

**EL ESTUDIO
DEL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL AGUA SUBTERRÁNEA
EN LA SABANA DE BOGOTÁ,
EN LA REPÚBLICA DE COLOMBIA**

**INFORME FINAL
INFORME SOPORTE**

PARTE 5

**OBSERVACIÓN DE LOS NIVELES
DEL AGUA SUBTERRANEA**

**Informe Final
(Informe Soporte)**

Parte 5 Observación De Los Niveles Del Agua Subterránea

Tabla de Contenido

	Pag
Tabla de Contenido	i
Lista de Tablas y Figuras	ii
	Pag
CAPITULO - 3 OBSERVACIÓN SIMULTÁNEA DE LOS NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA	5-1
CAPITULO - 2 RESULTADOS DE LA OBSERVACIÓN CONTINUA DE LOS NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA	5-3
CAPITULO - 3 TABLAS DE AGUA SUBTERRANEA EN EL AREA DE ESTUDIO	5-8

Lista de Tablas y Figuras

	(Pag)
Tabla-2.1 Pozos para la observación continua de los niveles de agua subterránea.	5-3
Figura-1.1 Histograma de la fluctuación de la velocidad del agua subterránea (m/año) . .	5-2
Figura-2.1 Sitios donde se instalaron los medidores de los niveles freáticos automáticos .	5-4
Figura-2.2 Resultados del monitoreo de los niveles freáticos (1)	5-6
Figura-2.3 Resultados del monitoreo de los niveles freáticos (2)	5-7
Figura-3.1 Nivel freático del Cuaternario	5-9
Figura-3.2 Nivel freático del Cretaceo	5-11

PARTE - 5 OBSERVACIÓN DE LOS NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA

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

CAPITULO - 1 Observación simultánea de los niveles de agua subterránea

(1) 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 en servicio mediante bombeo. Los propietarios de los pozos midieron los niveles del agua subterránea luego de recobrar los niveles mediante un día de haber parado el bombeo.

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

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

(3) 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.

(4) Fluctuación de los niveles de agua subterránea en el área del estudio

La CAR realizó catorce observaciones simultáneas de niveles durante los cuatro años comprendidos entre 1998 y el 2001. A partir de estos resultados la fluctuación de los niveles de agua subterránea fue analizada. El procedimiento para el análisis se explica a continuación.

- Para cada año, se seleccionaron resultados representativos de las catorce campañas de observación.
- En la selección de las campañas representativas, se tomó en cuenta la época climática de las campañas de observación y el número de pozos observados: las épocas de las campañas de observación deberían ser las mismas dentro de las campañas seleccionadas, y la cantidad de pozos de observación de la campaña seleccionada debería ser la mayor. Las campañas de observación representativas finalmente fueron seleccionadas como se muestra enseguida.

Período de la Observación	Número de Pozos
Junio, 1998	277
Febrero, 1999	326
Marzo, 2000	361
Marzo, 2001	367

- Se estimó la tendencia de la fluctuación del agua subterránea en cada uno de los pozos de observación. Cuatro de los niveles observados en cada uno de los pozos, un dato por cada año, fueron aproximados a una recta que fue calculada por el método de los mínimos cuadrados. Se asume que las rectas de ajuste muestran la

tendencia de la fluctuación de los niveles de agua subterránea en cada pozo de observación. La gradiente de esta recta puede ser llamada como “ El promedio de la velocidad de fluctuación del nivel de agua subterránea”.

- El promedio de la velocidad de fluctuación de los niveles de agua subterránea fue resumido en el histograma que se muestra en la Figura-1.1. Tal como allí se muestra, 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. La forma de esta distribución es similar a la campana de Gauss. Los datos observados que muestran fluctuaciones mayores a los 6 m/año parecen anormales, los cuales tienen el efecto del bombeo, y estos datos fueron desechados. Los datos observados, que tiene una velocidad de fluctuación de -6 m/año hasta $+6$ m/año, parecen confiables sin serios efectos del bombeo. Por el examen de los datos confiables, se concluyó lo siguiente.

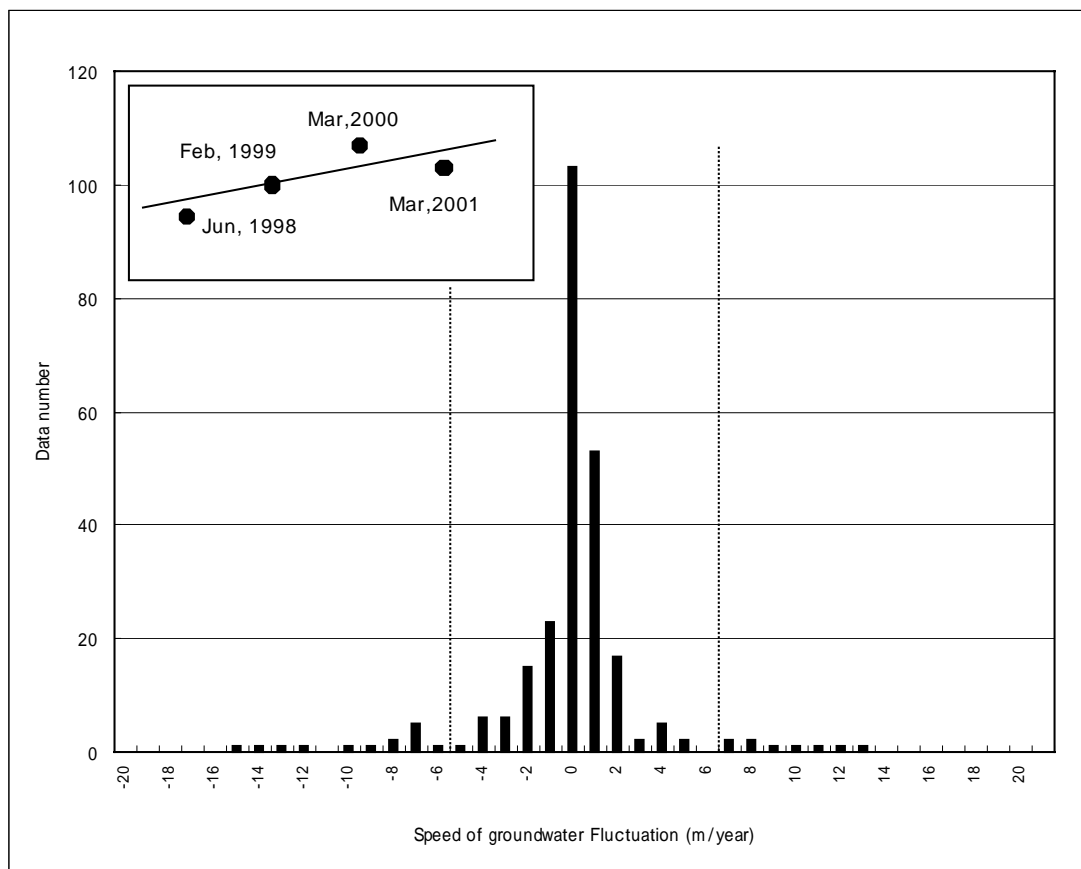


Figura-1.1 Histograma de la fluctuación de la velocidad del agua subterránea (m/año)

- En la Figura-1.1 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 mayormente.

- Para poder observar en forma precisa la fluctuación del nivel de agua subterránea, es necesaria la observación a largo plazo, de pozos sin los efectos del bombeo. Es difícil conocer a partir de solamente los datos de la CAR, la fluctuación de los niveles de agua subterránea. 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 ya se ha finalizado.

CAPITULO - 2 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 actualmente se están observando automáticamente. Los pozos donde se instalaron estos medidores, se muestran en la Tabla-2.1 y la Figura 2.1. De estos pozos, desde el No.1 hasta el No.6 fueron perforados por el Equipo del estudio JICA durante la Fase-I. El pozo No.6 fue perforado para este estudio por la EAAB. Los pozos del No.8 al No.11 son pozos privados seleccionados para su monitoreo.

Tabla-2.1 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	1,013,170	1,038,429
No.6	Chocontá	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	Flores Santa Mónica	977,203	1,014,760
No.11	Dersa		

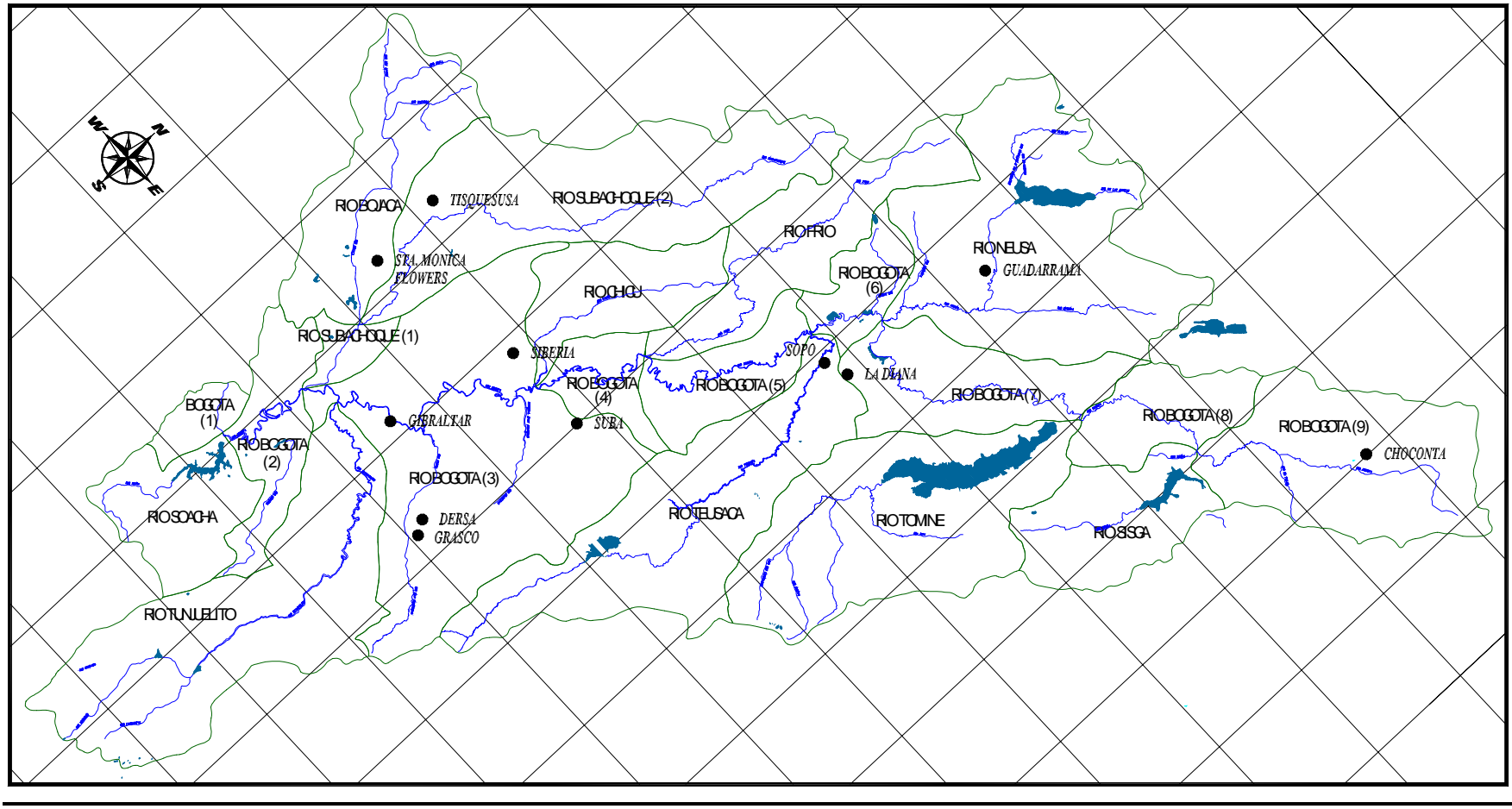


Figura-2.1 Sitios donde se instalaron los medidores de los niveles freáticos automáticos

El resultado del monitoreo es mostrado en la Figura-2.2 y en la Figura-2.3. El resultado del monitores esta resumido de la siguiente manera.

- El resultado del monitoreo muestra la fluctuación estacionaria del acuífero Cuaternario. El patrón de fluctuación es diferente e cada pozo y la fluctuación estacionaria no es clara. Esto parece ser causado por el efecto de pozos de bombeo vecinos.
- El patrón de nivel de fluctuación de agua subterránea en el Área de Estudio es generalmente complicado. Esto es causado por la existencia de pozos de bombeo, los cuales tienen influencia sobre el nivel de agua subterránea por le control de producción artificial.
- Del resultado de observación, la tendencia de la disminución y el aumento del nivel de agua subterránea no es reconocida. Se considera que la disminución del nivel de agua subterránea de la Sabana de Bogotá por efectos de bombeo ha alcanzado la condición de equilibrio.
- El efecto de la marea de la tierra también fue registrado en cada resultado de monitoreo con vibración regular del nivel de agua subterránea de varios cms (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 debe ser continuado después de este Estudio.

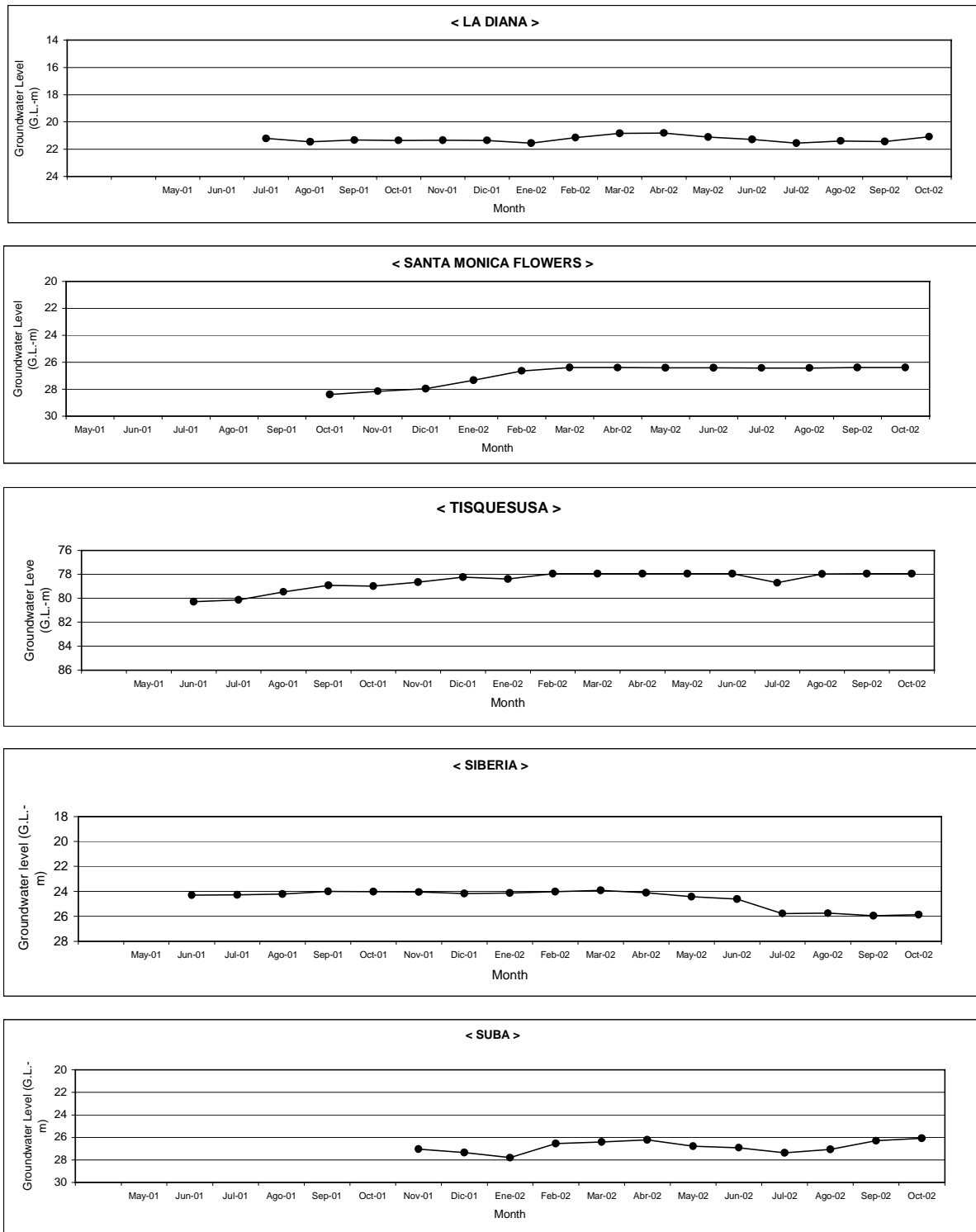


Figura-2.2 Resultados del monitoreo de los niveles freáticos (1)

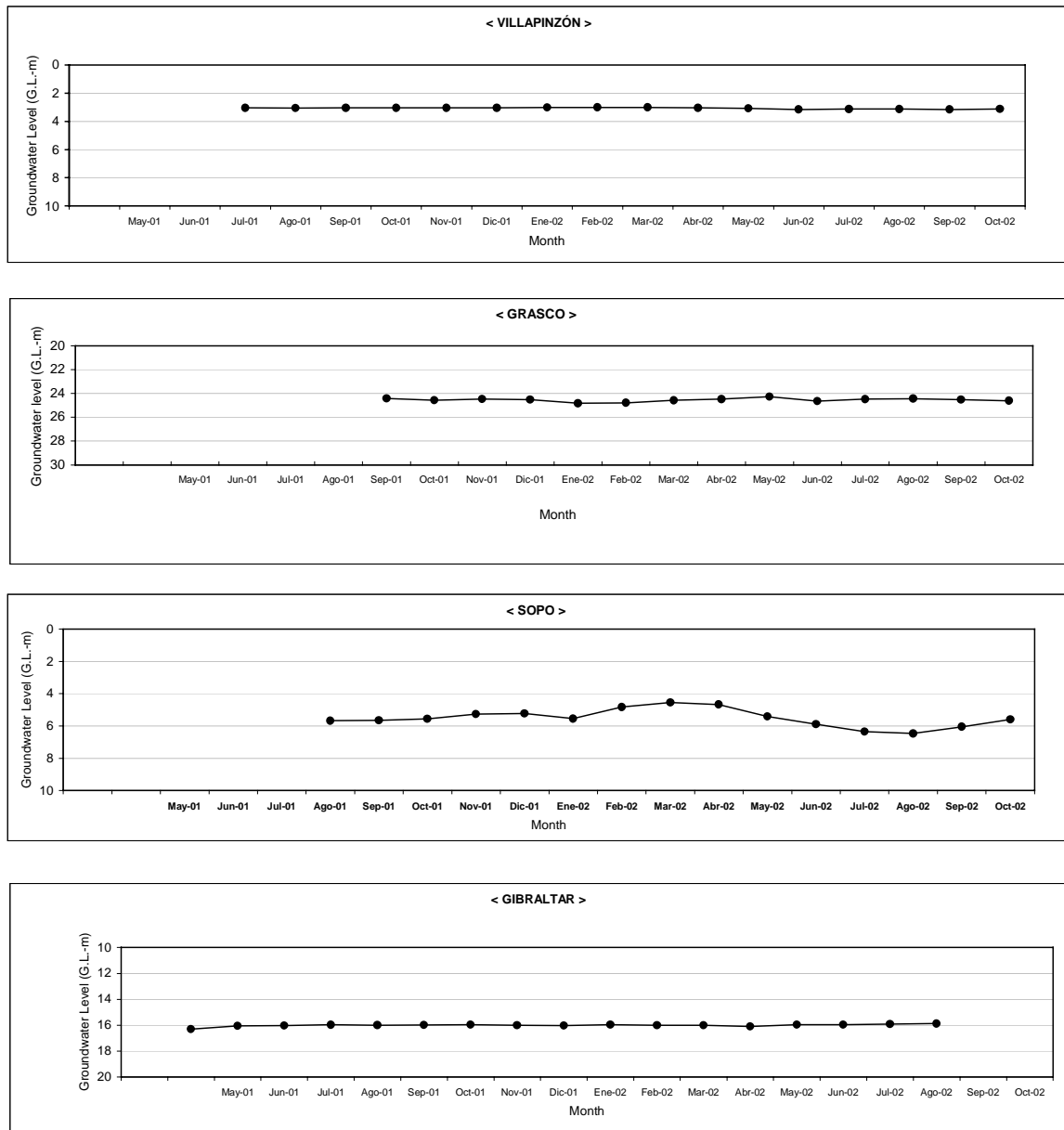


Figura-2.3 Resultados del monitoreo de los niveles freáticos (2)

CAPITULO - 3 Tablas de Agua Subterranea en el Area de Estudio

El mapa de nivel de agua subterránea fue dibujado de los resultados de las observaciones hechos por la CAR el Equipo del Estudio JICA. Más del 90% de los pozos, que fueron observados, tienen como acuífero el Cuaternario y los pozos con acuíferos del Cretáceo (Guadalupe) son pocos. Más aún, los pozos con acuíferos del Terciario son escasos.

(1) Niveles de agua subterránea del Cuaternario

Se analizaron los niveles de agua subterránea de los acuíferos del Cuaternario y los resultados se explican más abajo. Estos niveles se analizaron mediante el siguiente procedimiento:

- Los niveles de agua observados en las observaciones simultáneas hechas por la CAR fueron promediados para cada pozo de observación. Los datos de las observaciones de la lista que se indica más adelante, se usaron para este análisis. Como se explico anteriormente, los datos observados con fluctuaciones en la velocidad mayores a 6 m/año fueron desechados.

Período de la campaña de observación	Número de Pozos
Julio, 1998	277
Febrero, 1999	326
Marzo, 2000	361
Marzo, 2001	367

- De los resultados de la observación simultánea de los niveles de agua subterránea que fueron realizadas tres veces 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, una línea de contorno del nivel del agua subterránea, que cubre toda el área del estudio, fue dibujada por interpolación. El programa Surfer fue utilizado para esta 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. El nivel del agua del Cuaternario fue interpolado entre el nivel de agua asumido y el observado.

Tal como se muestra en la Figura-3.1, 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 la pendiente de la 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-3.1 el agua del acuífero del Cuaternario parece estar fluyendo dentro del área del estudio. Se asume que durante su curso hacia abajo, alguna agua es bombeada desde los pozos y la otra agua fluye hacia los ríos como flujo base. El agua remanente se infiltra en los acuíferos profundos del Terciario y el Cretáceo, y finalmente fluye abandonado el área del estudio.

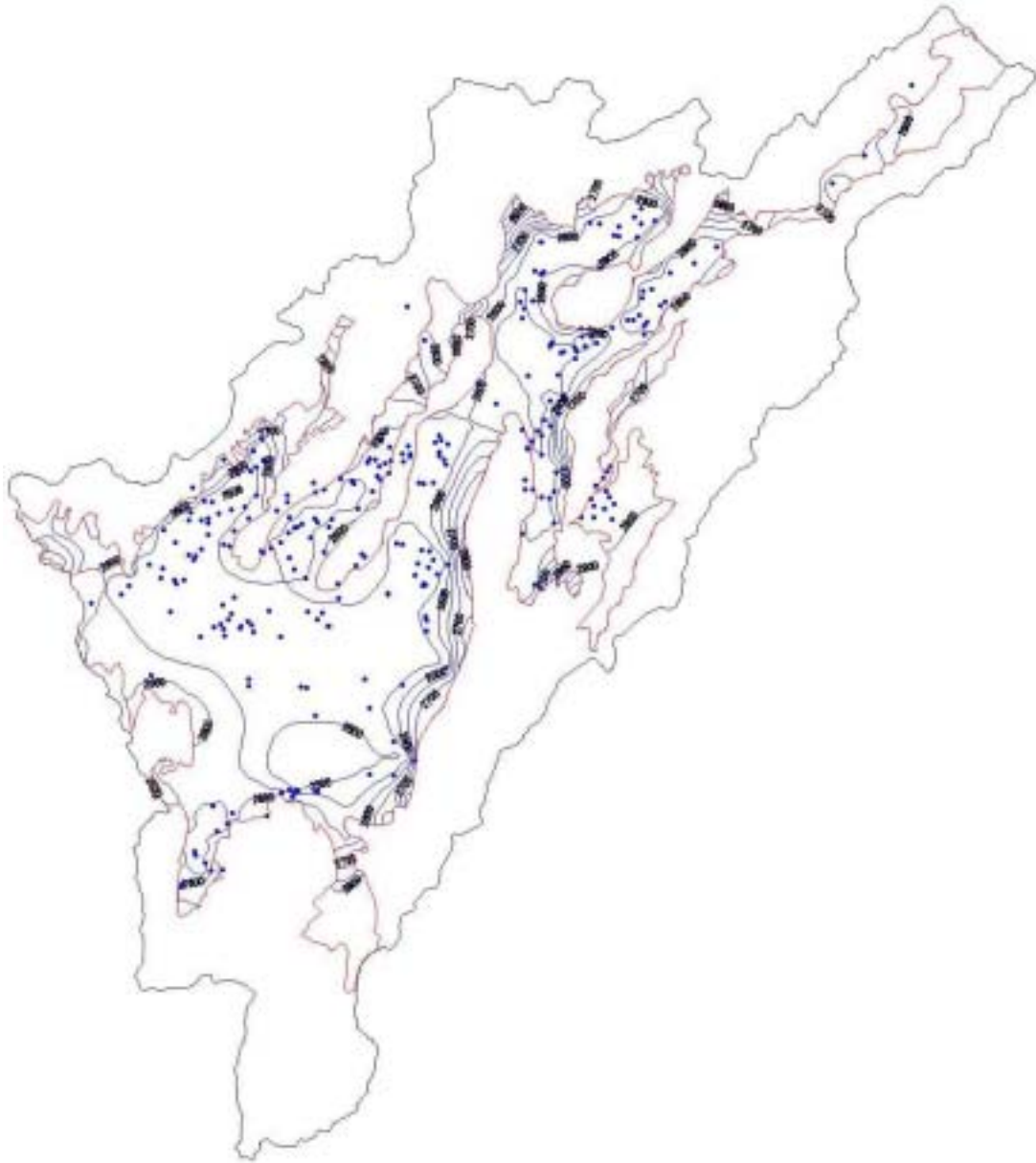


Figura-3.1 Nivel freático del Cuaternario

(2) 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 del 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 Figura-3.2. 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 monitor se calculó a partir de los resultados del monitoreo de la CAR y del Equipo del Estudio. Los datos que se usaron para esta operación fueron colectados de los mismos resultados del monitoreo que se usaron para los análisis de los niveles de agua subterránea del Cuaternario. 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 desechados.
- 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 del nivel del agua subterránea, que cubre toda el área del estudio. Se usó el programa “Surfer” para hacer esta interpolación.
- En la interpolación del nivel de agua, se asume que el nivel de agua subterránea del Cretáceo a los 200 y los 300 m del nivel del suelo, en el límite del área del estudio y está a 15 metros del nivel del suelo en los límites entre el Cuaternario y el Cretáceo. Se interpoló el nivel del agua del Cretáceo mediante el nivel del agua asumido y el observado.

Tal como se muestra en la Figura-3,2 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. El agua subterránea fluye en dirección norte-nororiente (NNE) hacia el sur-sureste (SSW), siguiendo la pendiente de la inclinación del terreno de la Sabana de Bogotá, y finalmente fluye alejándose del área del estudio.

(3) 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.

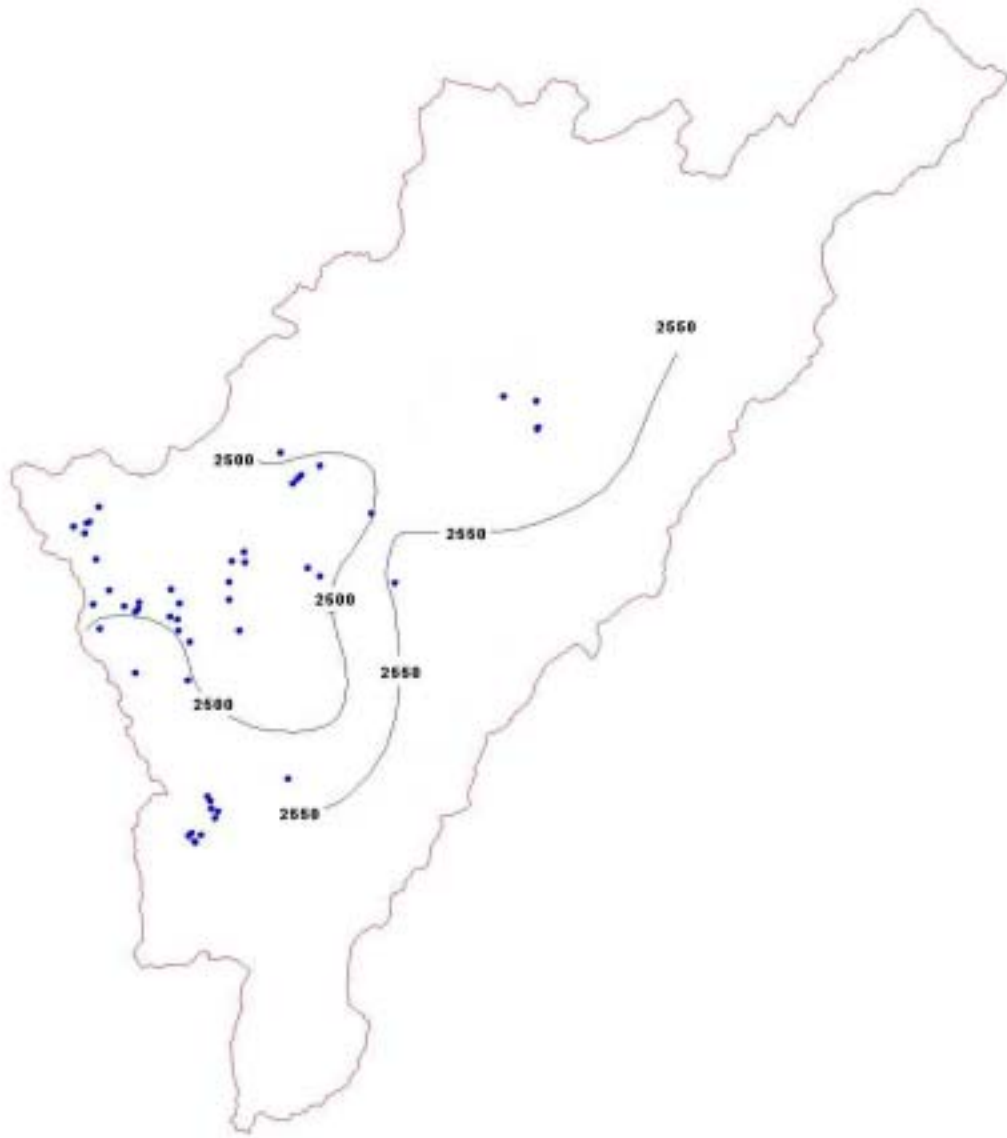


Figura-3.2 Nivel freático del Cretaceo

PARTE - 5 OBSERVACIÓN DE LOS NIVELES DEL AGUA SUBTERRÁNEA 5-1
CAPITULO - 1 Observación simultánea de los niveles de agua subterránea..... 5-1