Alternativa tipo-A)	2-5-41
Figura-2.5- 32 Sistema de Tratamiento de Agua (Alternativa tipo-B).....	2-5-41
Figura-2.5- 33 Operación de Abastecimiento de Agua Subterránea en Caso de Emergencia	2-5-45
Figura-2.5- 34 Composición de las Instalaciones de Emergencia	2-5-51
Figura-2.5- 35 Distribución de las Unidades de Abastecimiento de Agua de Emergencia.....	2-5-54
Figura-2.5- 36 Unidades de Abastecimiento de Agua de Emergencia (1)	2-5-55
Figura-2.5- 36 Unidades de Abastecimiento de Agua de Emergencia (2)	2-5-56
Figura-2.5- 36 Unidades de Abastecimiento de Agua de Emergencia (3)	2-5-57
Figura-2.5- 36 Unidades de Abastecimiento de Agua de Emergencia (4)	2-5-58
Figura-2.5- 36 Unidades de Abastecimiento de Agua de Emergencia (5)	2-5-59
Figura-2.5- 36 Unidades de Abastecimiento de Agua de Emergencia (6)	2-5-60
Figura-2.5- 37 Costos del Proyecto.....	2-5-62
Figura-2.5- 38 Mapa de Ubicación del Proyecto	2-5-65
Figura-2.5- 39 Zona de los Cerros Sur.....	2-5-66
Figura-2.5- 40 Zona de los Cerros Sur.....	2-5-66
Figura-2.5- 41 Área de los Cerros Orientales	2-5-66
Figura-2.5- 42 Zona de los Cerros Orientales.....	2-5-66
Figura-2.5- 43 Zona urbana de los Cerros Orientales: E-11	2-5-66
Figura-2.5- 44 Zona Norte de los Cerros Orientales: E-40.....	2-5-66
Figura-2.5- 45 Desarrollo de Agua y Costo por m ³ /s.....	2-5-72
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 Perfil Planeado Unidad PP-1	3-3-4
Figura-3.3-3 Perfil Planeado Unidad PP-2	3-3-5
Figura-3.3-4 Perfil Planeado Unidad PP-3	3-3-5
Figura-3.3-5 Perfil Planeado Unidad PP-4	3-3-6
Figura-3.3-6 Perfil Planeado Unidad PP-5	3-3-6
Figura-3.3-7 Perfil Planeado Unidad PP-6	3-3-7
Figura-3.3-8 Perfil Planeado Unidad PP-7	3-3-7

Figura-3.3-9 Diagrama Detallado para el Proyecto Piloto en Vitelma (del Pozo).....	3-3-8
Figura-3.3-10 Diagrama Detallado para el Proyecto Piloto en Vitelma (Tubería de Conducción) ..	3-3-8
Figura-3.3-11 Diagrama Detallado para el Proyecto Piloto en Vitelma (Lugar Pozo)	3-3-9
Figura-3.3-12 Plan para la Planta de Tratamiento Vitelma	3-3-9
Figura-3.3-13 Diagrama Detallado para el Proyecto Piloto en la Salle (Mapa Topográfico).....	3-3-10
Figura-3.3-14 Diagrama Detallado para el Proyecto Piloto en la Salle (Plano y Sección).....	3-3-10
Figura-3.3-15 Diagrama Detallado para el Proyecto Piloto en la Salle (Sección Topográfica)	3-3-11
Figura-3.3-16 Plano y Sección de la Casa de Operación y Mantenimiento en la Salle (1)	3-3-11
Figura-3.3-17 Plano y Sección de la Casa de Operación y Mantenimiento en la Salle (2)	3-3-12
Figura-3.3-18 Plano y Sección de la Casa de Operación y Mantenimiento en la Salle (3)	3-3-12
Figura-3.3-19 Ubicación Óptima de los Pozos	3-3-15
Figura-3.3-20 Pozos y Falla de Bogota.....	3-3-15
Figura-3.3-21 Ubicación de los Pozos Proyecto Oriental Fuera del Area de Protección Forestal ...	3-3-16
Figura-3.3-22 Relación entre Altitud de los Pozos y el Acuífero en los Cerros Orientales.....	3-3-17
Figura-3.3-23 Perfil Planeado Unidad 1-01	3-3-19
Figura-3.3-24 Perfil Planeado Unidad 1-02	3-3-19
Figura-3.3-25 Perfil Planeado Unidad 1-03	3-3-20
Figura-3.3-26 Perfil Planeado Unidad 1-04	3-3-20
Figura-3.3-27 Perfil Planeado Unidad 1-05 y 1-06.....	3-3-21
Figura-3.3-28 Perfil Planeado Unidad 1-07	3-3-21
Figura-3.3-29 Perfil Planeado Unidad 1-08, 1-09 y 1-10	3-3-22
Figura-3.3-30 Perfil Planeado Unidad 1-11	3-3-22
Figura-3.3-31 Perfil Planeado Unidad 1-12	3-3-23
Figura-3.3-32 Ubicación de los Pozos en los Cerros Sur	3-3-24
Figura-3.3-33 Estructura Hidrogeológica y Ubicación del Pozo en Usme.....	3-3-25
Figura-3.3-34 Perfil Planeado Unidad 2-01	3-3-27
Figura-3.3-35 Perfil Planeado Unidad 2-02 y 2-03.....	3-3-28
Figura-3.3-36 Distribución de Agua en el Proyecto Yerbabuena.....	3-3-29
Figura-3.3-37 Ubicación de los Pozos del Proyecto Yerbabuena	3-3-31
Figura-3.3-38 Hidrogeología y Pozos en Yerbabuena	3-3-32
Figura-3.3-39 Perfil Planeado Unidad 3-01	3-3-33
Figura-3.3-40 Perfil Planeado Unidad 3-02	3-3-33
Figura-3.3-41 Composición de las Instalaciones de Abastecimiento de Agua Subterránea	3-3-37
Figura-3.3-42 Ubicación de los Pozos Planeados en el Proyecto Oriental	3-3-38
Figura-3.3-43 Ubicación de los Pozos de Observación	3-3-39
Figura-3.3-44 Sección Geológica del Modelo	3-3-39
Figura-3.3-45 Tipo de Flujo y Especificaciones del Periodo en el Modelo de Simulación.....	3-3-39
Figura-3.3-46 Curvas de Cambio en el Nivel Freático de los Pozos Temporales de Observación...	3-3-40
Figura-3.3-47 Curvas de Cambio del Nivel Freático de los Pozos Temporales de Observación para Cada Proyecto	3-3-41
Figura-3.3-48 Área Afectada por el Proyecto Oriental	3-3-42
Figura-3.3-49 Resultado de La Identificación del Área de Recarga.....	3-3-43
Figura-3.3-50 Modelo de Subsistencia del Terreno.....	3-3-44
Figura-3.3-51 Simulación del Abatimiento del Nivel Freático.....	3-3-45
Figura-3.3-52 Abatimiento del Nivel Freático Modificado	3-3-45
Figura-3.3-53 Abatimiento del Nivel Freático Simplificado	3-3-46
Figura-3.3-54 Abatimiento del Nivel Freático en el Cuaternario	3-3-46

Figura-3.3-55 Flujo de Agua Subterránea en la Excavación y Subsistencia Resultante	3-3-48
Figura-3.3-56 Organización y Funciones del Comité para la Prevención de Desastres y Atención de Emergencias.....	3-3-52
Figura-3.3-57 Rehabilitación del Sistema de Abastecimiento de Agua.....	3-3-54
Figura-3.3-58 Número de Carrotaques	3-3-55
Figura-3.3-59 Camión Adaptado con Tanque de Agua.....	3-3-56
Figura-3.3-60 Tanque Plástico Ligero para Camiones.....	3-3-56
Figura-3.3-61 Número de Personas en Refugios	3-3-57
Figura-3.3-62 Posibles Lugares de Ubicación del Proyecto Pilote.....	3-3-60
Figura-3.3-63 Ubicación de los Lugares del Proyecto del 1 ^{er} – 3 ^{er} Periodo	3-3-60
Figura-3.3-64 Imágenes de los Lugares para los Proyectos.....	3-3-61
Figura-3.3-65 Cronograma de Construcción para el Proyecto Piloto.....	3-3-76
Figura-3.3-66 Cronograma de Implementación para el Proyecto Oriental.....	3-3-77
Figura-3.3-67 Cronograma de Implementación para el Proyecto Sur	3-3-77
Figura-3.3-68 Cronograma de Implementación para el Proyecto Yerbabuena.....	3-3-78

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

Abreviación	Español	Inglés	Japonés
GOBERNACION DE CUNDINAMARCA	Gobernación de Cundinamarca	Cundinamarca Government	クンデイナマルカ県庁
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
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	Coefficiente 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

Abreviación	Español	Inglés	Japonés
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 Público	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
WHO	Organización Mundial de la Salud	World Health Organization	世界保健機構
WMO	Organización Metereológica 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 conducción 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 el Túnel de Conducción 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 de 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 óptima.

(7) Plan y Costo del Proyecto

El proyecto total consta de tres proyectos que se enuncian en la Tabla-3. La cantidad total de 1.44 m³/s será bombeada desde los sesenta y dos pozos. El propósito del desarrollo de agua subterránea es suministro de agua en emergencia y este suministro es solo para casos de emergencia, periodo el cual será menor a 9 meses.

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

Proyecto		No. De Pozos	Desarrollo de Agua Subterránea (m ³ /s)	Costo del Proyecto (Col\$ Millón)
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

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.

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.

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.

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 para todos los proyectos, considerando que cada proyecto es importante para suministro de agua en emergencias.

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 carro tanques 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 número 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. 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.

4.4. Proyecto Piloto

El proyecto piloto ha evolucionado a un proceso elaborado por etapas que podrá disminuir los costos del estudio de factibilidad. Se debe tener en cuenta el manual de operación que involucra soluciones de tratamiento y operación móviles, basados en que la simultaneidad de los eventos catastróficos no ocurre en lugares previsible, sino aleatoriamente. Por consiguiente si utilizamos alternativas de escenarios darían costos menores y solo se necesitaría la materialización de los 64 pozos en diferentes tiempos.

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 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 cercana al 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 las estructuras hidráulicas y reforzamiento con las organizaciones relacionadas para coordinar procedimientos y preparar manuales. 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. En estas eventualidades es donde la asistencia técnica del Gobierno Japonés ha sido requerida.

(2) Objetivo del Estudio

La empresa que implementará este estudio es el Acueducto de Bogotá y el propósito del estudio es el siguiente:

- 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 en el Estudio de Factibilidad los proyectos de alta prioridad seleccionados en el Plan Maestro.

(3) Área de Estudio

Área de Estudio: Sabana de Bogotá, Cuenca del río Chingaza, Cuenca del Río Sumapaz (Bogotá D.C. y 10 ciudades vecinas)

Área: Alrededor de 4.305 Km².

Población del área de estudio: 7.600.000 (2005)

(4) Alcance del Estudio y Resultados

Este estudio será implementado en dos fases. Los resultados para cada fase se muestran en la Table-1.1-1.

Tabla-1.1- 1 Alcance del Estudio y Resultados

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) Fomento y comprensión del P/M (plan de abastecimiento de agua mediante agua subterránea) por la Contraparte Colombiana.

CAPÍTULO 2 RESUMEN DEL ESTUDIO

2.1 Resumen de la Organización y Operación del Estudio

2.1.1 Condiciones Generales del Área de Estudio

(1) Situación Actual del Área de Estudio

(a) Condiciones Socio-económicas

El censo poblacional del año 2005 contabilizó 7,6 millones de personas en el área de estudio con un incremento de 2,2 millones de personas con relación al censo de 1993. La tasa de crecimiento anual durante los dos censos fue de 2,9%, un poco menor a la tasa del 3,0% presentada durante el período de 1985 y 1993.

- La población de Bogotá D.C. para el censo del año 2005 se incrementó en 1,9 millones de personas con una tasa anual de crecimiento de 2,7% desde 1993.
- De acuerdo al censo del año 2005, la población de los 10 municipios del Departamento de Cundinamarca se incrementó en 0,4 millones con relación al censo de 1993. La tasa de crecimiento fue notoriamente mayor en Mosquera, Chía y Tocancipá.

(b) Instituciones para el Manejo de Recursos Hídricos

Manejo de Recursos Hídricos

El marco legal para el manejo de recursos hídricos esta suscrito en el Decreto 2811 de 1974, el Decreto 1541 de 1978 y el Artículo 23 de la Ley 99 de 1993. La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Naturales Nacionales (UAESPNN) otorgan las concesiones para el uso del agua en sus respectivas jurisdicciones. Actualmente, el Acueducto tiene una concesión total de 19,02 m³/s de agua, del cual produce 14,5 m³/s de agua potable.

Organización para el Abastecimiento de Agua

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (Acueducto) es una empresa pública sin capital privado, encargada de los servicios de abastecimiento de agua y alcantarillado en Bogotá D.C. El Acueducto también abastece 10 municipios cercanos (Cajicá, Sopó, Chía, Tocancipá, La Calera, Gachancipá, Soacha, Funza, Mosquera y Madrid) bajo contratos con cada municipio. El Acueducto registra 1.765 empleados en Noviembre del 2007.

(c) Condiciones Naturales

Clima

La cuenca del Río Bogotá tiene una precipitación anual promedio de 825 mm. La precipitación se distribuye uniformemente a través del año y muestra un patrón bimodal con picos entre Abril-Mayo y Octubre-Noviembre. Su clima de acuerdo al patrón de precipitación anual de Koeppen, se clasifica como Patrón (f). La frontera árida (evaporación anual) de la cuenca del río Bogotá se calculó en 406 mm.

Como ésta es menor a la mitad de su precipitación anual, la Cuenca se clasifica como Clima Húmedo (C), aún así la cuenca obtenga una precipitación pequeña en relación con el promedio anual de toda Colombia.

Hidrología

La Cuenca del Río Bogotá tiene un área de 4.396 km². La división convencional de la cuenca ha sido examinada y redefinida con base en los datos DEM. La cuenca fue finalmente dividida en 16 sub-cuencas. El volumen promedio anual de flujo del sistema de ríos en la parte terminal de la cuenca es de 1,07 x 10⁹ m³ y el Coeficiente de Variación se calcula entre 0,24 y 1,04. La descarga mensual del río es relativamente estable a lo largo del año.

Estos datos se ven afectados por las entregas de aguas residuales de la Ciudad, que puede decirse son del orden del 80% al 90% del consumo de la Ciudad, y el 70% de las aguas provenientes de la cuenca del río Guatiquía (Cuenca del Orinoco).

(2) Recursos Hídricos del Área de Estudio

(a) Agua Superficial

El agua superficial es el recurso más importante en la Cuenca del Río Bogotá y esta es utilizada en varios sectores. Debido a las características topográficas de la cuenca, todos los recursos hídricos se originan de la precipitación. Se encontró que la cantidad de precipitación tiene una relación estrecha con la elevación. La precipitación anual de la Cuenca del Río Bogotá es de 825 mm con una distribución menor en la sabana y una mayor en las montañas. Los valores de descarga específica para cada sub-cuenca fueron calculados usando los datos de las estaciones de medición y su distribución por sub-cuencas fue analizada en relación con la distribución de la precipitación.

(b) Agua Subterránea

El agua subterránea es una fuente de agua importante en la Cuenca del Río Bogotá. Su consumo en el año 2000 fue de 0,32 millones de m³/día (14% del volumen total de agua usada, 2,672 millones de m³/día). La principal fuente reconocida de recarga es la infiltración por precipitación. La CAR, el INGEOMINAS y el Equipo de Estudio JICA anterior (2003), estimaron la cantidad de recarga del acuífero por precipitación mediante el método del balance hídrico y reportaron valores de 36 mm/año, 8 mm/año y 145 mm/año respectivamente.

Existen diferencias significativas entre el resultado del Equipo de Estudio JICA (2003) y los presentados por la CAR y el INGEOMINAS. Esto se debe principalmente a dos razones: 1) el Equipo de Estudio JICA realizó la estimación con base en datos diarios, mientras que la CAR y el INGEOMINAS utilizaron datos de promedios mensuales, 2) el método para calcular la evapotranspiración potencial: el Equipo de Estudio JICA utilizó los datos observados en tanques evaporimétricos, mientras que la CAR e INGEOMINAS lo calcularon con métodos teóricos como el de Penman, etc.

Todos estos estudios utilizaron el método del balance hídrico para calcular los valores de recarga del acuífero. Los resultados muestran una amplia diferencia debido a las variaciones significativas entre los valores estimados de evapotranspiración. En el presente estudio se emplearon las guías de la FAO (“Evapotranspiración de Cultivos-Pautas para Calcular los requerimientos Hídricos del Cultivo”) para calcular la evapotranspiración. Los valores calculados en 15 puntos de observación dentro de la Sabana de Bogotá están en un rango entre 383 a 499 mm/año, con un promedio de 442 mm/año. El promedio de recarga del acuífero sobre toda la cuenca se calculó en 132 mm/año, después de examinar y revisar el resultado del estudio anterior (2003).

Otros métodos de estimación también fueron estudiados para tener una mejor comparación. Los resultados de los diferentes análisis sugieren lo siguiente: La recarga de agua subterránea por precipitación en la Cuenca del Río Bogotá es abundante y los valores estimados de recarga superiores a 100 mm/año se consideran realistas.

(c) Calidad del Agua

Calidad del Agua del Río Bogotá

Con relación a la contaminación del agua del río Bogotá, existen 3 áreas claramente delimitadas por sus características: La primera va desde el nacimiento del río hasta Villapinzón donde la calidad del agua es buena; la segunda es entre Villapinzón y Chocontá. En ésta área existen varias industrias pequeñas marroquinerías, cuyos desperdicios residuales son arrojados al río Bogotá sin ningún tipo de tratamiento contaminándolo inmensamente. La última área se refiere a la cuenca media del río Bogotá incluyendo el Área Metropolitana de Bogotá. Cuando el río pasa por el área urbana, la calidad del agua empeora dramáticamente. La contaminación del agua se produce por el agua residual del área urbana de Bogotá (residuos domésticos e industriales). Se ha confirmado, de acuerdo con los análisis de agua, la presencia de altos contenidos de material químico y metales pesados provenientes de la descarga del río Tunjuelo. La calidad del agua en Chingaza y la Cuenca del río Sumapaz es muy buena.

Calidad del Agua Subterránea en los Pozos Existentes

El acuífero Cuaternario presenta concentraciones altas de Turbiedad, NH_4 , H_2S , Ba y Coliformes. Desde el punto de vista de la contaminación del agua subterránea en zonas de actividad industrial no se detecta un impacto aparente en la calidad del agua como resultado de dicha actividad.

En el acuífero Cretáceo se presentan concentraciones que exceden los estándares de agua potable para Mn, Fe y coloración; estos valores son mínimos comparados con los del Cuaternario. Una gran diferencia, en cuanto a la calidad de agua de los acuíferos Cuaternario y Cretáceo es el hecho que prácticamente no se detecta presencia de NH_4 en el acuífero Cretáceo. Es por esto que se puede concluir la diferencia de calidad del agua entre los acuíferos Cretáceo y Cuaternario.

Análisis Suplementarios de Calidad de Agua

Algunos ríos y pozos fueron seleccionados para realizar análisis complementarios de calidad del agua, de acuerdo a la base de datos de monitoreo de la SDA y la CAR. Quince puntos de muestreo para ríos y veinte pozos en el Cuaternario y Cretáceo fueron seleccionados para analizar la calidad del agua. Los resultados del análisis suplementario de calidad del agua en los puntos de muestreo fueron esencialmente idénticos a aquellos obtenidos en el análisis del Acueducto. Los resultados para pozos muestran que la mayoría exceden los valores estándar de agua potable para Fe, Mn y NH_4 a lo largo del área de estudio. Es claro que el contenido de Fe y Mn en el agua subterránea son el resultado de la geología del área. La concentración de Mn en el acuífero Cuaternario es mucho mayor que la exhibida en el Cretáceo. En general, la calidad del agua del acuífero Cretáceo es buena, aunque presenta concentraciones un poco altas de Fe y Mn.

(3) Uso del Agua y Manejo de los Recursos Hídricos

(a) Instalaciones Existentes para el Abastecimiento de Agua

Bogotá tiene tres sistemas principales para el abastecimiento de agua: el Sistema de Chingaza, el Sistema Tibitóc y el Sistema Sur. Cada sistema tiene sus fuentes de agua y plantas de tratamiento. El Sistema de Chingaza cuenta con el Embalse de Chuza y la Planta Wiesner. El Sistema Tibitóc cuenta con la Planta Tibitóc. El Sistema Sur cuenta con el Embalse de la Regadera y la Planta El Dorado. EL Sistema Chingaza suministra un caudal de agua de $10,0 \text{ m}^3/\text{s}$, el Sistema Tibitóc $4 \text{ m}^3/\text{s}$ y el Sistema Sur $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, para un total de $14,5 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua para abastecimiento en el Área Metropolitana de Bogotá para el año 2006. La capacidad máxima de las plantas de tratamiento es de $30,2 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que la cantidad de agua en concesión es de $19,0 \text{ m}^3/\text{s}$ y el desarrollo potencial es de $22,0 \text{ m}^3/\text{s}$. La capacidad total de las instalaciones existentes excede el volumen de concesión y de desarrollo potencial.

(b) Consumo de Agua

Para el año 2006, el número de cuentas (clientes) en Bogotá, Soacha y Gachancipa fue de 1.569.000. Un aumento remarcable se vio en los Estratos 1 y 2 en comparación con el 2002. El consumo total en el 2006 fue de $22.698.000 \text{ m}^3/\text{mes}$ ($8,75 \text{ m}^3/\text{s}$). En el 2006, el consumo unitario para el sector residencial se estimó en $100 \text{ L}/\text{día}/\text{persona}$. El abastecimiento de agua en bloque a 8 municipios de Cundinamarca fue de $1.364.000 \text{ m}^3/\text{mes}$ ($0,53 \text{ m}^3/\text{s}$) en el 2006 con un notable incremento en Chía y Mosquera.

Tarifa de Agua

La tarifa está compuesta por una tarifa básica y una tarifa por consumo. La tarifa básica fue drásticamente reducida en julio del 2004; por el contrario, la tarifa de consumo fue elevada. Posteriormente, ambas tarifas (básica y de consumo) han sido modificadas, sólo cuando el índice de precio al consumidor acumulado ha excedido el 3%.

(c) Instalaciones para el Drenaje y Tratamiento Residual

El porcentaje de cobertura del alcantarillado en el Área Metropolitana de Bogotá es alrededor del 85-90%, sin embargo no toda el agua residual esta siendo tratada. El agua residual está siendo descargada al río Bogotá sin tratamiento, siendo la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Salitre la única en el Área Metropolitana de Bogotá prestando solamente tratamiento primario. En la actualidad, el Acueducto viene adelantando y ejecutando proyectos para complementar los sistemas de

alcantarillado y de tratamiento de agua residual.

Todos los residuos sólidos del Área Metropolitana de Bogotá y de algunos municipios vecinos son manejados en la Planta de Disposición de Residuos Doña Juana. La planta está construida con un diseño moderno y lleva a cabo una operación satisfactoria. En las áreas fuera de Bogotá, la CAR ejecuta directamente la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales y controla su manejo y mantenimiento. Sin embargo, la tasa de operación no es satisfactoria, porque no existen las redes de alcantarillado necesarias y no se cuenta con los fondos suficientes para su mantenimiento.

(d) Manejo de Recursos Hídricos

El manejo del recurso hídrico en el área de Estudio es implementado por la CAR y la SDP. La CAR y la SDA administran cuantitativamente las fuentes de agua controlando y restringiendo las concesiones para el uso de agua. Además, manejan la calidad de los recursos hídricos monitoreando la calidad del agua en la red de observación. La SDA está a cargo del manejo de los recursos hídricos en Bogotá D.C. y ha otorgado concesiones para más de 400 pozos en el área urbana de Bogotá. Los dueños de los pozos están registrados en la SDP y deben monitorear el nivel del agua subterránea de los pozos y reportarla a la SDA.

Por otro lado, la CAR está a cargo del manejo de los recursos hídricos en la Sabana de Bogotá, fuera de Bogotá D.C.

(e) Monitoreo de la Calidad del Agua

La SDA y el Acueducto, monitorean la calidad del agua del río Bogotá en el Área Metropolitana de Bogotá. Fuera de ésta área el monitoreo le corresponde a la CAR. El Acueducto cuenta con un sofisticado laboratorio para el análisis de calidad del agua donde se conducen análisis de agua para consumo humano, agua superficial, agua residual tratada y agua residual doméstica e industrial. La CAR inspecciona la calidad de agua de ríos y pozos y utiliza los resultados del análisis de calidad del agua, no solo como parte del manejo de calidad, sino también para la toma de decisiones en cuanto a la autorización de licencias ambientales y derechos de concesiones de agua.

(f) Ecosistema y Medio Ambiente

En Colombia, la Cuenca del río Bogotá es el área de mayor diversificación económica. Los cultivos de flores ocupan el 80% de la producción nacional. La cría de ganado y la industria lechera son la base de la economía de esta región.

Los recursos hídricos se utilizan para varios sectores: agricultura, ganado, minería, industrias, abastecimiento de agua, alcantarillado y generación de electricidad.

La CAR designa las zonas en los Cerros Orientales por encima de los 2.700-2.750 m.s.n.m como áreas de protección forestal. La tala de árboles y la construcción de estructuras en esta área esta estrictamente restringida.

La urbanización de la ciudad ha continuado por fuera del área de protección forestal. Por consiguiente, dentro de esta área urbana no se presentan bosques naturales o especies animales raras o amenazadas. Por otro lado, ninguna zona de los Cerros Sur ha sido designada como protección forestal. Las zonas en los Cerros Orientales donde se planea ejecutar el proyecto para el desarrollo de agua subterránea, comprenden terrenos vacantes y de pastoreo de ganado, donde no se requiere reasentamiento de población. Aunque estas zonas están fuera del área de reserva forestal, es necesario obtener los permisos y los derechos de concesión de agua ante la CAR ó la SDA dependiendo de la jurisdicción.

(g) Recarga Artificial

El proyecto piloto de recarga artificial fue ejecutado en el estudio anterior de JICA. Este estudio fue ejecutado en el tanque de sedimentación de Vitelma, propiedad del Acueducto. Como resultado del Estudio Piloto se concluyó que, en el área de Vitelma se pueden inyectar 2.000 m³/día dentro del acuífero Cretáceo a través de un pozo de recarga. El agua para la recarga artificial puede ser tomada del río San Cristóbal. La capacidad de recarga artificial puede estudiarse a mayor escala con casos reales en otras locaciones.

En los últimos años, se ha enfatizado la importancia de la conservación del medio ambiente en los Cerros Orientales y la legislación pertinente ha sido expedida. La recarga artificial de agua subterránea es conveniente para la conservación de los recursos de agua subterránea en los Cerros Orientales. Las fugas de agua desde el embalse de San Rafael tienen el mismo efecto de recarga en el acuífero Cretáceo. De acuerdo a los resultados del análisis del balance hídrico, a partir de datos diarios (1998-2001) del Embalse de San Rafael, las fugas de agua del embalse se estiman en 3 m³/s en promedio.

2.1.2 Identificación de Deficiencias en el Sistema de Abastecimiento de Agua Actual

(1) Garantía del Abastecimiento de Agua en Emergencia

El Acueducto es responsable por el abastecimiento de agua y debe elaborar un plan para la prevención y respuesta a emergencias relacionado con el abastecimiento de agua. De acuerdo con el Estudio anterior de JICA (2003), la red de tuberías podría presentar daños en 3.753 puntos en el Área Metropolitana de Bogotá por el sismo La Cajita con epicentro en los Cerros Sur. Adicionalmente, es posible que un gran sismo con epicentro entre Bogotá y el Embalse de Chuza pueda dañar el túnel de conducción de agua. El Acueducto ha realizado diagnósticos sobre la resistencia de las instalaciones en caso de terremoto y con base en estos está implementando el reforzamiento de los mismos. Para este propósito, el Acueducto está realizando trabajos preventivos para evitar el colapso del túnel que conduce el agua de Chuza a Bogotá. Además el Acueducto ha completado el centro de control automático centralizado para las instalaciones de abastecimiento de agua. Adicional a las medidas anteriormente mencionadas, el Acueducto considera la posibilidad de emplear recursos hídricos subterráneos para desarrollar un sistema de abastecimiento de agua en casos de emergencia.

(2) Abastecimiento de Agua en Áreas Residenciales de Bajos Ingresos Ubicadas en Zonas de Gran Altitud

Las condiciones actuales de uso de agua en áreas de bajos ingresos ubicadas en zonas de gran altitud, son estudiadas a través de las siguientes dos investigaciones: 1) actividades sociales del Acueducto y 2) sondeo socio-económico. El Acueducto tiene la política y la estrategia de trabajar conjuntamente con la comunidad para la ejecución de los proyectos de abastecimiento de agua. Las entrevistas y cuestionarios realizados se llevaron a cabo en 15 áreas de los Cerros Orientales y Sur, localizadas por encima de los 2.750 m.s.n.m. y que no son abastecidas por el Acueducto. La relación de cobertura de servicios públicos es muy bajo: abastecimiento de agua 14%, alcantarillado 23,3%, gas 1% y teléfono 25%.

(3) Derechos de Concesión de Agua

El Acueducto toma agua del río Bogotá en la Planta Tibitóc con concesión de la CAR. En los últimos años, la concesión ha ido disminuyendo. El volumen de concesión de agua para el Acueducto hasta el año 2000 fue de 10,0 m³/s. Posteriormente, la concesión se redujo a 8 m³/s para el año 2001, 6 m³/s para el 2002 y 4,8 m³/s para el 2003.

Esta tendencia continuará en el futuro. El agua distribuida desde Tibitóc es importante en caso de emergencia cuando el abastecimiento de agua del Sistema de Chingaza sea suspendido. Otras fuentes alternativas de recursos hídricos son necesarias para la Planta Tibitóc.

2.1.3 Potencial para el Desarrollo de Recursos Hídricos

(1) Agua Superficial

La demanda de agua superficial actual excede el porcentaje de recursos hídricos superficiales disponibles para actividades humanas. El problema se alivia en cierta forma con la construcción de nueve represas y lagunas de retención aguas arriba (parte norte) de la Cuenca del Río Bogotá, una represa fuera de esta área, y especialmente con el proyecto de conducción de agua desde el Embalse de Chuza. Sin embargo, con la tendencia actual de crecimiento económico y poblacional, se anticipa que el balance entre abastecimiento y demanda de agua fallará en un futuro cercano. Anticipándose a este problema, el Acueducto planea tomar una mayor cantidad de agua por fuera de la cuenca, mediante la expansión de la capacidad del Sistema Chingaza y con el desarrollo de recursos hídricos de la región del Sumapaz. Chingaza se localiza al oriente de la Cuenca del Río Bogotá y la Región del Sumapaz al sur

de la misma.

Plan de Expansión del Sistema Chingaza

El plan consiste en varios componentes de expansión de las instalaciones; principalmente consiste de i) aumento de la capacidad de las instalaciones de captación al norte y sur del embalse de Chuza, ii) construcción del Embalse La Playa y aumento de la capacidad de las instalaciones de captación al sur del Embalse La Playa. De acuerdo al análisis del balance hídrico, el volumen de agua disponible para abastecimiento por este proyecto de expansión es de 8,5 m³/s.

Plan de Desarrollo del Sistema Sumapaz

El plan de desarrollo del sistema en el Sur del Sumapaz apunta a aumentar la capacidad de abastecimiento de agua, mediante el uso efectivo del agua proveniente de la Cuenca del Río Sumapaz. Se planea la construcción de una represa, instalaciones para la captación de agua, canales de agua y una planta de tratamiento. De acuerdo al análisis del balance hídrico, se calcula que la cantidad de agua disponible a ser captada después de la implementación del proyecto será de 12,95 m³/s.

(2) Agua Subterránea

(a) Acuífero

El Equipo de Estudio de JICA recolectó los datos geológicos y topográficos del Área de Estudio. Realizó investigaciones de campo para comprender las características geológicas del Área de Estudio (Cerros Orientales y Sur) y revisó el mapa geológico existente mediante investigaciones de campo e interpretación de fotografías aéreas. El Equipo diferenció el área de formación Cretácica de la Terciaria y Cuaternaria en el Área de Estudio. Se propuso la ubicación de los pozos de producción, desde el punto de vista hidrogeológico. Los pozos propuestos son 64 en total (incluyendo 53 pozos nuevos de producción, 5 exploratorios y 4 pozos existentes de producción). Adicionalmente, se propone un pozo de observación y 8 pozos opcionales.

(b) Investigación Geofísica

La investigación geofísica se realizó empleando el método TEM en 64 puntos de la Sabana de Bogotá. El objetivo principal de la investigación TEM es conocer la distribución vertical y lateral del acuífero principal: Grupo Guadalupe en los Cerros Orientales y Sur. Los resultados mostraron una resistividad extremadamente alta, más de 1.000 ohm-m, en la capa de areniscas de la Formación Guadalupe en los Cerros Orientales y Sur de la ciudad. La formación de alta resistividad es gruesa en la parte central de los Cerros Sur y se distribuye con el mismo grosor en las áreas de gran altitud de los Cerros Orientales. La situación geológica del sector sur de los Cerros Orientales debe ser examinada cuidadosamente, puesto que las partes menos profundas registraron una alta resistividad y sin embargo, su valor es menor que 1.000 ohm-m. Por consiguiente se debe intensificar la investigación geofísica y geológica con otros métodos y estudios más detallados para localizarlos y determinar la factibilidad del desarrollo de agua subterránea en esta área. Teniendo en cuenta la información del estudio geológico e hidrológico (incluyendo los datos de los pozos existentes), se recomiendan algunas zonas promisorias para perforar pozos de agua para abastecimiento.

(c) Potencial de Agua Subterránea

En este Estudio se empleó el método de la FAO para estimar la evapotranspiración ya que la medición directa de recarga subterránea hasta ahora se está comenzando a emplear y los datos todavía no están disponibles. Los valores de evapotranspiración fueron nuevamente calculados escogiendo nuevos parámetros y usando los mismos datos del método de tanque evaporimétrico del Estudio anterior de JICA. Se estimó la distribución de la evapotranspiración dentro de la cuenca y los resultados fueron posteriormente combinados con aquellos del análisis hidrológico para estimar la recarga subterránea mediante el método del balance hídrico. La recarga subterránea de la sabana de Bogotá se calcula en 132 mm/año en promedio. Dentro de la formulación del plan de desarrollo de agua subterránea, el valor estimado de 132 mm/año deberá ser tenido en cuenta para planear la cantidad de agua total de los pozos.

(d) Simulación de Agua Subterránea

El flujo del agua subterránea en el acuífero Cretáceo distribuido en los Cerros Orientales y Sur de

Bogotá, fue analizado principalmente con base en los resultados de la simulación del estudio anterior. Se evaluó el impacto del bombeo de los 64 pozos planeados sobre el nivel freático de los acuíferos vecinos (Cretáceo y Cuaternario). El modelo de simulación adoptó la estructura y otras condiciones del modelo creado en el estudio anterior, con algunas alteraciones menores en las cuadrículas y parámetros limítrofes. El modelo fue calibrado ajustando la conductividad hidráulica de cada capa. El resultado final de la calibración bajo condición de estado estable fue usado como la condición inicial para la simulación transitoria.

(e) Perforaciones Exploratorias

En el presente Estudio se seleccionaron las ubicaciones para la perforación de cinco pozos exploratorios y uno de observación. De estos seis pozos, dos exploratorios (EX-2 y EX-3) y uno de observación (EX-4) fueron perforados dentro de este periodo del Estudio. Tanto el pozo EX-2 (Ciudad Bolívar) como el EX-3 (Usme) están ubicados sobre los Cerros Sur, donde se distribuyen rocas Cretáceas. Desde el comienzo de los trabajos en el pozo EX-2 se encontraron rocas Cretáceas gruesas con una gran productividad de agua subterránea. Por otro lado, el pozo EX-3 se ubica sobre arenisca Cretácica muy cerca de la falla de Bogotá, donde se encontraron rocas Cretácicas al comienzo de la perforación. Sin embargo, se encontraron rocas Terciarias a una distancia profunda. Esto ocurre porque la falla de Bogotá es de tipo reversible. Debido a la baja permeabilidad de las rocas Terciarias, el pozo EX-3 presenta una baja productividad de agua subterránea. Con base en estos resultados se concluye que los pozos de producción deben ser ubicados lejos de la falla de Bogotá.

2.1.4 Aspectos del Plan Maestro Existente de Abastecimiento De Agua

(1) Plan Maestro Existente

El Acueducto formuló el Plan Maestro de Abastecimiento de Agua (P/M) en 1995, en el cual se contempla la necesidad de desarrollar nuevas fuentes de agua para el 2005 y los proyectos propuestos para la expansión del sistema Chingaza. Por otra parte, después de la “Crisis de Chingaza”, el abastecimiento de agua para Bogotá D.C. fue controlado y las tasas de consumo bajaron más de lo esperado. Como resultado, el consumo de agua en el 2005 fue de 14,5 m³/s, valor más bajo que el estimado en el Plan Maestro de 1995 (25 m³/s). En el 2005 el Acueducto revisó el Plan Maestro de 1995. El comienzo de los proyectos inicialmente planteados fue pospuesto hasta después del 2029. En el 2008 el Acueducto revisará el P/M antiguo y establecerá nuevamente la fecha del comienzo de los proyectos propuestos, de acuerdo a las predicciones de demanda más recientes.

(2) Aspectos en el Plan Maestro Existente desde el Punto de Vista del Plan Maestro de Recursos Hídricos Integrados

Los aspectos del Plan Maestro existente se resumen desde el punto de vista de 4 ítems: cantidad, calidad, derechos de concesión de agua y manejo del riesgo.

- Manejo de Cantidad de Agua: El Acueducto ha logrado manejar el control del consumo de agua después de la “Crisis de Chingaza” en 1997. El resultado de la crisis fue una disminución en el consumo de agua y la postergación del desarrollo de nuevas fuentes de agua.
- Manejo de Calidad del Agua: La CAR y la SDA están a cargo de este aspecto. El Acueducto monitorea continuamente la calidad de las fuentes de agua para proveer agua apta para el consumo humano.
- Distribución de Derechos de Agua: La concesión para la Planta de Tibitóc se encuentra actualmente pendiente en la corte. Ésta situación influye en las futuras estrategias para el abastecimiento de agua por parte del Acueducto.
- Manejo de Riesgo: El Acueducto prepara las medidas preventivas contra desastres naturales en lo concerniente al abastecimiento de agua, en donde se tiene un plan para la expansión del Sistema Chingaza. Este sistema es vulnerable a desastres naturales debido al túnel de 40 km de longitud que atraviesa la montaña para la conducción de agua. La expansión del Sistema Chingaza causará un alto riesgo en la estabilidad del abastecimiento de agua. El Acueducto adelanta varias medidas para compensar esta vulnerabilidad.

(3) Recomendaciones para el Plan Maestro Existente

Los proyectos del plan de expansión del Sistema Chingaza son altamente eficientes en el aspecto financiero. Por lo tanto, la expansión futura de fuentes de agua debe ser implementada siguiendo este plan. Sin embargo, el sistema Chingaza tiene una alta vulnerabilidad debido a la conducción de agua a Bogotá por un único túnel montañoso de 40 km de longitud, el cual está sujeto a colapsar debido a algún desastre natural. Consecuentemente, la expansión en un futuro próximo del Sistema Chingaza causaría mayores daños sobre el abastecimiento de agua, en caso que un desastre natural interrumpa la conducción de agua. Para sobrellevar este riesgo, se deben preparar todas las medidas posibles: a) uso del agua almacenada en el Embalse de San Rafael, b) aumentar la producción de agua en el plan Tibitóc, c) reapertura de plantas de tratamiento cerradas y d) desarrollo de fuentes alternativas de agua (como aguas subterráneas) cerca de Bogotá.

2.1.5 Plan Maestro de Abastecimiento de Agua para Bogotá Mediante Agua Subterránea

(1) Política Básica del Plan

La expansión de recursos hídricos en el área de Chingaza debe ser promovida para un abastecimiento de agua sostenible en el futuro. Sin embargo, el sistema Chingaza es vulnerable a desastres naturales. Por lo tanto, se propone la construcción de instalaciones de abastecimiento mediante agua subterránea alrededor de Bogotá, para casos de emergencia. Estas instalaciones necesitan una operación regular de mantenimiento. Si el abastecimiento mediante agua subterránea resulta menos costoso que el abastecimiento actual en cuanto a costo operativo, el agua subterránea podría ser usada no sólo en caso de emergencia sino también para el abastecimiento regular. Con base en los antecedentes anteriormente mencionados, este Estudio formulará un Plan Maestro de abastecimiento mediante agua subterránea para Bogotá en caso de emergencia.

(2) Plan de Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia

El significado concreto de una emergencia en este Estudio hace referencia a una suspensión del abastecimiento de agua debido a los daños producidos por un gran terremoto que ocasionan una sequía considerable. Los daños que se asumen en caso de emergencia son: i) Daños a la red de tuberías dentro de Bogotá y, ii) daño al túnel de conducción de agua desde Chingaza. Las contramedidas para esto son: a) Reforzamiento de las instalaciones en preparación contra un terremoto y, b) abastecimiento de agua de emergencia mediante fuentes alternativas.

El agua subterránea de los pozos de emergencia puede ser usada y distribuida por carrotanques, inmediatamente después del desastre (hasta diez días), cuando la red de distribución presente daños o esté fuera de servicio. Por otro lado, en caso de daño al túnel de conducción de agua del Sistema Chingaza, el abastecimiento de agua sería interrumpido por un largo periodo de tiempo (máximo nueve meses). Para contrarrestar la escasez de agua producto de este daño, la totalidad de las fuentes alternativas de agua deben ser puestas en funcionamiento para mantener el abastecimiento en condiciones normales. Las fuentes alternativas de agua para abastecimiento de emergencia son: i) Aumento del volumen de captación en la Planta de Tibitóc, ii) uso del agua almacenada en el Embalse de San Rafael, iii) re-apertura de plantas de tratamiento cerradas, vi) desarrollo de aguas subterráneas en los cerros Orientales y Sur.

(3) Proyección de la Demanda de Agua Subterránea en Caso de Emergencia

La demanda de agua subterránea en caso de emergencia se estima independientemente en los dos siguientes escenarios:

- Escenario 1: Daño a las redes de distribución de Bogotá.
- Escenario 2: Daño a los túneles de conducción desde Chingaza.

Tabla-1.2- 1 Demanda de Agua Subterránea en caso de Emergencia

Escenario	Periodo de Reparación	Base de la Estimación		Demanda de Agua Subterránea
		Por persona/día (a)	Población de Bogotá D.C. (b)	
1. Daño a las redes de Distribución	10 días			= (a) x (b)
		Año 2007	15 litros ¹⁾	6,8 millones ²⁾
		Año 2020		9,7 millones ³⁾
2. Daño al túnel de Conducción desde Chingaza	9 meses	Demanda Total (c)		Abastecimiento Completo desde Otras Plantas (d)
		Año 2007	14,5 m ³ /s	Tibitóc (10,5 m ³ /s), Agregado Sur
		Año 2020	18,4 m ³ /s ⁴⁾	(0,5 m ³ /s) y otros (1,3 m ³ /s)

Nota: 1) Volumen esperado por el Acueducto, 2) Estimado en el Censo del 2005, 3) "Proyecciones de la población, 2003" Humberto Molina, 4) Plan Maestro del Acueducto 2005

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

(4) Plan de Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia

(a) Pozos de Producción

La arenisca del Cretáceo en los Cerros Orientales y Sur tiene un alto potencial para el desarrollo de aguas subterráneas. Un total de 62 pozos de emergencia se planean en el área. Los sitios propuestos para los pozos se clasifican en tres áreas: i) Cerros Orientales, ii) Yerbabuena, iii) Cerros Sur.

La ubicación de los pozos en los Cerros Orientales y Cerros Sur se planea a lo largo de fallas mayores y ejes de pliegue. En el área de Yerba Buena, los pozos se planean ubicar a lo largo de la ladera de los cerros. Durante la determinación de la ubicación de los pozos, se examinaron detalladamente varios factores: a) geología, b) distancia entre los pozos, c) disponibilidad de terrenos para las instalaciones, d) restricciones ambientales. Como medida de precaución especial, se planea que la ubicación de los pozos sea dispersa, de manera que cubra la totalidad de los Cerros Orientales y Sur, lo que facilitaría el abastecimiento de emergencia.

(b) Producción Óptima de los Pozos

La producción óptima de los 62 pozos fue examinada mediante la simulación de agua subterránea. Para este análisis, se plantearon 6 alternativas de producción (1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 y 6,0 m³/s), las cuales fueron introducidas al modelo. Se condujo una evaluación transitoria para las 6 alternativas por un periodo de 9 meses, para evaluar la disminución del nivel freático del acuífero Cretáceo y Cuaternario a causa del bombeo. Los resultados de la simulación sugieren lo siguiente:

- La disminución promedio del nivel freático en el acuífero Cretáceo es alrededor de 5 m., la cual se considera no afecta la operación de los pozos de bombeo.
- El bombeo de los 62 pozos planeados tiene un efecto pequeño sobre el nivel freático de las capas de sedimentos del Cuaternario.
- Unos metros de abatimiento residual permanecerán en el acuífero Cretáceo por un largo periodo una vez detenido el bombeo.

Con base en los resultados de la simulación, se seleccionó una producción de 1,5 m³/s como la más óptima.

(c) Instalaciones de Tratamiento

Las instalaciones óptimas para el tratamiento de agua se componen de un sistema de tratamiento de agua y uno de lodos. Estas se planean dependiendo de la finalidad del agua y la calidad del agua subterránea. Se examinaron tres alternativas para el sistema de tratamiento de agua, i) una combinación de cloración y mezcla con agua limpia, ii) un sistema de filtro de presión para remover Fe y Mn y iii) el sistema convencional compuesto de mezcla, floculación y filtración.

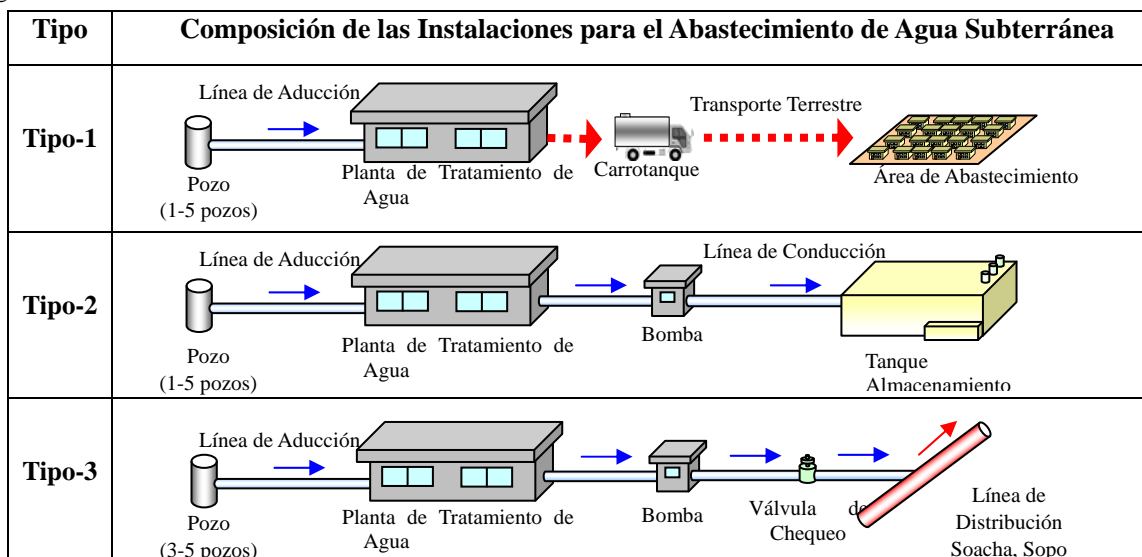
Finalmente se seleccionó el sistema de filtros de presión como el más adecuado para el tratamiento de agua dada la calidad del agua subterránea cruda. El sistema de tratamiento de lodos, para el drenaje del sistema de tratamiento de agua, debe ser planeado únicamente cuando el sistema convencional sea

adoptado debido a efectividad de costos.

(d) Instalaciones de Distribución de Agua

En cuanto a la construcción de las instalaciones de conducción y distribución de agua subterránea en caso de emergencia, se formuló un plan óptimo de acuerdo a las tres condiciones planteadas en la Figura-1.2-1 Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-1.2- 1.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-1.2- 1 Composición de las Instalaciones de Transmisión y Distribución para Agua Subterránea

(5) Manejo de la Producción de los Pozos

La producción total propuesta de los pozos es de 1,44 m³/s (62 pozos x 2,000 m³/día). Sin embargo, cuando urgentemente se necesite una cantidad mayor es necesario aumentar la producción de los pozos. En este caso, existe la posibilidad de una gran disminución del nivel freático por la interferencia entre pozos, la cual va acompañada de un aumento en la producción. Para evitar una disminución significativa del nivel freático debido a la interferencia entre pozos, se debe controlar la producción de los pozos. Para esto, la producción de los pozos debe ser distribuida de manera gradual aumentando del pozo central (menor producción) hacia los de los extremos (mayor producción). Es deseable manejar un patrón de producción de esta forma.

(6) Subsidencia del Terreno

Existe la posibilidad que se presente subsidencia del terreno debido al bombeo desde el acuífero Cretáceo. El estrato Terciario se sobrepone al estrato Cretáceo, y a su vez el estrato Cuaternario se sobrepone al Terciario. Existe la posibilidad de compresión elástica de los estratos Cretáceo y Terciario. Adicionalmente existe la posibilidad que el estrato Cuaternario se consolide por el bombeo del acuífero Cretáceo. El modelo de subsidencia creado incluye la disminución del nivel freático estimada por el modelo de simulación de aguas subterráneas. El resultado del modelo mostró que la cantidad de subsidencia después de 9 meses de bombeo, se estima en alrededor de un centímetro, la cual es pequeña y despreciable. Esto se debe a que: a) El periodo de bombeo es limitado (9 meses como máximo) y b) los estratos intermedios del Terciario, entre los estratos Cuaternario y Cretáceo, prevendrán la subsidencia del estrato Cuaternario blando.

(7) Proyecto Piloto para el uso de Agua Subterránea

El Acueducto propone el Proyecto Piloto de agua subterránea para investigar problemas técnicos del proyecto. El objetivo de este proyecto es: a) Conocer y resolver problemas técnicos de construcción, operación y manejo de las instalaciones de abastecimiento de agua subterránea para casos de emergencia, y b) Estimar costos de construcción, operación y mantenimiento de dichas instalaciones. El proyecto piloto deberá ser implementado en el estanque de sedimentación del Acueducto en Vitelma, donde se implementó el proyecto piloto de recarga artificial en el estudio anterior de JICA (2002). El pozo

existente en este lugar puede ser conectado a una nueva instalación planeada para tratamiento de agua. El agua subterránea tratada luego sería enviada a la tubería existente.

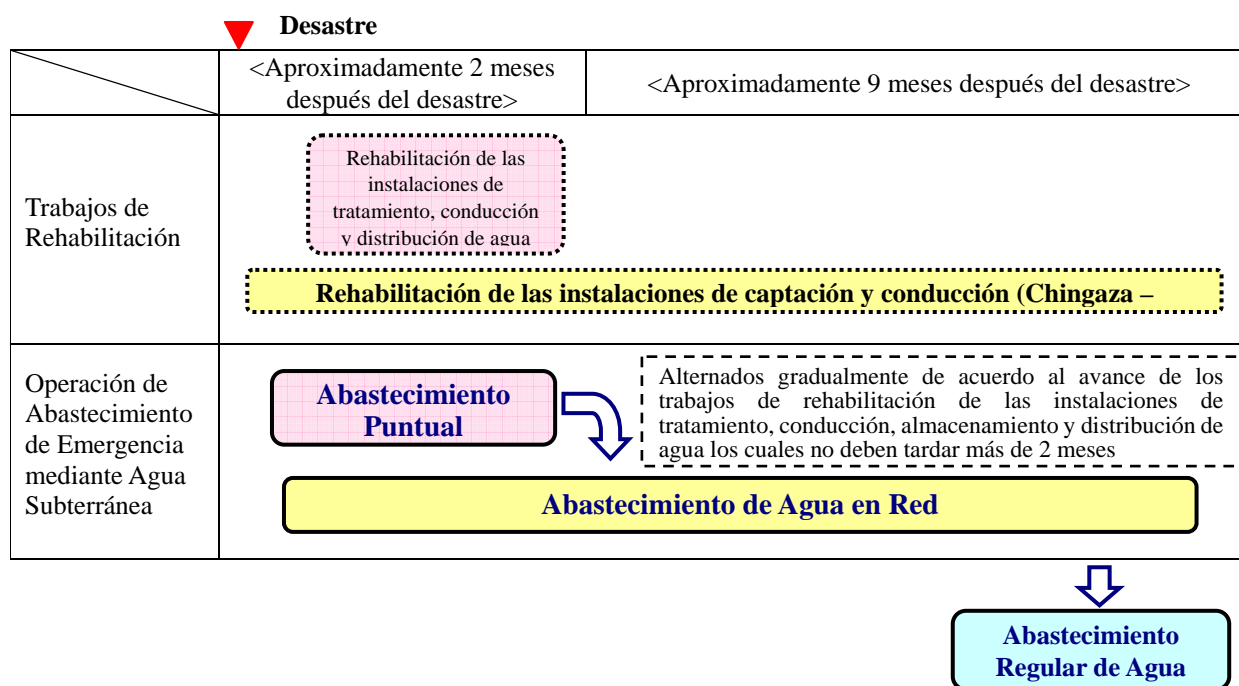
(8) Plan de Monitoreo

La operación y mantenimiento de los pozos es necesaria para su uso constante en las mejores condiciones. Para lograr esto, es indispensable monitorear el nivel freático y la calidad del agua de los pozos. Adicionalmente, es necesario un monitoreo para inspeccionar el impacto del bombeo sobre fenómenos naturales como subsidencia del terreno. Por lo tanto se proponen dos tipos de monitoreo: a) monitoreo para controlar la producción de los pozos, y b) monitoreo para inspeccionar el impacto medioambiental causado por el bombeo. Para lo primero, se debe monitorear: el nivel dinámico de aguas subterráneas, la producción del pozo y la calidad del agua. Para lo segundo se debe monitorear: el nivel estático de aguas subterráneas de los pozos de observación del Cuaternario al igual que su elevación. El nivel freático debe ser monitoreado por un sistema automático de registro.

(9) Institución y Operación/Mantenimiento

Operación y Mantenimiento para el Abastecimiento de Agua Subterránea en caso de Emergencia

La operación del abastecimiento de emergencia de agua debe ser desarrollada gradualmente después de un desastre, de acuerdo al grado de rehabilitación en que se encuentren las instalaciones de tratamiento, conducción y distribución de agua.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-1.2- 2 Operación de Abastecimiento de Agua de Emergencia Mediante Aguas Subterráneas

Organización para el Manejo del Abastecimiento de Agua mediante Agua Subterránea

Para el manejo del abastecimiento de agua subterránea, se recomienda la creación de una nueva unidad dentro del la Gerencia Corporativa del Sistema Maestro del Acueducto. La responsabilidad de esta nueva unidad sería: i) Manejar el abastecimiento regular y de emergencia de agua subterránea, ii) Mejorar la preparación para el abastecimiento de agua subterránea en caso de emergencia, y iii) conducir el monitoreo de los pozos.

(10) Programa de Implementación

El proyecto completo consiste en tres proyectos o “sub-proyectos”: i) Proyecto Cerros Sur (16 pozos), ii) Proyecto Cerros Orientales (29 pozos) y iii) Proyecto Yerba Buena (17 pozos). Los 62 pozos de

emergencia proveerán una cantidad de 1,37 m³/s de agua. El propósito del desarrollo de agua subterránea en este proyecto es abastecer agua en caso de emergencia, la cual en principio podría durar entre 10 días y 9 meses. Para este propósito es recomendable comenzar los trabajos de construcción lo antes posible para su pronta terminación. Se propone que todos los proyectos deban completarse en tres años después de un periodo de preparación de cuatro años, en el cual se incluye el presente estudio.

(11) Diseño y Estimación de Costos

Las instalaciones para los pozos se han diseñado de acuerdo a los estándares Colombianos, los que a su vez se basan en estándares americanos. Las instalaciones constan de: pozos, tuberías de aducción, plantas de tratamiento y tuberías de conducción. Los pozos y las plantas de tratamiento están acompañados por un transformador, un generador de emergencia y una edificación para almacenamiento de los equipos. Las especificaciones estándares de los pozos son: 300 m de profundidad, diámetro de 8 pulgadas para profundidades entre 0 y 150 m y 6 pulgadas para profundidades entre 150-300 m. La capacidad de la bomba sumergible es de 2.000 m³/día con una cabeza de bombeo de 190 m, motor de 440 V y 45 kW. Los trabajos y costos de construcción se proponen en la Tabla-1.2- 2.

Tabla-1.2- 2 Trabajos y Costos De Construcción

	Fase-1	Fase-2	Fase-3	Total
Área	Cerros Sur	Yerbabuena	Cerros Orientales	-
Número de Pozos	16	17	29	62
Costo	Col\$ 28.800 millones	Col\$ 33.500 millones	Col\$ 46.310 millones	Col\$ 108.610 millones

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

(12) Evaluación Ambiental Inicial (EAI)

La Evaluación Ambiental Inicial (EAI) se realizó para evaluar posibles impactos adversos y para recomendar las medidas de mitigación correspondientes. La EAI fue complementada por la evaluación de los impactos, a causa de los proyectos propuestos, teniendo en cuenta los requerimientos institucionales colombianos para estudios de impacto ambiental (EIA). Los proyectos tendrán un impacto ambiental mínimo comparado con proyectos de desarrollo de gran escala. Se estima que los proyectos estarán dentro de la categoría “JICA B”, lo que significa que probablemente no causarán un impacto adverso significativo en el ambiente circundante ni a la sociedad comparado con la categoría “JICA A”.

Por otro lado, de acuerdo a los requerimientos colombianos para Licencias Ambientales, EIA, Permisos y Concesiones, se considera que el proyecto propuesto no ocasionará un impacto adverso significativo en el ambiente circundante. Sin embargo, la disminución del nivel freático y la subsidencia del terreno como consecuencia de estos proyectos deben ser analizadas detalladamente en el estudio de factibilidad.

(13) Evaluación Económica

La evaluación dentro de este Plan Maestro se lleva a cabo desde el punto de vista de las ventajas comparativas que el desarrollo de aguas subterráneas presenta, ya que la evaluación económica para emergencias es difícilmente calculada desde una base monetaria.

Diversificación de Riesgos

La producción planeada de los 62 pozos es de 1,435 m³/s. En la actualidad la capacidad de producción de la Planta Wiesner es de 13,5 m³/s. Correspondientemente, el desarrollo de aguas subterráneas deberá diversificar los riesgos aritméticamente en 10,6% (=1,435/13,5).

Disminución de los Costos de Desarrollo

El costo del desarrollo de aguas subterráneas es de US\$ 37,7 millones/m³/s. Entre tanto, el Acueducto ha planeado ocho proyectos de expansión para el abastecimiento de agua dentro del “Plan de Expansión de Abastecimiento de Agua, 2005”, para desarrollar 32,23 m³/s de agua superficial con un costo unitario promedio de US\$ 70,6 millones/m³/s. En términos de costos por desarrollo de m³, el desarrollo de agua subterránea en el proyecto propuesto se evalúa claramente menos costoso que el desarrollo de agua

superficial por US\$ 32,9 millones.

Ubicación de los Pozos cercanos al Área de Demanda

Se planea ubicar los 62 pozos cerca de áreas residenciales, lo que permitiría hacer una entrega y distribución rápida a los ciudadanos. Esta entrega rápida reduce los costos de transporte e igualmente ahorra tiempo.

Aplazamiento de la Inversión para la Escasez de Agua Prevista para el 2022

La producción planeada de los 62 pozos es de 1,435 m³/s. Esto permite aplazar 3 años la implementación de los proyectos de expansión planeados en el “*Plan de Expansión de Abastecimiento de Agua, Acueducto, 2005*”.

(14) Análisis Financiero

(a) Condición Financiera Actual del Acueducto

El Acueducto adquirió la categoría de crédito “AAA” otorgada por la compañía de calificación de crédito “BRC Investors Services” en Octubre del 2006, para bonos corporativos expedidos para asegurar préstamos del Banco Mundial y bancos nacionales.

Rentabilidad

El “Informe de Pérdidas y Ganancias” del Acueducto entre los años fiscales 2003 y 2006 indica claramente que el Acueducto ha obtenido resultados operativos excelentes para cada año.

Seguridad Financiera y Estabilidad

El balance del Acueducto del año fiscal 2003 a Septiembre del 2007 revela la estabilidad financiera continua y la solidez del Acueducto.

Flujo de Caja

El flujo de caja proyectado del Acueducto demuestra que las actividades operativas generan un flujo neto de caja positivo y ayuda a un buen balance de flujo de caja cada año.

Corte de Costos Financieros por Secularización

El Acueducto lanzó en Octubre del 2006 Col\$ 250.000 millones en bonos corporativos para reducir el pago de intereses y no exponerse a los riesgos del cambio en el precio de la moneda extranjera pagando anticipadamente los préstamos a los bancos nacionales y al Banco Mundial. Como resultado, la tasa de interés ha caído de 12,3% a 9,8% en la etapa inicial.

(b) Proyecto de Evaluación Financiera

Costo de Desarrollo

El costo de desarrollo del agua subterránea se estima en Col\$ 108.610 millones en tres años. El costo de desarrollo anual es de Col\$ 36.300 millones. De acuerdo al “*Plan Financiero Prurianual 2008-2017*” del Acueducto de Octubre del 2007, se planea una inversión total de Col\$ 5.000.000 millones en 10 años, con una inversión promedio anual de Col\$ 500.000 millones. El costo del desarrollo anual de agua subterránea de Col\$ 36.300 millones representa el 7,3% de este presupuesto.

Financiamiento

Se asume que el costo del desarrollo será financiado por bancos nacionales con las siguientes condiciones:

- Termino del Préstamo: 12 años, Periodo de Gracia: 3 años, Tasa de Interés: 12 %.

Estas condiciones de préstamo se consideran bastantes conservadoras comparadas con las condiciones de préstamo actuales del Acueducto. El Acueducto planea formular un nuevo plan maestro en el 2008 revisando el plan maestro del 2005. De acuerdo a la Gerencia Corporativa Financiera, cuando se tome la decisión de inversión para el desarrollo del agua subterránea, las medidas de financiamiento apropiadas deben ser estudiadas incluyendo fondos propios.

Habilidad para el Pago de la Deuda

El pago anual máximo de la deuda es de Col\$ 23.900 millones y Col\$ 17.800 millones en promedio anual. El Acueducto considera posible dicho endeudamiento, teniendo en cuenta el balance de flujo de caja y el alto nivel de “habilidad para pagos”.

Análisis de Rentabilidad

La proyección de Pérdidas y Ganancias del Acueducto muestra que el ingreso operacional crece cada día, y el ingreso neto es positivo cada año. El costo incremental incluyendo intereses y devaluación del desarrollo de aguas subterráneas es de Col\$ 19.000 millones para el 2014 y Col\$ 18.000 millones en el 2017. Estos costos son muy pequeños y no afectan seriamente las ganancias proyectadas del Acueducto.

Recuperación de los Costos de Inversión

Teóricamente, el Acueducto no puede generar ingreso operativo adicional de este proyecto, ni recuperar la inversión durante el periodo donde la capacidad de abastecimiento de agua sobrepasa la demanda de agua. Entretanto, el Acueducto puede recuperar el costo de desarrollo, si lo incorpora a la tarifa de acuerdo a la fórmula existente, aunque la decisión de cambio en la tarifa depende principalmente de la Gerencia General.

(15) Análisis Social

Se espera que el proyecto genere varios beneficios sociales en las áreas donde se implementa de la siguiente manera:

Aumento de la Población Abastecida en Caso de Emergencia

Dos métodos de abastecimiento de agua en caso de emergencia se consideran en este Plan Maestro: uno es el abastecimiento puntual de agua y el segundo es el abastecimiento de agua en red. La población abastecida por ambos métodos, teniendo en cuenta la cantidad de agua a ser abastecida, se estima a continuación:

- 8.300.000 habitantes pueden ser abastecidos por el abastecimiento puntual (unidad de consumo es 15 ℓ/persona/día).
- 706.000 habitantes pueden ser abastecidos por el abastecimiento en red (unidad de consumo es 100 ℓ/persona/día).

Abastecimiento de Agua contra Incendios Forestales

Los incendios forestales son comunes cada año en los Cerros Orientales y Sur especialmente durante la época seca entre Enero y Febrero. En el proyecto se planea construir tanques y tuberías de distribución que permitan tomar agua para mitigar el incendio.

Aumento de la Oportunidad de Empleo

Durante la implementación del proyecto, los trabajos de construcción ofrecerán nuevas oportunidades laborales. Además el consumo de los trabajadores estimulará la actividad comercial en el área.

2.2 Resumen del Estudio de Factibilidad

(1) Proyecto de Mayor Prioridad

Dentro del Estudio de Factibilidad fue propuesto un proyecto de alta prioridad para suministro de agua en casos de emergencia. La prioridad dada a los proyectos fue i) Proyecto Piloto ii) Proyecto Cerros Orientales iii) Proyecto Cerros Sur iv) Proyecto Yerbabuena. El Acueducto solicitó la implementación del Proyecto Piloto dentro del Estudio de Factibilidad y el Proyecto del primer periodo los cuales son los más importantes y urgentes. Sin embargo, el proyecto en su totalidad es urgente y necesario. Es por esto que se acordó entre el Acueducto y el grupo de estudio de JICA que el Segundo y Tercer periodo también fueran incluidos en el Estudio de Factibilidad.

(2) Plan de Acción

Un plan de acción fue propuesto para promover los proyectos propuestos en el estudio del Plan Maestro. Las actividades del plan de acción fueron a) Acuerdo en el Plan Maestro para suministro de agua en emergencia, b) Selección del proyecto de mayor prioridad, c) Implementación del Estudio de Factibilidad, d) Aprobación de los resultados para el estudio de factibilidad, e) Implementación del Proyecto Piloto, f) Desarrollo de Tecnología para agua subterránea, g) Decisión en la inversión y obtención del presupuesto por el Acueducto. Al final de este estudio los ítems de la a, d y f fueron completados o están en proceso. El ítem e) Proyecto Piloto está siendo preparado para su implementación en el 2009.

(3) Proyecto Piloto

El proyecto piloto para uso de agua subterránea fue aprobado como el proyecto de primera prioridad. Este debe ser implementado primero que los otros proyectos. Problemas técnicos en diseño y construcción de las instalaciones para suministro de agua en emergencia pueden ser resueltos al implementar el Proyecto Piloto. Las instalaciones para el suministro de agua en emergencia serán construidas una luego de la otra siguiendo los resultados. En el momento existen 9 pozos dentro de la ciudad de Bogotá los cuales pueden ser candidatos para el Proyecto Piloto. Luego de examinar la prioridad de cada uno de estos 9 sitios, La Salle (Calle 175 Cra 7) y Vitelma fueron los seleccionados. El Acueducto implementará el Proyecto Piloto primero en estas dos ubicaciones en el 2009.

(4) Proyecto del Primer Periodo

El proyecto en los Cerros Orientales fue acordado para el primer periodo. Los Cerros Orientales se ubican muy cerca del centro de Bogotá haciendo eficiente el suministro de agua a toda la ciudad de Bogotá en caso de emergencia desde los pozos. La gran accesibilidad desde los Cerros Orientales hasta la ciudad de Bogotá, dio una gran prioridad al desarrollo del proyecto en los Cerros Orientales. Se propone un número total de 33 pozos para una producción total de 68,256 m³/día, la cual puede suministrar agua a 4.550.400 personas, bajo la condición de un consumo unitario de 15ℓ/persona/día.

(5) Proyecto del Segundo Periodo

El proyecto en los Cerros del Sur fue seleccionado para el Segundo periodo. El área de este proyecto está ubicada en la parte sur de la ciudad de Bogotá, cerca al epicentro asumido de un terremoto de gran escala, donde hay muchas casas en la pendiente de las montañas. Se espera que daños serios a las tuberías sean causados por un terremoto. Un total de 14 pozos se proponen con una producción total de 12,690 m³/día, valor el cual podrá suministrar agua a 864,000 personas, bajo la condición de un consumo unitario de 15ℓ/persona/día.

(6) Proyecto del Tercer Periodo

El proyecto en Yerbabuena fue acordado para el Tercer periodo. Yerbabuena está ubicada en los municipios de Chía y Sopó, hacia el norte de la ciudad de Bogotá. El agua subterránea proveniente de los pozos en Yerbabuena puede ser transitada a Bogotá y municipios vecinos por carrotaques y tuberías en caso de emergencia. Yerbabuena no se encuentra cerca al centro de la Ciudad de Bogotá y es por esto que esta zona tiene una prioridad mas baja. Un total de 17 pozos son propuestos, con una producción total de 34,000 m³/día, valor el cual suministraría agua a 2.266.000 personas, bajo la condición de un consumo unitario de 15ℓ/persona/día.

(7) Plan General de Infraestructura

Instalaciones de Tratamiento de Agua

Siguiendo los estándares Colombianos de calidad de agua, se realizó un plan para el tratamiento de agua. Los resultados de la calidad de agua subterránea son buenos en los pozos de inspección seleccionados alrededor del área de estudio y la concentración de Hierro y Manganeseo en algunos casos exceden levemente los estándares de agua potable. Para poder seguir usando la presión restante de la bomba de pozo profundo de una manera eficiente como presión para el suministro de agua y para acortar el tiempo de reacción, un sistema de filtros a presión es seleccionado. Tres tipos de instalaciones son planeadas para el proceso de tratamiento de agua de acuerdo a la calidad del agua, (1) cloración, (2) cloración +

filtro a presión y (3) cloración + aireación + filtro a presión.

Instalaciones de Suministro de Agua

Los métodos planeados para suministro de agua son tres de acuerdo al daño en el sistema de suministro de agua, (1) carro tanque, (2) tanque del Acueducto existente y (3) tubería de distribución existente. Las instalaciones de tratamiento de agua deberán ser capaces de suministrar agua en caso de emergencia utilizando los tres métodos.

(8) Producción Óptima

El abatimiento de agua subterránea fue simulado por medio de un modelo de simulación de agua subterránea. Como resultado de 9 meses continuos de bombeo de agua subterránea, el abatimiento alcanzaría un valor de 6 m en el acuífero Cretáceo y de 3 m en el acuífero Cuaternario. No se puede predecir un efecto adverso con este nivel de abatimiento de agua subterránea. El balance de agua subterránea fue calculado identificando el área de recarga y utilizando la relación de recarga por medio de los análisis hidrológicos. Se ha identificado que la recarga anual de agua subterránea es menor que la cantidad de agua subterránea bombeada al año, sin embargo este déficit puede ser completamente recuperado luego de dos años.

Teniendo en cuenta los puntos de vista del balance de agua subterránea y evitando efectos al medio ambiente y al uso de agua subterránea, el proyecto en los Cerros Orientales es factible bajo las condiciones de poder bombear durante un periodo de 9 meses y luego dejar un intervalo por mas de dos años para recuperar la recarga en el acuífero.

(9) Organización de Aguas Subterráneas

En principio, el suministro de agua en caso de emergencia, debe ser realizado por empleados del Acueducto de Bogotá. Para el plan de monitoreo regular de los recursos de agua subterránea, se recomienda que nuevos empleados sean contratados.

Se recomienda fortalecer el Comité de Prevención y Atención de Emergencias. Este comité debe consistir de un Comité Directivo y otro Comité Operativo. El Comité Directivo conducirá el intercambio de información y la coordinación en general con las organizaciones externas pertinentes. El Comité Operativo, implementará el suministro de agua en caso de emergencia (bombeo y tratamiento de agua). Las zonas que estarán a cargo de suministro de agua en caso de emergencia serán establecidas y coordinadas dentro del Comité. Más aun, la creación de la División de Agua Subterránea en el Acueducto es propuesta en la Dirección de Suministro de Agua de la Oficina de Manejo Corporativo del Sistema Maestro. Esta división estará a cargo del i) monitoreo, desarrollo y conservación de los recursos de agua subterránea y ii) suministro de agua subterránea en casos de emergencia.

(10) Consideraciones Ambientales y Sociales

Se decidieron los proyectos prioritarios con el Acueducto para el suministro de agua en emergencia. En el Estudio de Factibilidad, una selección en la Evaluación Ambiental Inicial fue realizada analizando los resultados de las evaluaciones, considerando a) impactos ambientales y sociales causados y b) requisitos ambientales de los Gobiernos de Colombia. Adicionalmente, las medidas de mitigación fueron recomendadas para tales impactos como pueden ser causados por los proyectos propuestos. Como resultados de una selección final, se concluyó que el proyecto propuesto posiblemente no causará impacto adverso significativo en el medio ambiente alrededor del mismo, ni en la sociedad. Bajo este análisis, los proyectos propuestos fueron clasificados en Categoría B de las Guías de JICA. En lo que se refiere a los impactos esperados en el medio ambiente y en el social los siguientes ítems son listados para formulación de medidas de mitigación.

- a) Adquisición de Tierras
- b) Obtención de permisos de perforación
- c) Manejo de Tráfico
- d) Polución del Agua (tratamiento del lodo de perforación)

- e) Ruido y Vibraciones
- f) Abatimiento del nivel de agua subterránea
- g) Subsistencia en la Tierra

(11) Diseño y Estimativo de Costos

Diseño

El principio básico de diseño en el plan maestro deberá ser el de cumplir con las técnicas y niveles técnicos actualmente adoptados por el Acueducto. Factores económicos tales como inversiones iniciales y costos de operación y mantenimiento deben ser considerados en el diseño. Fueron seleccionados equipos y materiales fabricados en Colombia para así permitir una operación y mantenimiento sostenible luego del servicio que proporcione el equipo. Como los resultados de calidad de agua demostraron que el agua subterránea es buena, la metodología de filtración a presión puede ser adoptada por el proyecto. La electricidad mínima necesaria y la cerca alrededor del perímetro deben ser instaladas, mientras las vías de acceso a los puntos de suministro fuera y dentro de las áreas cercadas deben ser construidas para facilitar el paso de los carrotanques y grandes vehículos.

Estimativo de Costos

Los costos totales para el proyecto fueron estimados como se muestra en la siguiente Tabla:

Fase-I	67.540 (millón. Col\$)	35,32 (mil. US\$)	3.732 (mil. yen)
Fase-II	23.000 (millón Col\$)	12,03 (mil. US\$)	1.271 (mil. yen)
Fase-III	32.630 (millón Col\$)	17,06 (mil. US\$)	1.803 (mil. yen)
Total	123.170 (millón Col\$)	64,41 (mil. US\$)	6.804 (mil. yen)

(12) Programa de Implementación de Proyecto

Teniendo en cuenta que el año fijado es el 2020, la implementación del proyecto se propone de la siguiente manera:

- a) Proyecto Piloto : 2009 - 2011 (Total 9 pozos)
- b) 1^{er} Periodo (Cerros Orientales) : 2012 - 2016 (Total 53 pozos)
- c) 2^{do} Periodo (Cerros Sur) : 2017 - 2018 (Total 12 pozos)
- d) 3^{er} Periodo (Yerba Buena) : 2019 - 2020 (Total 17 pozos)

Un total de 91 pozos serán perforados durante un periodo de 9 años. La cantidad promedio de pozos perforados son de alrededor de 10 pozos por año, lo cual parece ser suficientemente factible para ser implementado.

(13) Plan Financiero

Desarrollo de Costos

El costo del desarrollo de agua subterránea esta estimado en Col\$ 123.300 millones en total por un periodo de 7 años. El costo del desarrollo anual esta evaluado en Col\$ 15.400 millones en promedio.

Financiación

El costo del desarrollo del proyecto puede ser financiado por las siguientes tres fuentes, de manera independiente o combinada:

- a) Fondos del Acueducto
- b) Préstamos de Bancos nacionales
- c) Prestamos blandos de un banco de crédito internacional

De acuerdo al departamento financiero, las opciones anteriores deben ser analizadas en el momento de tomar la decisión de esta inversión para el desarrollo del agua subterránea.

(14) Evaluación Económica

La evaluación se lleva a cabo en el Plan Maestro de este informe, desde el punto de vista de las siguientes tres ventajas comparativas, las cuales tiene el desarrollo del agua subterránea para emergencia:

1) Diversificación de Riesgos, 2) Bajos costos de desarrollo, 3) Ubicación de pozos cerca al área de demanda

(15) Análisis Financiero

(a) Actuales Condiciones Financieras del Acueducto

Rentabilidad

“La declaración de rentabilidad y perdida” del Acueducto del año fiscal 2004 al 2008 claramente indica que el Acueducto ha desarrollado continuamente excelentes resultados financieros cada año.

Seguridad

“La Hoja de Balance” del Acueducto desde el año fiscal del 2004 a Septiembre del 2008 revela una seguridad financiera continua del Acueducto.

Flujo de Caja

Las actividades de operación continuamente generan un flujo de caja positivo y ayudan al Acueducto a mantener un buen balance cada año.

(b) Evaluación Financiera

Financiación del Costo de Desarrollo

El costo de Col\$ 123,300 millones para el desarrollo del agua subterránea es asumido ser prestado por un banco nacional con las siguientes condiciones:

a) Término del préstamo: 12 años, b) Periodo de Gracia: 3 años, c) Interés: 13.5%

Habilidad del Pago de Deudas

El Acueducto debe considerar pagar la deuda del préstamo anteriormente descrito juzgando desde el balance de flujo de caja. El pago de la deuda será un promedio anual de Col\$ 12,800 millones.

Rentabilidad

El costo incremental del interés y depreciación generado por el desarrollo del agua subterránea es de Col\$ 3.100 millones en el 2013 y de Col\$ 19.100 miles de millones en el 2020. Es obvio que estos costos no son tan largos y no afectan seriamente la ganancia proyectada del Acueducto.

(16) Evaluación Social

Se espera que el proyecto genere varios beneficios sociales en el área del proyecto como son:

1) Población Suministrada en Emergencia

Dos métodos de suministro de agua en emergencias son considerados en este Estudio de Factibilidad: uno es suministro de agua puntual y el otro es suministro de agua por medio de la red. La población suministrada por los dos métodos se estima a continuación:

7,700,000 habitantes pueden ser suministrados por el sistema puntual

600,000 habitantes pueden ser suministrados por el sistema de red

2) Suministro de Agua contra Incendios Forestales

Incendios forestales ocurren en los cerros orientales y cerros sur cada año especialmente durante las épocas de sequías desde Enero a Febrero. El proyecto también planea construir tanques y tuberías de distribución que facilitarán el transporte del agua para operaciones contra incendios forestales.

CAPITULO 3 ORGANIZACIÓN Y OPERACIÓN DEL ESTUDIO

3.1 Organización del Estudio

La organización del estudio se estableció de la siguiente manera después de discusiones conjuntas entre el Equipo de Estudio y la Contraparte, concretamente el Acueducto (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá):

- El Acueducto debe establecer el Comité Directivo compuesto por representantes del Acueducto, MAVDT, CAR, SDA, SDP, DPAE, INGEOMINAS, IDEAM, la Gobernación de Cundinamarca y ACCIÓN SOCIAL.
- El Equipo de Estudio JICA ha sostenido reuniones mensuales con el Comité Directivo para reunir información e intercambiar opiniones a fin de direccionar el Estudio.

3.2 Reuniones Principales

Las siguientes reuniones principales fueron llevadas a cabo entre el Grupo de Estudio y las organizaciones de la contraparte:

Tabla-1.3- 1 Historial de Reuniones del Comité Directivo

No.	Fecha	Contenido
1	1 Diciembre, 2006	Se presentó el contenido del Informe de Inicio entre el lado Colombiano y el Grupo de Estudio JICA.
2	11 Enero, 2007	Se presentó la organización del estudio y su contenido entre el lado Colombiano y el Grupo de Estudio JICA.
3	15 Febrero, 2007	Se presentó el contenido del Informe del Progreso del Estudio entre el lado Colombiano y el Grupo de Estudio JICA:
4	4 Julio, 2007	Se presentó la continuidad del Estudio. Se aclaró la definición y necesidad del suministro de agua en emergencia entre el lado Colombiano y el Grupo de Estudio JICA.
5	23 Noviembre, 2007	Se presentó el progreso del Estudio. Se recibieron comentarios del lado Colombiano al Informe de JICA y se acordó que los comentarios se tendrían en cuenta en el siguiente informe de JICA.
6	28 Diciembre, 2007	Se discutió sobre cuatro ítems, los cuales fueron criterio de continuidad para este Estudio.
7	7 Julio, 2008	Se explicó el progreso del Plan Maestro.
8	14 Mayo, 2008	Se discutió sobre el contenido del Informe Intermedio entre el lado Colombiano y grupo de Estudio JICA.
9	3 Septiembre, 2008	Contenidos del Estudio de Factibilidad y Proyecto Prioritario fue discutido
10	4 Octubre, 2008	El progreso del Estudio de Factibilidad fue explicado por el Grupo de Estudio y discutido entre ambas partes.

Fuente: Equipo de Estudio JICA. .

3.3 Talleres de Trabajo

Los siguientes talleres han sido llevados a cabo cubriendo todos los aspectos del estudio. Presentadores del Grupo de Estudio de JICA han contribuido a los programas de talleres mostrados a continuación:

Tabla-1.3- 2 Contenido de los 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
WS2-6	Diciembre 4 de 2007	Plan Maestro del abastecimiento de agua en caso de emergencia mediante aguas subterráneas.	Sumario 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
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 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

3.4 Seminario

Primer Seminario de Transferencia Técnica

El primer seminario de transferencia técnica fue realizado el 13 de Mayo de 2008. Las presentaciones fueron realizadas por el Equipo de Estudio y las organizaciones relacionadas. El contenido del seminario se resume en la Tabla-1.3- 3.

Tabla-1.3- 3 Contenido del Primer Seminario de Transferencia Técnica

Hora	Presentación	Ponente	Organización
8:00 - 8:15	Discurso de Apertura	Mr. Kazunori Hayashi	Oficina de JICA Colombia
8:20 - 9:00	Manejo de Recursos Hídricos de la CAR	Mr. Alfredo Molina	CAR
9:05 - 10:20	Recursos de Agua Subterránea y abastecimiento de Agua de emergencia	Mr. Hiroshi Nakamura	Equipo de Estudio JICA
10:50 - 11:30	Área de Protección Forestal en los Cerros Orientales	MS. Myriam Amparo Andrade	CAR
11:35 - 12:15	Propuesta para el abastecimiento de agua de emergencia	Mr. Guillermo Escobar	DPAE
13:25 - 14:05	Situación Actual del Agua Subterránea en Bogotá	Mr. Ismael Martínez	SDA
14:10 - 14:50	Demandas de Agua a largo Plazo de Bogotá	Mr. Néstor Raúl García	Acueducto
14:50 - 15:00	Discurso de Cierre	Mr. 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 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 JICA. La SDA hizo su presentación sobre el ambiente del aguas subterránea actual en la ciudad de Bogotá. El Acueducto realizó una presentación en la historia de demanda de agua en Bogotá y futura demanda.

Hubo un reconocimiento en los participantes al seminario en la necesidad de suministro de agua en emergencia para 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 en emergencia. 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 es también 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-1.3-4.

Tabla-1.3- 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

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.