

CAPÍTULO 5. PLAN DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE BOGOTÁ POR MEDIO DE AGUA SUBTERRÁNEA

5.1. Política Básica del Plan Maestro

5.1.1 Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia

La política básica para el desarrollo de recursos hídricos en este estudio es la siguiente:

<Política Básica para el abastecimiento de agua por medio de Agua Subterránea

El desarrollo de recursos hídricos en el área de Chingaza deberá ser promovida para el abastecimiento sostenible de agua a largo plazo en el área metropolitana de Bogotá. Por otro lado, la conducción de agua desde el área de Chingaza es vulnerable a desastres naturales. Por lo tanto, las instalaciones de abastecimiento en caso de emergencia deberán ser planeadas para el uso de aguas subterráneas alrededor del área metropolitana de Bogotá.

Los antecedentes para la estrategia anterior son los siguientes:

< Plan de desarrollo de Recursos Hídricos a Largo Plazo >

- El desarrollo de recursos hídricos superficiales es necesario para satisfacer la futura demanda de agua en el área metropolitana de Bogotá. Los recursos hídricos superficiales han sido desarrollados a su máxima capacidad y no hay un exceso de potencial para desarrollos posteriores.
- Por lo tanto, el desarrollo de agua superficial en las áreas de Chingaza y Sumapaz deberá ser promovido para satisfacer la demanda de agua hasta el 2050.

< Desarrollo de Recursos Hídricos en el Área de Chingaza >

- El agua de la represa de Chingaza es transportada a través de las montañas hasta Bogotá por un túnel. El volumen de agua transportado actualmente es de 11m³/s aunque su capacidad máxima es de 25m³/s.
- La capacidad restante del túnel, la cual no está en uso, deberá ser usado por los nuevos recursos hídricos desarrollados en el área de Chingaza.
- El desarrollo de recursos hídricos en el área de Chingaza es más efectivo que en otra área. Se le deberá dar una alta prioridad al desarrollo de nuevos recursos hídricos en el área de Chingaza.

Vulnerabilidad del Sistema Chingaza

- A medida que el sistema Chingaza adquiere más importancia, el abastecimiento de agua para Bogotá se vuelve más vulnerable.
- El abastecimiento de agua se detuvo por 9 meses por el colapso del túnel de Chingaza en 1997.
- Existe una nueva posibilidad que el túnel Chingaza colapse en el futuro debido a las consecuencias de un gran terremoto. Los daños por el colapso del túnel serán más serios que la vez anterior.
- La cantidad de agua suministrada por el sistema Chingaza abarca el 70% del abastecimiento total de Bogotá.

< Plan maestro de abastecimiento de agua de emergencia por medio de agua subterránea

- Las fuentes alternativas de agua deberán ser preparadas para un abastecimiento de emergencia de agua, el cual se hace más importante en caso de una interrupción de largo plazo del transporte de agua desde el área de Chingaza.
- El agua subterránea deberá ser usada como fuente alternativa de agua para el abastecimiento de emergencia de agua con unas ventajas que se presentan a continuación
 1. Los Pozos de emergencia serán perforados donde hay una gran demanda de agua.
 2. Los Pozos de emergencia se ubicarán dispersos por Bogotá para mitigar el riesgo.
 3. Los Pozos podrán ser operados por un generador incluso cuando se interrumpa la electricidad.

5.1.2 Abastecimiento normal por medio de agua subterránea

Como se describió en la sección anterior, las instalaciones para el abastecimiento por medio de agua subterránea son para casos de emergencia. Estas instalaciones necesitan ser operadas de vez en cuando para garantizar su mantenimiento. Se ha propuesto que estas instalaciones deberían ser usadas no solo en casos de emergencia, sino también para el abastecimiento normal como se explica a continuación:

Desarrollo de recursos hídricos para el abastecimiento usual de agua

Para el desarrollo de aguas subterráneas, se hace necesaria una nueva inversión para la construcción de pozos. Por otro lado, el Acueducto presenta un excedente de 4.2 m³/s en sus fuentes de agua, el cual no es utilizado actualmente. Esto quiere decir que el Acueducto puede desarrollar más de 4.2 m³/s sin ninguna inversión adicional. Por lo tanto, el agua subterránea no es necesaria para un abastecimiento regular de agua ya que necesita de nueva inversión.

Uso Efectivo de las Instalaciones de Abastecimiento de Agua por medio de Aguas Subterráneas

Sin embargo, el desarrollo de aguas subterráneas es de gran importancia considerando su necesidad en el abastecimiento en caso de emergencia. Por lo tanto, una vez se hayan construido las instalaciones de abastecimiento, éstas deberían ser usadas no solo en casos de emergencia sino también para el abastecimiento normal, si se cumple la siguiente condición:

< Condición para que el agua subterránea pueda ser usada para abastecimiento de agua normal >

Si el costo de operación del abastecimiento de agua por uso de agua subterránea es menor que el costo existente de abastecimiento por uso de agua superficial, el agua subterránea debe ser usada no solo para emergencias sino también para abastecimiento normal de agua.

Los costos de operación de abastecimiento de agua por medio de agua subterránea se consideran más bajos que los de los sistemas de abastecimiento de Tibitóc y del Agregado Sur. De ser así, existe una posibilidad que el agua subterránea pueda ser usada no solo en caso de emergencias sino también como abastecimiento usual como una alternativa a los sistemas de Tibitóc y Agregado Sur.

Revisión del Plan Maestro del Acueducto

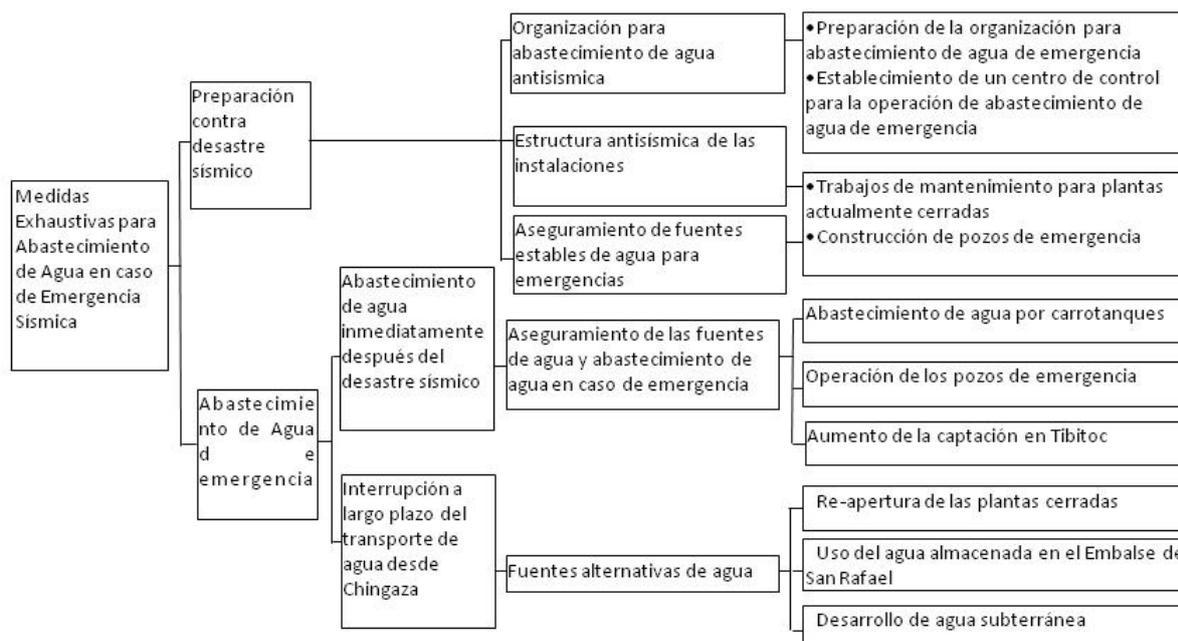
El Acueducto planea revisar su P/M en el 2008 basándose en la nueva proyección de la demanda de agua. El uso que se le de al agua subterránea, ya sea para un abastecimiento normal, deberá ser re-examinado en la revisión de este plan.

5. 2. Plan de Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia

5.2.1. Alternativas para el Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia

(1). Medidas Exhaustivas para el Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia Sísmica

Las medidas exhaustivas propuestas para abastecimiento de agua en casos de emergencia se muestran en la Figura-2.5-1. Las medidas se dividen en 2 categorías, i) la preparación contra un desastre causado por terremotos y ii) el abastecimiento de agua en casos de emergencia. Adicionalmente, el abastecimiento del agua de emergencia se divide en “abastecimiento de agua inmediatamente después del desastre”, y “abastecimiento de agua en caso de interrupción de la conducción a largo plazo”. Para el último caso, es necesario asegurar cuantas fuentes alternativas de agua sean posibles.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

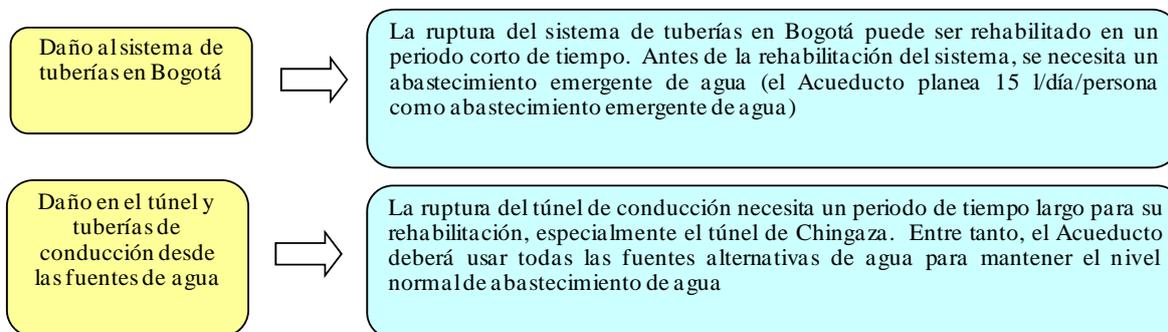
Figura-2.5- 1 Medidas Exhaustivas para el Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia Sísmica

(2). Valoración del Daño al Sistema de Abastecimiento de Agua por Terremoto

Se valoran dos tipos de daño por terremoto para el sistema de abastecimiento de agua en Bogotá.

- Daños al sistema de tuberías en el Área Metropolitana de Bogotá.
- Daños al túnel y tuberías de conducción de agua desde las fuentes de agua.

Se requiere el siguiente abastecimiento de agua emergente respectivamente.



(3). Alternativa para el Abastecimiento de Agua de Emergencia

Las alternativas para el abastecimiento de agua de emergencia se muestran en la Tabla-2.5-1

Tabla-2.5- 1 Abastecimiento de Agua de Emergencia

Daño	Rehabilitación	Abastecimiento de Agua de Emergencia	Fuentes Alternativas de Agua
<p>(1) Daño al sistema de tuberías en el área metropolitana de Bogotá.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sería rehabilitado en un periodo corto de tiempo. • Periodo de rehabilitación depende en la gravedad de los daños (varios días a un mes). 	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimiento de agua mediante carrotanques. • La cantidad de abastecimiento de agua será de 15 litros/día/persona, mínimo para sobrevivir (Plan del Acueducto) 	<p>Las fuentes de agua deben ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agua restante de los reservorios de distribución/tanques de reservas. • Agua subterránea de los pozos de emergencia <p>La Cantidad de agua restante de los reservorios/tanques es desconocida. El agua subterránea de emergencia esta cerca de los 1,4 m³/s.</p>
<p>(2) Daño al túnel y la tubería de conducción desde las fuentes de agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La tubería de conducción de los sistemas de Tibitóc y Agregado Sur será rehabilitada en un periodo corto de tiempo. • La rehabilitación del colapso en el túnel del sistema Chingaza tomará un periodo largo de tiempo. La ultima “Crisis de Chingaza” tomó nueve meses para su rehabilitación. 	<ul style="list-style-type: none"> • El agua almacenada en el embalse de San Rafael puede ser usada por 3 meses • La conducción de agua desde Tibitóc y el sistema Agregado sur se restablecerá gradualmente y la tasa de abastecimiento aumentará • En caso que se prolongue la interrupción del túnel Chingaza, todas las fuentes alternativas de agua deberán ser usadas a su capacidad máxima. Entonces, el abastecimiento de agua puede mantenerse en su nivel normal (14,5 m³/s). 	<ul style="list-style-type: none"> • El agua almacenada en el embalse de San Rafael, cuyo volumen es equivalente a la producción total de 3 meses del Sistema Chingaza. • Sistema Agregado Sur (0,5 m³/s) • Operación al máximo de la Planta de Tibitóc (10,5 m³/s) • Re-apertura de plantas de tratamiento cerradas (1,3 m³/s) • Agua Subterránea de los pozos de emergencia (1,4 m³/s) <p>La cantidad total de agua para abastecer en caso de emergencia por las alternativas anteriormente mencionadas es cerca de 13,3 m³/s. Casi el mismo volumen del abastecimiento habitual.</p>

Fuente: Equipo de Estudio JICA

El escenario de abastecimiento de agua de emergencia después de un gran terremoto se propone a continuación.

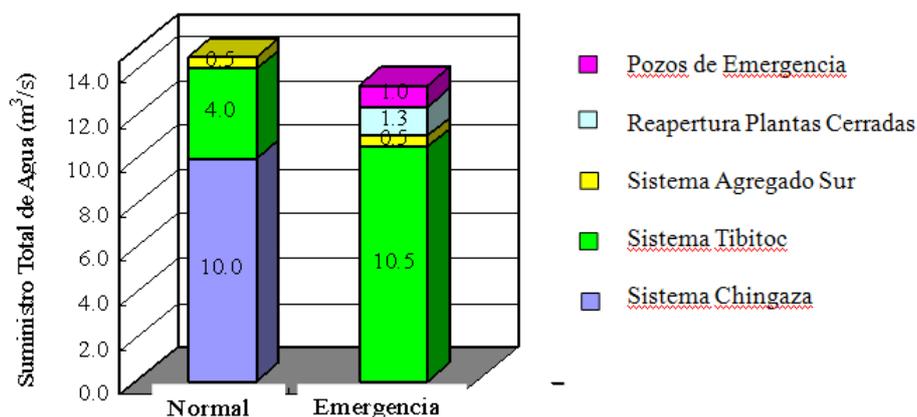
Inmediatamente Después de la Ocurrencia de un Desastre Sísmico

Inmediatamente después de la ocurrencia de un desastre sísmico el agua será distribuida por carrotanques, debido al daño a las tuberías en el área urbana. En este caso, el agua restante en los reservorios/tanques del Acueducto y el agua subterránea de los pozos de emergencia serán las fuentes de agua para el abastecimiento de emergencia.

La cantidad de agua a ser abastecida inmediatamente después de un desastre sísmico deberá ser de 15 litros/día/persona, la cual es la minima para supervivencia humana (objetivo del Acueducto). Si la cantidad de agua a ser bombeada de los pozos de emergencia es de 1,4 m³/s; ésta se puede distribuir a 5.800.000 personas en caso de emergencia. Los trabajos de reparación comenzarán inmediatamente después del desastre sísmico. A medida que las tuberías de conducción y las tuberías principales de distribución sean rehabilitadas gradualmente, la tasa de abastecimiento de agua, a su vez aumentará gradualmente.

Interrupción en la Conducción de Agua a Largo Plazo

Si el túnel de Chingaza colapsa, el abastecimiento de agua se puede ver interrumpido por un periodo largo (Durante La Crisis de Chingaza en 1997, la interrupción del abastecimiento del agua duró 9 meses). En este caso, es necesario usar todas las fuentes alternativas de agua para mantener el abastecimiento normal. El abastecimiento de agua normal es de 14,5 m³/s como se muestra en la Figura-2.5-2, donde el 70% corresponde al sistema Chingaza. Aunque el Sistema Chingaza sea interrumpido, 13.3 m³/s de agua pueden ser suministradas por fuentes alternativas (Figura-2.5-2). Las características de las fuentes alternativas de agua que pueden ser usadas en caso de la interrupción del sistema Chingaza se resumen en la Tabla-2.5-2.



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.5- 2 Fuentes de Agua en Condiciones Normales de Abastecimiento y de Emergencia

Tabla-2.5- 2 Fuentes Alternativas de Agua en Caso de Interrupción de la Conducción de Agua en Chingaza (1)

Recursos Hídricos para Emergencias	Ventajas	Desventajas	Solución
(1) Uso del agua almacenada en el embalse de San Rafael	Si el embalse de San Rafael está lleno, éste puede distribuir la misma cantidad de agua que la planta Wiesner en 3 meses.	<ul style="list-style-type: none"> El agua en el embalse de San Rafael es bombeada a la Planta Wiesner por tres meses cada año durante el mantenimiento del túnel La cantidad de agua a ser usada en emergencias depende de la cantidad de agua restante en la reserva en el momento del desastre sísmico. 	El almacenamiento de agua del Embalse deberá ser recuperado inmediatamente después de 3 meses de bombeo.
(2) Aumento de la captación en la planta de Tibitóc	La capacidad de producción máxima de la planta de Tibitóc aumentando la captación de agua es de 10,5 m ³ /s	<ul style="list-style-type: none"> La cantidad de agua a ser tomada bajo concesión en caso de emergencia no esta claramente estipulada entre la CAR y el Acueducto La cantidad de agua a ser tomada de la planta Tibitóc depende de la descarga natural del río (condiciones naturales) 	<p>El volumen de la concesión de agua para emergencia deberá ser acordado de antemano con la CAR</p> <ul style="list-style-type: none"> La CAR y el Acueducto se encuentran en una discusión legal acerca del volumen de concesión del Río Bogotá y no se ha llegado a un acuerdo hasta el momento. No existe una regulación acerca de la concesión de agua de la Planta de Tibitóc en caso de emergencia.
(3) Sistema Agregado Sur	<p>El Sistema Agregado Sur se puede restaurar rápidamente después de un desastre sísmico.</p> <ul style="list-style-type: none"> Planta El Dorado(0,5 m³/s) Planta Yomasa (0,01 m³/s) <p>La producción total de agua de estas 2 plantas es 0,51 m³/s.</p>	—	—
(4) Re-apertura de plantas de tratamiento de agua cerradas	<p>Re-apertura de plantas de tratamiento cerradas.</p> <ul style="list-style-type: none"> Planta Vitelma (0,9 m³/s) Planta Laguna (0,3 m³/s) Planta San Diego (0,1 m³/s) <p>Producción total de agua 1,3 m³/s.</p>	Las plantas cerradas no han sido operadas por un largo periodo de tiempo, ni se les ha realizado mantenimiento. Por lo tanto la reapertura inmediata después de un terremoto es complicada.	El mantenimiento a las plantas cerradas debe hacerse periódicamente.

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Tabla-2.5-2 Fuentes Alternativas de Agua en Caso de Interrupción de la Conducción de Agua en Chingaza (2)

Recursos Hídricos para Emergencias	Ventajas	Desventajas	Solución
(5) Pozos de Emergencia	<ul style="list-style-type: none"> El riesgo de daño a las fuentes de agua se puede dispersar distribuyendo muchos pozos a lo largo de los cerros orientales y sur. El abastecimiento de energía eléctrica se detendrá en caso de emergencia. Pero el bombeo de los pozos de emergencia puede ser operado por generadores. La posibilidad de que los pozos colapsen en un terremoto es baja. La cantidad de agua a ser suministrada por los pozos de emergencia se estima en mas de 1,0 m³/s. 	<ul style="list-style-type: none"> Se requiere una nueva inversión para la construcción de pozos de emergencia. Se requiere un mantenimiento regular de los pozos de emergencia. La cantidad de agua a ser suministrada por los pozos de emergencia depende del potencial de desarrollo de agua subterránea. 	<ul style="list-style-type: none"> El mantenimiento de los pozos de emergencia debe ser realizado periódicamente. En lo posible, los pozos de emergencia deberían ser usados también para el abastecimiento regular de agua, para su mantenimiento.
Cantidad total de agua a ser suministrada en emergencias	<ul style="list-style-type: none"> Durante la interrupción del sistema Chingaza, el abastecimiento normal continuaría por tres meses usando el agua almacenada en el embalse de San Rafael. Después de esto se puede mantener un abastecimiento de 12,4 m³/s (ver numeral 2 - 4). Añadiendo la producción de agua de los pozos de emergencia, el abastecimiento total será mayor a 13,4 m³/s. Casi igual al abastecimiento de agua normal (=14,5 m³/s). 		

Fuente: Equipo de Estudio JICA

5.2.2. Evaluación del Plan Alternativo

El plan alternativo para abastecimiento de agua en caso de emergencia se evalúa a continuación (Tabla-2.5-3)

Tabla-2.5- 3 Evaluación del Plan de Abastecimiento en Caso de Emergencia

Alternativa	Estabilidad de las fuentes de agua en Emergencia		Costo (Nueva inversión)	Producción de Agua
	Inmediatamente después del desastre (hasta 1 semana)	Periodo de emergencia prolongado (hasta 9 meses)		
(a) Uso del agua almacenada en el Embalse de San Rafael	Inestable (se esperan daños a las instalaciones)	Estable por 3 meses	No es necesario	Grande (10 m ³ /s × 3 meses)
(b) Aumento de la Captación en la Planta de Tibitóc	Inestable (se esperan daños a las instalaciones)	Estable	No es necesario	Grande (10,5 m ³ /s)
(c) Sistema Agregado Sur	Inestable (se esperan daños a las instalaciones)	Estable	No es necesario	Pequeña (0,51 m ³ /s)
(d) Re-apertura de las plantas de tratamiento cerradas	Inestable (se esperan daños a las instalaciones)	Estable	Necesario (para mantenimiento)	Pequeña (1,3 m ³ /s)
(e) Pozos de emergencia.	Estable (abastecimiento de agua puntual en los pozos)	Estable	Necesario	Pequeña (1,5 m ³ /s)

Como se muestra en la Tabla-2.5-3, las alternativas (a) y (b), son las más eficientes en términos de costo y cantidad de agua producida. Por otro lado la alternativa (e), es más estable que las otras, ya que los pozos de emergencia pueden ser dispersos de manera que cubran toda la ciudad, lo cual es más útil para abastecer agua inmediatamente después de un desastre grave.

El abastecimiento mediante agua subterránea puede ser el más efectivo durante pequeños periodos de tiempo justamente después del desastre. Sin embargo, a medida que se recuperan las instalaciones de abastecimiento, las otras alternativas se vuelven más efectivas que los pozos de emergencia.

En caso de una interrupción prolongada en la conducción de agua desde el Sistema Chingaza (colapso del túnel de Chingaza), todas las alternativas son necesarias para equilibrar el déficit de agua de Chingaza. Por lo tanto, se propone que todas las alternativas propuestas en la Tabla-2.5-3 sean aplicadas para el abastecimiento de agua de emergencia.

5.3. Demanda de Agua Subterránea

El objetivo del desarrollo de aguas subterráneas es asegurar y suministrar agua en caso de una emergencia causada por un desastre natural, tal como un gran terremoto. Por lo tanto, el uso de agua subterránea deberá ser considerado como una fuente alternativa de agua para abastecimiento de emergencia y por lo tanto debe ser incluida en los planes de contingencia del Acueducto.

La demanda de agua subterránea en emergencias se estima por separado en dos escenarios:

- Escenario 1: Daño en las redes de distribución de Bogotá
- Escenario 2: Daño a la conducción de agua desde Chingaza.

Demanda del Escenario 1

Se estima con base en el volumen mínimo de agua estimado por el Acueducto para emergencias de 15 litro/día/persona, correspondiente al 15% del consumo habitual por habitante en Bogotá (90-110 litros/día/persona).

Demanda del Escenario 2

Se estima teniendo en cuenta la operación máxima de abastecimiento de otras plantas tales como Tibitóc, Vitelma, Yomasa y el Dorado.

La Tabla-2.5-4 muestra la demanda de agua subterránea para dos casos en el 2007 y el 2020.

Tabla-2.5- 4 Demanda de Agua Subterránea en Caso de Emergencia

Escenario	Periodo de Rehabilitación	Base de la Estimación		Demanda de Agua Subterránea
		Por persona/día (a)	Población de Bogotá (b)	
1. <Escenario 1> Daño en las Redes de Distribución	60 días	Año 2007	15 litros ¹⁾	6,8 millones ²⁾
		Año 2020		9,7 millones ³⁾
				= (a) x (b)
2. <Escenario 2> Daños al túnel de conducción del Sistema Chingaza	9 meses	Demanda Total (c)		Abastecimiento Máximo de las otras plantas (d)
		Año 2007	14,5 m ³ /s	Tibitóc (10,5 m ³ /s), Agregado Sur (0,5 m ³ /s) otras (1,3 m ³ /s)
		Año 2020	18,4 m ³ /s ⁴⁾	
				= (c) – (d)

Nota: 1) Volumen esperado del Acueducto, 2) Estimado a partir del censo del 2005, 3) “Proyecciones de la población, 2003” de Humberto Molina, 4) Plan Maestro del Acueducto 2005.

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

La WHO (Organización Mundial de la Salud, siglas en inglés) establece en sus “notas técnicas para emergencias” la cantidad mínima de agua necesaria para uso domestico en caso de emergencia. Esta cantidad es de 20 litros/día/persona para supervivencia a corto tiempo incluyendo agua para tomar y cocinar. El siguiente es un ejemplo a manera de referencia, del abastecimiento de agua de emergencia en Japón.

<p>Abastecimiento de Agua en caso de Emergencia Fuente: Estudio de la Prevención de Desastres en el Área Metropolitana de Bogotá, JICA, Marzo 2002</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Abastecimiento de agua de manera gradual conforme al tiempo acumulado de ocurrencia del desastre <ul style="list-style-type: none"> - Suministrar un volumen de agua suficiente para la supervivencia por conducción manual dentro de 3 días posteriores al desastre - Comenzar el abastecimiento temporal de agua dentro de las 2 semanas siguientes al desastre - Mantener el sistema de abastecimiento de agua para su funcionamiento normal y reforzarlo para ampliar su capacidad de abastecimiento. 2. Volúmenes Mínimos de Abastecimiento de Agua <ul style="list-style-type: none"> - Hasta el 3^{er} día: 3 litros/día/persona - Desde el 4^{to} al 10^{mo} día: 20 a 30 litros/día/persona - Desde el 11^{vo} al 20^{vo} día: 30 a 40 litros/día/persona

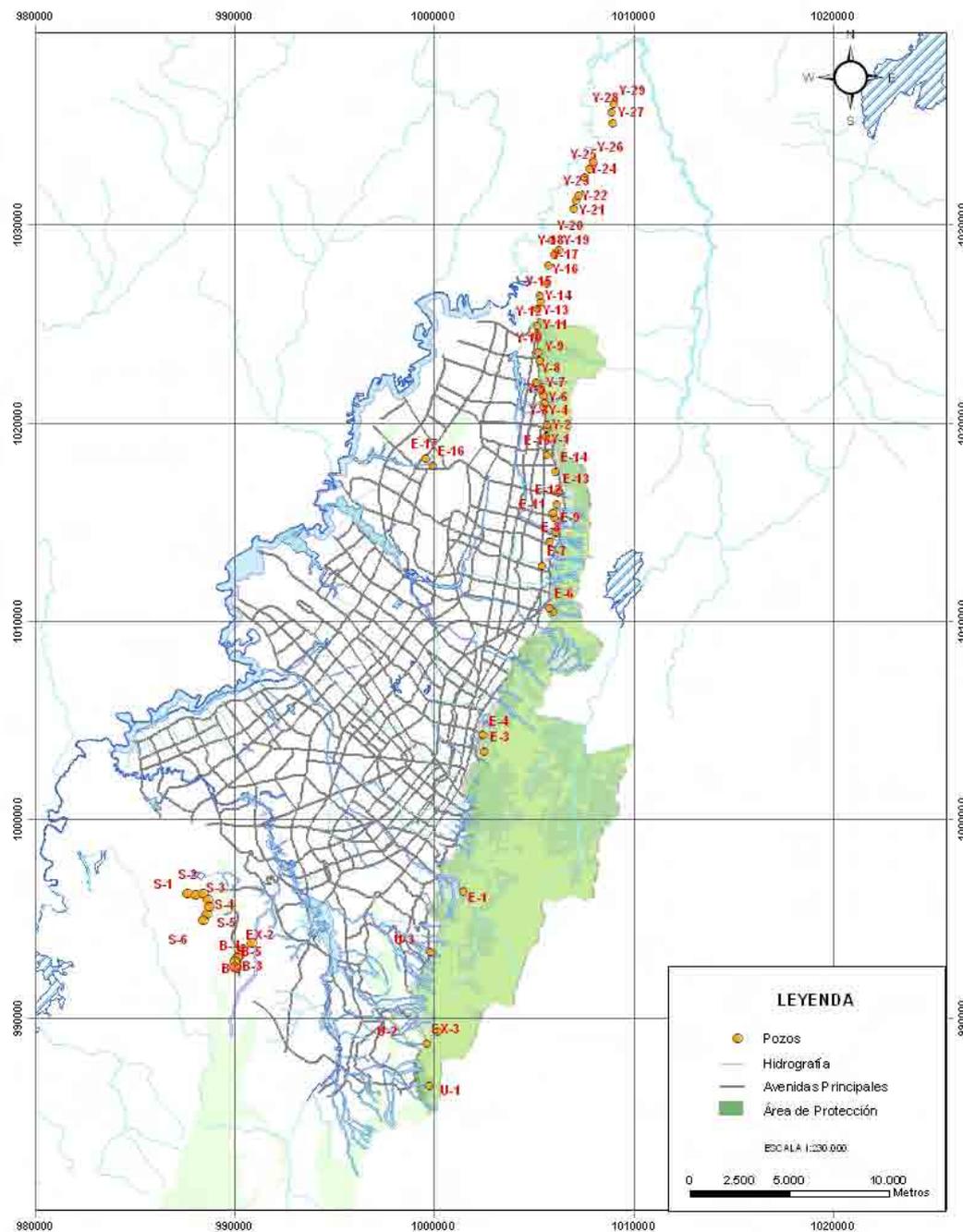
5.4. Simulación de Aguas Subterránea

5.4.1 Pozos de Producción

(1). Ubicación de los Pozos

La ubicación de los pozos se planeó considerando el abastecimiento de agua en caso de emergencia. Se propuso un total de 62 pozos de los cuales 4 ya existen. La ubicación de los pozos propuestos se muestra en la Figura-2.5-3 y en la Tabla-2.5-5.

La ubicación de los pozos se propone de acuerdo a un análisis exhaustivo resultado de estudios topográficos, geológicos, hidrogeológicos y geofísicos incluyendo los resultados de perforaciones exploratorias anteriores.



Fuente: Equipo de Estudio JICA.

Figura-2.5- 3 Ubicación de los Pozos

Tabla-2.5- 5 Pozos Propuestos (1)

Tipo	Proyecto	Área	No.	Latitud	Longitud	Elevación	Geología Superficial
						(m.s.n.m.)	
Pozos propuestos para Abastecimiento de Agua de Emergencia	Cerro Orientales	Bogotá	E-1	4°33'46,8"N	74°03'55,2"W	2.810	K2d, costado de la falla del Bogotá
			E-2	4°36'08,9"N	74°03'39,5"W	2.680	K2E1g, Muro espaldar de la falla de Bogotá
			E-3	4°37'37,4"N	74°03'18,7"W	2.825	K2d, cerca al limite geológico de K2p
			E-4	4°38'04,4"N	74°03'20,7"W	2.768	K2E1g, Muro espaldar de la falla de Bogotá
			E-5	4°41'25,1"N	74°01'28,7"W	2.686	K2t, Muro espaldar de la falla E-W
			E-6	4°41'34,1"N	74°01'32,6"W	2.643	K2t, sobre la falla E-W
			E-7	4°42'43,2"N	74°01'44,3"W	2.583	Q2c(K2t)
			E-8	4°43'22,7"N	74°01'32,9"W	2.583	Q2c(K2t)
			E-9	4°43'38,4"N	74°01'22,5"W	2.597	K2t
			E-10	4°44'01,6"N	74°01'24,4"W	2.587	K2t
			E-11	4°44'09,6"N	74°01'26,4"W	2.577	Q2c(K2t)
			E-12	4°44'24,6"N	74°01'20,9"W	2.583	Q2c(K2t)
			E-13	4°44'42,8"N	74°01'19,2"W	2.592	Q2c(K2t)
			E-14	4°45' 17,4"N	74°01'22,5"W	2.605	Q2c(K2t)
			E-15	4°45'45,5"N	74°01'36,8"W	2.578	Q2c(K2t)
			E-16	4°45' 27,0"N	W74°04'42,2"	2.581	Q2c(K2t)
			E-17	4°45' 40,0"N	W74°04'53,4"	2.575	Q2c(K2t)
			Y-1	4°46'14,1"N	74°01'38,4"W	2.570	Q2c(K2t)
	Y-2	4°46'28,3"N	74°01'36,9"W	2.571	Q2c(K2t)		
	Y-3	4°46'34,6"N	74°01'35,8"W	2.571	Q2c(K2t)		
	Y-4	4°47'04,4"N	74°01'42,3"W	2.575	Q2c(K2p)		
	Y-5	4°47'10,5"N	74°01'40,4"W	2.582	Q2c(K2p)		
	Y-6	4°47'21,3"N	74°01'42,9"W	2.571	Q2c(K2p)		
	Y-7	4°47'32,2"N	74°01'45,9"W	2.573	Q2c(K2p)		
	Y-8	4°47'44,9"N	74°01'53,8"W	2.581	Q2c(K2t)		
	Y-9	4°48'20,5"N	74°01'48,5"W	2.568	K2t		
	Y-10	4°48'34,4"N	74°01'50,3"W	2.570	Q2c, Q2ch		
	Y-11	4°49'02,2"N	74°01'51,6"W	2.569	Q2c, Q2ch		
	Y-12	4°49'17,7"N	74°01'53,4"W	2.586	K2t, lado occidental del anticlinal		
	Y-13	4°49'45,4"N	74°01'51,7"W	2.566	K2t, lado occidental del anticlinal		
Y-14	4°49'57,4"N	74°01'48,4"W	2.564	K2t, lado occidental del anticlinal			
Y-15	4°50'07,1"N	74°01'47,7"W	2.558	K2t, lado occidental del anticlinal, a lo largo del lineamiento			
Y-16	4°50'27,2"N	74°01'36,2"W	2.564	K2t, lado occidental del anticlinal			
Y-17	4°50'55,6"N	74°01'35,4"W	2.556	K2t, lado occidental del anticlinal, a lo largo del lineamiento			
Y-18	4°51'15,1"N	74°01'25,6"W	2.571	K2t, lado occidental del anticlinal, a lo largo del lineamiento			
	Yerbabuena	Chía					

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

Tabla-2.5-5 Pozos Propuestos (2)

Tipo	Proyecto	Área	No.	Latitud	Longitud	Elevación	Geología Superficial	
						(m.s.n.m.)		
Pozos propuestos para Abastecimiento de Agua de Emergencia	Yerba buena	Chía	Y-19	4°51'21,4"N	74°01'17,6"W	2.617	K2t, lado occidental del anticlinal	
			Y-20	4°51'38,8"N	74°01'28,8"W	2.577	K2E1g	
			Y-21	4°52'29,5"N	74°00'53,8"W	2.570	K2t, lado occidental del anticlinal, a lo largo del lineamiento	
	Yerbabuena	Sopo	Y-22	4°52'43,5"N	74°00'48,4"W	2.566	K2t, lado occidental del anticlinal, a lo largo del lineamiento	
			Y-23	4°52'52,3"N	74°00'45,6"W	2.563	K2t, lado occidental del anticlinal, a lo largo del lineamiento	
			Y-24	4°53'21,3"N	74°00'34,8"W	2.557	Q1sa(K2t)	
			Y-25	4°53'35,2"N	74°00'26,9"W	2.559	Q1sa(K2t)	
			Y-26	4°53'46,8"N	74°00'22,6"W	2.559	Q1sa(K2t)	
			Y-27	4°54'49,5"N	73°59'50,3"W	2.558	Q1sa(K2d), lado occidental del anticlinal	
			Y-28	4°55'08,5"N	73°59'51,1"W	2.554	Q1sa(K2d), lado occidental del anticlinal	
			Y-29	4°55'21,2"N	73°59'47,8"W	2.561	K2d, lado occidental del anticlinal	
			Usme	Bogotá	U-1	4°29'46,7"N	74°04'48,1"W	3.113
	U-2	4°29'55,6"N			74°04'45,9"W	3.141	E1b, al lado de la falla de Bogotá	
	U-3	4°30'46,9"N			74°05'00,6"W	3.147	Q1si(E1b), Muro espaldar de la falla de Bogotá	
	U-4	4°30'52,6"N			74°05'01,8"W	3.139	Q1si(E1b), Muro espaldar de la falla de Bogotá	
	Soacha	Soacha	S-1	4°33'43,3"N	74°11'20,8"W	2.746	K2d, lado occidental del anticlinal	
			S-2	4°33'42,2"N	74°11'08,2"W	2.760	K2d, lado occidental del anticlinal	
			S-3	4°33'43,3"N	74°10'56,4"W	2.748	K2d, eje del anticlinal	
			S-4	4°33'33,6"N	74°10'47,6"W	2.762	K2d, lado oriental del anticlinal	
			S-5	4°33'08,9"N	74°10'49,9"W	2.809	K2d, costado de la falla	
			S-6	4°33'00,4"N	74°10'56,3"W	2.837	K2d, costado de la falla	
	Ciudad Bolívar	Bogotá	B-1	4°32'21,9"N	74°09'37,7"W	2.835	K2p, lado oriental del anticlinal	
			B-2	4°32'02,7"N	74°09'56,1"W	2.907	K2p, eje del anticlinal	
			B-3	4°31'58,2"N	74°10'01,4"W	2.918	K2p, eje del anticlinal	
	Pozos Exploratorios	S ¹⁾	S ²⁾	EX-1	4°33'21,7"N	74°10'46,4"W	2.786	K2d, costado de la falla
		B ¹⁾	Bo ²⁾	EX-2	4°32'14,4"N	74°09'51,7"W	2.867	K2p, eje del anticlinal
		U ¹⁾		EX-3	4°29'38,1"N	74°04'51,5"W	3.073	E1b, Muro espaldar de la falla de Bogotá
	Pozos Adicionales	Usme	Bogotá	U-101	4°28'28,8"N	74°04'48,6"W	3.210	K2d, costado de la falla de Bogotá
				U-102	4°29'57,7"N	74°04'35,6"W	3.243	K2d, costado de la falla de Bogotá
				U-103	4°32'07,9"N	74°04'47,2"W	3.022	K2d, al lado de la falla de Bogotá
Cerros Orientales		Bogotá	E-104	4°37'03,7"N	74°03'32,3"W	2.732	K2E1g, Muro espaldar de la falla de Bogotá	
			E-105	4°37'05,7"N	74°03'28,2"W	2.747	K2E1g, Falla de Bogotá	
			E-101	4°36'01,3"N	74°03'3,3"W	2.743	K2d, sobre la falla (E-W)	
			E-102	4°37'24,1"N	74°03'22,8"W	2.709	K2d, costado de la falla de Bogotá	
			E-103	4°38'56,6"N	74°02'51,6"W	2.723	K2d, costado de la falla de Bogotá	

Leyenda Geológica

Nota-1) U: Usme, B: Ciudad Bolívar, S: Soacha, Bo: Bogotá.

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

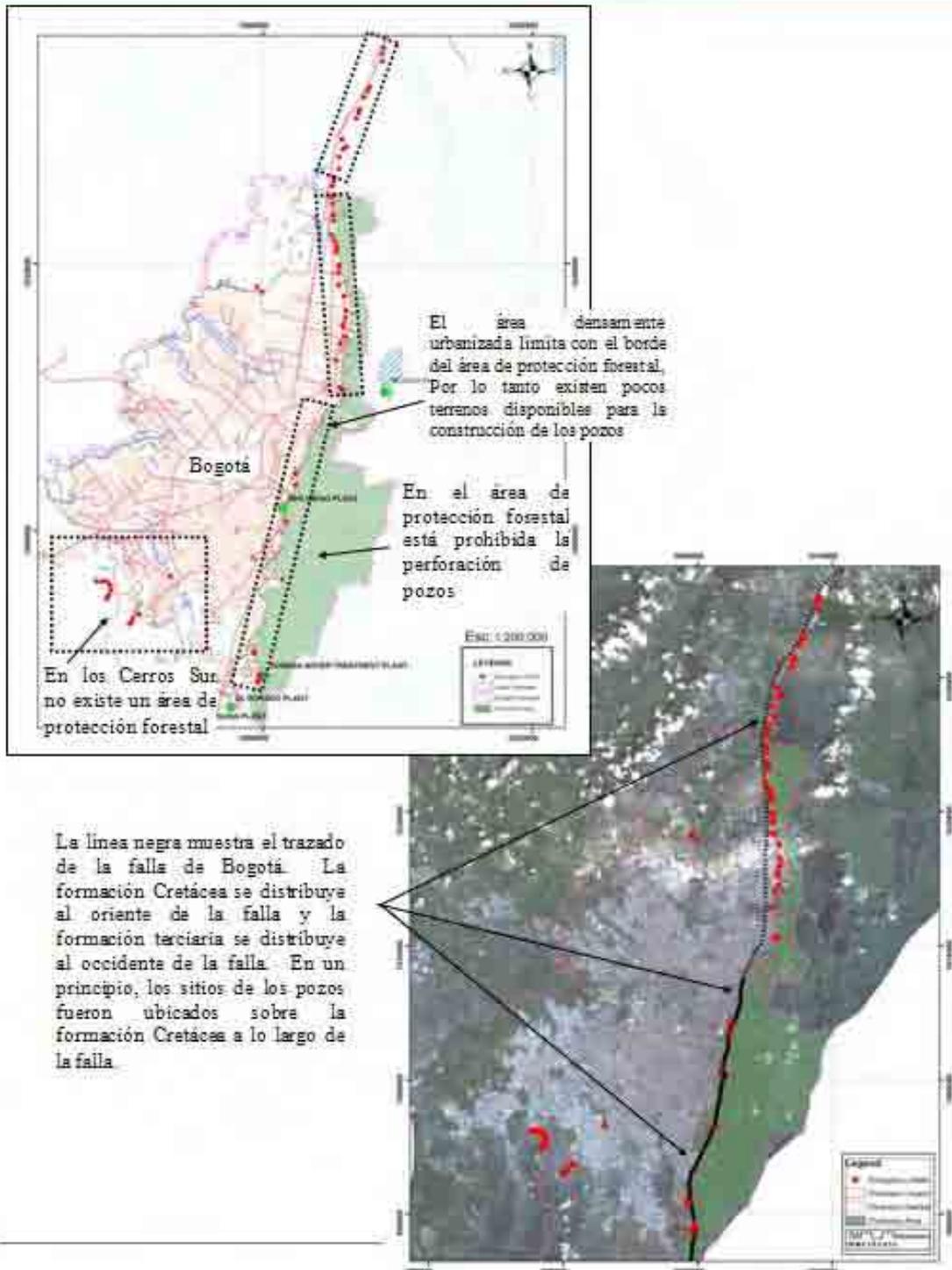
Tabla-2.5- 6 Condiciones Básicas y Criterios De Selección De La Ubicación De Los Pozos

Condición/Restricción	Detalles
Hidrogeología	<ul style="list-style-type: none"> • El objetivo del desarrollo de agua subterránea debe ser el grupo Guadalupe del Cretáceo en los cerros orientales y sur. • Los pozos deben estar ubicados cerca del eje anticlinal de una gran falla. Además en el área de distribución de un estrato rico en areniscas. • Los pozos deben estar distribuidos en una zona amplia de la cuenca con alta capacidad de recarga. • Los pozos deben estar ubicados lejos de áreas inestables, tales como aquellas propicias a deslizamiento, colapso o flujos de escombros etc. • Los pozos deben estar dispersos en un área amplia para prevenir abatimientos severos por interferencia de pozos. La distancia entre los pozos debe ser mayor a 250 m.
Reducción del Riesgo	Los pozos deben estar distribuidos ampliamente a lo largo de los cerros orientales y sur. Esta distribución reduce los riesgos de daño a las instalaciones por terremoto.
Medio Ambiente	El área de protección forestal se ubica sobre los cerros orientales donde el desarrollo de aguas subterráneas está restringido. Los pozos deben estar ubicados fuera del área de protección.
Consecución del Terreno	La construcción de los pozos está planeada donde sea posible obtener el terreno.
Diseño de las Instalaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Los pozos serán ubicados cerca de tanques existentes lo cual facilita la conexión entre los pozos y los tanques existentes. • El lugar donde se ubicarán los pozos deberá tener vías de acceso para facilitar el acceso de la torre de perforación.

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

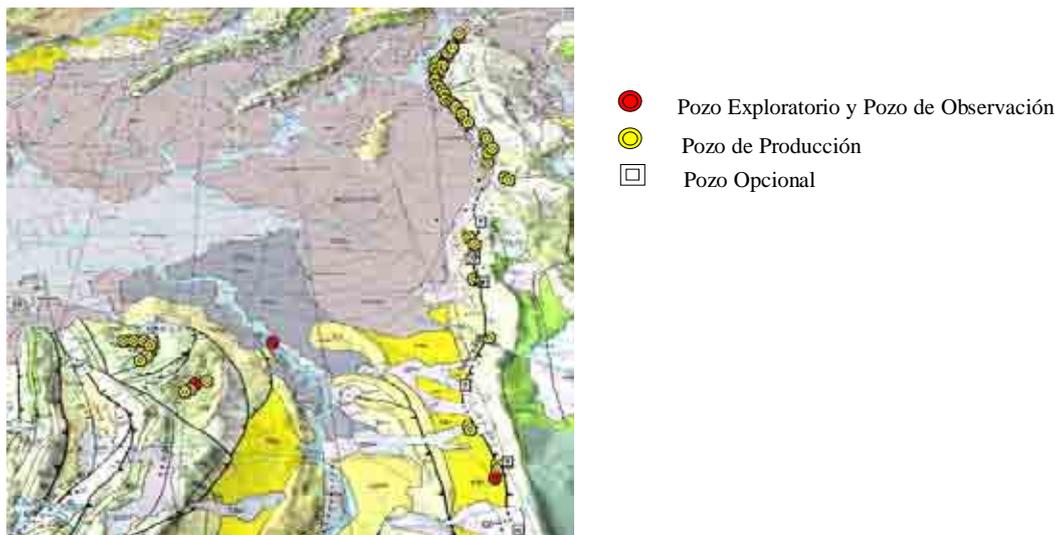
La ubicación de los pozos seleccionados se muestra en la Figura-2.5-4. En esta Figura se muestra la zona de protección forestal y el área densamente urbanizado, donde el espacio es muy reducido para la construcción de pozos. Cualquier construcción ó desarrollo dentro de esta área de protección está prohibido.

Adicionalmente es difícil encontrar terrenos para la construcción de pozos en donde las zonas altamente urbanizadas limitan con el área de protección. La ubicación de los pozos se encuentra fuera de la zona de protección forestal (ver Figura-2.5-4). La relación entre la ubicación de los pozos y la geología se muestra en la Figura-2.5-5.



Fuente: Equipo de Estudio JICA.

Figura-2.5- 4 Área de Protección Forestal y Área Densamente Urbanizada



Fuente: INGEOMINAS arreglos Equipo de Estudio JICA.

Figura-2.5- 5 Ubicación de los Pozos Propuestos

(2). Pozos en Área de Protección Forestal

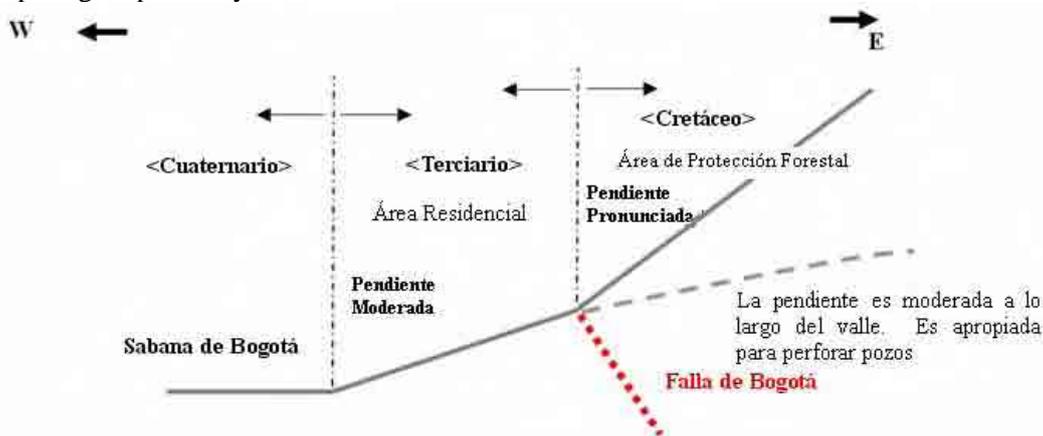
Cualquier actividad para desarrollo económica esta actualmente prohibida dentro del área de protección forestal por los Cerros Orientales. Por otro lado, existen varios lugares adecuados para perforar pozos dentro de esta zona de protección forestal. Las ventajas de esta zona para perforar son las siguientes:

- El área es favorable para perforar desde el punto de vista hidrogeológico.
- El área esta cerca a Bogota favoreciendo el acceso y suministro rápido en caso de emergencia.
- Existen muchas propiedades del Acueducto dentro del área de protección forestal. La adquisición de tierra para la construcción de infraestructuras para suministro de agua es mucho más fácil dentro del área de protección forestal.

Las características hidrogeológicas del área de protección forestal son las siguientes:

Características Geológicas

La falla de Bogotá forma un límite geológico entre el Cretáceo y el Terciario, ver Figura-2.5-6. Al oeste de la falla de Bogota, el Terciario se distribuye con una pendiente suave debido a la baja resistencia de las rocas Terciarias a la erosión. Por otro lado al este de la falla de Bogotá el Cretáceo se distribuye con una pendiente muy empanada debido a la alta resistencia de las rocas cretáceas a la erosión. Como resultado, el área del Terciario es relativamente plana en donde área residencial es desarrollada. En el área del Cretáceo solo hay bosques sin desarrollo urbano. Esta es el área forestal protegida por la ley.



Fuente: Equipo de Estudio JICA.

Figura-2.5- 6 Criterio para Perforar en los Cerros Orientales

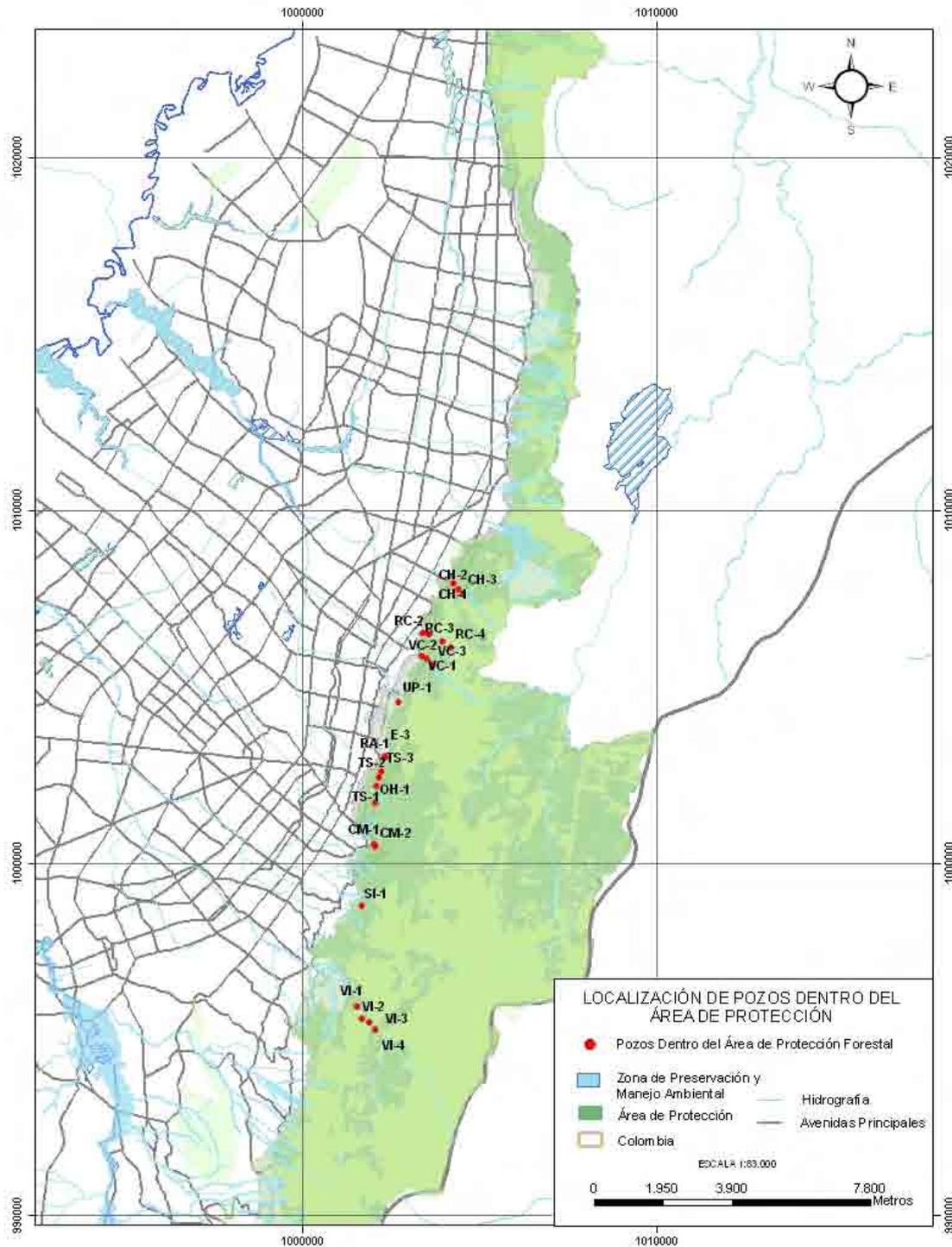
Las ubicaciones donde se podría perforar dentro del área de protección forestal se encuentran en la Tabla-2.5-7 y en la Figura-2.5-7. La perforación de pozos dentro del área de protección forestal no está actualmente permitida por la ley.

Tabla-2.5- 7 Ubicación de Posibles Pozos dentro del Área de Protección Forestal

Lugar	No.	Coordenada		Elevación	Marca	Nota	
		Latitud	Longitud				
San Cristóbal	Vitelma	VI-1	N 4°33' 33.5"	W 74°03' 48.0"	2,881	K2d	Propiedad Acueducto
		VI-2	N 4°33' 23.3"	W 74°03' 44.2"	2,911	K2d	Propiedad Acueducto
		VI-3	N 4°33' 19.1"	W 74°03' 37.3"	2,918	K2d	Propiedad Acueducto
		VI-4	N 4°33' 12.8"	W 74°03' 31.2"	2,921	K2d	Propiedad Acueducto
Santa Fe	Santa Isabel	SI-1	N 4°35' 07.1"	W 74°03' 44.3"	2,871	K2d	Propiedad Acueducto
	Casa Molino	CM-1	N 4°36' 04.5"	W 74°03' 33.0"	2,715	K2d	Propiedad Acueducto
		CM-2	N 4°36' 01.6"	W 74°03' 31.5"	2,728	K2d	Propiedad Acueducto
	Tanque Silencio	TS-1	N 4°36' 57.8"	W 74°03' 31.6"	2,79	K2d	Propiedad Acueducto
		TS-2	N 4°37' 06.2"	W 74°03' 28.4"	2,771	K2d	Propiedad Acueducto
		TS-3	N 4°37' 10.8"	W 74°03' 25.8"	2,774	K2d	Propiedad Acueducto
	Olaya Herrera	OH-1	N 4°36' 42.0"	W 74°03' 31.4"	2,8	K2d	-
Rio Arzobispo	RA-1	N 4°37' 24.3"	W 74°03' 22.9"	2,721	K2d	-	
Chapinero	Universidad. Politécnica	UP-1	4 ° 38'16.0"N	74 ° 03'10.0"W	2,725	K2d	-
	Quebrada La Vieja	VC-1	N 4°38' 57.6"	W 74°02' 48.9"	2,733	K2d	Propiedad Acueducto
		VC-2	N 4°38' 55.7"	W 74°02' 44.4"	2,757	K2d	Propiedad Acueducto
		VC-3	N 4°38' 50.1"	W 74°02' 38.9"	2,777	K2d	Propiedad Acueducto
	Quebrada Rosales	RC-1	N 4°39' 18.6"	W 74°02' 48.0"	2,722	K2d	-
		RC-2	N 4°39' 17.8"	W 74°02' 41.9"	2,774	K2d	-
		RC-3	N 4°39' 10.6"	W 74°02' 30.3"	2,827	K2d	-
		RC-4	N 4°39' 05.2"	W 74°02' 22.8"	2,857	K2d	-
	Chico	CH-1	N 4°40' 05.0"	W 74°02' 20.5"	2,709	K2t	Propiedad Acueducto
		CH-2	N 4°39' 59.7"	W 74°02' 15.6"	2,748	K2t	Propiedad Acueducto
CH-3		N 4°39' 55.3"	W 74°02' 11.3"	2,757	K2t	-	
Usaquén	Escuela de Caballería (Militar)	EC-1	N 4°40' 49.8"	W 74°02' 14.4"	2,6	K2t	Propiedad Militar
		EC-2	N 4°40' 53.3"	W 74°02' 06.5"	2,613	K2t	Propiedad Militar
		EC-3	N 4°40' 55.9"	W 74°02' 01.6"	2,618	K2t	Propiedad Militar

Leyenda	Q2c,Q2ch	Cuaternario	K2t	Labor & Tierra (Cretáceo)
	E1b	Bogotá (Terciario)	K2p	Plaeners (Cretáceo)
	K2E1g	Guaduas (Terciario)	Ksd	Dura (Cretáceo)

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

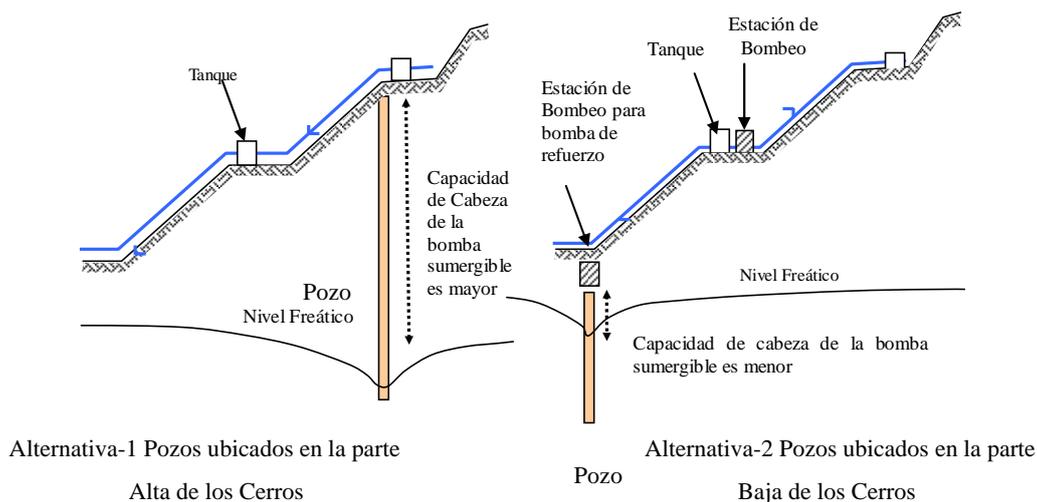


Fuente: Equipo de Estudio JICA.

Figura-2.5- 7 Ubicación de Posibles Pozos Dentro del Área de Protección Forestal

(3). Ubicación de los Pozos en la Ladera de los Cerros

Principalmente los pozos se ubicarán a lo largo de la ladera de los cerros. Los costos de construcción y operación de los pozos dependen de la parte de la ladera donde se ubiquen como se muestra en la Figura-2.5.8.



Fuente: Equipo de Estudio JICA.

Figura-2.5- 8 Alternativas para la Ubicación de los Pozos

Como se muestra en la Tabla-2.5-8 los pozos deben estar ubicados en la parte baja de los cerros. El agua subterránea será bombeada por bombas sumergibles desde cada pozo hacia un tanque en la superficie. Después el agua en el tanque será bombeada para ser elevada a la parte alta de los cerros mediante una bomba elevadora de presión, lo cual es más eficiente en costos de operación que bombear agua subterránea directamente de un pozo a la parte alta de los cerros.

Tabla-2.5- 8 Alternativas para la Ubicación de los Pozos

Alternativa	Ubicación del Pozo	Condición Hidrogeológica		Costo del Pozo	Costo de Operación		Protección Forestal	Evaluación
		Nivel Freático	Profundidad del Pozo		Tipo de Bombeo	Costo de Bombeo		
Alternativa-1	Parte Media a Alta de los Cerros	Profundo	Más Largo	Más costoso	Bomba Sumergible de Pozo	Alto	Dentro del Área de Protección	No es Buena
Alternativa-2	Parte Baja de los Cerros	Menos Profundo	Más Corto	Menos Costoso	Bomba Sumergible de pozo + Bomba elevadora de presión	Barato	Fuera del Área de Protección	Buena

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

(4). Número de Pozos

El número de pozos se decidió con base en los siguientes principios:

- Para minimizar el abatimiento del nivel freático la producción de cada pozo deberá ser reducida, aumentando en el número de pozos.
- La producción de cada pozo debe estar entre 1.500 y 3.000 m³/día teniendo en cuenta la capacidad del acuífero Cretáceo, al igual que el diámetro estándar de los pozos y la capacidad disponible de la bomba sumergible. La relación entre el número de pozos y la producción total de los pozos se muestra en la Tabla-2.5-9. La parte amarilla de la Tabla-2.5-9 expresa la producción deseada de los pozos.
- Por otro lado un aumento en el número de pozos implica un aumento en los costos de construcción de pozos e instalaciones.

Tabla-2.5- 9 Relación Entre el Número de Pozos y la Producción Total de los Pozos

Alternativa	Producción Total de los pozos (m ³ /s)	Número de Pozos*								
		40	50	60	70	80	90	100	110	120
Alternativa-1	1	2.160	1.728	1.440	1.234	1.080	960	864	785	720
Alternativa-2	2	4.320	3.456	2.880	2.469	2.160	1.920	1.728	1.571	1.440
Alternativa-3	3	6.480	5.184	4.320	3.703	3.240	2.880	2.592	2.356	2.160
Alternativa-4	4	8.640	6.912	5.760	4.937	4.320	3.840	3.456	3.142	2.880
Alternativa-5	5	10.800	8.640	7.200	6.171	5.400	4.800	4.320	3.927	3.600
Alternativa-6	6	12.960	10.368	8.640	7.406	6.480	5.760	5.184	4.713	4.320

Producción Deseable del Pozo: 1.500-3.000 m³/día * Producción en m³/día

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

En este Estudio se proponen 62 pozos. De acuerdo a la relación de la Tabla-2.5.9 la producción ideal para 62 pozos está entre 1 y 2 m³/s. El número total de pozos se ve limitado principalmente por la restricción de lugares para su construcción. Sin embargo la producción apropiada de agua subterránea a ser desarrollada depende del potencial de desarrollo y no del número de pozos.

5.4.2 Producción Óptima

(1). Demanda de Agua Subterránea

El objetivo principal del desarrollo de aguas subterráneas propuesto en este Estudio es el abastecimiento de agua en caso de emergencia. La cantidad de agua subterránea a ser desarrollada será decidida de acuerdo a la demanda de agua en caso de emergencia. La producción de los pozos de emergencia se planea de acuerdo al escenario de emergencia como se muestra en la Tabla-2.5-10.

Tabla-2.5- 10 Producción Necesaria de Los Pozos de Emergencia

Escenario de Emergencia		Periodo de Abastecimiento de Agua de Emergencia	Demanda de Agua Subterránea	
			Año	Abastecimiento de Agua
Escenario-1	Daños a las tuberías de Distribución de Bogotá	Periodo Corto (10 días)	2007	1,18 m ³ /s
			2020	1,68 m ³ /s
Escenario-2	Daño en el túnel de conducción de Chingaza	Periodo Largo (9 meses)	2007	2,2 m ³ /s
			2020	6,1 m ³ /s

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Como se muestra en la Tabla-2.5-10 la producción necesaria de los pozos de emergencia está entre 1,18 y 6,1 m³/s, dependiendo del escenario y año de la emergencia.

(2). Producción Óptima

La producción óptima de los pozos está restringida por el potencial de desarrollo de agua subterránea. Ésta se decidirá considerando cuidadosamente el impacto del bombeo sobre el nivel freático. Para decidir la producción óptima, se examinaron seis alternativas de producción (ver Tabla-2.5-11). El abatimiento del nivel freático para cada alternativa de producción fue analizado mediante una simulación de aguas subterráneas.

Tabla-2.5- 11 Alternativas de producción de los pozos

Alternativa	Producción Total (m ³ /s)	Producción por pozo (El número total de pozos es de 6)	Anotaciones
Alternativa-1	1	1.400 m ³ /día	= corresponde al escenario-1 en el 2007
Alternativa-2	2	2.800 m ³ /día	
Alternativa-3	3	4.300 m ³ /día	
Alternativa-4	4	5.600 m ³ /día	
Alternativa-5	5	7.000 m ³ /día	
Alternativa-6	6	8.400 m ³ /día	= corresponde al escenario-2 in el 2020

Fuente: Equipo de Estudio JICA

(3). Plan de Bombeo de Acuerdo a la Simulación de Aguas Subterráneas

La influencia del bombeo de los 62 pozos planeados (en el acuífero Cretáceo) sobre la distribución de la cabeza hidráulica en los acuíferos circundantes fue investigada usando un modelo calibrado. Con base en el análisis de su influencia, el plan óptimo de bombeo fue seleccionado entre la alternativa 1 a la alternativa 6.

1) Detalles de la Simulación del Bombeo

En el modelo de simulación los pozos fueron instalados en la cuarta capa, correspondiente al acuífero Cretáceo. De acuerdo al escenario de desastre, el rango de tiempo de operación de estos pozos varía entre uno y nueve meses. Por lo tanto, la tasa de bombeo para cada pozo en el modelo de simulación fue asignada de acuerdo a las siguientes suposiciones:

- La tasa de bombeo total está distribuida equitativamente entre los 62 pozos planeados.
- Todos los pozos operan 24 horas.
- La tasa de bombeo varía entre 1,0 m³/s y 6,0 m³/s de acuerdo a las diferentes alternativas de simulación (Tabla-2.5-12).
- El periodo de simulación se fija entre 0 y 365 días (=12 meses).

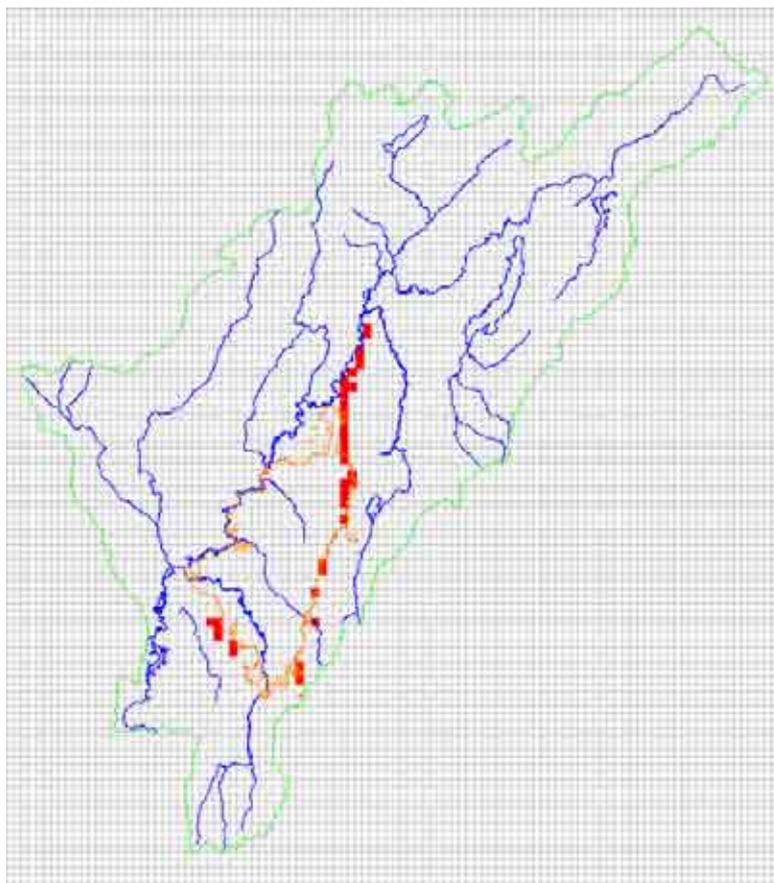
Los detalles de las simulaciones de bombeo determinadas con base en las condiciones anteriormente mencionadas se muestran en la Tabla-2.5-12. Se consideraron seis alternativas con diferentes tasas de bombeo.

Tabla-2.5- 12 Cronograma de bombeo de los pozos para la simulación

Alternativa	Tasa de Bombeo Total	Tasa de Bombeo por Pozo	Periodo de Bombeo
Alternativa-1	1,0 m ³ /s	1.400 m ³ /día	0-365días
Alternativa-2	2,0 m ³ /s	2.800 m ³ /día	0-365 días
Alternativa-3	3,0 m ³ /s	4.300 m ³ /día	0-365 días
Alternativa-4	4,0 m ³ /s	5.600 m ³ /día	0-365 días
Alternativa-5	5,0 m ³ /s	7.000 m ³ /día	0-365 días
Alternativa-6	6,0 m ³ /s	8.400 m ³ /día	0-365 días

Fuente: Equipo de Estudio JICA

La ubicación de los pozos planeados en el modelo se muestra en la Figura-2.5-9.



Nota: Las celdas rojas representan aquellas con pozos de bombeo- hasta 3 pozos por celda.

Fuente: Grupo de Estudio de JICA

Figura-2.5- 9 Distribución en el Modelo de los Pozos Planeados

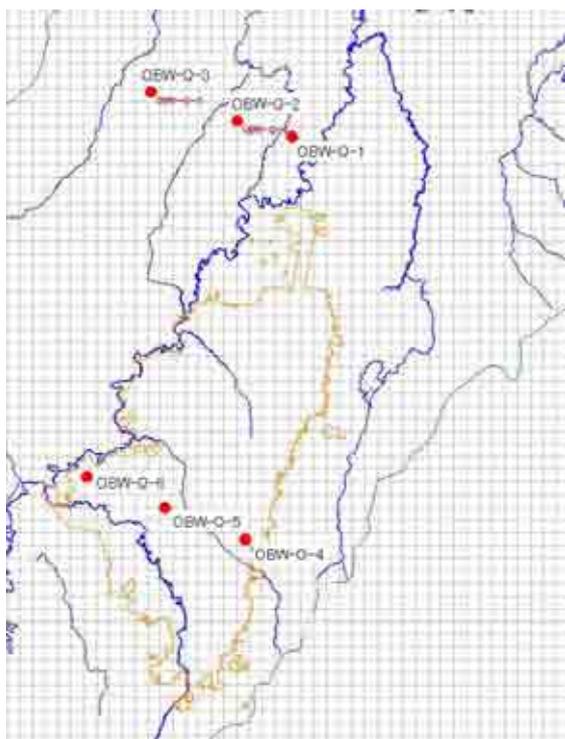
(4). Cabeza Inicial para la Simulación

En la simulación transitoria, las cabezas hidráulicas iniciales para cada capa fueron importadas del modelo de estado estacionario calibrado. En el modelo de estado estacionario, la influencia de los pozos de bombeo existentes (más de 7.000) se refleja en la distribución de la cabeza hidráulica en el modelo calibrado. Por lo tanto, el uso de estos datos de distribución de cabeza en la simulación transitoria permite evaluar únicamente el efecto de bombeo con los nuevos pozos planeados.

(5). Pozos de Observación de Niveles

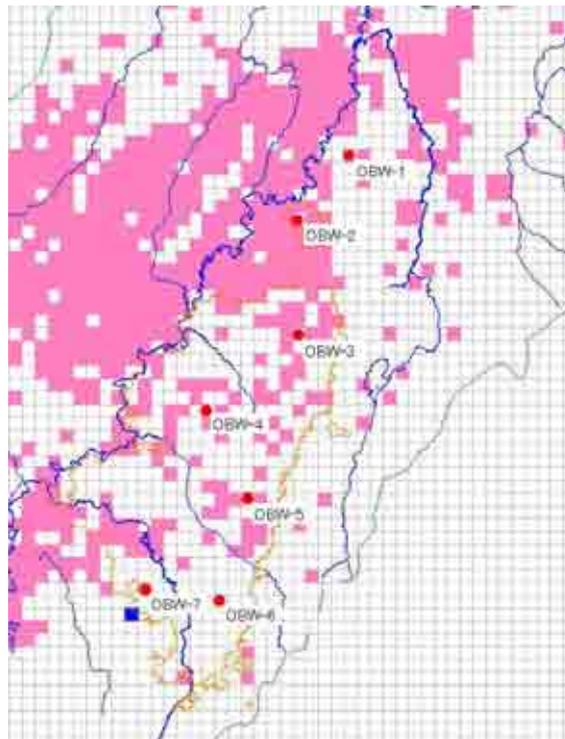
Se observó una reducción del nivel freático y de cabeza hidráulica debido al bombeo de los nuevos pozos planeados en el acuífero Cretáceo y en la capa de sedimentos del Cuaternario encima de éste. Para éste último se anticipa un problema de subsidencia debido al bombeo. Se asume que los pozos de observación crean un filtro sobre la totalidad vertical de las capas concernientes del modelo. Por lo tanto los valores de observación se calculan como el promedio del grosor total de las capas concernientes del modelo.

Los pozos de observación en el acuífero Cretáceo fueron ubicados a una distancia de por los menos 1.000 m de los pozos de bombeo incluyendo los ya existentes. Siete de ellos fueron instalados a lo largo del borde oriental del área urbana de Bogotá donde la mayoría de los pozos están planeados. Los pozos de observación en las capas de sedimento del Cuaternario fueron ubicados en dos líneas: una al norte de la Sabana de Bogotá fuera del área urbana en dirección Oriente-Occidente; la otra en el centro de la Sabana de Bogotá donde yace el área urbana de Bogotá también en dirección Oriente-Occidente. Ambas líneas llevan tres puntos de observación. La ubicación de los pozos se muestra en la Figura-2.5-10.



Pozos de Observación en la capa de sedimentos Cuaternaria

Fuente: Grupo de Estudio de JICA

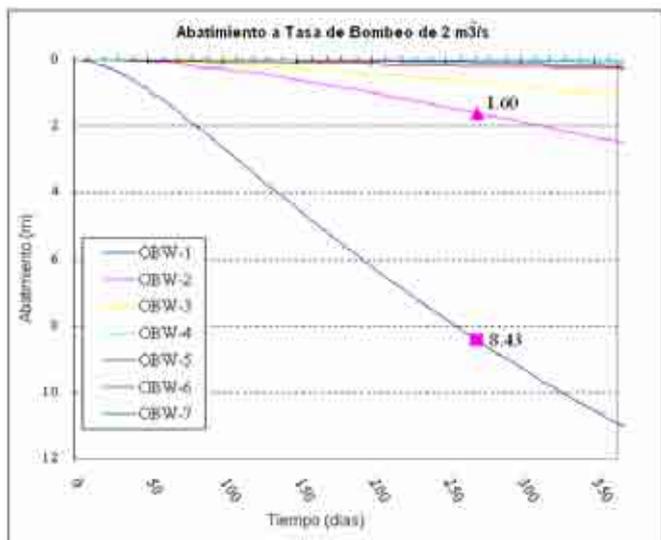


Pozos de Observación en el Acuífero Cretáceo

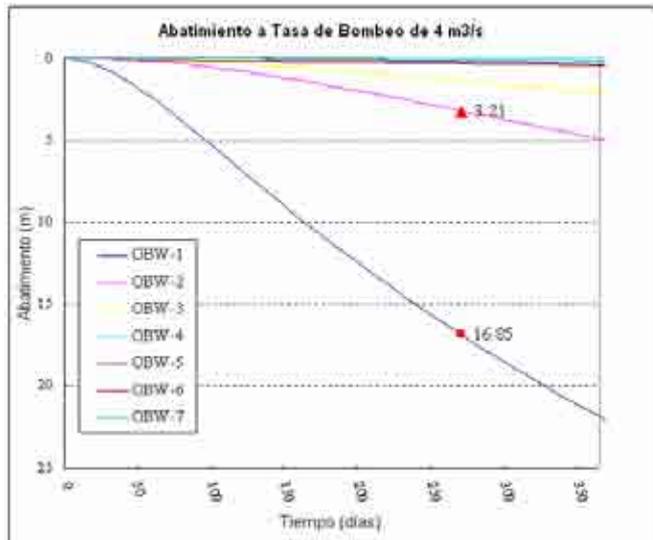
Figura-2.5- 10 Ubicación de los Pozos de Observación

(6). Reducción del nivel Freático en el Acuífero Cretáceo

Como resultado de la simulación transitoria se calculó la disminución de la cabeza hidráulica con relación al tiempo de bombeo en cada pozo de observación. Dos ejemplos se muestran en la Figura-5.11.



Escenario 2 (tasa total de bombeo 2,0 m³/s)



Escenario 4 (tasa total de bombeo 4,0 m³/s)

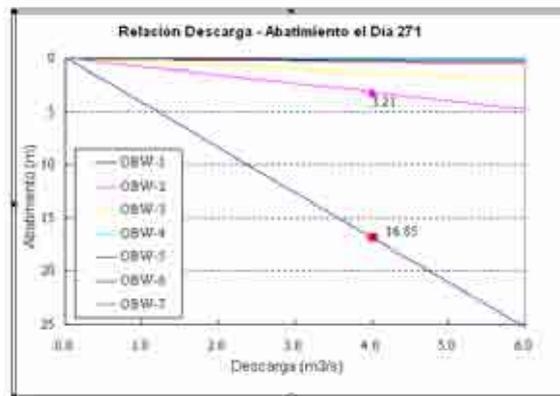
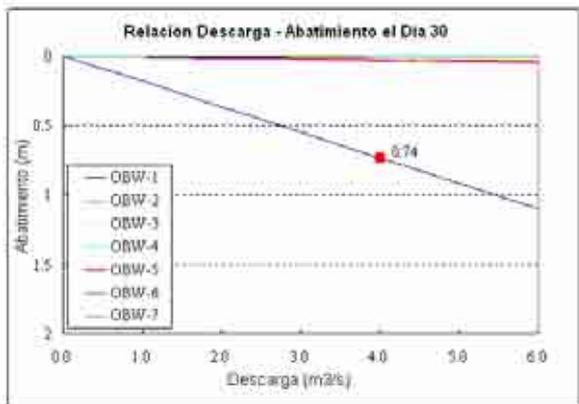
Nota: Los marcadores indican la reducción en un tiempo de 271 días (9 meses).

Fuente: Grupo de Estudio de JICA

Figura-2.5- 11 Relación Reducción Nivel Freático-Tiempo de Bombeo en el Acuífero Cretáceo

La reducción del nivel freático en el pozo de observación OBW-1 el cual se ubica en el piedemonte de

una montaña es excepcionalmente grande. Sin embargo los otros pozos muestran una reducción menor a unos pocos metros después de 9 meses de bombeo continuo. Especialmente el pozo de observación OBW-4 ubicado en el centro urbano lejos de los pozos de bombeo, muestra una reducción insignificante. Adicionalmente se investigó la relación entre la reducción de los niveles freáticos y la tasa de bombeo bajo el parámetro de tiempo de bombeo mínimo y máximo; uno y nueve meses respectivamente. Los resultados se presentan graficados en la Figura-2.5-12.



Reducción del nivel Freático después de 1 mes de Bombeo

Reducción del nivel Freático después de 9 meses de Bombeo

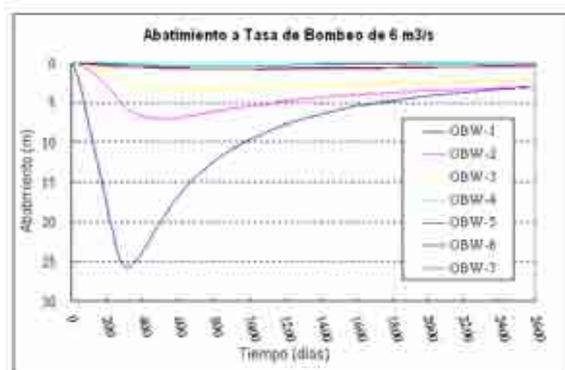
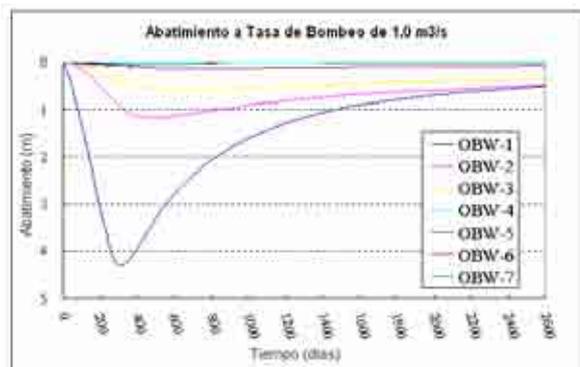
Nota: Los marcadores muestran la reducción para el Escenario 4, tasa de bombeo de 4 m³/s.

Fuente: Grupo de Estudio de JICA

Figura-2.5- 12 Relación Entre la Reducción del Nivel Freático y la Tasa De Bombeo en el Acuífero Cretáceo

Como se puede ver en la Figura-2.5-12, el nivel freático decrece linealmente con el aumento en la tasa de bombeo. La reducción máxima de nivel freático durante la tasa máxima de bombeo simulada de 6,0 m³/s después de 9 meses de bombeo es de aproximadamente 25 m en el pozo OBW-1.

Se condujo otra simulación para ver el proceso de recuperación de las cabezas hidráulicas después de 9 meses de bombeo (271 días). Se estudiaron los Escenarios 1 y 6 y los resultados se muestran en la Figura-2.5-13.



Recuperación de la Cabeza después de 1 mes de bombeo

Recuperación de la Cabeza después de 9 meses de bombeo

Fuente: Grupo de Estudio de JICA

Figura-2.5- 13 Recuperación de la Cabeza con Tiempo Después del Fin del Bombeo

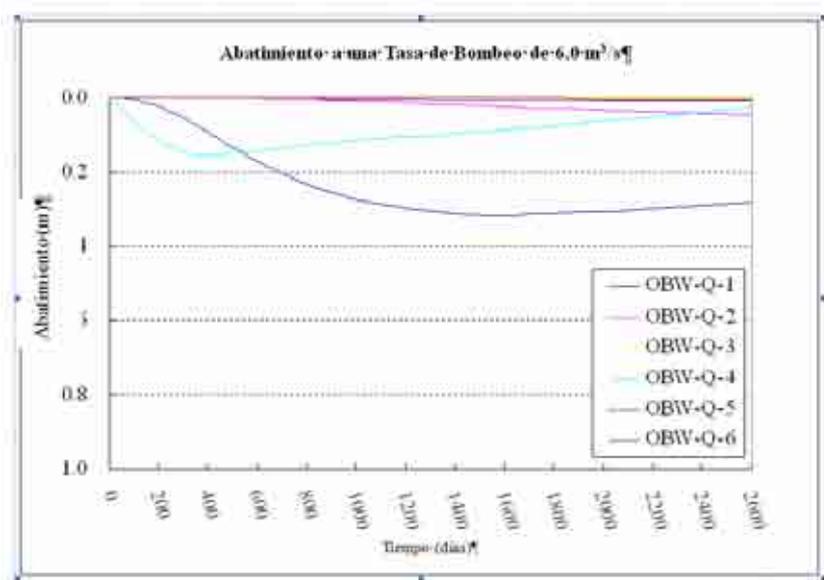
Como se puede observar claramente en la Figura-2.5-13, la recuperación de las cabezas hidráulicas después del bombeo toma mucho más tiempo que su disminución en nivel freático.

Incluso para el día 2.600 (aproximadamente 6,4 años después del fin del bombeo), la cabeza no se ha recuperado completamente. Se observa una reducción residual del nivel freático de hasta 3m. Esto probablemente se debe al hecho que la presión ejercida sobre el agua subterránea durante el bombeo es

mucho mayor que la presión de infiltración por lluvia que recarga el acuífero.

(7). Abatimiento de Niveles en las capas del Sedimento Cuaternario

El abatimiento en las capas de sedimentos del Cuaternario después de 271 días (para el caso del Escenario 6 el cual presenta la tasa de bombeo más alta) fue muy pequeño. Incluso cuando la simulación se extendió por 2.600 días (aproximadamente 6,4 años), el resultado no mostró gran diferencia (ver Figura-2.5-14). Por lo tanto la posibilidad de subsidencia se considera muy pequeña e insignificante en esta área.



Fuente: Grupo de Estudio de JICA

Figura-2.5- 14 Reducción de los Niveles Freáticos en las Capas del Sedimento Cuaternario

(8). Resultado de la Simulación

De acuerdo a los resultados de la simulación subterránea, se establecen las siguientes conclusiones respecto al comportamiento del agua subterránea debido al bombeo de 62 nuevos pozos.

- El abatimiento máximo después de nueve meses de operación en un área donde las condiciones hidrogeológicas no son favorables y bajo la tasa de bombeo más alta ($6.0 \text{ m}^3/\text{s}$) es de 25 m. El abatimiento promedio del nivel freático se estima alrededor de 5 m. (bajo las mismas condiciones). Se considera que un abatimiento de este nivel no entorpece la operación de los pozos de bombeo.
- Se anticipa un abatimiento mayor del nivel freático cerca de la falda o cuesta de la montaña.
- El bombeo de los pozos nuevos no tiene mayor efecto sobre el nivel freático de la capa de sedimentos del Cuaternario.
- Un abatimiento residual de algunos pocos metros permanece en el acuífero Cretáceo por un largo periodo de tiempo después de terminado el bombeo.

(9). Producción Óptima

La producción óptima se define de la siguiente manera:

<Producción Óptima>
La producción que causa el mínimo impacto ambiental

Se espera que el impacto ambiental del bombeo de los 62 pozos sea el siguiente:

- a) Disminución del nivel freático en los otros pozos existentes.

b) Subsistencia de la formación Cuaternaria debido a la disminución del nivel freático.

La influencia del bombeo se resume en la Tabla-2.5-13.

La disminución ó abatimiento del nivel freático del acuífero Cuaternario por las alternativas de bombeo planteadas es muy pequeño y por lo tanto despreciable (ver Tabla-2.5-13). En conclusión la producción optima se planea de acuerdo a los siguientes criterios:

<Impacto a los pozos existentes>

La disminución del nivel freático en los pozos existentes por efecto de bombeo de los 62 pozos planeados puede ser pequeño y no afectará su uso. Los pozos existentes son utilizados principalmente para uso agrícola e industrial. En caso de emergencia, la prioridad será el abastecimiento de agua a la comunidad por lo tanto el bombeo de los pozos de emergencia es prioritario sobre el bombeo de los privados.

<Impacto en la subsidencia del suelo>

La subsidencia ocurriría por la consolidación de arcillas suaves de formaciones aluviales del Cuaternario. Sin embargo la distribución del material arcilloso suave y sus parámetros mecánicos aún no son claros. Por lo tanto, no es fácil estimar con exactitud el comportamiento de la subsidencia de las arcillas aluviales cuando se bombea el Cretáceo. Para mitigar el impacto del bombeo, éste Estudio propone como valor óptimo 1.5 m³/s (Promedio Alternativas 1 y 2). La posibilidad de adoptar una producción mayor (Alternativas 3 a 6) será examinada posteriormente en este proyecto con base en información más detallada sobre la subsidencia del Cuaternario.

(10). Nota para la Interpretación del Resultado de la Simulación

Existen varios puntos a ser tenidos en cuenta cuando se interpretan los resultados de la simulación:

Tamaño de la Cuadrícula del Modelo

El modelo de flujo de agua subterránea discutido en este estudio es catalogado como un modelo regional considerando el tamaño de la cuadrícula. Por lo tanto, todos los valores calculados por el modelo de simulación se dan como el promedio sobre una celda entera de la cuadrícula. Igualmente, los parámetros del modelo deben ser ingresados dentro de una celda como un valor promedio.

Tabla-2.5- 13 Criterios para Juzgar la Influencia del Bombeo en los Pozos Planeados

Influencia del Bombeo de los Pozos Planeados		Acuífero Influenciado	Resultados Analizados		
			Alternativa	Producción Total (m ³ /s)	Disminución del Nivel Freático (m.)
1	Descenso del nivel del agua subterránea en los otros pozos existentes	<Cuaternario>	Alternativa-1	1	0,06
		La mayoría de los pozos existentes extraen agua desde el acuífero Cuaternario	Alternativa-2	2	0,07
			Alternativa-3	3	0,09
2	Subsidencia debido a la disminución del nivel freático	<Cuaternario>:	Alternativa-4	4	0,11
		Ocurrirá subsidencia en la arcilla blanda de la formación Cuaternaria.	Alternativa-5	5	0,12
			Alternativa-6	6	0,14

Fuente: Grupo de Estudio de JICA

En otras palabras no se consideran dentro del modelo pequeñas variaciones topográficas de hasta décimas de metro ni la heterogeneidad dentro del acuífero de la misma escala. Por lo tanto, un abatimiento de un grado mucho mayor al calculado por esta simulación podría ser observado en lugares cercanos a los pozos de bombeo, dependiendo de las condiciones del lugar.

Condiciones de frontera del Modelo

Algunas precauciones han de ser tenidas en cuenta en relación a las condiciones de frontera para el modelo. Primero el nivel freático en el modelo se estableció prácticamente paralelo a la superficie en áreas montañosas. Realmente en áreas con topografía y geología tal dentro del Área de Estudio, se espera el desarrollo de una zona insaturada donde reposan algunos cuerpos de agua. Sin embargo el código de simulación utilizado en este modelo no permite manejar esta condición correctamente. Por lo tanto para obtener una solución estable en la simulación, el nivel freático se establece cerca de la superficie de las cuestas de la montaña.

Por otro lado está la condición de frontera de las cabezas fijas para ríos y embalses. Ésta asume que los niveles de agua de estos cuerpos superficiales nunca cambian a través del tiempo de simulación. Sin embargo, si las tasas de bombeo de los pozos son extremadamente altas, la duración de bombeo de hasta diez años y si los pozos están ubicados cerca de estos cuerpos de agua, éstos últimos se verán inevitablemente afectados por el bombeo (los niveles de agua bajarán) y por consiguiente habrá una contradicción.

5.4.3 Instalaciones Para el Tratamiento de Agua

(1). Plan Para las Instalaciones de Tratamiento de Agua

El plan óptimo para las instalaciones de tratamiento de agua se formulará básicamente sobre las siguientes condiciones:

- 1) La calidad del agua subterránea del estrato Cretáceo se considera mejor que la del estrato Cuaternario. Los ítems de la calidad de agua subterránea a ser analizados son Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn). Por lo tanto se debe examinar la opción de un sistema de tratamiento de agua para la remoción de Fe y Mn (Alternativa A-2 en la Tabla-2.5-14).
- 2) En caso que el agua cruda presente sustancias difíciles de remover por la Alternativa A-1 (tales como turbidez, ácido silícico soluble y demás), se adoptará el sistema convencional: mezcla, coagulación, sedimentación y filtración (Alternativa A-3 en la Tabla-2.5-14).
- 3) En caso que la concentración de Fe y Mn en el agua subterránea pueda ser disminuida mediante una mezcla con agua tratada, se adoptaría el sistema de combinación de cloración y mezcla con agua tratada (Alternativa A-1 en la Tabla-2.5-14). La proporción de mezcla entre el agua subterránea tratada y el agua tratada es aproximadamente 1 a 9.

Con base en los puntos mencionados se proponen cuatro alternativas, dependiendo del uso y la calidad del agua subterránea, como se muestra en la Tabla-2.5-14.

Tabla-2.5- 14 Alternativas para el Sistema de Tratamiento de Aguas Subterránea

Condiciones del abastecimiento de Agua		Condiciones de la calidad del agua cruda	Caso donde el Fe y el Mn excede el valor estándar			Caso donde el Fe y el Mn están dentro los valores estándar
			Alternativa A-1	Alternativa A-2	Alternativa A-3	Alternativa B-1
Escenario de Desastre	1. Daños a la red de distribución de Agua en Bogotá	El periodo de abastecimiento de agua será alrededor de diez días	Cloración	Cloración + Sistema Pequeño ¹	Sistema Convencional ²	Cloración
	2. Daños al túnel de conducción de agua de Chingaza	El periodo de abastecimiento de agua de emergencia será cercano a 9 meses	Cloración + Mezcla con otras aguas tratadas.	Cloración + Sistema Pequeño ¹	Sistema Convencional	Cloración
Costos de Construcción/Costos de Operación			Bajo	Medio	Alto	Bajo

Anotaciones: 1. Sistema Pequeño: Sistema Compuesto de Filtración por Arena (tipo de filtración a presión).

2. Sistema Convencional: Sistema compuesto por sedimentación y filtración por arena.; Fuente: Grupo de Estudio de JICA

El sistema óptimo de tratamiento de agua será determinado posteriormente después de analizar aspectos técnicos, geológicos y económicos. El procedimiento para el análisis es el siguiente:

- La calidad del agua cruda será analizada en detalle al igual que los sistemas de tratamiento de agua para satisfacer la calidad requerida.
- Los sistemas propuestos serán estudiados para ver si cumplen los requisitos de restricciones topográficos.
- El costo de desempeño será analizado contra el costo total incluyendo los costos de construcción/operación para decidir el sistema óptimo de tratamiento.

Los detalles para cada sistema de tratamiento de agua se describen en la siguiente sección.

(2). Sistema de Tratamiento de Agua

1) Alternativas A-1 y B-1

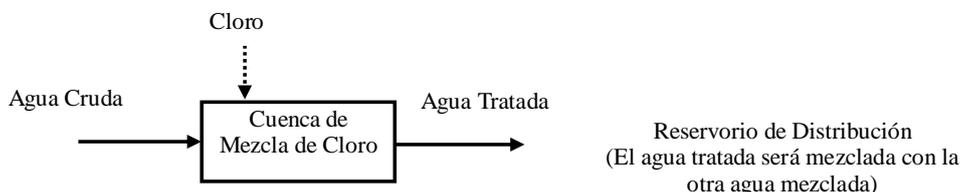
Las calidades deseadas de agua cruda y tratada se muestran en la Tabla-2.5-15.

Tabla-2.5- 15 Calidades Deseadas de Agua Cruda y Agua Tratada (Alternativas A-1 y B-1)

Ítem de Calidad de Agua	Unidades	Calidad Deseada de Agua Cruda	Calidad Deseada de Agua Tratada	Estándar
pH	-	5,8-8,6	5,8-8,6	Estándares de Calidad de Agua en Japón
Turbidez	NTU	Menor a 20	Menor a 5	Estándares de Calidad de Agua en Colombia
[Fe]	mg/l	Menor a 1	Menor a 0,3	Estándares de Calidad de Agua en Colombia
[Mn]	mg/l	Menor a 1	Menor a 0,1	Estándares de Calidad de Agua en Colombia

Fuente: Grupo de Estudio de JICA

Las Alternativas A-1 y B-1 se muestran en la Figura-2.5-15. En estos sistemas, solamente se aplica una inyección de cloro para la desinfección del agua cruda. En este plan, se asume que el agua cruda y el agua tratada se mezclan con una proporción de 1 a 9.



Fuente: Grupo de Estudio de JICA

Figura-2.5- 15 Sistema de Tratamiento de Agua para la Alternativa A-1 y B-1

2) Alternativa A-2

Las calidades de agua cruda y tratada para esta alternativa se muestran en la Tabla-2.5-16

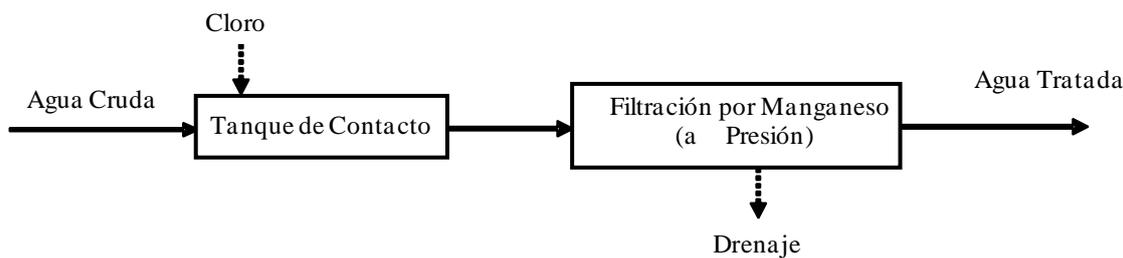
Tabla-2.5- 16 Calidades Deseadas de Agua Cruda y Tratada (Alternativa A-2)

Ítem de Calidad del Agua	Unidades	Calidad Deseada de Agua Cruda	Calidad Deseada de Agua Tratada	Estándar
pH	-	5,8-8,6	5,8-8,6	Estándares de Calidad de Agua en Japón
Turbidez	NTU	Menor que 10	Menor que 5	Estándares de Calidad de Agua en Colombia
[Fe]	mg/l	Menor que 1	Menor que 0,3	Estándares de Calidad de Agua en Colombia
[Mn]	mg/l	Menor que 1	Menor que 0,1	Estándares de Calidad de Agua en Colombia

Fuente: Grupo de Estudio de JICA

La Alternativa A-2 se muestra en la Figura-2.5-16. Primero se usa Cloro para hacer soluble el Hierro y el Manganeseo oxidado en un tanque de contacto. El Hierro soluble es oxidado y finalmente se cambia a una forma insoluble como Hidróxido Férrico.

Después el Manganeseo soluble es oxidado por contacto a Manganeseo insoluble en un filtro de arena el cual se compone de arena de Manganeseo (*i.e.* arena cuya superficie está cubierta con $MnO_2 \cdot H_2O$). El Hierro y Manganeseo insolubles son removidos por filtración.



Fuente: Grupo de Estudio de JICA

Figura-2.5- 16 Sistema de Tratamiento de Agua para la Alternativa A-2

3) Alternativa A-3

Las calidades deseadas de agua cruda y tratada para esta alternative se muestran en la Tabla-2.5-17

Tabla-2.5- 17 Calidades Deseadas de Agua Cruda y Agua Tratada (Alternativa A-3)

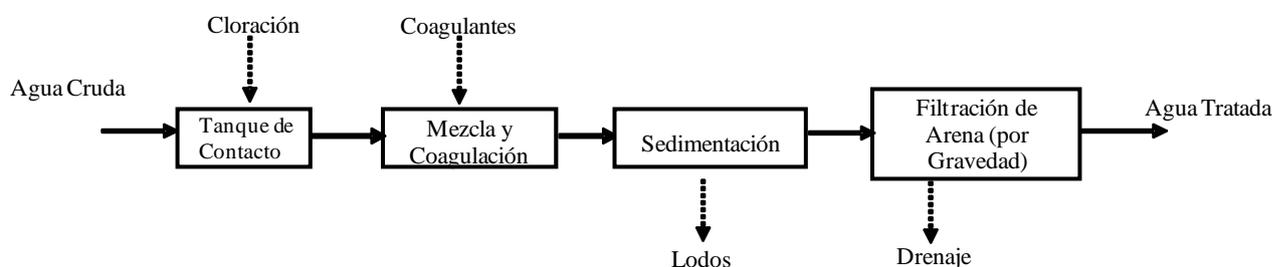
Ítem de Calidad del Agua	Unidades	Calidad Deseada de Agua Cruda	Calidad Deseada de Agua Tratada	Estándar
pH	-	5,8-8,6	5,8-8,6	Estándares de Calidad de Agua en Japón
Turbidez	NTU	Menor que 20	Menor que 5	Estándares de Calidad de Agua en Colombia
[Fe]	mg/l	Menor que 1	Menor que 0,3	Estándares de Calidad de Agua en Colombia
[Mn]	mg/l	Menor que 1	Menor que 0,1	Estándares de Calidad de Agua en Colombia

Fuente: Grupo de Estudio de JICA

La Figura-2.5-17 muestra un esquema de la Alternativa A-3. Primero se usa Cloro para hacer soluble el Hierro y el Manganeseo oxidado en un tanque de contacto. El Hierro soluble es oxidado y finalmente cambiado a una forma insoluble como Hidróxido Férrico.

Dentro de un tanque de mezcla y coagulación se añade un coagulante. Subsecuentemente, el ácido silícico soluble ó las sustancias que causan alta turbiedad son floculadas y removidas en una cuenca de sedimentación para evitar un atascamiento en el medio del filtro.

El manganeseo soluble restante en el depósito de sedimentación es oxidado por contacto a Manganeseo insoluble en filtros de arena compuestos de arena de Manganeseo. La turbiedad y el Manganeseo insoluble que no son removidos en el depósito de sedimentación son removidos por un medio filtrante en un depósito de filtración de arena.



Fuente: Grupo de Estudio de JICA

Figura-2.5- 17 Sistema de Tratamiento de Agua para la Alternativa A-3

Los criterios para establecer el sistema de tratamiento de lodos correspondiente para cada alternativa de tratamiento de agua se muestran en la Tabla-2.5-18.

Tabla-2.5- 18 Criterios para Establecer el Sistema de Tratamiento de Lodos

Ítem de Calidad de Agua	Unidades	Calidad Esperada del Drenaje por Alternativa			Diseño Efluente Estándar	Estándar
		A-1 y B-1	A-2	A-3		
pH	-	-	5,8-8,6	5,8-8,6	5,8-8,6	Estándares de Calidad de Agua en Japón
Turbiedad	NTU	-	Menor que 100	Mayor que 1.000	Menor que 200	Estándares de Calidad de Agua en Japón
Fe	mg/l	-	Menor que 10*2	Mayor que 50	Menor que 10 (Hierro Soluble)	Estándares de Calidad de Agua en Japón
Mn	mg/l	-	Menor que 10	Mayor que 50	Menor que 10 (Manganeso Soluble)	Estándares de Calidad de Agua en Japón
Necesidad de Tratamiento de lodos		No (No drenaje)	No	Si*1		

Notas: 1. Refiérase a la Figura-5.15 para el sistema de tratamiento de agua.

2. En caso que la concentración de hierro en el drenaje sea mayor a 10 mg/l la instalación del espesante debe ser examinada.

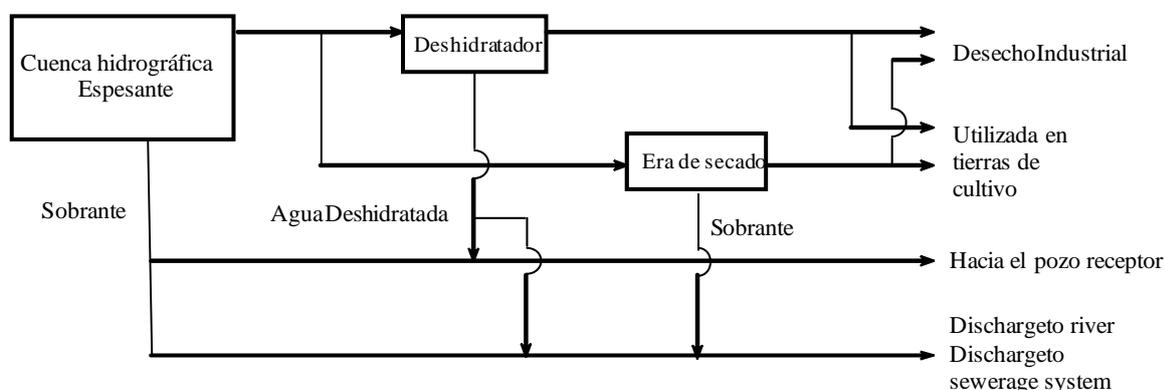
Fuente: Grupo de Estudio de JICA

Desechar agua no tratada puede deteriorar la calidad de las aguas públicas cuando el drenaje contiene cantidades considerables de Hierro y Manganeso. Por lo tanto se considera preferible contar con instalaciones de tratamiento de lodos. Sin embargo, los residuos de las Alternativas A-1 y B-1 se estima están dentro de los estándares de desechos en Colombia. Por lo tanto, teniendo en cuenta el costo de efectividad contra los costos de construcción, no se aplican sistemas de tratamientos de lodos en este plan maestro.

El sistema de tratamiento de lodos solo se aplicará cuando la Alternativa A-3 sea adoptada. El sistema de tratamiento de lodos para la Alternativa A-3 se muestra en la Figura-5.16. Los siguientes criterios deben ser tenidos en cuenta para el diseño del sistema:

- Básicamente cuando se tiene suficiente terreno disponible, es preferible en términos de facilidad de operación y mantenimiento que la concentración de lodos sea tratada en un lecho de secado. Por el contrario si no se tiene suficiente terreno es preferible usar un deshidratador.
- En el caso que el terreno para el sistema de tratamiento de agua cuente con espacio suficiente, es posible instalar un sistema de tratamiento de lodos en este mismo lugar. Sin embargo, es deseable que los lodos provenientes de las diferentes instalaciones de tratamiento de agua sean colectados y dispuestos en un solo sitio para minimizar costos de construcción.

Finalmente, el sistema óptimo de tratamiento de agua y lodos se determinan teniendo en cuenta aspectos técnicos, geológicos y económicos.



Fuente: Grupo de Estudio de JICA

Figura-2.5- 18 Sistema de Tratamiento de Lodos para la Alternativa A-3

El diseño del plan de una plantas de tratamiento para el abastecimiento de agua de emergencia mediante agua subterránea, se formula de tal manera que el agua de varios pozos profundos sea recolectada y transferida a una planta de tratamiento de agua la cual será construida en un sitio seleccionado, con una capacidad entre 2.000 y 10.000 m³/día. El agua tratada será conducida a cada tanque de servicio.

A manera de referencia, la Tabla-2.5-19 muestra diferentes áreas de instalación para la Alternativa A-3.

Tabla-2.5- 19 Áreas de Instalación para Tratamiento de Agua y Lodos (Alternativas A-3)

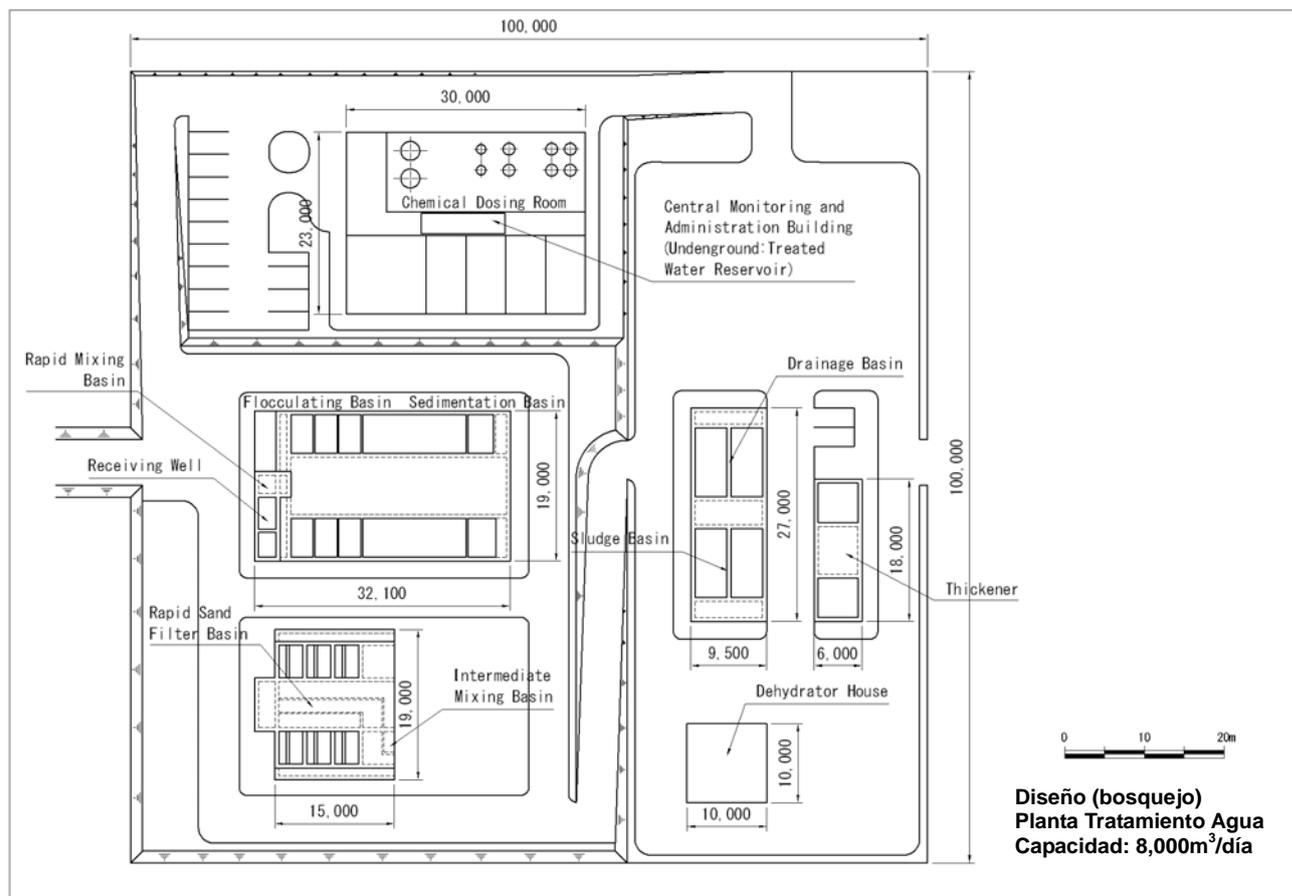
No.	Capacidad (m ³ /día)	Áreas de Instalación (m x m)		
		Tratamiento de Agua * ¹		Tratamiento de Lodos* ²
		Instalaciones para el Tratamiento de Agua	Edificio Administrativo	Instalaciones para el tratamiento de lodos y edificio administrativo
1	2.000	25×20	30×30	6×6
2	4.000	50×35	30×30	8×8
3	6.000	75×55	30×30	9×9
4	8.000	100×70	30×30	10×10
5	10.000	125×90	30×30	11×11

Notas: 1. El sistema de tratamiento de agua se compone de cuencas de mezcla, coagulación, sedimentación, filtros de arena, drenaje, tratamiento de lodos.

2. El sistema de tratamiento de lodos se refiere a desecación por un deshidratador.

Fuente: Grupo de Estudio de JICA

El diseño típico de plantas de tratamiento de agua subterránea en caso de emergencia (Alternativa A-3) se muestra en la Figura-2.5-19.



Fuente: Grupo de Estudio de JICA

Figura-2.5- 19 Diseño Típico de una Planta de Tratamiento de Agua Subterránea (para la Alternativa A-3)

(3). Selección del Sistema de Tratamiento de Agua y Lodos

El sistema de tratamiento de agua y lodos propuesto finalmente en este Plan Maestro se muestra en la Tabla-2.5-20. Se escogió teniendo en cuenta: calidad del agua cruda, tipo de tratamiento necesario y relación costo-efectividad.

Tabla-2.5- 20 Sistema de Tratamiento de Agua y Lodos Propuesto a ser Aplicado en este Estudio

Sistema Propuesto		Contenido
Ítem	Tipo de Tratamiento	
Tratamiento de Agua	Alternativa-2	Cloración + Sistema pequeño ¹⁾
Tratamiento de Lodos	No es necesario	El tratamiento de lodos no es necesario en principio. Sin embargo, el tratamiento mínimo necesario debe ser implementado para prevenir un impacto ambiental.

Notas: 1. Sistema pequeño: El sistema compuesto de filtración por arena (Filtración por presión). Fuente: Grupo de Estudio de JICA

5.4.4 Plan para las Instalaciones Conducción y Distribución de Agua

El plan óptimo de construcción de las instalaciones de conducción y distribución de agua para el abastecimiento de agua subterránea en caso de emergencia, será formulado de acuerdo a las siguientes condiciones:

(1). Instalaciones de Aducción de Agua

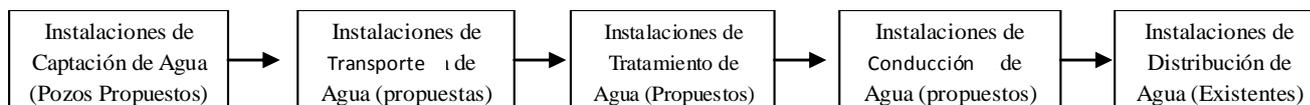
El agua subterránea producida por el grupo de pozos (sección 7.4.1) será transportada a las instalaciones de tratamiento, la cual estará diseñada de acuerdo a las condiciones topográficas, uso del terreno y demás. El número de pozos interconectados con la misma instalación de tratamiento de agua se asume será entre uno y cinco. Lo que significa que la cantidad de agua que se planea transportar está entre: 2.000 y 10.000 m³/día.

(2). Instalaciones de Conducción de Agua

El agua tratada en las instalaciones será conducida a las instalaciones de distribución. El tipo de conexión con las instalaciones de distribución existentes se planeará de acuerdo a las condiciones topográficas, instalaciones de distribución de agua existentes, eficiencia de la distribución y demás.

(3). Composición de las Instalaciones de Conducción y Distribución de Agua Subterránea

La composición fundamental del sistema de conducción y distribución para abastecimiento de agua subterránea en caso de emergencia, desde las instalaciones de captación hasta las de distribución se muestra en la Figura-25-20.



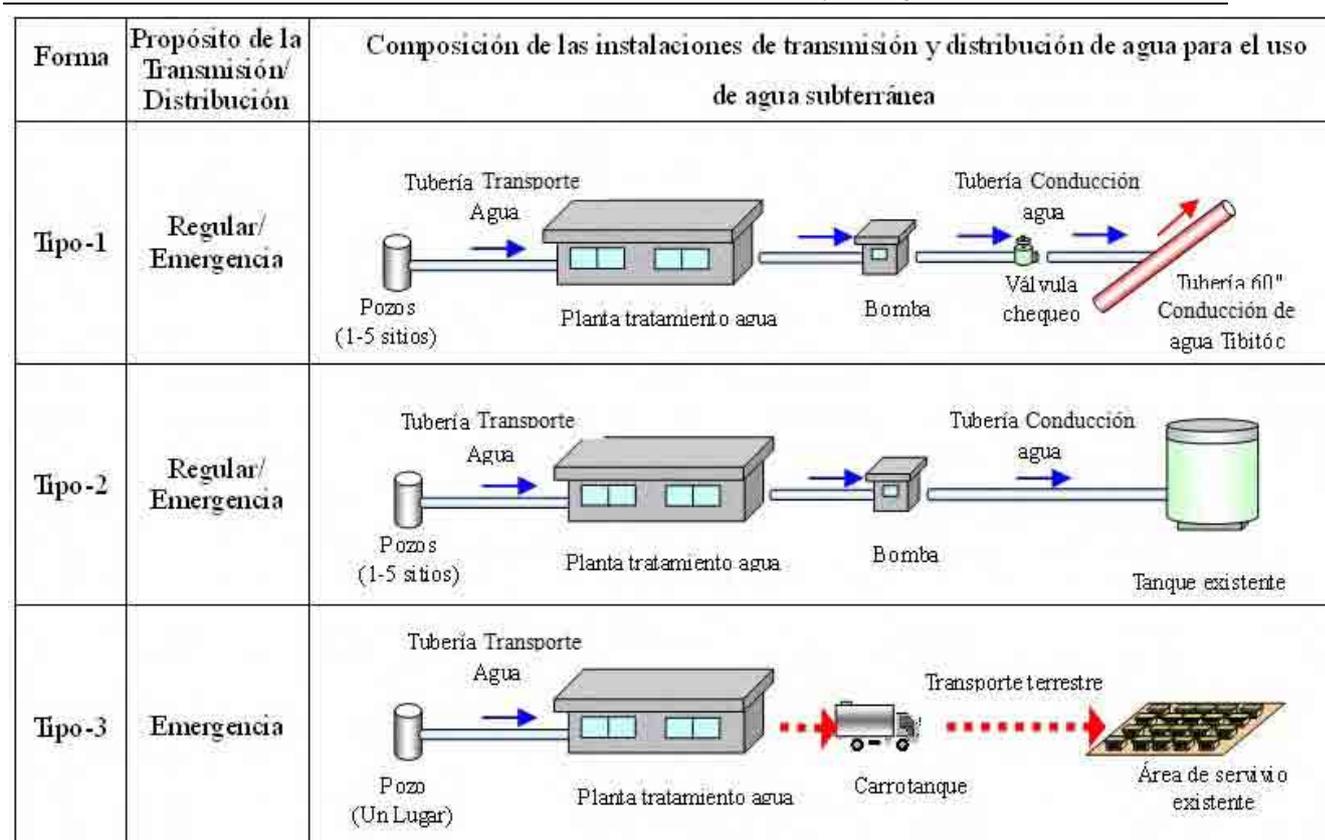
Fuente: Grupo de Estudio de JICA

Figura-2.5- 20 Composición de las Instalaciones de Conducción y Distribución de Agua para la Utilización de Agua Subterránea en Caso de Emergencia

En cuanto a la composición de las instalaciones de conducción y distribución, se planean tres posibilidades como se muestra en la Figura-2.5-20.

El abastecimiento de agua por medio de agua subterránea se propone como método de emergencia. Sin embargo, el sistema de agua subterránea está disponible para un eventual abastecimiento de agua regular. El abastecimiento regular de agua por medio de agua subterránea se propone también en la Figura-2.5-20.

El diagrama de flujo para el abastecimiento de emergencia mediante agua subterránea para toda Bogotá (planeado para el año 2020) se muestra en la Figura-2.5-21.



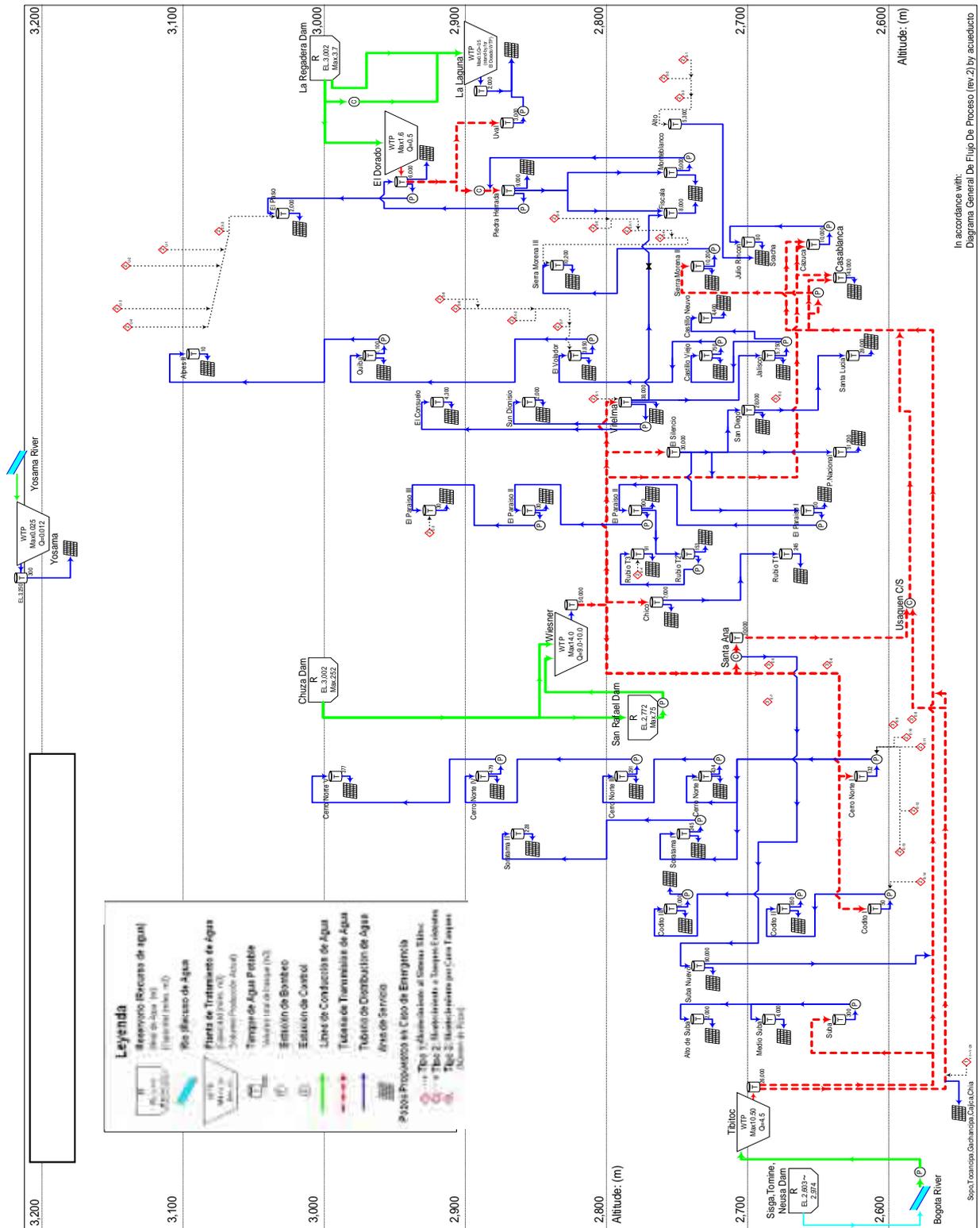
Fuente: Grupo de Estudio de JICA

Figura-2.5- 21 Composición de las Instalaciones de Conducción y Distribución de Agua para Uso de Agua Subterránea

5.5. Manejo de la Operación de los Pozos

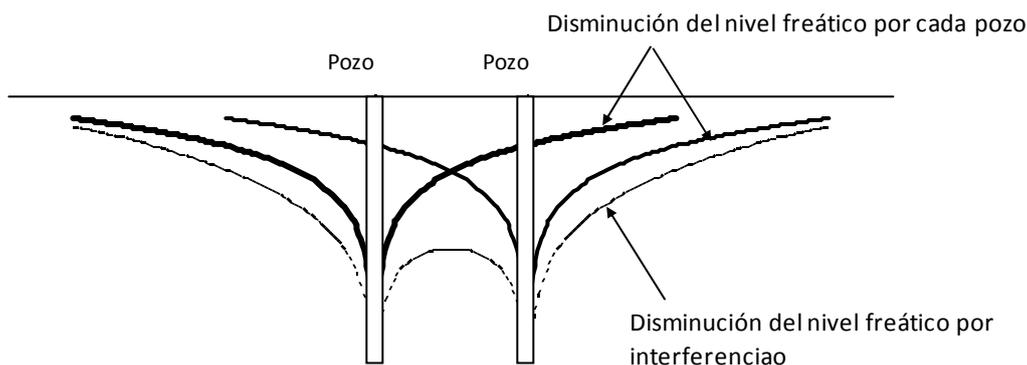
(1). Interferencia y Producción de los Pozos

Se propone que la producción total de los pozos sea $62 \times 2.000 \text{ m}^3/\text{día} = 1,44 \text{ m}^3/\text{s}$. Sin embargo, sería necesario aumentar la producción de los pozos cuando urgentemente se requiera una mayor cantidad de agua. En este caso, existe una gran posibilidad que se presente una disminución significativa del nivel freático dada la interferencia de los pozos. El bombeo de un pozo causará la disminución del nivel freático de los pozos vecinos como se muestra en la Figura-2.5-22



Fuente: Grupo de Estudio JICA

Figura-2.5- 22 Diagrama de Flujo del Uso de Aguas Subterráneas en Caso de Emergencia en todo Bogotá (2020)

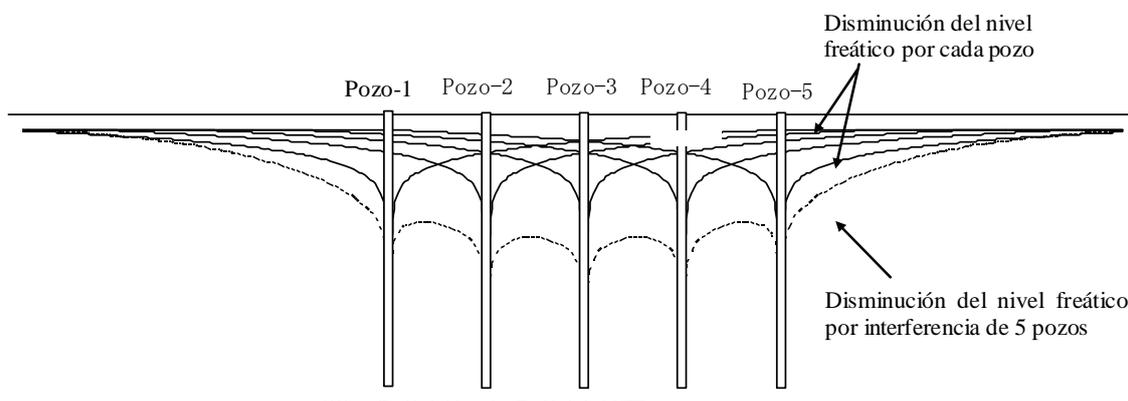


Fuente: Grupo de Estudio JICA

Figura-2.5- 23 Interferencia entre Pozos

Si los pozos se ubican en línea recta, la disminución del nivel freático causada por la interferencia entre pozos será mayor en el centro (pozo-3) como se aprecia en la Figura-2.5-24.

Por lo tanto, cuando una gran cantidad de agua es bombeada desde el campo de los pozos, es necesario controlar la producción de cada pozo para evitar una disminución perjudicial del nivel freático por interferencia entre pozos.



Fuente: Grupo de Estudio JICA

Figura-2.5- 24 Interferencia entre 5 Pozos

Los pozos de emergencia propuestos en el Estudio se ubican linealmente a lo largo de los Cerros Orientales. Se planea bombear en promedio hasta 2.000 m³/día de agua subterránea de cada pozo en caso de emergencia. En caso de necesitar una mayor cantidad de agua, la tasa de bombeo de cada pozo sería aumentada de formas diferentes para cada pozo.

(2). Distribución Óptima de la Producción por Pozo

Para aumentar la producción de los pozos es necesario distribuir las producciones óptimas de cada pozo. Ésta se examinó mediante una programación lineal. El objetivo y las restricciones de la programación lineal son las siguientes:

- Objetivo: Obtener la producción máxima de los 62 pozos.
- Restricción: Provocar el mismo grado de abatimiento de agua subterránea en cada pozo.

(a). La disminución del nivel freático por el bombeo de 62 pozos con interferencia entre ellos fue calculada con la siguiente fórmula:

$$s_i = \frac{Q_i}{(2 \pi T_i) x Ln \left(\frac{R_{ij}}{r_{ij}} \right)}$$

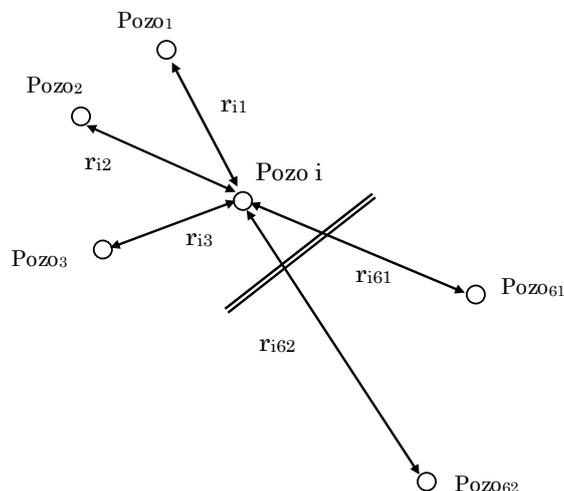
s_i : Disminución de nivel Freático del Pozo No. i.

R_{ij} : Radio de Influencia del Pozo No. i.

Q_i : Producción del Pozo No. i.

r_{ij} : Distancia entre los pozos No. i y No. j.

T_i : Transmisividad del pozo No. i.



Fuente: Grupo de Estudio JICA

Figura-2.5- 25 Ubicación de los Pozos

(b). Se calculó la producción de cada pozo para la misma disminución del nivel freático. Se utilice el método de programación lineal.

(Objetivo) Obtener la producción máxima de los 62 pozos

$$\text{Producción Total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_{60} + Q_{61} + Q_{62} \rightarrow \text{Máximo}$$

(Restricción) Disminución del nivel freático igual para cada pozo

$$s_1 = s_2 = s_3 = \dots = s_{60} = s_{61} = s_{62}$$

(3). Resultado del Cálculo

De acuerdo a los resultados calculados los cuales se muestran en la Tabla-5.20, la producción en porcentaje por pozo ocasiona el mismo grado de disminución del nivel freático en cada pozo. La máxima producción de los 62 pozos es el 100%. Teóricamente desde el punto de vista ambiental, es deseable ocasionar la misma disminución de nivel de agua subterránea. Sin embargo, esto no es práctico en la operación de los pozos por lo tanto la tasa de producción que se muestra en la Tabla-5.20 debe ser considerada como una guía de operación para aumentar la tasa de bombeo de los pozos cuando se requiera una mayor cantidad de agua en caso de emergencia.

Tabla-2.5- 21 Tasa de Producción Óptima de los Pozos

Área	Pozo No.	Tasa de Producción	Área	Pozo No.	Tasa de Producción	Área	Pozo No.	Tasa de Producción	Pozo No.	Tasa de Producción
Soacha	S-1	55%	Cerros Orientales	E-1	100%	Yerbabuena	Y-1	32%	Y-16	37%
	S-2	44%		E-2	98%		Y-2	28%	Y-17	37%
	S-3	43%		E-3	86%		Y-3	28%	Y-18	34%
	S-4	40%		E-4	88%		Y-4	27%	Y-19	35%
	S-5	39%		E-5	71%		Y-5	26%	Y-20	42%
	S-6	45%		E-6	68%		Y-6	26%	Y-21	42%
	EX-1	38%		E-7	61%		Y-7	28%	Y-22	37%
Ciudad Bolívar	B-1	57%		E-8	47%		Y-8	32%	Y-23	39%
	B-2	48%		E-9	43%		Y-9	35%	Y-24	43%
	B-3	53%		E-10	34%		Y-10	35%	Y-25	43%
	EX-2	48%		E-11	33%		Y-11	35%	Y-26	49%
Usme	EX-3	68%		E-12	35%		Y-12	36%	Y-27	63%
	U-1	60%		E-13	38%		Y-13	35%	Y-28	62%
	U-2	64%		E-14	40%		Y-14	32%	Y-29	70%
	U-3	65%		E-15	37%		Y-15	34%		
	U-4	67%		E-16	76%					
				E-17	80%					

Nota: El % óptimo de producción de cada pozo donde la producción máxima de los 62 pozos es 100%

Fuente: Grupo de Estudio JICA

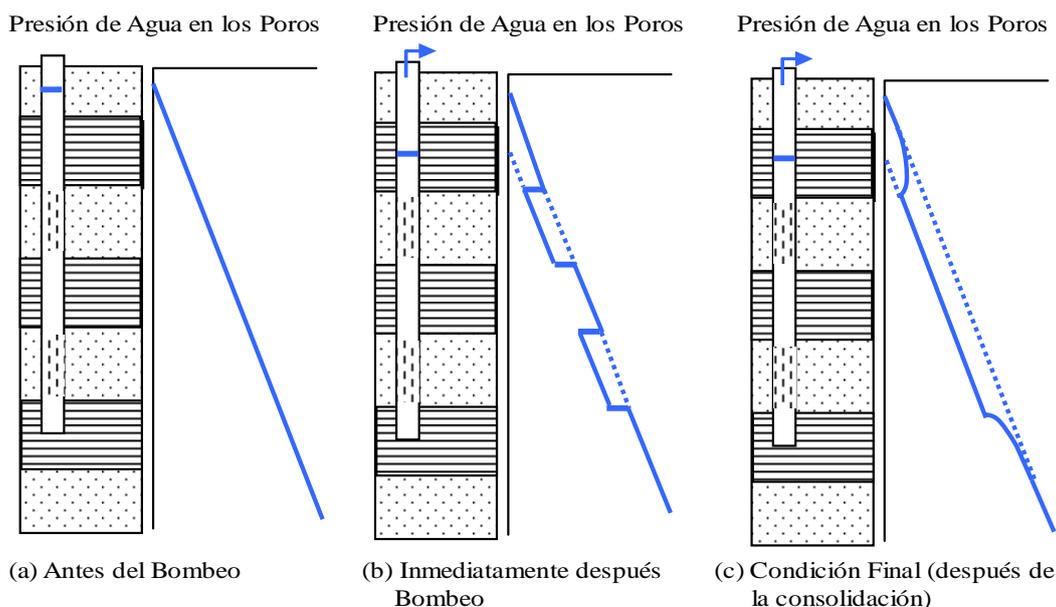
5. 6. Análisis de Subsistencia del Terreno

La subsidencia del terreno ocasionada por los proyectos propuestos fue analizada de la siguiente manera:

(1). Mecanismo de Subsistencia

El mecanismo de subsidencia causado por el bombeo de los pozos es el siguiente:

1. La presión del agua del acuífero confinado será reducida por el bombeo de agua subterránea desde el acuífero (ver Figura-2.5-26b).
2. El acuífero confinado será comprimido por la reducción en la presión del agua dentro del acuífero.
3. La presión de agua en los poros de la capa arcillosa (capa impermeable), la cual recubre y es subyacente al acuífero confinado, será reducida por la reducción en la presión del agua del acuífero confinado (ver Figura-2.5-26c).
4. Por la diferencia en la presión del agua, el agua subterránea dentro de la capa arcillosa fluirá hacia el acuífero confinado. Como resultado la capa arcillosa se consolidará.



Fuente: Subsistencia del Terreno y Mediadas para esto, Departamento de Medio Ambiente del Japón, 1989.

Figura-2.5- 26 Presión de Agua en los Poros del Acuífero

(2). Análisis de Subsistencia del Terreno

El análisis de subsistencia del terreno debe ser implementado teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

Cantidad de Subsistencia.

La cantidad de subsistencia puede ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad de subsistencia} = m_v \times H \times P$$

m_v : Coeficiente de Compresibilidad del Volumen (m^2/t).

H: Grosor de la capa (m).

P: Reducción en la presión de agua de la capa (t/m^2).

Tabla-2.5- 22 Valores Típicos del Coeficiente de Compresibilidad del Volumen(m_v)

Geología	m_v (m^2/t)	Geología	m_v (m^2/t)
Arcilla Suave (arcilla aluvial)	$1.9 \times 10^{-3} - 2.4 \times 10^{-4}$	Arena Densa	$1.9 \times 10^{-5} \sim 1.3 \times 10^{-5}$
Arcilla Media (arcilla diluvial)	$2.4 \times 10^{-4} - 1.2 \times 10^{-4}$	Arena Densa y Grava	$9.4 \times 10^{-6} \sim 4.6 \times 10^{-6}$
Arcilla Dura (arcilla diluvial)	$1.2 \times 10^{-4} - 8.5 \times 10^{-5}$	Rocas con grietas	$1.9 \times 10^{-6} \sim 3.0 \times 10^{-7}$
Arcilla Suelta	$9.4 \times 10^{-5} - 4.6 \times 10^{-5}$	Rocas Duras	3.0×10^{-7}

Fuente: Domenico, Miffilin.

Como se muestra en la Tabla-2.5-22, el coeficiente de compresibilidad disminuirá a medida que el material de la capa es más sólido (*i.e.* arcilla → arena → roca). Las consecuencias generales de la disminución del nivel freático se describen a continuación:

- La disminución del nivel freático del acuífero confinado (arena, arenisca) causará una compresión de la capa confinada en si y una capa de arcilla que recubre y subyace el acuífero confinado.
- Generalmente, la compresión del acuífero en si es pequeña y despreciable.
- Si las capas que recubren y subyacen el acuífero confinado son de roca dura, su compresión es pequeña y despreciable.

- Sin embargo, si las capas que recubren y subyacen el acuífero confinado son de arcilla suave, su compresión es alta por la consolidación.

Velocidad de Subsistencia

La consolidación de una capa avanzará proporcionalmente a la reducción del exceso de la presión del agua dentro de la capa, la cual a su vez es causada por una reducción de la presión del agua en un acuífero confinado vecino. El avance de la consolidación puede ser estimado mediante la fórmula de Terzaghi. Como se muestra en la fórmula, la velocidad de la consolidación es proporcional al coeficiente de permeabilidad de la capa de arcilla. Consecuentemente, esto tomará un tiempo largo, hasta que termine la consolidación de la capa de arcilla, dada su baja permeabilidad.

$$\frac{\delta u}{\delta t} = \frac{k}{m_v \gamma_w} \times \frac{\delta^2 u}{\delta^2 z}$$

u : Exceso de presión hídrica de la capa.

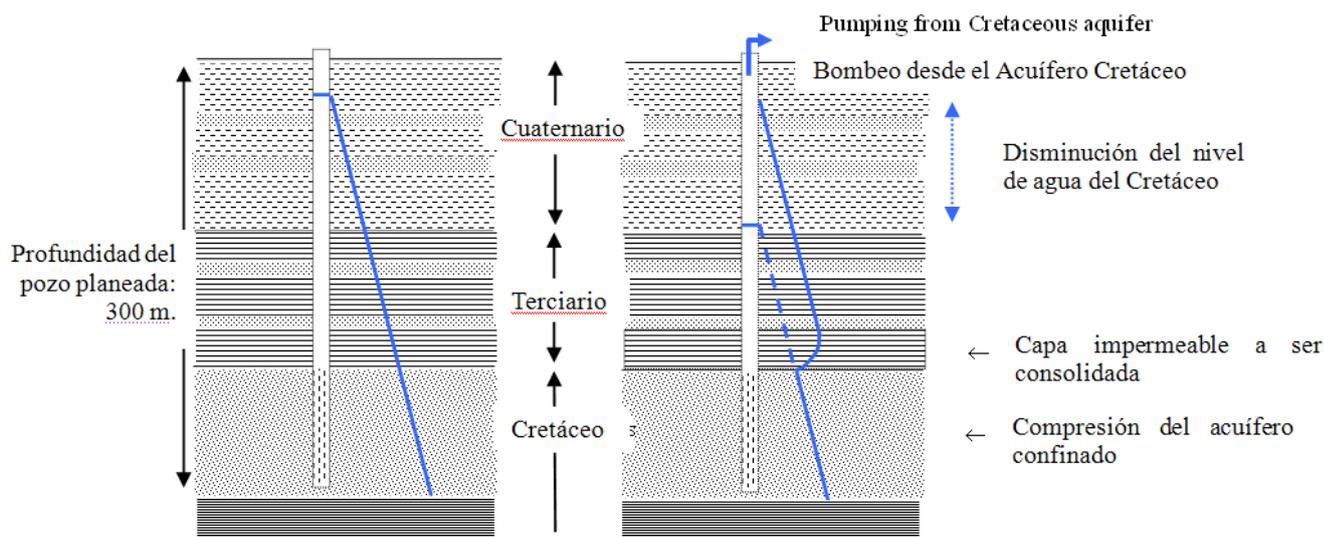
k : Coeficiente de permeabilidad.

m_v : Coeficiente de compresibilidad del volumen.

γ_w : Peso unitario del agua.

(3). Modelo de Subsistencia en el Área de Estudio

El mecanismo de subsistencia del terreno en el Área de Estudio a causa del proyecto propuesto se muestra a continuación:



Antes del bombeo b) Después del Bombeo

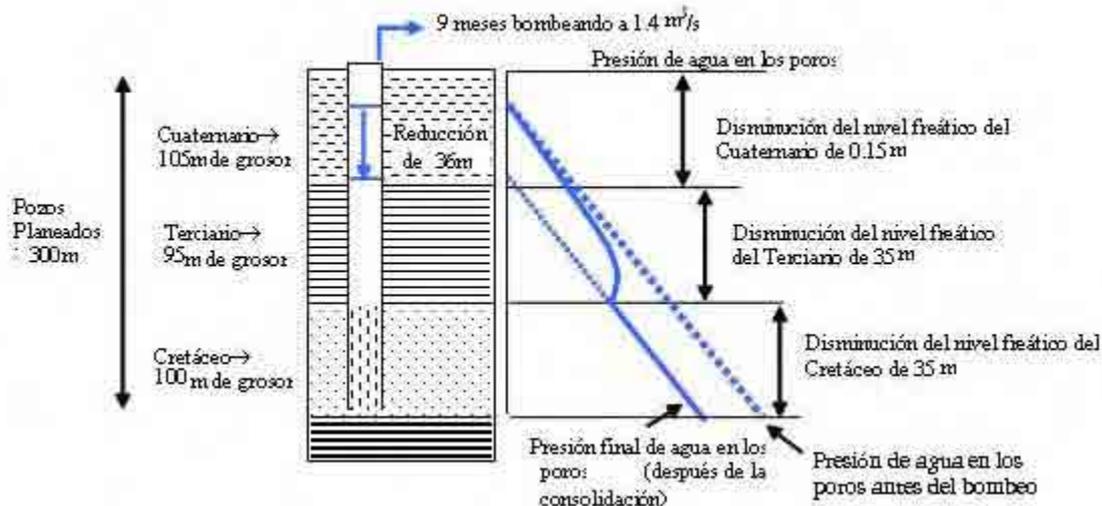
Fuente: Grupo de Estudio JICA

Figura-2.5- 27 Mecanismo de Subsistencia del Terreno

Como se muestra en la Figura-2.5-27 solo una parte limitada de la capa Terciaria, la cual tiene contacto con el acuífero Cretáceo, estará influenciada por el bombeo desde el acuífero Cretáceo.

Modelo de Consolidación

El modelo para el análisis de consolidación por los proyectos propuestos se muestra en la Figura-2.5-28. Los valores de reducción en la presión de agua en los poros son resultado de la simulación de agua subterránea (ver sección 5.4.2).



Fuente: Grupo de Estudio JICA

Figura-2.5- 28 Modelo de Consolidación

Modelo de Consolidación para el Cuaternario (Arcilla Aluvial)

El modelo de consolidación para arcilla aluvial en la parte norte de Bogotá se presenta en la Figura-2.5-29). Éste modelo fue utilizado para el presente análisis, donde se asume que el agua subterránea drenada de las capas de arcilla por consolidación bajará y finalmente fluirá lejos de la capa inferior (capa No. 16 en la Figura-2.5-29).

Símbolo	Capa del Suelo		Profundidad de la capa (m)	Grosor de la Capa (m)	Peso Unitario (t/m ³)	Índice de Compresión (Cc)	Cv (cm ² /d)	Grosor Convertido (m)
	No.	Nombre del Suelo						
	1	Relleno	1.0	1.0	1.56	-	-	-
	2	Limos	2.5	1.5	1.38	1.72	2.59	1.2
	3	Arcilla	6.7	4.2	1.48	0.99	20.74	1.2
	4	Arcilla	20.1	13.4	1.34	1.48	0.86	19.0
	5	Arcilla	26.4	6.3	1.32	1.55	1.73	6.3
	6	Arcilla	30.5	4.1	1.46	1.37	117.07	0.5
	7	Arcilla	36.2	5.7	1.41	1.6	1.73	5.7
	8	Arcilla	39.7	3.5	1.33	3.77	1.73	3.5
	9	Arcilla	42.3	2.6	1.53	2.21	1.73	2.6
	10	Arcilla	50.5	8.2	1.46	1.16	1.73	8.2
	11	Arcilla	62.3	11.8	1.5	0.95	24.19	3.2
	12	Toba	66.5	4.2	1.07	2.26	4.75	2.5
	13	Arcilla+Arena	71.0	4.5	1.67	0.77	42.34	0.9
	14	Arcilla+Arena	85.0	14.0	1.73	0.7	1.30	16.2
	15	Arcilla+Arena	89.8	4.8	1.84	0.62	1.30	5.5
	16	Arcilla Arenosa	105.0	15.2	1.7	0.97	9.50	6.5
	Total			105.0	Fuente: Universidad Nacional			83.0

Fuente: Grupo de Estudio JICA

Figura-2.5- 29 Modelo de Consolidación de Capas Aluviales

Modelo de Compresión para el Terciario y Cretáceo

Las capas Terciaria y Cretácea consisten de material rocoso, a diferencia de la capa Cuaternaria que consiste de sedimentos suaves no consolidados. Por lo tanto en las capas Terciaria y Cretácea, no ocurrirá un fenómeno de consolidación pero sí de compresión elástica, debido a la disminución de los niveles freáticos. En este caso, su compresión ocurrirá inmediatamente después del bombeo y terminará pronto. No existen datos sobre el coeficiente de compresión de las capas Terciaria y Cretácea dentro del Área de Estudio. Por lo tanto, para el análisis se utilizaron valores generalizados para estas capas.

Coefficiente de Compresibilidad del Volumen

Terciario	1×10-6 (t/m²)
Cretáceo	1×10-7 (t/m²)

(4). Análisis de Subsistencia del Terreno por el Proyecto

La subsistencia del terreno se calculó para el modelo de la Figura-2.5-27 y sus resultados se presentan en la Tabla-2.5-23. Debe notarse que los valores de subsistencia que se presentan en la Tabla-2.5-23 se presentarán después de un periodo largo de bombeo. Por otro lado, los 62 pozos de emergencia propuestos en este estudio serán operados únicamente en caso de emergencia, el cual será de máximo 9 meses. En este caso, los valores de subsistencia serán menores que los que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla-2.5- 23 Subsistencia del Terreno Después de un Largo Periodo de Bombeo

Geología	Grosor (m)	Reducción de la Presión de Agua en los Poros (m)	m _v (t/m ²)	Subsistencia del Terreno (m)
Cuaternario	105	0.15	0.133 ¹⁾	0.02 ¹⁾
Terciario	95	35	0.000001	0.003325
Cretáceo	100	35	0.0000003	0.00105
Total				0.024375

Nota: La subsistencia del terreno en las capas del Cuaternario se calculó en 0.02 m a partir del C_c en la Figura-5.27. m_v=0.133 fue calculado a partir de la subsistencia calculada (0.0133) y la reducción en la presión de agua en los poros (0.15).
 Fuente: Grupo de Estudio JICA

La subsistencia del terreno después de 9 meses de bombeo puede ser analizada partiendo de la siguiente ecuación:

Consolidación después de 9 meses de bombeo = Consolidación Final x Grado de Consolidación.

El grado de consolidación se calculó mediante el siguiente procedimiento.

Coefficiente de Consolidación y Grosor de las Capas

El componente principal de la velocidad de consolidación es el coeficiente de consolidación (C_v). Las capas Cuaternarias consisten en múltiples capas con diferentes C_v como se muestra en la Figura-5.27. Para simplificar el análisis, las capas del Cuaternario fueron unificadas en una sola capa con un C_v unificado mediante el siguiente método:

$$\text{Grosor convertido de cada capa} = \sqrt{\text{Grosor de cada capa} \times C_v \text{ de cada capa} / C_v \text{ unificado}}$$

$$C_v \text{ unificado} = 1,73 \text{ cm}^2/\text{día} \text{ (} C_v \text{ de la capa No.5, No. 7 a la No. 10 en la Figura-5.27).}$$

$$\text{Grosor de las capas unificadas} = \text{Grosor total de las capas convertidas}$$

Por otro lado, el coeficiente de consolidación de las capas Terciaria y Cretácea no puede ser definido ya que se espera una compresión elástica en ellas.

Grado de Consolidación

El grado de consolidación (U_z) está en función del factor tiempo (T_v). El T_v se define de la siguiente manera:

$$\text{Factor tiempo } T_v = C_v/H^2 \times t$$

C_v: Coeficiente de Consolidación (cm²/día).

H: Grosor de la Capa (cm).

t: Tiempo después que la consolidación comience (días).

Para el modelo que se muestra en la Figura-5.27, $T_v = 1.733 / (83002) \times 270 = 6.79 \times 10^{-6}$

Cantidad de Subsistencia del Terreno

Se calculó la cantidad de subsistencia del terreno estimada a partir del modelo en la Figura-2.5-27. Los resultados se presentan en la Tabla-2.5-24.

Tabla-2.5- 24 Cantidad de Subsistencia del Terreno

Geología	Condiciones para la Consolidación	Factor Tiempo (Tv)	Cantidad de subsistencia después de 9 meses de bombeo		
			Subsistencia final (m)	Grado de Consolidación (%)	Subsistencia después de 9 meses de bombeo (m)
			(a)	(b)	(a)×(b)
Cuaternario	Un lado	9.6×10^{-5}	0.02	5	0.001
Terciario	-	-	0.003325	100	0.003325
Cretáceo	-	-	0.00105	100	0.00105
Total					0.0091

Fuente: Grupo de Estudio JICA

Como se aprecia en la Tabla-2.5-24, la cantidad de subsistencia del terreno después de 9 meses de bombeo es pequeña y despreciable. Las capas Terciarias intermedias entre las capas Cuaternarias y Cretáceas previenen la subsistencia de las capas Cuaternarias suaves.

5.7. Proyecto Piloto para el Uso de Agua Subterránea

El objetivo general del Acueducto con el Proyecto Piloto para uso de agua subterránea es conocer sus problemas técnicos y sus soluciones. Los objetivos del Proyecto son:

- Conocer y resolver problemas técnicos en cuanto a la construcción, operación y manejo de las instalaciones de abastecimiento de agua en caso de emergencia mediante agua subterránea.
- Estimar costos de construcción, operación y manejo de las instalaciones de abastecimiento de agua de emergencia mediante agua subterránea.

En este proyecto, un pozo de emergencia será conectado a la tubería de agua existente para distribuir el agua subterránea en el sistema de abastecimiento de agua.

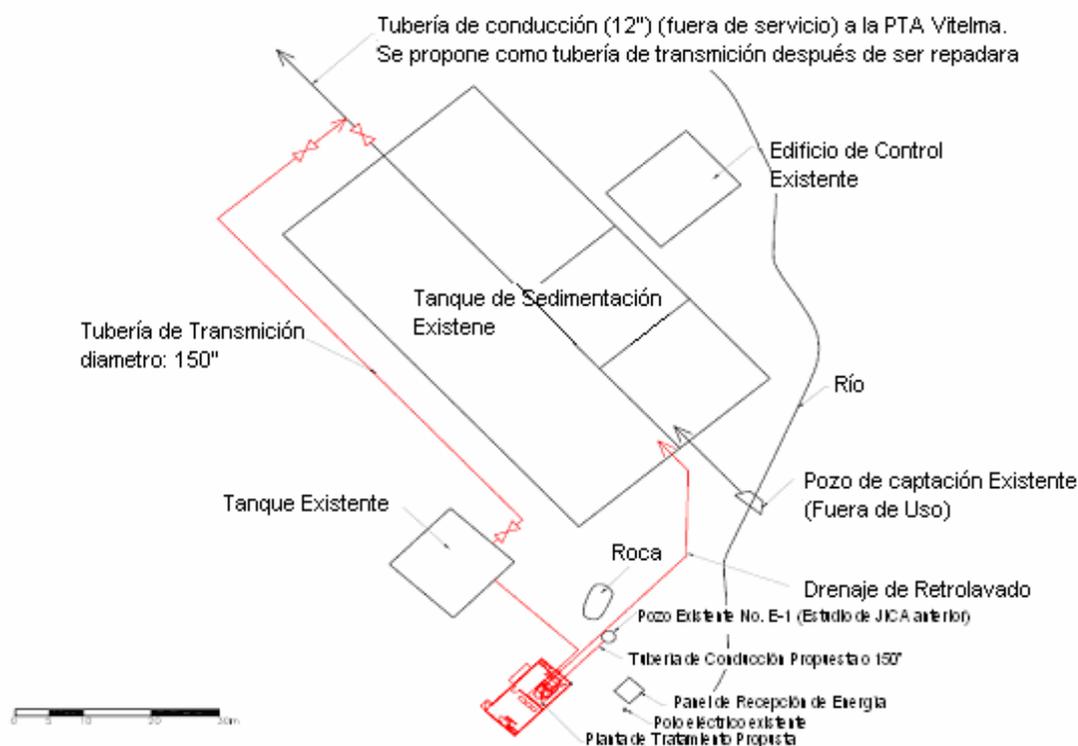
Ubicación del Proyecto Piloto

Dadas sus buenas condiciones, el proyecto piloto debe ser implementado en el estanque de sedimentación de Vitelma del Acueducto:

- En el estudio anterior de JICA se implementó en Vitelma el proyecto piloto de recarga. Las instalaciones aun permanecen en el lugar incluyendo el pozo de recarga y el tanque, los cuales pueden ser utilizados para este proyecto piloto. Se puede esperar una producción de 2.000 m³/día en éste pozo.
- Existe una tubería de conducción de agua desde este lugar hasta la planta de purificación de Vitelma. El agua subterránea bombeada desde los pozos puede llegar a la Planta de Vitelma a través de la tubería existente.

Instalaciones para el Proyecto Piloto

Las instalaciones para abastecimiento de agua en emergencia consisten de un pozo, instalaciones simples para el tratamiento de agua, instalaciones eléctricas y tuberías. El agua subterránea bombeada del pozo proviene del acuífero Cretáceo y presenta buena calidad para su consumo aunque contiene concentraciones de Fe y Mn un poco altas. Las instalaciones de tratamiento para remover el Fe y el Mn son necesarias. El concepto de las instalaciones se presenta en las Figuras-2.5-30 y Figura-2.5-31.



1:700

Fuente: Grupo de Estudio JICA

Figura-2.5- 30 Sitio para el Proyecto Piloto

Alternativas para las Instalaciones de Tratamiento

Las instalaciones de tratamiento son importantes en este estudio piloto. Existen dos tipos de instalaciones propuestas en este estudio.

Tabla-2.5- 25 Instalaciones de Tratamiento de Agua Alternativas

Alternativa	Sistema de las Instalaciones
Tipo -A (ver Figura-5.29)	Agua del pozo→precipitación→filtro de presión sencillo→ agua tratada
Tipo -B (ver Figura-5.30)	Agua del pozo →aeración→mezcla y floculación →filtros de presión múltiples→ agua tratada

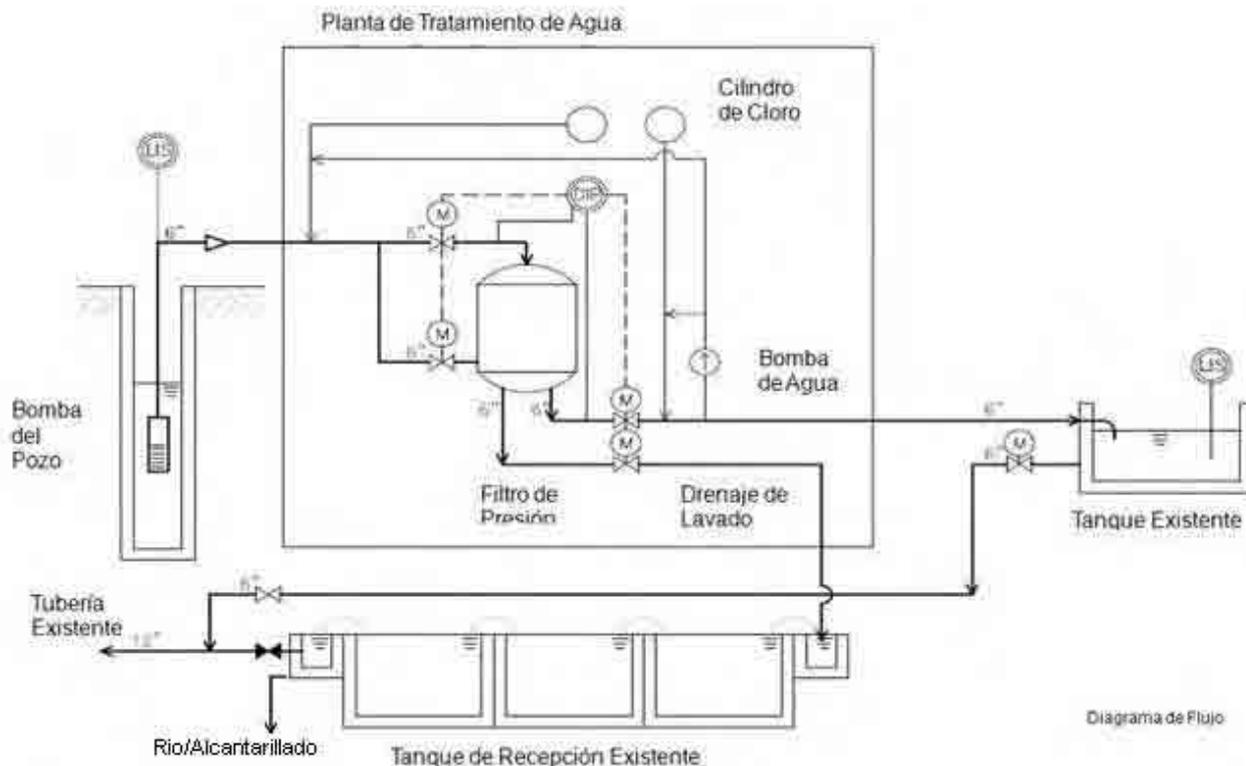
Fuente: Grupo de Estudio JICA

Las diferencias entre las dos alternativas se resumen en la Tabla-2.5-26.

Tabla-2.5- 26 Diferencias entre las Alternativas

Alternativa	Precipitación de Fe y Mn	Asentamiento y Filtración de Fe y Mn	Numero de Filtros de Presión	Método para la inyección de agua a los filtros de presión
Tipo-A	Cloración	Filtro de Presión	Un filtro: La capacidad del filtro será decidida con base en la cantidad de tratamiento que requiera.	Por presión de la bomba sumergible del pozo.
Tipo-B	Aeración + cloración	Tanque de Floculación + Filtros de presión	3 filtros: La capacidad de los 3 filtros será decidida con base en la cantidad de tratamiento que requiera.	El agua subterránea será bombeada a un tanque de aeración elevado, de donde el agua será distribuida por gravedad.

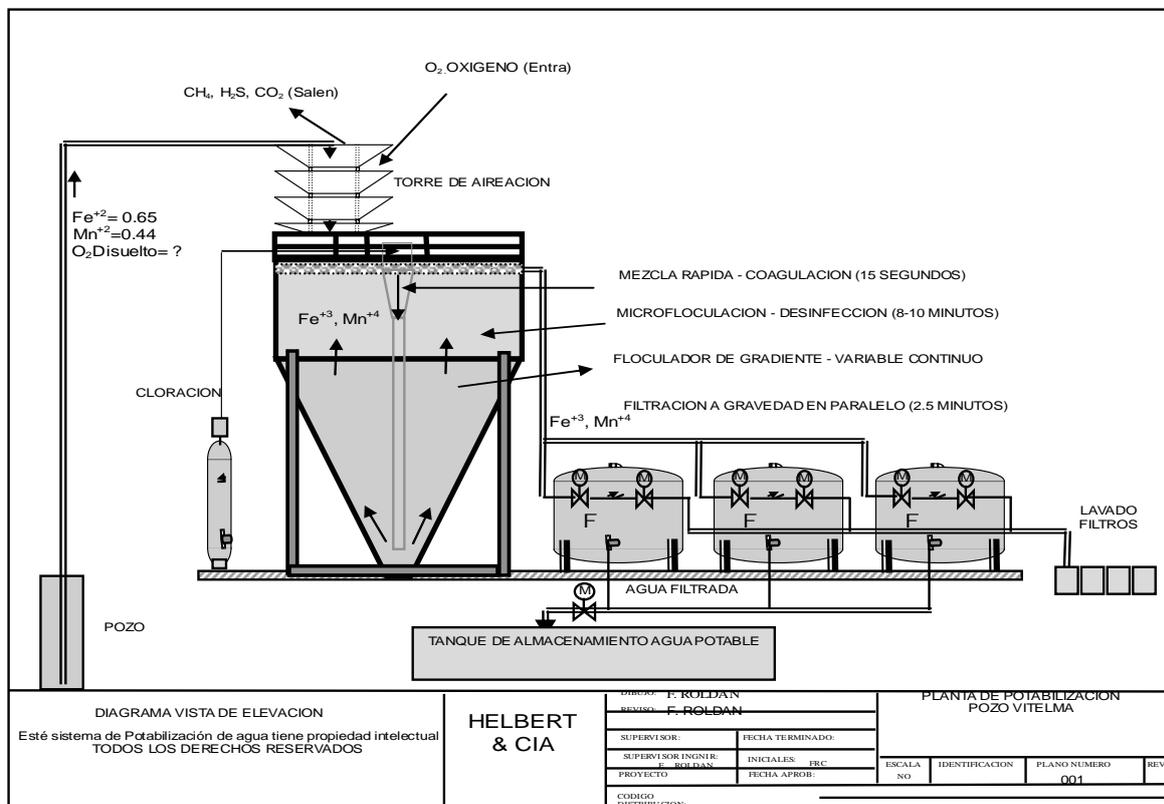
Fuente: Grupo de Estudio JICA



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.5- 31 Sistema de Tratamiento de Agua (Alternativa tipo-A)

El agua del retrolavado de la Figura-2.5-31 es descargada del Tanque de Recepción Existente al río o sistema de alcantarillado si sus características cumplen con la regulación. Los lodos acumulados en el Tanque de Recepción Existente deben ser tratados apropiadamente.



Fuente: Grupo de Estudio JICA

Figura-2.5- 32 Sistema de Tratamiento de Agua (Alternativa tipo-B)

Las diferencias entre las dos alternativas se resumen de la siguiente manera:

- En el tipo-A, la precipitación de Fe y Mn se lleva a cabo por cloración. Mientras que el tipo-B utiliza aeración y cloración.
- El cloro para la precipitación es inyectado a la tubería en el tipo-A, mientras que en el tipo-B el cloro se añade a un tanque de mezcla.
- En el tipo-A el Fe y Mn son removidos por filtros de presión, el tipo-B usa un tanque de floculación y filtros de presión.
- En el tipo-A el agua se inyecta a un filtro y se distribuye en el sistema de agua existente por la presión de la bomba sumergible; el tipo-B trabaja por gravedad desde la torre de aireación.
- El tratamiento tipo-A es de carácter sencillo con instalaciones pequeñas y bajos costos de construcción. Por otro lado el tipo-B cuenta con un sistema de tratamiento más completo con instalaciones más grandes y costos de construcción más altos.

El tipo de tratamiento seleccionado depende de: i) concentración de Fe^{2+} y Mn^{+2} en el agua de los pozos y ii) costo de construcción. Se planea que las instalaciones de tratamiento de agua propuestas en este Estudio sean de tipo-A. Sin embargo, las instalaciones de tratamiento de agua deben ser examinadas a fondo a través de la planeación y diseño del estudio piloto.

Uso Efectivo del Proyecto Piloto

Se puede esperar una expansión debido a los resultados del proyecto piloto.

- El proyecto piloto se hace a manera de Estudio de Factibilidad para abastecimiento de agua de emergencia mediante agua subterránea.
- En este Estudio se propone el Plan Maestro del proyecto de abastecimiento de agua en emergencia mediante agua subterránea. Después del proyecto piloto, se pueden implementar proyectos similares a éste, que finalizarían con el proyecto propuesto de 62 pozos para el abastecimiento de emergencia.

5.8. Plan de Monitoreo

El mantenimiento de los pozos es necesario para el uso de los pozos de producción durante periodos largos en las mejores condiciones. Para esto, el monitoreo del nivel freático y la calidad del agua es indispensable. Adicionalmente, también es necesario un monitoreo para inspeccionar la influencia del bombeo sobre el ambiente natural, como por ejemplo deslizamientos de tierra. En seguida se describen los dos tipos de monitoreos.

(a). Monitoreo para controlar la producción de los pozos.

(b). Monitoreo para inspeccionar el impacto ambiental del bombeo.

Monitoreo para Controlar la Producción de los Pozos

El contenido del monitoreo se describe en la Tabla-2.5-27.

Tabla-2.5- 27 Monitoreo para Inspeccionar La Influencia del Bombeo Sobre el Ambiente Natural

Objetivo	Ítem a ser monitoreado		Frecuencia Monitoreo	Uso del Resultado del Monitoreo
	Ítem	Anotaciones		
Nivel Freático	Nivel Freático Dinámico de los pozos en operación (nivel estático del agua de los pozos no operados)	El nivel freático será medido por un registrador automático	Observación Continua	<ul style="list-style-type: none"> Se realizará la limpieza de los pozos cuando la capacidad específica del pozo disminuya¹⁾. Se detectarán fallas en el bombeo²⁾
Producción	Producción del Pozo	La producción del pozo será observada por un medidor de flujo	Observación Continua	<ul style="list-style-type: none"> La producción será controlada de acuerdo al nivel freático
Calidad del Agua	Estándares de Calidad del Agua	Tanto el agua cruda como la tratada serán muestreadas y analizadas.	Una Vez/mes	<ul style="list-style-type: none"> Se juzgará la conveniencia del agua potable. Los cambios en la calidad del agua proveerán información sobre el cambio de las propiedades del acuífero.

Nota: 1) Capacidad Específica = producción (m³/día)/disminución nivel freático (m). 2) La disminución en la capacidad de producción del pozo se puede juzgar por la disminución de la capacidad específica. Una disminución en la producción sin disminución en la producción específica se traduce en una falla en el bombeo. Ésta puede estar causada por i) corrosión del la bomba y ii) erosión de la bomba por arena en el acuífero. Fuente: Grupo de Estudio JICA

Monitoreo para Inspeccionar el Impacto Ambiental del Bombeo

El contenido de este monitoreo se resume en la Tabla-2.5-28.

Tabla-2.5- 28 Monitoreo para Inspeccionar el Impacto Ambiental Causado por el Bombeo

Objetivo	Ítems a ser Monitoreados		Frecuencia	Uso del Resultado del Monitoreo
	Ítem	Anotaciones		
Nivel Freático del Pozo	Nivel estático del agua en los pozos de observación	Los niveles estáticos del agua de los pozos de observación del Cuaternario serán medidos por un medidor automático. El pozo de observación debe estar cerca de los pozos de producción del Cretáceo.	Observación Continua	Se determinará el impacto del bombeo en el acuífero Cretáceo sobre el nivel freático del Cuaternario.
Subsidencia	Elevación del Terreno	La elevación en el terreno del pozo de observación Cuaternario será observada.	Una vez cada seis meses	Se puede juzgar la ocurrencia de deslizamientos de tierra en el Cuaternario y la relación entre la subsidencia de tierra y el bombeo desde el acuífero Cretáceo.

Fuente: Grupo de Estudio JICA

5. 9. Institución y Operación/Mantenimiento

(1). Procedimiento de Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia

El procedimiento de abastecimiento de agua en caso de emergencia está planeado como se muestra en la Tabla-2.5-29. La organización encargada del abastecimiento de agua en caso de emergencia es la Gerencia Corporativa de Sistema Maestro a mando del Gerente General del Acueducto. En las etapas tempranas de la operación de emergencia, una comunicación cercana con las organizaciones relacionadas será especialmente necesaria.

Tabla-2.5- 29 Procedimiento Para El Abastecimiento de Agua en Caso de Emergencia

Procedimiento	Operación	Organización a Cargo dentro del Acueducto ¹⁾	Organización Relacionada dentro del Acueducto ¹⁾	Organización Relacionada fuera del Acueducto ²⁾
Recolección de Información sobre la Situación de Desastre	<ul style="list-style-type: none"> * Recolección de Información sobre la demanda de abastecimiento de agua de emergencia * Recolección de información sobre las condiciones de las instalaciones/equipos para conducción de agua, tratamiento, almacenamiento, conducción y distribución. * Recolección de información sobre la disponibilidad de otros servicios públicos (electricidad, telecomunicaciones, transporte etc.) y condiciones de las vías, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - G.G. - G.C. del Sistema Maestro 	---	<ul style="list-style-type: none"> - D.C.P.A.E - DPAAE - C.I.D. - C.E.L.
Identificación de la operación para el Abastecimiento de Agua de Emergencia	<ul style="list-style-type: none"> * Identificación de áreas requeridas para el abastecimiento de agua de emergencia * Identificación de las instalaciones/equipos a ser usado para el abastecimiento de agua de emergencia * Organización del abastecimiento de agua de emergencia (despacho del personal y obtención del material requerido, etc.) * Identificación y planeación de los trabajos de rehabilitación para instalaciones de conducción, tratamiento, almacenamiento, y distribución 	<ul style="list-style-type: none"> - G.G. - G.C. del Sistema Maestro 	<ul style="list-style-type: none"> - G.C.G.H.A. - G.C. de Planeación y Control 	<ul style="list-style-type: none"> - D.C.P.A.E - DPAAE - C.I.D. - C.E.L.
Implementación del Abastecimiento de Agua de Emergencia	<ul style="list-style-type: none"> * Implementación de los trabajos de rehabilitación * Abastecimiento de emergencia mediante aguas superficiales * Abastecimiento de emergencia mediante aguas subterráneas <ul style="list-style-type: none"> - Abastecimiento Puntual de Agua - Abastecimiento usando la red de distribución rehabilitada 	<ul style="list-style-type: none"> - G.G. - G.C. del Sistema Maestro - G.C. de Servicio al Cliente 	<ul style="list-style-type: none"> - S.G. - G.J. -G.C.G.H.A.-G .C. Financiera 	<ul style="list-style-type: none"> - D.C.P.A.E - DPAAE - C.I.D. - C.E.L.
Acuerdos y evaluación Post-emergencia	<ul style="list-style-type: none"> * Acuerdos Financieros y compensaciones * Evaluación posterior de la operación de emergencia y lecciones aprendidas para mejorar en caso de un futuro abastecimiento de agua de emergencia, y para mejorar la preparación para eventos de emergencia. 	<ul style="list-style-type: none"> - G.G. - G.C. del Sistema Maestro 	<ul style="list-style-type: none"> - G.C. de Planeación y Control - G.C. de Servicio al Cliente - S.G. - G.J. - G.C.G.H.A. - G.C. Financiera 	<ul style="list-style-type: none"> - D.C.P.A.E - DPAAE - C.I.D. - C.E.L.

Nota: 1. G.G.; Gerencia General, G.C.; Gerencia Corporativa, S.G.; Secretaría General, G.J.; Gerencia Jurídica, G.C.G.H.A.; Gerencia Corporativa de gestión Humana y Administración.

2. C.D.P.A.E; Comité Distrital para la Prevención y Atención de Emergencias, DPAAE; Dirección de Prevención y Atención de Emergencias del Distrito, C.I.D; Comisión Interinstitucional del Distrito, C.E.L.; Comités de Emergencia Local.

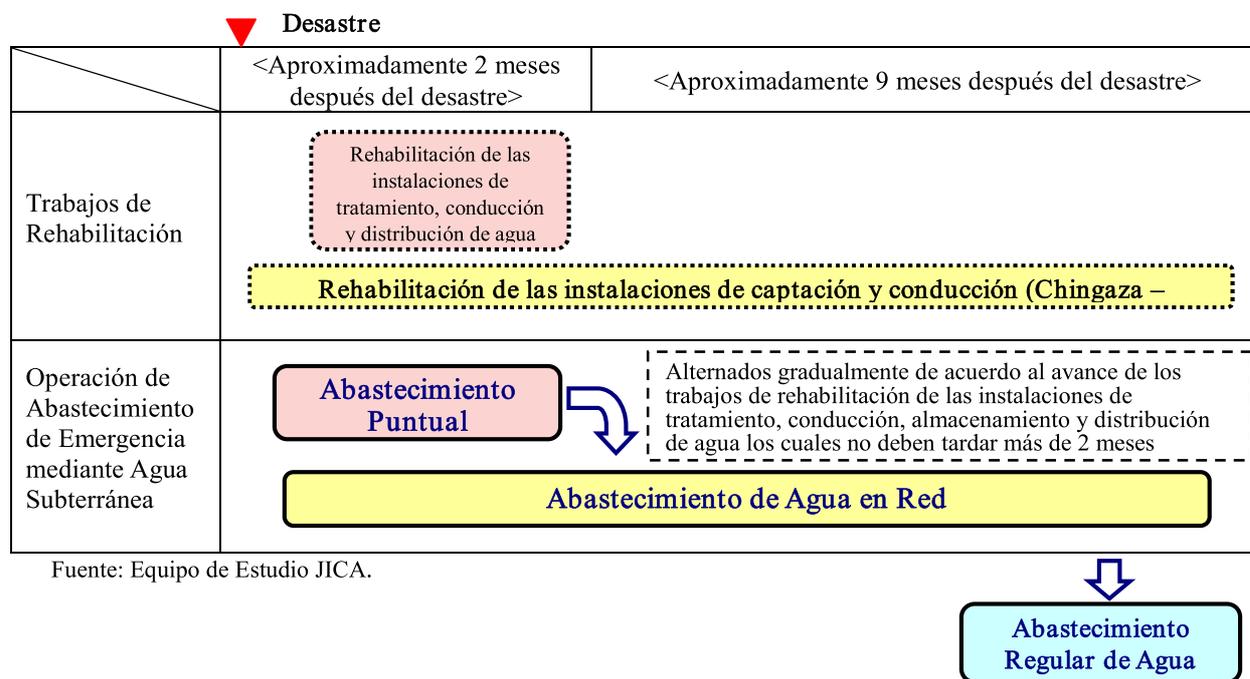
Fuente: Equipo de Estudio JICA.

(2). Operación y Mantenimiento para el Abastecimiento de Agua Subterránea en Caso de Emergencia

Los tipos de operación para abastecimiento de agua subterránea en caso de emergencia se clasifican de la siguiente manera:

- 1) **Abastecimiento Puntual de Agua:** Abastecimiento de agua usando carrotanques para su distribución. Los carrotanques irán a los puntos de distribución de agua (pozos o instalaciones de tratamientos propuestos en la Sección 7.4) y después a la comunidad.
- 2) **Abastecimiento de Agua en Red:** Abastecimiento de agua utilizando las instalaciones de tratamiento, conducción y distribución existentes o rehabilitadas con un sistema automático de control. Los carrotanques también pueden estar disponibles, siendo abastecidos por hidrantes de la red del sistema de abastecimiento de agua.

La coordinación de los dos tipos de abastecimiento de agua de emergencia se ilustra en la Figura-5.33. La operación de los dos tipos de abastecimiento de agua de emergencia debe ser alternada gradualmente de acuerdo al avance de los trabajos de rehabilitación en las instalaciones de tratamiento, conducción y distribución de agua; los cuales no deben tardar más de 2 meses.



Fuente: Equipo de Estudio JICA.

Figura-2.5- 33 Operación de Abastecimiento de Agua Subterránea en Caso de Emergencia

Los trabajos operativos para el abastecimiento de agua subterránea en caso de emergencia se presentan en la Tabla-2.5-30. A medida que avanzan las obras de rehabilitación de las redes de conducción y distribución, el abastecimiento puntual de agua puede llevarse a cabo en áreas de redes rehabilitadas donde se encuentren hidrantes. Los trabajos operativos de las redes de abastecimiento de agua son los mismos que aquellos para abastecimiento de agua en tiempo ordinario. Antes de alternar al abastecimiento de agua en red será necesario un periodo de transición mientras se realizan los chequeos del sistema de control.

Tabla-2.5- 30 Trabajos Operativos para el Abastecimiento de Agua de Emergencia Mediante Aguas Subterráneas

Abastecimiento de Agua de Emergencia	Instalación	Proceso Operativo	Personal Requerido
Abastecimiento Puntual de Agua	Bombas, Generadores	* Desconexión del sistema de Control Remoto * Encendido del Generador (si no hay electricidad) <u>Inspección a las Instalaciones (una vez/día)</u> 1) Chequeo al generador (apariencia, vibración, frecuencia, temperatura, cambio en color /forma, aflojamiento, presión, rotación, fugas, tubos, instrumentos de medición) 2) Chequeo eléctrico y de voltaje de las bombas 3) Chequeo del nivel de agua dinámico mediante observación del medidor 4) Chequeo de la calidad del agua (turbidez, arena, limpieza al rededor del pozo) por observación y usando instrumentos	- Un operador por pozo (2 turnos/día) - Contratos de distribución de agua por carro-tanques (vehículo y conductor) - Una persona por carro-tanque para revisar la distribución
	Instalaciones de Tratamiento	* Desconexión de la red de conducción * Desconexión del sistema de control remoto <u>Inspección a las Instalaciones (una vez/día)</u> 1) Revisión del almacenamiento de químicos, estructuras, válvulas y sistema de inyección 2) Análisis de Calidad de Agua por un medidor de calidad del agua	
	Instalación de Distribución	* Agua para abastecer al carro-tanque * Chequeo de calidad del agua por un medidor de calidad del agua	
	Sitio de Construcción	* Continuar trabajos diarios para la seguridad y mantenimiento de la construcción y el sitio	- Contrato de Servicio para la seguridad y mantenimiento
Operación de Transición	Bombas, Instalaciones de Conducción	* Revisar el sistema de control remoto * Conexión al sistema de control remoto * Conexión a la red de conducción	- Un operario por pozo bajo la supervisión de los ingenieros de la jefatura
Abastecimiento de Agua en Red	Bombas	<u>Inspección a las Instalaciones (una vez/mes)</u> 1) Chequear la operación de las bombas. En caso que se encuentre algún desorden, reparación de la bomba 2) Revisión de niveles estáticos y dinámicos del agua observando el medidor, y recolectar datos del nivel automático de agua para su análisis 3) Análisis de la calidad de agua en laboratorio y por un medidor de calidad de agua 4) Revisión de los medidores automáticos de nivel del agua	- Dos equipos, un técnico líder y uno asistente para cada equipo, serán necesarios - Contratos de servicio para servicios de inspección regular a las instalaciones y monitoreo de los pozos
	Instalaciones de Tratamiento	<u>Inspección de las Instalaciones (una vez/mes)</u> 1) Revisión del almacenamiento de químicos, estructuras, válvulas y sistema de inyección 2) Análisis de la calidad de agua en laboratorio y por un medidor de calidad de agua	
	Aducción e Instalaciones de Conducción	<u>Inspección de las Instalaciones (una vez/mes)</u> 1) Revisión de la tubería (apariencia, grietas en la superficie de las vías, otros trabajos de construcción cerca de las tuberías) 2) Revisión de la operación de las bombas. Reparación en caso de daño	
	Sitio de Construcción	* Continuar con los trabajos diarios para la seguridad y el mantenimiento de la construcción y los sitios	- Contrato de Servicio para la seguridad y mantenimiento

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

(3). Personal para el Abastecimiento de Agua de Emergencia mediante Agua Subterránea

Es recomendable que el personal permanente haga parte del personal del Acueducto y no trabaje únicamente para el abastecimiento de agua de emergencia. Con la experiencia de la emergencia de Chingaza, el Acueducto ha preparado contratos con compañías propietarias de carro-tanques o vehículos similares, por medio de los cuales las compañías proveen estos vehículos junto con sus conductores en caso de emergencia (ver Tabla-2.5-31).

Tabla-2.5- 31 Personal Para El Abastecimiento De Agua De Emergencia Mediante Agua Subterránea

Tipo de Abastecimiento de Agua de Emergencia	Personal
Abastecimiento Puntual de Agua	<p><u>Bombeo, Tratamiento y Abastecimiento a los Carrotaques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Dos técnicos por pozo son necesarios para las operaciones de bombeo, tratamiento y abastecimiento de agua a los carrotaques. * El número total de personas requeridas dependerá del número de pozos a ser usados para el abastecimiento puntual de agua (o de las condiciones de las instalaciones de conducción y distribución disponibles). El personal máximo alcanzará aproximadamente 120 personas cuando todos los pozos propuestos sean usados para abastecimiento puntual de agua. * Se deben despachar técnicos de la Direcciones de Abastecimiento y Red Matriz de la Gerencia Corporativa de Sistema Maestro. Igualmente la Gerencia de Zona y la Dirección de Soporte Técnico de la Gerencia Corporativa de Servicio al Cliente deben hacer presencia. <p><u>Distribución</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Contratos con compañías que tienen carrotaques o vehículos similares. * Una persona del Acueducto por vehículo es necesaria para revisar la distribución. * Se debe despachar personal de la Gerencia de Zona y de las Direcciones de la Gerencia Corporativa de Servicio al Cliente. <p><u>Mantenimiento de Sitios de Construcción</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Se recomiendan contratos de servicio para seguridad y mantenimiento.
Abastecimiento de Agua en Red	<p><u>Bombeo, Aducción, Tratamiento y Conducción</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * El abastecimiento de agua en red será implementado con un sistema de control automático al igual que el abastecimiento normal. * Dos técnicos líder y dos técnicos asistente serán empleados por el Acueducto para manejar la operación de abastecimiento de agua subterránea en red. Este personal también estará a cargo del abastecimiento por medio de agua subterránea en tiempo ordinario. * Se recomienda subcontratar contratos de servicio para la inspección regular de las instalaciones y el monitoreo de los pozos. <p><u>Mantenimiento de Sitios de Construcción</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Se recomienda contratos de servicio para seguridad y mantenimiento.

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

(4). Operación para el Abastecimiento Regular de Agua mediante Agua Subterránea

Los trabajos operativos para el abastecimiento regular de agua son los mismos que aquellos para el abastecimiento de agua en red en caso de emergencia (ver Tabla-2.5-32). En otras palabras, alternar al abastecimiento de agua en red desde el abastecimiento puntual significa comenzar de nuevo operaciones regulares de abastecimiento. El abastecimiento regular de agua por medio de aguas subterráneas será automáticamente controlado por el sistema de control remoto, manejado en el centro de control del Acueducto.

Tabla-2.5- 32 Trabajos Operativos para el Abastecimiento Regular de Agua Mediante Agua Subterránea

Instalación	Proceso Operativo	Personal Requerido
Bombas	<u>Inspección de la Instalaciones (una vez/mes)</u> 1) Revisión de la operación de las bombas. En caso de encontrarse alguna anomalía, ésta será reparada. 2) Revisión de los niveles estáticos y dinámicos del agua del medidor, y recolección de datos de los niveles automáticos de agua para análisis. 3) Análisis de calidad de agua en laboratorio y por un medidor de calidad del agua. 4) Revisar los medidores automáticos de nivel del agua	- Dos equipos, un técnico líder y uno asistente por equipo serán necesarios. - Contratos de servicio para la inspección regular de las instalaciones y monitoreo de los pozos.
Instalaciones de Tratamiento	<u>Inspección de la Instalaciones (una vez/mes)</u> 1) Revisión del almacenamiento de químicos, estructuras, válvulas y del sistema de inyección. 2) Análisis de calidad de agua en laboratorio y por un medidor de calidad del agua.	
Instalaciones de Aducción y Conducción	<u>Inspección de la Instalaciones (una vez/mes)</u> 1) Revisión de las tuberías (aparición, grietas en la superficie de las vías, otros trabajos de construcción cerca de las tuberías). 2) Revisar la operación de las bombas. En caso de anomalía, reparar las bombas.	
Lugar de la construcción	* Continuar trabajos diarios para la seguridad y el mantenimiento del edificio y el sitio.	- Contrato de Servicio para seguridad y mantenimiento.

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

(5). Aumento de la Preparación para Eventos de Emergencia

Las operaciones de emergencia tienden a ser complicadas y confusas por naturaleza bajo circunstancias de incertidumbre. Se recomienda para una respuesta rápida y adecuada a situaciones de emergencia lo siguiente:

- 1) **Comunicación con las organizaciones relevantes relacionadas con la prevención y atención a emergencias del Distrito:** El abastecimiento de agua de emergencia es una de las acciones para atender desastres y está estrechamente relacionado con las acciones de otros sectores. Por lo tanto, se debe mantener la comunicación con otras organizaciones relevantes de manera estrecha y frecuente.
- 2) **Preparación y actualización de listas de contactos (personal del Acueducto para abastecimiento de agua de emergencia, contratistas de carrotanques y materiales, etc.):** Para un adecuado y preciso comienzo de operaciones de abastecimiento de emergencia, esta información debe estar permanentemente actualizada. Se recomiendan revisiones periódicas, mas o menos dos veces al año.
- 3) **Preparación de un Manual de Operación y Entrenamiento:** Como se describió anteriormente, un número sustancial de personas estarán involucradas en la operación de abastecimiento de agua de emergencia, cuyos trabajos diarios son diferentes a los de abastecimiento de emergencia; especialmente para el abastecimiento puntual de agua. Se deben preparar manuales de fácil aplicación para los trabajos operativos del personal de abastecimiento de emergencia.
- 4) **Ejercicios y Entrenamiento:** Para comenzar e implementar la operación de abastecimiento de emergencia de manera rápida y precisa en el momento de un desastre, se recomienda efectuar ejercicios y entrenamientos periódicos a manera de simulacro. De estos ejercicios y entrenamientos, se reconocen los problemas y se toman las contramedidas antes de la ocurrencia del desastre.

(6). Organización para el Manejo del Abastecimiento de Agua por medio de Agua Subterránea

Aunque las bombas, válvulas e instalaciones de tratamiento pueden ser controladas por el sistema de

control remoto, las actividades regulares para el monitoreo de los pozos pueden ser subcontratadas. Incluso, el establecimiento de una unidad en la Gerencia Corporativa del Sistema Maestro para manejar el abastecimiento de agua subterránea es recomendado con el siguiente personal y tareas.

Tabla-2.5- 33 Organización para el Manejo del Abastecimiento de Agua por Medio de Agua Subterránea

Personal	Tareas
Jefe de Unidad	<ul style="list-style-type: none"> * Manejar los proyectos desarrollo de agua subterránea bajo la supervisión del Director de Abastecimiento. * Manejar el abastecimiento de agua mediante agua subterránea en coordinación con la División de Centro de Control de la Dirección Red Matriz Acueducto. * Analizar los datos del monitoreo de los pozos, reportarlos a la CAR y la SDA, y tomar las medidas necesarias de acuerdo a los resultados del análisis.
Dos Equipos (un equipo está compuesto por un técnico líder y un técnico asistente)	<ul style="list-style-type: none"> * Inspeccionar las instalaciones supervisando el servicio que prestan los contratistas. * Tomar las medidas necesarias cuando se encuentren desordenes en las instalaciones bajo la supervisión del Jefe. * Conducir un monitoreo apropiado de los pozos (nivel y calidad del agua) supervisando a los contratistas que prestan el servicio. * Presentar los datos del monitoreo al Jefe. * Otros trabajos requeridos por el Jefe.

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

5. 10. Cronograma de Implementación del Plan Maestro

A continuación se presentan los componentes del proyecto y el cronograma de implementación para el Plan Maestro de abastecimiento de agua de emergencia por medio de agua subterránea.

Componentes del Proyecto

El proyecto está dividido en tres “sub-proyectos”, como se muestra en la Tabla-2.5-34.

Tabla-2.5- 34 P/ M para el Abastecimiento de Agua de Emergencia por Medio de Agua Subterránea

Subproyecto		Numero de Pozos	Agua Producida (m ³ /s)	Características del Subproyecto
a)	Soacha	7 pozos (S1-S6 EX1)	0,16	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema de abastecimiento de agua propuesto consiste de: pozo-tanque-planta de purificación. El agua de este sistema será distribuida al tanque existente. • Si en el futuro el abastecimiento de agua no es suficiente para esta área, las instalaciones de emergencias pueden ser usadas para el abastecimiento regular.
	Ciudad Bolívar	4 pozos (B1-B3 EX2)	0,10	
	Usme	5 pozos (U1-U4 EX3)	0,12	
b)	Yerbabuena	17 pozos (E1-E14)	0,32	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema de abastecimiento de agua propuesto consiste de: pozo-tanque-planta de purificación. El agua de este sistema será distribuida al tanque existente.
c)	Cerros Orientales	29 pozos (Y1-Y29)	0,67	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema de abastecimiento de agua propuesto consiste de: pozo-tanque-planta de purificación. El agua subterránea proveniente de estos pozos será puesta en distribución por las tuberías principales de Tibitóc a Bogotá en emergencias.
Total		62 pozos	1,37	

Fuente: Equipo de Estudio JICA

(1). Periodo Comienzo de Proyectos

El objetivo de este proyecto es la construcción de pozos para abastecimiento de agua de emergencia, el cual se limita a un periodo entre 10 días y 9 meses. El proyecto debe comenzar cuanto antes para su temprana terminación ya que los desastres naturales son imprevisibles.

(2). Plan para la Construcción de las Fases del Proyecto

Los tres “subproyectos” propuestos deben ser implementados en tres fases, cada fase tiene un periodo de un año. La estrategia para la construcción de las fases del proyecto es la siguiente:

- En caso de un desarrollo de agua subterránea por la construcción de pozos, la economía a escala no será dominante a diferencia del caso de la construcción de una represa. La razón es que la cantidad de agua subterránea a ser desarrollada es proporcional al número de pozos a ser construidos. El costo del proyecto es proporcional al número de pozos. Es decir, el costo del proyecto es casi proporcional a la cantidad de agua subterránea a ser desarrollada.
- En el caso anterior, el agua subterránea debe ser desarrollada (los pozos deben ser construidos) siguiendo de cerca la creciente demanda de agua, la cual puede ser una inversión óptima. Sin embargo, como este proyecto es para abastecimiento de emergencia, se debe programar buscando su más pronta terminación.
- El cronograma de implementación del proyecto debe ser formulado teniendo en cuenta i) urgencia y escala del proyecto, ii) capacidad del contratista para la construcción de las instalaciones, y iii) capacidad del Acueducto para la consecución del presupuesto.

Las pre-condiciones para la formulación del cronograma del proyecto se muestra en la Tabla-2.5-35.

Tabla-2.5- 35 Pre-Condiciones para la Formulación del Cronograma del Proyecto

Ítem	Plan	Anotaciones
Número de Pozos	62 pozos	<ul style="list-style-type: none"> • Producción planeada por pozo 2.000 m³/día. • Producción Total=2.000 m³/día × 62 pozos =1.5 m³/s • De los 62 pozos propuestos, 5 pozos serán perforados durante el Estudio de JICA. Cuatro pozos ya existen, entonces, un total de 53 pozos serán perforados después del Estudio de JICA
Periodo de Construcción	3 años	El periodo de construcción se decide de acuerdo a: <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad del Acueducto para la consecución del presupuesto. • Capacidad del contratista para construir.
Numero de Pozos a ser Perforados en un año	Aproximadament e 20 pozos	<ul style="list-style-type: none"> • 2 meses son necesarios para la perforación de un pozo • 6 pozos serán completados por una maquina de perforación en un año. • 3 maquinas perforadoras ×6 pozos/1 año = 20 pozos/año.

Fuente: Equipo de Estudio JICA

El cronograma de implementación se muestra en la Tabla-2.5-36.

Tabla-2.5- 36 Cronograma de Implementación del Proyecto

Ítem	Año														Notas	
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
Plan Maestro del Proyecto																Estudio JICA
EF Estudio de Factibilidad																Estudio JICA ¹⁾
— Aprobación del Proyecto — Obtención del Presupuesto																Decisión de Inversión del Acueducto
Diseños detallados																— Estudios geofísicos, — Análisis calidad agua
Construcción	Cerros Sur															Construcción Pozo: 13
	Yerbabuena															Construcción Pozo:17
	Cerros Orientales															Construcción Pozo:23
O/M de las instalaciones																

Nota: 1) La implementación de Estudio JICA no ha sido fijada a la fecha.

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

5. 11. Diseño y Estimación de Costos

5.11.1 Diseño

(1). Diseño Estándar

Para el diseño de los pozos en Colombia se establecen criterios en cuanto a los trabajos de perforación del pozo, obras civiles, obras en estructura de concreto y los obras de instalación eléctrica. Estos criterios dependen de los estándares que se tengan en E.U.A. Por lo tanto el diseño de las instalaciones de abastecimiento de agua de emergencia mediante agua subterránea se basan en los siguientes criterios

- (a) Trabajos de Perforación del Pozo: AWWA-100(1997)
- (b) Obras Civiles: Obras de instalación de tuberías: Reglamento técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000
- (c) Obras de Estructura en Cemento: Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistentes NSR-98
- (d) Obras de Instalación Eléctrica: Código Eléctrico Nacional Colombiano (CEC) Resolución Número 18 0466 del 2/04/07

(2). Capacidad del Pozo

La disposición de los pozos de producción está diseñada de acuerdo al tamaño, profundidad y capacidad del pozo estándar como se muestra en la Tabla-2.5-37.

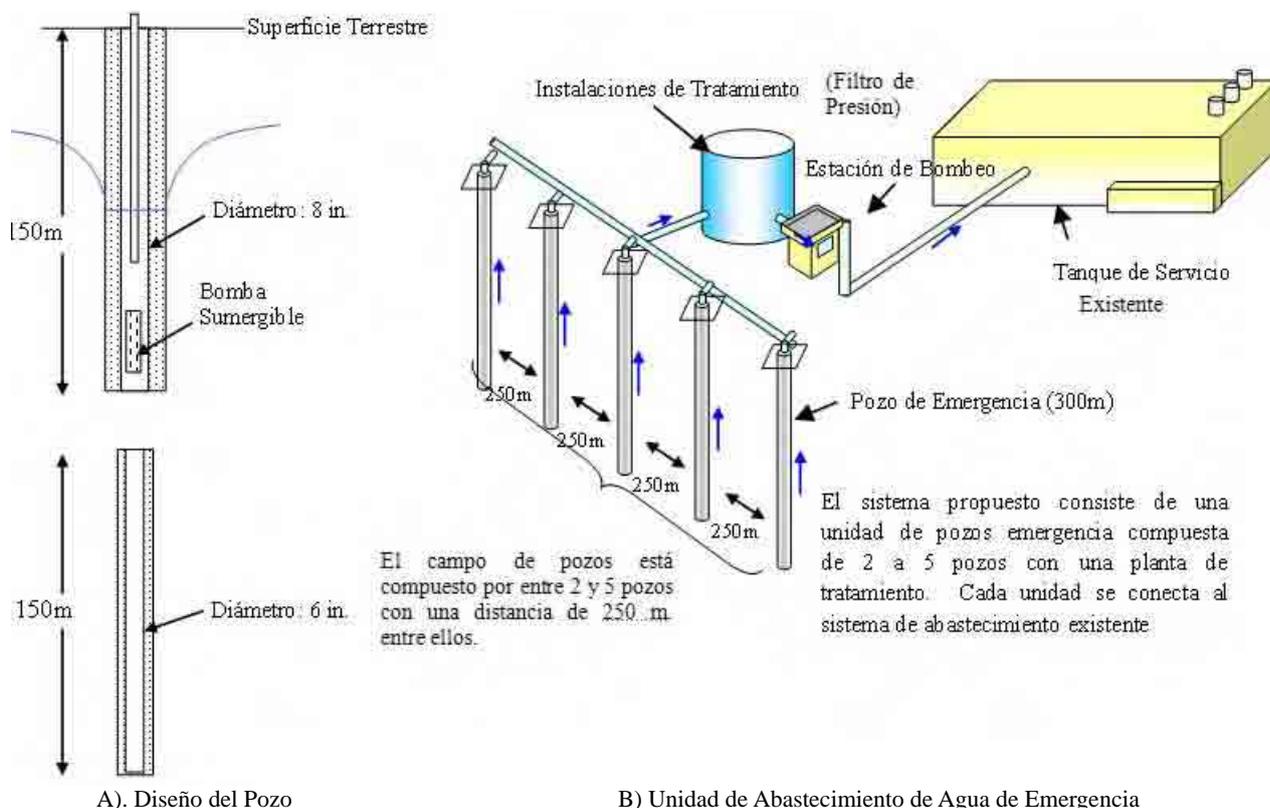
Tabla-2.5- 37 Capacidad Estándar de los Pozos

Tipo de Pozo	Acuífero	Profundidad	Diámetro	Capacidad Específica
Pozo de Producción	Cuaternario	300 m	De 0 m a 150 m: 8 in.	2.000 m ³ /día (1,4 m ³ /min.)
	Cretáceo		De 150 m a 300 m: 6 in.	

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

(3). Composición de las Instalaciones

Las instalaciones del proyecto propuesto para abastecimiento de agua de emergencia se muestran en la Figura-2.5-34



Fuente: Equipo de Estudio JICA.

Figura-2.5- 34 Composición de las Instalaciones de Emergencia

Unidad de Abastecimiento de Agua de Emergencia

Como se muestra en la Figura-2.5-34, un campo de pozos está compuesto entre 2 y 5 pozos y está conectado a un filtro de tratamiento de agua. Este sistema constituye de una unidad de abastecimiento de emergencia. El agua tratada desde la unidad será enviada a los tanques de servicio y tuberías existentes. La composición de cada unidad de abastecimiento de emergencia y las instalaciones existentes a ser conectadas se muestran en la Tabla-2.5-38.

Tabla-2.5- 38 Composición de las Unidades de Abastecimiento de Emergencia (1)

Fase & Región		No. Pozo	Tubería de Aducción		Tratamiento del Agua		Conducción		Punto de Conexión (instalaciones existentes)	Objetivo ¹⁾	Leyenda ²⁾			
		Nuevo	Tamaño (in.)	Longitud (in.)	Capacidad (m ³ /día)	Instalación	Tamaño (in)	L (m)						
Fase-I Cerros Sur	Soacha	S-1	6	767	6,000	Cloración + filtro de presión	8	500	Tanque Alto (Propiedad de Soacha)	E/N	A			
		S-2	6	425										
		S-3	6	80										
		S-4	6	33	8,000	Cloración + filtro de presión	12	1,528 2,369				Tanque Sierra Morena III	E/N	B
		S-5	6	959										
		S-6	6	1,294										
	EX-1	6	571	8,000	Cloración + filtro de presión	8	1,381	Tanque El Volador	E/N	C				
	B-1	6	80											
	B-2	6	894											
	B-3	6	1,240											
	Usme	EX-2	6	589	10,000	Cloración + filtro de presión	12	1688	Tank El Paso	E/N	D			
		U-1	6	488										
		U-2	6	1,036										
		U-3	6	2,757										
U-4		6	2,989											
EX-3	6	96												
Fase-II Yerbabuena		Y-13	6	1,442	8,000	Cloración + filtro de presión	12	591	Línea Principal Tibitóc 60in	E/N	E			
		Y-14	6	1,052										
		Y-15	6	751										
		Y-16	6	65	8,000	Cloración + filtro de presión	10	284	Línea Principal Tibitóc 60in	E/N	F			
		Y-17	6	65										
		Y-18	6	1,357										
		Y-19	6	1,571	6,000	Cloración + filtro de presión	8	300	Línea Principal Tibitóc 60in	E/N	G			
		Y-20	6	2,402										
		Y-21	6	1,388										
		Y-22	6	347	6,000	Cloración + filtro de presión	8	306	Línea Principal Tibitóc 60in	E/N	H			
		Y-23	6	141										
		Y-24	6	381										
		Y-25	6	187	6,000	Cloración + filtro de presión	8	254	Línea Principal Tibitóc 60in	E/N	I			
Y-26	6	70												
Y-27	6	200												
Y-28	6	478	6,000	Cloración + filtro de presión	8	254	Línea Principal Tibitóc 60in	E/N	I					
Y-29	6	920												

Nota: 1) N: Abastecimiento de Agua en Red. E: Abastecimiento Puntual de Agua.

2) Leyenda para las Figuras-7.33 y 7.34

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

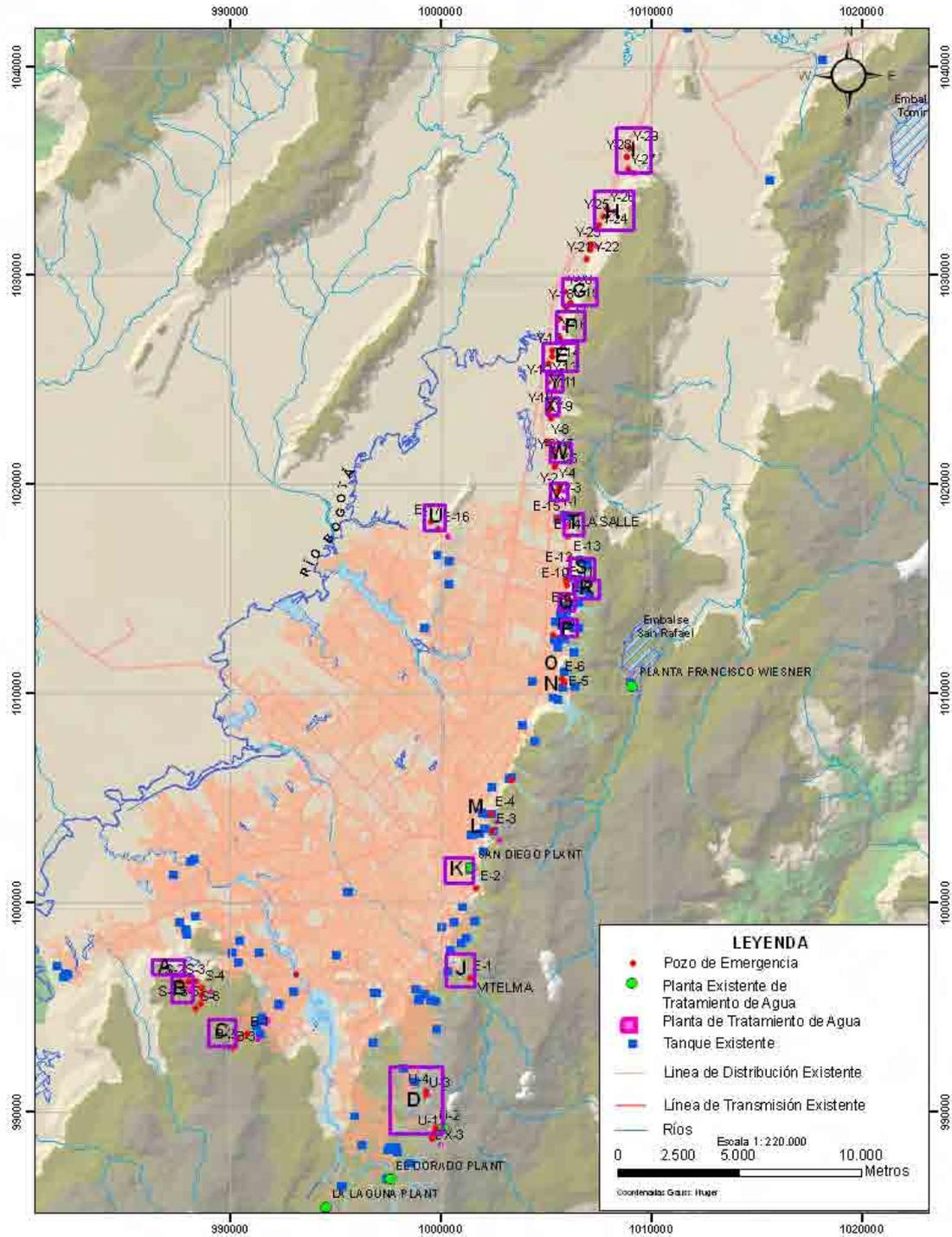
Tabla-2.5-38 Composición de las Unidades de Abastecimiento de Emergencia (2)

Fase & Región	No. Pozo	Tubería de Aducción		Tratamiento del Agua		Conducción		Punto de Conexión (instalaciones existentes)	Objetivo ¹	Leyenda
	Nuevo	Tamaño (in)	Longitud (m)	Capacidad (m ³ /día)	Instalación	Tamaño (in)	L (m)			
Fase-III Cerros Orientales	E-1	6		-	-	-	-		E/N	J
	E-2	6	20	2,000	Cloración	-	-		E	K
	E-3	6	104	2,000	Cloración + filtro de presión	6	117	Tanque Paraíso	E/N	L
	E-4	6	106	2,000	Cloración + filtro de presión	6	73	Tanque Pardo Rubio	E/N	M
	E-5	6	20	2,000	Cloración	-	-	-	N	N
	E-6	6	20	2,000	Cloración	-	-	-	N	O
	E-7	6	20	2,000	Cloración	-	-	-	N	P
	E-8	6	20	2,000	Cloración	-	-	-	N	Q
	E-9	6	20	2,000	Cloración	-	-	-	N	R
	E-10	6	117	8,000	Cloración + filtro de presión	12	127	Tanque Cerro Norte I	E/N	S
	E-11	6	290							
	E-12	6	774							
	E-13	6	1,347	4,000	Cloración + filtro de presión	8	157	Tanque Codito I	E/N	T
	E-14	6	1,567							
	E-15	6	125	4,000	Cloración + filtro de presión	8	1,750	Tanque Alto Suba	E/N	U
	E-16	6	50							
	E-17	6	1,125							
	Y-1	6	1,079	6,000	Cloración + filtro de presión	8	247	Línea Principal Tibitóc 60in.	E/N	V
	Y-2	6	680							
	Y-3	6	472							
	Y-4	6	1,318							
	Y-5	6	1,165	10,000	Cloración + filtro de presión	12	219	Línea Principal Tibitóc 60in	E/N	W
	Y-6	6	828							
	Y-7	6	522							
Y-8	6	121								
Y-9	6	349								
Y-10	6	169	4,000	Cloración + filtro de presión	8	323	Línea Principal Tibitóc 60in	E/N	X	
Y-11	6	814	4,000	Cloración + filtro de presión	8	315	Línea Principal Tibitóc 60in	E/N	Y	
Y-12	6	169								

Nota: 1) N: Abastecimiento de Agua en Red. E: Abastecimiento Puntual de Agua.

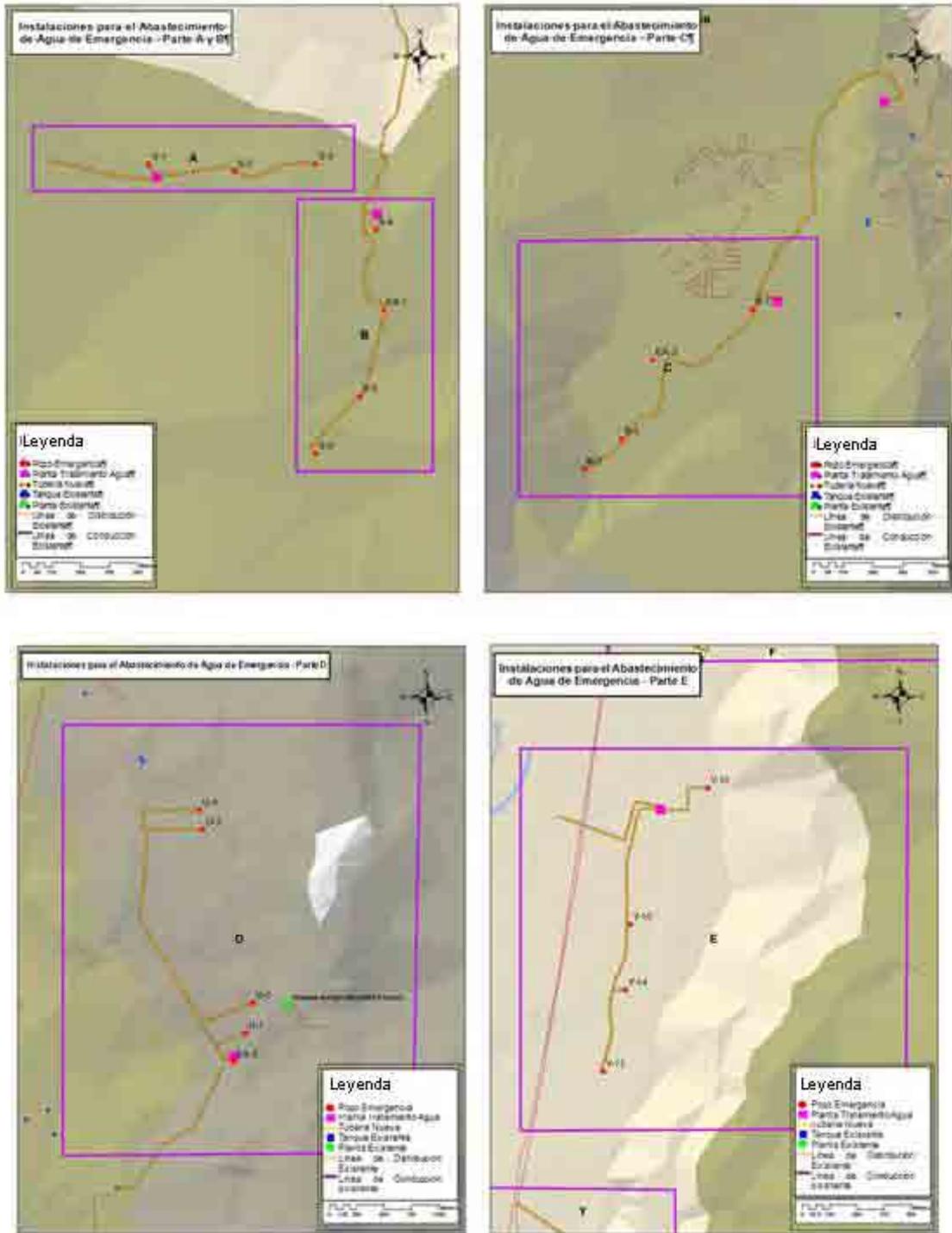
2) Leyenda para las Figuras-7.33 y 7.34

Fuente: Equipo de Estudio JICA.



Fuente: Equipo de Estudio JICA.

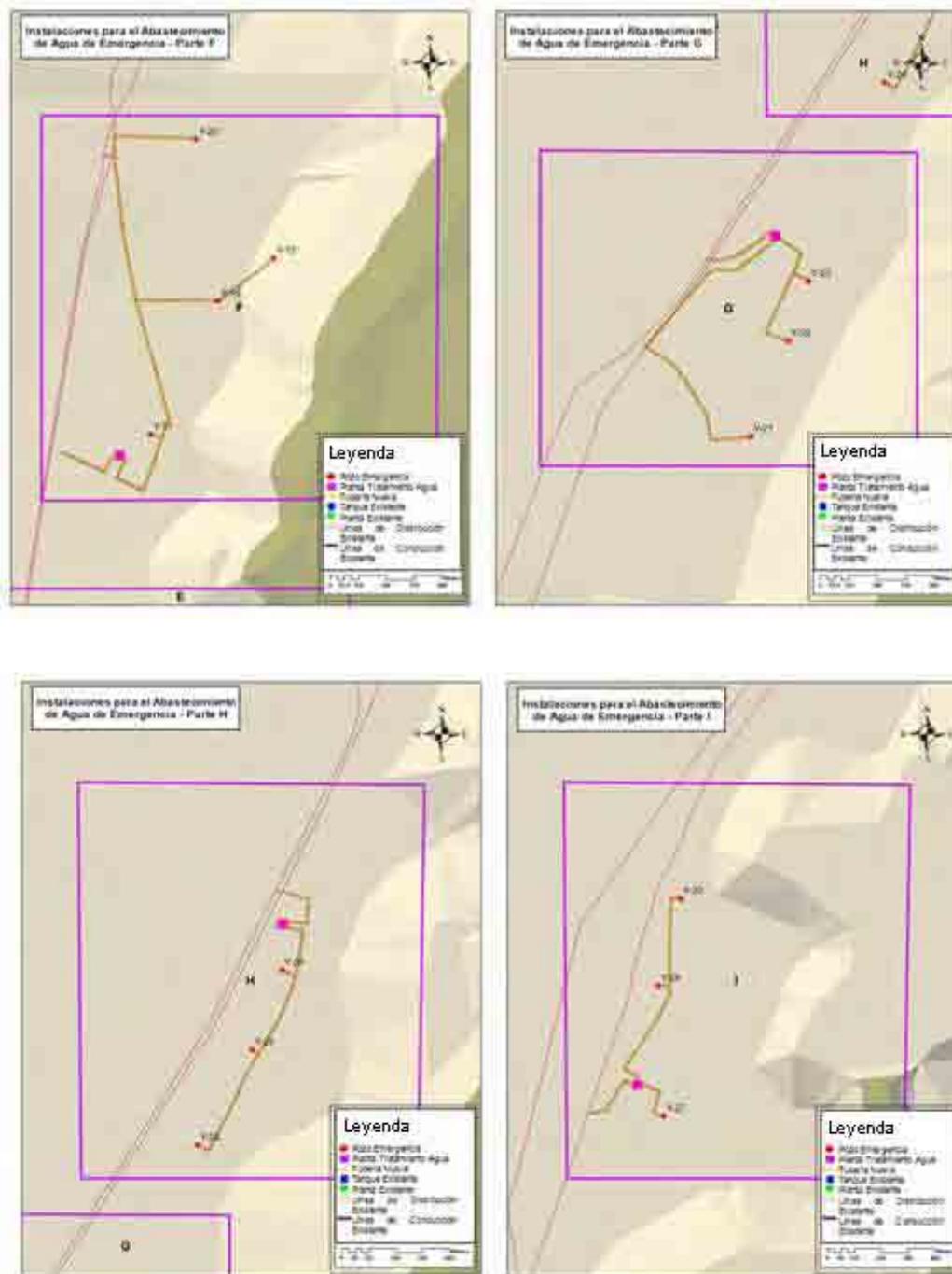
Figura-2.5- 35 Distribución de las Unidades de Abastecimiento de Agua de Emergencia



Nota. :1) A partir de la Tabla-2.5-37

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

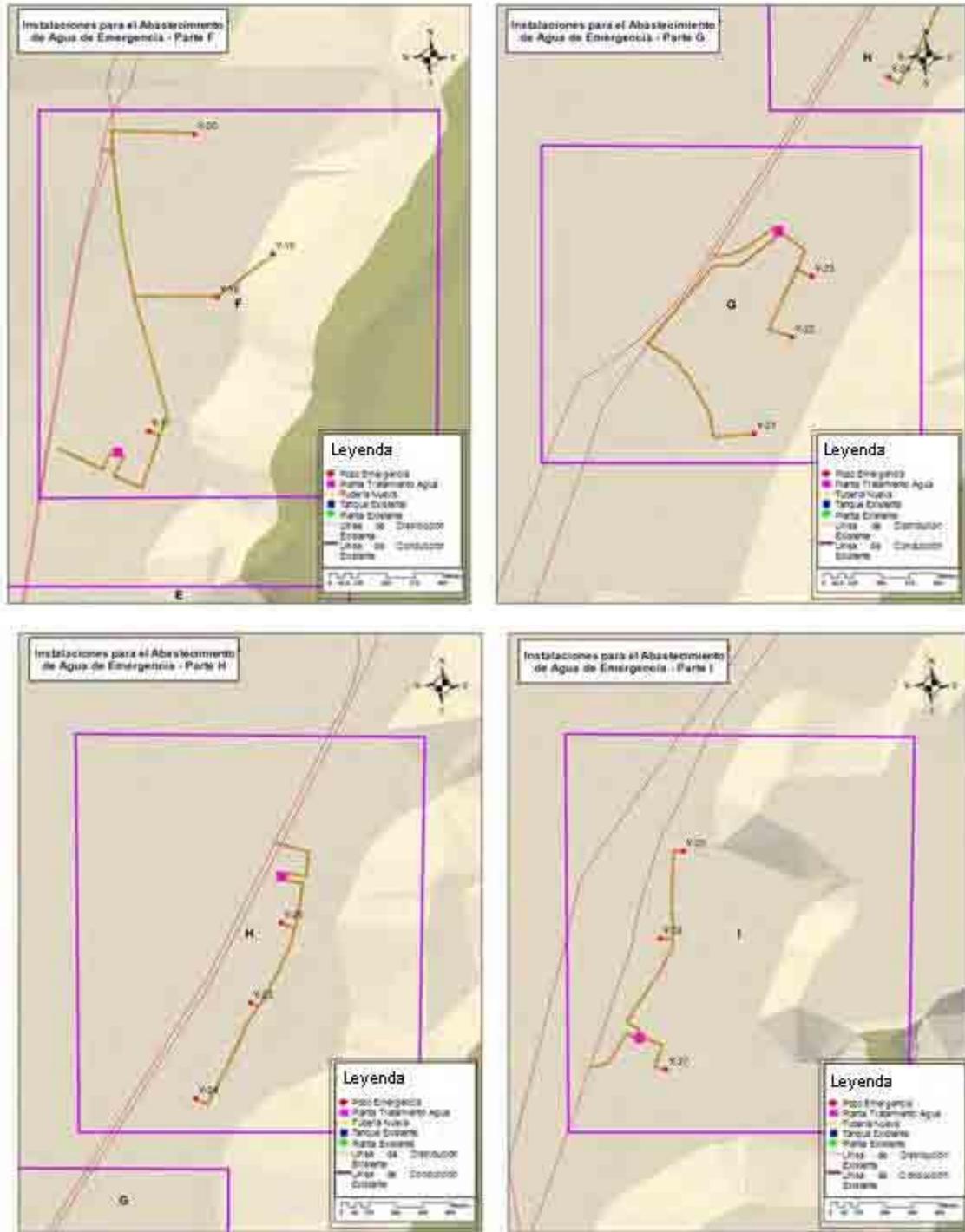
Figura-2.5- 36 Unidades de Abastecimiento de Agua de Emergencia (1)



Nota. : 1) A partir de la Tabla-2.5-37

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

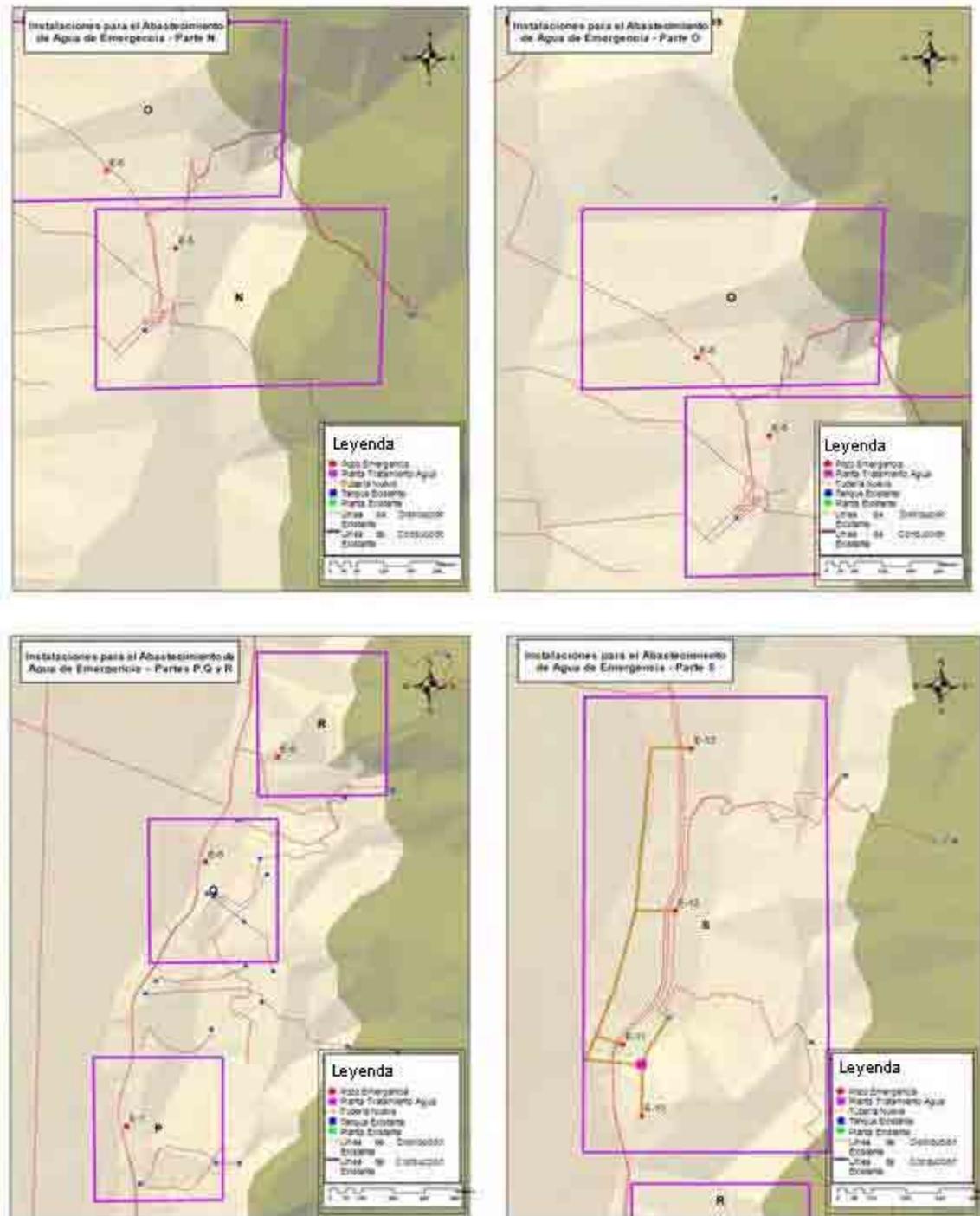
Figura-2.5-36 Unidades de Abastecimiento de Agua de Emergencia (2)



Nota. : 1) A partir de la Tabla-2.5-37

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

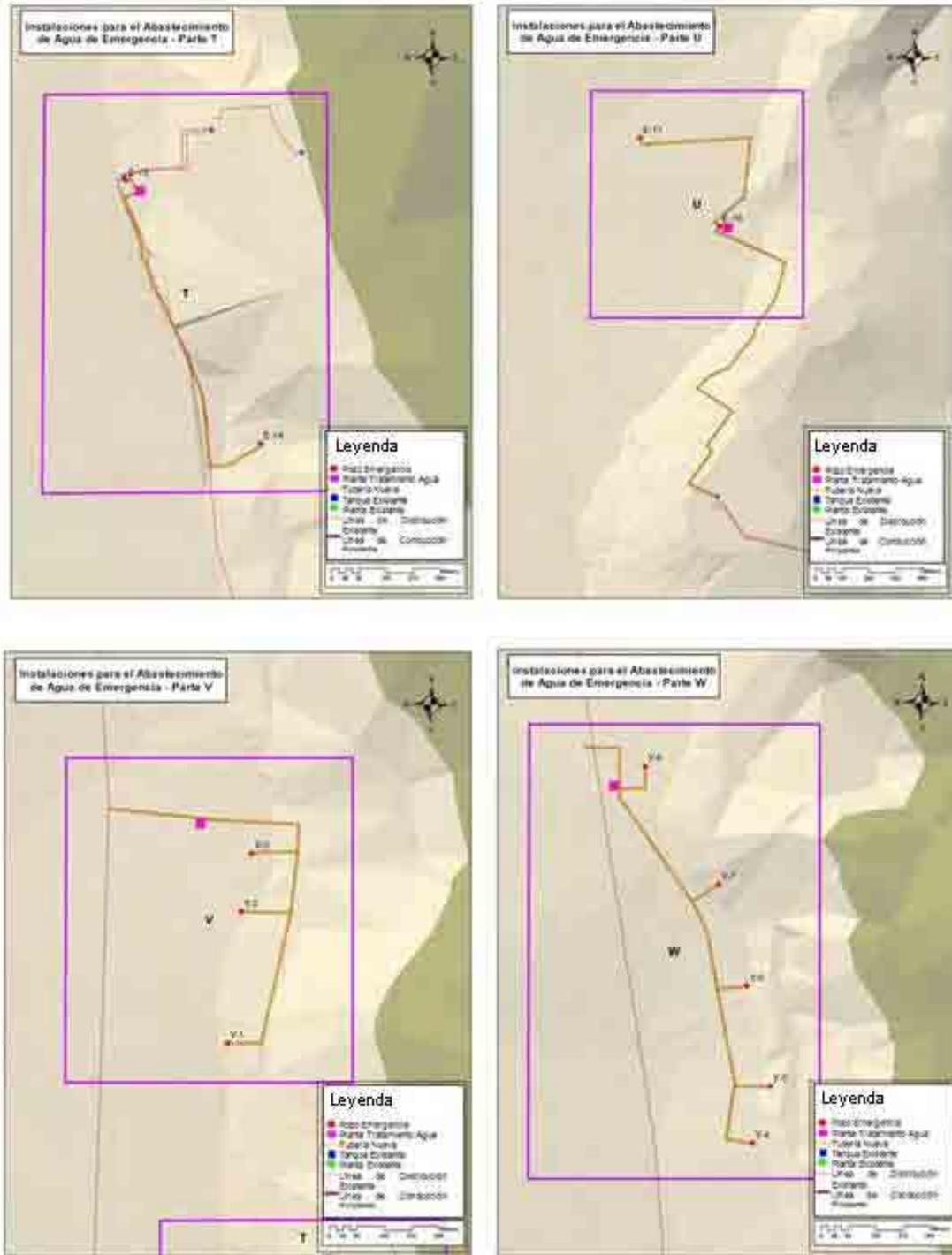
Figura-2.5-36 Unidades de Abastecimiento de Agua de Emergencia (3)



Nota. : 1) A partir de la Tabla-2.5-37

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

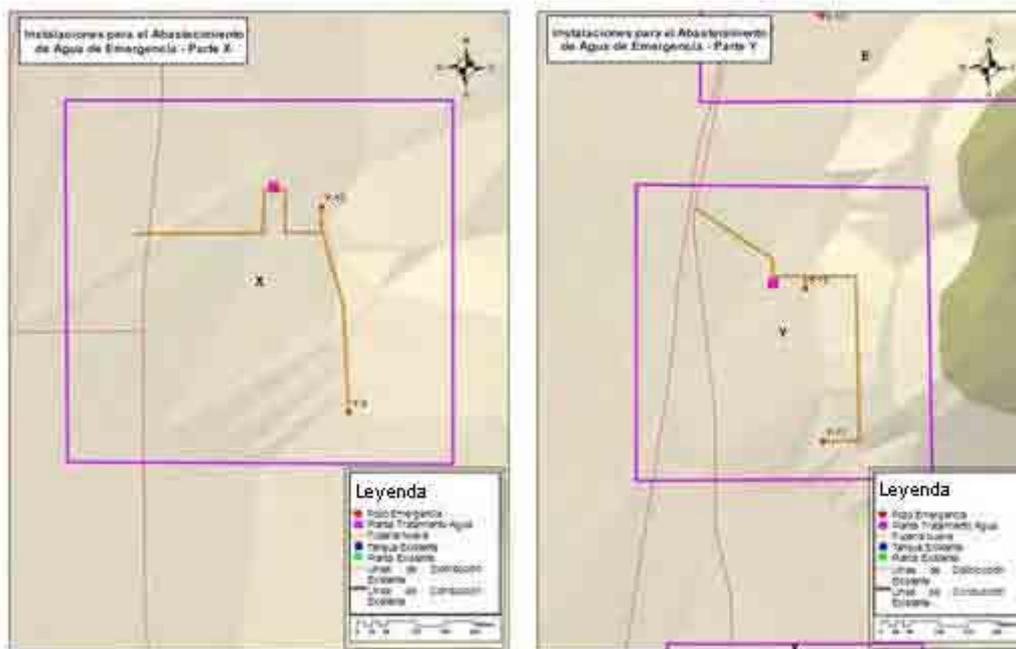
Figura-2.5-36 Unidades de Abastecimiento de Agua de Emergencia (4)



Nota : 1) A partir de la Tabla-2.5-37

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

Figura-2.5-36 Unidades de Abastecimiento de Agua de Emergencia (5)



Nota. : A partir de la Tabla-2.5-37

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

Figura-2.5-36 Unidades de Abastecimiento de Agua de Emergencia (6)

(4). Especificaciones de las Instalaciones

Las instalaciones principales para el proyecto propuesto, desarrollo de agua subterránea en los Cerros Orientales, Sur y Yerbabuena, se muestran en la Tabla-2.5-39.

Tabla-2.5- 39 Diseño de las Instalaciones (1)

Ubicación	Instalación	Tamaño/Especificaciones	Unidad	Cantidad	
Fase-I Cerros Sur	Soacha	Pozo Producción	Revestimiento Diámetro/Longitud 8 in/150 m, 6 in/150-300 m (incluyendo el pozo de Exploración JICA, EX1)	No	7
		Bomba Sumergible	Tamaño de la bomba 6 in, 45 kW, H=190 m, Q=2.000 m ³ /día; 440 V, 3fases 4 alambres, 60 Hz	No	9
		Instalación Eléctrica	Línea aérea entrante : 11,4 kV, 3 fases	m	1.800
			Transformador de Baja: 11,4 kV-440 V, 125 kVA	No	9
			Generador de Motor Diesel: 440 V, 125 kVA, 1.800 rpm	No	9
		Tubería	6 in, PVC 1,38 Mpa	m	4.129
			8in, PVC 1,38 Mpa	m	500
	12 in, PVC 1,38 Mpa		m	3.897	
	Instalaciones de Purificación	Cloración: 2.000 m ³ /día	No	7	
		Cloración + Filtración por Presión: 6.000 m ³ /día	No	1	
		Cloración + Filtración por Presión: 8.000 m ³ /día	No	1	
	Ciudad Bolívar	Pozo Producción	Revestimiento Diámetro/Longitud 8 in/150 m, 6 in/150-300 m (incluyendo el pozo de Exploración JICA, EX2)	No	4
		Bomba Sumergible	Tamaño de la bomba 6 in, 45 kW, H=190 m, Q=2.000 m ³ /día; 440V, 3fases 4 alambres, 60 Hz	No	4

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Tabla-2.5-39 Diseño de las Instalaciones (2)

Ubicación		Instalación	Tamaño/Especificaciones	Unidad	Cantidad
Fase-I Cerros Sur	Ciudad Bolívar	Instalación Eléctrica	Línea aérea entrante : 11,4 kV, 3 fases	m	500
			Transformador de Baja: 11,4 kV-440 V, 125kVA	No	5
			Generador de Motor Diesel: 440 V, 12 5kVA, 1.800 rpm	No	5
		Tubería	6 in, PVC 1,38 Mpa	m	2.803
			8 in, PVC 1,38 Mpa	m	1.383
		Instalaciones de Purificación	Cloración: 2.000 m ³ /día	No	4
	Cloración + Filtración por Presión: 8.000 m ³ /día		No	1	
	Usme	Pozo Producción	Revestimiento Diámetro/Longitud 8 in/150 m, 6 in/150-300 m (incluyendo el pozo de Exploración JICA, EX3)	No	5
		Bomba Sumergible	Tamaño de la bomba 6 in, 45 kW, H=190 m, Q=2.000 m ³ /día; 440 V, 3fases 4 alambres, 60 Hz	No	5
		Instalación Eléctrica	Línea aérea entrante : 11,4 kV, 3 fases	m	500
			Transformador de Baja: 11,4 kV-440 V, 125 kVA	No	6
			Generador de Motor Diesel: 440V, 125 kVA, 1.800 rpm	No	6
		Tubería	6 in, PVC 1,38 Mpa	m	7.366
	12 in, PVC 1,38 Mpa		m	1.688	
	Instalaciones de Purificación	Cloración: 2.000 m ³ /día	No	5	
		Cloración + Filtración por Presión: 10.000 m ³ /día	No	1	
	Fase-II YerbaBuena	Pozo Producción	Revestimiento Diámetro/Longitud 8in/150m, 6in/150m-300m	No	17
Bomba Sumergible		Tamaño de la bomba 6 in, 45kW, H=190m, Q=2,000m ³ /día; 440V, 3fases 4 alambres, 60Hz	No	17	
Instalación Eléctrica		Línea aérea entrante : 11.4kV, 3 fases	m	500	
		Transformador de Baja: 11.4kV-440V, 125kVA	No	22	
		Generador de Motor Diesel: 440V, 125kVA, 1800rpm	No	22	
Tubería		6 in, PVC 1,38 Mpa	m	12.817	
		8 in, PVC 1,38 Mpa	m	860	
		10 in, PVC 1,38 Mpa	m	284	
		12 in, PVC 1,38 Mpa	m	591	
Instalaciones de Purificación		Cloración: 2.000 m ³ /día	No	17	
	Cloración + Filtración por Presión: 6.000 m ³ /día	No	3		
	Cloración + Filtración por Presión: 8.000 m ³ /día	No	2		
Fase-III Cerros Orientales	Pozo Producción	Revestimiento Diámetro/Longitud 8in/150m, 6in/150-300m (incluyendo el pozo exploratorio del Acueducto los pozos exploratorios E-2 & E-6 y el pozo existente, E-1)	No	26	
	Bomba Sumergible	Tamaño de la bomba 6 in, 45kW, H=190m, Q=2.000 m ³ /día, 440V, 3 fases 4 alambres, 60Hz	No	25	
	Instalación Eléctrica	Línea aérea entrante : 11,4kV, 3 fases	m	500	
		Transformador de Baja: 11,4kV-440V, 125kVA	No	22	
		Generador de Motor Diesel: 440V, 125kVA, 1.800rpm	No	22	
	Tubería	6 in, PVC 1,38 Mpa	m	5.000	
		8 in, PVC 1,38 Mpa	m	885	
		12 in, PVC 1,38 Mpa	m	346	
	Purificación	Cloración: 2.000 m ³ /día	No	25	
		Cloración + Filtración por Presión: 2.000.m ³ /día	No	3	
		Cloración + Filtración por Presión: 4.000.m ³ /día	No	2	
		Cloración + Filtración por Presión: 6.000.m ³ /día	No	1	
Cloración + Filtración por Presión: 8.000.m ³ /día		No	1		
Cloración + Filtración por Presión: 10.000.m ³ /día	No	1			

Fuente: Equipo de Estudio JICA

5.11.2 Estimación de Costos

El costo del proyecto propuesto en este Plan Maestro de Desarrollo de Agua Subterránea en los Cerros Sur, Yerbabuena (primera y segunda etapa) y Cerros Orientales se estima aproximadamente de la siguiente manera:

- **Estimación de Costos Estándar:** CONSTRUDATA CIELOS RASOS 124 SEPTIEMBRE, NOVIEMBRE 2002 PUBLILEGIS
- **Costos Unitarios:** A Noviembre del 2007
- **Taza de Cambio:** 1 US\$= Col\$ 2,009.81

(Referencia 1US\$ = 118.04 JPY y, 1 JPY =17.03 Col\$)

Promedio entre Mayo y Octubre del 2007 (6 meses)

Los costos del proyecto están ligados al pago del impuesto al valor agregado (IVA) en cada elemento.

- **Costos de Construcción:** Costos de construcción de las instalaciones principales y auxiliares incluyendo los trabajos preparatorios y la instalación de equipos. (Costos de: Materiales + Equipos + Mano de Obra + Gastos Generales).
- **Costos de Adquisición de Tierras:** El costo de adquisición de los terrenos requeridos para la construcción de las instalaciones incluyendo los costos de compensación.
- **Honorarios de Ingeniería:** Honorarios a ser pagados por consultorías requeridas para diseños detallados, estimación de costos, licitar y supervisión de la ejecución de las obras, es el 10% de los Costos de Construcción.
- **Costos Administrativos:** El costo de administración del proyecto es el 1% del costo de construcción, adquisición de tierras, y honorarios de ingeniería.
- **Contingencia:** 10% de los costos de construcción, adquisición de tierras, honorarios de ingeniería y administración.

Los costos de las tres fases del proyecto se estimaron bajo las condiciones anteriores (ver Tabla-2.5-40).

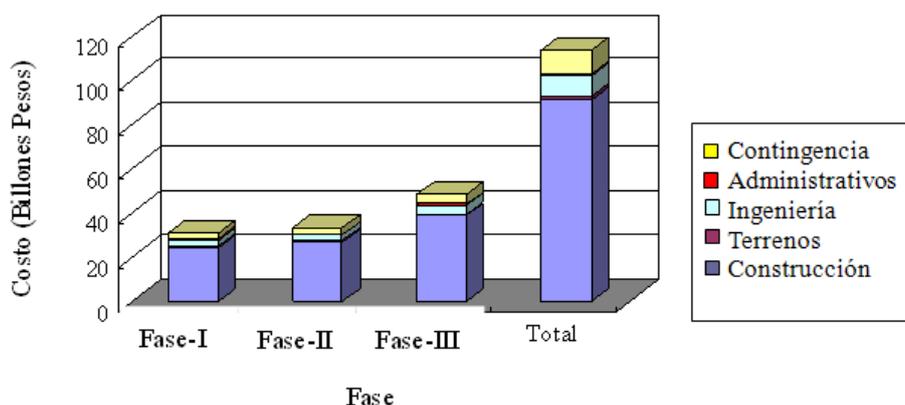
Fase I, Cerros Sur	Col\$ 31.250 millones
Fase II, Yerbabuena (primera etapa)	Col\$ 33.770 millones
Fase III, Yerbabuena (segunda etapa) y Cerros Orientales	Col\$ 48.540 millones

Tabla-2.5- 40 Estimación Aproximada de Costos (unidades: Col\$ millones)

Ítem	Fase-I Cerros Sur	Fase-II Yerbabuena	Fase-III Cerros Orientales	Cantidad
1. Costos de Construcción	23.010	26.950	36.610	86.570
2. Adquisición de Tierras	610	500	1.140	2.520
3. Honorarios de Ingeniería	2.300	2.700	3.660	8.660
4. Costos de Administración	260	300	420	980
5. Contingencia	2.620	3.050	4.210	9.880
	28.800	33.500	46.310	108.610
<Total>	14.33 millones US\$	16.67 millones US\$	23.04 millones US\$	54.04 millones US\$
	1.691 millones JPY	1.967 millones JPY	2.719 millones JPN	6.378 millones JPN

Nota: IVA incluido en cada ítem. unidades: millones de pesos colombianos.

Fuente: Equipo de Estudio JICA



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.5- 37 Costos del Proyecto

5.11.3 Evaluación de Costos

Los costos de este proyecto (2007) se compararon con los costos del año 2002, ver Tabla-2.5-41.

Tabla-2.5- 41 Evaluación de los Costos del Proyecto

Item	2002		2007		Aumento de Costos y %		Evaluación
	Col\$ m*	US\$ m	Col\$ m	US\$ m	Col\$ m	US\$ m	
1. Costo de Construcción	60360	22.36	86570	43.07	+26210 (+43. 4%)	+20.71 (+92. 6%)	Nota-1
2. Adquisición de Tierras	1650	0.61	2520	1.25	+870 (+52. 7%)	+0.64 (+104. 9%)	Nota-2
3. Honorarios de Ingeniería (10% de 1)	6040	2.24	8660	4.31	+2260 (+43. 4%)	+2.07 (+92. 4%)	Nota-3
4. Costos Administrativos (1% de 1+2+3)	670	0.25	980	0.49	+310 (+46. 3%)	+0.24 (+96. 0%)	Nota-4
5. Contingencia (10% de 1+2+4+4)	6710	2.49	9880	4.92	+3170 (+47. 2%)	+2.43 (+97. 6%)	Nota-4
<Total>	75430	27.95	108610	54.04	+33180 (+44. 0%)	+26.06 (+93. 3%)	Nota-5

Nota-1: Costo de Construcción incrementa (+Col\$10940m) y adicionalmente el equipamiento para las construcciones (+Col\$15270m). Nota-2: Incremento en el costo de la tierra y revisión del espacio disponible para las construcciones (+Col\$870m). Note-3: Debido a la Nota -1. Note-4: Debido a la Nota -1 y a la Nota-2. Note-5: Costo de Construcción aumenta (+Col\$14060m), adicionalmente los trabajos para equipamiento de edificios (+Col\$18150m) y aumenta el costo de la tierra (+Col\$ 970m). *m: millones

Fuente: Equipo de Estudio JICA

5. 12. Evaluación Ambiental Inicial (EAI)

La evaluación ambiental inicial (EAI) del proyecto para el abastecimiento en emergencia mediante agua subterránea, fue conducida de acuerdo a las Pautas de Consideración Ambiental y Social de JICA (“JICA Guidelines”). La EAI se llevó a cabo para determinar posibles impactos adversos y para recomendar medidas de mitigación para tales impactos. Después de la EAI se realizó un análisis de los posibles impactos como consecuencia del proyecto propuesto, mientras se tienen en cuenta los requerimientos institucionales colombianos para la evaluación del impacto ambiental (EIA).

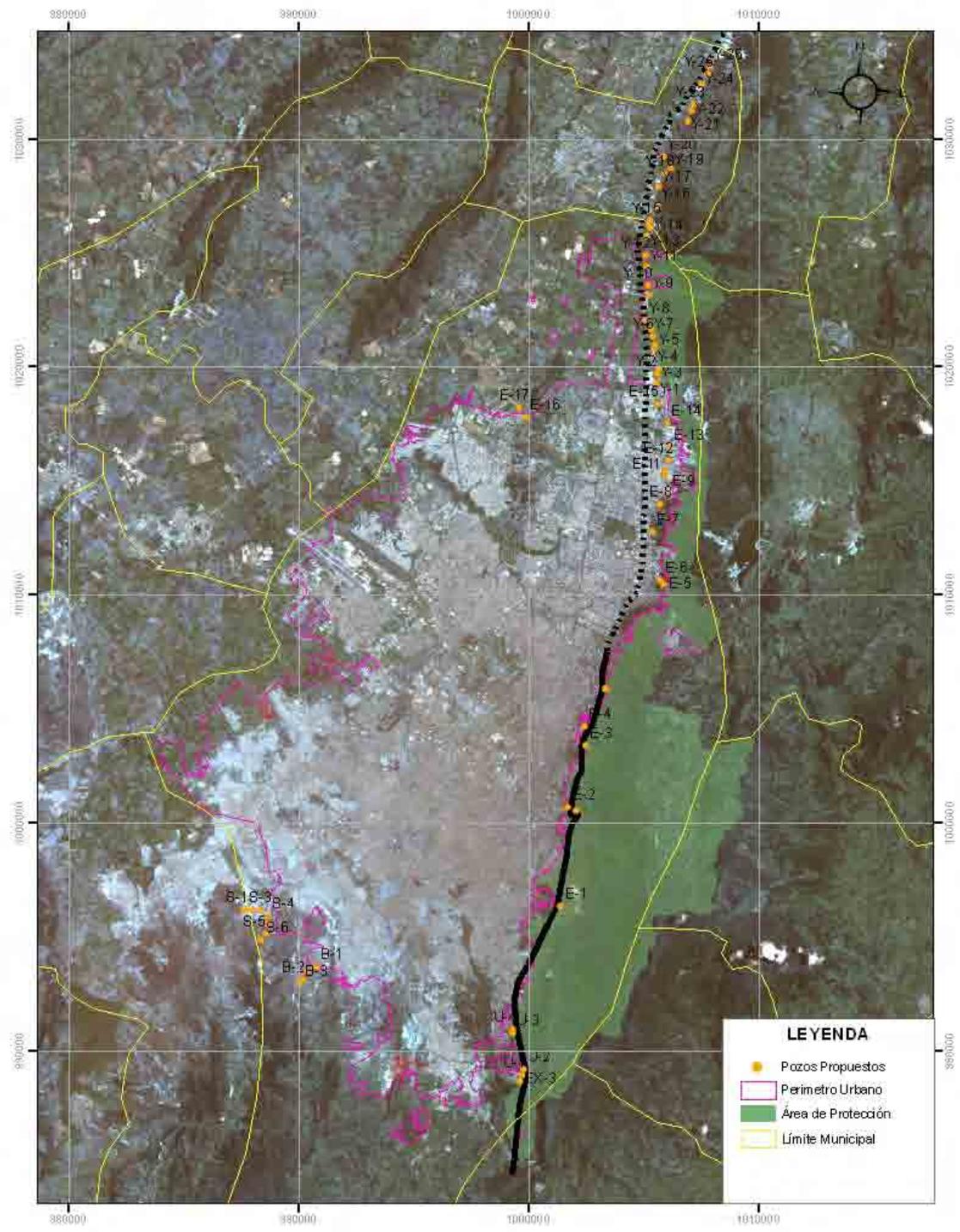
5.12.1 Condiciones Ambientales y Sociales Actuales Dentro y Alrededor del Área del Proyecto

Las condiciones ambientales y sociales actuales dentro y alrededor del área del proyecto se describen en la Tabla-2.5-42. Las ubicaciones de los lugares del Proyecto se muestran en la Figura-2.5-38.

Tabla-2.5- 42 Condiciones Ambientales y Sociales Actuales Dentro y Alrededor del Área del Proyecto

Ítem	Lugares del Proyecto		
	Cerros Orientales	Cerros Sur	
Ámbito Social	Habitantes locales	El área del proyecto designada como zona urbana de Bogotá exhibe un crecimiento de viviendas de medios y bajos ingresos. Aunque la zona sur de los Cerros Orientales es un área residencial de bajos recursos, los habitantes de esta área son residentes regulares. Pocas personas viven en la zona norte fuera del área urbana de Bogotá como Chía y Sopo. Ningún reasentamiento será necesario dentro del área del Proyecto.	La zona urbana de los Cerros Sur comprende casi en su totalidad viviendas de bajos ingresos y establecimientos comerciales. Algunos residentes no son regulares. Sin embargo, el área dentro del proyecto se encuentra a una altura superior al área descrita y sirve como tierra de pastoreo para el ganado. No hay habitantes en esta área del proyecto.
	Infraestructura Social	Para el caso del área urbana, aproximadamente el 100% de las viviendas cuenta con alguna forma de abastecimiento de agua. De manera similar, la línea de colección de aguas residuales cubre casi el 100% del área. Sin embargo, solo una porción de las aguas residuales son tratadas. Cerca del 100% de las viviendas cuentan con servicios de electricidad y gas.	Aunque la tasa de abastecimiento de agua es cercana al 100%, existen restricciones en el uso del agua debido al rápido incremento poblacional en esta área. Aunque el municipio de Soacha estuviera dentro del área del Proyecto, las redes de distribución de agua no son administradas por el Acueducto. Cerca del 100% de las viviendas cuentan con servicios de electricidad y gas.
	Sanidad	Los servicios de abastecimiento de agua y alcantarillado se acercan a una cobertura del 100%. Sin embargo el agua residual no recibe tratamiento. No obstante, no se presentan brotes de enfermedades contagiosas causadas por ésta.	Los servicios de abastecimiento de agua y alcantarillado se acercan a una cobertura del 100%. Sin embargo el agua residual no recibe tratamiento. No obstante, no se presentan brotes de enfermedades contagiosas causadas por ésta.
Ambiente Natural	Topografía y características geográficas	El área del proyecto se ubica en la Sabana de Bogotá a 2.600 m.s.n.m. y en área montañosa entre 2.600 y 3.000 m.s.n.m. La sabana (cuenca) de Bogotá es por lo general de fundamento blando que comprende un estrato aluvial y un estrato diluvial del Cuaternario. La zona de los Cerros Orientales comprende los estratos Terciario y Cretáceo, que forman agudadas pendientes montañosas que se extienden desde la falla de Bogotá como límite. El área del proyecto está ubicada básicamente encima del estrato Cretáceo. Una parte del sector norte es estrato Terciario.	La zona de los Cerros Sur es un terreno que se ondula gentilmente hasta una elevación de 2.700- 3.000 m.s.n.m. Geológicamente, la totalidad del área de los cerros está cubierta por estrato Cretáceo. El área del proyecto yace encima de este estrato.
	Agua Subterránea / Condiciones hidrológicas (sistema de lagos y ríos)	El área de protección forestal se ubica entre 2.700 y 3.000 m.s.n.m. El área del proyecto se ubica cerca de esta reserva. En el área urbana de Bogotá, la vegetación natural ha prácticamente desaparecido. El área de captación es pequeña en el área de los Cerros Orientales, y no hay presencia de grandes ríos. Alguna captación se realiza en pequeñas quebradas, sin embargo, esto cuenta solo por el 1% del abastecimiento de agua. Aunque la Sabana de Bogotá originalmente comprendía lagos y humedales, éstos han desaparecido a medida que el desarrollo ha avanzado.	La zona de los Cerros Sur se encuentra urbanizada, con concentraciones de asentamientos humanos. El área no presenta lagos o humedales. En el área del proyecto, que es usada para pastoreo de ganado, no hay bosques naturales. La vegetación se limita a pastos sembrados para acomodar ganado.
	Fauna, flora y biodiversidad	El área del proyecto ha sido urbanizada, y por lo tanto no hay especies raras o amenazadas en el área. Aunque aun queda vegetación nativa en el sector norte del área del proyecto, ésta es de crecimiento secundario del bosque.	La zona de los cerros sur se encuentra densamente poblada y no se encuentran especies raras o amenazadas. Específicamente el área del Proyecto comprende tierra de pastoreo para ganado sin presencia de especies raras o amenazadas.
Polución	Quejas	Ninguna	La polución del agua superficial es significativa. Existen quejas sobre las restricciones del abastecimiento de agua. Sin embargo, se confirma que la polución del río Tunjuelo afecta la calidad del agua subterránea de los pozos cercanos.
	Contramidas	Ninguna	Ninguna
	Otros	Ninguno	Ninguno

Fuente: Equipo de Estudio JICA



Fuente: Equipo de Estudio JICA

Figura-2.5- 38 Mapa de Ubicación del Proyecto



Figura-2.5- 39 Zona de los Cerros Sur

El área del Proyecto se ubica por encima del área urbana. Comprende tierras de pastoreo para ganado y no es sujeto de reasentamiento. Vista de la zona sur.



Figura-2.5- 40 Zona de los Cerros Sur

Expansión de tierras de pastoreo para ganado
Punto S-1.



Figura-2.5- 41 Área de los Cerros Orientales

La urbanización se ha extendido hasta el límite de protección forestal. El área del Proyecto se ubica en la frontera entre la reserva forestal y el área residencial. No involucra reasentamiento de residentes. Vista de la zona sur..



Figura-2.5- 42 Zona de los Cerros Orientales

Punto U-1 en el sector sur.



Figura-2.5- 43 Zona urbana de los Cerros Orientales: E-11



Figura-2.5- 44 Zona Norte de los Cerros Orientales: E-40

Fuente: Equipo de Estudio JICA

5.12.2 Impacto Ambiental y Social

Los resultados de las compensaciones del proyecto, basados en la investigación de campo junto con las pautas de JICA para Consideración Ambiental y Social (1994), se muestran en la Tabla-2.5-43. De acuerdo a estos resultados, se requiere que la entidad ejecutora del Proyecto lleve a cabo las medidas apropiadas, asumiendo los impactos ambientales y sociales como se precisa para cada ítem.

Tabla-2.5- 43 Lista de Ítems a Revisar (1)

No.	Impacto Probable	Punto de Revisión	Clasificación	Conclusión
1.	Ambito Social			
1.1	Adquisición de tierras / Reasentamiento Involuntario	Si es o no necesario un reasentamiento como resultado de la adquisición de tierras / apropiación.	B	El área propuesta para el Proyecto ha sido seleccionada de manera que se evite la necesidad de reasentamiento. Sin embargo, existe la necesidad de adquirir terrenos. El uso de la tierra para pastoreo es común en los Cerros Sur, por lo que no conlleva reasentamiento. Estos terrenos pertenecen a un solo dueño, con quien deberán haber conversaciones y acuerdos para obtener o arrendar el predio.
1.2	Economía Local	Perdida en la productividad de la tierra u otro cambio en la estructura de la economía local	D	El Proyecto no acarreará ninguna pérdida de productividad en las áreas del mismo
1.3	Trafico / Instalaciones públicas existentes	Impacto sobre la infraestructura de transporte (aumento de la congestión vial), o impacto sobre colegios o instalaciones médicas.	B	El área de los cerros orientales es residencial, allí existe un cierto nivel de tráfico aunque no es tan significativo como dentro del área urbana. Para acceder al área del Proyecto en los Cerros Sur, es necesario transitar por un área densamente poblada.
1.4	División de Comunidades	División de comunidades como resultado de la implementación del Proyecto.	D	No habrá división de la comunidad como resultado del Proyecto.
1.5	Herencia Cultural	Pérdida o degradación de bienes culturales, ruinas, monumentos, etc. como resultado de la implementación del proyecto.	D	No hay sitios de herencia cultural dentro o cerca de las áreas del Proyecto.
1.6	Derechos de pesca, derechos de concesión de agua y derechos comunales	Incumplimiento de los derechos de pesca existentes, derechos de concesión de agua o derechos comunales.	B	Los derechos al agua existentes no serán infringidos por el proyecto. Los permisos de perforación y las concesiones de derechos de agua deben ser expedidos ante la CAR y la SDA con relación al desarrollo de aguas subterráneas..
1.7	Sanidad	Si el ambiente sanitario se vera o no comprometido, como resultado de contaminación, patógenos u otra clase de vectores de enfermedades generados debido a la implementación del proyecto	D	Esto no aplica al proyecto.
1.8	Desechos	Desechos Industriales, tierra residual de excavación u otros productos generales de desecho como resultado de la implementación del Proyecto.	D	El Proyecto no producirá desechos industriales. Los desechos residuales de la perforación pueden ser desechados por métodos convencionales.
1.9	Peligros (riesgos)	Riesgos, accidentes potenciales, etc. durante la construcción u operación de la post-construcción del proyecto.	D	Se formularán las medidas de seguridad durante la construcción basadas en los manuales de seguridad apropiados.
2.	Ambiente Natural			
2.1	Características Topográficas y Geográficas	Cambios subsecuentes en la topografía o geología a causa del proyecto.	D	No habrá cambios topográficos o geográficos bajo el Proyecto.
2.2	Erosión del Suelo	Erosión superficial debido a la lluvia después de alteraciones del paisaje o deforestación.	D	El área del Proyecto no esta sujeta a deforestación ya que esta ampliamente urbanizada.

Fuente: Equipo de Estudio JICA

Tabla-2.5-43 Lista de Items a Revisar (2)

No.	Impacto Probable	Punto de Revisión	Clasificación	Conclusión
2.	Ambiente Natural			
2.3	Agua Subterránea	Impacto sobre el agua subterránea como resultado de la implementación del Proyecto.	C	La disminución del nivel freático y el agotamiento del acuífero pueden ocurrir como resultado del bombeo de agua subterránea.
2.4	Condiciones Hidrológicas (sistema de lagos y ríos)	Cambios en la entrada y composición normal del sistema de lagos y ríos debido a vertederos o al drenaje como resultado de la construcción del proyecto.	D	No hay presencia de lagos, humedales, o ríos dentro o cerca de las áreas del Proyecto.
2.5	Fauna, flora y biodiversidad	Impacto en la ecología animal y vegetal como resultado de la implementación del Proyecto.	D	El área del Proyecto esta ampliamente urbanizada, y no habrá ningún efecto directo sobre la ecología vegetal o animal.
2.7	Paisaje	Impacto en la apariencia del paisaje de las áreas del Proyecto como resultados de la construcción de estructuras	D	El paisaje de las áreas del Proyecto no estará comprometido por el Proyecto.
3.	Polución			
3.1	Polución del Aire	La polución del aire como resultado de emisiones de gas de vehículos o de las instalaciones.	D	El Proyecto no generará polución del aire. El polvo generado será controlado por rocío.
3.2	Polución del Agua	Si la calidad del agua (turbidez) se verá afectada o no, por el drenaje de agua durante los trabajos de construcción.	C	Es posible que ocurra una intromisión de agua contaminada/turbia con una disminución del nivel freático. Además, la escorrentía de agua turbia se anticipa como resultado de los trabajos de construcción. Sin embargo, esto se puede manejar por medio de métodos convencionales.
3.3	Contaminación del Suelo	Contaminación del suelo por polvo o agentes mejoradores del suelo bajo el proyecto.	D	El Proyecto no generará este tipo de contaminación (no se utilizarán agentes mejoradores de suelo).
3.4	Ruido y Vibración	Ruido y vibración generados por los vehículos o el equipo de construcción.	B	Dado que el área del Proyecto incluye construcción dentro de zona urbana, se anticipa que se presentará algún impacto en términos de ruido sobre el área circundante.
3.5	Subsidencia	Subsidencia en conjunto con cambios en el terreno y disminución del nivel freático.	C	La posibilidad de subsidencia es baja, ya que el agua se bombeará desde el acuífero Cretáceo de roca sólida.
3.6	Hedor Ofensivo	Generación de sustancias con hedor ofensivo bajo el proyecto.	D	Esto no aplica para el Proyecto.
Clasificación General			B	El impacto natural y social causado por la implementación del proyecto será pequeño, comparado con otros grandes proyectos de desarrollo. Sin embargo, se anticipa la posibilidad de abatimiento del nivel freático y subsidencia del terreno por el bombeo de los 62 pozos planeados en el Proyecto.

Criterios de Clasificación: A:Se espera un impacto serio. B:Se espera algún impacto.

C:El grado del impacto es desconocido (Se necesita más evaluación. El impacto puede ser evidente a medida que el estudio avanza).

D:No se espera ningún impacto.

Fuente: Equipo de Estudio JICA

(1). Ámbito Social

1) Adquisición de tierras / reasentamiento involuntario

El área del Proyecto en los Cerros Sur está localizada en terrenos vacantes (de pastoreo) donde no se

involucra ningún reasentamiento. Sin embargo, la adquisición de tierras es necesaria debido a que éstas son propiedad privada. Por consiguiente, es necesario consultar con el propietario ya sea para comprar o arrendar el predio.

2) Trafico / Instalaciones Públicas Existentes

Se anticipa un impacto sobre el flujo vehicular dentro del área del proyecto, debido al transporte de equipos de construcción y materiales a los sitios de perforación, además de los trabajos de perforación de pozos y de construcción de instalaciones de abastecimiento de agua, etc.

(2). Ambiente Natural

1) Abatimiento del Nivel Freático

El bombeo de agua subterránea puede probablemente causar un abatimiento del nivel freático y agotamiento del acuífero.

2) Subsistencia del Terreno

Existe la posibilidad de subsidencia por un bombeo exagerado. El mecanismo de subsidencia por bombeo de agua subterránea bajo el Proyecto está por ser establecido.

3) Ruido y Vibración

Este impacto se anticipa bajo la mayoría de proyectos y puede ser manejado con medidas convencionales. Además hay flexibilidad para ubicar las instalaciones (de manera que mitigue el impacto) ya que las instalaciones planeadas en el Proyecto son de pequeña escala.

5.12.3 Conformidad con Leyes, Estándares y Planes del Gobierno Colombiano y Categorización Respectiva

(1). Conformidad con las Leyes, Estándares y Planes del Gobierno Colombiano

Los proyectos deben cumplir con las leyes, reglamentos y estándares relacionados con consideraciones ambientales y sociales establecidos por los gobiernos que tienen jurisdicción sobre los sitios del Proyecto (incluyendo al gobierno nacional y local). Se concluye lo siguiente:

El desarrollo de agua subterránea no requiere la expedición de una licencia ambiental como lo estipula el MAVDT (decreto 1220 del 2005). Tampoco es necesario realizar un reporte de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA). La autorización requerida en cuanto al desarrollo de aguas subterráneas, comprende de una concesión de derechos de agua para el bombeo constante en el caso de un pozo de producción, junto con un permiso para llevar a cabo la exploración subterránea.

Los permisos y concesiones necesarios serán expedidos por la SDA en las áreas del Proyecto dentro del área urbana de Bogotá (establecida en el POT); y por la CAR en áreas fuera del perímetro urbano. La documentación necesaria, de consideración ambiental y social, para obtener los permisos y concesiones es la siguiente:

- i) Plan de Manejo Ambiental (Prevención, Mitigación, Mejora, y Compensación del impacto).
- ii) Plan de Contingencia (Análisis de Riesgo).
- iii) Plan de Monitoreo.

Adicionalmente, las áreas del Proyecto que se encuentran dentro de la zona de reserva forestal requieren una autorización de la CAR. Sin embargo, la posibilidad de que se permita el desarrollo del proyecto dentro de esta área es pequeña.

(2). Categorización

El Proyecto tendrá un impacto relativamente menor comparado con proyectos de desarrollo a gran escala. La mayoría de los ítems del proyecto se clasifican como “B” (ver Tabla-5.42), lo que significa que no causará impacto adverso significativo en el ambiente natural y social circundante.

Sin embargo, la perforación de 62 nuevos pozos puede impactar tanto en la disminución de los niveles freáticos como en la subsidencia del terreno.

Por otro lado, de acuerdo a la regulación relevante del gobierno Colombiano, los proyectos de desarrollo de agua subterránea propuestos en el Plan Maestro no requieren de licencia ambiental ni Evaluación del Impacto Ambiental (EIA), ya que éste no causa un impacto adverso significativo en el ambiente circundante. Por lo tanto, el proyecto propuesto es estimado finalmente como Categoría “B”. Sin embargo, un análisis detallado de la disminución del nivel freático y subsidencia del terreno puede ser necesario en la etapa del Estudio de Factibilidad.

5.12.4 Medidas de Mitigación Recomendaciones

Se recomiendan las siguientes medidas de mitigación contra los impactos adversos que se anticipan por la implementación del proyecto.

(1). Ambiente Social

1) Adquisición de Tierras y Reasentamiento

En la medida de lo posible el Proyecto busca usar predios públicos. Sin embargo, en casos donde el área del Proyecto corresponda a terrenos privados, la agencia ejecutora del proyecto (contraparte) deberá negociar con el propietario para adquirir o llegar a un acuerdo sobre los terrenos. En caso de que una compensación sea necesaria, se debe llegar a un consenso con el propietario.

2) Derechos de Concesión de Agua y Permisos de Perforación

Las aplicaciones para los permisos de perforación y derechos de concesión de agua deben ser entregadas a la SDA dentro del área urbana de Bogotá y a la CAR para zonas fuera del área urbana de Bogotá. La documentación necesaria para una aplicación es la siguiente:

- Registro de propiedad, carta de acuerdo y mapa de ubicación del predio a ser adquirido.
- Documento de análisis geológico.
- Plan de Proyecto y mapa de ubicación.
- Estimación de los costos de construcción
- Estudios previos y aprobaciones por los grupos técnicos de la CAR y/o SDA.

La documentación necesaria para la consideración ambiental y social es la siguiente:

- i) Plan de Manejo Ambiental (Prevención, Mitigación, Mejoramiento y Compensación de los impactos).
- ii) Plan de Contingencia (Análisis de Riesgo)
- iii) Plan de Monitoreo

3) Transporte e infraestructura

Se anticipa un impacto en el flujo vehicular dentro del área alrededor del proyecto, debido al transporte a los sitios de perforación de equipos de construcción, materiales, trabajos de perforación de pozos, construcción de instalaciones de abastecimiento de agua, etc. Por consiguiente, será necesario tener personal de control del tráfico durante la ejecución del Proyecto. Adicionalmente, se deben tomar las medidas de seguridad correspondientes durante el periodo de construcción con base en los manuales de seguridad.

(2). Medio Ambiente

1) Disminución del Nivel Freático

En la actualidad, el agua subterránea bombeada proviene principalmente del acuífero Cuaternario. Sin embargo este proyecto planea bombear agua desde el acuífero Cretáceo. De acuerdo a la simulación de agua subterránea realizada en este Estudio, la disminución del nivel freático en el Cuaternario a causa del bombeo del Cretáceo es muy pequeña y despreciable. Esto se concluye del

hecho que el bombeo se realizará únicamente en caso de emergencia. Este análisis deberá ser estudiado en detalle posteriormente para mejorar su exactitud. Adicionalmente se debe proponer un plan de monitoreo. El monitoreo continuo del nivel freático servirá de retroalimentación para la operación del proyecto.

2) Subsistencia del Terreno

La subsidencia ocurre cuando disminuye el nivel del agua subterránea. Es en la formación Cuaternaria es donde la subsidencia de la tierra ocurriría. De acuerdo al análisis de subsidencia realizado en este Estudio, la cantidad de subsidencia causada por el bombeo del proyecto será pequeña y prácticamente despreciable. De igual forma se debe proponer un plan de monitoreo para mejorar la exactitud de la predicción de subsidencia del terreno.

5.13. Evaluación del Proyecto

5.13.1 Evaluación Económica

El objetivo del desarrollo de agua subterránea es asegurar y abastecer agua en casos de emergencia como consecuencia de desastres naturales, especialmente en el área de Chingaza. Sin embargo, la evaluación económica para emergencias ha sido escasamente desarrollada en términos monetarios. Por lo tanto, la evaluación que se lleva a cabo en este Plan Maestro se hace desde el punto de vista de ventajas comparativas que presenta el desarrollo de agua subterránea.

Las ventajas que presenta el desarrollo de agua subterránea son las siguientes:

- Diversificación de riesgos.
- Bajos costos de desarrollo.
- Ubicación de los pozos más cercana al área de demanda.
- Aplazamiento de la inversión para la escasez prevista para 2022.

(1). Diversificación de Riesgos

Este Plan Maestro sugiere el desarrollo de 59 pozos para el abastecimiento de agua en casos de emergencia. Adicionalmente, tres pozos exploratorios ya perforados por JICA, también pueden ser utilizados para el abastecimiento en casos de emergencia para un total de 62 pozos. La producción planeada de los 62 pozos es de 124,000 m³/día (1.435 m³/s) como se presenta en la Tabla-2.5-44.

El Acueducto tiene una fuerte dependencia del sistema de conducción de agua desde Chingaza. Un desastre natural puede dañar este sistema de distribución, por lo cual el desarrollo de agua subterránea diversificará los riesgos contra este tipo de desastres.

Tabla-2.5- 44 Producción Planeada

Área	Distrito y Municipio	Método de Abastecimiento en Caso de Emergencia	Número de Pozos			Producción (m ³ /día)
			Desarrollo	Exploratorios	Total	
Cerros Orientales	Bogotá D.C.	Puntual	6	-	6	12,000
		Puntual & en Red	11	-	11	22,000
		Total	17	-	17	34,000
Yerbabuena	Bogotá D.C.	Puntual & en Red	12	-	12	24,000
	Chía	Puntual & en Red	9	-	9	18,000
	Sopó	Puntual & en Red	8	-	8	16,000
	Total		29	-	29	58,000
Usme	Bogotá D.C.	Puntual & en Red	4	1	5	10,000
Ciudad Bolívar	Bogotá D.C.	Puntual & en Red	3	1	4	8,000
Soacha	Soacha	Puntual & en Red	6	1	7	14,000
Total			59	3	62	124,000

Fuente: Equipo de Estudio JICA

En la actualidad, la capacidad de producción de la planta Wiesner es de 13.5 m³/s. Por consiguiente, el desarrollo de agua subterránea deberá diversificar los riesgos aritméticamente por 10.6% (=1.435/13.5).

(2). Costos de Desarrollo más Bajos

Los costos de desarrollo de agua subterránea se presentan en la Sección-5.7 y se estiman en Col\$ 108.600 millones lo que equivale a US\$ 54.0 millones: costo unitario US\$ 37.7 millones/m³/s.

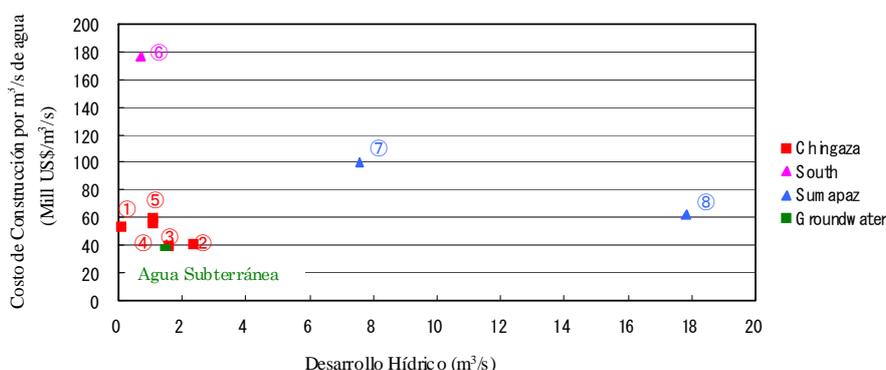
Entre tanto, el Acueducto ha planeado ocho proyectos de expansión de abastecimiento en el “Plan de Expansión de Abastecimiento de Agua, 2005”. Estos proyectos están para desarrollar 32.23 m³/s de agua superficial como se muestra en la Tabla-2.5-45. La inversión total es de US\$ 2,277 millones: el costo unitario promedio es de US\$ 70.6 millones/m³/s.

Tabla-2.5- 45 Plan de Expansión de Abastecimiento de Agua

Proyectos de Expansión	Costo de Inversión Millones de US\$	Flujo a ser asegurado m ³ /s
1. Sobre flujo de la represa de Chuza	5.30	0.10
2. Canal de Agua Chuza norte, etapa 1-2	96.46	2.33
3. Canal de Agua Chuza norte, etapa -3	61.77	1.57
4. Embalse La Playa	59.11	1.05
5. Canal de Agua Suroriental de Chingaza	65.19	1.08
6. Embalse la Regadera II	123.60	0.70
7. Canal de Agua Sumapaz aguas arriba	756.45	7.58
8. Canal de Agua Sumapaz cuenca media	1,109.26	17.82
Total	2,277.14	32.23
Costo Promedio de Inversión	70.6 millones US\$/m ³	

Fuente: Equipo de Estudio JICA basado en el “Plan de Expansión de Abastecimiento de Agua, Acueducto, 2005”.

En términos de desarrollo por m³/s, el agua subterránea se cotiza en US\$ 32.9 millones más bajo que el agua superficial. La relación entre la cantidad de desarrollo (m³/s) y los costos del desarrollo por m³/s se muestran en la Figura-5.45 Ubicación de los Pozos cercanos al Área de Demanda.



Nota: Los números de los proyectos en la Figura corresponden a los mismos de la Tabla-2.5-45

Figura-2.5- 45 Desarrollo de Agua y Costo por m³/s

En los días inmediatamente posteriores al desastre, el abastecimiento puntual de agua predomina entre otras medidas como abastecimiento de emergencia. El desarrollo de los 62 pozos se planea cerca de áreas residenciales, lo que permite una rápida entrega y distribución del agua a los ciudadanos. Esta entrega rápida reduce los costos de transporte a la vez que ahorra tiempo.

(3). Ubicación de los Pozos Cercanos al Área de Demanda

Inmediatamente después del desastre, el suministro de agua predominará para mantener la vida humana. El desarrollo de 62 pozos está planeado cerca de las zonas residenciales para facilitar un suministro rápido y una distribución de agua a los ciudadanos. Este suministro eficiente reduce el costo de transporte y el tiempo de distribución.

(4). Aplazamiento De La Inversión Para La Escasez Prevista Para 2022

De acuerdo al “Plan de Expansión de Abastecimiento de Agua, Acueducto, 2005”, la demanda de agua excederá: para el 2022 los derechos de concesión de agua (18,8 m³/s); para el 2033 el potencial de agua (22,12 m³/s) y para el 2042 la capacidad de las instalaciones (25 m³/s).

La producción planeada para los 62 pozos es de 1,4 m³/s como se presenta en la Tabla-5.44. Esto permite posponer la implementación del plan de expansión por 3 años cuando se tiene en cuenta la utilización regular de agua subterránea al igual que su uso en emergencias.

5.13.2 Análisis Financiero

(1). Condiciones Financieras Actuales del Acueducto

Cabe anotar que el Acueducto adquirió una alta tarifa de crédito “AA+” de la compañía calificadora de riesgo Duffs & Phelps de Colombia, para los bonos corporativos expedidos entre el 2002 y 2004. Adicionalmente, “BRC Investor Services” calificó otro bono corporativo como “AAA”, el cual fue expedido para asegurar prestamos del WB (Banco de Agua) y bancos domésticos en Octubre del 2006 (ver numeral 4 - Corte Financiero de Costos).

1) Rentabilidad

El informe de pérdidas y ganancias del Acueducto desde el 2003 al 2006 se presenta en la Tabla-2.5-46. En la Tabla se observa claramente que el Acueducto ha desarrollado unos excelentes resultados de operación cada año.

- Las ganancias netas del Acueducto han crecido cada año linealmente con el aumento del retorno operacional. La razón entre ganancias netas y retorno operacional del 2006 estableció un remarcable alto nivel de 18.7% (ver VI-2 de la Tabla-5.46 (2)).
- La tasa de cobertura de intereses del Acueducto fue de 3.4 en promedio durante un periodo de 4 años (2003 – 2006). Es evidente que el Acueducto ha acumulado suficientes ganancias operativas para cubrir el pago de intereses.

Tabla-2.5- 46 Informe de Pérdidas y Ganancias (millones Col\$)

Ítems		2003	2004	2005	2006	Ref.: Sept./2007
I. Operacional	1. Ingresos	858.980	892.875	969.885	987.449	814.942
	2. Gastos	759.686	766.317	843.618	728.448	618.346
	3. Ganancia Op.	99.294	126.558	126.267	259.001	196.596
II. No-operacional	1. Ingresos	221.808	198.856	259.864	190.238	111.126
	2. Gastos	240.987	151.182	158.262	172.616	198.792
	3. (intereses)	(73.029)	(71.747)	(80.168)	(73.445)	(34.694)
	4. Ganancia No-op.	-19.180	47.674	101.602	17.622	-87.666
III. Ganancias antes del Impuesto		80.114	174.232	227.869	276.623	108.930
IV. Impuesto Sobre la Renta¹⁾		25.361	53.802	73.303	92.035	-
V. Ganancia neta		54.753	120.430	154.566	184.588	-
VI. Ratio						
1. Ganancia Op. /Retorno Op. (=I.3÷I.1)		11,6%	14,2%	13,0%	26,2%	24,1%
2. Ganancia Neta/ Retorno Op. (=V÷I.1)		6,4%	13,5%	15,9%	18,7%	-
3. Ratio de Cobertura de Intereses²⁾		2,8	3,0	3,1	4,7	

Nota: 1) Impuesto sobre la renta que ha sido presentado en los gastos operativos del Informe se expone de manera separada en IV por el Equipo de Estudio de acuerdo a los estándares internacionales 2) Ratio de cobertura de intereses = (Ganancias Operativas + Interes Recivido) + Interes Pago.

Fuente: Acueducto (Departamento Financiero).

2) Seguridad y Estabilidad Financiera

El balance contable del Acueducto, del año fiscal 2003 a Septiembre del 2007, se presenta en la Tabla-2.5-46. La Tabla revela la seguridad financiera continua y la solidez del Acueducto.

- La razón corriente significa seguridad a corto plazo y en general se requiere al 120-140%. La razón corriente del Acueducto indica 242-522% lo que significa que el Acueducto mantiene los suficientes activos canjeables contra cuotas a corto plazo.
- Los Activos operacionales fijos tales como terrenos, equipos, maquinaria, vehículos y edificios son necesarios para ejecutar el negocio a largo plazo. Por lo tanto, la adquisición de tales activos fijos por lo general requieren también de fondos a largo plazo. La razón fija del Acueducto indica un 84-92% lo que significa que los activos fijos para operación han sido adquiridos mediante la utilización de fondos de largo plazo.
- La razón entre patrimonio y activos indica un alto nivel de 55-58% lo que significa que más de la mitad de los activos han sido adquiridos con sus fondos propios.

3) Flujo de Caja

La proyección del flujo de caja del Acueducto se presenta en la Tabla-2.5-47. La tabla muestra que las actividades operativas generan un flujo de caja neto positivo y ayudan a un buen balance de flujo de caja cada año.

- El flujo de caja neto de las actividades operativas continúa creciendo.
- El flujo de caja neto total de la operación y de actividades de inversión se vuelve positivo en el 2010.
- El flujo de caja neto del año se vuelve positivo en el 2011.
- El flujo de caja neto de las actividades financieras se vuelve positivo en el 2014 debido a una disminución de la deuda.

Tabla-2.5- 47 Balance Contable (miles de millones Col\$)

Activos						Pasivos y Patrimonio					
Ítems	'03	'04	'05	'06	'07	Ítems	'03	'04	'05	'06	'07
Activos Disponibles	694	899	1.097	1.211	1.344	Corrientes	287	205	229	232	465
Terrenos	150	163	187	200	223	Fijos	2.170	2.360	2.508	2.502	2.615
Activos Depreciables	2.854	2.931	3.062	3.178	3.403	Pasivos Totales	2.457	2.565	2.737	2.734	3.080
Activos Fijos Otros	1.750	1.766	1.744	1.844	1.945	Patrimonio	2.991	3.194	3.353	3.699	3.835
Total	4.754	4.860	4.993	5.222	5.571						
Total	5.448	5.759	6.090	6.433	6.915	Total	5.448	5.759	6.090	6.433	6.915
Ratio											
1. Patrimonio/Activos	55%	55%	55%	58%	55%						
2. Razón Fija ¹⁾	92%	88%	85%	84%	86%						
3. Razón Corriente ²⁾	242%	439%	479%	522%	289%						

Nota: 1) Razón fija = Activos fijos (terrenos + Activos depreciables)÷(Pasivos Fijos + Patrimonio), 2) Razón Corriente =Activos Corrientes ÷.Pasivos Corrientes.

Fuente: Acueducto (Departamento Financiero).

Tabla-2.5- 48 Proyección de Flujo de Caja (Col\$ miles de millones)

Ítem	Fuente de Flujo de Caja	Pronóstico			Proyección		
		2007	2008	2010	2011	2014	2017
Flujo de Caja Neto	1. Actividades Operacionales	362	332	548	596	641	727
	2. Actividades de Inversión	555	677	524	453	547	493
	3. = 1-2	-193	-345	24	143	94	234
	4. Actividades Financieras	152	123	-49	-49	16	94
	5. Del año	-41	-222	-25	94	110	328
Balance del Año Anterior		549	446	112	87	408	1,090
Balance Final del Año		508	224	87	181	518	1,418

Fuente: "Plan Financiero Plurianual 2008-2017" del Acueducto.

4) Corte Financiero de Costos

A propósito de sus buenas ganancias, el Acueducto ha implementado medidas para reducir costos. Al respecto, el Acueducto lanzó Col\$ 250 mil millones de bonos corporativos en Octubre del 2006. El objetivo es reducir el pago de intereses y su exposición a cambios en la tasa de moneda extranjera, pagando anticipadamente el préstamo significativo a bancos domésticos y al Banco de Agua. Como resultado, las tasas de interés han caído de 12.3% a 9.8% en una etapa inicial. La siguiente caja presenta un resumen de este lanzamiento.

Primer Lanzamiento de "Titularización del Acueducto de Bogotá"

1. Cantidad Expedida: Col\$ 250 mil millones en Octubre del 2006.
2. Términos de la titularización y Cantidad Expedida.
 - 1) 10 años: Col\$ 100 mil millones.
 - 2) 11 años: Col\$ 50 mil millones.
 - 3) 12 años: Col\$ 100 mil millones.
3. Taza de Interés: IPC (Índice de Precio al Consumidor) + extensión (4,95%, 5,09% y 4,94% respectivamente), Pagable cada 3 meses.
4. Categoría del Crédito: AAA (provisión prioritaria del retorno operacional como garantía).

(2). Evaluación Financiera del Proyecto

1) Costo de Desarrollo

El costo del desarrollo de agua subterránea se analiza en la sección 5.11 y se estima en Col\$ 108.610 millones para 3 años como se muestra en la Tabla-2.5-49. El costo anual promedio de desarrollo es de Col\$ 36.200 millones.

Tabla-2.5- 49 Costo Anual del Desarrollo (Col\$ millones)

Área	Desarrollo de Pozos	Fase-1	Fase-2	Fase-3	Total
		2011	2012	2013	
8sme, C. Bolívar y Soacha	13	28.800	-	-	28.800
Yerbabuena	17	-	33.500	-	33.500
Cerros Orientales	12	-	-	46.310	46.310
	11	-	-		
Total	53	28.800	33.500	46.310	108.610

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

<Referencia: Plan de Inversión del Acueducto>

De acuerdo al "Plan Financiero Plurianual 2008-2017" del Acueducto en Octubre del 2007, planea una inversión de Col\$ 5.000.000 millones en 10 años. En promedio una inversión anual de Col\$ 500.000 millones por año. El costo anual de desarrollo de agua subterránea (Col\$ 36,200 millones) equivale al 7.2% de está.

2) Financiación

Se asume que el costo de desarrollo será financiado por bancos domésticos, con las siguientes condiciones:

- Término de Préstamo: 12 años.
- Periodo de Gracia: 3 años.
- Tasa de Interés: 12%.

Estas condiciones de préstamo se consideran bastante conservativas comparadas con las condiciones de préstamo actuales del Acueducto. El peso promedio de la tasa de interés sería 3,7% si el 80% de los costos de construcción pueden ser financiados por un préstamo de un patrocinador internacional (se asume será préstamo Japonés ODA: tasa de interés de 1,4%, termino del préstamo a 25 años).

3) Habilidad para el Pago de Deudas

El pago de la deuda (pago del préstamo e intereses) del préstamo mencionado se presenta en la Tabla-2.5-50. La Tabla muestra que el pago máximo anual es de Col\$ 23.900 millones y Col\$ 17.800 millones como promedio anual. Este pago representa solo el 8,2% de los Col\$ 216.000 millones del pago actual de la deuda del Acueducto en el 2006.

Tabla-2.5- 50 Pago de la Deuda (Col\$ millones)

Ítems	Cantidad del Préstamo	Condiciones del Préstamo (Asumidos)			Pago de la Deuda del Año	
		Tasa de Interés	Termino del Préstamo	Periodo de Gracia	Máximo	Promedio
Préstamo en Banco Domestico	109.000	12,0%	12 años	3 años	23.900	17.700
Referencia: Préstamo Actual Pendiente (año 2006)		Repago: 136.000 (Excluyendo 250.000 de pago anticipado)		Intereses Pagos: 86.000	-	216.000

Fuente: Equipo de Estudio JICA

El Acueducto considera que tiene los recursos necesarios para enfrentar la deuda, juzgando desde el balance de flujo de caja y el alto nivel de “habilidad para pagar” como se presenta en la Tabla-2.5-51.

Tabla-2.5- 51 Habilidad para Pagar (Col\$ millones)

Ítems	Predicción	Proyección				
	2007	2008	2010	2011	2014	2017
a. Balance de Flujo de Caja Final del Año	508.000	224.000	87.000	181.000	518.000	1.418.000
b. Pago de la Deuda	-	-	-	-	13.000	23.900
c. Habilidad para Pagar = a/b	-	-	-	-	40 veces	59 veces

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

4) Análisis de Rentabilidad

Las proyecciones de ganancias y pérdidas del Acueducto se presentan en la Tabla-2.5-52. La ganancia operacional crece cada año. Las ganancias netas también resultan positivas cada año.

Tabla-2.5- 52 Proyecciones de Ganancias y Pérdidas (miles de millones Col\$)

Ítems		Predicción	Proyección				
		2007	2008	2010	2011	2014	2017
Operación	Retorno	1.064	1.113	1.213	1.269	1.474	1.7
	Ingreso	199	262	250	285	368	550
Otros	Ingreso	-111	-17	-39	-30	44	131
Ganancias antes de impuestos		88	245	211	255	412	681
Impuesto		0	0	13	52	82	170
Ganancia Neta		88	245	198	203	330	511
EBTDA		462	513	565	597	720	960
Incremento de costos por desarrollo de agua subterránea							
1. Intereses		-	-	-	-	13	12
2. Depreciación		-	-	-	-	6	6
3. Total		-	-	-	-	19	18

Nota: EBTDA=Ganancias antes de: Intereses, Impuestos, Depreciación y Amortización. Fuente: Acueducto.

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

La Tabla anterior indica que el costo incremental incluyendo intereses y depreciación por el desarrollo de agua subterránea será de Col\$ 19 mil millones en el 2014 y Col\$18 mil millones en el 2017. Es obvio que estos costos son muy pequeños y no afectan seriamente la ganancia proyectada por el Acueducto.

5) Recuperación del Costo de Inversión

El proyecto de desarrollo de agua subterránea apunta principalmente a solucionar el abastecimiento de agua en caso de emergencia, mas no a una expansión de consumidores. Por lo tanto el Acueducto no puede generar una ganancia operacional adicional de este proyecto y por consiguiente teóricamente no puede recuperar los costos del desarrollo durante el periodo en el cual la capacidad de abastecimiento de agua sobrepasa la demanda de agua.

Entre tanto, en términos de la tarifa de agua, el Acueducto puede recuperar los costos del desarrollo si éste es incorporado a la tarifa de acuerdo a la siguiente formula, aunque la decisión de cambio de la tarifa recae en las manos de los altos gerentes.

Fórmula para Establecer la Tarifa

Tarifa = Tarifa Fija + Tarifa por Consumo.

1) Tarifa Fija: CMA.

2) Tarifa por consumo: CMO + CMI + CMT.

Nota: CMA: Promedio del costo administrativo, CMO: Promedio del costo operativo, CMI: costo de inversión, CMT: Costo promedio de deberes medio ambientales.

5.13.3 Evaluación Social

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

(1). Aumento del la Población Servida en casos de Emergencia

En este Plan Maestro se consideran dos métodos de abastecimiento de agua: uno es el abastecimiento puntual de agua y el segundo es el abastecimiento de agua en red. De los 62 pozos, 6 son exclusivamente para el abastecimiento puntual, mientras que los restantes 56 están diseñados para ambos tipos de abastecimiento (puntual y en red). La población servida por ambos métodos se estima respectivamente a continuación (ver Tabla-2.5-53).

- 8.300.000 habitantes pueden ser servidos por el abastecimiento puntual exclusivamente: esto es igual a la población estimada para el 2011.
- 706.000 habitantes pueden ser servidos por el abastecimiento en red exclusivamente: esto corresponde al 10% de la población del 2007 y al 7% de la población estimada para el 2020.

(2). Abastecimiento de Agua para Mitigar Incendios Forestales

En los Cerros Orientales y Sur anualmente se presentan incendios forestales, especialmente durante la época de sequía entre Enero y Febrero. El Departamento de Bomberos de Bogotá apaga estos incendios. Este proyecto planea construir tanques y tuberías de distribución que permitan a los bomberos tomar agua para la operación de apagado del incendio.

Tabla-2.5- 53 Población Posiblemente Servida

Método de Abastecimiento	Producción (m ³ /día)	Tasa de Perdida de Agua ¹⁾	Consumo (m ³ /día)	Tasa de Consumo Unitario (litro/día/persona)	Población Posiblemente Servida
Abastecimiento Puntual Exclusivamente	124.000	-	124.000	15 ²⁾	8.300.000
Abastecimiento en Red Exclusivamente	112.000	37%	70.600	100 ³⁾	706.000

Nota: 1) Tasa de Perdida de Agua: datos actuales del primer semestre del 2006, 2) 15 litros/día/persona: tasa objetivo para el abastecimiento puntual del Acueducto, 3) 100 litros/día/persona: promedio estimado de tasa de consumo en el 2006.

Fuente: Equipo de Estudio JICA.

(3). Aumento de la Oportunidad de Empleo

Durante la implementación del proyecto, los trabajos de construcción ofrecen nuevas oportunidades laborales, a gente desempleada y subempleada de la región, en construcción y sectores afines. Adicionalmente el consumo de los trabajadores estimularía la actividad comercial de los negocios de la región. Por lo tanto, este aumento en el consumo (por parte de los nuevos trabajadores) induciría un efecto económico multiplicado a la región, el cual activa la economía regional como un todo.

CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES

- El Plan Maestro de Abastecimiento de agua del Acueducto fue revisado en el este Estudio. Es claro que existe una vulnerabilidad en el abastecimiento de agua en caso de emergencia. Para mitigar esta vulnerabilidad, varios proyectos de abastecimiento de emergencia fueron propuestos y revisados. Con base en la examinación anterior, el Plan Maestro de abastecimiento de emergencia fue finalmente propuesto.
- En este Plan Maestro se propuso el desarrollo de agua subterránea en los Cerros Orientales y Sur de Bogotá y el abastecimiento de emergencia de agua mediante agua subterránea. Adicionalmente se propusieron un acuífero promisorio a ser desarrollado, costos del proyecto, métodos de operación/mantenimiento e instalaciones tipo f y su óptima ubicación. Posterior al diseño del proyecto, se realizó una evaluación de los aspectos económicos, financieros, sociales y ambientales. Los proyectos propuestos se justifican a partir de esta evaluación.
- Tres (3) proyectos para abastecimiento de agua de emergencia fueron propuestos en el Plan Maestro. Cada uno de los tres proyectos presenta ventajas urgentes, necesarias y únicas. Por otro lado, los 3 proyectos tienen una fuerte relación entre ellos. Adicionalmente, el Acueducto consideró que estos proyectos son desarrollables desde el punto de vista financiero.
- La implementación de un Estudio de Factibilidad es necesaria para obtener información complementaria para un diseño más detallado de los proyectos, el cual se utilizará para juzgar si los proyectos propuestos son factibles o no.
- Varias opciones para el abastecimiento de agua de emergencia deben ser preparadas. Algunas de estas opciones son los proyectos propuestos y el abastecimiento de emergencia mediante agua subterránea, los cuales presentan ventajas únicas y diferentes con respecto a los otros proyectos. Mediante la implementación de cada opción para el abastecimiento de emergencia, el daño causado por un desastre natural al abastecimiento de agua de Bogotá, será mitigado.