

4.4 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-4.5 y en la Figura-4.12. Para selección del sitio se consideraron los siguientes aspectos:

- Que sea apropiado para conocer las características hidrogeológicas conocidas del Cuaternario.
- Que apropiado para tener un nivel representativo del agua subterránea del cuaternario

Tabla-4.5 Localización de la exploración exploratoria en el Cuaternario

Pozo No.	Coordenadas	
	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

Estructura de los pozos

La profundidad total perforada por los seis pozos fue de 1.022 m con una profundidad promedio para cada pozo de 200 m con un diámetro final de 8". Se instalaron medidores del nivel de agua subterránea en cada pozo. Después de la instalación de los medidores se han estado observando los niveles automáticamente. Los seis pozos tienen una estructura múltiple de filtro, los cuales tienen un filtro por cada arena o grava acuífera distribuida en formaciones arcillosas. Por lo tanto, estos pozos muestran un nivel de agua subterránea mezclada de diferentes capas del acuífero cuaternario.

Resultados de las perforaciones

Los resultados de las perforaciones se muestran en la Tabla-4.6. Se hicieron pruebas de bombeo inmediatamente después de completar la perforación. Después de una prueba de 48 horas de bombeo continuo, se hicieron pruebas de recuperación del nivel. Para el pozo Gibraltar, no se hizo prueba de bombeo pero sí se hicieron pruebas de la permeabilidad del pozo, debido a la presencia de metano en las aguas del subsuelo del pozo.

Condiciones geológicas

Se perforaron cinco pozos en la formación Sabana del Cuaternario. El otro pozo, del sitio de Chocontá fue perforado en la formación Tilata del Cuaternario. La formación Sabana es una formación representativa del Cuaternario, la cual ocupa la mitad más alta de este en el área del estudio y se distribuye por la mayor parte de la sabana de Bogotá. El actual bombeo hecho por las compañías floricultoras es hecho principalmente de la formación Sabana. Por otro lado, la formación Tilatá ocupa la mitad más baja del Cuaternario en el área del estudio, por lo cual su distribución es limitada y todavía no se conoce completamente. Los lechos dominantes en la formación Sabana son limosos y arcillosos. En esta formación, los lechos de arena y grava se distribuyen separadamente en profundidades diferentes. Esta situación concuerda con la historia geológica de la Sabana de Bogotá: El Cuaternario de la Sabana consiste principalmente de depósitos lacustres (arcilla y limo), entre los cuales se distribuyen varios sedimentos de río (arena y grava) de diferentes edades. El espesor de los lechos de arena y grava en los puntos de perforación del estudio, varía de 1 m a 30 m. Este espesor es considerado como suficiente para

proveer de agua subterránea a los usuarios.

Tabla-4.6 Resultados de la perforación exploratoria del Cuaternario

Pozo No. (Sitio)	No.1 (Gibraltar)	No.2 (Tisquesusa)	No.3 (Siberia)	No.4 (Sopó)	No.5 (Diana)	No.6 (Chocontá)
Profundidad (m)	196	192	173	150	188	123
Profundidad del Tamiz M	73 a 75 85 a 121 132 a 136 149 a 152 163 a 166 (Total 48 m)	117 a 120 128 a 146 152 a 158 162 a 186 (Total 51 m)	80 a 92 95 a 119 124 a 127 134 a 137 143 a 155 (Total 54 m)	25 a 47 57 a 65 (Total 30 m)	41 a 53 73 a 82 96 a 105 126 a 132 144 a 147 (Total 39 m)	41 a 60 65~ a 73 120 a 144 154 a 175 (Total 72 m)
Diámetro Revestimiento	8 pulg.	8 pulg.	8 pulg.	8 pulg.	8 pulg.	8 pulg.
Acuífero	Arena fina, arena y grava (Sabana)	Arena fina (Sabana)	Arena fina (Sabana)	Arena y grava (Sabana)	Arena fina, arena limosa y grava (Sabana)	arena limosa y grava, cieno (Tilata)
Prueba de bombeo	S.W.L. ¹⁾ m profund.	16.5	76.92	21.94	14.7	17.33
	Producción (m ³ /día)	- ⁴⁾	317	432	605	586
	Achique	- ⁴⁾	6.43	16.69	5.37	6.99
	D.W.L. ²⁾ m profund.	- ⁴⁾	83.35	38.63	20.07	24.32
	Capacidad específica m ³ /día/mes	- ⁴⁾	49	26	82	84
	T/misibilidad (m ² /día)	46	204	30	85	89
	C/ductividad (m/día)	0.96	4.0	0.56	2.8	2.3
	Almacenamiento	- ³⁾	1.38×10^{-18}	6.82×10^{-2}	- ⁵⁾	1.27×10^{-2}

Nota 1) S.W.L. :Nivel estático de agua

2) D.G.L :Nivel dinámico de agua

3) Conductividad y almacenamiento fueron analizados mediante método Jacob y método de recuperación.

4) Para el pozo Gibraltar, no hubo prueba de bombeo pero sí se hizo prueba de permeabilidad del pozo. Por lo tanto, D.W.L, capacidad específica, y almacenamiento no están calculadas.

5) El almacenamiento no se calculó para el Pozo Sopó, porque el abatimiento era irregular durante las pruebas de bombeo.

Nivel del agua subterránea

El nivel de agua de los seis pozos perforados está entre los 16 y los 22 m de profundidad y concuerda con el nivel general del agua del acuífero del Cuaternario en la Sabana de Bogotá, por otro lado, el nivel de agua en el pozo Tisquesusa está a 76,92 m de la superficie, lo cual es mucho más profundo que el de los otros pozos. Hay muchos pozos concentrados en esta área. Actualmente se dice que el nivel de agua en esta área es más profundo que en la otra área. El resultado de la perforación probó esta situación.

Capacidad específica de los pozos

La capacidad específica de los seis pozos perforados está entre 26 m³ y 84 m³/día/mes, y su promedio es 60 m³/día/mes. Por lo tanto, un abatimiento de 10 m por bombeo produce una capacidad de 600 m³/s/día.

Conductividad

La conductividad de los seis pozos del Cuaternario está entre 0,96 m/día y los 4,0 m/día ($1,1 \times 10^{-3} \sim 4,6 \times 10^{-3}$ cm/s), y su promedio es 2,1 m/día ($2,4 \times 10^{-3}$ cm/s). Parece un valor razonable porque los acuíferos se componen de arena fina, y la conductividad de los acuíferos se concluye como favorable. Por otro lado, el promedio de la conductividad del Cuaternario calculada para el total de la longitud del pozo está entre los $2,0 \times 10^{-4}$ a $1,5 \times 10^{-3}$ cm/s, y su promedio es $7,3 \times 10^{-4}$. Se puede decir que para todos los sitios de perforación del Cuaternario, la conductividad ni es alta ni es baja.

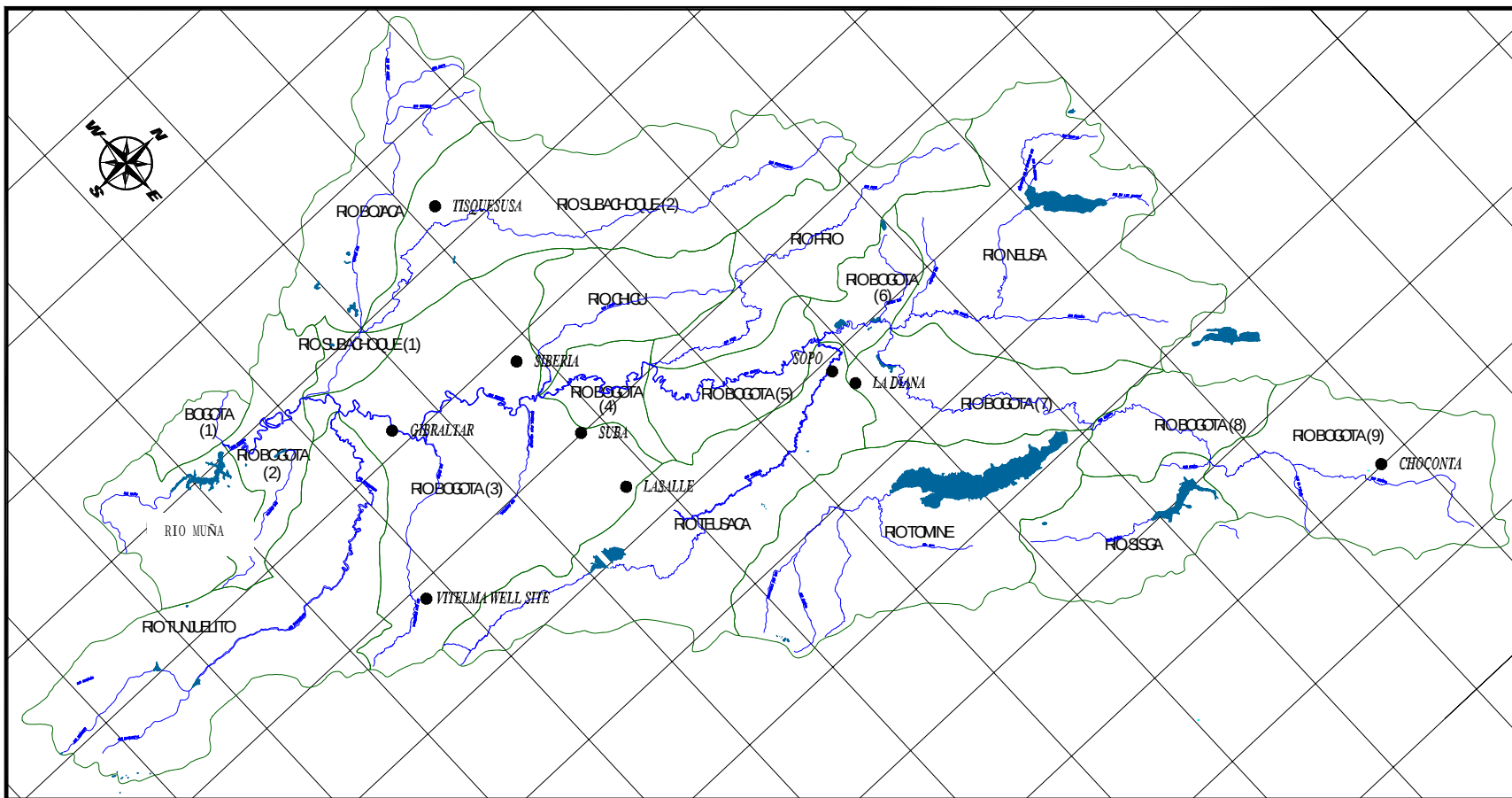


Figura-4.12 Sitios de perforación exploratoria del Cuaternario y el Cretáceo

Almacenamiento (retención)

La capacidad de almacenamiento de los seis pozos perforados, muestra ser del orden 10^{-2} . Este valor es un poco mayor que el resultado existente. Por otro lado, el pozo Tisquesusa muestra un almacenamiento extremadamente bajo 10^{-18} . A partir del almacenamiento analizado, se deduce que el acuífero de arena y grava del Cuaternario en el área del estudio parece estar entre las condiciones de confinado y no confinado. Los acuíferos de arena y grava son confinados por la sobreposición y el buzamiento de los lechos de baja permeabilidad, pero no están confinados completamente. Las aguas subterráneas de lechos de arena y grava tienen conexión de flujo vertical a pesar de los lechos intermedios de baja permeabilidad. Esto significa que los acuíferos profundos tienen conexión con los acuíferos poco profundos, cercanos a la superficie del terreno.

Características del acuífero del Cuaternario

De acuerdo con los resultados de las perforaciones exploratorias, las formaciones Tilatá y Sabana consisten principalmente de sedimentos arcillosos, los lechos de arena y grava no son muchos. Solamente los lechos de arena y grava llegan a ser acuíferos en el Cuaternario, los cuales se distribuyen separadamente a diferentes profundidades rodeados de capas gruesas y poco permeables. En los lugares perforados esta capa obedece a un espesor de 30 m. Estos lechos permeables de arena y grava, y los lechos limosos y arcillosos de baja permeabilidad, en su conjunto forman “un” solo sistema de acuíferos del Cuaternario, como un todo. Dentro de este sistema, los lechos de arena y grava tienen conexiones de flujo vertical a pesar de los lechos intermedios de baja permeabilidad.

(2) Resultados de las perforaciones exploratorias del Cretáceo

La EAAB perforó 5 pozos exploratorios en el Cretáceo durante este estudio. Los resultados de estas perforaciones se resumen a continuación.

Localización de las perforaciones

Los cinco sitios de perforación de los pozos se muestran en la Figura-4.12. El pozo No.1 está localizado al pie de los Cerros Orientales donde el agua subterránea recarga a la formación cretácea. El pozo No.2 está localizado cerca de los Cerros de Suba. Los pozos La Salle y Suba convergen, en una línea de supuesta falla geológica. El pozo No. 3 y el No. 4 están localizados en el sitio de la toma de Vitelma, que le pertenece a la EAAB en los cerros orientales. El No.3 se hizo para recarga de agua artificial y el No. 4 para observación. El pozo Mariscal Sucre, No. 5 fue perforado cerca al pozo Suba.

Estructura de los pozos

La profundidad de perforación del pozo La Salle es 270 m, y el de Suba es de 389m. El pozo de recarga de Vitelma está a 300m y el pozo de observación de Vitelma a 280m y el pozo Mariscal Sucre está a 304 m. Después de la perforación rotatoria, se corrieron registros eléctricos y gamma para identificar la localización de los acuíferos para establecer localización de filtros.

Se instaló un medidor (registro) automático del nivel freático en el pozo Suba y Mariscal Sucre. Todos los pozos exploratorios tienen múltiples filtros separadamente a diferentes profundidades, los cuales toman agua a diferentes niveles de profundidad de la formación Cretácea Guadalupe.

Resultados de las perforaciones

Los resultados de las dos perforaciones se muestran en la Tabla-4.7 y en la Tabla-4.8.

Condiciones geológicas

Las condiciones geológicas estan resumidas en la Tabla-4.9 .

Tabla-4.7 Resultados de las perforaciones exploratorias del Cretáceo (1)

Pozo No. (Sitio)		No.1		No.2		No.3	
		(La Salle)		(Suba)		(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		-20,09 m	
	Producción (m³/día)	1.944		1.987		4,320	
	Abatimiento	35,01		5,07		3.91	
	Nivel dinámico	33,26		18,85		24	
	Capacidad Especifica (m³/día/mes)	56		392		1,104	
	T/smisividad (m²/día)	160-192		651		1.729	
	Conductividad (m/día)	1,9-2,3 (0,59~0,71)		7,8 (1,67)		-	
	Almacenamiento	1,44 × 10 ⁻¹¹		1,53 × 10 ⁻⁴		0.23 × 10 ⁻³	
Paso Abatimiento	1 paso prod. / Achique	636 m³/día	4,18 m	758 m³/día	0,87 m	1520.6	0.88
	2 paso prod. / Abatimiento	968 m³/día	8,33 m	1.165 m³/día	1,73 m	1763	1.06
	3 paso prod. / Abatimiento	1,158 m³/día	11,10 m	1.486 m³/día	2,60 m	2064	1.28
	4 paso prod. / Abatimiento	1,495 m³/día	18,40 m	1.970 m³/día	4,39 m	-	-
	5 paso prod. / Abatimiento	1,944 m³/día	35,01 m	-	-	-	-

NOTAS:

1. La conductividad y almacenamiento fueron analizados por el método de Jacob y el de recuperación.
2. Se muestran dos tipos de conductividades, la primera es (transmisividad de la longitud total sobre filtros) y el segundo es (transmisividad de la profundidad total del pozo).

Tabla-4.8 Resultados de las perforaciones exploratorias del Cretáceo (2)

Pozo No. (Sitio)	No.4 (Pozo recarga de Vitelma)	No.5 (Pozo obs. de Vitelma)
Coordinadas de pozo		
Profundidad m)	300 m	240 m
Prof. Filtro (GL-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 (Long. Total 90m)	113~140, 148~151, 173~179, 199~202, 205~208, 216~222, 233~236 (Long. Total 72m)
Diámetro del revestimiento	8 inch	4 inch
Acuífero	Arenisca y lutita	Arenisca y lutita
< Prueba bombeo >		
S.W.L ¹⁾ (GL-m)	-6.63m	-6.84m
Producción (m ³ /día)	1,296	-
Abatimiento	18.84	12.03
D.W.L ²⁾ (GL-m)	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}

Notas 1) La conductividad y almacenamiento fueron analizados por el método Jacob y el de recuperación.
 2) Se muestran dos tipos de conductividades, la primera es (transmisividad de la longitud total sobre filtros) y el segundo es (transmisividad de la profundidad total del pozo).
 3) S.W.L. de pozo No.4 desde la altura del pozo No4.

Nivel del agua subterránea (freático)

< Pozo La Salle >

El pozo La Salle es un pozo saltante. El nivel de agua de este pozo estaba a 1,75 m sobre la superficie del suelo en el momento de la prueba de bombeo. Durante su perforación, el agua brotó de una profundidad de 185 m, y esto causó que el pozo se viniera. El nivel de este pozo a diciembre del año 2001 estaba casi en el mismo nivel de cuando se le hizo la prueba de bombeo.

Tabla-4.9 Condición geológica de los pozos

Pozo	Geología	Profundidad	Faz de la roca
La Salle	Depósito coluvial	0-11	Arena, limo, arcilla
	Formación Tierna	11-100	Arenisca dominante alternada con arenisca y lutita
	Formación Labor	100-223	Arenisca dominante alternada con arenisca y lutita
	Formación Plaeners	223-268	Lutita, arenisca parcial
Suba	Depósito coluvial	0-8	Arena, limo, arcilla
	Formación Tierna	8-77	Arenisca dominante alternada con arenisca y lutita
	Formación Labor	77-300	Arenisca dominante alternada con arenisca y lutita
	Formación Plaeners	300-365	Lutita, arenisca parcial
	Formación Dura	365-411	Arenisca dominante alternada con arenisca y lutita
Mariscal Sucre	Depósitos coluviales	0 - 45	Suelo, arcilla, depósitos orgánicos,
	Formación Tierna	48 - 140	Arena blanca de grano fino y bien distribuido.
	Formación Labor	140 - 310	Arena, gris y lutitas negras.
	Formación Plaeners	310 - 427	Loditas, arena con conchas fracturadas, cuarzo de fino grano.
	Formación Dura	427 - 454	Arena de grano fino, pititas.
Vitelma (Pozo de recarga)	Depósito coluvial	0-22	Arena, arena limo
	Fm. Labor-Tierna	22-180	Arenisca dominante alternada con arenisca y lutita
	Formación Chipaque	180-300	Esquisto
Vitelma (pozo de observación)	Depósito coluvial	0-36	Arena, arena limo
	Form. Labor-Tierna	36-188	Arenisca dominante alternada con arenisca y lutita
	Form Chipaque	188-240	Esquisto

<Pozo Suba >

El nivel de agua del pozo Suba estaba a 23,92 m de profundidad en el momento de la prueba de bombeo. Durante la perforación, el pozo experimentó una pérdida de circulación a los 147 m de profundidad. Se espera la existencia de una gran fractura a esa profundidad.

<Pozo Mariscal Sucre>

El nivel de agua subterránea del pozo fue de 20.09 m. Aunque el pozo se encuentra relativamente cerca del pozo Suba, este pozo se localiza mas hacia la parte plana. No se registró pérdida de fluidos durante los trabajos de perforación. Por tanto, el pozo está alejado de la influencia de fallas.

<Pozos de Vitelma >

La distancia entre el pozo de recarga y el pozo de observación en Vitelma es de 122 metros, y el nivel del agua subterránea de ambos pozos es de cerca de GL-6.8m.

Capacidad específica de los pozos

La capacidad específica es 56m²/día en el pozo La Salle, de 392m²/día en el pozo de Suba y de 69 m²/día en el pozo Vitelma. Los tres pozos muestran capacidades específicas muy altas. Esto prueba que el Grupo Guadalupe de los sitios de perforación tiene una alta capacidad acuífera.

Permeabilidad

El coeficiente de permeabilidad en la parte del filtro del pozo La Salle es, 1,9 ~ 2,3 m/día ($2,2 \times 10^{-3} \sim 2,7 \times 10^{-3}$ cm/s), y para el pozo Suba 7,8 m/día ($9,0 \times 10^{-3}$ cm/s). En el pozo de Vitelma es de 0.70 m/día (8.1×10^{-4} cm/s). Estos resultados muestran que el Grupo Guadalupe de los sitios de perforación tienen una alta capacidad de acuífero.

Almacenamiento

A partir de los resultados de las pruebas de bombeo, el almacenamiento del sitio de perforación del pozo La Salle, es del orden 10^{-11} y 0.25×10^{-3} Mariscal Sucre y del orden 10^{-4} para el pozo Suba y el de Vitelma. El almacenamiento calculado para los tres pozos es diferente, pero se puede sugerir que el almacenamiento real para todos pueda ser del orden $10^{-5} \sim 10^{-6}$ considerando un error en el análisis. Esta capacidad de almacenamiento significa que los acuíferos en los tres sitios están en condiciones confinadas.

Prueba de abatimiento

Se realizaron pruebas de abatimiento escalonado en cinco etapas en el pozo La Salle, en tres para el Mariscal Sucre y en cuatro etapas para el pozo de Suba. Las horas de bombeo para esta prueba es de 3,5 horas para cada etapa. De acuerdo con los resultados de la prueba de abatimiento, no existe un cambio grande en las condiciones de bombeo durante cada paso. La relación entre el rendimiento (Q) y abatimiento (s) es aproximadamente como se muestra en seguida:

$$\begin{aligned}\text{Pozo La Salle :} & \quad s = 2.9 \times 10^{-3} \times Q + 7.8 \times 10^{-6} \times Q^2 \\ \text{Pozo Suba :} & \quad s = 4.5 \times 10^{-4} \times Q + 9.1 \times 10^{-7} \times Q^2 \\ \text{Pozo Mariscal Sucre :} & \quad s = 3.9 \times 10^{-3} \times Q + 6.5 \times 10^{-4} \times Q^2\end{aligned}$$

Donde,

s : Abatimiento (m)
Q : Rendimiento (m³/día)

Características del acuífero del Cretáceo

De los resultados de las perforaciones, los acuíferos principales del grupo del Cretáceo en los sitios de perforación de La Salle, Suba, Mariscal Sucre y Vitelma, son las formaciones Labor y Tierna. Las formaciones Labor y Tierna están compuestas principalmente de areniscas, cuya parte más porosa y fracturada se convierten en acuíferos. Dicha arenisca se distribuye a diferentes profundidades dentro de las formaciones Labor y Tierna, y es difícil de predecir la profundidad de los acuíferos antes de perforar. Hubo una notable inyección de agua subterránea a la profundidad de 185 m en el pozo La Salle, lo cual causó que el pozo saltara. Por otro lado, En cambio, hubo una gran fractura a la profundidad de 147 m en el pozo Suba, y esta fractura se parece ser del acuífero principal del pozo. Sin embargo, el pozo Mariscal Sucre no se encuentra afectado por dicha falla. Como se explico anteriormente, las zonas notablemente fracturadas se desarrollan en la formaciones Labor y Tierna, y dichas fracturas algunas veces forman excelentes acuíferos.

4.5 Observación del nivel del agua subterránea

El nivel del agua subterránea del área del estudio fue observado mediante observación simultánea de los niveles de agua y mediante registro automático de los niveles de agua. En este estudio fueron analizados los niveles freáticos y su fluctuación estacionaria. El resultado se explica a continuación:

(1) Observación simultánea de los niveles de agua subterránea

Observación simultánea de los niveles de agua subterránea por parte de la CAR

Desde 1998, la CAR comenzó las observaciones simultáneas para toda el área del estudio. Catorce campañas de observación, para cerca de 370 pozos de observación, fueron llevadas a cabo por la CAR durante los años 1998 y 2001. Los pozos que se emplearon para estas observaciones actualmente están siendo utilizados.

Observación simultánea de los niveles de agua subterránea por parte del Equipo JICA.

En febrero, agosto, y diciembre del año 2001, el Equipo del Estudio realizó observaciones simultáneas de los niveles de agua subterránea, y de nuevo en agosto y noviembre del 2002. El número de pozos observados es cercano a los 100, los cuales en la actualidad no se usan para bombeo.

Resultados de la observación simultánea de los niveles de agua subterránea

La distribución de los niveles de agua subterránea y su fluctuación en el área del estudio fue examinada a partir de los resultados de las observaciones realizadas por la CAR y el Equipo del Estudio. El resultado de este examen se explica a continuación.

Resultados de la observación simultánea de los niveles de agua subterránea

Se efectuó el análisis de la fluctuación de los niveles de agua subterránea durante el período de 1998 y 2001, en el área del estudio, a partir de los resultados de las observaciones realizadas por la CAR. Usando estos resultados, obtenidos de cerca de 280 pozos, se observó que los niveles de agua subterránea observados en cada pozo de observación correspondía a una línea recta, por el método de los cuadrados mínimos. Esta línea muestra la tendencia de la fluctuación de las aguas subterráneas en cada pozo de observación, durante el período 1998 – 2001.

El promedio de la velocidad de fluctuación de los niveles de agua subterránea fue resumido en el histograma que se muestra en la Figura-4.13. Tal como se muestra en la Figura-4.13, el promedio de la velocidad de fluctuación del nivel de agua muestra un rango entre -20 m/año y 15 m/año, y la mayoría está distribuida entre -6 m/año y 6 m/año. Los datos observados que muestran fluctuaciones mayores a los 6 m/año parecen anormales, los cuales tienen el efecto del

bombeo. Los datos observados, que tiene una velocidad de fluctuación de -6 m/año hasta $+6$ m/año, parecen confiables sin serios efectos del bombeo. Del examen de los datos confiables, se concluyó lo siguiente:

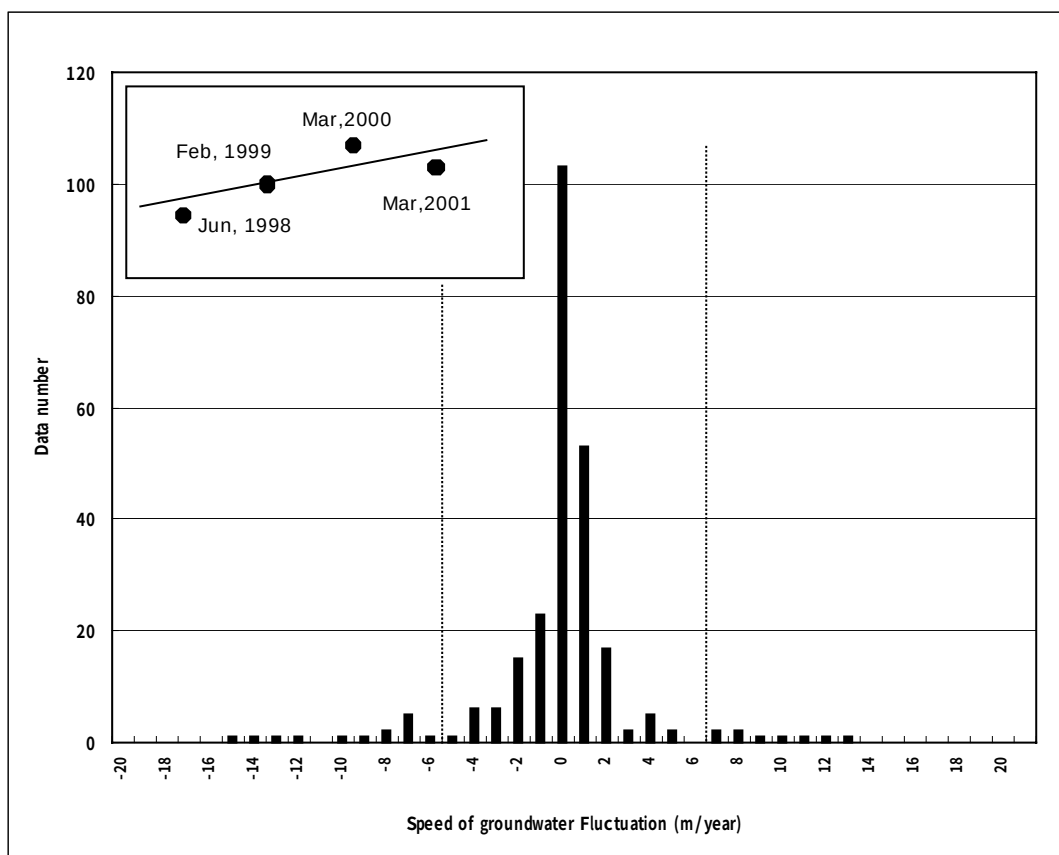


Figura-4.13 Histograma de la fluctuación de la velocidad del agua subterránea (m/año)

- Figura-4.13, la velocidad de fluctuación, en el rango entre -6 m/año y 6 m/año, muestra una distribución Gauss, y la media de esta distribución es -0.2 m/año
- La anterior distribución fue causada por la fluctuación anual del nivel de agua subterránea, los efectos del bombeo y los errores durante la observación.
- Son posibles dos interpretaciones de los anteriores resultados:
 - i) El nivel del agua subterránea ha ido disminuyendo con una velocidad media de -0.2 m/año,
 - ii) La velocidad de fluctuación de -0.2 m/año es despreciable. Significa que el nivel del agua subterránea ya está en estado de equilibrio, y no fluctúa mucho.
- En el Área de Estudio, un gran desarrollo del agua subterránea comenzó hace 20 años, desde entonces también comenzó la reducción del nivel de agua. De los resultados arriba mencionados, la relación entre el bombeo y la reducción del nivel de agua subterránea ya ha llegado al estado de equilibrio, y una severa reducción del nivel no sucederá si la cantidad de agua bombeada es menor o igual a la recarga de cada cuenca específica.

(2) Distribución del nivel de agua subterránea en el Área del Estudio

Se estimó la distribución de los niveles de agua subterránea a partir de los resultados de las

observaciones hechos por la CAR el Equipo del Estudio JICA. Más del 90% de los pozos, que fueron observados, están acuíferos cuaternarios y los pozos en acuíferos del Cretáceo (Guadalupe) son pocos. Más aún, los pozos con acuíferos del Terciario son escasos.

Niveles de agua subterránea del Cuaternario

Los resultados de los niveles de las aguas subterráneas del acuífero Cuaternario aparecen en la Figura-4.14. El nivel de las aguas subterráneas del acuífero Cuaternario se obtuvo utilizando el siguiente procedimiento:

- Los niveles de agua observados en el período 1998-2001 por la CAR fueron promediados para cada pozo de observación. El número total de pozos era de 277 a 367. Datos observados con fluctuaciones en velocidad mayores a 6 m/año fueron desechados.
- De los resultados de la observación simultánea de los niveles de agua subterránea que fueron realizadas por el Equipo del estudio, se obtuvieron niveles promedio del agua para cada pozo de observación. En esta operación, los niveles de agua observados con velocidades mayores a los 6 m/año durante los tres períodos de observación, fueron desechados.
- El nivel promedio del agua calculado a partir de los resultados de este monitoreo hecho por la CAR y JICA fueron combinados. Con base en estos datos, se trazó la distribución del nivel de agua subterránea por interpolación.
- En la interpolación del nivel del agua subterránea, se asume que el nivel del agua en el límite entre el Cuaternario y la roca base (Cretáceo o Terciario) está a los 15 m del nivel del suelo (nivel del suelo-15m).

Tal como se muestra en la Figura-4.14, el agua del acuífero del Cuaternario fluye desde el límite de la Sabana de Bogotá (área de las montañas y cerros) hasta el centro de la sabana siguiendo el gradiente de inclinación del terreno. El nivel del agua subterránea es bajo donde hay muchos pozos en bombeo, y se espera que el agua subterránea fluya hacia esa área desde el área que la rodea. El área de Bojacá y Subachoque muestra esta situación.

De acuerdo con la distribución de los niveles de agua subterránea mostrados en la Figura-4.14, el agua del acuífero del Cuaternario parece estar fluyendo dentro del área del estudio.

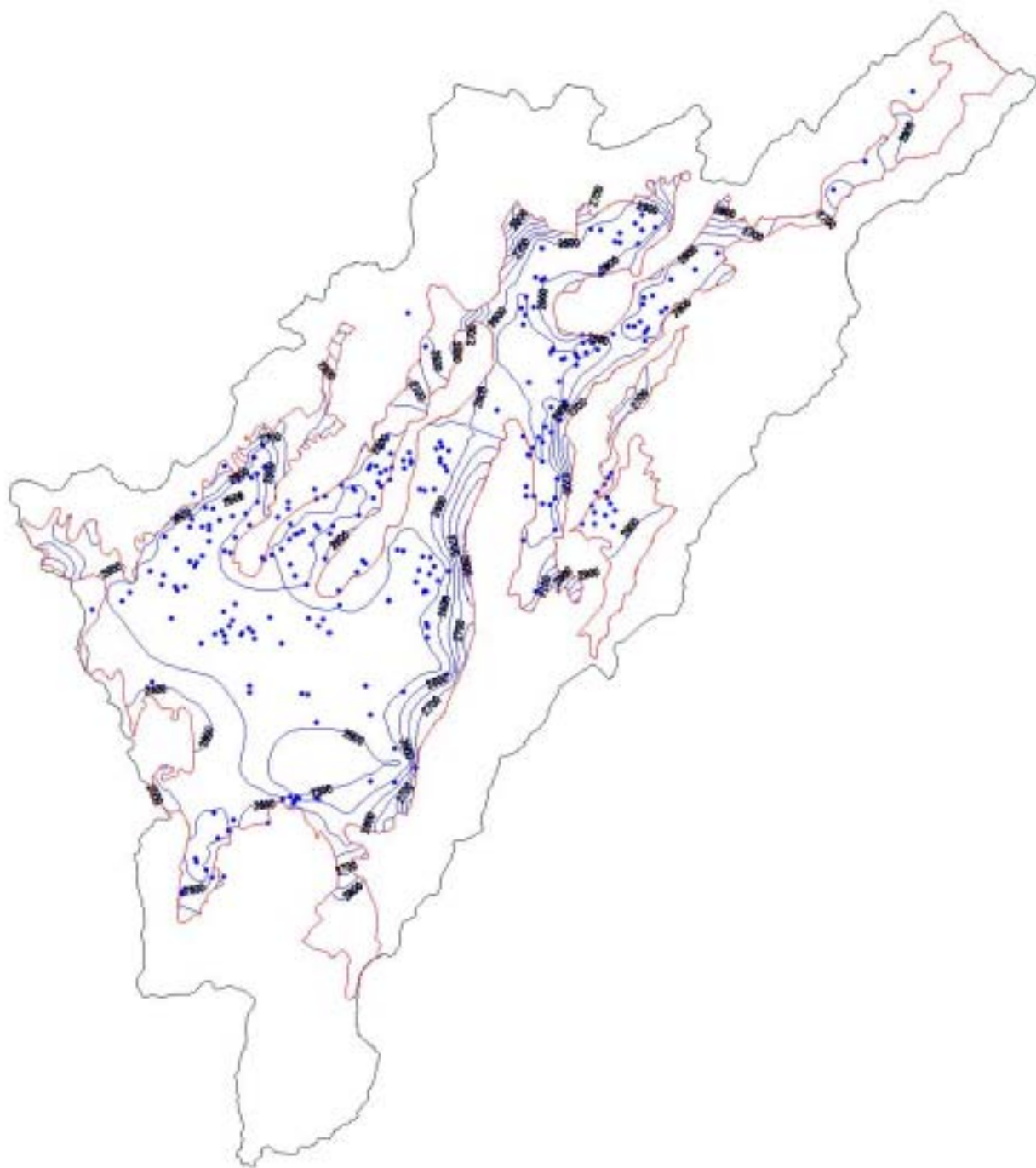


Figura-4.14 Niveles freático del Cuaternario

Nivel del agua subterránea del acuífero del Cretáceo

Los datos de los niveles del acuífero del Cretáceo son pocos comparados con aquellos del Cuaternario. Por lo tanto, es difícil dibujar una línea de contorno del nivel del agua subterránea que cubra la totalidad del área de estudio. Para poder obtener conceptos sobre la distribución de los niveles del agua subterránea, se dibujó una línea de contorno basada en algunas asunciones y esta se muestra en la [エラー! リンクが正しくありません。](#). A continuación se explica el procedimiento para hacer la línea de contorno del nivel del agua subterránea.

- El nivel promedio del agua subterránea para cada pozo de monitoreo se calculó a partir de los resultados del monitoreo de la CAR y del Equipo del Estudio. Al igual que en el caso del análisis de los niveles del Cuaternario, los niveles de agua subterránea, que tuvieron una fluctuación mayor a los 6 m, fueron descartados.
- Los niveles promedio calculados a partir de los resultados del monitoreo realizado por la CAR y el Equipo del JICA, fueron combinados. Con base en estos datos, se dibujó por interpolación una línea de contorno
- En la interpolación del nivel de agua, se asume que el nivel de agua subterránea del Cretáceo está a los GL-400m en la divisoria de aguas del Área de Estudio.

Tal como se muestra en la [エラー! リンクが正しくありません。](#), el acuífero del Cretáceo fluye desde el área de las montañas que limitan el área del estudio hacia el centro e la Sabana de Bogotá. Luego, el agua subterránea fluye en dirección norte-nororiente (NNE) hacia el sur-sureste (SSW), siguiendo el gradiente de inclinación del terreno de la Sabana de Bogotá, y finalmente fluye fuera del área del estudio

Nivel del agua subterránea del Terciario

Los datos de los niveles del acuífero del Terciario son extremadamente pocos, lo que hace imposible una línea de contorno del nivel del agua subterránea que cubra toda el área del estudio. Para el nivel del agua subterránea, del acuífero del Terciario, debe asumirse que el nivel puede estar entre los niveles de agua subterránea del Cuaternario y el Cretáceo.

Resultados de la observación continua de los niveles de agua subterránea

El Equipo del estudio instaló medidores automáticos de nivel de las aguas subterráneas en los once pozos existentes. Estos niveles de aguas subterráneas actualmente se están observando automáticamente.

Tabla-4.10 Pozos para la observación continua de los niveles de 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 (Briceño)	1,013,170	1,038,429
No.6	Choconta (Chocontá)	1,049,874	1,067,343
No.7	Suba (Bogotá Nor- Occi)	999,911	1,017,839
No.8	Guadarrama (Neusa)	1,014,772	1,053,702
No.9	Grasco (Bogotá Centro)	996,772	1,001,948
No.10	Santa Monica Flowers (Madrid)	977,203	1,014,760
No.11	Dersa (Bogotá Sur este)	996,772	1,001,948

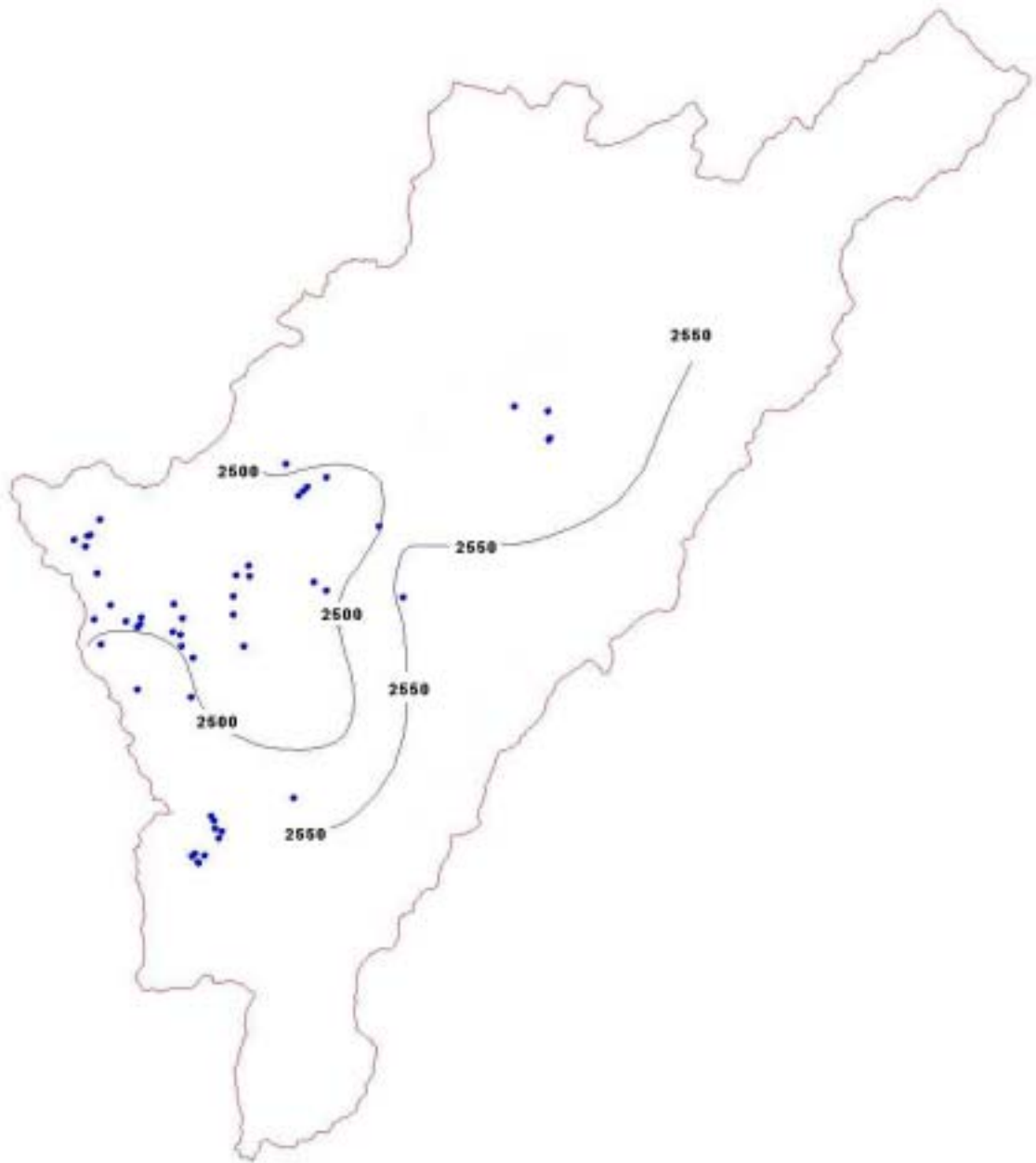


Figura-4.15 Nivel freático del Cretáceo

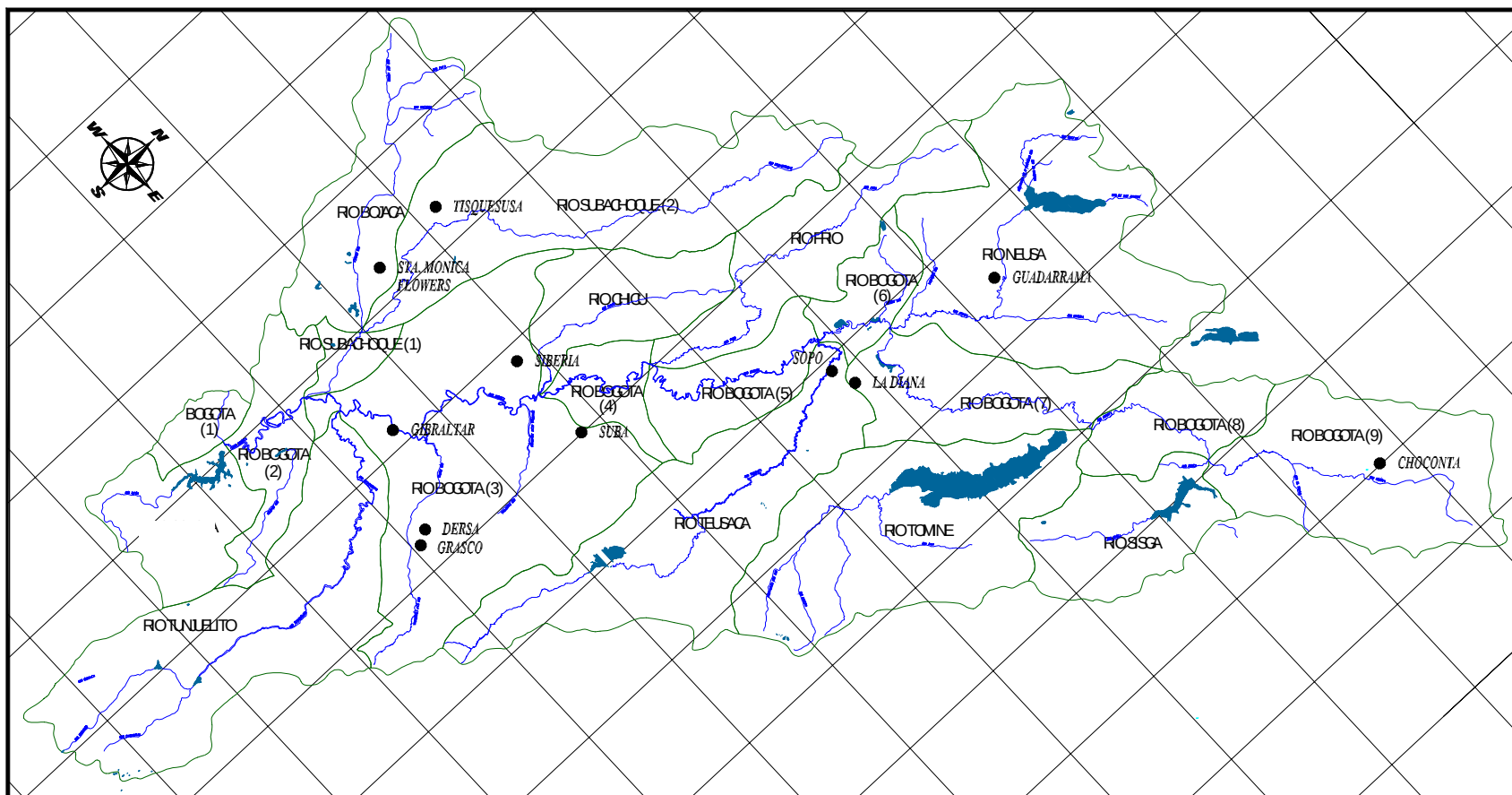


Figura-4.16 Sitios donde se instalaron los medidores de los niveles freáticos

Los resultados del monitoreo se muestran en la Figura-4.17. Los resultados del monitoreo del hasta ahora se resume como sigue:

- Los resultados del monitoreo muestran fluctuaciones estacionales de los niveles de agua de los acuíferos del Cuaternario. El patrón de fluctuación es diferente para cada pozo, y la fluctuación estacional no está clara. Parece que se causa por efecto de los pozos vecinos en bombeo.
- El patrón de la fluctuación de los niveles de agua subterránea en el área del estudio generalmente es complicado. Esto es causado por los pozos de bombeo existentes, los cuales tienen influencia en el nivel de agua subterránea mediante un control artificial del rendimiento.
- De la tendencia en las observaciones, no es reconocida la tendencia a largo plazo bajando y subiendo el nivel del agua subterránea. Se considera que el descenso del nivel freático de la Sabana de Bogotá a causa de la extracción de agua por bombeo, ha logrado ya una condición de equilibrio.
- El efecto de la ola de tierra también se registró en cada resultado del monitoreo (o seguimiento) con una vibración regular del nivel freático de varios centímetros (dos ciclos por día).
- Se debe continuar con el monitoreo de los niveles de agua subterránea por lo menos un año mas, para obtener información útil al proyecto. Se dice que el nivel del agua del Cuaternario todavía está declinando. Hasta ahora no hay información que pruebe directamente esta situación. Por lo tanto, el monitoreo de los niveles de agua por los registros automáticos de este estudio es muy importante, y este monitoreo debería continuar aun después de terminado este Estudio.

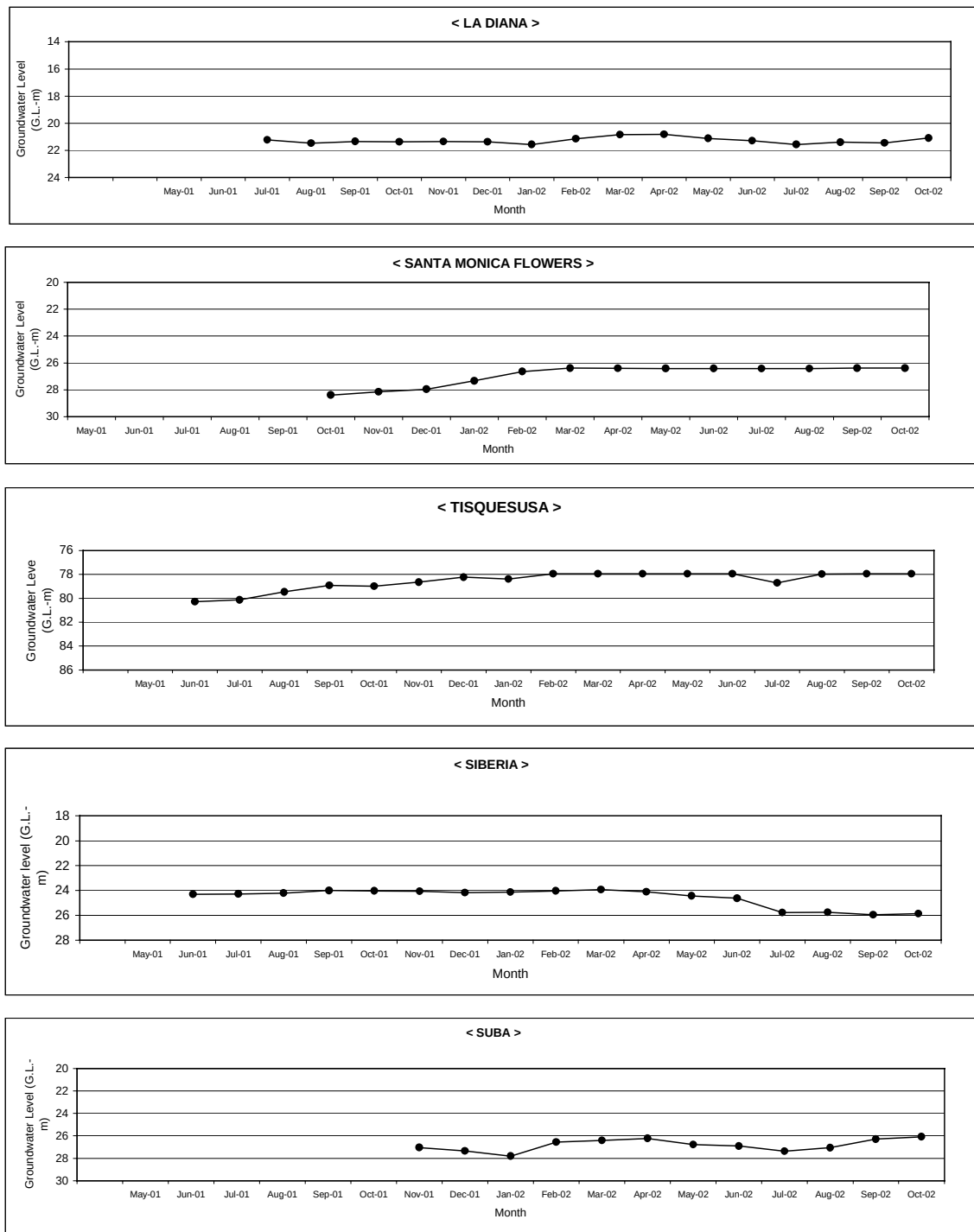


Figura-4.17 Resultados del monitoreo de los niveles freáticos