

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

**INFORME FINAL
INFORME SOPORTE**

PARTE 7

ANÁLISIS ISOTÓPICO

**Informe Final
(Informe Soporte)**

Parte 7 Análisis Isotópico

Tabla de Contenido

	Pag
Tabla de Contenido	i
Lista de Tablas y Figuras	ii
	Pag
CAPITULO 1 PUNTOS DE MUESTREO E ITEMS PARA EL ANÁLISIS	7-1
CAPITULO 2 RESULTADO DEL ANÁLISIS.....	7-3
CAPITULO 3 CONSIDERACIONES SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS ISOTÓPICAS DEL AGUA DEL POZO	7-3

Lista de Tablas y Figuras

	(Pag)
Tabla-1.1 Selección de los Pozos para el Análisis Isotópico.....	7-1
Tabla-2.1 Resultados del Análisis Isotópico	7-3
Figura-1.1 Distribution map of Isotopic Analysis wells.....	7-2
Figure-3.1 Analysis results of D and ¹⁸ O.....	7-6

PARTE - 7 ANÁLISIS ISOTÓPICO

El análisis isotópico se llevó a cabo con base en las muestras recolectadas de 20 pozos en la Fase I, Febrero de 2001 y 10 pozos en Agosto de 2002 la Fase III, para estimar la recarga y el flujo de agua subterránea en la Sabana de Bogota. Una muestra del agua del nacedero del río Bogota fue analizada de la misma manera.

CAPITULO 1 Puntos de Muestreo e Items para el Análisis

Los pozos de muestreo para el análisis isotópico fueron seleccionados como se muestra en la Tabla- 1.1 y en la Figura-1.1, de los pozos de acuíferos comunes en la Sabana de Bogotá basándose en la base de datos existente de cerca de 3,000 pozos.

Tabla-1.1 Selección de los Pozos para el Análisis Isotópico

Items		Carbón 14 (¹⁴ C)	Tritio (³ H)	Deuterio (D o ² H) e Hidrogeno (¹ H)	18-Oxígeno (¹⁸ O) y 16-Oxígeno
Objetivo del Análisis		Determinar la edad del agua subterránea antigua (> 5000 años)	Confirmar la existencia de agua subterránea muy joven(40 años)	Examinar los orígenes, mezcla y mecanismo de flujo del agua subterránea	
Criterios de Selección		<ul style="list-style-type: none"> Principalmente Cretácea, aunque para todos los acuíferos localizada en la mitad de la cuenca 	<ul style="list-style-type: none"> Principalmente Cuaternaria, aunque desde todos los acuíferos Seleccionar de toda el área de estudio Evitar la doble selección de los mismos pozos debido a la disponibilidad de sus propios resultados del análisis isotópico. 		
No. de Pozos	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)

Nota: () Numero de analisis isotopicos en la Fase 3

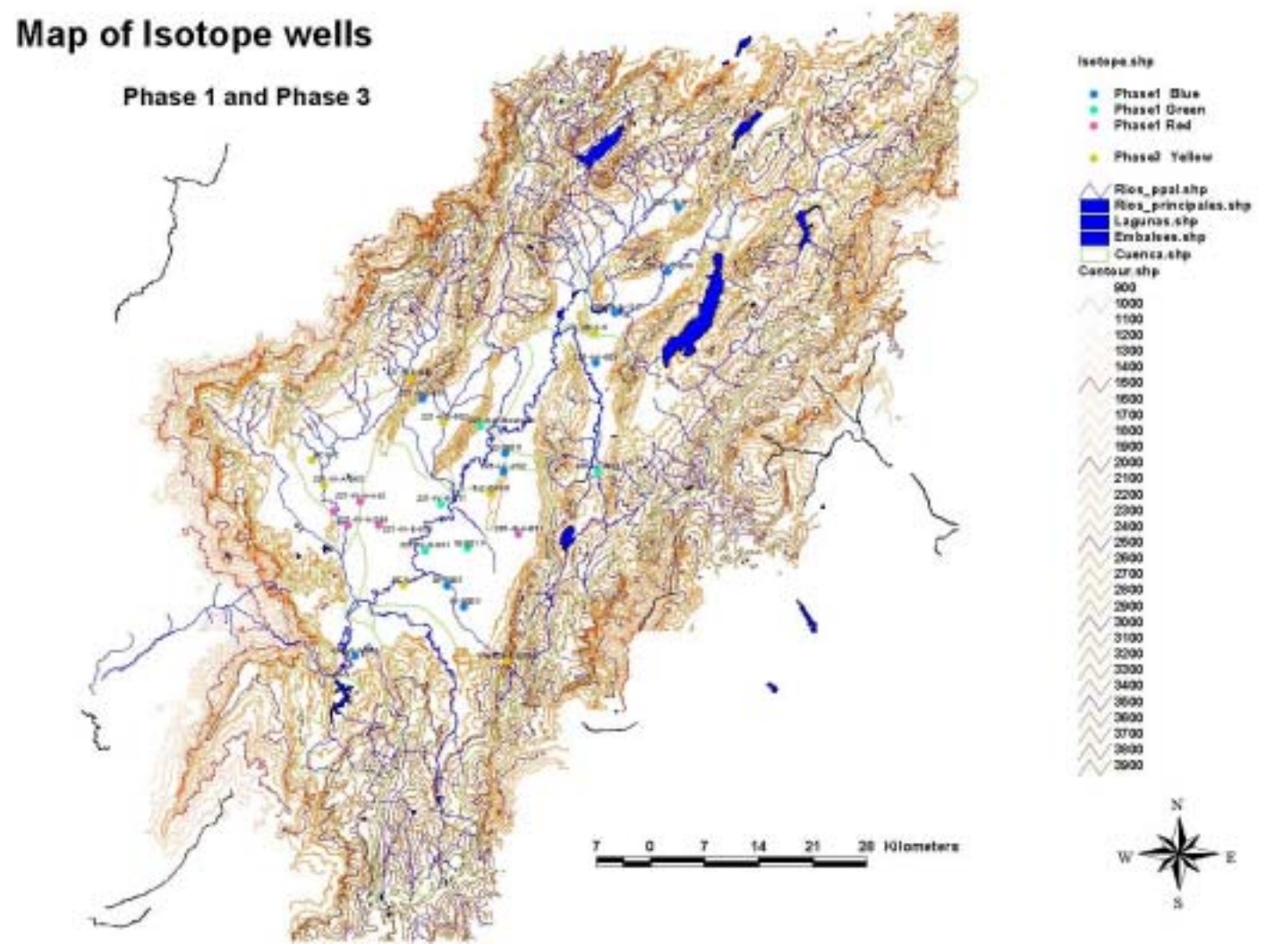


Figura-1.1 Distribution map of Isotopic Analysis wells

CAPITULO 2 Resultado del Análisis

Los resultados del análisis isotópico se muestran en la Tabla-2.1 y fueron resumidos por los ítems a continuación.

En la fase 3 del estudio, en análisis de tritio fue omitido. La razón fue por que el análisis isotópico de la fase 3 tenía el propósito de complementar el de la fase 1, el análisis fue ejecutado sobre C14, O12 y O16. De acuerdo a los resultados de la fase 3 se reconoció que no había diferencias significativas entre los resultados de la fase 3 y la fase 1 y no había agua subterránea mas joven válida par el análisis de tritio.

Tabla-2.1 Resultados del Análisis Isotópico

Phase	No.	Well	Basin	Aquifer	Water Depth m	¹⁴ Cyear	TR	¹⁸ O ‰	D ‰
Ph-1	1	246- -A-061	BOGOTA(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	G. Guadalupe	-	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	BOGOTA(2)	Tertiary	170	24180 ± 110	0.38	-10.97	-63.66
	6	08-0007	BOGOTA(2)	Guadalupe	450	-	0.40	-11.77	-73.94
	7	227- -B-561	BOGOTA(2)	Sabana	115	-	Na	-10.95	-43.13
	8	11-0010	BOGOTA(2)	Sabana	251.8	-	0.45	-10.22	-86.52
	9	22-0078	BOGOTA(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	BOGOTA(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	BOGOTA(3)	F. Sabana	82	-	0.56	-11.47	-70.38
	14	209- -B-170	NUESA	F. Cacho	-	-	0.42	-10.67	-66.14
	15	227- -D-1115?	BOGOTA(2)	Guadalupe	-	-	0.44	-11.48	-41.79
	16	227- -A-442?	SUBACHOQUE	Sap-Subacho	353	-	0.57	-10.68	-73.77
	17	227- -B-577?	BOGOTA(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	BOGOTA(2)	F. Sabana	192	-	0.47	-11.36	-66.90
	20	10-0011	BOGOTA(2)	F. Sabana	120	-	0.44	-11.55	-54.54
Ph-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	BOGOTA(3)	Guadalupe ?		4620 ± 40		-10.39	
	25	E-2 EAAB	BOGOTA(3)	Guadalupe	389	9430 ± 40		-9.55	
	26	JICA1 EAAB	BOGOTA(3)	Sabana	196	29750 ± 270		-10.31	
	27	JICA2	SUBACHOQUE(2)	Sabana	192	33110 ± 380		-10.37	
	28	JICA5	BOGOTA(7)	Sabana	188	20640 ± 90		-9.51	
	29	JICA6	BOGOTA(9)	Tilata	188	1690 ± 40		-10.54	
	30	Nacimiento Rio	BOGOTA					-9.99	

TR : Tritium Unit (1TR includes 1 tritium ion out of 1018 hydrogen ion.Before abbreviated TU)

Na : Lower than detectable value

: { (Isotopic ratio of sample data) - (Isotopic ratio of SMOW) } / (Isotopic ratio of SMOW)
value is shown in permillage(‰) .

CAPITULO 3 Consideraciones sobre las Características Isotópicas del Agua del Pozo

Las consideraciones en cada ítem del análisis isotópico son las siguientes.

(1) Carbón 14 (¹⁴C)

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 la capa del cretáceo es más 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-HCO_3) 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.

(a) Tritio (3H)

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 más 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 más elevada es la altitud del nivel del mar, la concentración de tritio será más baja. Considerando que el área 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.

(b) Deuterio y 18-Oxígeno

El resultado de los análisis de deuterio y oxígeno 18 de la fase 1 se muestra en la Figura-7.2. 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 $\delta D = 9,3868 \delta^{18}\text{O} + 35,631$ que es casi paralela con la línea meteorológica global ($\delta D = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$) 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 $\delta D = 1,7844 \delta^{18}\text{O} - 54,224$ que tiene una baja inclinación e intercepta la línea meteorológica global. Como este distrito pertenece a 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 ^{18}O . 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 agua 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.

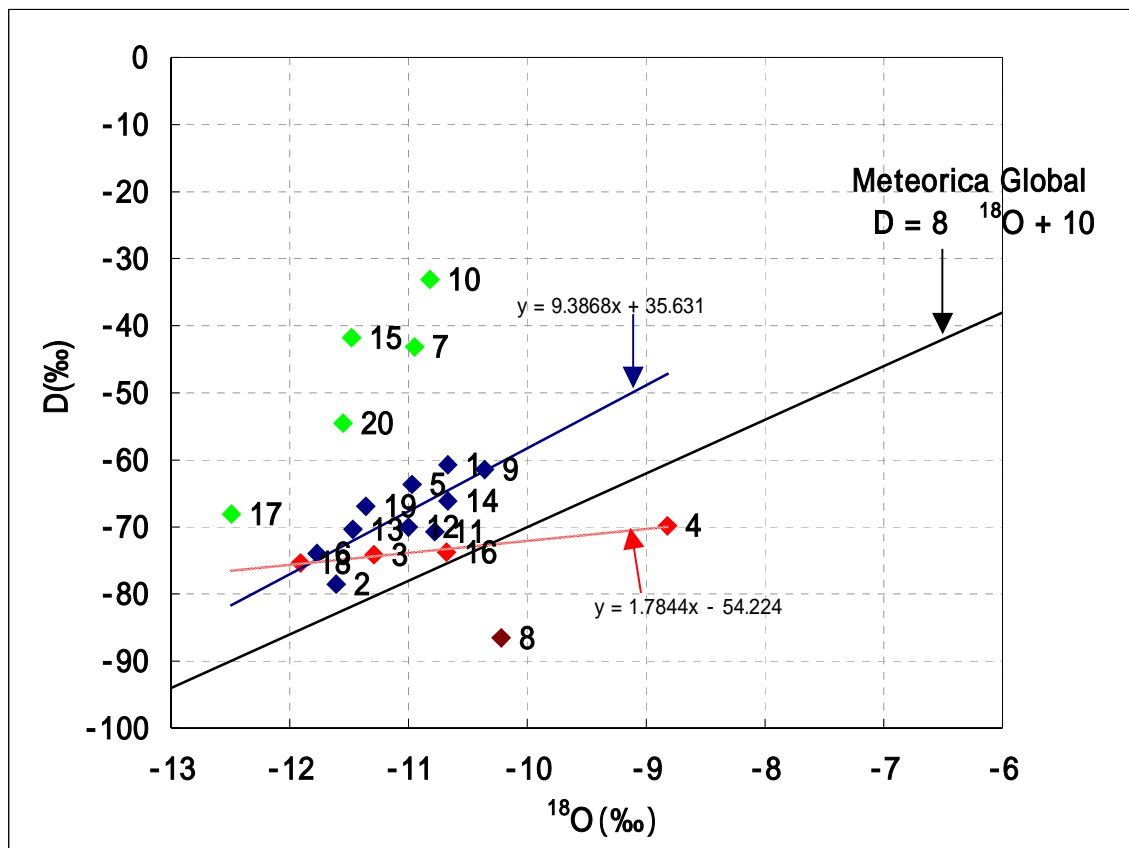


Figure-3.1 Analysis results of D and ^{18}O

Conclusión

- La edad del agua subterránea indicada por el C14 es de 7,700 a 23,000 años de antigüedad. Sin embargo, la edad del agua subterránea podría ser menor debido a que el análisis del carbono podría contener carbono muerto extraído del sitio.
- El análisis de tritio muestra que la edad del agua subterránea puede ser 40 años mas vieja que lo que indica el análisis anterior.
- El radio isotópico entre hidrogeno y oxigeno muestra que la fuente del agua subterránea es principalmente agua lluvia aunque cabria la posibilidad de cambio del radio isotópico debido a reacciones entre el agua subterránea y rocas.