

3.4 Perforación exploratoria

(1) Perforación exploratoria del Cuaternario

El Equipo de Estudio llevó a cabo la perforación exploratoria del Cuaternario para saber la condición geológica y para instalar pozos de observación del nivel del agua subterránea..

(a) Localización de la perforación y resultados

La Localización de seis perforaciones se muestra en la Tabla –3.3 y en la Figura –3.4. en la selección de la ubicación se consideraron los siguientes aspectos.

- Que se amolde a las características hidrogeológicas conocidas del Cuaternario.
- Que se amolde al conocido nivel representativo del agua subterránea del cuaternario.

El resultado de la perforación exploratoria se resume en la Tabla –3.3

Tabla-3.3 Resultado de la perforación exploratoria del Cuaternario

Pozo No. (Ubicación)	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	
	(Gibraltar)	(Tisquesusa)	(Siberia)	(Sopo)	(Diana)	(Choconta)	
Profundidad del pozo(m)	196	192	173	150	188	123	
Profundidad del filtro (GL-m)	73 ~ 75 85 ~ 121 132 ~ 136 149 ~ 152 163 ~ 166 (Total 48m)	117 ~ 120 128 ~ 146 152 ~ 158 162 ~ 186 (Total 51m)	80 ~ 92 95 ~ 119 124 ~ 127 134 ~ 137 143 ~ 155 (Total 54m)	25 ~ 47 57 ~ 65 (Total 30m)	41 ~ 53 73 ~ 82 96 ~ 105 126 ~ 132 144 ~ 147 (Total 39m)	41 ~ 60 65 ~ 73 120 ~ 144 154 ~ 175 (Total 72m)	
Diámetro de la tubería	8 pulgadas	8 pulgadas	8 pulgadas	8 pulgadas	8 pulgadas	8 pulgadas	
Acuífero	Arena fina, arena y gravilla (Sabana)	Arena Fina (Sabana)	Arena Fina (Sabana)	Arena y Gravilla (Sabana)	Arena Fina, Arena limosa y gravilla (Sabana)	Arena Limosa y gravilla, limo (Tilata)	
Prueba de Bombeo	S.W.L ¹⁾ (GL-m)	16.5	76.92	21.94	14.7	17.33	11.07
	Producción (m ³ /día)	- ⁴⁾	317	432	605	586	533
	Descenso de Nivel	- ⁴⁾	6.43	16.69	5.37	6.99	3.89
	D.W.L ²⁾ (GL-m)	- ⁴⁾	83.35	38.63	20.07	24.32	14.96
	Capacidad Específica (m ³ /día/m)	- ⁴⁾	49	26	82	84	137
	Transmisividad (m ² /día)	46	204	30	85	89	159
	Conductividad (m/día)	0.96	4.0	0.56	2.8	2.3	2.2
	Capacidad de almacenamiento	- ³⁾	1.38×10^{-18}	6.82×10^{-2}	- ⁵⁾	1.27×10^{-2}	7.61×10^{-2}

- Note
- 1) S.W.L. (Static water level) Nivel Estático del Agua
 - 2) D.G.L (Dynamic water level) Nivel Dinámico del Agua
 - 3) La conductividad y la capacidad de almacenamiento fueron analizadas por el metodo Jacob y el método de recuperación.
 - 4) Para el pozo de Gibraltar, no se llevó a cabo la prueba de bombeo pero sí la prueba de impermeabilidad de perforación. Por la tanto la capacidad específica D.W.L., y la capacidad de almacenamiento no están calculadas.
 - 5) La capacidad de almacenamiento no fue calculada para el pozo de Sopo, por que el descenso del nivel fue irregular durante la prueba de bombeo.

Características del acuífero Cuaternario

De acuerdo con el resultado de la perforación exploratoria la formación de la Sabana y de Tilata consiste principalmente de sedimentos arcillosos y las capas de arena y gravilla no son muchas. Solamente las capas de arena y gravilla llegan a ser acuíferos en el Cuaternario, en el cual se distribuyen separadamente en diferente profundidad rodeadas por capas gruesas y poco permeables. Dentro de este sistema, las capas de arena y gravilla tienen una conexión vertical del flujo del agua subterránea a pesar de las capas intermedias poco permeables. De acuerdo con la prueba de bombeo, el desempeño específico de perforar seis pozos es $26\text{m}^3 \sim 84\text{m}^3/\text{día}/\text{m}$, y su promedio es $60 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$. Este resultado muestra una alta capacidad de producción del acuífero Cuaternario..

(2) Perforación exploratoria del Cretáceo

La EAAB llevó a cabo cuatro perforaciones exploratorias del Cretáceo durante este estudio. El resultado de la perforación se resume a continuación.

(a) Localización y resultados de la perforación

La ubicación de perforación de dos pozos se muestra en la Figura-3.4. El Resultado de la perforación exploratoria está resumido en la tabla –3.4, Tabla-3.4 (2).

Tabla-3.4 Resultado de la perforación exploratoria del Cretáceo (1)

Pozo No. (Sitio)	No.1 (La Salle)	No.2 (Suba)	No.3 (Mariscal Sucre)				
Profundidad del pozo (m)	270	389	304				
Profundidad del filtro (m)	60~65, 69~75, 82~85, 87~90, 97~106, 113~119, 134~140, 148~151, 153~156, 172~175, 179~188, 195~198, 202~205, 221~224, 229~238, 248~254, 258~261 (Total 84 m)	145~148, 150~159, 166~175, 190~199, 213~222, 228~234, 240~246, 258~267, 283~286, 322~325, 329~335, 341~344, 349~355, 377~380 (Total 84 m)	124, 136, 164, 195, 200, 215, 220, 240, 264, 284, 288, (Total m)				
Diámetro del revestimiento	8 pulgadas	8 pulgadas	8 - 6 pulgadas				
Acuífero	Arenisca y lutita	Arenisca y lutita	Arenisca				
Prueba bombeo	S.W.L ¹⁾ (m Nivel estático)	+1,75 m	-23,92 m				
	Producción (m ³ /día)	1.944	1.987				
	Abatimiento	35,01	5,07				
	Nivel dinámico	33,26	18,85				
	Capacidad Especifica (m ³ /día/mes)	56	392				
	T/smisividad (m ² /día)	160-192	651				
	Conductividad (m/día)	1,9-2,3 (0,59~0,71)	7,8 (1,67)				
Almacenamiento	$1,44 \times 10^{-11}$	$1,53 \times 10^{-4}$	$0,23 \times 10^{-3}$				
Paso	1 paso prod. / Achique	636 m ³ /día	4,18 m	758 m ³ /día	0,87 m	1520.6 m ³ /día	0.88
	2 paso prod. / Abatimiento	968 m ³ /día	8,33 m	1.165 m ³ /día	1,73 m	1763 m ³ /día	1.06
	3 paso prod. / Abatimiento	1,158 m ³ /día	11,10 m	1.486 m ³ /día	2,60 m	2064 m ³ /día	1.28
	4 paso prod. / Abatimiento	1,495 m ³ /día	18,40 m	1.970 m ³ /día	4,39 m	-	-
	5 paso prod. / Abatimiento	1,944 m ³ /día	35,01 m	-	-	-	-

- Nota:
- 1) La conductividad y la capacidad de almacenamiento fueron analizadas por el método Jacob y el método de recuperación
 - 2) Se muestran dos tipos de conductividad. El primero es (transmisividad/ Longitud total del filtro), y el segundo es (Transmisividad/ longitud total del pozo).
 - 3) El S.W.L. del pozo No.4 es del nivel del suelo del pozo No4.

Tabla-3.4 Resultado de la perforación exploratoria del Cretáceo (2)

Pozo No. (Sitio)	No.4 (Vitelma Recharge well)	No.5 (Vitelma observation well)
Coordinates of Wells	E: 1,001,326 N: 996,416	E: 1,001,220 N: 996,431
Profundidad del pozo (m)	300 m	240 m
Profundidad del filtro (m)	60 ~ 63, 73 ~ 82, 87 ~ 96, 100 ~ 106, 114 ~ 129, 133 ~ 136, 139 ~ 154, 167 ~ 176, 208 ~ 211, 216 ~ 219, 252 ~ 258, 262 ~ 265, 281 ~ 287 (Total length 90m)	113 ~ 140, 148 ~ 151, 173 ~ 179, 199 ~ 202, 205 ~ 208, 216 ~ 222, 233 ~ 236 (Total length 72m)
Diámetro del revestimiento	8 inch	4 inch
Acuífero	Sandstone, shale	Sandstone, shale
< Pumping Test >		
S.W.L ¹⁾ (m Nivel estático)	-6.63m	- 6.84m
Producción (m ³ /día)	1,296	-
Abatimiento	18.84	12.03
Nivel dinámico	25.47	18.87
Capacidad Especifica (m ³ /día/mes)	69	-
T/smisividad (m ² /día)	62-	60
Conductividad (m/día)	0.70 (0.21)	0.68 (0.21)
Almacenamiento	3.4×10^{-4}	3.4×10^{-4}

Note: 1) Conductivity and storativity were analyzed by Jacob method and recovery method
 2) Two types of conductivity are shown. The first one is (Transmissivity / total screen length), and second one is (Transmissivity / total well length).
 3) S.W.L. of No.4 well is from ground level of No4 well.

Características del acuífero del Cretáceo

Del resultado de la perforación, el principal acuífero del Grupo Cretáceo en los sitios de perforación de La Salle, Suba y Vitelma es la Formación Labor y Tierna. La formación Labor y Tierna está formada principalmente por piedra arenisca, de la cual la mayoría de las partes porosas y fracturadas se convierten en un acuífero. Dicha piedra arenisca distribuye a diferentes profundidades dentro de la Formación Labor y Tierna. En adición a esto, zonas fracturadas notables se han desarrollado en la formación Labor y Tierna, y tales zonas fracturadas algunas veces forman un acuífero excelente. La capacidad específica es de 56m²/día en el pozo de La Salle, 392m²/día en el pozo de Suba y 69 m²/día en el pozo de Vitelma. De acuerdo con la prueba de bombeo, tres pozos muestran una capacidad específica muy alta. Esto prueba que el Grupo Guadalupe de las zonas de perforación tiene una alta capacidad acuífera.

3.5 Observación de nivel del agua subterránea

El nivel del agua subterránea del Área de Estudio fue observado simultáneamente mediante la observación del nivel del agua subterránea y por el reSIG tro automático del nivel del agua subterránea. El nivel del agua subterránea y la fluctuación estacional de este fueron analizados en este estudio. El resultado se explica a continuación.

(1) Observación aimultánea del nivel del agua subterránea.

(a) Observación simultánea del nivel del agua subterránea realizada por el Equipo de Estudio de JICA y la CAR

El Equipo de Estudio llevó a cabo una observación simultánea del nivel de agua subterránea en febrero, Agosto y Diciembre de 2001 y Agosto y Noviembre de 2002. El número total de pozos observados está cerca de los 100, los cuales no están actualmente en uso para el bombeo. La CAR inició una observación simultánea del nivel del agua subterránea para toda el Área de Estudio desde 1998. Catorce veces la CAR realizó campañas de observación para cerca de 370 pozos de observación durante 1998 y 2001. Los pozos utilizados para estas

observaciones están actualmente en uso para el bombeo.

(b) Resultado de la observación simultánea del nivel del agua subterránea

La distribución del nivel del agua subterránea y su fluctuación en el Área de Estudio fueron examinadas del resultado de la observación simultánea del nivel del agua subterránea llevada a cabo por la CAR y el Equipo de estudio. El resultado del examen se explica a continuación.

Fluctuación del nivel del agua subterránea en el Área de Estudio

La fluctuación del nivel del agua subterránea durante 1998 al 2001 fue analizada del resultado de la CAR. La velocidad promedio de la fluctuación del nivel del agua subterránea de los pozos observados fue resumida en el histograma que se muestra en la Figura- 3.5. Como se muestra en la figura -3.5 la velocidad promedio de la fluctuación del nivel del agua subterránea muestra un rango de -6m/año a 6m/año.

Son posibles dos interpretaciones para los resultados anteriores.

- El nivel del agua subterránea está siendo disminuido por la velocidad promedio de -0.2m/año,
- La velocidad de fluctuación de -0.2m/año es insignificante, esto significa que el nivel de agua subterránea está en estado de equilibrio, y que no presenta grandes fluctuaciones.

En el Área de Estudio , se inició hace 20 años el desarrollo del agua subterránea, desde entonces también inició la disminución del nivel del agua. Del resultado mencionado anteriormente, la disminución del nivel del agua subterránea mediante el bombeo ya ha alcanzado un estado de equilibrio y no ocurrirá de nuevo una seria disminución del nivel del agua subterránea.

Distribución del nivel del agua subterránea desde el Área de Estudio

La distribución del nivel del agua subterránea fue estimada de los resultados de la observación realizada por la CAR y el Equipo de Estudio JICA. Más del 90% de los pozos, los cuales fueron observados por la CAR y el Equipo de Estudio, tienen un acuífero Cuaternario, y los pozos con acuífero del Cretáceo (Guadalupe) son pocos. Además, los pozos con acuífero Terciario son escasos.

(a) Nivel del agua subterránea del Cuaternario

Asumiendo que el nivel del agua subterránea del acuífero Cuaternario fue mostrado en la figura-3.6. Como se muestra en la Figura-3.6, el agua subterránea del acuífero Cuaternario fluye desde el borde de la sabana de Bogotá (área de montaña y cerro) hasta el centro de la Sabana de Bogotá siguiendo el gradiente de la pendiente del suelo. El nivel del agua subterránea es menor donde hay muchos pozos bombeados, y se esperan los flujos de agua subterránea hacia esta área desde el área circundante.

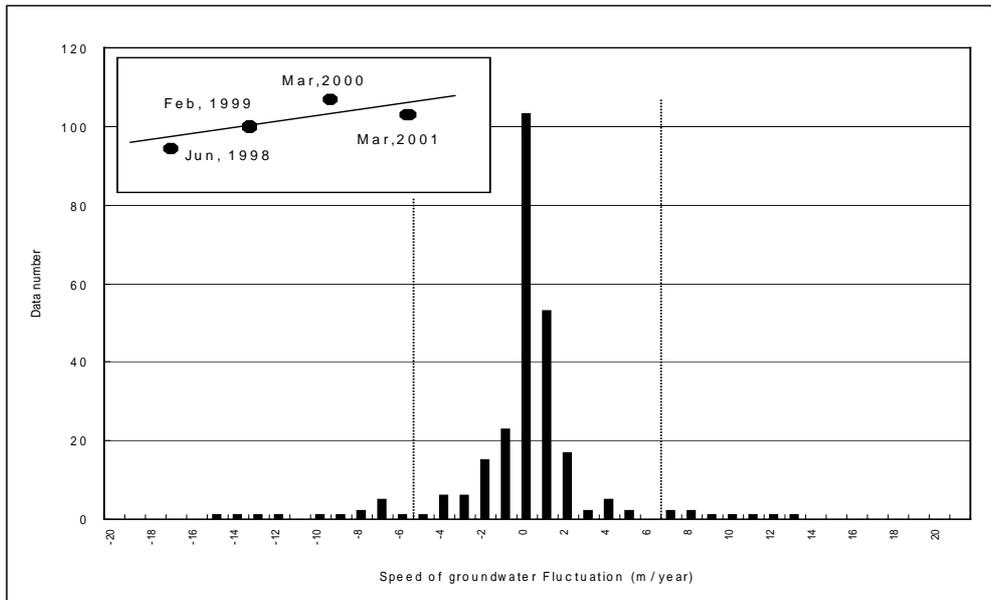


Figura-3.5 Histograma de la velocidad del nivel del agua subterránea (m/año)

(b) Nivel del agua subterránea del acuífero del Cretáceo

Los datos del nivel del agua subterránea del acuífero del Cretáceo son pocos comparados con aquellos del Cuaternario. Entonces, es difícil dibujar una curva de nivel que cubra toda el Área de Estudio. Para obtener el concepto de la distribución del nivel del agua subterránea, el nivel del agua subterránea fue dibujado con base en ciertas suposiciones, y esto se muestra en la Figura-3.7.

Como se muestra en la Figura-3.7, el agua subterránea del Acuífero del Cretáceo fluye de la dirección NNE a la dirección SSO siguiendo el gradiente de la pendiente del suelo de la sabana de Bogotá, y finalmente fluye fuera del Área de Estudio.

(2) Resultado de la observación continua del nivel del agua subterránea

El Equipo de Estudio instaló medidores automáticos del nivel del agua subterránea en 11 pozos existentes, y el nivel del agua subterránea está siendo actualmente observado de forma automática en estos pozos.

Tabla-3.5 Pozos para la observación continua del nivel del agua subterránea

Pozo No.	Pozo No.	Coordenadas del Pozo	
		E	N
No.1	Gibraltar (Soacha)	988,439	1,005,845
No.2	Tisquesusa (Facatativa)	976,639	1,022,020
No.3	Siberia (Tabio)	991,462	1,017,974
No.4	Sopo (Sopo)	1,011,020	1,037,638
No.5	Diana	1,013,170	1,038,429
No.6	Choconta	1,049,874	1,067,343
No.7	Suba	999,911	1,017,839
No.8	Guadarrama	1,014,772	1,053,702
No.9	Grasco	996,772	1,001,948
No.10	Santa Monica	977,203	1,014,760
No.11	Dersa	996,772	1,001,948

(3) Resultado del monitoreo hasta hoy se resume como sigue

El resultado del monitoreo muestra una fluctuación estacional del agua subterránea del acuífero Cuaternario. El patrón de fluctuación es diferente en cada pozo, y la fluctuación estacional no es clara. Parece ser causada por el efecto de bombeo en los pozos vecinos. El patrón de fluctuación del nivel del agua subterránea en el Área de Estudio es generalmente complicado. Esto es causado por los pozos existentes bombeados, los cuales tienen influencia en el nivel del agua subterránea mediante el control artificial de producción.

Del resultado de la observación, la tendencia de disminución y aumento a largo plazo del nivel del agua subterránea no es reconocida. Se considera que disminución del nivel del agua subterránea de la Sabana de Bogotá mediante el bombeo ya ha alcanzado una condición de equilibrio.

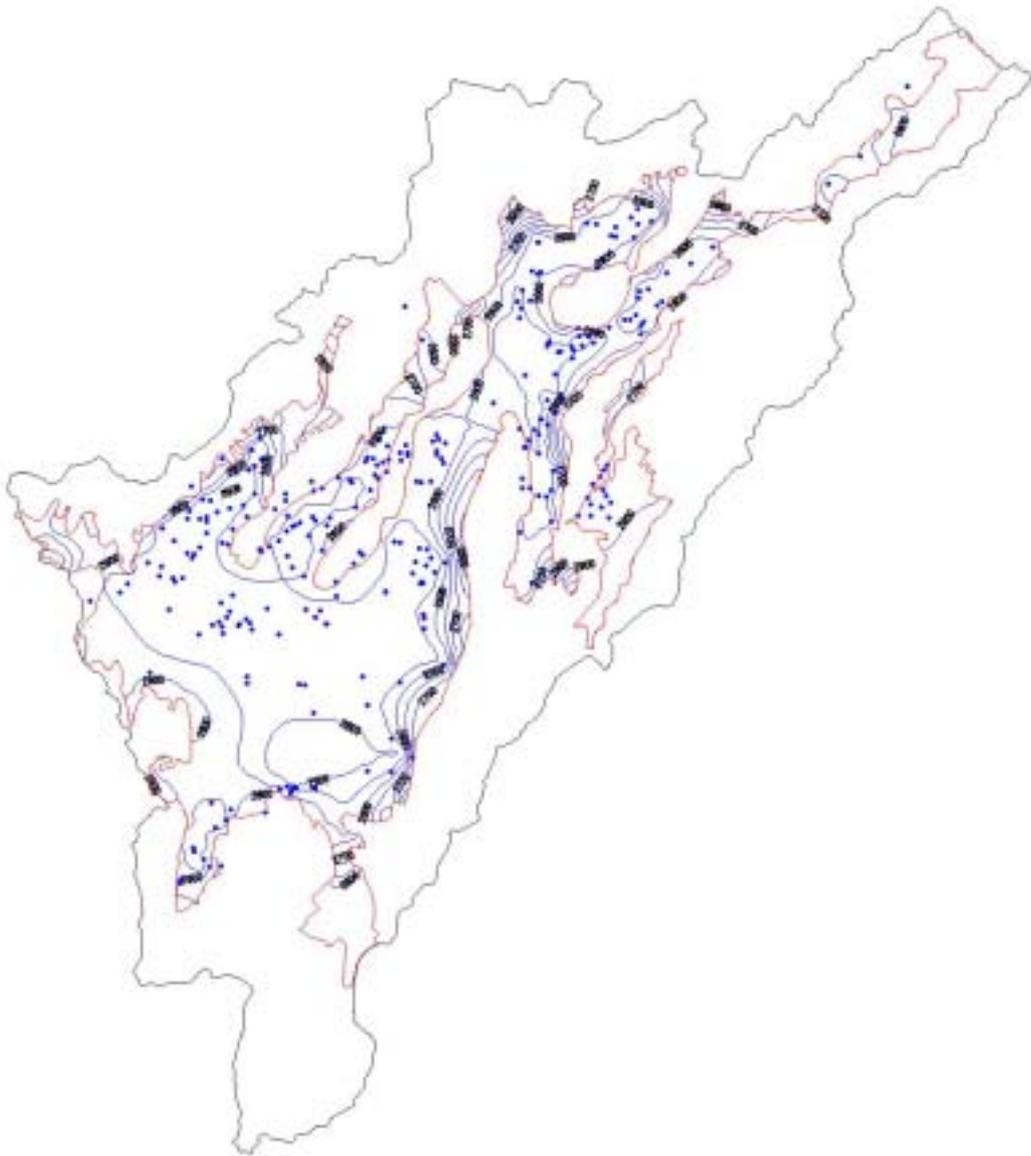


Figura-3.6 Nivel del agua subterránea del Cuaternario

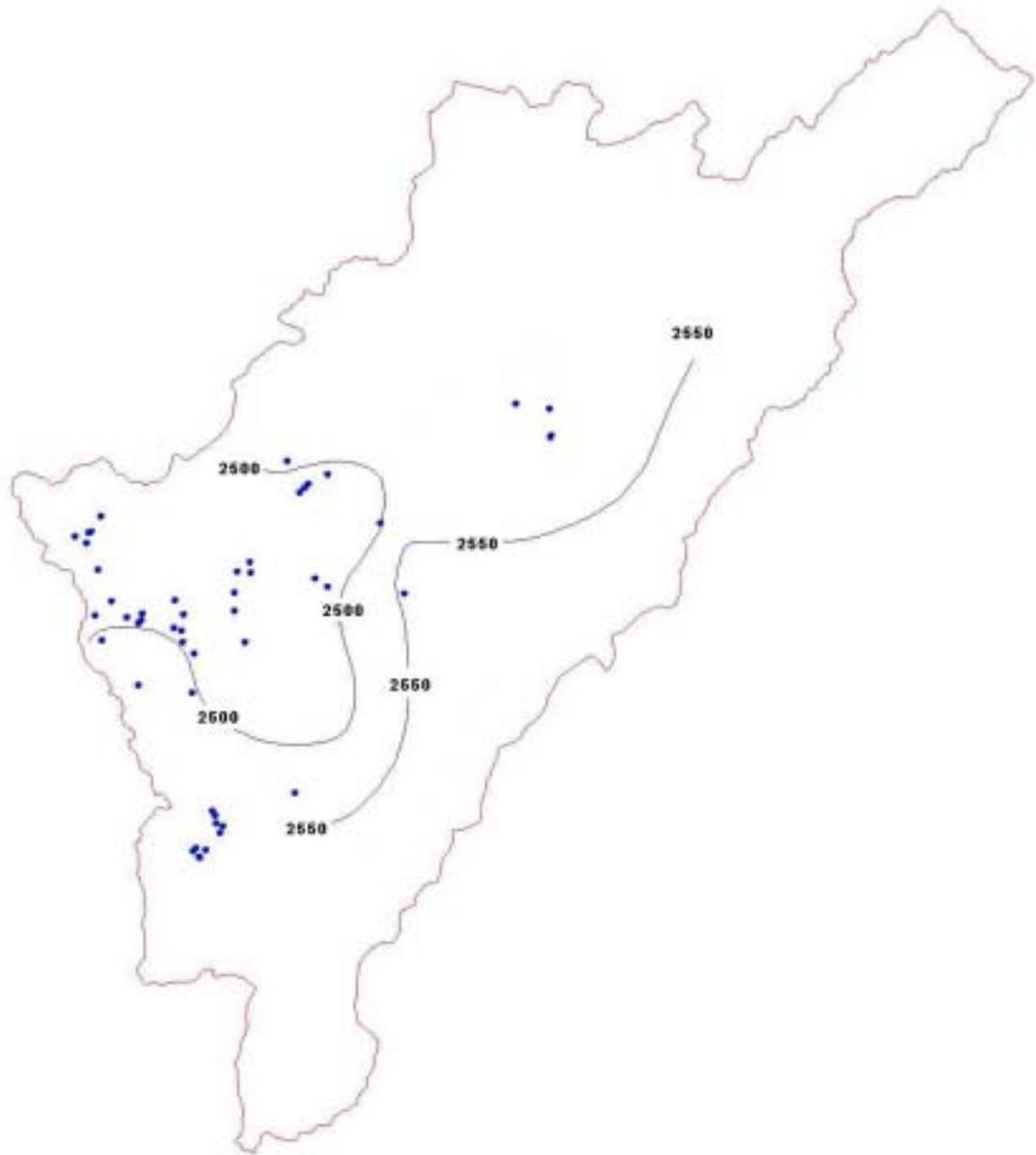


Figura-3.7 Nivel del agua subterránea del Cretáceo

3.6 Prueba de calidad del agua para los pozos

La análisis del calidad de agua se efectuó 3 veces para evaluar el agua subterránea en la Sabana de Bogotá desde el punto de vista ambiental e hidrogeológico (Fase I: Febrero – Marzo, 2001, Fase II: Octubre – Noviembre, 2001 y Fase III: Agosto – Septiembre, 2002).

(1) Sitios seleccionados y parámetros analizados

Los sitios para la toma de muestras de calidad del agua se seleccionaron de (i) pozos a lo largo de los ríos, (ii) pozos en zonas agrícolas, (iv) pozos en zona industrial, (v) otros. Los ítems seleccionados cubren 6 categorías (parámetros químicos relacionados con la salud humana, parámetros relacionados al sabor, olor y color, parámetros inorgánicos, parámetros orgánicos, agroquímicos y bacterias). Tabla 3-6.

Tabla 3.6 Número de pozos para los ensayos sobre la calidad del agua y parámetros

ítem	Fase 1		Fase 2		Fase 3
1. Puntos de muestreo (Total)	99		104		70
- pozos alrededor de los Ríos	33		30		18
- pozos en Áreas Agrícolas	5		5		5
- pozos en Áreas Industriales	5		5		5
- pozos para el Análisis Isotópico	20		20		9
- pozos en Otras Áreas	36		44		33
2. Parámetros a analizar	Alrededor de los Ríos	Área agrícola	Área industrial	Análisis Isotópico	Otras Áreas
Parámetros químicos relacionados con la salud humana	Arsénico, Boro, Cadmio, Cromo, Cianuro, Flúor, Plomo, mercurio Total, Níquel, Nitratos, Nitritos, Selenio, Antimonio, Bario, Berilio, Cobre, Manganeseo, Molibdeno				
Parámetros físico químicos relacionaron con gusto/olor/color	Color, Olor, Turbiedad, Temperatura, índice de Langelier, Conductibilidad,				
Parámetros inorgánicos	Aluminum, Ammonia, Chloride, Hardness, Hydrogen sulfide, Iron, Dissolved oxygen (Phase 2 only), pH, Sodium, Sulfates, Dissolved total solid, Zinc, Magnesium, Potassium, Bicarbonate Ion, Carbonate, Calcium, Alkalinity, Acidity				
Parámetros orgánicos	--	--		--	--
	Tolueno, Xylenos, Benceno				
Agroquímicos	--		--	--	--
	Aldicarb, Carbofuran, Aldrin, Endrin, Dieldrin, Clordano, Linuron, P, p-DDT, o-p ' DDT, p-p ' DDT, Permetrina, 2-Clorofenol, 2, 4, 6-Triclorofenol, Endosulfan I, Endosulfan II, Endosulfan S042 -, Heptacloro, Heptaclorepoide, Lindane, Metolachlor, Atrazine, Bentazone, Profenofos, Clorpirifos, Triclorfos, 2, 4-D, Methoxychlor, Simazine, Trifluralin, 2, 4-DB, Dichlorprop, Malation, Etil Paration, Metil Paration, 2, 4, 5-T, PCP, Diazinon, Permethrin, 2, 4, 5-TP,				
Bacterias	Escherichia Coli, bacterias Coliformes,				

(2) Resumen de los Resultados de las pruebas

<Resumen de los resultados de las pruebas>Aspectos sobre la Evaluación Ambiental de la Calidad de Agua>

Calidad de agua en el cuaternario

La principal característica es que algunos parámetros de calidad de agua, rara vez detectados en aguas subterráneas de estratos profundos, se observan en valores muy altos, en toda el área de Estudio. Benceno, Tolueno y Xilyeno (BTX), que evidencias contaminación industrial, no se detectó en los pozos en le área industrial. De la misma manera, la influencia de pesticidas nose encontró en el área agrícola. En contraste con las normas de calidad colombianas para aguas crudas, lo siguiente describe los ítems que excedieron las normas en términos de concentración y en el número de pozos. Como un todo, las aguas subterráneas en el Área de Estudio, no satisfacen las normas de calidad y esta agua no se puede utilizar como agua

potable, sin un proceso normal de purificación.

- Agua Cruda para uso doméstico: Color, turbidez, grupo de bacterias coliform bacilli, amoníaco y pH excedieron los valores de la norma en muchos pozos. Por lo tanto, se debe enfatizar que la calidad de agua es extremadamente baja como agua cruda para planear un tratamiento normal de purificación. Aunque no se puede decir que el contenido de sulfuro de hidrógeno y de hierro excedan las normas, por que no existe una norma colombiana que lo juzgue, las concentraciones de estas sustancias exceden las normas internacionales como por ejemplo, las guías OMS. Por lo tanto, existe un gran riesgo al tomar estas aguas sin un proceso específico de tratamiento y no se puede esperar utilizar agua cruda directamente confiando en su buena calidad.
- Agua cruda para uso agrícola: observamos un exceso en las concentraciones de hierro y manganeso en muchos pozos. Como las normas colombianas no incluyen el sulfuro de hidrógeno ni otros iones tóxicos, este tema será discutido en otra sección mas adelante.
- Agua cruda para cria de ganado: Ninguna muestra exceder las normas.

Calidad de agua del cretáceo

Aunque el sulfuro de hidrógeno, el manganeso, el hierro y el color no satisfacen los valores de las normas, estas concentraciones son relativamente bajas en comparación con las del cuaternario. Debe enfatizarse que el amonio casi no se detectó en esta Área. Por lo tanto, se puede concluir que la calidad de agua difiere de la del cuaternario.

Características de la calidad del agua subterránea

Cromaticidad: El valor estándar del agua cruda generalmente a ser esterilizado por cloro es 20 CTU, pero casi el 80% de las cuencas exceden este valor en términos de la cromaticidad promedio de las cuencas. Es escaso que agua subterránea de grandes profundidades excedan la norma. Las materias orgánicas disueltas como ácido humico disuelto en el agua aumentan la cromaticidad. Se compararon los valores de la cromaticidad del agua subterránea en el estrato cuaternario (25 pozos con 17 CTU en promedio), el cual está formado principalmente por sedimentos lacustres y en el estrato cretácico (10 pozos con 30 CTU en promedio), formado por una capa de arena oceánica. El resultado revela que la cromaticidad en el cuaternario es notablemente alta. En consecuencia, la causa de la alta cromaticidad se atribuye a materia orgánica en deterioro.

Amonio-nitrógeno: En el área del estudio se descubrió una alta concentración de Amonio-nitrógeno distribuida en toda el área. La norma de calidad del agua cruda para tomar y vivir es de 1,0 mg/l, pero las concentraciones promedio del 70% las cuencas excedieron esta norma. La concentración promedio de 25 pozos en el acuífero del Cuaternario fue de 4,91 mg/l y 1.12 mg/l, para el acuífero cuaternario (25 pozos) y para el acuífero cretácico (10 pozos), respectivamente. De la concentración del Amonio-nitrógeno descubierto, un gran aporte de nitrógeno puede existir en las aguas subterráneas profundas. Es difícil explicar este problema como debido a la actividad humana en la superficie del terreno. Es más natural conectar el hecho de que el amonio es generado por materias orgánicas en el sedimento del lago. Hay una buena correlación de amonio distribuido a materias orgánicas.

Sulfuro de Hidrógeno: El sulfuro de hidrógeno está distribuido por toda el área del estudio en concentraciones altas. Con referencia a la norma OMS de 0,03 mg/l, casi todos pozos excedieron esta norma. La concentración media de sulfuro de hidrógeno de todos los pozos estudiados fue de 0,804 mg/l y no hay una clara diferencia entre estratos. El sulfuro de

hidrógeno se considera que se origina de la condición geológica prevaleciente, porque la cantidad almacenada del mismo es mucho mas alta que la cantidad generada por la actividad humana en la superficie. El sulfuro de hidrógeno puede tener su origen en piritita y en cenizas volcánicas de los estratos terciarios.

Hierro y manganeso : Es obvio que las características geológicas afecten tanto las concentraciones de hierro como las de manganeso. Los metales están extensamente distribuidos por toda el área del estudio en una alta concentración. La concentración de hierro excede los 0.3 mg/l valor comúnmente aceptado en otros países. Esto se atribuye a una condición de reducción subterránea y lo mismo aplicara para el manganeso.

Bacilos Coliformes : Los *bacilos coliformes* de las excretas fueron descubiertos en más de la mitad de las cuencas. El número de cuencas en las cuales el *bacilo coliforme* se descubrió en más del 40% de los pozos de la cuenca, excedió el 75%. Probablemente esto es causado por el hecho de que los problemas estructurales de los pozos facilita la invasión de los *bacilos coliformes* desde la superficie de la tierra.

Características geoquímicas

Las concentraciones de los iones principales (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, HCO₃, CO₃) de las muestras de agua están expresadas en diagramas tri lineares y hexagonales . Como resultado, se encontraron las siguientes características geoquímicas de las aguas:

- Las aguas del acuífero cuaternario tienen la calidad del tipo Na-HCO₃, que es típico de las aguas subterráneas de acuíferos profundos que han experimentado un largo tiempo de flujo en el subsuelo y avances en el intercambio iónico. Por otro lado, el tipo CaCO₃, sin avances de intercambio iónico que aparece en las aguas subterráneas de los acuíferos poco profundos, también pueden observarse pero en menor cantidad.
- Las aguas subterráneas del Cretáceo no tienen características distintivas, mientras que las del tipo Ca-CO₃. un poco.
- Todos los pozos estudiados fueron clasificados por análisis estadístico según la similitud total de concentración de los 8 iones principales. Como resultado, los pozos que muestran la calidad del tipo Na-HCO₃, que se consideran que han experimentado largo tiempo de flujo, están por encima del 65%.
- De la calidad de agua de acuífero del Cuaternario, se sugiere que las aguas subterráneas fluyen de la periferia de cuenca hacia el centro de la misma en términos de calidad del agua. Se han obtenido resultados del análisis del sistema de flujo de las aguas subterráneas el cual se realizó en forma separada.

3.7 Análisis isotópico

(1) Muestreo e Items Analizados.

El agua subterránea y el agua de los ríos fueron muestreadas para el análisis isotópico en 20 pozos en la fase 1 y 9 en la fase 3, respectivamente, concentrándonos en identificar el origen y el movimiento. Los pozos y los parámetros aparecen listados en la tabla siguiente:

Tabla 3.7 Pozos Seleccionados para análisis isotópico

Item		¹⁴ C	³ H	D y ¹ H	¹⁸ O y ¹⁶ O
Propósito del análisis		Determinación de la edad del agua subterránea mayor de 5000 años	Confirmación de agua subterránea de edad menor a los 40 años	Examinar el origen, mezcla y flujo del agua subterránea	
Norma de selección		· Selección en todos los acuíferos principalmente en el Cretáceo · Selección de pozos en el área central de la cuenca	· Selección en todos los acuíferos principalmente en el Cretáceo · Selección de pozos ampliamente distribuidos en el Área de Estudio		
Número de pozos seleccionados	Cuaternario	1 (5)	14	14	14 (5)
	Terciario	1	3	3	3
	Cretáceo	3 (4)	3	3	3 (4)
Total		5 (9)	20	20	20 (9)

(Número de muestras en la fase I y III respectivamente)

(2) Resultados del análisis isotópico

<¹⁴C (Carbono 14)>

La concentración del carbono 14 está afectada por los ácidos carbónicos disueltos, los cuales generan varias reacciones mientras la lluvia penetra y fluidiza. Desde que un ión de carbón en dióxido de carbono y carbonato de hidrógeno se denomina “carbón muerto” del cual el ¹⁴C está completamente perdido, las sustancias que abastecen estos substituyentes, en acuíferos donde las concentraciones son menores a las de ¹⁴C en el agua subterránea, entonces el agua subterránea debe ser mas vieja. Por tanto, la edad de agua subterránea puede ser mas joven de 1.690 a 33.170 años. Se concluye que el agua subterránea en el cretáceo es relativamente mas nueva que el cuaternario cuando se comparan ambas aguas. La capa del cretáceo estudiada está localizada en las regiones montañosas en el area de estudio, y es fácilmente recargable por precipitación en cortos períodos de tiempo. Por el contrario, la capa del cuaternario se localiza en el centro de la sabana de Bogotá y una gruesa capa impermeable cubre el acuífero. Por lo anterior, toma largo tiempo que el agua subterránea que sea recargada con agua lluvia alcance el acuífero. Adicionalmente. La permeabilidad y actividad de agua subterránea atravesando el la capa del cretáceo es mas alta que en los estratos del cuaternario. Como contraste en los resultados del análisis de calidad de agua, el agua subterránea en el acuífero cuaternario muestra características de acuíferos profundos (del tipo Na-HCO₃) mientras que el agua del Cretáceo es correspondiente con los resultados del análisis de carbono 14. El agua subterránea en Vitelma, donde se ha efectuado una prueba de recarga artificial es categorizada como agua muy nueva comparada con otras 15 muestras.

Tabla- 3.8 Resultados del análisis isotópico (Phase 1 and 3)

No.	Well ID	Basin	Aquífer	Depth (m)	¹⁴ C Age (year)	TR	¹⁸ O(‰)	D(‰)
	<Phase I>							
1	246- -A-061	BOGOTÁ(1)	Saban-Gdlupe	357	14140 ± 50	0.41	-10.67	-60.76
2	227- -D-587	CHICU	G. Guadalupe	1000	8230 ± 40	0.50	-11.61	-78.50
3	227- -A-233	SUBACHOQUE	Sabana	-	27150 ± 150	0.37	-11.29	-74.16
4	227- -A-299	SUBACHOQUE	Sap-Subacho	500	23650 ± 100	0.39	-8.82	-69.81
5	228- -C-252	BOGOTÁ(2)	Tertiary	170	24180 ± 110	0.38	-10.97	-63.66
6	08-0007	BOGOTÁ(2)	Guadalupe	450	-	0.40	-11.77	-73.94
7	227- -B-561	BOGOTÁ(2)	Sabana	115	-	Na	-10.95	-43.13
8	11-0010	BOGOTÁ(2)	Sabana	251.8	-	0.45	-10.22	-86.52
9	22-0078	BOGOTÁ(2)	Sabana	252	-	0.45	-10.36	-61.42
10	228- -C-019	TUESACA	F. Sabana	135	-	0.49	-10.82	-33.07
11	209- -D-172	BOGOTÁ(3)	F. Sabana	253	-	0.35	-10.78	-70.70
12	228- -A-509	TUESACA	Sabana	112	-	0.33	-11.00	-70.03
13	209- -D-036	BOGOTÁ(3)	F. Sabana	82	-	0.56	-11.47	-70.38
14	209- -B-170	NEUSA	F. Cacho	-	-	0.42	-10.67	-66.14
15	227- -D-1115?	BOGOTÁ(2)	Guadalupe	-	-	0.44	-11.48	-41.79

No.	Well ID	Basin	Aquifer	Depth (m)	¹⁴ C Age (year)	TR	¹⁸ O(‰)	D(‰)
16	227- -A-442?	SUBACHOQUE	Sap-Subacho	353	-	0.57	-10.68	-73.77
17	227- -B-577?	BOGOTÁ(2)	F. Sabana	526	-	0.44	-12.49	-68.08
18	227 A-X6	SUBACHOQUE	Tilata	581	-	0.41	-11.91	-75.35
19	16-0003	BOGOTÁ(2)	F. Sabana	192	-	0.47	-11.36	-66.90
20	10-0011	BOGOTÁ(2)	F. Sabana	120	-	0.44	-11.55	-54.54
	<Phase 3>							
21	227- -B-028	SUBACHOQUE(2)	G. Guadalupe	70	3630 ± 40		-10.46	
22	227- -A-063	SUBACHOQUE(2)	G. Guadalupe	448	33170 ± 380		-10.71	
23	227- -D-802	CHICU	F. Sabana	100	32380 ± 350		-10.51	
24	Vitelma1 EAAB	BOGOTÁ(3)	Guadalupe ?		4620 ± 40		-10.39	
25	E-2 EAAB	BOGOTÁ(3)	Guadalupe	389	9430 ± 40		-9.55	
26	JICA1 EAAB	BOGOTÁ(3)	Sabana	196	29750 ± 270		-10.31	
27	JICA2	SUBACHOQUE(2)	Sabana	192	33110 ± 380		-10.37	
28	JICA5	BOGOTÁ(7)	Sabana	188	20640 ± 90		-9.51	
29	JICA6	BOGOTÁ(9)	Tilata	188	1690 ± 40		-10.54	
30	Rio BOGOTÁ				-		-9.99	

TR: Tritium unit (1 in 1,018 hydrogen atom), Na: Below detection limit, : it is represented in parts per thousand in the ratio to SNOW (standard seawater) and + or - shows if it is higher or lower than SNOW.

< ³H (Tritio) >

Veinte muestras han sido analizadas para determinar la concentración de tritio. Los resultados muestran que donde la concentración es menor de 0.77 TU, está en el límite de detección. Considerando una vida media del tritio de 12.35 años, el agua subterránea de la Sabana de Bogotá se asume es mayor de 40 años. Este resultado resulta apropiado considerando la distancia de los pozos de muestreo al área de recarga y la profundidad de los acuíferos (Por debajo del nivel del suelo - 80m a - 1,000 m). Generalmente, el tritio artificial, generado en las pruebas de explosiones termonucleares, se encuentra mas en la parte norte del hemisferio y menos en el sur del hemisferio debido a que la mayoría de campos de prueba están localizados en hemisferio norte. Además, entre mas elevada es la altitud del nivel del mar, la concentración de tritio será mas baja. Considerando que el area de estudio está entre los 2.600 a 3.000 metros sobre el nivel del mar, y no es probable obtener nueva información diferente a estos análisis, el tritio fue omitido del estudio en la fase 3.

<D y ¹⁸O (Deuterio y oxígeno 18)>

Según los resultados, el agua puede ser clasificada en los siguientes tres tipos.

La composición de los isótopos del agua en los pozos No. 1, 2, 5, 6, 9, 11, 12, 13, 14 y 19 se trazan a lo largo de la línea aproximada $\delta D = 9,3868 \delta^{18}O + 35,631$ que es casi paralela con la línea meteorológica global ($\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$) como se muestra en la Figura 4.20. La línea meteorológica global del área de Bogotá no está clara, pero esta línea puede ser aproximada a la línea meteorológica global en esta área.

Por otro lado, los pozos No. 3, 4, 16 y 18 en el distrito de Madrid muestran la línea aproximada $\delta D = 1,7844 \delta^{18}O - 54,224$ que tiene una baja inclinación e intercepta la línea meteorológica global. Como este distrito pertenece una zona subterránea de calor, el agua lluvia que penetra fue calentada por la fuente subterránea de calor y reaccionó con las rocas circundantes en un intercambio isotópico. (Las rocas contienen aproximadamente el 60% del oxígeno en composición atómica. Por medio de la reacción de intercambio isotópico entre el agua y las rocas en estas condiciones, la proporción isotópica de oxígeno en el agua es atraída hacia el valor de las rocas y produce el aumento del ¹⁸O. Por otro lado, el volumen de hidrógeno en las rocas es muy bajo comparado con el del agua, así que la proporción isotópica del hidrógeno en reacciones de intercambio isotópico muestra un cambio pequeño. Por lo tanto, la inclinación de la línea aproximada es poca.)

Además, el aguas en los pozos No. 7, 8, 10, 15, 17, y 20 se ploteó en un gráfico que muestra los puntos separados sobre la línea meteórica en la gráfica de la Figura 4.20. Los pozos No. 10 y 15 están localizados cerca del área de recarga, los cuales se marcan en la parte superior y los pozos No. 7,17, 20 y 8, que se marcan por debajo de ellos, se localizan en el centro de la ciudad. La concentración de D y ^{18}O ha llegado a ser alta a través de las filtraciones de los minerales de las aguas subterráneas durante su movimiento en la capa geológica y su mezcla con las aguas subterráneas más profundas.

La localización de los puntos de muestreo del Oxígeno 19, del análisis de la fase 3 del estudio fue distribuido en el borde del área de estudio en comparación con la fase 1 del estudio. Los resultados concuerdan en la fase 3 y 1, pero el promedio de las concentraciones de ^{18}O es mas alto en la fase 3. Esto es probablemente debido a que muchos de los puntos de muestreo están en zonas rocosas del cretáceo, y el agua subterránea debe estar influenciada por la reacción roca –lluvia.

De los resultados de los anteriores análisis de los isótopos de hidrógeno y oxígeno, el agua subterránea en el Área del Estudio se está reciclando básicamente, y son originadas de las aguas meteóricas del Área del Estudio, aunque es posible una mezcla parcial con las aguas subterráneas profundas.

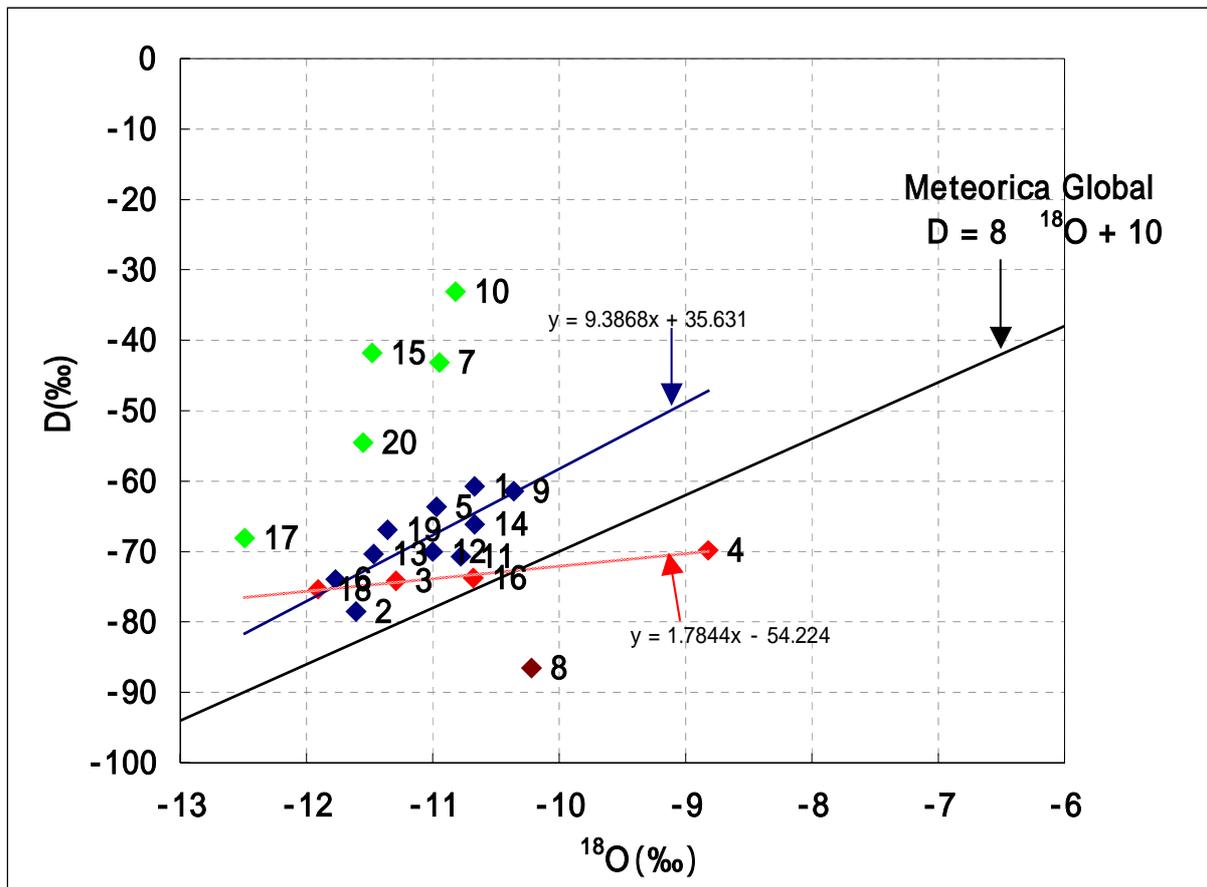


Figure 3.9 Relación entre D y ^{18}O

3.8 Inventario de los pozos

(1) Resumen del inventario de pozos

El Equipo de Estudio llevó a cabo un inventario de pozos en el Área de Estudio, El Equipo de Estudio recolectó datos de los pozos que fueron almacenados en la base de datos de pozos de INGEOMINAS y los datos de pozos reSIG trados en la CAR y el DAMA. Es posible recopilar la mayoría de los pozos que existen en el Área de Estudio reuniendo todos los datos. El número de pozos que fue recolectado por el Equipo de Estudio se muestra en la Tabla-3.7. El número total de pozos en el Área de Estudio se estima en cerca de 7.081 como se muestra en la Tabla-3.9.

Tabla-3.9 Número total de pozos en el Área de Estudio

Clasificación	Número de Pozos	
	Datos de los pozos con Localización	Datos de los Pozos sin Localización
Pozos reSIG trados en la base de datos de INGEOMINAS	3,027	694
Pozos reSIG trados en la CAR	1,672	1,439
Pozos reSIG trados en el DAMA	248	1
Sub. Total	4,947	2,134
Total	7,081	

(2) Producción actual de los pozos de bombeo en el Área de Estudio

Con base en la base de datos, se estimó la producción actual de los pozos bombeados en el Área de Estudio. Esta base de datos tiene 7,081 datos de pozos, la mayoría de los cuales tienen información de la producción. La producción diaria de un pozo fue calculada de la producción unitario y la operación diaria en horas. La producción diaria fue calculada de la relación que se muestra a continuación:

Producción Diaria de un pozo = Producción Unitaria(m³/día) × Operación diario del pozo en horas (horas/día)

La producción promedio de los datos de los pozos con la información de producción es 1.54(l/s). Por consiguiente, la producción unitaria de 1.54(l/s) fue asumida de los datos de los pozos sin la información de la producción unitaria. Las horas de operación promedio de los pozos con información sobre las horas de operación son 6.54 horas/día. Por lo tanto, las horas de operación diaria fueron asumidas como 6.54 horas por pozo sin la información de las horas de operación diaria.

Producción total en el Área de Estudio

La producción total de los pozos actuales en el Área de Estudio fue estimado con base en el supuesto explicado anteriormente. El resultado se muestra en la Tabla-3.8. como se muestra en la Tabla-3.10, la producción total del bombeo de los pozos en el Área de Estudio se estima en 323,700m³/día. La producción total estimada está expresado por otra unidad, 118 × 10⁶m³/año, 3.75m³/s, 27.7mm/año.

Tabla-3.10 Producción total del Área de Estudio

Clasificación de los Datos de los Pozos	Número de Pozos	Producción unitaria Estimado (l/s)	Horas de Operación diaria en 1 día(horas)	Producción Total (m ³ /día)
Datos con producción diaria y horas de operación diaria	2,644	Desconocido	Desconocido	158,690
Datos sin producción unitaria o sin horas de operación..	4,437	1.54(l/s)	6.54 (horas)	160,800
Total	7,081	-	-	320,490

(3) Número de pozos y Producción por tipo Geológico

La base de datos de los pozos elaborada por el Equipo de Estudio tiene información del tipo acuífero de los pozos. La mayoría de los datos de los pozos de INGEOMONAS de la base de datos de pozos tienen información en acuíferos. Con base en esta información, el número de pozos y el acuífero del pozo es analizada por el tipo geológico. El resultado se muestra en la Tabla-3.11.

Tabla-3.11 Número y acuífero de los pozos por tipo geológico

Geología del Acuífero		Número de Pozos		Producción del pozo	
		Número de pozos	% del número total	Producción (m ³ /día)	% de la Producción total
Cuaternario		6,570	92.9	248,830	77.6
Terciario	Cacho	60	0.8	4,200	1.3
	Guaduas	50	0.7	3,900	1.2
	Otros Terciarios	50	0.7	700	0.2
Cretáceo	Labor y Tierna	246	3.5	48,060	15.0
	Pleaners y Dura	90	0.13	14,400	4.5
	Chipaque	15	0.02	400	0.1
Total		7,081	100	320,490	100

El 93% de los pozos del Área de Estudio toman el agua subterránea del acuífero Cuaternario, el 2.2% del terciario y el 3.7% del acuífero Cretáceo. Los pozos del Área de Estudio bombean agua subterránea, el 78% del acuífero Cuaternario, el 3% del acuífero Terciario y el 19% de acuífero Cretáceo. Como se explico arriba, la mayoría del agua subterránea es actualmente bombeada del acuífero cuaternario, y el agua subterránea extraída del Cretáceo es solamente una pequeña cantidad. El agua subterránea extraída del acuífero Terciario es extremadamente poca.

(4) Distribución de los pozos de acuerdo a las cuencas de los ríos

El número de los pozos y la producción de los pozos de acuerdo a las cuencas de los ríos fue calculado con base en el resultado del inventario de los pozos. Los resultados se muestran en la Tabla-3.12 y en la Figura-3.10. en la Figura –3.10, la producción de los pozos fue resumida para cada red de 11m x 1km. Como se muestra en la Figura –3.10 la distribución de los pozos es parcialmente concentrada. Hay muchos pozos concentrándose especialmente en el occidente de la Ciudad de Bogotá, en la Cuenca del Río Subachoque, y en la cuenca del Río Chicú.

Tabla-3.12 Número total y producción de los pozos por cuencas de ríos

Cuenca	Número de Pozos	Producción (m ³ /día)	Cuenca	Número de Pozos	Producción (m ³ /día)
Bogotá 1 – Bogotá 3	1,559	77,651	Sisga	1	30
Bogotá 4 – Bogotá 6	1,141	45,797	Muna	40	1,298
Bogotá 7 -Bogotá 9	429	27,451	Subachoque 1	18	293
Bojaca	311	21,549	Subachoque 2	1,078	54,751
Chicú	1,620	44,636	Teusaca	256	14,467
Frio	320	12,476	Tomine	21	719
Neusa	185	8,333	Tunjuelito	103	11,038
Total	Número Total de Pozos=7,081, producción Total= 320,490 (m ³ /día)				

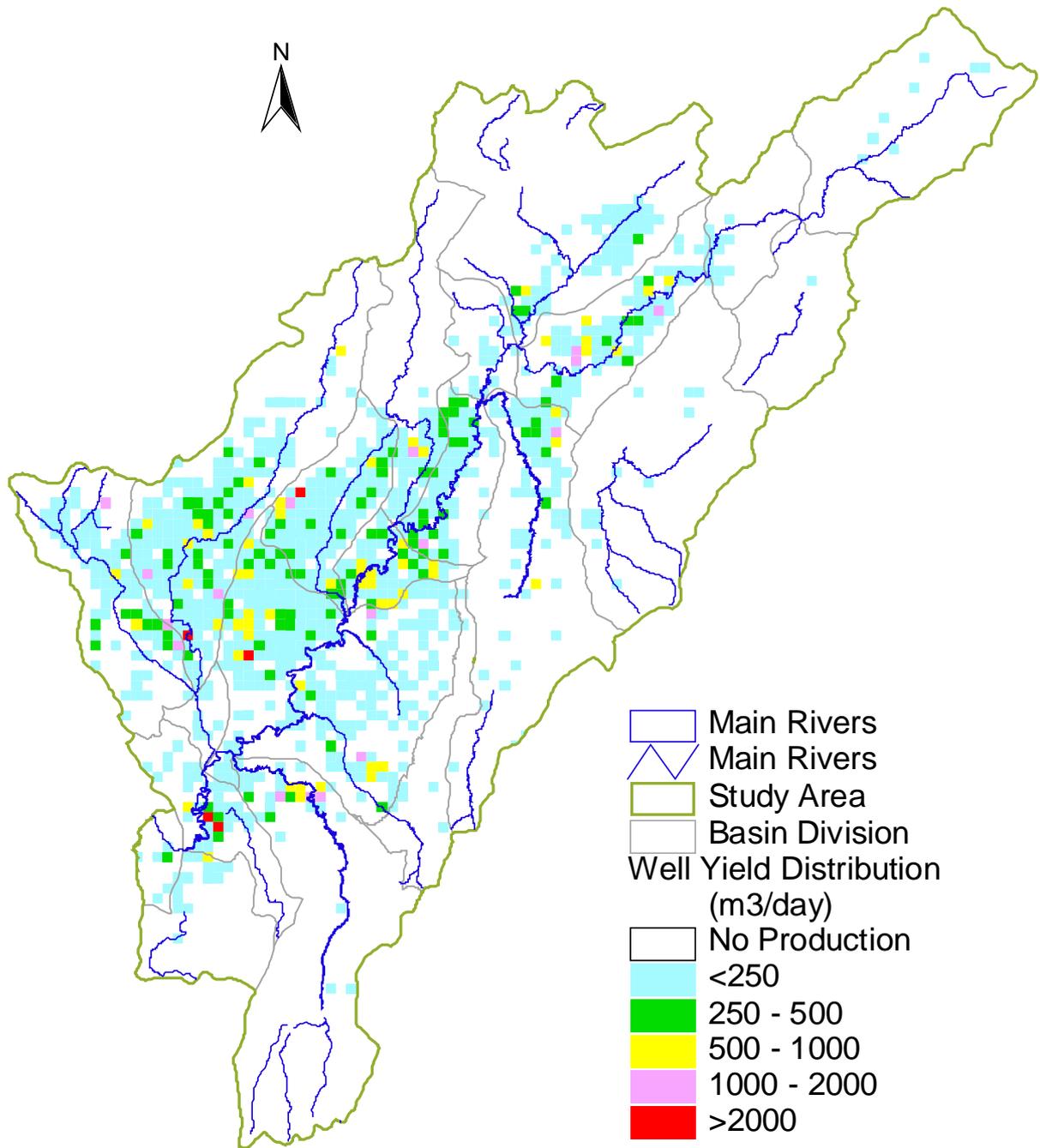


Figura-3.10 Distribución de la producción

3.9 Observación Meteorológica

El Equipo de Estudio instaló once estaciones meteorológicas con el propósito de la observación meteorológica en el Área de Estudio.

(1) Ubicación de la instalación de las estaciones meteorológicas

Las estaciones para la observación meteorológica fueron instaladas en once sitios listados abajo, y estos sitios se muestran en la Figura-3.10. Estos sitios fueron seleccionados después de cerrar la discusión entre el Equipo de Estudio, la EAAB, la CAR, el IDEAM, e INGEOMINAS. Once sitios fueron finalmente instalados en los cerros y montañas en el Área de Estudio, donde los datos meteorológicos no han sido obtenidos completamente hasta el momento. Las estaciones meteorológicas instaladas por el Equipo de Estudio están involucradas en la red de observación meteorológica existente, y el resultado observado es utilizado por todas las organizaciones relacionadas. En la selección de los sitios para la instalación, se examinó que esos sitios no solamente tuvieran importancia para la observación meteorológica sino que también hubiera seguridad contra hurto y destrucción.

- | | | | |
|------------------------|------------------------|-----------------------|---------------|
| 1) Tomine | 2) Suesca | 3) Casa Loma | 4) EL tablazo |
| 5) El Vino | 6) Cruz verde (Bojaca) | 7) Páramo de Guerrero | 8) Siecha |
| 9) Aguas claras (Muna) | 10) Dona Juana | 11) Manjui (Chía) | |

(2) Aspectos para la observación meteorológicas e instrumentos

Los aspectos que se tuvieron en cuenta están listados a continuación.

- | | | | |
|-------------------------------------|------------------|--------------------|----------------|
| 1) Velocidad del viento y dirección | 2) Precipitación | 3) Humedad | 4) Temperatura |
| 5) Hora de luz solar | 6) Evaporación | 7) Radiación Solar | |

(3) Observación meteorológica

La instalación de las estaciones meteorológicas fue completada al final de Febrero de 2002, y luego se inició la observación. El resultado de la observación fue utilizado eficientemente para el análisis del clima del Estudio.

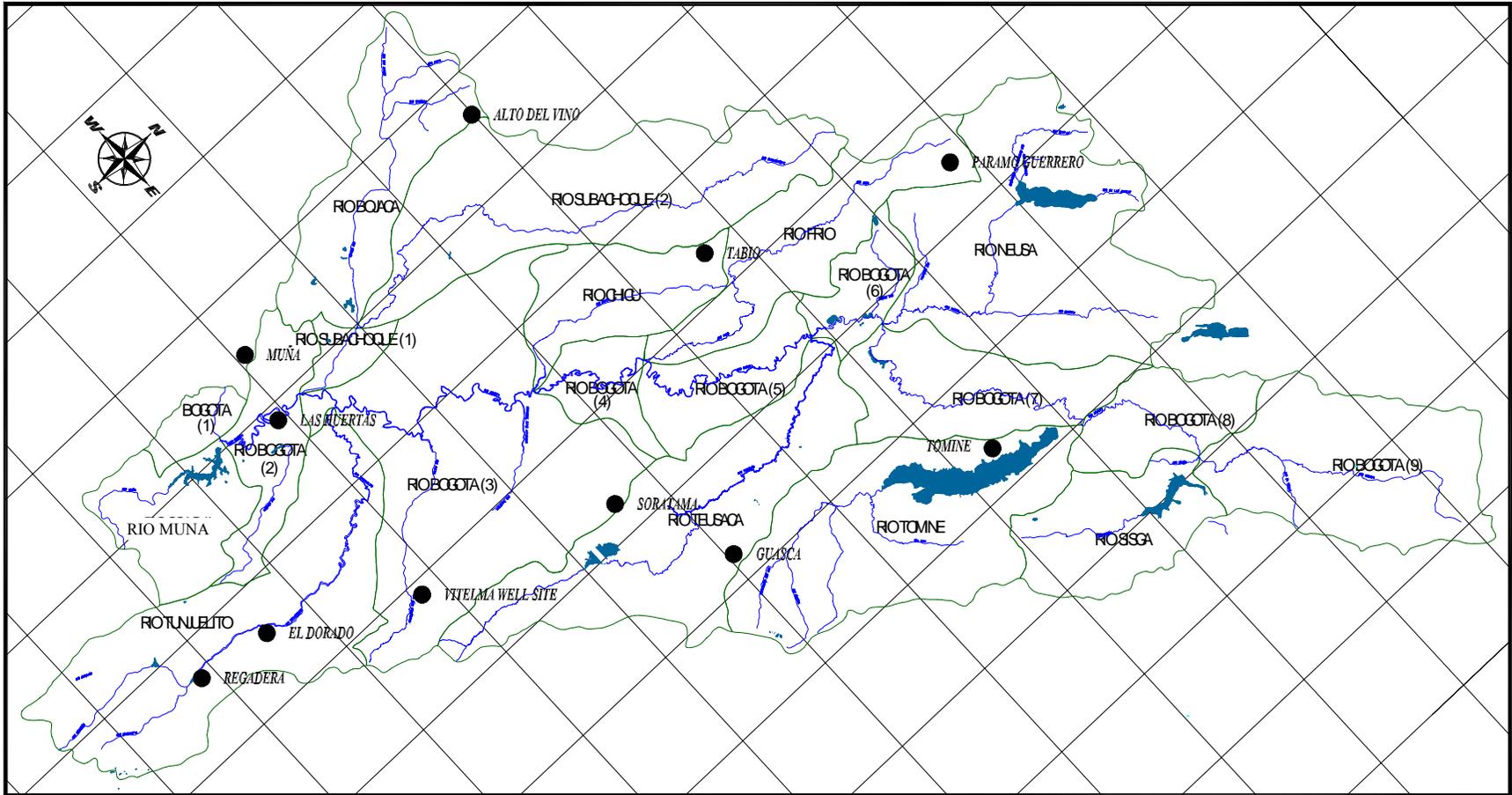


Figura-3.11 Sitios para la instalación de las estaciones meteorológicas

3.10 Estudio Piloto

El Estudio Piloto para la recarga artificial fue implementado por medio de la inyección de agua en un pozo para aclarar las posibilidades y problemas de la recarga artificial, y para obtener información básica para formular un plan del proyecto de recarga artificial.

(1) Selección de la ubicación para el Estudio Piloto

El Equipo de Estudio de JICA propuso cuatro sitios para el Estudio Piloto de recarga artificial.

Vitelma
La Aguadora
La Salle
Subchoque

El objetivo de la recarga artificial en los sitios ~ es la Formación del Cretáceo y del Cuaternario en el sitio . El Estudio Piloto para la recarga artificial para la Formación del Cretáceo fue examinado en este estudio. De los sitios propuestos ~ , Vitelma fue finalmente seleccionado para el Estudio Piloto. La razón es explicada a continuación:

- El Río San Cristóbal fluye cerca al sitio Vitelma, donde es posible obtener suficiente agua durante el periodo del Estudio Piloto..
- Hay un estanque instalado por la EAAB en el sitio Vitelma. Por lo tanto, es fácil obtener agua limpia para el Estudio Piloto.
- El sitio Vitelma está localizado a una altitud de 2,800m. Parece no haber posibilidad de un pozo en producción y es apropiado para el Estudio Piloto.

(2) Método del Estudio Piloto

El procedimiento del Estudio Piloto (prueba de recarga artificial) es como sigue:

La EAAB perforo dos pozos en el sitio Vitelma, un pozo para la recarga artificial y el otro para la observación. La condición geológica de los pozos se muestra en la Tabla 3-13.

Tabla-3.13 Condiciones geológicas del Pozo de Vitelma

Pozo	Profundidad	Diámetro	S.W.L.	Geología	Profundida	Pared (de roca)
Pozo de recarg	300m	8 pulgada	GL-6.63m	depósito	0-22	Gravilla, arena, limo
				Labor ·	22-180	Alternancia dominante de
				Formación	180-300	Arcilla pizarrosa
Pozo de monito	240m	4 pulgadas	GL - 6.84m	Depósito	0-36	Gravilla, arena, limo
				Labor · ión	36-188	Alternancia dominante de
				Formación	188-240	Arcilla pizarrosa

Nota : El S.W.L. del pozo de monitoreo es del nivel del suelo del pozo de recarga.

De acuerdo a la prueba de bombeo en los pozos de Vitelma, la capacidad específica del pozo de recarga es 62m²/día, lo cual muestra una alta producción de este pozo. La distancia entre los dos pozos es de 120m y la influencia de bombeo del pozo de recarga fue observada en el pozo de monitoreo en solo 15 minutos después del inicio del bombeo. Este resultado muestra que la respuesta entre los pozos del acuífero Cretáceo es muy rápido por el estado altamente limitado del acuífero Cretáceo. De esto, se espera que el efecto de la recarga artificial viajará rápido hacia los pozos circundantes.

(3) Procedimiento del Estudio Piloto

El procedimiento del Estudio Piloto se muestra en la Figura –3.12.

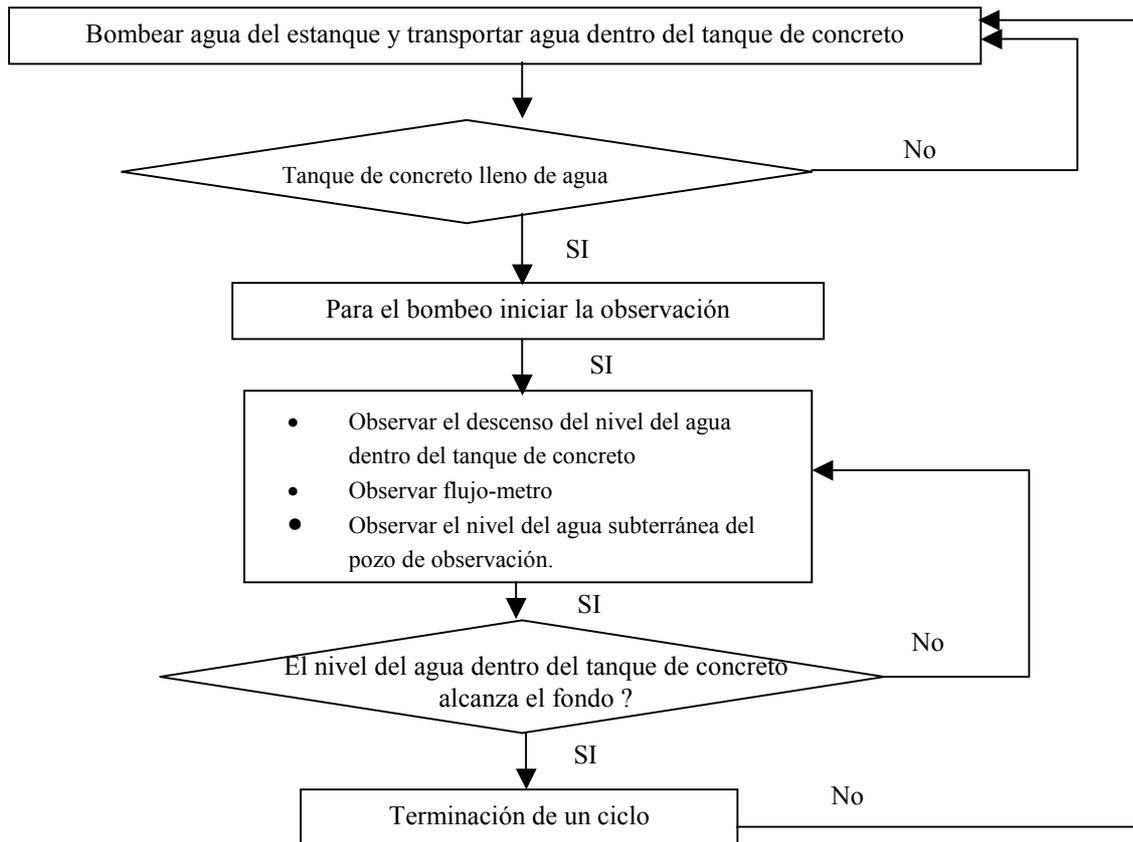


Figura-3.12 Ciclo de observación del Estudio Piloto

(4) Resultados del Estudio Piloto

Un ejemplo del resultado del Estudio Piloto se muestra en la Figura –3.13. La Figura-3.13 muestra la fluctuación del nivel del agua subterránea dentro del pozo de recarga durante la inyección de agua, desde el 16 al 26 de Noviembre de 2002. Este resultado es resumido en la Tabla –3.14.

Tabla-3.14 Resultados de la recarga artificial

Tasa de inyección	Presión máxima de inyección	Inyección específica	Capacidad específica en la prueba de bombeo.
864 m ³ /día	8.41 m	103 m ² /día	69 m ² /día (tasa de bombeo, 296 m ³ /día)

La eficiencia de la recarga artificial es juzgada desde la inyección específica (=tasa de inyección /incremento del nivel del agua subterránea del pozo). La inyección específica tiene casi el mismo significado de la capacidad específica, la primera muestra la capacidad de inyección, la última muestra la capacidad de bombeo. La inyección específica decrecerá a la vez que tasa de inyección aumenta. La inyección específica de 103m²/día en la Tabla-3.14 es para la tasa de inyección de 864m³/día. Del estudio Piloto, se probó que el valor de la inyección específica es más que aquella de la capacidad específica de la prueba de bombeo.

Se espera que la eficiencia de la recarga artificial decrecerá a medida que la inyección continúe. La tasa de inyección hasta el momento está decreciendo gradualmente desde 1,300 a 864m³/día. Esto se debe a la obstrucción del acuífero que rodea al pozo de recarga. Sin embargo, la tasa de inyección se recuperará con el bombeo.

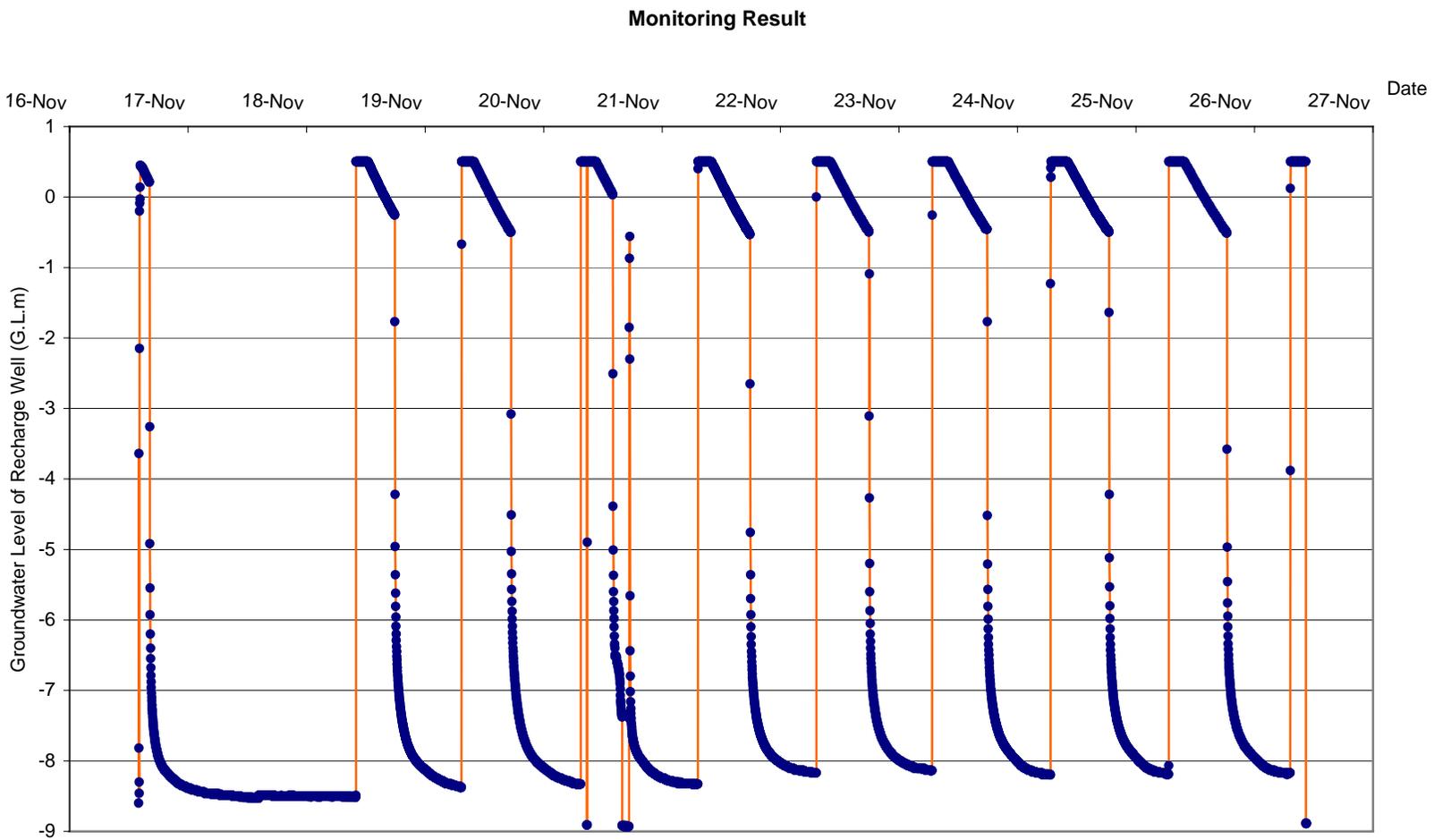


Figura-3.13 Resultados del Estudio Piloto