

EL AGUA EN LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTA

ADOLFO ALARCÓN GUZMÁN

Ex-Director de INGEOMINAS

Disertación en los Martes del Planetario, "Metropolización, Planeación y Ordenamiento Territorial" primer semestre de 1998, evento organizado por la Sociedad Geográfica de Colombia

INTRODUCCION

EL volumen de agua almacenado en el subsuelo se identifica de dos maneras: como recursos dinámicos y como reservas estáticas.

Los recursos dinámicos se definen como el caudal del agua subterránea que es renovada estacionalmente en el subsuelo por la infiltración de las precipitaciones atmosféricas y otras fuentes naturales y que están disponibles para ser explotados.

Las reservas estáticas se definen como el volumen de agua almacenada en los poros y grietas de las rocas y no son renovables; pero se pueden explotar hasta cierto valor en áreas donde los recursos dinámicos son insuficientes para cumplir con el objetivo planteado.

Tomando las cifras de Marín y Chitiva (1986), para las aguas superficiales y el cálculo de los recursos de aguas subterránea a partir de INGEOMINAS (1997), demuestran que las aguas subterráneas son cuantitativamente mayores que las aguas superficiales en casi dos órdenes de magnitud y estos datos están acordes con la proporción mundial. Las aguas subterráneas constituyen el 98.69 % de los recursos hídricos del país, afirmación que coincide con los datos calculados por otros autores.

En el cuadro No.1 se muestran los valores de los recursos y reservas de aguas subterráneas en el país:

Cuadro No.1: Reservas totales de agua subterránea de Colombia

RECURSOS DINAMICOS Km ³ /año	RESERVAS ESTATICAS Km ³	RESERVAS TOTALES Km ³
10.53	140 868.5	140 879

Cuadro No. 2: Valor de los recursos hídricos totales de Colombia

RESERVAS TOTALES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Km³	RECURSOS TOTALES DE AGUA SUPERFICIAL Km³	RECURSOS HÍDRICOS TOTALES Km³
140879	2097	142976

1. EL AGUA SUBTERRANEA COMO ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN.

Con el crecimiento de la población, el rápido desarrollo de la industria y la agricultura, la necesidad del agua ha aumentado rápidamente en todas las regiones del país. En varias de ellas, el agua subterránea ya se ha convertido en el recurso más importante para el desarrollo económico, incluyendo el agua para consumo humano.

La estrecha relación que existe entre el agua superficial y subterránea indica que esta última no puede ser considerada como un recurso independiente. En efecto, la utilización del agua subterránea, representa una cantidad considerable que es tomada de las aguas superficiales al disminuir su flujo base. Sólo una cantidad relativamente pequeña del agua subterránea explotada, es ganada al bajar el nivel freático de los acuíferos. Para todos los casos, los impactos de su utilización sobre el Medio Ambiente deberá tomarse en consideración cuando se planifica su uso.

La utilización del agua subterránea tiene muchas ventajas, es un recurso en general bien protegido que está disponible en áreas extensas, especialmente en las cuencas sedimentarias, donde son utilizados los acuíferos como embalses naturales. La calidad del agua subterránea es generalmente apropiada para el consumo humano, sin necesidad de un tratamiento especial.

Sin embargo, es necesario considerar que los recursos disponibles de agua subterránea son limitados y que su explotación no controlada puede modificar el régimen hídrico no sólo del subsuelo, sino también de las aguas superficiales.

2. GEOLOGIA

Una de las principales aplicaciones de la Geología al estudio de las aguas subterráneas consiste en la diferenciación y delimitación de las unidades litológicas permeables de las poco o muy poco permeables y parcialmente para conocer la geometría de los acuíferos, esta labor se realiza mediante el levantamiento y correlación de columnas estratigráficas detalladas, así como la identificación de rasgos estructurales y tectónicos que permitan conocer en mayor o menor grado el fracturamiento de las rocas, lo cual facilitaría el desarrollo de una permeabilidad secundaria importante para el almacenamiento y flujo del agua subterránea.

En la Sabana de Bogotá afloran unidades litológicas consolidadas y no consolidadas, con edades desde el Cretáceo hasta el Reciente y que serán descritas en ese orden.

FORMACION CHIPAQUE, (Ksc).

Está constituida por arcillolitas de color gris oscuro a negro, blandas, laminadas, intercaladas con paquetes de calizas, calizas arenosas y areniscas de grano fino, con un espesor entre 300 y 900 m, genera una topografía suave.

GRUPO GUADALUPE, (Ksg).

El Grupo Guadalupe está constituido por las Formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Labor y Tierna.

- ***Formación Arenisca Dura, (Kgd).***

Son capas gruesas de arenitas de grano fino a medio, cuarzosas, duras, intercaladas con limolitas silíceas muy cementadas y niveles blandos de lodolitas grises claras, en capas delgadas. El espesor alcanza de 120 a 450 m.

- ***Formación Plaeners (Kgpl).***

Conformada por lodolitas silíceas, arcillolitas y liditas generalmente compactas, de color gris a blanco, presentan estratificación fina y fracturas romboédricas, ocasionalmente aparecen interestratificadas con capas de areniscas de grano fino a muy fino, cuarzosas y bien cementadas. Las capas de liditas y limolitas frecuentemente aparecen separadas por finos niveles de arcillas que favorecen su fracturamiento. Presenta una morfología suave y un espesor variando entre 60 y 160 m.

- ***Formación Labor y Tierna (Kgl).***

Formada principalmente por areniscas blancas y pardo amarillentas, de granulometría variable, con intercalaciones menores de arcillolitas y limolitas. Hacia la base, las areniscas son de grano fino a medio y en la parte superior de grano grueso a conglomeráticas. Presenta elevaciones topográficas dada su mayor resistencia a la erosión. El espesor es de hasta 220 m.

FORMACION GUADUAS, (Tkgu).

Compuesta por una alternancia de arcillolitas de grises a rojizas, intercaladas con mantos de carbón y pequeños bancos de areniscas friables, de color amarillentas a pardo rojizas, cuarzosas, de grano fino a medio hasta conglomeráticas. Con un espesor aproximado de 600 m. Se presenta topográficamente como zonas deprimidas.

FORMACION ARENISCAS DEL CACHO, (Tpc).

Constituida por bancos gruesos de areniscas cuarzosas de color amarillento a rojizo, de grano medio a conglomerático, subangulares a subredondeadas, moderadamente calibradas, muy friables, con abundante cemento ferruginoso, presenta intercalaciones de arcillolitas amarillo-rojizas. Tiene un espesor aproximado de 120 m.

FORMACION BOGOTA, (Teb).

Se diferencian dos conjuntos, el inferior (Tebi), con un espesor de 620 m, constituido por una alternancia de areniscas y arcillolitas. Las areniscas son de color gris claro a verdosas, cuarzo-feldespáticas, de grano fino hacia la base y conglomeráticas hacia el tope, de granos subredondeados, moderadamente seleccionados, altamente friables, las arcillolitas son plásticas de color gris oscuro a negro.

El conjunto superior (TebS), es predominantemente arcilloso, con un espesor que puede sobrepasar los 1000 m.

FORMACION ARENISCAS DE LA REGADERA, (Ter).

Está constituida por areniscas amarillo-rojizas a grises, de grano medio a grueso y niveles conglomeráticos lenticulares, de composición feldespática a lítica, moderadamente cuarzosa, matriz arcillosa, friables, ocasionalmente consolidadas y regularmente seleccionadas, interestratificadas con arcillolitas amarillas y grises con delgados niveles de limolitas rojas a gris oscuro. El espesor total es de aproximadamente 600 m.

FORMACION USME, (Tsu).

Su parte inferior está constituida por lutitas arcillosas y arenosas, grises, amarillas y azules alternando a amarillas y rojas, muy blandas, con delgadas intercalaciones de areniscas de grano fino a grueso, grises y amarillas, con abundante matriz arcillosa. En su parte superior hay predominio de niveles de areniscas amarillo-rojizas y grises claras, de grano medio a grueso, cuarzosas, con pobre selección, granos subangulares y altos contenidos de líticos y feldespatos.

DEPOSITOS CUATERNARIOS

- *Formacion tilata, (qtt).*

Conjunto de areniscas cuarzosas de grano grueso, constituido por cantos redondeados a subredondeados de areniscas y limolitas en una matriz arcillo-limosa, interestratificadas, se presentan areniscas conglomeráticas y arcillolitas, contiene lignito en la parte media. Tiene un espesor hasta de 180 m.

DEPOSITOS DE TERRAZA ALTA, (Qta)

Es el principal relleno de la Sabana de Bogotá, está constituido por arcillas, limos, arenas y gravas, morfológicamente comprende una superficie plana con leves ondulaciones, en general presenta espesores menores de 400 m.

DEPOSITOS ALUVIALES, (Qal).

Corresponden a depósitos originados por corrientes fluviales, están compuestos por arenas, limos, y gravas, localmente se presentan cantos de areniscas incluidos en una matriz areno-limosa y sedimentos limo-arenosos con esporádicos lentejones de cantos de areniscas.

COMPLEJO DE CONOS

Se ha denominado Complejo de Conos al conjunto formado por los Depósitos Fluvioglaciares, los Depósitos de Abanico Aluvial y los Depósitos Coluviales.

DEPOSITOS FLUVIOGLACIARES

Depósitos constituidos por arenas, limos, arcillas, guijarros y bloques incluidos en una matriz areno-limosa, sobre el material grueso existe una secuencia de limos rojos con presencia de bloques esporádicos, suelen presentarse arenas de grano medio y guijos redondeados de cuarzo.

DEPOSITOS DE ABANICO ALUVIAL, (Qaa).

Son gravas, arenas, limos y arcillas. La composición, textura y espesor de la unidad es variable, dependiendo de las fuentes de aporte, dirección y distancia de transporte. El espesor máximo es de 100 m.

DEPOSITOS COLUVIALES, (Qc).

Son depósitos de ladera, resultantes de la fracturación y el arrastre que han sufrido los materiales de las unidades litológicas y que por lo general se han originado en zonas de fractura con una alta pendiente que facilitan su movimiento por gravedad. Están constituidos por gravas, guijarros y bloques con predominio de matriz arcillosa, presentan una topografía suave.

INVENTARIO DE POZOS, ALJIBES Y MANANTIALES.

El inventario realizado entre 1989 y 1992 arrojó un total de 5 258 puntos de agua entre pozos, aljibes y manantiales, con base en los cuales se calculó una descarga total de agua subterránea para la Sabana de 39.4 millones de m³/año. El acuífero en los depósitos Cuaternarios es el más explotado en la Sabana de Bogotá, por ser el más superficial y con mayor número de captaciones, con una descarga de 23.82 millones de m³/año y con caudales que varían desde 0.3 hasta 40 l/s, registrándose los mayores rangos de explotación en los depósitos de Terraza Alta (Qta) y en la Formación Tilatá (QTt), el acuífero que sigue en explotación es el Guadalupe con una descarga total de 10.92 millones de m³/año y con caudales desde 2 hasta 35 l/s.

Se estableció además que el principal uso del agua es el abastecimiento doméstico, agroindustrial como la floricultura y diferentes cultivos y actividades ganaderas.

Número de pozos inventariados por formación geológica.

Depósitos de Terraza Alta	2706
Formación Tilatá	59
Formación Areniscas del Cacho	26
Formación Labor y Tierna	131
Formación Arenisca Dura	40
Otras	765
TOTAL	3727

La descarga es efectuada a través de los pozos, aljibes o manantiales de la siguiente manera:

Cuadro No.3: Descarga del agua subterránea en la Sabana de Bogotá.
(miles de m³/año)

Descarga	Depósitos de Terraza Alta	Formación Tilatá	Formación Cacho	Grupo Guadalupe	Otros	Total
1. Río Chicú	1634.68			541.01	803.71	2979.4
2. Río Subachoque	2950.0	1220.0		3200.00	1277.71	8647.7
3. Ríos Bojapa-Balsillas	1100.0			1901.31	1201.0	4202.3
4. Sector Tibitó – Salto Tequendama	5588.0	2214.6		3631.10	492.54	11926.2
5. Ríos Muña-Soacha y Tunjuelito	1833.9			471.65		2305.5
6. Río Teusacá	348.08		103.68	491.96	30.23	973.95
7. Ríos Frío, Tibitó y Negro y Negro	1637.15		172.81	133.69	113.99	2057.6
8. Sector Tibitó-Sisga-Dominé	5292.30	3.47		546.1	424.4	6266.2
9. Ríos Alto Bogotá Sisga		2.1	1.25	4.62		7.97
TOTAL	20348.61	3440.17	227.74	10921.44	4343.07	39367.0

5. HIDROLOGIA Y CLIMATOLOGIA.

La información hidrometeorológica disponible en la Sabana de Bogotá, fue utilizada para el cálculo de la recarga proveniente de la precipitación mediante la realización de balances de humedad del suelo en todas las subcuencas del área.

La recarga potencial subterránea considerada en el modelo utilizado, es la cantidad de agua precipitada que puede llegar a aumentar el almacenamiento subterráneo por percolación a través de las zonas no saturadas.

El volumen de agua precipitada que llega a los acuíferos depende de las características intrínsecas del suelo, del contenido de humedad, de la conductividad hidráulica, del desarrollo radicular de las plantas, de la adición de la materia orgánica y de las características de la zona no saturada.

Con los datos de la precipitación, evapotranspiración potencial, escorrentía superficial y teniendo en cuenta las características de los suelos en cada subcuenca, se realizaron los balances hídricos para cada serie de suelos en la Sabana.

Cuadro N.4: se pueden apreciar los valores calculados por la recarga potencial por formación y acuífero.

Cuencas (Ríos)	Terraza Alta	Tilatá	Cacho	Guadalupe	Otros	Total
Río Chicú	2129.0	81.0		6736.0	72.0	8937.0
Río Subachoque	4076.15					
Bojacá-Balsillas	2190.00					
Tibitó –Salto Teg.	23.4					
Muña-Soacha –Tun	12183.6					
Teusacá	104.25					
Frío-Tibitó-Negro	702.17					
Tibitó-Sisga-Tomin	545.00					
Alto Bogotá-Sisga	161.85	696.0	1242.35	2578.02	1749.62	6427.84
TOTAL	22115.42	777.0	1259.03	29110.1	39598.36	92859.96

6. HIDROGEOLOGÍA

Es la fase final y más importante dentro del desarrollo del proyecto, ya que analiza los resultados de cada una de las etapas anteriores, los asocia con los parámetros hidráulicos obtenidos mediante las pruebas de bombeo y de esta manera caracteriza cada acuífero del área clasificándolo su potencial hidrogeológico, proporciona parámetros para establecer regulaciones del recurso y se proponen zonas de interés para las futuras exploraciones.

Con base en las características litológicas, hidráulicas, distribución espacial y calidad del agua, se clasificaron los diferentes tipos de rocas de la siguiente forma:

- ✓ Sedimentos no consolidados y rocas porosas con moderada a gran importancia hidrogeológica .
- ✓ Rocas fracturadas y porosas con moderada a gran importancia hidrogeológica.
- ✓ Sedimentos y rocas de poca importancia hidrogeológica.

A continuación se describen las unidades con mayor interés hidrogeológico pertenecientes a los dos primeros grupos. Teniendo en cuenta que los acuíferos no son uniformes y presentan características diferentes dependiendo del sitio en que se estudiaron, se considerarán rasgos generales para la Sabana.

SEDIMENTOS NO CONSOLIDADOS Y ROCAS POROSAS CON MODERADA A GRAN IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA.

- Acuíferos en los depósitos de Terraza Alta

Acuífero Regional con poca a gran importancia hidrogeológica. Se comporta como acuífero confinado y libre, está compuesto por gravas, arenas y arcillas, presenta moderados espesores saturados, la calidad del agua es regular a mala por su alto contenido de hierro

Que puede ser tratado por medio de aireación, es apta para riego. Constituye la parte plana de la Sabana, es el acuífero más explotado por su fácil acceso, aunque con caudales de bombeo bajos.

- ***Acuífero en la Formación Tilatá***

Acuífero que se comporta como confinado, semi-confinado y libre, de extensión local y de moderada importancia hidrogeológica, compuesto por gravas, arenas, cantos de areniscas cuarzosas interestratificados con arcillolitas. La calidad del agua es apta para riego y sólo para consumo en las cuencas de los Ríos Bojacá y Subachoque y al norte de la Sabana en Villa Pinzón. Su mayor extensión es al noreste de la laguna de Guatavita y Chocontá.

ROCAS FRACTURADAS Y POROSAS CON MODERADA A GRAN IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA.

- ***Acuífero en la Formación Arenisca Dura***

Es un acuífero de tipo confinado, de moderada a gran importancia, se considera de extensión local ya que está restringido a zonas de fracturas, está conformado por cuarzoarenitas de grano fino a muy fino, masivas, con intercalaciones de arcillolitas y limolitas. En general la calidad del agua es de regular a buena, siendo apta para riego y para consumo humano, siempre y cuando se someta a tratamiento para el hierro, que sobrepasa los límites para agua potable. Presenta un gran potencial para el almacenamiento de aguas subterráneas, principalmente por su grado de fracturamiento. Generalmente su explotación se hace demasiado costosa debido a que se encuentra a una profundidad que sobrepasa comúnmente los 400 m.

- ***Acuífero en la Formación Labor y Tierna.***

Acuífero de extensión regional de moderada a gran importancia hidrogeológica, confinado a semi-confinado, constituido por areniscas cuarzosas de grano fino a medio, friables, separadas por capas de liditas, lodolitas y arcillolitas. Presenta grandes espesores saturados, calidad del agua de regular a buena, apta para riego y consumo humano con tratamiento previo para el hierro. Se localiza a profundidades mayores de 200 m, lo que dificulta su explotación. Sus mayores afloramientos se localizan al oriente y suroccidente de la Sabana de Bogotá constituyendo la zona montañosa que la rodea.

- ***Acuífero en la Formación Cacho.***

Presenta escasa distribución superficial, está constituido por areniscas amarillas a rojizas de grano grueso a conglomerático, muy friable con intercalaciones de arcillolitas. Tiene aproximadamente 120 m de espesor, el agua es apta para el riego y para consumo humano con tratamiento para el hierro.

7. BALANCE Y RESERVAS DE AGUAS SUBTERRANEAS

Teniendo en cuenta los resultados anteriores se realizó el cálculo cuantitativo aproximado de los recursos de agua subterránea en la Sabana de Bogotá, en m³/año y que corresponde a la diferencia entre la recarga por precipitación y la descarga a través de pozos (aunque se acepta, el valor real es un poco menor).

Cuadro No.5: Balance de agua subterránea en la Sabana de Bogotá
(Millones de m³/año)

	Terraza Alta	Tilatá	Cacho	Guadalupe	Otros	Total
Recarga	22.12	0.78	1.26	29.11	39.60	92.87
Descarga	20.38	3.44	0.28	10.92	4.34	39.36
Superávit	1.74		0.98	18.19	35.26	53.51
Déficit		2.66				2.66
				Superavit		50.85
Area	55	84	31	577	1.118	1.612

Se calcularon dos tipos de reservas en m³ utilizando los parámetros hidrogeológicos de los acuíferos:

Re= Reservas por efecto elástico= A.sa.S, donde

A- área
sa- abatimiento disponible
S- coeficiente de almacenamiento

Rs= Reservas seculares, pasivas o multianuales= A.m.Sy , donde

A-área
m-espesor del acuífero
Sy-porosidad eficaz

A continuación se presentan las reservas calculadas por cuenca y formación, así como espesor y profundidad límite de los acuíferos determinado por métodos geofísicos.

Cuadro No. 6: Reservas por efecto elástico en la Sabana de Bogotá
(Millones m³)

No.	Cuenca	Acuífero terraza alta	Acuífero formación tilatá	Acuífero Arenisca cacho	Acuífero Grupo Guadalupe	TOTAL
1	Río Chicú	8.0			16.9	24.9
2	Río Subachoque	53.5	45.9		23.1	122.5
3	Ríos Bojacá - Balsillas	29.2			2.7	31.9
4	Tibitó-Salto del Tequendama	65.4	57.9		128.9	252.2
5	Ríos Muña, Soacha, Tunjuelito	0.5			13.3	13.8
6	Río Teusacá	6.3		1.4	0.2	7.9
7	Ríos Frío, Tibitó, Negro	9.9		2.2	14.0	26.1
8	Tibitó, Sisga y Embalse Tominé	11.9		5.3	0.8	18.0
9	Ríos Alto Bogotá y Sisga	0.8	2.6	0.6	6.2	10.2
	Total	185.5	106.4	9.5	206.1	507.5
	l/s/año	5882	3374	301	6535	16092

Los resultados calculados para los recursos y reservas son estimativos y deben tomarse en orden de magnitud.

Cuadro No.7: Reservas seculares, pasivas o multianuales en la Sabana de Bogotá.
(Millones de m³)

No.	Cuencas	Acuífero Terraza Alta	Acuífero Tilatá	Acuífero Cacho	Acuífero Grupo Guadalupe	Total
1	Río Chicú	200.5			444.0	644.5
2	Río Subachoque	289.5	172.5		725.0	1187.0
3	Río Bajacá-Balsillas	111.3			2247.0	358.3
4	Tibitó- Salto Tequendama	834.0	500.0		2412.0	3746.0
5	RíoMuña,SoachayTunjuelito	70.0			562.5	632.5
6	Río Teusacá	89.1		85.5	88.0	262.6
7	Ríos Frío, Tibitó y Negro	182.5		64.1	730.0	976.6
8	Tibitó, Sisga y Embalse Tominé	132.6		126.0	40.0	298.6
9	Ríos Alto Bogotá y Sisga	20.0	400.0	27.0	434.9	881.9
Total		1929.5	1072.5	302.6	5683.4	8988.0
l/s/año		61184.0	34009.0	9595.0	180219.0	285007.0

Cuadro No.8: Reservas Totales (R1+ R2)

No.	Cuenca	Reservas (Mill. M3)
1	Chicú	669.4
2	Subachoque	1309.5
3	Bojacá	390.2
4	Tibitó-Salto Tequendama	3998.2
5	Muña-Soacha y Tunjuelito	646.3
6	Teusacá	270.5
7	Frío-Tibitó-Negro	1002.7
8	Sisga-Tibitó-Em. Tominé	316.6
9	Alto Bogotá-Sisga	892.1
Total		9495.5

CONCLUSIONES

1. Se determinaron los principales acuíferos de la Sabana de acuerdo a sus características litológicas, hidráulicas, la calidad físico-química del agua y sus posibilidades para suministro del recurso, así:
 - a. Formación Labor y Tierna (Kgl)
 - b. Formación Aresnica Dura (Kgd)
 - c. Formación Tilatá (QTt)
 - d. Depósitos de Terraza Alta (Qta)
 - e. Formación Arenisca del Cacho (Tpc)

Sin embargo estas unidades no presentan características uniformes en toda el área y por lo tanto su importancia hidrogeológica varía según el sector donde se estudien. Igualmente otras formaciones no tomadas en cuenta en esta clasificación podrían tener alguna importancia local.

2. Los acuífero Cuaternarios son los más intensamente explotados y dentro de estos los depósitos de Terraza Alta, debido a su fácil acceso y a sus bajos costos de explotación, aunque generalmente se hace con caudales entre 0.3 y 5.0 l/s.

3. Los análisis físico-químicos del agua indican que es apta para riego de cualquier tipo de cultivo y para el consumo humano a excepción del alto contenido de hierro disuelto, sin embargo este elemento puede ser tratado fácilmente por métodos convencionales.
4. Las concentraciones de hierro y los valores de conductividad eléctrica, son en general mayores para los depósitos Cuaternarios, presentándose los valores más altos en el piedemonte.
5. De acuerdo al balance hídrico realizado, la mayor recarga potencial por precipitación en la Sabana ocurre en el Acuífero Guadalupe con 29.11 Millones de m³/año, seguido del acuífero de terraza Alta con 22.12 Millones m³/año y con una mínima infiltración para el acuífero de la Formación Tilatá con 0.78 Millones de m³/año.
6. Según los balances realizados (recarga-descarga) para los dos principales acuíferos de la Sabana no existe déficit, encontrándose para el Acuífero Cuaternario un balance positivo del orden de 1.74 Millones de m³/año y para el acuífero Guadalupe 18.19 Millones de m³/año. Sin embargo estas cifras deben ser tomadas con precaución por las razones antes mencionadas.
7. El Grupo Guadalupe presenta muy buenas características como acuífero debido a su litología, estructuras, calidad del agua y almacenamiento.
8. Se detectaron zonas con un alto porcentaje de pozos construídos por km², cercanos a centros urbanos como Tenjo, Cajicá, Cota y Chía.
9. Los mayores espesores del Acuífero Cuaternario, detectados por métodos geoelectrónicos son de aproximadamente 400 m , en sectores cercanos al Aeropuerto Guaimaral.

RECOMENDACIONES

El conocimiento actual de los acuíferos de la Sabana de Bogotá está supeditado a una información de los parámetros hidroclimáticos, hidráulicos e hidroquímicos, escasa, poco confiable y con deficiente registro histórico.

Se debe implementar la adquisición periódica de esta información mediante la reactivación y ampliación de la red piezométrica existente en la Sabana, la instalación de estaciones meteorológicas en las partes altas de las subcuencas para obtener la variación de los gradientes con la altura e instalación de estaciones lisimétricas para la determinación directa de la evapotranspiración potencial y ajuste de las fórmulas empíricas empleadas, así como el valor de la condensación valor que no fue incluido en los cálculos y que pudiera generar errores considerables en los balances.

Dada la gran importancia que tiene el recurso hídrico en la actualidad y la que cobrará en un futuro para el abastecimiento de agua público, doméstico y agroindustrial, se deben desde ahora, una vez más, implementar programas tendientes a su preservación y conservación (explotación sostenible), mediante estudios de vulnerabilidad y riesgo de contaminación y la determinación de las principales fuentes contaminantes. Se deberá contar con la reglamentación adecuada y con los mecanismos de control necesarios para los diseños, construcción y explotación de los pozos.

BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ, Osejo A. Gestión del agua subterránea en la Sabana de Bogotá. Geología Colombiana No. 22, octubre, 1997. Santa Fe de Bogotá.

CARO, Peña P.E., et al. Geología de Santa Fe de Bogotá y Alrededores. VII Congreso Colombiano de Geología, Santa Fe de Bogotá, 1996.

INGEOMINAS. Estudio hidrogeológico cuantitativo de la Sabana de Bogotá. Informes. Convenio CAR-INGEOMINAS. Bogotá, 1990-1990.

INGEOMINAS. Estudio hidrogeológico de prefactibilidad de los 11 municipios de la Sabana de Bogotá. Convenio EAAB-INGEOMINAS. Informes Santa Fe de Bogotá, 1996.

INGEOMINAS. Reactivación de la red de monitoreo, identificación de zonas críticas de bombeo. Informe Final. Convenio de Cooperación técnica INGEOMINAS-ASOCOLFLORES. 1996.

LOBOGUERRERO, U.A. Algunos aspectos tectónicos del Cerro de Suba. III Simposio Colombiano de Hidrogeología, 1988.

LOBOGUERRERO, U.A. Geología e hidrogeología de Santa Fe de Bogotá y su Sabana. VII Jornadas Geotectónicas de la Ingeniería de Colombia. Sociedad Colombiana de Ingenieros, Santa Fe de Bogotá, 1995.

MARTINEZ, García J.M. El aprovechamiento de los acuíferos de la Ciudad de México. Primer Congreso Hidrogeológico Latinoamericano. Mérida, Venezuela, 1992.

MOLANO C.E., DOMINGUEZ C.J. Modelos de Simulación del Acuífero Guadalupe en el sector Madrid (Cundinamarca). III Simposio Colombiano de Hidrogeología, 1988.

PEREZ J. Criterios de manejo y planes futuros. Seminario de aguas subterráneas en la Sabana de Bogotá. Santa Fe de Bogotá, 1994.

REYES Ch. i. La tectónica y su influencia en la recarga de los acuíferos profundos de la Sabana de Bogotá. IV Simposio Colombiano de Hidrogeología. Cartagena, 1993.

ROBLES Burbano E. Hidrogeología de la Sabana de Bogotá. IV Simposio Colombiano de Hidrogeología, Cartagena, 1993.

RODRIGUEZ C.O. El recurso hídrico subterráneo en la Sabana de Bogotá. Seminario de aguas subterráneas en la Sabana de Bogotá. Seminario de aguas subterráneas en la Sabana de Bogotá. Santa Fe de Bogotá, 1994.

VAN DER HAMMEN T. Plan ambiental de la Cuenca del Río Bogotá. Santafé de Bogotá, 1998.