

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

**INFORME FINAL
INFORME SOPORTE**

PARTE 2

ESTUDIO AMBIENTAL DE CAMPO

**Informe Final
(Informe Soporte)**

Parte 2 Estudio Ambiental de Campo

Tabla de Contenido

	Pag
Tabla de Contenido	i
Lista de Tablas y Figuras	ii
	Pag
CAPITULO 1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRANEA	2-1
CAPITULO 2 SUBSIDENCIA DE TERRENOS	2-7
CAPITULO 3 CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO Y MATERIAL MALO DEL RÍO	2-8

Lista de Tablas y Figuras

	(Pag)
Tabla-1.1 Fuentes de Generación en la Superficie terrestre en la Cuenca	2-3
Tabla-1.2 N y S desde la superficie	2-4
Tabla-1.3 Almacenados en la zona de saturación	2-5
Tabla-1.4 Resumen de los cálculos	2-6
Tabla-3.1 Resultado del Análisis del Río Bogotá	2-8
Tabla-3.2 Análisis de Agua del Río Bogotá en la Unidad de Purificación de TIBITOC ..	2-8
Figura-1.1 Procedimiento para la estimación de la generación, infiltración y almacenamiento de N(Nitrógeno) y S (azufre)	2-2

PARTE - 2 ESTUDIO AMBIENTAL DE CAMPO

CAPITULO 1 Fuentes de Contaminación del agua subterránea

La calidad del agua subterránea e la Sabana de Bogotá está caracterizada por su amplia cobertura, en concentraciones de $\text{NH}_4\text{-N}$ y H_2S . Esto parece ser un caso excepcional en aguas subterráneas, difícil de encontrar en otros países.

Relacionado, con la causa de esta calidad excepcional, primero que todo, se duda que la contaminación provenga de la superficie por extensivas actividades humanas tales como flujos de fertilizantes nitrogenados, e infiltración de residuos domésticos, industriales, o ganado, ya que estas son las causas de contaminación mas comunes en todo el mundo. Si la contaminación ha ocurrido en lugares específicos en la sabana, las razones antes expuestas podrían considerarse como una buena posibilidad. Sin embargo, en el caso dela sabana de Bogotá, la contaminación se extiende a toda el agua subterránea, y esta inmensa cantidad de contaminantes ha sido conservados en el subsuelo. De acuerdo a una aproximación cuantitativa entre la relación de los contaminantes generados en la superficie y el almacenado en el subsuelo no podemos llegar al primer razonamiento que ocurre en el resto del mundo.

La siguiente descripción, es una primera aproximación sobre la cantidad de nitrógeno y azufre que es generado en la superficie y se infiltra al subsuelo, para estimar la cantidad almacenada en el subsuelo de N y S y finalmente, comparar ambas cantidades para obtener una respuesta evidente, que los contaminantes generados en la superficie son muy pequeños y no pueden ser la fuente de la contaminación almacenada en la zona saturada.

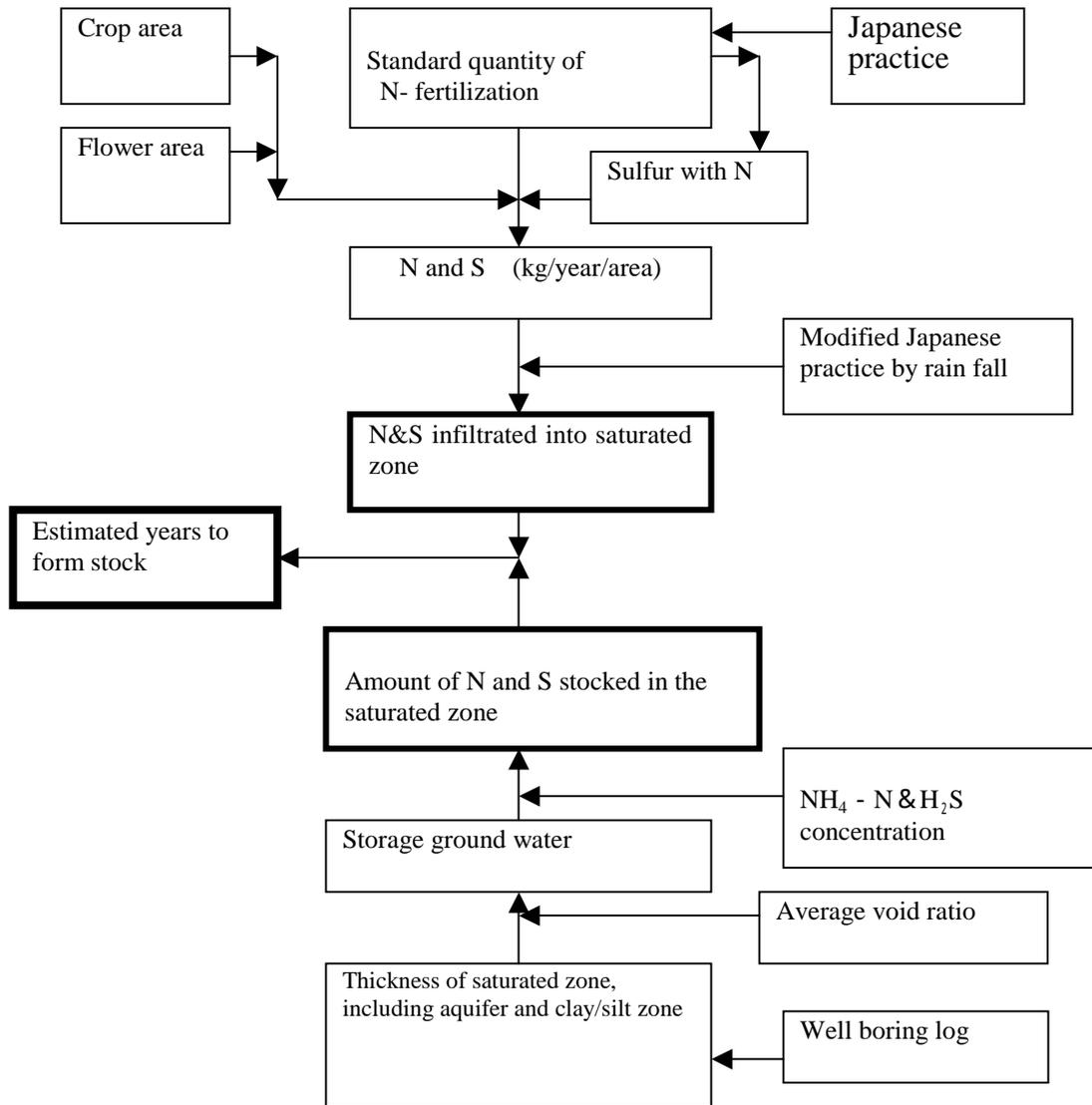


Figura-1.1 Procedimiento para la estimación de la generación, infiltración y almacenamiento de N (Nitrógeno) y S (azufre)

(1) Datos para la estimación

La fuente generadora en la superficie de cada cuenca se lista en la tabla 1.1. N y S generados en la superficie también se muestran en la tabla 1.1. La cantidad almacenada en la zona saturada se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla-1.1 Fuentes de Generación en la Superficie terrestre en la Cuenca

Basin	Total area (ha)	Crop area (ha)	Flower farm area (ha)	Population (person)	Cattle (head)	Factory
Bogota(1)	175	16.74	1		154	
Soacha R	12,740	1,219	125	270,217	8,749	
Bogota(2)	11,136	1,065	110	5,232,730	4,378	
Subachoque R(1)	3,103	297	31		814	
Bojaca R	21,546	2,062	212	171,874	10,896	
Subachoque R(2)	40,251	3,852	397	304,083	27,405	
Tunjuelito	38,305	3,665	377	5,205,790	14,447	
Bogota(3)	53,120	5,083	524	5,324,909	15,450	
Chicu R	13,298	1,273	131	5,113,493	6,255	
Bogota(4)	6,232	596	61	5,020,467	2,477	
Neusaca R	19,394	1,856	191	5,179,688	10,942	
Bogota(5)	10,430	998	102		6,006	
Teusaca R	34,922	3,342	344		27,855	
Bogota(6)	6,609	632	65		2,525	
Neusa R	42,906	4,106	423		24,958	
Bogota(7)	17,366	1,662	171	132,857	10,252	
Tomine R	36,697	3,512	362		26,603	
Bogota(8)	10,263	982	101		8,566	
Sisga R	15,196	1,454	150		9,520	
Bogota(9)	27,153	2,598	268		23,202	

Nota: Las granjas de flores no tienen posibilidad de flujos de salida contaminantes debido a su sistema de ciclo cerrado

Table-1.2 N y S desde la superficie

Cuenca	N (Fertilización / infiltración)	N de uso de agua domestico (Generación / flujo de salida)	N descargado por ganado	N total descargado en agua subterránea	S (Fertilización / Flujo de salida)	S de uso de agua domestico	S descargado de ganado	S total descargado en agua subterránea
Bogota(1)	167,400 / 16,740	289	7,700 / 385					
Soacha R	121,900 / 12,190	2,892	437,450 / 21,872	36,954	17,442	0	0	17,442
Bogota(2)	106,500 / 10,650	47,604	218,900 / 10,945	69,199	32,662	0	0	32,662
Suba R(1)	29,700 / 2,970	132	40,700 / 2,035					
Bojaca R	206,200 / 20,620	10,536	544,800 / 27,240	58,396	27,562	0	0	27,562
Suba R(2)	285,200 / 28,520	9,288	1,370,250 / 68,512	116,320	54,903	0	0	54,903
Tunjuelito	366,500 / 36,650	111,872	722,350 / 36,117	184,639	87,149	0	0	87,149
Bogota(3)	508,300 / 50,830	0	772,500 / 38,625	89,455	42,222	0	0	42,222
Chicu R	127,300 / 12,730	3,240	322,750 / 16,137	32,107	15,154	0	0	15,154
Bogota(4)	59,600 / 5,960	12,292	123,850 / 67,192	24,444	11,537	0	0	11,537
Neusaca R	185,600 / 18,560	3,456	547,100 / 27,350	24,751	11,682	0	0	11,682
Bogota(5)	99,800 / 9,980	24,804	300,300 / 15,015					
Teusaca R	334,200 / 33,420	12,590	1,392,750 / 69,637	115,647	54,585	0	0	54,584
Bogota(6)	63,200 / 6,320	9,348	126,250 / 6,312					
Neusa R	410,400 / 41,040	3,456	1,247,900 / 62,395	106,891	50,452	0	0	50,452
Bogota(7)	166,200 / 16,620	3,240	512,600 / 25,630	45,490	21,471	0	0	21,471
Tomine R	351,200 / 35,120	1,440	1,330,150 / 66,507					
Bogota(8)	98,200 / 9,820	1,032	428,300 / 21,415					
Sisga R	145,400 / 14,540	660	476,000 / 23,800					
Bogota(9)	259,800 / 25,980	2,496	1,160,100 / 58,005	86,481	40,819	0	0	40,819

Suposición:

- (1) Promedio de fertilización 100 kg-N/ha
- (2) Infiltración de fertilizador 10% de la fertilización
- (3) Tasa de generación de gasto domestico de agua, rural 60 l/c/d
- (4) Contenidos de N en el alcantarillado 40mg/l
- (5) Infiltración en el subsuelo urbano= 0 Rural= 10%
- (6) N del ganado: Estiércol 125g-N/cabeza/d Orina 76g-N/Cabeza/d N Total ,50kg/cabeza/año
- (7) Infiltración de desperdicio de ganado: 5% del total
- (8) S en $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$: 41kg de N en 100kg de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, S acompañado con N: $41 \times 23.6 / 20.5 = 47.2\text{kg}$

Table-1.3 Almacenados en la zona de saturación

Basin	Area total (ha)	Espesor de la zona saturada (m)	Proporción vacía (%)	Almacenamiento Neto de agua (1000M ³)	N total Conc./N Exist. (g/m ³)/kg	H ₂ S - S conc. / Exist. (g/m ³)/kg
Bogota(1)	175					
Soacha R	12,740	69	0.4	3,516,240	0.615 / 2,173,036	1.84 / 6,094,776
Bogota(2)	11,136	69	0.4	3,073,536	3.78 / 11,611,819	1.32 / 3,823,484
Subachoque R(1)	3,103					
Bojaca R	21,546	69	0.4	5,946,696	2.14 / 12,779,449	2.20 / 12,310,850
Subachoque R(2)	40,251	69	0.4	11,109,276	3.29 / 36,582,845	2.04 / 21,325,810
Tunjuelito	38,305	69	0.4	10,572,180	6.25 / 66,076,125	2.03 / 20,155,501
Bogota(3)	53,120	93	0.4	19,760,640	4.91 / 97,024,742	1.52 / 28,114,369
Chicu R	13,298	93	0.4	4,946,856	2.23 / 11,031,488	1.75 / 8,164,855
Bogota(4)	6,232	93	0.4	2,318,304	4.57 / 10,594,649	1.60 / 3,499,164
Neusaca R	19,394	69	0.4	5,352,744	3.52 / 18,841,158	1.42 / 7,152,443
Bogota(5)	10,430					
Teusaca R	34,922	40	0.4	5,587,520	6.79 / 37,939,260	1.81 / 9,571,977
Bogota(6)	6,609					
Neusa R	42,906	106	0.4	18,192,144	3.52 / 64,036,346	1.27 / 21,655,291
Bogota(7)	17,366	106	0.4	7,363,184	3.43 / 25,255,721	1.38 / 9,540,895
Tomine R	36,697					
Bogota(8)	10,263					
Sisga R	15,196					
Bogota(9)	27,153	134	0.4	14,554,008	1.32 / 19,211,290	2.67 / 36,593,899

Suposición:

- (1) El espesor de la zona saturada es supuesta, desde la distancia desde la parte superior de la primera capa de arena hasta el fondo de la última capa de arena que esta registrada en los registros de la prueba.
- (2) Promedio 40% de la proporción vacía
- (3) El agua almacenada en la zona saturada es, por lo menos (1) x (2).

(2) Resultados del cálculo de prueba.

Se seleccionaron 13 cuencas que tienen datos de análisis de calidad de agua, de las 20 cuencas del estudio. Los resultados del cálculo corroboran nuestras consideraciones antes mencionadas, los contaminantes provenientes de la superficie son muy pequeños en cantidad para justificar la gran cantidad acumulada en el subsuelo.

El resumen del cálculo efectuado por el Equipo de Estudio, tomó 13 cuencas, y se basó en la generación de N y S en superficie y la estimación de la acumulación de N y S en el agua subterránea, para obtener la rata de acumulación generada obteniéndose que se requiere de 417 años de N y 402 años para el S.

Los cálculos efectuados por el equipo de estudio se basaron en varias asunciones. Se necesitará de un re – cálculo basado en información mas confiable, sin embargo este es un buen punto de partida. El cálculo se muestra paso a paso en este informe soporte con las asunciones básicas. Los resultados es resumen en la tabla-1.4.

Table-1.4 Resumen de los cálculos

Cuenca	N from SUperficie (kg /y)	N acumulado en la zona saturada (kg)	Años virtuales para acumulación (y)	S De la superficie (kg/y)	S acumulado en la zona saturada zone (kg)	Años virtuales para acumulación. (y)
Bogota(1)	--	--	--	--	--	--
Soacha R	36,954	2,173,036	58	17,442	6,094,776	358
Bogota(2)	69,199	11,611,819	168	32,662	3,823,484	119
SubachoqueR(1)	--	--	--	--	--	--
Bojaca R	58,396	12,779,449	220	27,562	12,310,850	455
Subachoque R(2)	116,320	36,582,815	315	54,903	21,325,810	387
Tunjuelito	184,639	66,076,125	359	87,149	20,155,501	231
Bogota(3)	89,455	97,024,742	1,090	42,222	28,114,369	669
Chicu R	32,107	11,031,488	344	15,154	8,164,855	594
Bogota(4)	24,444	10,594,649	441	11,537	3,499,164	318
Neusaca R	24,751	18,841,658	785	11,682	7,152,443	650
Bogota(5)	--	--	--	--	--	--
Teusaca R	115,647	37,939,260	329	54,585	9,571,977	176
Bogota(6)	--	--	--	--	--	--
Neusa R	106,891	64,036,346	604	50,452	21,655,291	433
Bogota(7)	45,490	25,255,721	561	21,471	9,540,895	454
Tomine R	--	--	--	--	--	--
Bogota(8)	--	--	--	--	--	--
Sisga R	--	--	--	--	--	--
Bogota(9)	66,481	19,211,290	223	40,819	36,593,899	914
Total		413,161,428	417		188,003,314	402

CAPITULO 2 Subsistencia de terrenos

Hay referencias ocasionales a la subsidencia superficial, en relación con la extracción excesiva de agua subterránea en la Sabana de Bogotá y la así llamada subsidencia, que puede observarse en manchas limitadas en Bogotá D.C. será clasificada en las siguientes 3 clases:

- “Olas” y grietas en carreteras pavimentadas
- Grietas en las paredes y suelo de casas y edificios
- Hundimiento de tierra en parques y otros sitios sin carga superficial

De hecho, “la exposición” de la cubierta de los pozos, que sugiere justamente subsidencia alrededor del pozo, no se observa en ninguna parte. No debemos hacer ninguna conclusión firme en la actualidad, antes que se hayan realizado la observación de detalles y el análisis en este campo. Sin embargo, de momento, el razonamiento siguiente sería posible.

(un) Terrenos blandos, con volúmenes ricos de arcilla y limo y capacidad de carga pobre, de menos de 3 toneladas, son extensamente encontrados en el área del estudio. Así, los rellenos de tierra y la instalación de estructuras en la superficie, si se hace alguna, pueden causar una consolidación en zonas superficiales de los terrenos (en zonas superficiales).

(b) La construcción de vivienda o las construcciones en terrenos de pobre capacidad de soporte, sin buenos trabajos de fundación, podrían causar consolidación por sobre carga.

(c) Sin embargo, la consolidación de terrenos en zonas de tierra profunda, debida a la extracción excesiva de agua subterránea, no se ha confirmado nunca.

Como el balance hídrico en la cuenca no se espera que se esté inclinando hacia el lado del déficit, la ocurrencia de subsidencia, que se relaciona con el agua subterránea es difícil de creer. Sin embargo, según un análisis estadístico dirigido por el Equipo de Estudio, se observa un descenso del nivel de la tabla de agua en la cuenca. Por consiguiente, una observación de largo plazo y un análisis de la subsidencia (consolidación o elástica) relacionada con la extracción de agua subterránea es requerida con urgencia.

CAPITULO 3 Calidad del Agua del Río y Material Malo del Río

Tabla 3.1 Resultado del Análisis del Río Bogotá

	NH ₄ -N Mg/l	NO ₃ -N Mg/l	NO ₂ -N Mg/l	T-N Mg/l	Cl Mg/l	SO ₄ Mg/l	H ₂ S Mg/l	Cu µg/l	Cr µg/l	Fe Mg/l	Mn µg/l	TCU	Disuelto O ₂ mg/l
Origin	n.d	0.1	6	6.1	0.2	2	2	1	1.5	0.2	4.8	20	7.8
Choconta	0.01	0.31	6	6.32	11.7	2	4	1	34	0.2	23	90	7.8
Before Tibitoc	0.74	0.24	14	15	6.75	2	2	4.9	1.7	0.5	28	120	2.6
Amarillo	n.d	0.86	51	51.9	19.2	2	2	5.1	1.6	0.3	30	70	1.4
Tunjuero	21.7	0.12	6	27.8	38.7	23.5	6	5.2	19	1.28	71	120	0.8
Allcachin	1.59	0.66	39	41.25	24.9	2.64	4	1	2.8	0.52	63	70	2.3
Vargas	21.7	0.1	6	27.8	3.55	2	8	2.5	6.2	0.68	81	200	0.4

Tabla 3.2 Análisis de Agua del Río Bogotá en la Unidad de Purificación de TIBITOC

	D.O, mg/l	TCU	T-Fe, mg/l	No ₃ -N,mg/l	Mn, µg/l
TOCANCIPA					
Ene.	3.81	66	1.73	0.4	0.03
Abr	3.31	91	1.7	0.6	0.051
Jul	4.04	58	1.94	0.53	0.02
Oct	4.26	64	1.58	0.5	0.029
BOCA TOMA(S)					
Ene.	3.18	66	1.77	0.31	
Abr	3.57	90	2.05	0.69	
Jul	3.83	63	1.99	0.54	
Oct	3.66	66	1.66	0.58	
BOCA TOMA(N)					
Ene.	3.45	62	1.93	0.45	0.37
Abr	3.94	85	2.05	0.83	0.038
Jul	3.83	64	2.03	0.54	0.027
Oct	4.11	67	1.53	0.46	0.46