

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

**INFORME FINAL  
INFORME SOPORTE**

**PARTE 6**

**PRUEBAS DE LA CALIDAD DEL  
AGUA DE LOS POZOS**

**Informe Final  
(Informe Soporte)**

**Parte 6 Pruebas De La Calidad Del Agua De Los Pozos**

**Tabla de Contenido**

	Pag
Tabla de Contenido .....	i
Lista de Tablas y Figuras .....	ii
	Pag
<b>CAPITULO 1 PUNTOS DE MUESTREO E ÍTEMS PARA LAS PRUEBAS DE LA CALIDAD DEL AGUA .....</b>	<b>6-1</b>
<b>CAPITULO 2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LA CALIDAD DEL AGUA .....</b>	<b>6-7</b>
2.1 Comparación de los estándares para agua potable .....	6-7
2.2 Comparación con las normas de calidad para las agua crudas.....	6-17
2.3 Resultado de las pruebas de la calidad del agua de río de río .....	6-22
<b>CAPITULO 3 CONSIDERACIONES SOBRE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE POZO.....</b>	<b>6-23</b>
3.1 Las características de la calidad de las aguas en la Sabana de Bogotá .....	6-23
3.2 Características de hidrogeológicas .....	6-23
3.3 Características de la calidad del agua de río y su relación con la calidad del agua de pozo. ....	6-35
3.5 Conclusiones .....	6-41

## **Lista de Tablas y Figuras**

	(Pag)
Tabla 1.1	Puntos de muestreo para las pruebas de calidad del agua de pozos e ítems * * * 6-2
Tabla-1.2	Especificaciones de los pozos de muestreo * * * * * 6-6
Tabla-2.1	Valores estándar de la calidad del agua para agua potable, y cantidad de pozos que exceden los valores estándar * * * * * 6-8
Tabla-2.2	Los estándares de calidad para las aguas crudas utilizables para beber y vivir si se las trata, y el número de pozos que exceden los estándares * * * * * 6-19
Tabla-2.3	Número de pozos en cada acuífero, que exceden los estándar de calidad de las aguas crudas utilizables para tomar y vivir si se tratan * * * * * 6-20
Tabla 2.4	Normas de calidad de agua aceptable para agua cruda utilizable en agricultura, y número de pozos que exceden la norma * * * * * 6-21
Tabla 2.5	Normas de calidad de agua aceptable para agua cruda utilizable en la ganadería, y número de pozos que exceden las normas * * * * * 6-22
Tabla 2.6	Normas de calidad de agua aceptable para aguas crudas utilizables para recreación, y el número de pozos que excedió las normas * * * * * 6-22
Tabla 3.1	Parámetros para la selección de agua cruda para beber * * * * * 6-38
Tabla 3.2	Parámetros seleccionados para el agua cruda agrícola * * * * * 6-39
Tabla 3.3	Peso de los parámetros seleccionados del agua cruda para Beber * * * * * 6-40
Tabla 3.4	Peso de los parámetros seleccionados del agua para agricultura * * * * * 6-40
Figura-1.1	Mapa de distribución de pozos (Fase 1) * * * * * 6-3
Figura-1.2	Mapa de distribución de pozos (Fase 2) (continuación) * * * * * 6-4
Figura-1.3	Mapa de distribución de pozos (Fase 3) (continuación) * * * * * 6-5
Figura 3.1	Balance iónico entre los cationes mayores y aniones (Fase 1) * * * * * 6-24
Figura 3.2	Balance iónico que excluye SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup> (Fase 1) * * * * * 6-24
Figura 3.3	Balance iónico entre los mayores cationes y aniones (Fase 2) * * * * * 6-24
Figura 3.4	Balance iónico entre los mayores cationes y aniones (Fase 3) * * * * * 6-25
Figura 3.5	Diagrama Tri-lineal –Cuaternario- * * * * * 6-26
Figura 3.5	Diagrama Tri-lineal–Terciario-(continuación) * * * * * 6-26
Figura 3.5	Diagrama Tri-lineal Diagram-Cretaceous-(continuación) * * * * * 6-27
Figura-3.6	(1) Diagrama hexagonal del acuífero del Cuaternario (Fase 2) * * * * * 6-29
Figura-3.6	(2) Diagrama hexagonal del acuífero del Terciario (Fase 2) * * * * * 6-30
Figura-3.6	(3) Diagrama hexagonal del acuífero del Cretáceo (Fase 2) * * * * * 6-31
Figura-3.7	Análisis de racimo de la calidad del agua de pozos * * * * * 6-32
Figura-3.8	(1) Diagrama hexagonal del acuífero del Cuaternario (Fase 3) * * * * * 6-33

Figura-3.8 (1) Diagrama hexagonal del acuífero del Cuaternario (Fase 3) .....	6-33
Figura-3.8 (2) Diagrama hexagonal del acuífero del Cretáceo (Fase 3) .....	6-34
Figura-3.9 Análisis de racimo de los datos de las pruebas de calidad del agua de río. ..	6-35
Figura-3.10 Diagrama tri-linear (Agua superficial de río) .....	6-36
Figura-3.11 Diagrama hexagonal del agua de río (Fase 3) .....	6-37
Figura 3.12 Un esquema de evaluación de la calidad de agua crudas en las cuencas .....	6-39
Figura-3.13 Un puntaje relativo propuesto para los parámetros .....	6-40

## **PARTE - 6 PRUEBAS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS POZOS**

Las pruebas de la calidad del agua de los pozos se llevaron a cabo en tres fases, con el fin de evaluar las aguas subterráneas de la Sabana de Bogotá, desde los puntos de vista tanto ambiental como hidrogeológico. El estudio de la Fase-1 se realizó en 99 pozos desde Febrero a Marzo del 2001, el estudio de la Fase-2 se realizó en 104 pozos desde Octubre a Noviembre del 2001 y el estudio de la Fase-3 se realizó en 70 pozos desde Agosto a Septiembre del 2002.

### **CAPITULO 1 Puntos de muestreo e ítems para las pruebas de la calidad del agua**

Los puntos de muestreo para la calidad del agua de los pozos fueron seleccionados, de pozos alrededor de los ríos, pozos en las áreas agrícolas, pozos en las áreas industriales, pozos para análisis isotópicos y pozos en las otras áreas, como se muestra en la Tabla-1.1 y en la Figura-1.1. En la selección de los pozos de muestreo, el Equipo de Estudio examinó y seleccionó cerca de 3,800 pozos mediante la base de datos de pozos existentes en INGEOMINAS. Los puntos de muestreo fueron acuíferos típicos que están distribuidos por el área del estudio. En total se inspeccionaron 104 pozos en la Fase 2 y se excluyeron 4 de los 99 pozos probados en la Fase 1, y se agregaron 1 pozo en el Distrito de Tabio y 8 pozos recientemente perforados (6 por el Equipo del Estudio y 2 por la EAAB). Los 4 pozos fueron excluidos porque mostraron valores que exceden los parámetros normales no relacionados con la salud humana solamente, en menos de 4 ítems y no eran pozos para los análisis de isotopía y no están localizados en el acuífero de Guadalupe. En los estudios de la Fase 3, también fueron ejecutadas pruebas de calidad de aguas en 70 pozos, para confirmar los resultados de los estudios de la Fase 1 y 2.

Se seleccionaron ítems de prueba para cubrir 6 categorías (parámetros químicos relacionados con la salud humana, parámetros relacionados con el sabor, olor y color, parámetros inorgánicos, parámetros orgánicos, agroquímicos y bacterias). Sin embargo, se inspeccionaron parámetros orgánicos a los pozos en las áreas industriales y agroquímicos en las áreas agrícolas.

En la Tabla 1.2 se muestran las características técnicas de los pozos de muestreo. Esos pozos que no tienen información sobre acuíferos (color azul en la Tabla 1.2) se estimaron mediante el mapa geológico, marcado con un círculo O y categorizando en los acuíferos del Cuaternario, Terciario, y del Cretáceo.

Por otro lado, en el estudio de la Fase 3, se hicieron nuevos esfuerzos para analizar la calidad de las aguas del río con el fin de ganar información básica relacionada con la calidad del agua del inventario del medio ambiente y la recarga artificial. El muestreo de las aguas superficiales se realizó en 18 lugares de los ríos principales. Los ítems de las pruebas fueron los mismos usados para las pruebas de calidad del agua de los pozos.

También se tomaron 4 muestras de sedimento de lecho de río y se probaron para los siguientes ítems: Cu, Pb, Cd, Se, As, Cr, Hg, Cn, *Escherichia coli* y el grupo de bacterias *Coliformes*.

**Tabla 1.1 Puntos de muestreo para las pruebas de calidad del agua de pozos e ítems**

Items	Fase 1		Fase 2		Fase 3	
1. Puntos de muestreo (Total)	99		104		70	
- pozos alrededor de los Ríos	33		33		18	
- pozos en Áreas Agrícolas	5		5		5	
- pozos en Áreas Industriales	5		5		5	
- pozos para el Análisis Isotópico	20		20		9	
- pozos en Otras Áreas	36		42		33	
2. Temas a analizar	Alrededor de los Ríos	Área agrícola	Área industrial	Análisis Isotópico	Otras Áreas	
Parámetros físico químicos relacionaron con gusto/olor/color Parámetros inorgánicos	Arsénico, Boro, Cadmio, Cromo, Cianuro, Flúor, Lleva, mercurio total, Níquel, Nitratos, Nitritos, Selenio, Antimonio, Bario, Berilio, Cobre, Manganeso, Molibdeno, Cobre,					
Parámetros orgánicos	Colore, Olor, Turbidez, Temperatura, índice Langelier, Conductividad,					
Agroquímicos	Aluminio, Amoníaco, Cloruro, Dureza, sulfuro de Hidrógeno, Hierro, oxígeno Disuelto (sólo Fase 2), pH, Sodio, Sulfatos, sólidos totales disueltos, zinc, Magnesio, Potasio, Ion de Bicarbonato, Carbonatos, Calcio, Alcalinidad, Acidez,					
Bacterias	--	--	--	--	--	
Parámetros físico químicos relacionaron con gusto/olor/color	Tolueno, Xyleno, Benceno,					
	--	--	--	--	--	
	Aldicarb, Carbofuran, Aldrin, Endrin, Dieldrin, Chlordane, Linuron, P, p-DDT, o-p DDT, p-p DDT, Permetrina, 2-Clorofenol, 2, 4, 6-Triclorofenol, Endosulfan I, Endosulfan II, Endosulfan S042-, Heptachlor, Heptachlorepoxyde, Lindane, Metolachlor, Atrazine, Bentazone, Profenofos, Clorpirifos, Triclorfos, 2, 4-D, Methoxychlor, Simazine, Trifluralin, 2, 4-DB, Dichlorprop, Malation, Etil Paration, Metil Paration, 2, 4, 5-T, PCP, Diazinon, Permethrin, 2, 4, 5-TP					
	Escherichia coli, bacterias <i>Coliformes</i>					

: probado -- : no probado

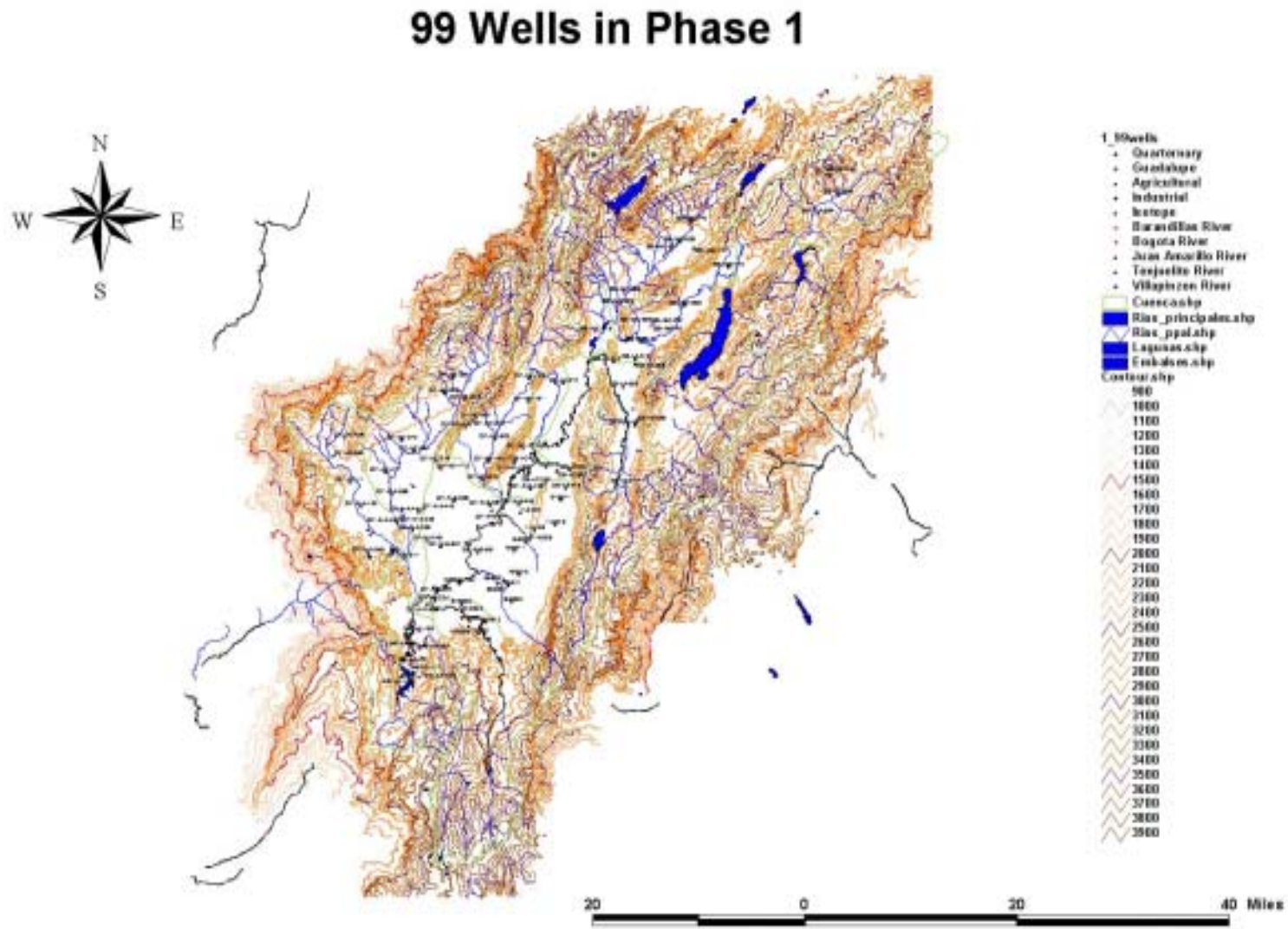


Figura-1.1 Mapa de distribución de pozos (Fase 1)

### 104 Wells in Phase 2

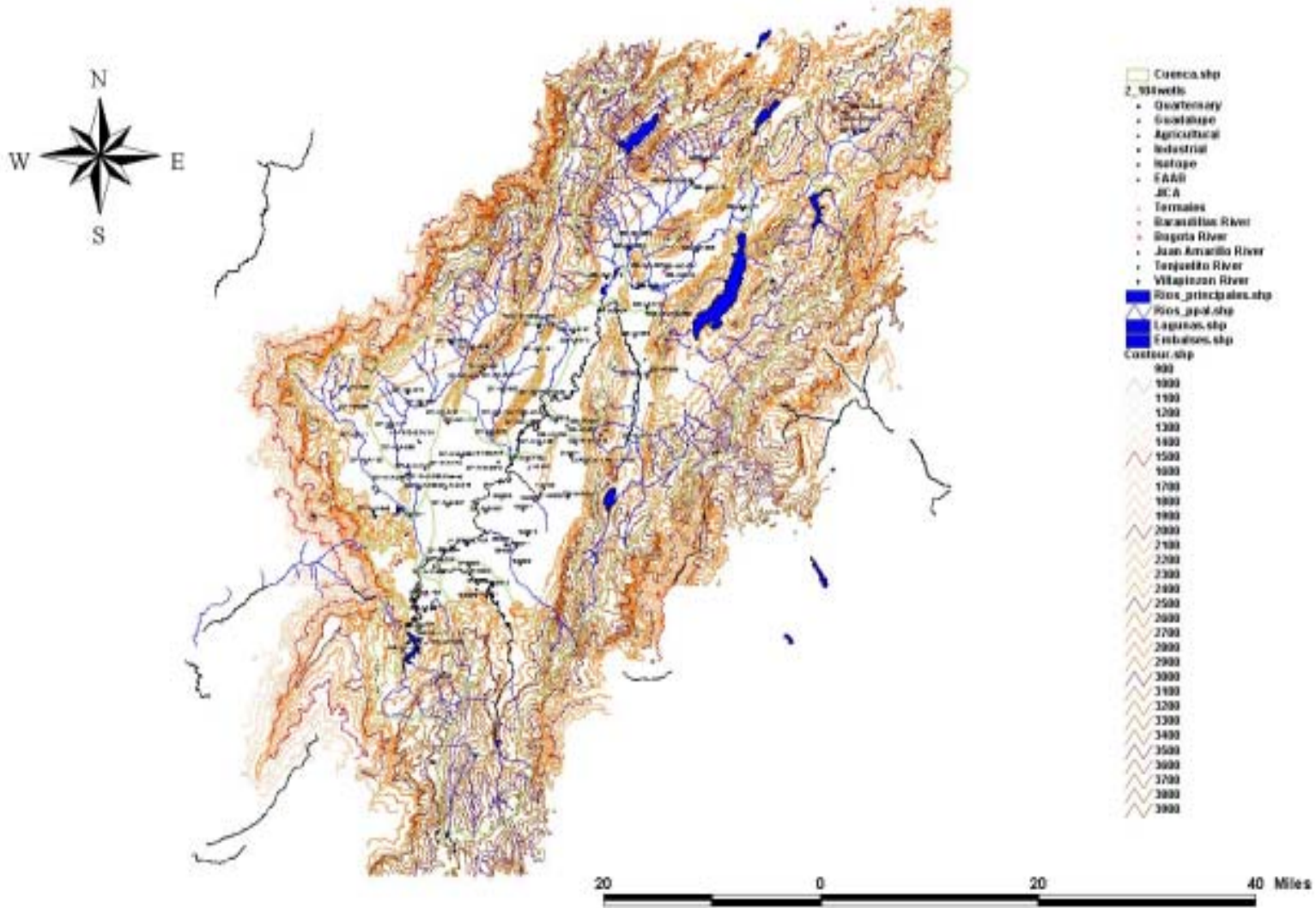


Figura-1.2 Mapa de distribución de pozos (Fase 2) (continuación)



### 70 Wells in Phase 3

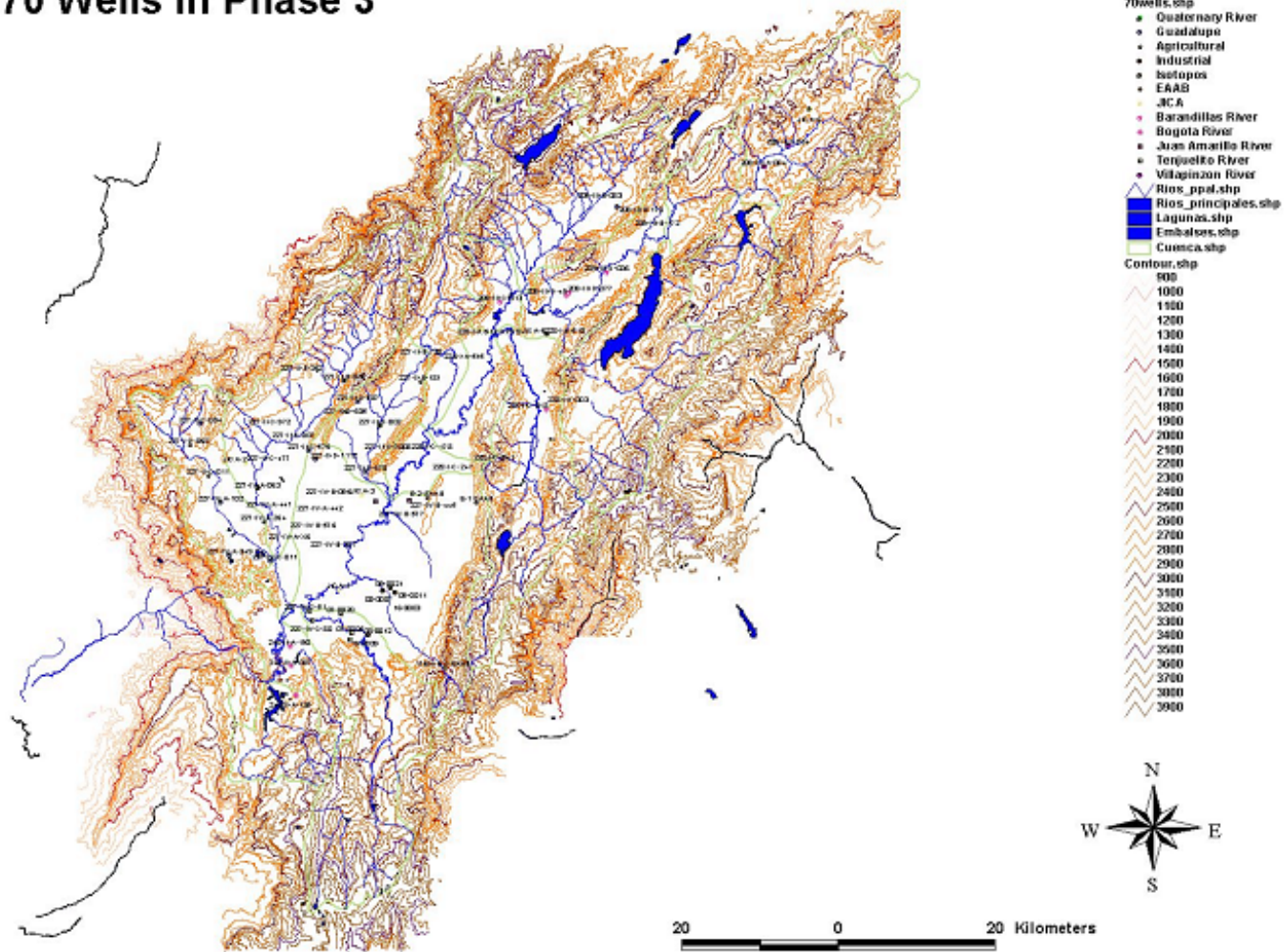


Figura-1.3 Mapa de distribución de pozos (Fase 3) (continuación)

**Tabla-1.2 Especificaciones de los pozos de muestreo**

Well No.	No.	Well No.	Basin	NAME	TOWN	COORDINATES		ACQUIFER SYSTEM	estimated aquifer			USE	depth (m)	Ph-1	Ph-2	Ph-3	
						EAST	NORTH		Quaternary	Tertiary	Cretaceous						
VILLAPINZON	4b	VL04b	209-IV-A-004	20	EL ESPARTILLAL	CHOCONTA	1042.680	1059.900	F. Sabana				HUMAN	7	o	x	o
	1	VL1	104015	8	COMPENSAR 1	BOGOTA	997.324	1007.141						201	o	o	x
	2	VL2	209-IV-D-054	20	EL TABLON	CHOCONTA	1045.760	1062.640	F. Sabana				HUMAN	160	o	o	o
	3	VL3	209-IV-D-093	20	LA ESPERANZA	CHOCONTA	1048.400	1067.200	Grad-Cadlure				IRRIGATION	100	o	o	o
BARANDILLAS	4	BA-1a	209-III-C-032	15	BALSORA	ZIPAOQUIRA	1012.340	1046.670	F. Sabana				IRRIGATION	70	o	o	x
	4a	BA-1a	209-III-B-077	15	LA RAMADA		1020.780	1054.660	F. Sabana				IRRIGATION	97	o	x	x
	5	BA-2	209-III-C-013	14	HDA. SUSASI CA	ZIPAOQUIRA	1009.640	1042.630	F. Sabana				IRRIGATION	60	o	o	o
	6	BA-3	209-III-C-095	16	ZIPATOCCA	TOCANCIPA	1015.000	1044.000	F. Sabana				IRRIGATION	70	o	o	x
	7	BA-4	209-III-C-069	15	SAN MIGUEL	ZIPAOQUIRA	1013.370	1048.430	F. Sabana				HUMAN	120	o	o	x
	8	BA-5	209-III-D-077	16	ESC. PORVENIR	TOCANCIPA	1017.880	1043.860	F. Sabana				HUMAN	60	o	o	o
JUAN AMARILLO	9	BA-6	209-III-D-49	16	BGA GOLF 1	TOCANCIPA	1017.555	1043.482	F. Sabana				HUMAN	60	o	o	o
	10	JU-1	227-IV-B-445	8	Flores Colorbianas	BOGOTA	997.348	1017.280	F. Sabana				FLOWERS	0	o	o	o
	11	JU-2	104020	8	SERVICENTRO EL RADAR	BOGOTA	993.495	1021.038	F. Sabana					80	o	o	x
	12	JU-3	11-0106	8	TEXACO TIBABUYES	BOGOTA	997.600	1016.150	F. Sabana					200	o	o	x
	13	JU-4	227-IV-B-361	8	ROSAS COYA	COYA	993.120	1017.170	F. Sabana				FLOWERS	123	o	o	o
	14	JU-5	11-0138	8	INVERSIONES BELLO MONTE	BOGOTA	999.850	1013.500	F. Sabana					143	o	o	o
	15	JU-6	11-0026	8	LOS TAGARTOS 2	BOGOTA	999.250	1021.660	F. Sabana					60	o	o	x
	16	JU-7	07-0026	8	LUBRICENTRO EL MORISCO	BOGOTA	998.306	1011.175	F. Sabana					85	o	o	x
	17	JU-1	227-IV-C-044	8	ISLA LA VIEJTA		984.930	1004.550									
	18	TU-2	227-IV-C-51	8	LAS MERCEDES		984.660	1003.250									
TUNJUELLITO RIVER	19	TU-3	227-IV-C-56	8	BOSATAMA		983.495	1002.795									
	20	TU-4	227-IV-C-80	7	RCN		984.995	1001.940									
	21	TU-5	07-0022	7	CLARETIANO	BOGOTA	988.721	1001.657						63	o	o	x
	22	TU-6	07-0020	7	CONSULTORIO	BOGOTA	988.701	1002.829									
	23	TU-7	17-0001	7	COITERPIEL	BOGOTA	991.350	998.460									
	24	TU-8	17-0005	7	CARBOQUIMICA 2	BOGOTA	989.990	1000.375									
	25	TU-9	19-0009	7	INDUMIL 1	BOGOTA	989.842	999.552	QUATERNARY								
	26	BO-1	246-II-A-104	3	Protocel - 2	SIBATE	981.445	994.280	F. Sabana				INDUSTRY	95	o	o	x
	27	BO-2	246-II-A-143	2	Indumil	SOACHA	978.970	991.025	F. Sabana				INDUSTRY	65	o	o	x
	28	BO-3	246-II-A-177	2	Ermit de Colombia - 2		980.815	993.645	Grad-Cadlure				INDUSTRY	450	o	o	x
BOGOYA RIVER	29	BO-4	246-II-A-135	2	Accion Comunal Chacua ISS	SIBATE	982.940	992.460	F. Sabana				HUMAN	64	o	o	o
	29a	BO-4a	246-II-A-087	3	TORINO	SOACHA	982.370	996.170	F. Cuaternario				INDUSTRY	92	o	x	o
	30	BO-5	246-II-A-190	3	INDUMIL 3	SOACHA	982.180	998.700	F. Cuaternario				INDUSTRY	101	o	o	o
	31	AG-1	227-IV-D-605	9	HATO BLANCO	TENJO	989.275	1028.640	F. Sabana				IRRIGATION	59	o	o	o
	32	AG-2	227-IV-C-01111	5	E.A.A. FACATATIVA	FACATATIVA	971.790	971.790	G. Guadalupe				HUMAN	197	o	o	o
	33	AG-3	227-IV-A-0468	5	E.A.A. FACATATIVA	FACATATIVA	969.400	1024.010	G. Guadalupe				HUMAN	196	o	o	o
	34	AG-4	227-IV-A-264	5	E.A.A. MADRID	MADRID	978.860	1014.560	G. Guadalupe				HUMAN	394	o	o	o
	35	AG-5	227-IV-B-181	9	CUCHARO 3	TENJO	998.825	1023.420	F. Sabana				IRRIGATION	120	o	o	o
	36	IN-1	09-0011	8	Estacion Esso avenida Bovaca	BOGOTA	995.706	1005.595						190	o	o	o
	37	IN-2	09-0021	8	Hilacol No. 2	BOGOTA	995.042	1006.166						161	o	o	o
INDUSTRY AREA	38	IN-3	01-0011	8	PARMALAT	BOGOTA	1003.747	1017.976						80	o	o	x
	39	IN-4	08-0012	7	GASEOSAS COLOMBIANA 2	BOGOTA	992.233	1000.120						165	o	o	o
	40	IN-5	228-IA-510	13	LEONA	TOCANCIPA	1015.040	1038.330	F. Sabana				INDUSTRY	258	o	o	o
	41	GU-1	227-IV-A-949	8	AGRICOLA LA MONTANA	MADRID	973.420	1033.580	G. Guadalupe				INDUSTRY	387	o	o	o
	42	GU-2	227-IV-C-011	5	ACUED VEREDAL LOS PUENTES	MOSQUERA	979.800	1009.550	G. Guadalupe				HUMAN	200	o	o	o
	43	GU-3	227-IV-D-1112	8	Asediado La Punta	TENJO	985.450	1022.565	Saban-Gadlure				HUMAN	115	o	o	o
	44	GU-4	227-IV-D-016	9	ALTAMIRA 1	TENJO	990.420	1029.510	G. Guadalupe				FLOWERS	249	o	o	x
	45	GU-5	227-IV-D-670	9	FLORES LA GAFFANA	TENJO	991.908	1020.934	G. Guadalupe				IRRIGATION	178	o	o	o
	46	GU-6	227-IV-C-576	6	E.A.A. PUENTE PIEDRA	MADRID	984.641	1023.670	G. Guadalupe				HUMAN	150	o	o	o
	47	GU-7	227-IV-B-028	6	PROPAGAR PLANTAS S.A	SUBACHOQUE	989.160	1032.630	G. Guadalupe				IRRIGATION	70	o	o	o
GUADALUPE	48	GU-8	227-IV-A-063	6	FLORES S.A	MADRID	978.150	1008.820	G. Guadalupe				FLOWERS	448	o	o	o
	49	GU-9	227-IV-C-094	5	ECOPETROMINER MANCILLA	FACATATIVA	970.818	1027.100	G. Guadalupe				INDUSTRY	34	o	o	o
	50	GU-10	227-IV-A-102	5	HACIENDA ANGEL	BOGOTA	972.400	1017.080	G. Guadalupe				IRRIGATION	392	o	o	o
	51	QU-1	227-IV-B-307	8	SOLLA S.A	MOSQUERA	985.535	1011.140	F. CUATERNARIO				INDUSTRY	119	o	o	o
	52	QU-2	227-IV-A-441	6	FLORAMERICA 4	FUNZA	982.150	1016.290	F. Subachoque				INDUSTRY	370	o	o	o
	53	QU-3	227-IV-B-096	8	Flores de Funza	FUNZA	987.500	1017.870	F. Sabana				FLOWERS	470	o	o	o
	54	QU-4	227-IV-B-456	10	Licoo Juan Ramon Jimenez	BOGOTA	999.170	1019.540	F. Sabana				HUMAN	121	o	o	x
	55	QU-5	228-IA-518	8	Polo Club de Bogota	BOGOTA	1004.510	1019.700	F. Sabana				HUMAN	122	o	o	x
	56	QU-6	227-IV-C-477	6	VIVERO TISQUESI SA CAR	SUBACHOQUE	977.100	1022.060	F. Subachoque				IRRIGATION	293	o	o	o
	QUATERNARY	57	QU-7	228-IC-247	10	Colono Andino	BOGOTA	1003.110	1022.120	F. Sabana				HUMAN	60	o	o
58		QU-8	228-IC-041	10	Club Fontana	CHIA	1005.040	1023.280	F. Sabana				HUMAN	118	o	o	o
59		QU-9	227-IV-D-749	9	EL AMOLADERO	TENJO	992.850	1023.680	F. Sabana				IRRIGATION	147	o	o	x
60		QU-10	228-IC-018	13	San Prudencio		1014.950	1028.960	F. Sabana				IRRIGATION	68	o	o	o
61		QU-11	227-IV-D-802	9	LETICIA	TENJO	993.680	1026.860	F. Sabana				IRRIGATION	100	o	o	o
62		QU-12	228-IV-D-003	13	Hacienda Ingruma	SOPO	1015.440	1029.620	F. Sabana				IRRIGATION	110	o	o	o
63		QU-13	227-IV-C-972	6	FLORES CONDON 4-CONSTANCIA	SUBACHOQUE	979.630	1026.770	F. Subachoque				FLOWERS	172	o	o	o
64		QU-14	227-IV-B-252	6	HDA. TIBAGOTA	SUBACHOQUE	986.000	1033.600	F. Subachoque				IRRIGATION	172	o	o	o
65		QU-15	227-IV-C-007	6	FLORES MOCARI S.A	SUBACHOQUE	981.500	1025.100	F. Subachoque				FLOWERS	243	o	o	o
66		QU-16	227-IV-B-790	9	HACIENDA LOS SAUCES	TABO	998.990	1035.720	F. Sabana				IRRIGATION	80	o	o	o
ISOTOPE	68	IS-16a	227-IV-B-255	6	CONCEPCION EL VERDE	SUBACHOQUE	987.410	1035.890	F. Subachoque				IRRIGATION	127	o	o	o
	67	QU-17	228-IV-B-069	13	ALEJANDRIA	TOCANCIPA	1015.040	1037.815	Sub-Gadlure								
	68	QU-18	209 -B-172	16	DANDY	SUESCA	1029.150	1052.100	F. Sabana				FLOWERS	100	o	o	o
	69	QU-19	228-IA-512	11	JARDINES DEL ROSAL	CAJICA	1004.350	1033.600	Saban-Gadlure				IRRIGATION	0	o	x	o
	70	QU-20	228-IA-513-AP08	13	AP08	SOPO	1011.750	1038.250									
	71	QU-21	228-IA-515	11	VILLA SANT	CAJICA	1004.130	1035.120	F. Sabana				IRRIGATION	120	o	o	o
	72	QU-22	209-III-B-083	15	PACAYAL	NEMOCON	1019.830	1055.970	F. Sabana				FLOWERS	107	o	o	o
	73	QU-23	228-IC-178	10	FLORES ASTRO	BOGOTA	1000.370	1023.600	F. CUATERNARIO				FLOWERS	118	o	o	o
	74	QU-24	227-IV-D-1008	10	EL TESORO	COYA	996.640	1023.530	F. CUATERNARIO								

## **CAPITULO 2 Resultados de las pruebas de la calidad del agua.**

Todo los resultados de las pruebas están en la lista del Anexo Tabla 4.13 hasta el Anexo Tabla 4.15 del reporte principal.

### **2.1 Comparación de los estándares para agua potable**

#### **(1) Valores de los estándares para agua potable y pozos que exceden esos valores**

La Tabla-2.1 muestra los valores estándar de calidad de agua (Norma Colombia, Guía WHO y Normas del Japón) utilizable para el agua potable sin tratamiento alguno y el número de pozos que exceden el valor estándar en cada ítem.

**Tabla-2.1 Valores estándar de la calidad del agua para agua potable, y cantidad de pozos que exceden los valores estándar**

Test Items	Potable Water Standards			Number exceeded Standards		
	Colombian Standard	WHO Guideline	Japanese Standard	Phase 1	Phase 2	Phase 3
<b>Parameters related to Human Health</b>						
·Arsenic	0.01mg/l	0.01mg/l	0.01mg/l	0	0	0
·Boron(B)	0.3mg/l	0.5mg/l	0.2mg/l	0	3(0)	1(0)
·Cadmium(Cd)	0.003mg/l	0.003mg/l	0.01mg/l	3(1)	1(0)	0
·Chromium	0.01mg/l	0.05mg/l	0.05mg/l	0	2(0)	0
·Cyanide	0.1mg/l	0.07mg/l	0.01mg/l	1(0)	1(0)	0
·Fluoride	12mg/l	1.5mg/l	0.8mg/l	0	0	0
·Lead(Pb)	0.01mg/l	0.01mg/l	0.05mg/l	3(0)	0	0
·Mercury(Hg)	0.001mg/l	0.001mg/l	0.0005mg/l	0	0	0
·Nickel(NL)	0.02mg/l	0.02mg/l	0.01mg/l	1(0)	1(0)	0
·Nitrate	10mg/l	50mg/l	10mg/l	1(0)	4(0)	0
·Nitrite	0.1mg/l	0.2mg/l	10mg/l	1(0)	0	0
·Selenium	0.01mg/l	0.01mg/l	0.01mg/l	0	0	0
·Antimony	0.005mg/l	0.005mg/l	0.002mg/l	0	0	0
·Barium(Ba)	0.5mg/l	0.7mg/l	-	15(2)	18(2)	2(0)
·Beryllium(Be)	-	NAD	-	0	0	0
·Copper(Cu)	1.0mg/l	2mg/l	1.0mg/l	0	0	0
·Manganese	0.1mg/l	0.5mg/l	0.05mg/l	30(6)	38(10)	23(5)
·Molybdenum	0.07mg/l	0.07mg/l	0.07mg/l	0	0	0
<b>Parameters related to Taste, Odor and Color</b>						
·Color	≤15	15TCU	5°	89(19)	58(6)	58(10)
·Turbidity	≤5	5NTU	2°	66(17)	18(2)	45(8)
·Langelier Index	-	-	1 < , 0	89(18)	104(18)	63(13)
·Conductivity	50-1000µS/cm	-	-	13(3)	10(2)	12(3)
<b>Inorganic Parameters</b>						
·Aluminum	0.2mg/l	0.2mg/l	0.2mg/l	8(1)	0	0
·Ammonia	-	1.5mg/l	-	53(9)	60(7)	23(3)
·Chloride	250mg/l	250mg/l	200mg/l	1(0)	2(0)	1(0)
·Hardness	160mg/l	-	300mg/l	1(0)	1(0)	3(0)
·Hydrogen sulfide	-	0.05mg/l	-	89(17)	98(15)	67(13)
·Iron(Fe)	0.3mg/l	0.3mg/l	0.3mg/l	87(19)	70(11)	48(8)
·Dissolved Oxygen	-	-	-	-	-	-
·pH	-	-	5.8-8.6	9(3)	7(3)	5(1)
·Sodium	-	200mg/l	200mg/l	0	4(0)	3(0)
·Sulfate(SO4)	-	250mg/l	-	16(2)	0	0
·Total Dissolved Solids	≤500mg/l	1000mg/l	500mg/l	6(1)	7(0)	5(0)
·Zinc(Zn)	5mg/l	3mg/l	1.0mg/l	1(0)	0	0
·Magnesium	36mg/l	-	-	0	0	0
·Potassium	-	-	-	-	-	-
·Bicarbonate	-	-	-	-	-	-
·Carbonate	-	-	-	-	-	-
·Calcium	60mg/l	-	-	1(0)	0	0
·Alkalinity	100mg/l	-	-	58(8)	62(4)	41(3)
·Acidity	-	-	-	-	-	-
<b>Bacteria</b>						
·E.coli	Not detected	Not detected	-	9(2)	5(1)	4(1)
·Total coliform	Not detected	Not detected	Not detected	51(11)	55(9)	32(5)

( ) denota el número de pozos de agua potable que exceden el valor estándar entre los pozos actualmente en uso para beber.

denota el número de pozos de agua potable que exceden las Guías WHO

denota el número de pozos de agua potable que exceden las normas Japonesas

## (2) Ítems que exceden los valores estándar para el agua potable

El Equipo de estudio preparó un mapa de referencia que indica las posiciones y valores de los ítems que exceden los valores estándar. Esos ítems que exceden los valores estándar se describirán a continuación.

**(a) Substancias químicas que afectan la salud**

En todas las tres fases del estudio, no hubo pozos que excedieran el estándar para Colombia o las Guías WHO en los siguientes ítems: Arsénico, flúor, mercurio total, selenio, antimonio, berilio, cobre y molibdeno. Pero en otros ítems, hubo algunos pozos que excedieron el valor estándar en todas ellas. Los ítems que exceden o casi exceden los valores estándar se describirán a continuación.

**Boro** (calidad de agua potable norma colombiana: 0.3mg/l, Guías WHO: 0.5mg/l)

El agua de 3 pozos en la Fase 2 y 1 pozo en la fase 3, excedieron el valor estándar. El Boro crea varios compuestos químicos, pero en condiciones naturales, existe como bórax, particularmente en manantiales de aguas calientes o en el agua de mar (y sedimentos del océano), en una concentración relativamente alta. Los pozos que exceden las normas son todos del acuífero del Cuaternario y no tienen ninguna relación con sedimentos del océano, por lo tanto esos manantiales calientes y afloramientos minerales se suponen ser las fuentes de contaminación natural. Las tierras alrededor de estos pozos se usan principalmente para cultivos, pero el Boro también se usa en factorías que fabrican elementos dorados, vidrio, losa china y plantas de semiconductores de silicón. Es necesario inspeccionar si hay semejante clase de plantas en la vecindad de estos pozos.

**Cadmio** (calidad de agua potable norma colombiana: 0.003mg/l, Guías WHO: 0.003mg/l)

En la Fase 1 del estudio, 3 pozos excedieron los valores estándar, y uno de los 3 pozos excedió las normas en la Fase 2, pero ningún pozo excedió la norma en la Fase 3. El cadmio existe a menudo en la corteza de la tierra con zinc y contiene 1/100–1/200 de zinc, y fluye de una mina, pero su distribución no es igual a la distribución de zinc tal como se describe más tarde. Los pozos que excedieron las normas en ambas fases, se localizan en el acuífero del Cretáceo a lo largo del Río Bojacá. Alrededor de estos pozos hay tierras principalmente desnudas o pradera o tierras cultivadas. Se localizan otros 2 pozos cerca de la Laguna del Muña y están cerca del área de la ciudad. El cadmio se usa ampliamente en el proceso de metales, acabados dorados, pinturas, caucho o como material para fotografía y material de alfarería. Por consiguiente, la contaminación con cadmio supuestamente se debe a los desagües de estas fábricas.

**Cromo** (calidad de agua potable norma colombiana: 0.01mg/l, Guías WHO: 0.05mg/l)

En las pruebas de la Fase 2, dos pozos excedieron las normas, pero no había ningún pozo que las excediera en las Fases 1 y 3. Se cree que una fuente de contaminación con cromo es los desagües de cromo y otras minas y el cromado, el acero inoxidable, las pinturas y las curtiembres. Uno de los pozos que exceden las normas está localizado cerca de los manantiales calientes de Tabio y hay muchas curtiembres. La potencial fuente de

contaminación del pozo 227-II-D-802 cerca del Río de Chico es supone son estas curtiembres.

**Cianuro total** (calidad de agua potable norma colombiana: 0.1mg/l, Guía WHO 0.07mg/l)

En cada una de las Fases 1 y 2, un pozo excedió la norma de calidad de agua potable colombiana. También 3 pozos excedieron las Guías WHO en la Fase 1 y uno de los mismos pozos probado en la Fase 1 excedió el estándar WHO en la Fase 2. Pero ningún pozo la excedió en la Fase 3. Todos los pozos excepto el 227-II-D-587 a lo largo de un ramal del Río Chico, están en el acuífero del Cuaternario. Puesto que el agua natural contiene poco cianuro, se piensa que la fuente de contaminación es el desagüe de las plantas de recubrimientos cromados, las refinerías de metales y la industria de la fotografía. Los compuestos de cianuro tienen una toxicidad alta en general e incluso una cantidad diminuta de este, es un impedimento para los animales y plantas acuáticos, así como para los microorganismos que purifican aguas negras.

**Flúor** (calidad de agua potable norma colombiana: 12mg/l, Guía WHO: 1.5mg/l)

No había ningún pozo que excediera las normas, pero sólo el pozo 227-IV-A-264 mostró un valor alto de 1.46mg/l excepcionalmente comparado con los otros pozos. El flúor no se aliena en la condición natural pero existe como fluorita. Existe en las aguas calientes de manantiales o en el agua de mar, en una concentración relativamente alta. Se piensa que existen factores geológicos, porque este pozo está en el acuífero del Cretáceo que fue el origen de los océanos. Se usa para esmerilado de metales y el lavado de acero inoxidable.

**Plomo** (calidad de agua potable norma colombiana: 0.01mg/l, Guía WHO: 0.01mg/l)

En las pruebas de la Fase 1, 3 pozos excedieron las normas, pero no había ningún pozo que las excediera en las Fases 2 y 3. Se piensa que el factor geológico de contaminación del agua por plomo es el drenaje de una mina o de un terreno que contenga plomo, pero el plomo se usa para muchas cosas y generalmente se cree que la contaminación se debe a los drenajes provenientes de las plantas de pulimento, baterías de almacenamiento, pinturas y químicos agrícolas. También si se usan cañerías de plomo, este puede disolverse y fluir hacia el exterior.

**Níquel** (calidad de agua potable norma colombiana: 0.02mg/l, Guía WHO: 0.02mg/l)

Hubo un pozo que excedió las normas en las Fases 1 y 2, respectivamente. No hubo ningún pozo que las excediera en la Fase 3. El níquel se usa de varias formas en los materiales de las baterías, máquinas, muebles y monedas, así como en aleaciones y el niquelado del acero inoxidable. Los pozos probados durante la Fase 2 están cerca de las aguas termales de Tabio, pero el pozo probado en la Fase 1 está localizado en el acuífero del Cuaternario de una tierra cultivada, lo cual significa que hay poca posibilidad de que contenga desagües de factorías de aleaciones y de recubrimientos al níquel.

**Nitrógeno del nitrato** (calidad de agua potable norma colombiana: 10mg/l, Guía WHO: 50mg/l)

Uno pozo en la Fase 1 y 4 pozos en la Fase 2 excedieron las normas, pero no ningún pozo las excedió en la Fase 3. El nitrógeno del nitrato y nitritos es causado por la contaminación por fertilizantes en áreas agrícolas y de excretas y desagües de aguas negras en áreas de ciudad. Por lo tanto deberían verse en las capas poco profundas del acuífero del Cuaternario, pero en la Fase 1, se vieron en el pozo 227-II-D-016 en el acuífero del Cretáceo, que se usa para el cultivo de flores. Puede haber problemas con el muestreo de agua y que la estructura del pozo cause la mezcla de las aguas de las capas poco profundas.

**Nitrógeno de los Nitritos** (calidad de agua potable colombiana normal: 0.1mg/l, Guía WHO: 0.2mg/l)

En la Fase 1, se descubrió que el pozo 227-II-D-016 excedió los estándares del nitrógeno del nitrato. Ningún pozo excedió las normas del nitrógeno de los nitritos en las Fases 2 y 3.

**Bario** (calidad del agua potable norma colombiana: 0.5mg/l, Guía WHO: 0.7mg/l)

Hubo 15 pozos en el área occidental que excedieron las normas en la Fase 1, y 18 pozos en la Fase 2. También 2 pozos excedieron las normas en la Fase 3. El bario existe extensivamente en la corteza de la tierra, y mucho se contiene en la baritina y la witerita. Se usa como agente desoxidante de los metales, aleaciones e insecticida. La mayoría de los pozos que exceden las normas están densamente distribuidos en las zonas de cultivo, por lo que algunos compuestos del bario pueden estar contenidos en los agroquímicos. Hay varios acuíferos distribuidos en el Cuaternario, el Terciario y acuíferos del Cretáceo.

**Manganeso** (calidad del agua potable norma colombiana: 0.1mg/l, Guía WHO: 0.5mg/l)

En la Fase 1, 30 pozos excedieron las normas y 35 pozos las excedieron en la Fase 2, y 23 pozos las excedieron en la Fase 3. Dichos pozos están distribuidos por toda el área del estudio, pero hay un número relativamente pequeño de tales pozos en las áreas de la sabana alrededor de las ciudades. La causa de las normas excedidas puede ser la mezcla de desagües de las minas y fábricas, pero considerando que el volumen de manganeso excedió las normas en toda el área del estudio, se piensa que el factor geológico es el mayor.

#### **(b) Parámetros físicos y químicos relacionados con el sabor, olor y color**

En lo relacionado con la cromaticidad y la turbidez, la mayoría de los pozos excede los valores estándar en las Fases 1, 2 y 3. Para la conductividad, los valores colombianos estándar tienen los límites más altos y los más bajos. En las normas colombianas y en la Guías WHO, no hay ninguna norma como el índice de Langelier. Aplicando las normas de calidad de aguas potables japonesas en lugar de la norma colombiana y las Guías WHO, sólo hubo 11 pozos en

la Fase 1 y 7 pozos en la Fase 3 que pasaban los estándares. El índice de Langelier denota el valor de erosión del agua y si está menor de  $-1.0$ , un metal como la tubería de acero y un edificio de concreto puede erosionarse y derrumbarse. Para prevenir esto, se exige aumentar el valor del pH agregando un agente alcalino como cal apagada o usando aireación.

**Cromaticidad** (calidad del agua potable norma colombiana: 15TCU, Guía WHO: 15TCU)

Casi todos los pozos excedieron las normas en las Fases 1, 2 y 3. La cromaticidad en el agua natural, es principalmente atribuida a las sustancias del humus (huminate) que se producen en la oxidación de celulosas y óxido de lignito (lignin) que está incluido en la celulosa de las plantas, en los suelos y árboles. Por consiguiente, el agua del río que pasa por una zona densamente plantada y el agua del fondo penetra a través de una área de musgo de turba, se colorea de amarillo pálido o de castaño amarillento. Otras sustancias diferentes a las sustancias del humus, pueden derivarse de los desagües de las industrias de pulpa del papel y plantas textiles. Además de estos factores, en esta área, hay una alta posibilidad de factor geológico para que gran cantidad de compuestos de hierro y manganeso puedan darle color al agua. Las medidas en contra de estos colorantes son filtrar el agua del pozo mediante un purificador de agua.

**Turbidez** (calidad de agua potable norma colombiana: 5 NTU Guía WHO: 5NTU)

Casi todos los pozos en el área entera de la Fase 1, 18 pozos en la Fase 2, y 45 pozos en la Fase 3 excedieron los estándares. Normalmente, la turbidez alta es causada por la mezcla de desagües de aguas negras y suelos, o la mezcla de medicinas, o la fundición de cañería recubiertas de zinc y fallas en las instalaciones de suministro de agua. En la Fase 2, hubo una tendencia a tener exceso de pozos que eran probados durante la estación lluviosa.

**Conductividad** (calidad de agua potable norma colombiana: 50~1000 $\mu$ S/cm)

La conductividad es un índice para mostrar la capacidad del agua de conducir electricidad y para estimar la concentración electrolítica del agua en conjunto, la cual tiene una correlación entre una sustancia electrolítica y el voltaje. Ningún valor estándar es prescrito en las Guías WHO o en el Japón, pero el promedio de la conductividad del agua en los ríos del Japón es aproximadamente de 110 $\mu$ S/cm, y la del agua de mar es aproximadamente de 45.000 $\mu$ S/cm. Los pozos con menos del límite más bajo están situados en los acuíferos del Cretáceo y los pozos que exceden el límite superior se presentan en las áreas de la ciudad y en las rocas de áreas de sal.

### (c) **Substancias inorgánicas**

De los ítems involucrados excepto el potasio, los iones de bicarbonato y los carbonatos que no tienen ninguna norma, no incluyendo el magnesio, los pozos excedieron la norma.

**Aluminio** (calidad de agua potable norma colombiana: 0.2mg/l, Guía WHO: 0.2mg/l)

En las pruebas de la Fase 1, 8 pozos excedieron las normas. Pero no había ningún pozo que la



excediera en las Fases 2 y 3. El aluminio es contenido en los suelos en la cantidad más alta, como un metal. Todos los pozos que exceden las normas producen el agua de los acuíferos del Cuaternario. La fuente exclusiva de contaminación de las condiciones naturales, se supuso era el aluminio que se usa como un agente floculante en la purificación de las aguas y la disposición de aguas servidas o desagües de las fábricas de productos de aluminio.

**Amoníaco** (Guía WHO: 1.5mg/l)

No hay ninguna norma para el amoníaco en Colombia, pero según las Guías WHO, en las Fases 1, 2 y 3, todos los pozos en el área del estudio, excluyendo los de la parte más alta aguas arriba de la región noroeste, excedieron la norma. La contaminación puede derivarse de los patios de las ganaderías y las plantas de proceso de excretas. Por consiguiente, la contaminación se detecta principalmente en el acuífero del Cuaternario, pero los 6 pozos del acuífero del Cretáceo excedieron la norma en la Fase 1, 3 pozos en la Fase 2, y 6 pozos en la Fase 3.

**Cloruro** (calidad de agua potable norma colombiana: 250mg/l, Guía WHO: 250mg/l)

Uno pozo en las Fases 1 y 3, 2 pozos en la Fase 2 exceden las normas. Generalmente, la concentración de cloruros se usa como el índice para mostrar la mezcla de excretas, desagüe de aguas negras y desagües de fábricas o casas. Los pozos que excedieron las normas en la Fase 2 están localizados cerca de los manantiales calientes de Tabio, y el pozo que excedió las normas en todas las tres Fases fue el 209-III-C-013. Se supone que la contaminación es de la roca salina que se ha reconocido en esta área.

**Dureza** (calidad de agua potable colombiana normal: 160mg/l)

En ambas Fases 1 y 2, uno pozo por separado, excedió la norma. En la Fase 3, 3 pozos excedieron la norma. La dureza es la cantidad de carbonato del calcio, principalmente equivalente a las cantidades de iones de calcio y de magnesio. El origen de los iones del calcio y de magnesio en el agua es principalmente geológico, pero la mezcla de agua de mar, el desagüe de las fábricas y desagüe de aguas negras puede ser tenido en cuenta. En las tres fases, diferentes pozos excedieron la norma, pero ellos se localizan cerca del Río Chico y a lo largo de sus brazos, por lo que las fábricas y desagües de aguas negras pueden ser las fuentes de tales componentes.

**Sulfuro de hidrógeno** (Guía WHO: 0.05mg/l)

No hay ninguna norma para el sulfuro de hidrógeno en Colombia, pero con base en las Guías WHO, casi todos los pozos excedieron la norma en las tres Fases. Generalmente, el sulfuro de hidrógeno se ve en la mezcla de los desagües de aguas negra y excretas o desagües de negocios ganaderos o fábricas de pulpa.

**Hierro** (calidad de agua potable norma colombiana: 0.3mg/l, Guía WHO: 0.3mg/l)

Casi todos los pozos excedieron las normas en las tres Fases. El hierro está contenido en gran

cantidad en la corteza terrestre, pero puede existir en los desagües de las minas y fábricas o puede ser disuelto de las tuberías. En esta área del estudio, el hierro contenido en el agua puede atribuirse al factor geológico. Según los datos geológicos, hay capas que contienen mucho hierro en parte del acuífero del Cretáceo y el acuífero del Terciario. Una concentración alta de hierro en el agua puede causar que las aguas se tornen rojas y de olor metálico.

**Sodio** (Guía WHO: 200mg/l)

No hay ninguna norma para el sodio en Colombia, pero aplicando las Guías WHO, 4 pozos excedieron la norma en la Fase 2 y 3 pozos en la Fase 3. El ión de sodio es elemento principal del agua potable y se atribuye principalmente a la disolución de rocas y suelos, y el agua del río ordinaria, contiene de 1~10mg/l aproximadamente. Cuando el ión de sodio tiene una baja absorbencia en los suelos, es responsable de ser descargado a través del intercambio de iones entre las aguas subterráneas y los granos de los suelos, es por lo tanto que tiende a aumentar a medida que fluyen las aguas subterráneas. Los pozos que exceden las normas han hecho claro durante las pruebas de este estudio, que están localizados en manantiales calientes y en áreas de rocas salinas y en las áreas aguas abajo. El factor geológico puede ser considerado con certeza, pero los componentes de sodio aumentan a través de la mezcla de drenajes de las factorías y casas.

**Sulfato** (Guía WHO: 250mg/l)

No hay ninguna norma para el sulfato en Colombia, pero aplicando las Guías WHO, 15 pozos excedieron la norma en la Fase 1. No había ningún pozo que la excediera en las Fases 2 y 3. El sulfato es visto en las aguas más naturales, pero si una concentración alta de él se descubre, la mezcla de desagües de las minas, los manantiales calientes, las fábricas, los fertilizantes químicos, los desagües de aguas negras y excretas pueden ser considerados como la fuente de él. Sin embargo, el resultado de las pruebas de la Fase 1 mostró un balance de iones anormal, que fue mejorado por la remoción de componentes del sulfato. Así que, éstos resultados de los análisis son dudosos.

**Sólidos disueltos totales** (calidad de agua potable norma colombiana: 500mg/l, Guía WHO: 1000mg/l)

En las pruebas de la Fase 1, 6 pozos excedieron las normas. 7 pozos en las pruebas de la Fase 2 y 5 pozos en las pruebas de la Fase 3 excedieron las normas. El total de sólidos disueltos muestra el valor total de sustancias solubles en el agua. Los pozos que excedieron las normas están distribuidos en áreas de manantiales de aguas calientes y de rocas salinas y las partes bajas de las corrientes de la cuenca del Río Bogotá.

**Zinc** (calidad de agua potable norma colombiana: 5mg/l, Guía WHO: 3mg/l)

En la Fase 1, un pozo excedió la norma. No había ningún pozo que la excediera en las Fases 2

y 3. El zinc es un metal distribuido en una cantidad relativamente alta en el mundo natural y es uno de los elementos indispensables para los seres vivos. Si les falta, les ocurrirán varios impedimentos. Hay algunos problemas en contra de la salud humana, que pueden ser causados a través de la contaminación de las aguas. Sin embargo, el zinc es tóxico a las plantas, microorganismos y peces. Como una mezcla artificial, puede haber desagües de minas y factorías del metal, y disoluciones de las tuberías recubiertas de zinc.

**Calcio** (calidad de agua potable norma colombiana: 60mg/l)

En la Fase 1, un pozo excedió la norma. No había ningún pozo que la excediera en las Fases 2 y 3. El factor más grande que domina los iones del calcio es el geológico. El calcio está contenido en los estratos con calizas o en las aguas de cavernas con estalactitas, mientras que un poco de él está contenido en las aguas de las áreas de rocas ígneas. Generalmente, puede presumirse la existencia de carbonato y la mezcla de aguas de los manantiales calientes y afloramientos minerales como fuentes de la contaminación con calcio. Como un factor artificial, es considerado que la cal puede usarse para materiales de tratamiento de agua o agroquímico.

**Alcalinidad total** (calidad de agua potable norma colombiana: 100mg/l)

Muchos pozos excedieron la norma en todas las tres Fases, principalmente en áreas planas. La alcalinidad es la cantidad de ácido necesario para neutralizar el pH del agua a un valor prescrito. Normalmente, el factor geológico es grande, pero el desagüe de aguas negras y las aguas servidas industriales afectan el aumento o disminución de la alcalinidad.

#### **(d) Substancias orgánicas**

La influencia de materia orgánica como (BTX) usado en áreas industriales no fue identificado en el agua subterránea. De una forma similar sucedió con los agroquímicos que tampoco se identificaron en el agua subterránea.

#### **(e) Químicos agrícolas**

Las pruebas se llevaron a cabo en la región agrícola, uno pozo en Madrid, 2 pozos en Facatativa y 2 pozos en Tenjo, 5 pozos en total. Los resultados se muestran en el Anexo Tabla 2.4. Ningún químico se descubrió en la Fase 1 y en la Fase 3, pero el heptacloropóxido se encontró en 2 pozos, uno en Facatativa y otro en Tenjo, en la Fase 2.

#### **(f) Bacterias**

**El (Los) *bacilo coliforme* / grupos de *basilos coliformes*** (calidad del agua potable norma colombiana: Para no ser detectado, Guía WHO: para no ser detectado)

Se descubrieron *basilos coliformes* en 9 pozos en la Fase 1, en 5 pozos en la Fase 2, y en 4

pozos en la Fase 3. Los pozos y áreas en las que se descubrieron *bacilos coliformes* son diferentes en la Fase 1, la Fase 2 y la Fase 3.

El grupo de *bacilos coliformes* se descubrió en más de la mitad de los pozos en todas las tres fases. Los resultados de los análisis mostraron que el grupo de *bacilos coliformes* no sólo se descubrió en los acuíferos del Cuaternario sino también en el Terciario y acuíferos del Cretáceo.

### **(3) Las características de contaminación de las aguas subterránea derivadas en las consideraciones de exceder los estándares de los pozos de agua potable**

#### **(a) Ítems de contaminación en toda el área**

Los ítems que excedieron las normas de las aguas potables (norma colombiana y Guías WHO) en más del 10% de los pozos de las pruebas en el área del estudio, en todas las Fases el bario, el manganeso, la cromaticidad, la turbidez, el amoníaco, el sulfuro de hidrógeno, el hierro, la alcalinidad total y el grupo de *bacilos coliformes*. También, el sulfato se detectó en la Fase 1. Las fuentes de contaminación de estos ítems se creen son las siguientes:

Hay contenido de manganeso y hierro en los estratos de la Sabana de Bogotá, por lo que el factor geológico puede ser grande.

El bario está concentrado en las áreas agrícolas.

Amoníaco, sulfuro de hidrógeno y alcalinidad total al igual como se creó que el grupo de *bacilos coliformes* es las mezclas de desagüe de aguas negras y excretas.

Para la cromaticidad, la Sabana de Bogotá fue una zona de pantanos que era rica en sustancias del humus (huminate) y también se consideró que mucho manganeso (aguas de color negro) y hierro (agua de color rojo) fue contenido en la zona.

Para la turbidez, generalmente se pueden considerar las mezclas de suelos y arenas (granos de suelos).

#### **(b) Ítems de contaminación local**

Los ítems de contaminación que exceden la norma localmente, se describen a continuación:

Factor geológico: La influencia de los suelos en el área de rocas salinas, es característica del cloruro y del sodio. Pueden presumirse varios otros metales como las fuentes de la contaminación originada por las minas.

Factor industrial: Los ítems de la contaminación por metales, refinerías y factorías de dorado, pueden ser cadmio, níquel, plomo, zinc, cianuro y aluminio. El boro y el cadmio pueden derivarse de la industria cerámica y el cloruro, los sulfuros y el cromo son de la industria de las curtiembres.

Factor viviente: Los ítems de contaminación de la vida, los desagües, los desagües de

aguas negras y la mezcla de excretas, pueden ser los cloruros, los sulfuros, el nitrógeno de los nitratos y de los nitritos. Se usan el aluminio y el calcio para el tratamiento de purificación de las aguas.

Factor agrícola: Los ítems de contaminación por la fertilización en actividades de cultivo y ganaderías, pueden ser el nitrógeno de los nitratos y el nitrógeno de los nitritos.

Es necesario ejecutar un estudio más detallado para ver si éstos factores contaminantes afectan directamente las aguas subterráneas. Adicionalmente, el flujo de las aguas subterráneas es tan lento que normalmente es difícil eliminar las condiciones contaminantes, una vez contaminado. Sin embargo, los ítems detectados en los pozos fueron diferentes en todas las tres Fases. El resultado del análisis de la Fase 1 tiene un grado bajo de confiabilidad, debido al mal balance de iones. Por consiguiente, los ítems que excedieron los valores normales en la Fase 1 como el plomo, el níquel, el aluminio, el zinc, el calcio y los sulfatos, siguen siendo una incertidumbre.

### **(c) Pozos con muchos ítems de contaminación**

Los pozos que excedieron las normas en muchos ítems, excepto los ítems mencionados de contaminación que se detectaron en toda el área son el 209-III-C-013 en el distrito de Zipaquirá, el 227-II-D-016 en el distrito de Tenjo y el Pozo Termales de Tabio en el distrito de Tabio.

209-III-C-013 contenido de cloruro, sodio y aluminio. Este pozo se localiza en una roca salina del área y puede estar afectado por esta.

227-II-D-016 contenido de nitrógeno del nitrato, nitrógeno del nitritos y calcio. Este pozo excedió los valores normales en los ítems que tienen una relación íntima con la agricultura.

Pozo Termales de Tabio excedió los valores normales en varios ítems, pero es un pozo de manantiales calientes.

## **2.2 Comparación con las normas de calidad para las agua crudas**

La comparación de los resultados de las pruebas de calidad de agua para cada pozo con los valores estándar son indicados en las tablas 4.13 a 4.15 de reporte principal. Los estándares de calidad de agua para agua cruda utilizables para abastecimiento y vida si se tratan y el número de pozos que exceden estos valores se indican en las tablas.

### **(1) Normas de calidad para las aguas crudas utilizables para beber y vivir si se tratan**

Como se muestra en la Tabla 2.2, una gran cantidad de pozos excedió los valores estándar para los ítems de cromaticidad, turbidez, amoníaco y pH, de acuerdo con “las normas de calidad de para aguas crudas utilizables para beber y vivir si se tratan con cloro.” Estos pozos no podrían pasar el valor estándar para el amoníaco de acuerdo con “la norma de calidad de agua para las aguas crudas utilizables para beber y vivir si se tratan por el método tradicional.” Esto significa que la severidad de la norma es más alta que el valor de la Guía

WHO, para el amoníaco.

También con respecto a los ítems de sulfuros de hidrógeno y hierro, que la mayoría de los pozos exceden “los valores estándar del agua potable en Colombia”, pero “las normas de calidad de agua para agua cruda utilizable por beber y vivir si tratan” incluye estos ítems. Por consiguiente, el agua de los pozos que exceden los valores estándar en estos ítems se considera como no adecuada para beber y vivir aun cuando se les someta a tratamiento.

El número de pozos que exceden la norma entre los pozos en uso actual para beber, se indican entre paréntesis. Las pruebas de la Fase 1 mostraron que 21 pozos se usan para agua de beber. En las pruebas de la Fase 2 y la Fase 3, el número de pozos que exceden en cada ítem la norma se indican entre 18 pozos y 16 pozos, respectivamente.

Éstos resultados de las pruebas por acuífero se muestran en la Tabla 2.3. (En este caso, el número de pozos que exceden la norma en cada ítem, entre los pozos en uso actual para beber, también está disponible.)

Como se muestra en la Tabla 2.3, incluso algunos pozos en el acuífero del Cretáceo excedieron los valores estándar en los ítems (de agua para vivir) de contaminación de agua, como amoníaco, sulfuro de hidrógeno y *bacilos coliformes*. El agua subterránea de acuífero poco profundos puede haber penetrado en estos pozos.

**Tabla-2.2 Los estándares de calidad para las aguas crudas utilizables para beber y vivir si se las trata, y el número de pozos que exceden los estándares**

Items	Allowable raw water quality		Number of wells exceeding the standard					
	Traditional treatment	Chlorination	Traditional treatment			Chlorination		
			Phase1	Phase2	Phase3	Phase1	Phase2	Phase3
<b>Chemical parameters related to Human Health</b>								
· Arsenic	0.05mg/l	0.05mg/l	0	0	0	0	0	0
· Cadmium	0.01mg/l	0.01mg/l	0	0	0	0	0	0
· Chromium	0.05mg/l	0.05mg/l	0	0	0	0	0	0
· Cyanide	0.2mg/l	0.2mg/l	0	0	0	0	0	0
· Lead	0.05mg/l	0.05mg/l	0	0	0	0	0	0
· Mercury	0.002mg/l	0.002mg/l	0	0	0	0	0	0
· Nitrate	10.0mg/l	10.0mg/l	1 (0)	4 (0)	0	1 (0)	4 (0)	0
· Nitrite	1.0mg/l	1.0mg/l	0	0	0	0	0	0
· Selenium	0.01mg/l	0.01mg/l	0	0	0	0	0	0
· Barium	1.0mg/l	1.0mg/l	2 (0)	7 (1)	1 (0)	2 (0)	7 (1)	1 (0)
· Cupper	1.0mg/l	1.0mg/l	0	0	0	0	0	0
<b>Parameters related to Taste, Odor, and Color</b>								
Color	75unit, Scale of Platinum Cobalt	20unit, Scale of Platinum Cobalt	44 (4)	3 (0)	32 (4)	80 (15)	51 (6)	54 (9)
Turbity		10unit (Jack rule)				52 (9)	10 (1)	37 (6)
<b>Inorganic Parameters</b>								
Ammonia	1.0mg/l	1.0mg/l	64 (9)	68 (7)	27 (3)	64 (9)	68 (7)	27 (3)
Chloride	250.0mg/l	250.0mg/l	1 (0)	2 (0)	1 (0)	1 (0)	2 (0)	1 (0)
pH	5.0-9.0	6.5-8.5	3 (0)	1 (0)	0	32 (8)	37 (9)	11 (3)
Sulfate	400.0mg/l	400.0mg/l	7 (0)	0	0	7 (0)	0	0
Zinc	15.0mg/l	15.0mg/l	0	0	0	0	0	0
<b>Bacteria</b>								
Ecoli	2,000/100ml		1 (0)	0	0			
Total coliform bacteria	20,000/100ml	1,000/100ml	1 (0)	0	2 (1)	5 (1)	9 (1)	5 (1)

( ) indicates the number of wells exceeding the standard among the wells in actual use for drinking

**Tabla-2.3 Número de pozos en cada acuífero, que exceden los estándar de calidad de las aguas crudas utilizables para tomar y vivir si se tratan**

Item	Phase 1									Phase 2									Phase 3								
	Quaternary			Tertiary			Cretaceous			Quaternary			Tertiary			Cretaceous			Quaternary			Tertiary			Cretaceous		
	DWS	TT	chlorination	DWS	TT	Chlorination	DWS	TT	Chlorination	DWS	TT	Chlorination	DWS	TT	Chlorination	DWS	TT	Chlorination	DWS	TT	chlorination	DWS	TT	Chlorination	DWS	TT	Chlorination
<b>Chemical parameters related to human health</b>																											
• Arsenic As	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
• Boron B	0			0			0			3(0)			0			0			0			0			1(0)		
• Cadmium Cd	2(1)	0	0	0	0	0	1(0)	0	0	0	0	0	0	0	0	1(0)	0	0	1(0)	0	0	0	0	0	0	0	0
• Chromium Cr(T)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1(0)	0	0	0	0	0	0	0	0	1(0)	0	0	0	0	0	0	0	0
• Cyanide CN(T)	1(0)	0	0	0	0	0	0	0	0	1(0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
• Fluoride F	0			0			0			0			0			0			0			0			0		
• Lead Pb	2(0)	0	0	0	0	0	1(0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
• Mercury Hg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
• Nickel Ni	1(0)			0			0			0			0			0			1(0)			0			0		
• Nitrate NO3-N	0	0	0	0	0	0	1(0)	1(0)	1(0)	4(0)	4(0)	4(0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
• Nitrite NO2-N	0	0	0	0	0	0	1(0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
• Selenium Se	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
• Antimony Sb	0			0			0			0			0			0			0			0			0		
• Barium Ba	11(1)	2(0)	2(0)	1(0)	0	0	3(1)	0	0	14(2)	5(1)	5(1)	1(0)	1(0)	1(0)	3(0)	1(0)	1(0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
• Beryllium Be																											
• Copper Cu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
• Manganese Mn	23(4)			2(0)			5(2)			28(7)			3(0)			7(3)			0			1(0)			6(1)		
• Molybdenum Mo	0			0			0			0			0			0			0			0			0		
<b>Parameters related to Taste, Odor and Color</b>																											
• Color	69(11)	37(3)	66(10)	3(0)	2(0)	2(0)	17(8)	5(1)	12(5)	52(5)	3(0)	45(5)	2(0)	0	2(0)	4(1)	0	4(1)	48(5)	27(3)	45(5)	2(0)	1(0)	1(0)	11(4)	4(1)	10(3)
• Turbidity	50(10)		41(6)	3(0)		2(0)	13(7)		9(3)	15(2)		9(1)	2(0)		1(0)	1(0)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
• Langelier Index																											
• Conductivity	8(2)			0			5(1)			4(0)			0			5(2)			9(2)			2(1)			4(2)		
<b>Inorganic parameters</b>																											
• Aluminum	8(1)			0			0			0			0			0			0			0			0		
• Ammonia	46(7)	55(7)	55(7)	1(0)	2(0)	2(0)	6(2)	7(2)	7(2)	56(6)	60(6)	60(6)	1(0)	2(0)	2(0)	3(1)	6(1)	6(1)	22(0)	22(0)	22(0)	0	0	0	6(3)	6(3)	6(3)
• Chloride	1(0)	1(0)	1(0)	0	0	0	0	0	0	1(0)	1(0)	1(0)	0	0	0	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)	0	0	0	0	0	0
• Hardness	0			0			1(0)			1(0)			0			0			3(0)			0			0		
• Hydrogen sulfide	68(11)			4(0)			17(6)			74(9)			4(0)			20(6)			51(7)			4(1)			17(7)		
• Iron	66(11)			3(0)			18(8)			58(7)			3(0)			9(4)			41(5)			1(0)			7(3)		
• Dissolved Oxygen																											
• pH	6(3) *	1(0)	24(6)	1(0) *	0	2(0)	2(0) *	2(0)	6(2)	2(1) *	0	23(5)	0 *	0	3(0)	5(2) *	1(0)	11(4)	6(2)	0	6(2)	3(1)	0	3(1)	5(2)	0	5(2)
• Sodium	0			0			0			2(0)			0			2(0)			2(0)			0			1(0)		
• Sulfate	14(2)	7(0)	6(0)	2(0)	1(0)	1(0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
• Total Dissolved Solids	5(1)			0			1(0)			6(0)			0			1(0)			4(0)			0			1(0)		
• Zinc	1(0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
• Magnesium	0			0			0			0			0			0			0			0			0		
• Potassium																											
• Bicarbonate																											
• Carbonate																											
• Calcium	0			0			1(0)			0			0			0			0			0			0		
• Alkalinity	48(4)			2(0)			8(4)			51(2)			2(0)			10(2)			35(1)			1(0)			6(2)		
• Acidity																											
<b>Bacteria</b>																											
• Ecoli	6(1)	1(0)		0	0		3(1)	0		4(1)	0		0	0		1(0)	0		2(0)	0		0	0		1(0)	0	
• Total coliform bacteria	40(6)	1(0)	4(1)	2(0)	0	1(0)	9(5)	0	0	45(6)	0	9(1)	1(0)	0	0	10(3)	0	1(0)	25(4)	1(1)	4(1)	1(0)	0	0	6(1)	1(0)	1(0)
• Total Bacteria																											
• Phenols																											
• PCB																											
• Silver																											
• Methylen blue active substance																											

( ) Number of wells used for drinking water    DWS : Drinking water standard    TT : Traditional treatment

Non standard value in Colombia and WHO, or not tested

\* Non standard value in Colombia and WHO, but exceeding Japanese standard



## (2) Normas de calidad de aguas aceptables para agua cruda utilizable para agricultura

Los valores estándar de la calidad de aguas para agua cruda utilizable en la agricultura y el número de pozos que exceden estos valores se indican en la Tabla 2.4 y en el Anexo Tabla 2.1. El número de pozos que exceden la norma entre los pozos en uso actual para agricultura se indica entre paréntesis (). El número de pozos que en las pruebas exceden el valor estándar en cada ítem, está entre 38 pozos en la Fase 1. El número que las exceden en las pruebas está entre 36 pozos en la Fase 2 y 30 pozos en las pruebas de la Fase 3, se indican. En los ítems de cobalto, litio y vanadio, ninguna prueba se hizo en este estudio. El anexo Figura-1.3 muestra un mapa de referencia que indica las posiciones y valores en los ítems que exceden los valores estándar.

**Tabla 2.4 Normas de calidad de agua aceptable para agua cruda utilizable en agricultura, y número de pozos que exceden la norma**

Item	Agriculture Water standard	Number of wells exceeded the standards		
		Phase 1	Phase 2	Phase 3
<b>Chemical parameters related to human health</b>				
• Arsenic	0.1mg/l	0	0	0
• Cadmium	0.01mg/l	0	0	0
• Chromium	0.1mg/l	0	0	0
• Fluoride	1.0mg/l	1(0)	1(0)	2(1)
• Lead	5.0mg/l	0	0	0
• Nickel	0.2mg/l	0	0	0
• Selenium	0.02mg/l	0	0	0
• Beryllium	0.1mg/l	0	0	0
• Cupper	0.2mg/l	0	0	0
• Manganese	0.2mg/l	10(5)	14(6)	11(5)
• Molybdenum	0.01mg/l	3(0)	0	3(0)
<b>Inorganic Parameters</b>				
• Aluminum	5.0mg/l	0	0	0
• Iron	5.0mg/l	40(17)	25(10)	18(7)
• pH	4.5-9.0	1(0)	0	0
• Zinc	2.0mg/l	1(1)	0	0
• Cobalt	0.05mg/l	( ) number of well used for agriculture		
• Lithium	2.5mg/l			
• Vanadium	0.1mg/l			

## (3) Normas de calidad de agua aceptable para agua cruda utilizable en ganadería

los valores estándar de calidad de agua aceptable para el agua cruda utilizable para la ganadería y el número de pozos que exceden estas normas se indica en la Tabla 2.5 y en anexo Tabla 2.1. No había ningún pozo que excediera las normas.

**Tabla 2.5 Normas de calidad de agua aceptable para agua cruda utilizable en la ganadería, y número de pozos que exceden las normas**

Item	Stock-raising water standard	Number of wells exceeded the standards		
		Phase 1	Phase 2	Phase 3
<b>Chemical parameters related to human health</b>				
• Arsenic	0.3mg/l	0	0	0
• Boron	5.0mg/l	0	0	0
• Cadmium	0.05mg/l	0	0	0
• Chromium	1.0mg/l	0	0	0
• Lead	5.0mg/l	0	0	0
• Mercury	0.01mg/l	0	0	0
• Nitrate	100.0mg/l	0	0	0
• Nitrite	10.0mg/l	0	0	0
• Cupper	0.5mg/l	0	0	0
<b>Inorganic Parameters</b>				
• Aluminum	5.0mg/l	0	0	0
• Salinity	3,000mg/l	0	0	0
• Zinc	25.0mg/l	0	0	0

**(4) Normas de calidad de agua aceptable para aguas crudas utilizables para recreación**

Los valores estándar de calidad de agua aceptable para agua cruda utilizable para la recreación y el número de pozos que exceden estas normas se indican en la Tabla 2.6 y el anexo Tabla 2.2. En las pruebas de la Fase 1, ninguna prueba se condujo en el ítem de oxígeno disuelto. También en todas las tres Fases, no se probaron los ítems del grupo del fenol y tensoactivos. El pozo de las fuentes termales de Tabio que actualmente se usan para recreación no excedieron las normas. El anexo Figura 1.3 muestra un mapa de referencia que indica las posiciones y valores en los ítems que exceden los valores estándar.

**Tabla 2.6 Normas de calidad de agua aceptable para aguas crudas utilizables para recreación, y el número de pozos que excedió las normas**

Item	Direct contact	Indirect contact	Number of direct contact exceeding well			Number of indirect contact exceeding well		
			Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 1	Phase 2	Phase 3
<b>Inorganic Parameters</b>								
Dissolved oxygen	Saturate 70%	Saturate 70%		83	65		83	65
pH	5.0-9.0	5.0-9.0	3	1	0	3	1	0
<b>Bacteria</b>								
E.coli	200/100ml		1	0	0			
Total coliform	1,000/100ml	5,000/100ml	5	9	5	2	3	4
<b>Others</b>								
Phenols	0.002mg/l							
Methylen blue active	0.5mg/l	0.5mg/l						

**2.3 Resultado de las pruebas de la calidad del agua de río de río**

El resultado de la prueba de calidad de las aguas de río se muestra en Anexo Tabla-2.1. También, el resultado de la prueba en los sedimentos del cauce se muestra en el Anexo Tabla-2.2.

Según el resultado de los ensayos de calidad del agua de río, todas las muestras excedieron “la norma de calidad de agua de la Guía WHO” en sulfuro de hidrógeno. También, la mayoría de las muestras excedió “la norma de calidad de agua utilizable si se trata con cloro” en bacterias *coliformes* totales, color, y turbidez. Esos hechos muestran que el agua del río no es utilizable como agua potable.