



INVESTIGACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y GEOFÍSICA DEL ACUÍFERO CAYAMBE

(PICHINCHA – ECUADOR)

IPGH
GEOF 08/18



Proyecto de Investigación

Responsable

Ing. M. Sc. Jorge Eduardo de los Santos Gregoraschuk

Profesor Libre (eq. G4 Profesor Agregado)

Grupo de Hidrología Subterránea, Facultad de Ingeniería, Udelar, Uruguay

Participantes

Ing. M. Sc. Lester Joel Pérez Lozada

Investigador en Hidrología, INAMHI, Ecuador

Ing. Javier Francisco Roura Erazo

Investigador en Hidrología, INAMHI, Ecuador

Ing. Carmen Estefanía Proaño Orquera

Especialista en Hidrogeología, INAMHI, Ecuador

Ing. Alfonso Nicolás Flaquer Barrios

Profesor Adjunto G3, GHS, FING, Udelar, Uruguay

Copatrocinante

Instituto Nacional de Meteorología, Hidrología e Investigación (INAMHI)

Ecuador

Tabla de contenido

Introducción	4
Objetivo.....	4
Metodología empleada	5
Trabajo de campo	7
Desarrollo de la investigación	8
Análisis de las curvas obtenidas.....	22
Datos hidroquímicos	23
Análisis de la información relevada	26
Conclusiones	30
Agradecimientos	30
Bibliografía	30
Anexo	31

Introducción

El acuífero de Cayambe se ubica en la provincia de Pichincha, enmarcado dentro de las circunscripciones territoriales de los cantones Pedro Moncayo (Tabacundo) y Cayambe, en Ecuador, 60 km aproximadamente al NE de Quito. Tiene forma oval alargada, y su extensión se estima en 1500 km². La precipitación anual media en el área es 950mm, su evapotranspiración 650mm y su escorrentía es 300mm.

Se desarrolla en un ambiente de arenas, areniscas y conglomerados con gran variedad de elementos volcánicos. Se recarga en los piedemontes y descarga en el sistema hidrográfico compuesto por los ríos Guachalá, Granobles y Pisque, conformando finalmente y fuera del área de interés, el río Guayllabamba, que es afluente del Río Esmeraldas, el cual confluye al océano en proximidades de la ciudad homónima. La Figura N° 1 ilustra la ubicación de la cuenca y las principales ciudades.

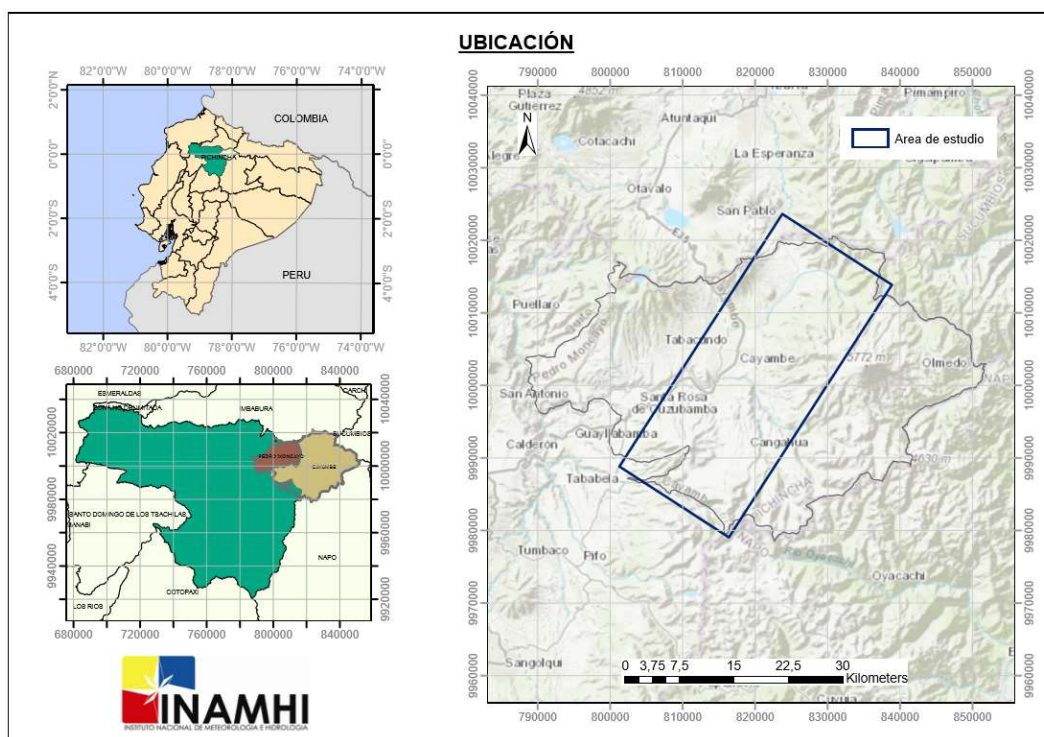


Figura N° 1.- Área de trabajo

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) concluyó un primer trabajo de caracterización de este acuífero en enero de 2018, estudiando la hidrología de superficie, la geología, la hidroquímica y algunos puntos del subsuelo, esbozando así una primera aproximación a la hidrogeología de la cuenca y relevando algunas perforaciones, de las cuales pocas arrojaron datos provechosos desde el punto de vista hidráulico pero sí una orientación desde la hidroquímica.

Ante la escasez de información, se pretendió con este proyecto complementar el conocimiento básico del subsuelo en los sitios donde se desarrollan actividades productivas que requieren riego, especialmente el cultivo de rosas para exportación.

El área de interés será un sector del acuífero, ubicado en la zona más poblada de la cuenca, de aproximadamente 500 Km².

Objetivo

El proyecto propone el reconocimiento de las áreas más productivas del acuífero mediante metodologías geofísicas, tales como la resistividad y los transitorios electromagnéticos.

Las metodologías geofísicas permitirán definir litologías puntuales, estimar espesores acuíferos o fracturación y especular sobre la sustentabilidad de las extracciones.

Metodología empleada

La resistivimetría es una metodología ampliamente utilizada, que permite reconocer medios geológicos variados mediante la generación de campos eléctricos en el terreno y la medición de las diferencias de potencial en un punto, lo que se asocia a una determinada profundidad de medición mediante una serie de resistividades aparentes.

El parámetro calculado es la resistividad aparente del terreno, y la técnica aplicada en campo es el sondeo eléctrico vertical. Por dos electrodos se envía una corriente eléctrica de intensidad (I) al terreno y se mide la diferencia de potencial (dV) entre otros dos electrodos en una línea recta de longitud acorde a la profundidad que se quiere investigar.

Un sondeo eléctrico vertical (SEV) consiste en establecer la curva de variación con la profundidad de la resistividad aparente del subsuelo, a través de medidas de superficie realizadas con ayuda de un dispositivo de cuatro electrodos (AMNB). Su profundidad de investigación aumenta con la distancia entre los electrodos de corriente, A y B. Las líneas de corriente penetran más cuanto mayor es la distancia interelectródica A-B.

El dispositivo empleado (ubicación de los electrodos en planta) es el arreglo Schlumberger. El punto medio es el centro común de AB y MN, siendo además el punto al cual se refieren las variaciones de potencial y el cálculo de la resistividad aparente (Figura N°2).

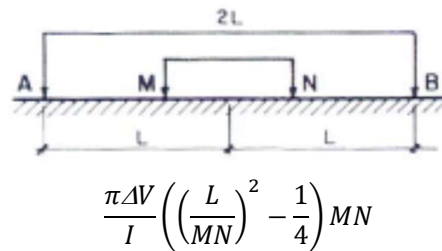


Figura N°2. Dispositivo Schlumberger para SEVs

En la fórmula de cálculo ρ es la resistividad aparente, ΔV es la diferencia de potencial medida para cada longitud AB, I es la intensidad de corriente aplicada, L es la longitud media ($AB/2$) y MN es la separación entre electrodos de medición de potencial.

Las resistividades son graficadas en coordenadas bilogarítmicas, tomando como abscisas la longitud $AB/2$ (m) y como ordenadas la resistividad aparente (ohm-m), de lo que resulta la curva de resistividad aparente de cada sondeo.

El análisis de la curva permite deducir teóricamente los parámetros resistividad y espesor de las diferentes capas, obteniendo un modelo geoeléctrico que explique los resultados, siempre contrastándolos con las observaciones geológicas de superficie.

El principio del método de transitorios electromagnéticos (TEM) consiste en hacer circular una corriente por una bobina transmisora (Tx) que genera un campo magnético primario estable en el subsuelo. Cuando se interrumpe de forma instantánea dicha corriente (y por lo tanto cesa el campo magnético primario), el campo electromagnético inducido en el subsuelo causa corrientes parásitas (EMF), que se propagan a través de éste. Como consecuencia de las pérdidas de resistencia calórica, estas corrientes disminuyen con el tiempo, provocando un campo magnético secundario decreciente en la superficie. Utilizando una bobina o loop receptor (Rx) se mide el campo magnético secundario (Figura N° 3).

La magnitud y tasa de decaimiento del campo secundario depende de la conductividad del medio y de la geometría de las capas del subsuelo.

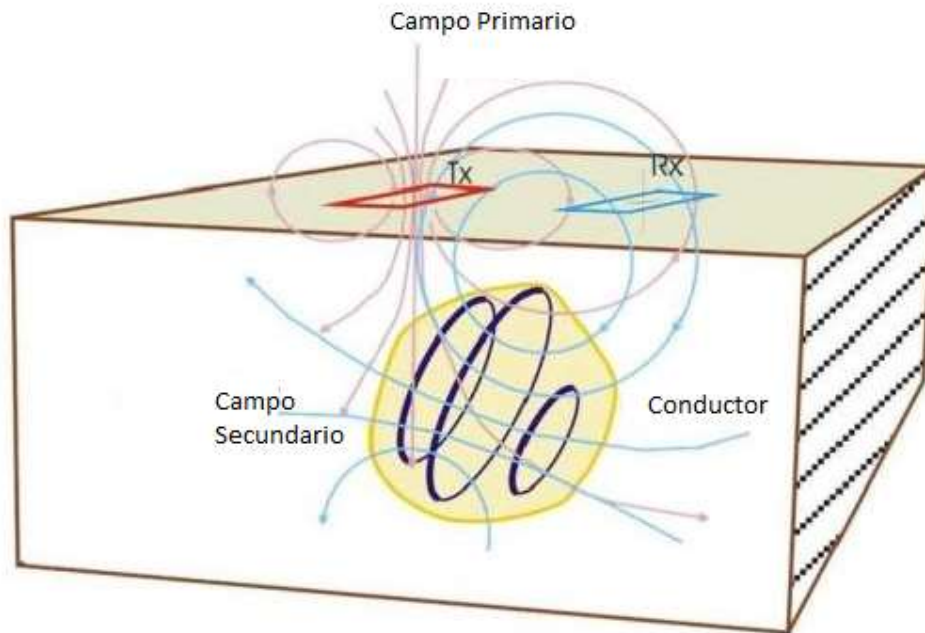


Figura N°3. Esquema de la metodología TEM¹

La Figura No4. Voltaje medido en el receptor en función del tiempo (tomado de J.D. McNeill, 1994) muestra una curva típica de respuesta del medio, donde el tiempo y el voltaje se expresan en ejes logarítmicos. La respuesta del medio se puede dividir en tres etapas. Una etapa temprana, donde la respuesta es constante en el tiempo, una etapa intermedia donde la forma de la respuesta del medio varía continuamente con el tiempo, y una etapa tardía donde la respuesta es una línea recta en el gráfico doble logarítmico.

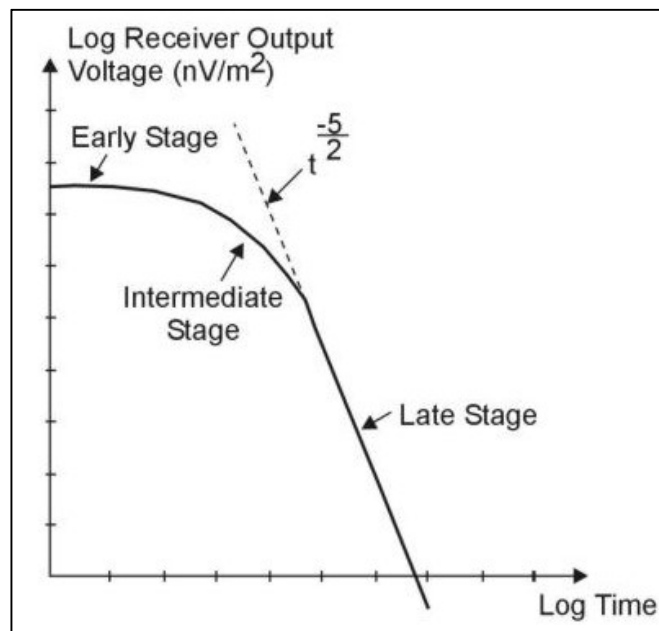


Figura N°4. Voltaje medido en el receptor en función del tiempo (tomado de J.D. McNeill, 1994)

La función de respuesta en el receptor es generalmente una función matemática compleja en función del tiempo y del voltaje. Sin embargo, durante la etapa tardía, la función matemática se simplifica considerablemente, y en este intervalo la respuesta del medio puede expresarse como una función simple que depende del tiempo y de la conductividad del medio, según la siguiente expresión:

$$e(t) = \frac{k_1 M \sigma^{3/2}}{t^{5/2}}$$

donde k_1 es una constante, M es el momento magnético, producto de la corriente del emisor (T_x) por el área del loop emisor (m^2), σ es la conductividad del terreno (Siemens/m), t es el tiempo (s) y $e(t)$ es el voltaje medido en un loop receptor de área unitaria (m^2).

Dado que la conductividad es el inverso de la resistividad:

$$\rho_a(t) = \frac{k_2 M^{2/3}}{e(t)^{2/3} t^{5/3}}$$

Trabajo de campo

Se realizó en el mes de julio de 2018 cinco sondeos eléctricos verticales, que sumados a siete SEVs realizados en 2017, reanalizados, permitieron reconocer varios sitios cercanos a extracciones de agua subterránea o sectores de valles aún no explorados. En algunos casos, se ejecutaron en las cercanías estudios mediante transitorios electromagnéticos, hasta un número de ocho, para calibrar ambas metodologías y componer un modelo geológico - geofísico de las subáreas de interés. El resistivímetro pertenecía al INAMHI, Ecuador, y el dispositivo TDEM a la FING, Uruguay. La Figura Nº 5 muestra los sitios donde se efectuaron las observaciones de campo. En 2019 se completó la serie de datos geofísicos a fin del mes de abril, relevando nuevamente dos puntos dudosos, incorporando uno más de geoelectrica para comparación con TDEM, y un punto nuevo, todo con otro resistivímetro. En segunda instancia, en junio, se complementó con tres SEVs más para verificación, con el resistivímetro original.

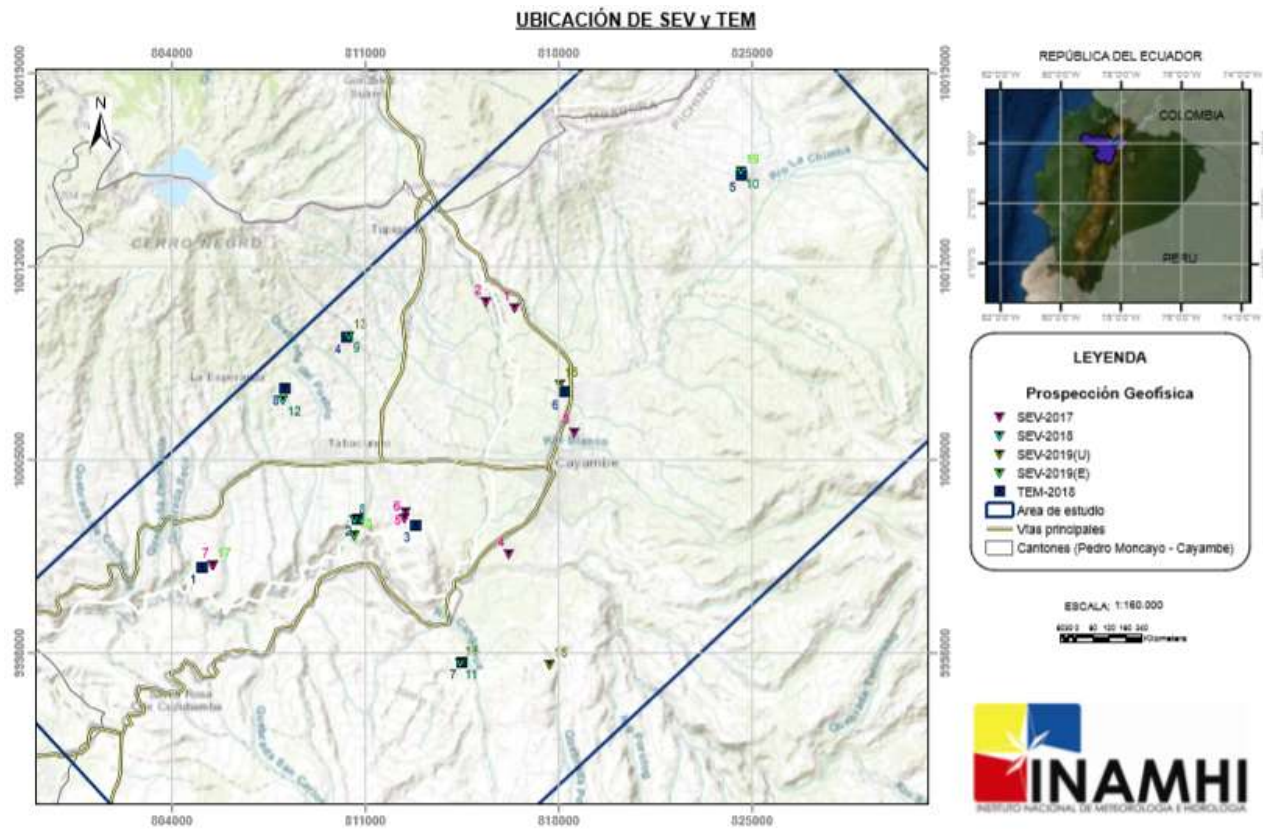


Figura Nº 5.- Puntos relevados mediante geofísica

Repasando, en julio de 2018 se ejecutó el trabajo de campo antedicho, en una semana completa, y se recorrió toda la cuenca superficial vinculada a la cuenca subterránea. Complementariamente se obtuvo una muestra de agua para

determinación de iones preponderantes, en el laboratorio del INAMHI, en un punto donde los niveles hidráulicos de dos pozos acusaban la existencia de sendas capas acuíferas, captadas separadamente por cada perforación.

Durante octubre a diciembre de 2018, uno de los miembros ecuatorianos del equipo técnico realizó en Uruguay el X Curso Hispanoamericano de Hidrología Subterránea, una actividad afín que trata los principales temas de esta disciplina (hidráulica general y de acuíferos, hidrología y prospección del subsuelo, hidráulica de captaciones, hidroquímica, isótopos, trazadores y contaminación de aguas subterráneas, modelos matemáticos, legislación y gestión de sistemas hidrogeológicos), con un total de 300 horas/aula y sus respectivas evaluaciones.

La segunda etapa de trabajo de campo se planificó y completó en abril, mayo y junio de 2019.

Desarrollo de la investigación

El trabajo antecedente del INAMHI en Pedro Moncayo (Tabacundo) y Cayambe permitió una primera aproximación a un esquema hidráulico complejo en valles intermontanos casi desconocidos. De ese modo, los fondos facilitados por el IPGH para la investigación geofísica permitieron revisar y fortalecer la información precedente, con el agregado de una técnica electromagnética a las observaciones resistivimétricas preexistentes.

La selección del área de trabajo se realizó teniendo en cuenta los datos previos y la carencia o baches informativos en la zona más solicitada del medio acuífero.

Con centro en las localidades de Tabacundo y Cayambe se recorrió la cuenca y se tramitaron los respectivos permisos para realizar los estudios (ver Figura N° 5).

El equipamiento utilizado fue AIE-2 MEASURING SYSTEM para TEM, TERRAMETER ABEM SAS 300 y GEOMETER MPX 400 para SEV.

El software de interpretación fue ZONDEM1D para TEM e IPI2WIN para SEV.

A continuación se presentan los resultados de los 8 TDEM y los 19 SEVs (Figura N° 6 a Figura N° 33).

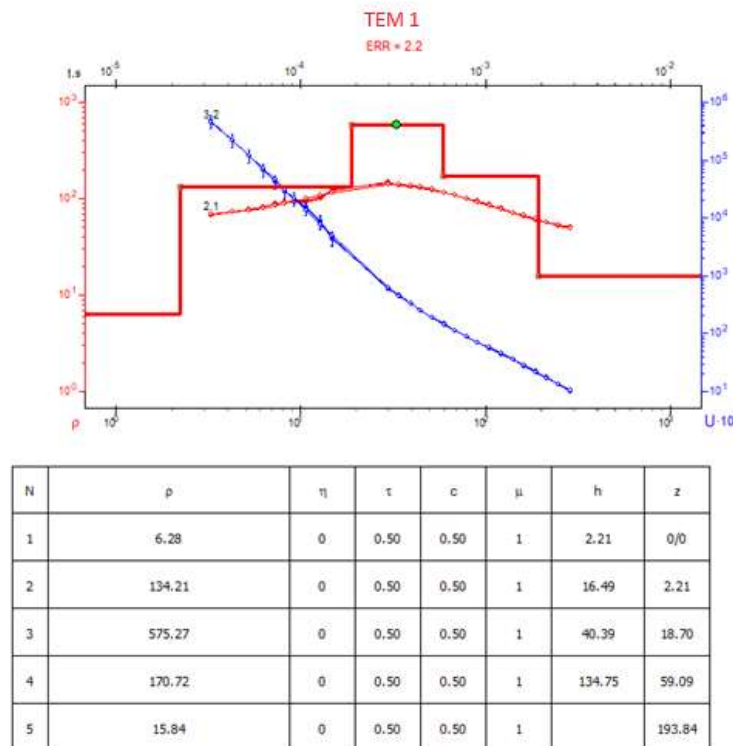


Figura N° 6. TEM 1

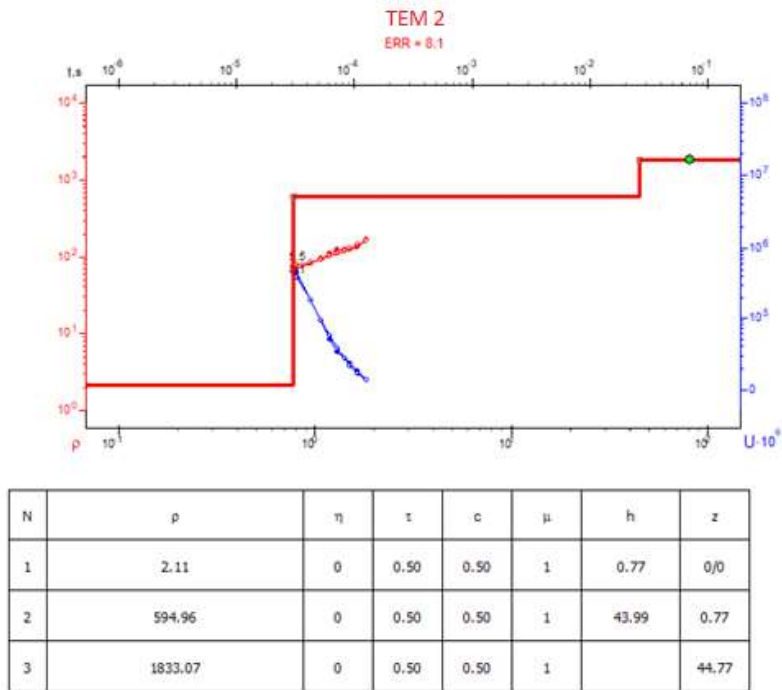


Figura Nº 7. TEM 2

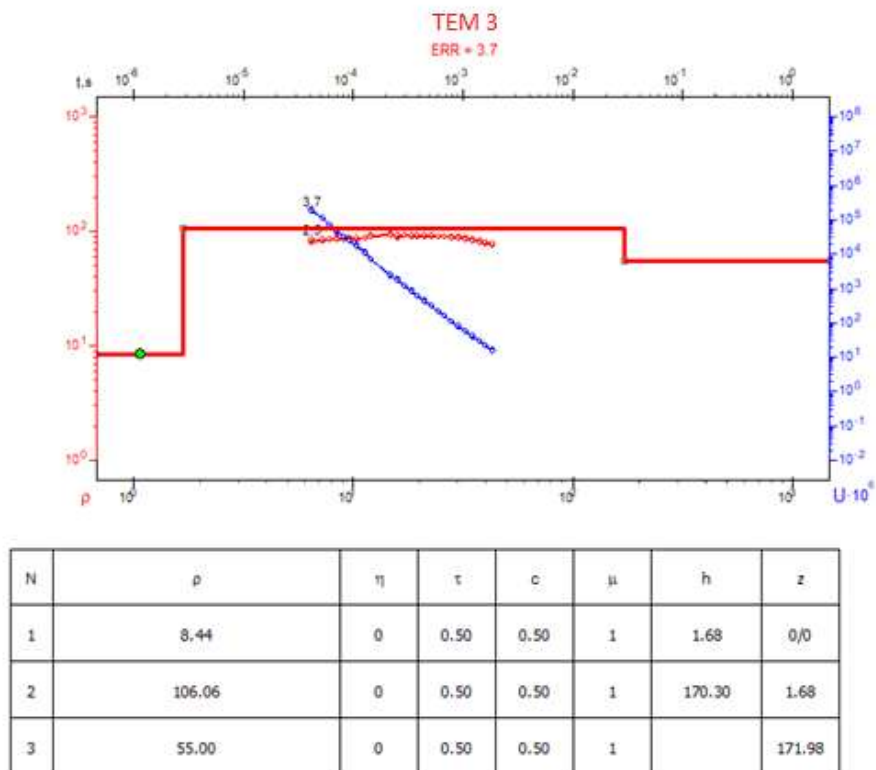


Figura Nº 8. TEM 3

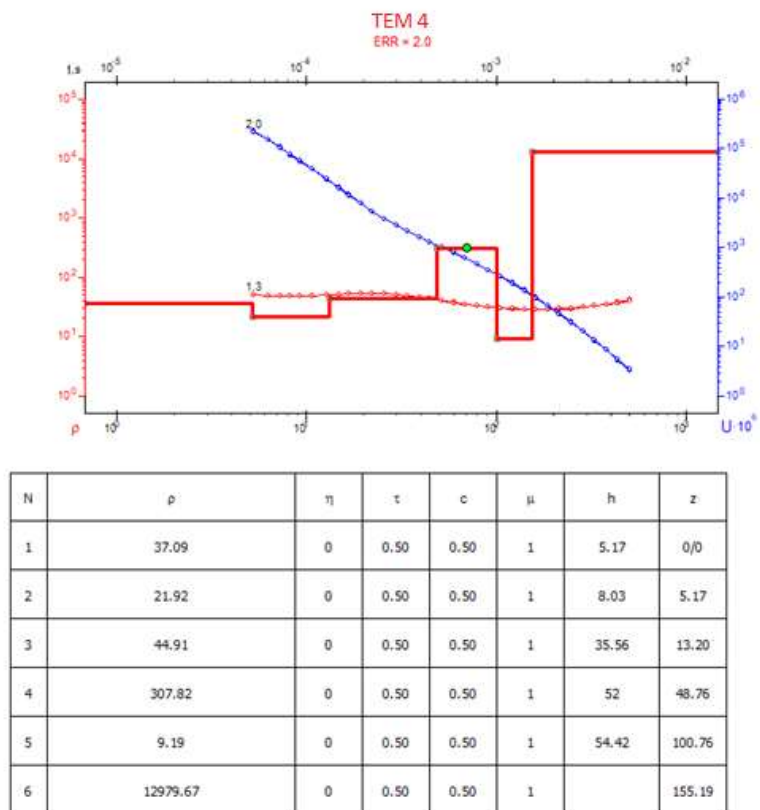


Figura Nº 9. TEM 4

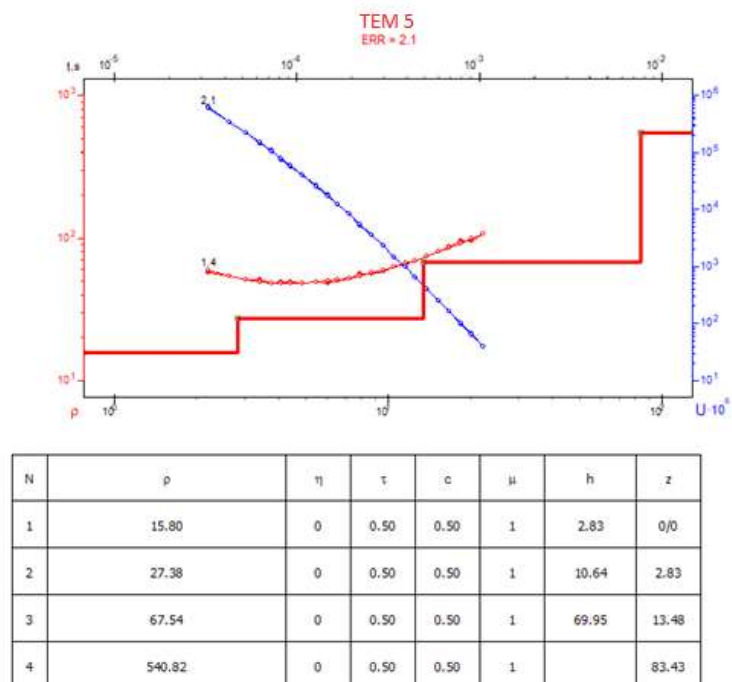
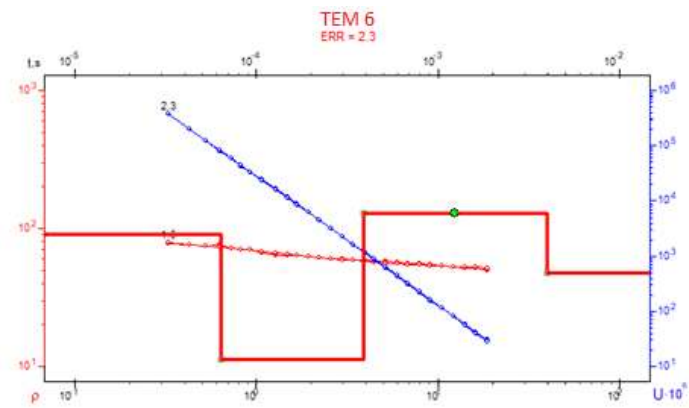
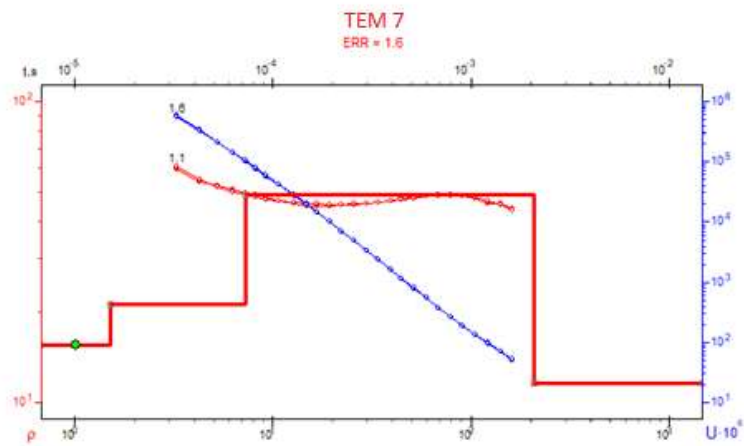


Figura Nº 10 TEM 5



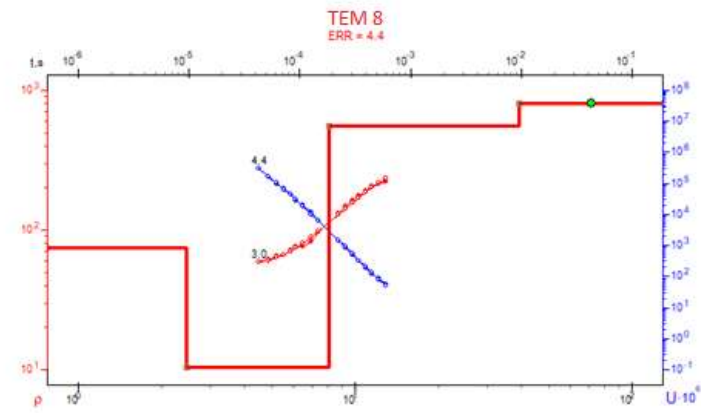
N	ρ	η	τ	c	μ	h	z
1	91.15	0	0.50	0.50	1	0.64	0/0
2	11.31	0	0.50	0.50	1	3.25	0.64
3	130	0	0.50	0.50	1	35.82	3.89
4	47.80	0	0.50	0.50	1		39.70

Figura Nº 11. TEM 6



N	ρ	η	τ	c	μ	h	z
1	15.49	0	0.50	0.50	1	1.52	0/0
2	21.18	0	0.50	0.50	1	5.72	1.52
3	49.18	0	0.50	0.50	1	200.53	7.24
4	11.52	0	0.50	0.50	1		207.77

Figura Nº 12. TEM 7



N	ρ	η	τ	c	μ	h	z
1	74.94	0	0.50	0.50	1	2.46	0/0
2	10.44	0	0.50	0.50	1	5.60	2.46
3	556.06	0	0.50	0.50	1	31.12	8.06
4	799.68	0	0.50	0.50	1		39.18

Figura Nº 13 TEM 8

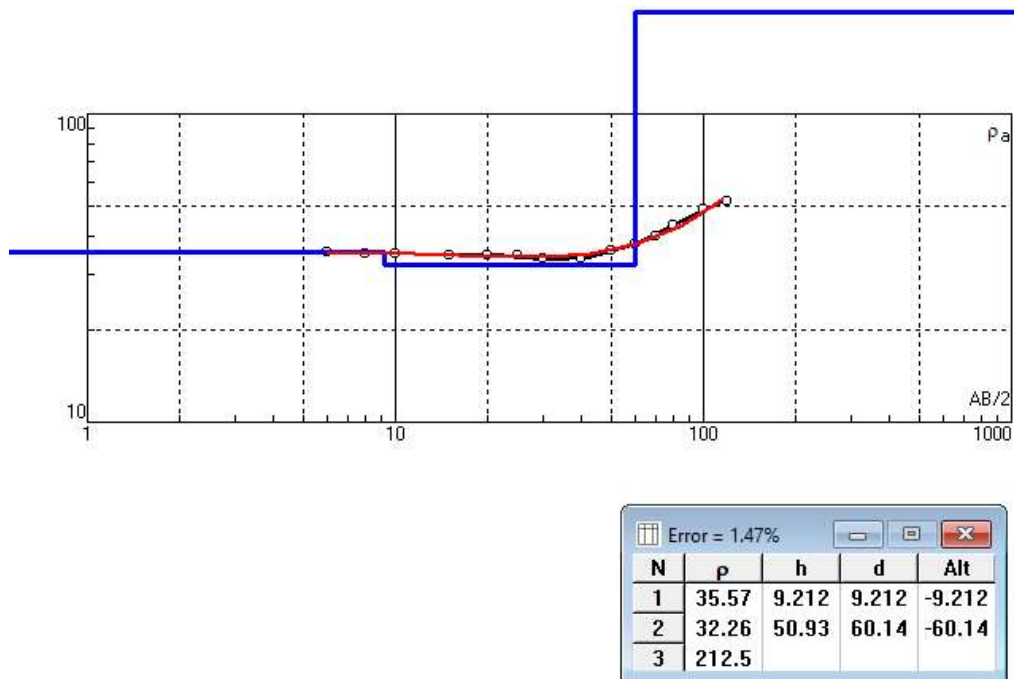


Figura Nº 14. SEV 1

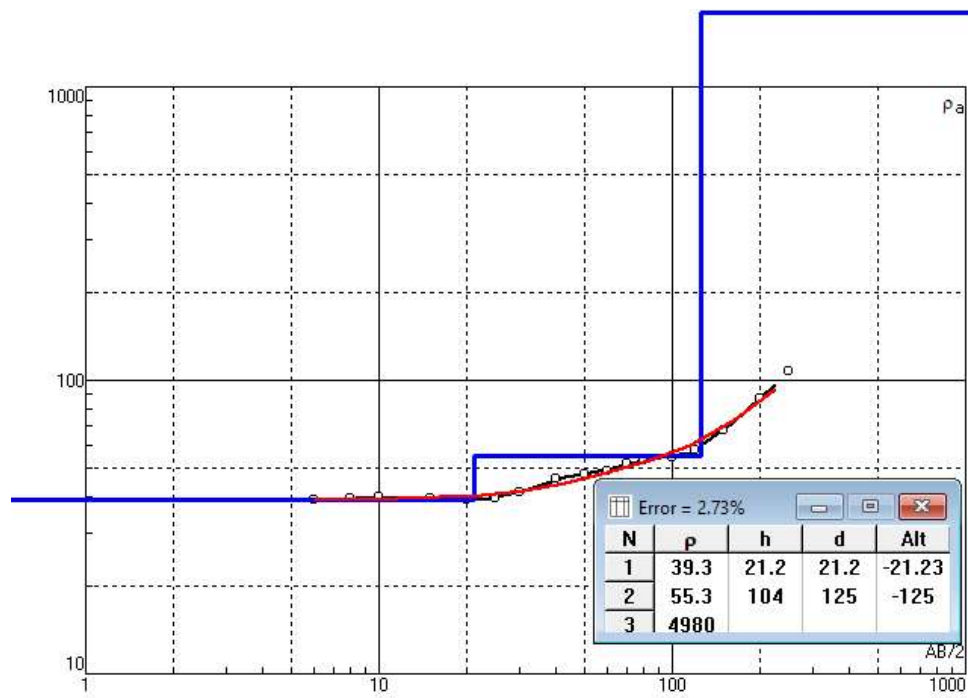


Figura Nº 15. SEV 2

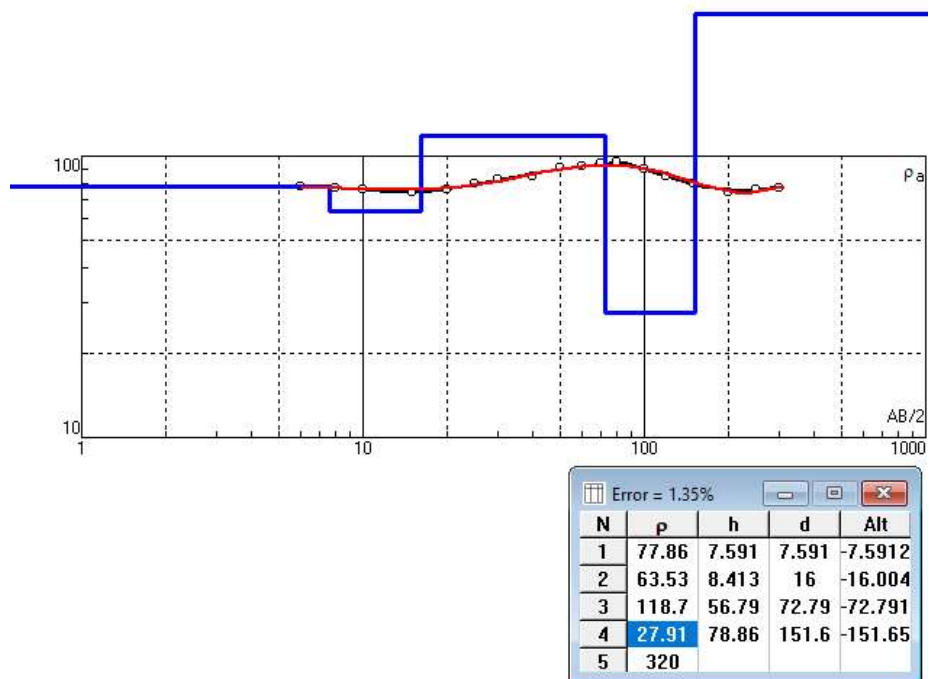


Figura Nº 16. SEV 3

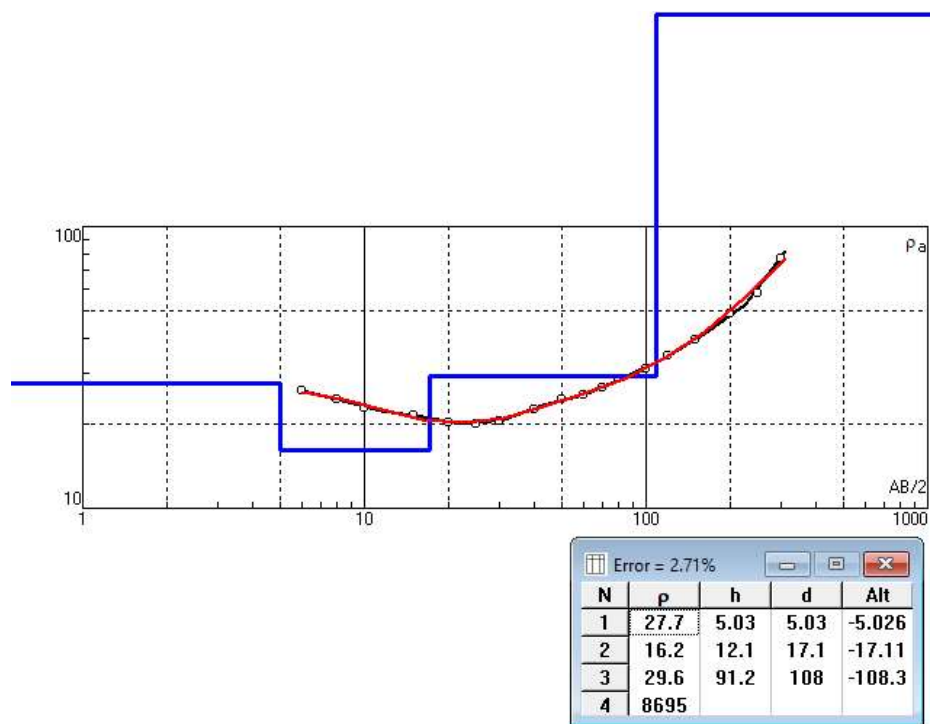


Figura Nº 17. SEV 4

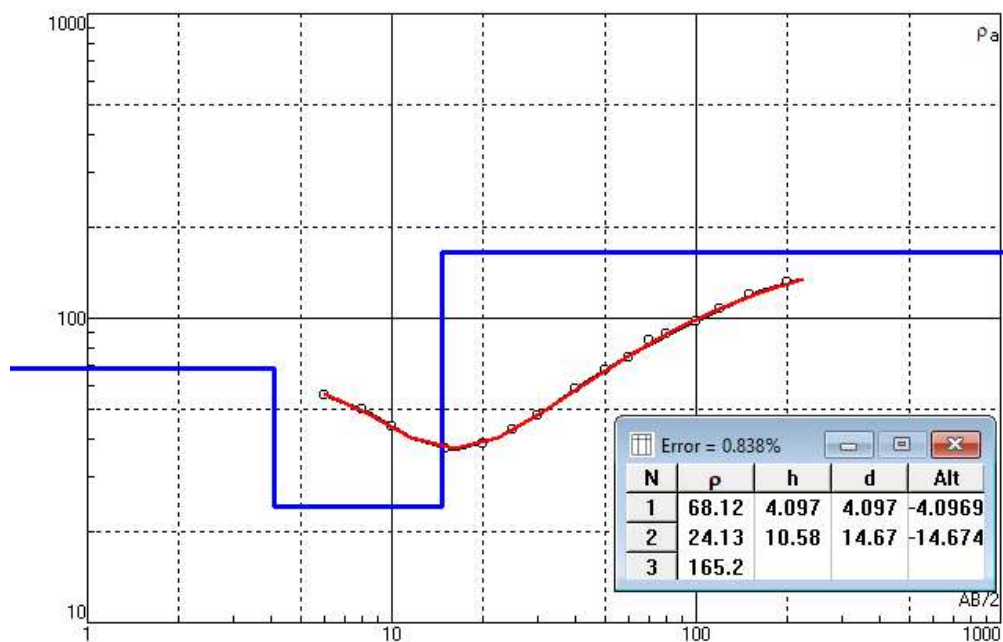


Figura Nº 18. SEV 5

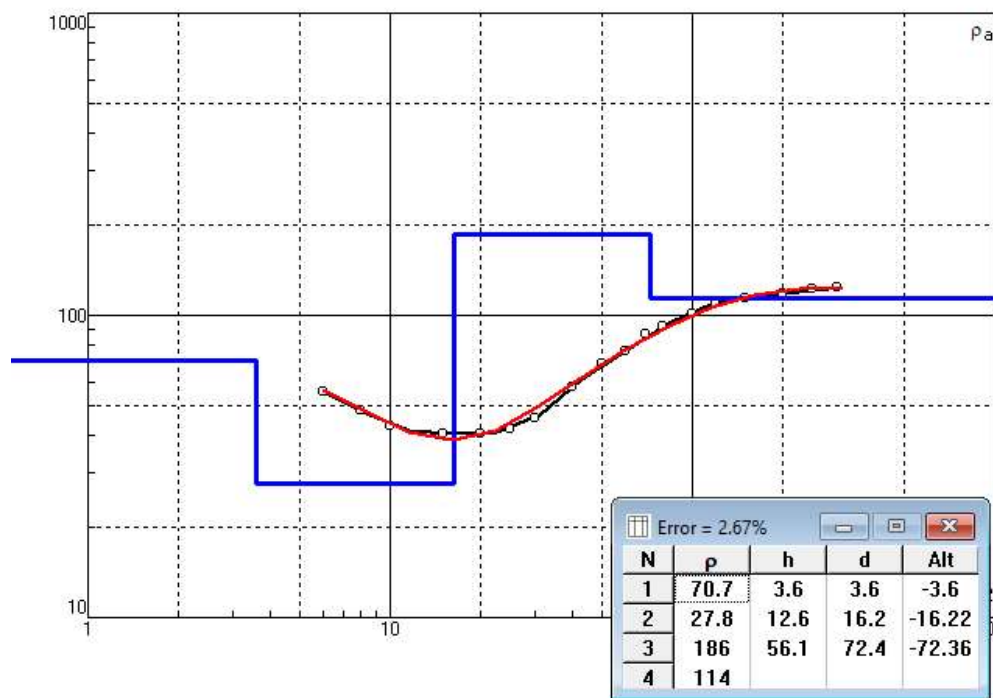


Figura Nº 19. SEV 6

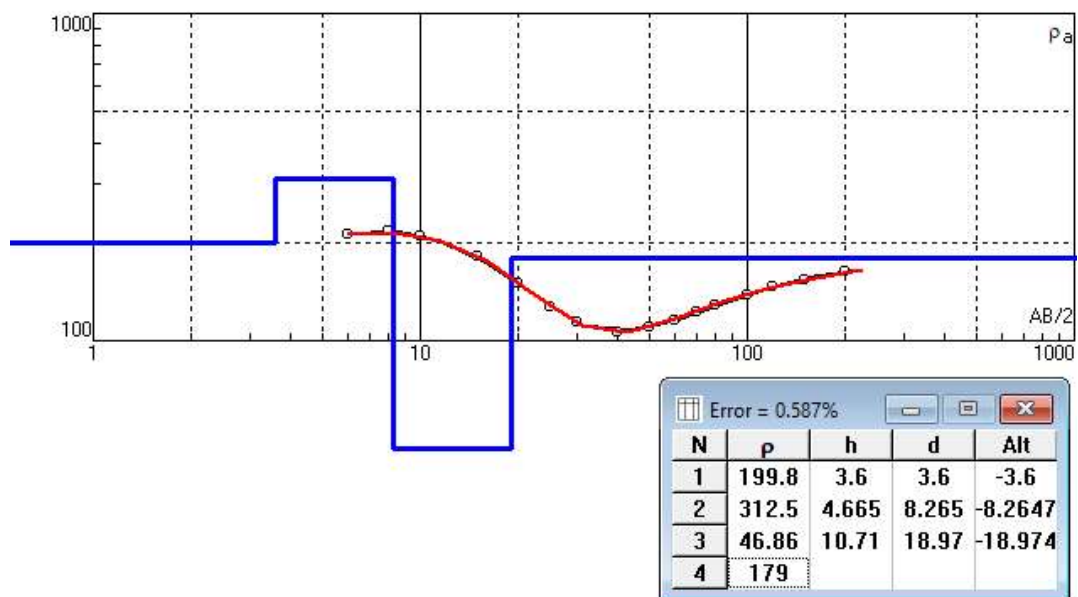


Figura Nº 20. SEV 7

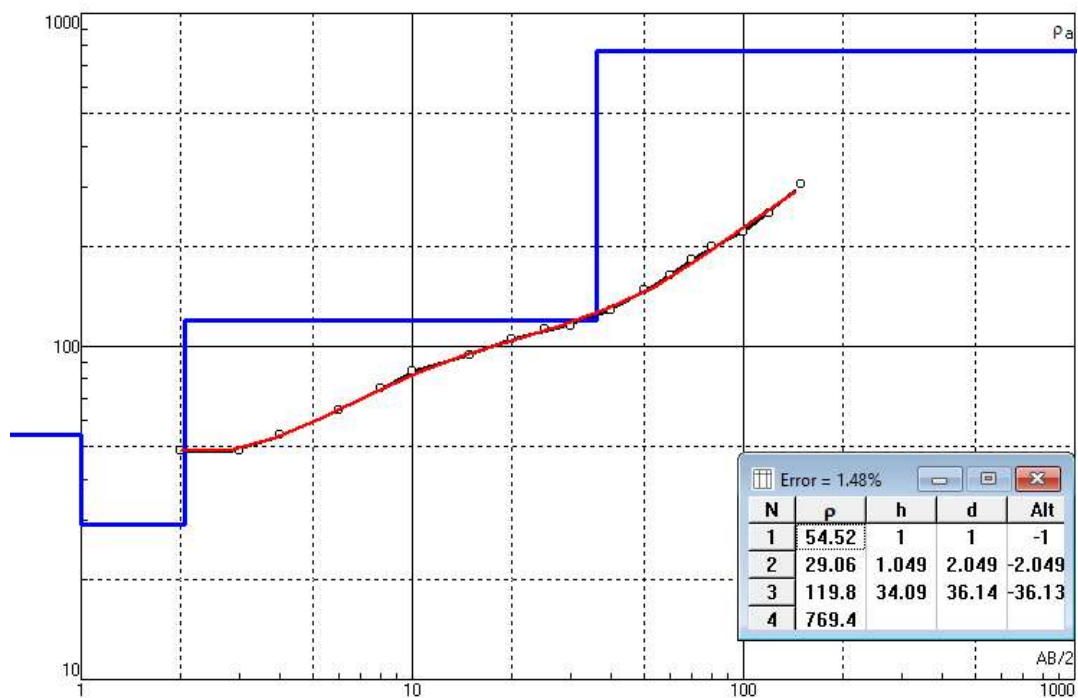


Figura Nº 21. SEV 8



Figura Nº 22. SEV 9

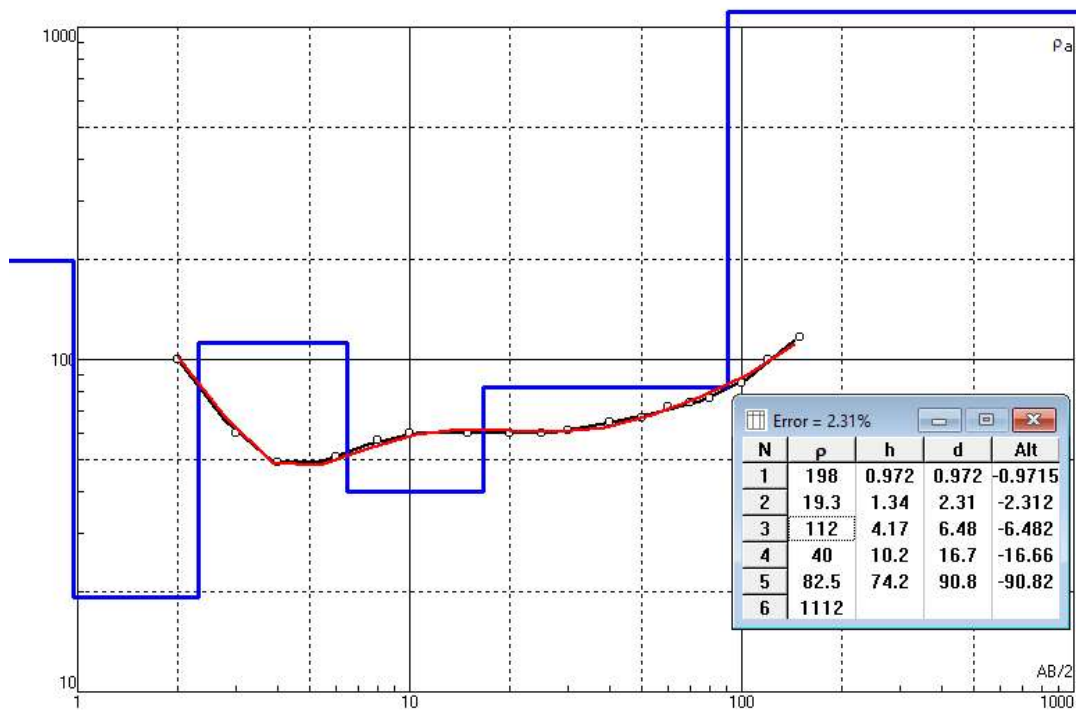


Figura N° 23. SEV 10

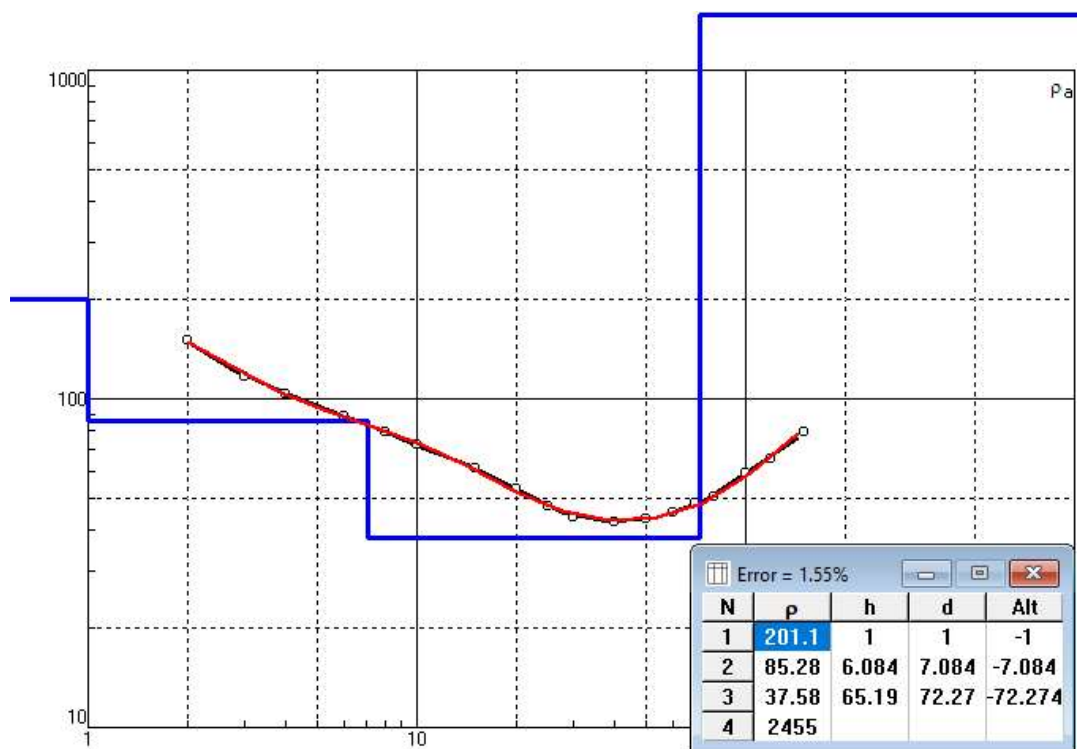


Figura N° 24. SEV 11

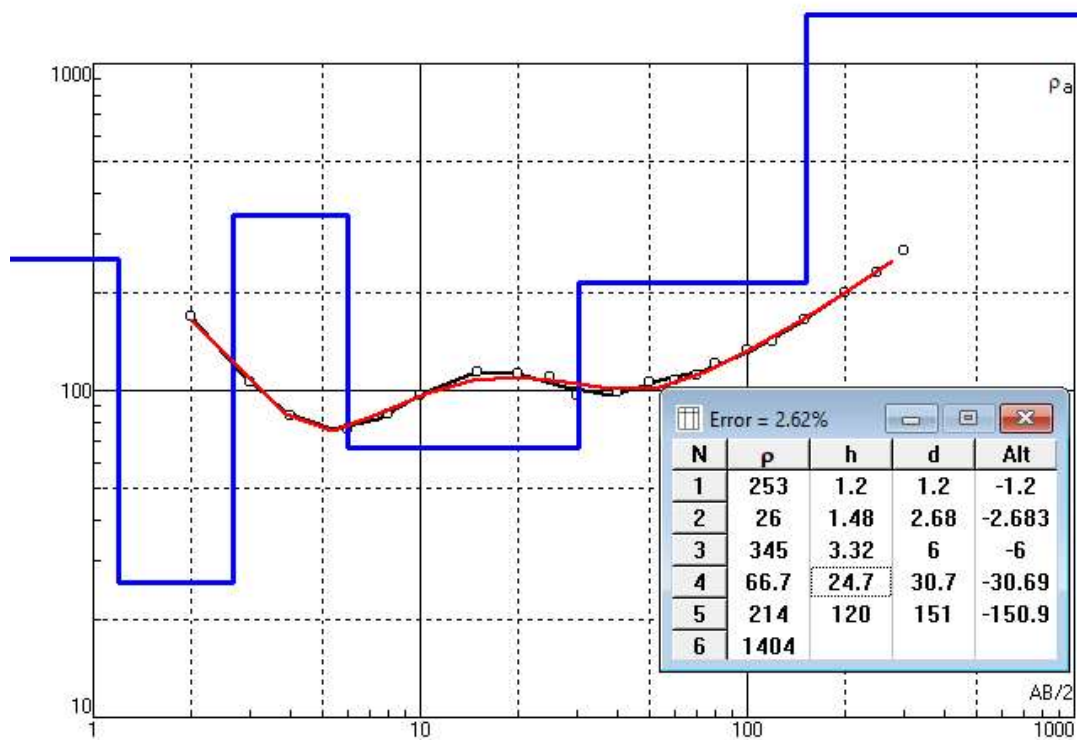


Figura № 25. SEV 12

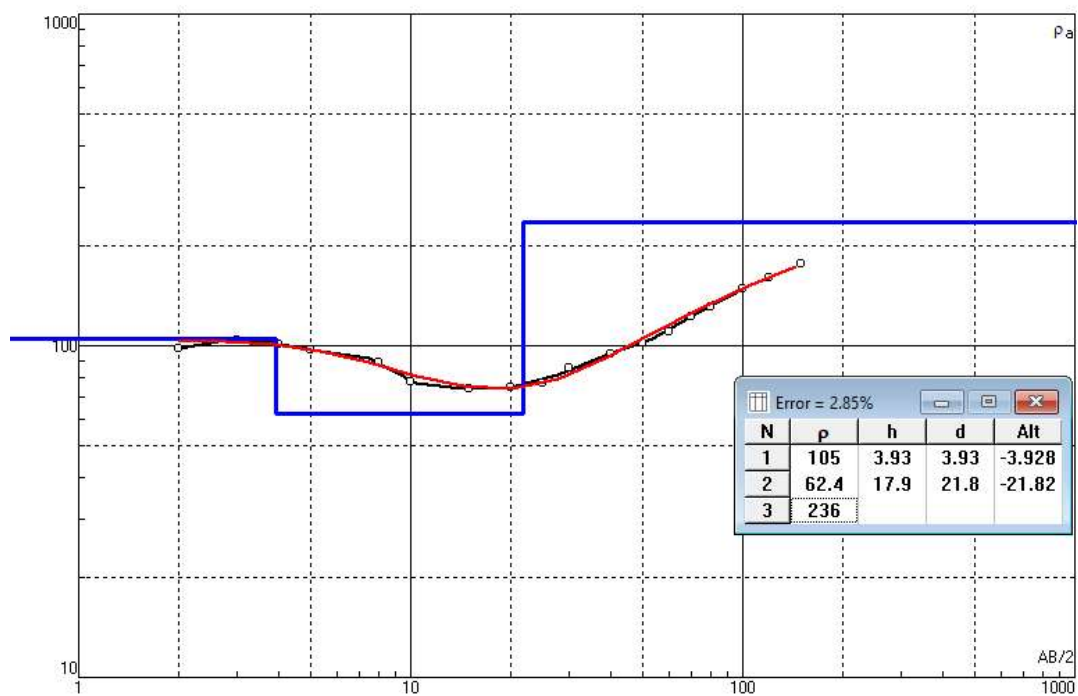


Figura № 26. SEV 13

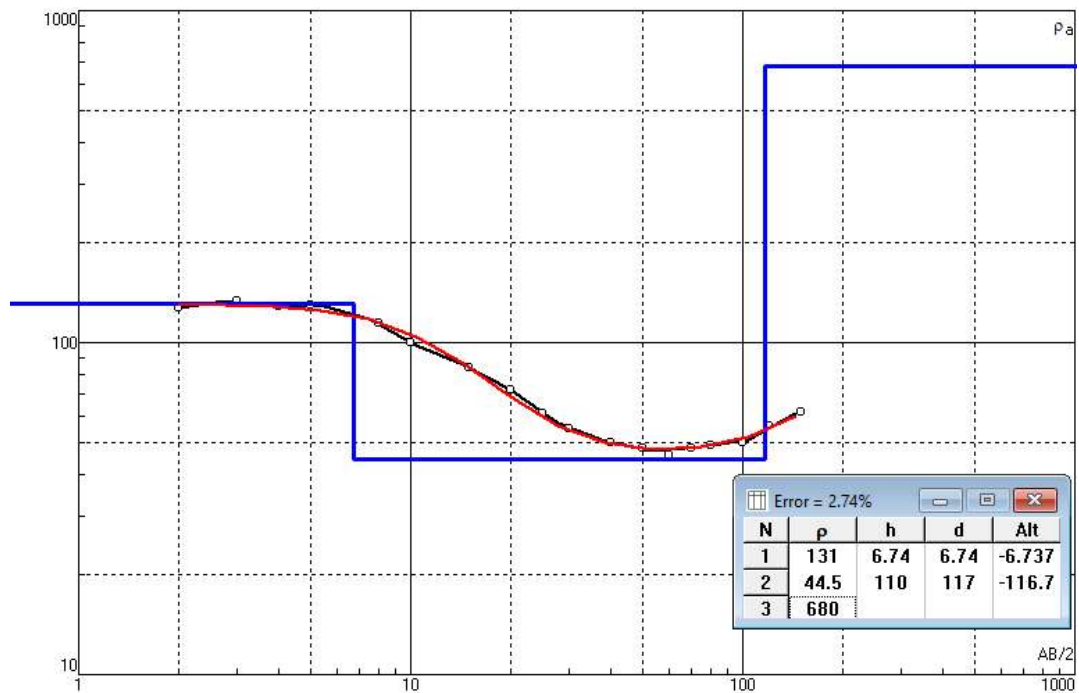


Figura Nº 27. SEV 14

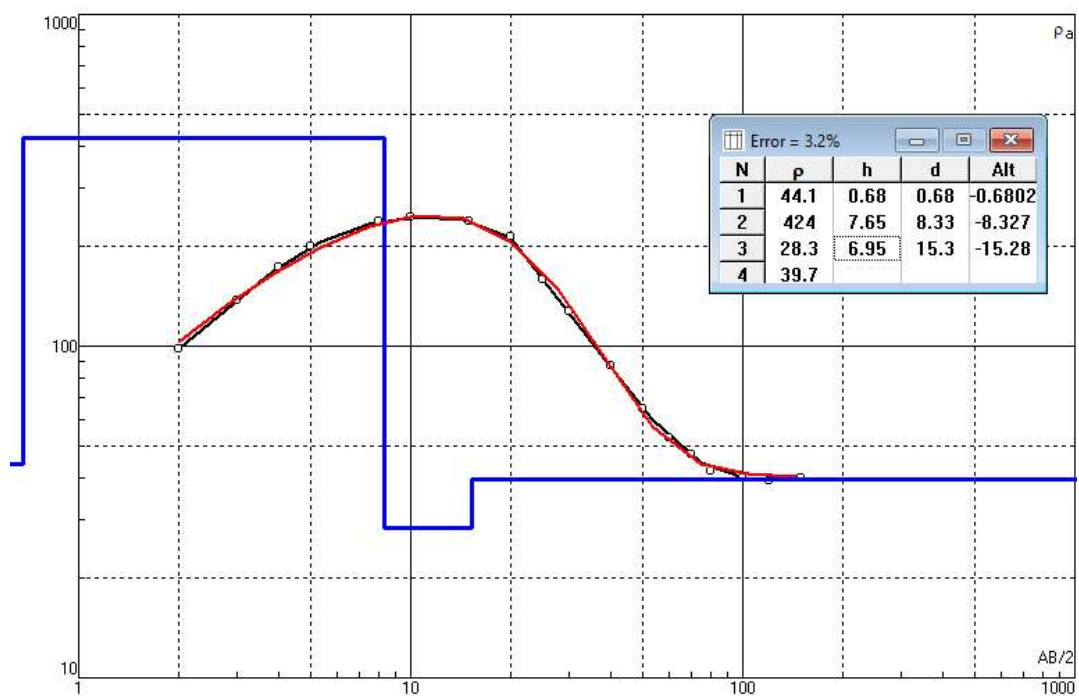


Figura Nº 28. SEV 15

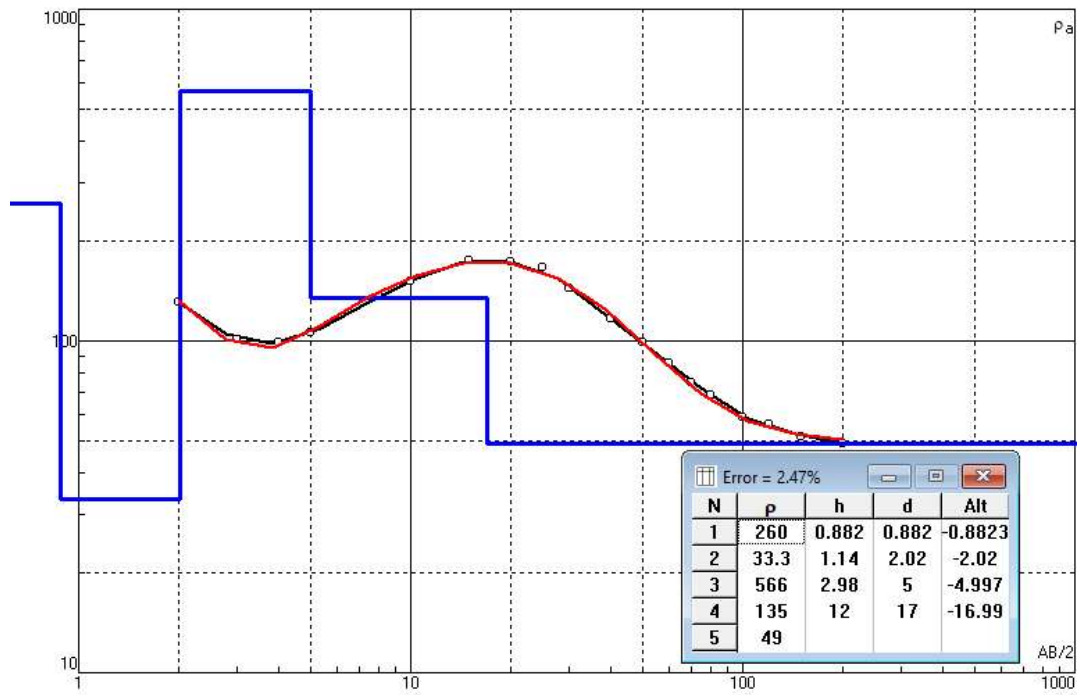


Figura N° 29. SEV 16

Error = 2.32%				
N	p	h	d	Alt
2	882	0.817	1.67	-1.666
3	66.1	0.831	2.5	-2.497
4	257	39.5	42	-42.02
5	95.3			

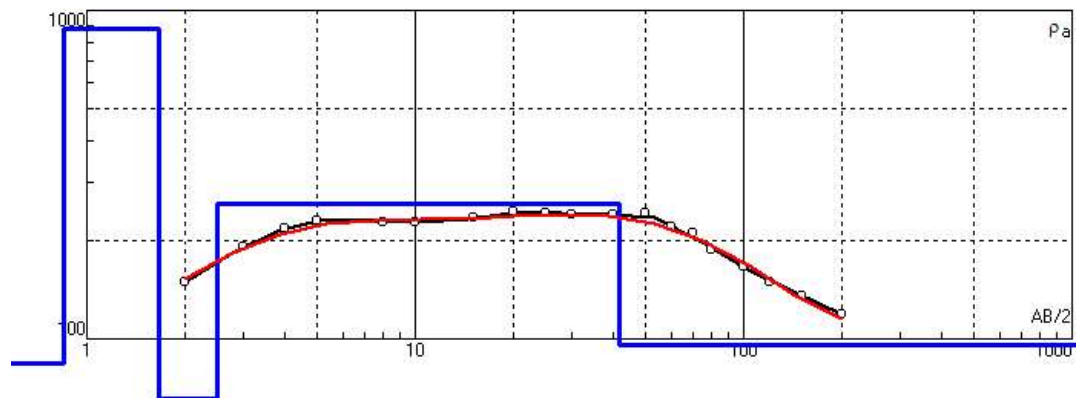


Figura N° 30. SEV 17

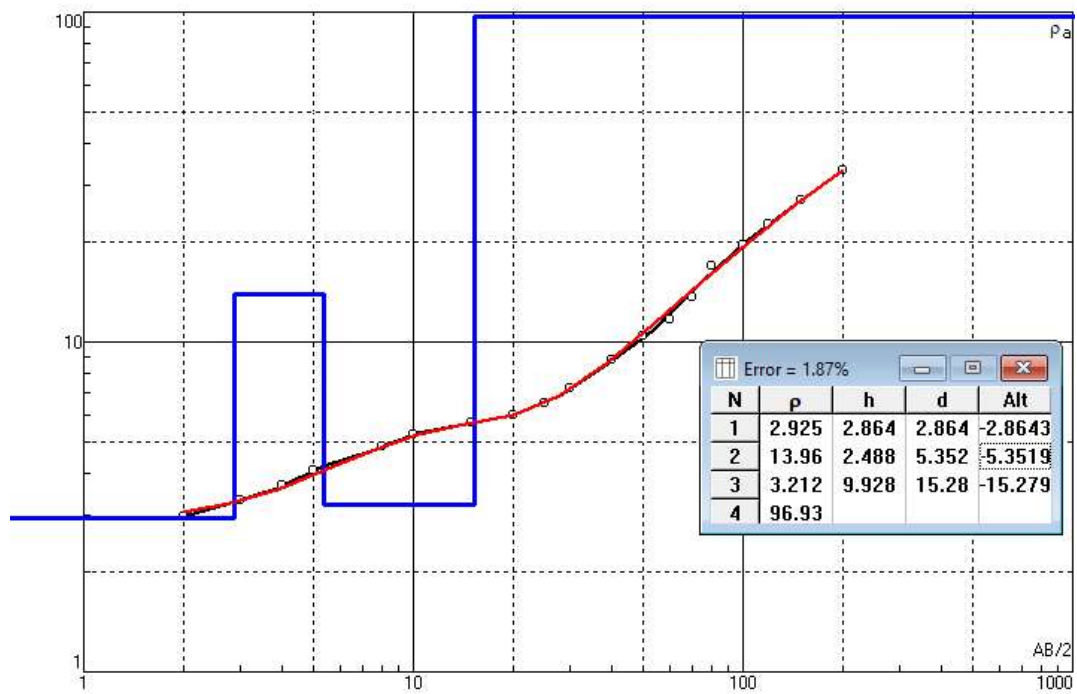


Figura N° 31. SEV 18

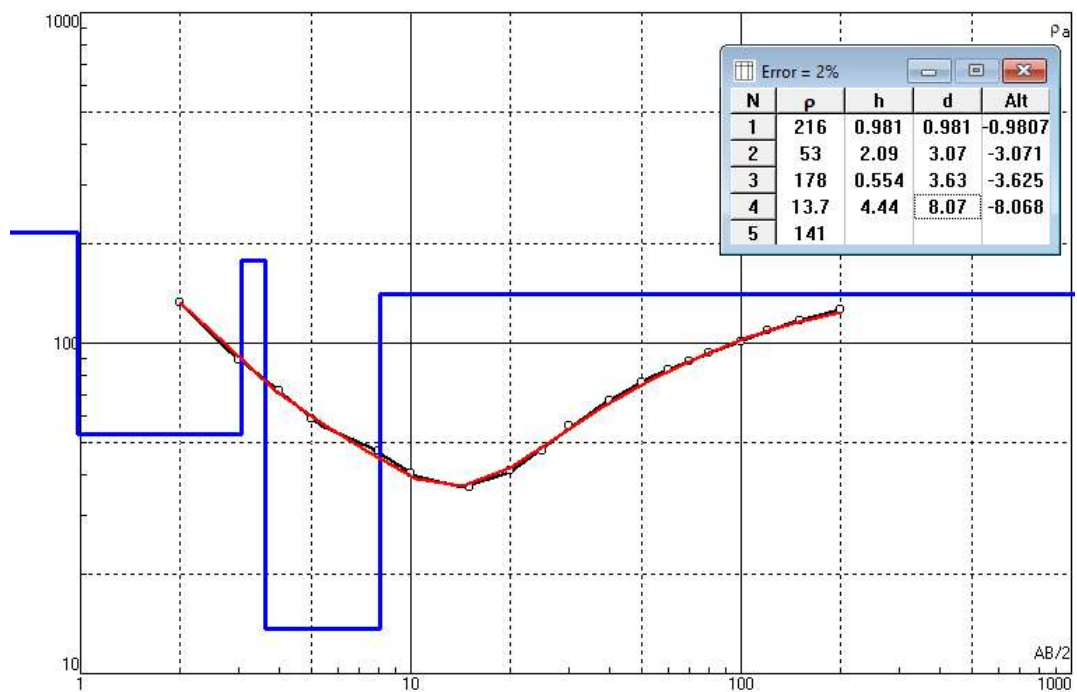


Figura N° 32. SEV 19

La información resistivimétrica reunida permite definir dos modelos bien diferenciados, uno de resistividad relativamente alta o alta y menor interés hidrogeológico, y otro con uno o dos tramos de las curvas de resistividad, descendentes a distintas profundidades, que se asocia con zonas de mejor calidad hidrogeológica. En las cercanías de Tabacundo, Cayambe y Cangahua el subsuelo tiene estratos con mayor alteración, y por ende, mejor posibilidad para

el alumbramiento de agua subterránea, mientras en las zonas más altas topográficamente (Quebrada Seca, Quebrada del Pueblo), las posibilidades se reducen en profundidades someras.

Si bien no es siempre equivalente la resolución de los TEMs y los SEVs, comparando los que se realizaran en proximidades, las tendencias son similares. Los resultados de los TEMs se utilizarán para definir las profundidades de exploración recomendadas.

Se observa la alteración en las áreas rocosas, una probable doble conductividad y sectores donde el agua subterránea puede encontrarse a profundidades económicamente convenientes.

Análisis de las curvas obtenidas

La correspondencia entre los TEMs y SEVs se presenta en la Tabla N° 1:

TEM 1	SEVs 7 y 17
TEM 2	SEVs 8 y 18
TEM 3	SEVs 5 y 6
TEM 4	SEVs 9 y 13
TEM 5	SEVs 10 y 19
TEM 6	SEVs 3 y 16
TEM 7	SEVs 11 y 14
TEM 8	SEV 12

Tabla N° 1. Puntos comunes de TEMs y SEVs.

Las resistividades aparentes pueden observarse en la Tabla N° 2, correspondiente a cada uno de los 19 SEVs.

AB/2 (m)	SEV N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2		41	50	94	28	67	97	141	46	118	116	150	167	98	122	99	131	137	3	144
3		37	44	81	28	64	78	165	46	127	60	113	106	104	134	138	99	205	3	89
4		36	41	77	27	61	67	186	52	115	45	104	83	101	128	162	92	218	4	72
6		35	39	78	26	56	56	210	61	103	49	95	76	97	130	205	106	249	4	59
8		35	40	78	24	50	48	216	71	92	57	79	84	86	122	228	131	227	5	46
10		35	40	76	22	44	43	209	80	80	60	72	96	81	113	226	148	208	4	43
10		36	41	77	23	45	43	206	80	80	60	72	96	78	92	244	144	228	5	45
15		35	40	75	21	37	41	181	89	70	60	62	113	75	85	240	175	249	6	37
20		35	39	76	20	39	41	149	100	68	60	53	125	84	77	214	183	243	7	41
25		35	40	80	20	43	42	127	107	69	60	47	110	77	61	160	154	223	6	47
30		34	42	82	20	48	46	113	110	70	61	44	96	86	55	147	143	223	8	63
40		34	46	85	23	59	58	107	123	74	65	42	98	94	51	84	113	223	9	74
40		34	46	85	22	58	58	106	123	74	65	42	98	94	51	82	112	215	8	74
50		36	48	91	24	67	69	110	140	78	67	43	106	102	48	65	99	220	10	78
60		38	49	91	25	75	76	115	155	81	70	45	107	110	47	53	86	220	14	83
70		40	52	94	27	84	86	123	173	90	72	48	111	123	48	48	75	209	24	88
80		45	54	95	29	88	93	128	199	102	80	50	120	131	50	42	69	186	17	94
80		44	54	92	29	88	92	128	199	102	80	50	120	131	50	42	69	177	15	92
100		49	55	90	31	98	101	139	222	123	124	60	131	135	50	41	63	139	20	100
120		52	58	84	35	107	110	146	251	139	160	66	140	160	56	65	56	141	24	106
150			67	79	40	119	115	154	308	153	192	79	164	177	62	73	55	163	30	120
150			68	80	40	116	113	151					166					135	27	116
200			87	75	47	131	118	162					199					127	29	127
250			107	76	54		122						230							
300				77			123						266							

Tabla N° 2. Resistividades aparentes en Ohm-m (SEVs 1 a 19)

Así, el TEM 1 y los SEVs 7 y 17, vistos en conjunto, muestran resistividades crecientes hasta poco más de los 50 metros de profundidad, decreciendo a partir de allí, descendiendo marcadamente casi a los 200m. Si se continúa hacia el norte, por el sector oeste, el TEM 8 y el SEV 12 permiten observar curvas crecientes de resistividad, con estratos muy

superficiales de mayor conductividad. Esto concuerda con el modelo conceptual del INAMHI, que sitúa en esa área las recargas a través de la formación Cangahua, con percolación a través de fracturas coincidentes con los ejes de las quebradas y escaso interés hidrogeológico.

Continuando, el TEM 4 y los SEVs 9 y 13, muestran posibilidades de alumbramiento de agua hasta los 50 m de profundidad, apareciendo una disminución importante de la resistividad entre 100m y 150m, que podría asociarse al contenido de agua. A continuación, la zona norte cierra con los SEVs 2 y 1, mostrando buenas cualidades hidrogeológicas hasta los 100 m de profundidad, tras lo cual aparece la roca tenaz.

Continuando hacia el sur, y ya en el sector más al este, el TEM 6 se halla en proximidad del SEV 16 (Ayora) y no lejos del SEV 3 (zona del nuevo mercado Cayambe). Aquí las posibilidades hidrogeológicas se observan antes de los 80m de profundidad, dando evidencia de continuidad a mayor profundidad.

Cerrando la zona sudeste, están los SEVs 4 y 15, con posibilidades de extracción de agua en los primeros 100 m de profundidad.

Más hacia el centro del área de estudio, se encuentran el TEM 7 y los SEVs 11 y 14, en una zona aluvial, en piedemonte, con buenas perspectivas hidrogeológicas.

El TEM 5 y los SEVs 10 y 19, próximos al río La Chimba, en el extremo norte del área, muestran posibilidades en los primeros 80m de profundidad.

Finalmente, el sector central, presenta los resultados comparados del TEM 2, los SEVs 8 y 18, próximos al TEM 3 y los SEVs 5 y 6. Esta área se relaciona a zonas aluviales, de la formación Cangahua, donde posiblemente haya una recarga al acuífero de doble permeabilidad, y de interés hidrogeológico medio hacia la zona del TEM 3.

Datos hidroquímicos

La Figura N° 33 ubica los pozos con datos y análisis químicos y la Tabla N° 3 el tipo de captación, sus coordenadas, cota, nivel estático y profundidad.

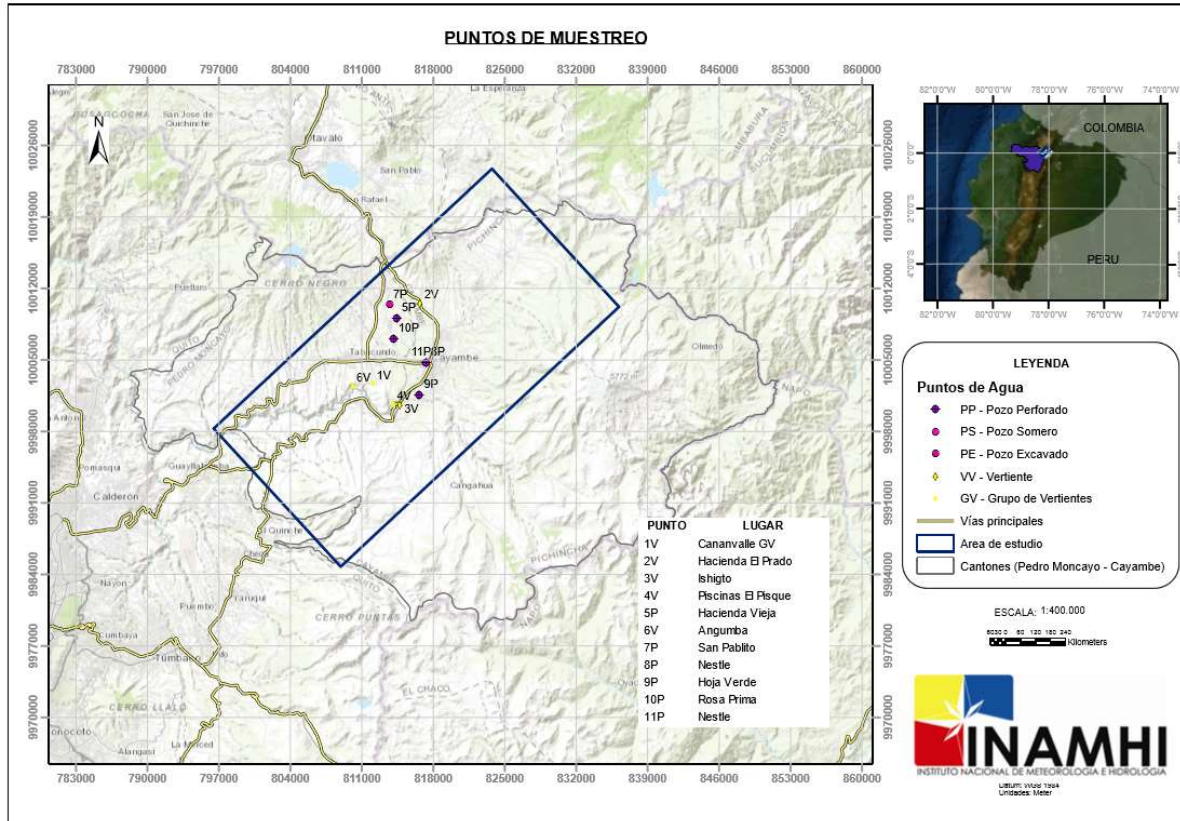


Figura N° 33. Puntos de muestreo químico

Pozo	Fecha	Tipo	X (m)	Y (m)	Z (m)	NE (m)	Prof (m)	CE (μS/cm)	pH	T (°C)
Cananvalle #2	16/06/2017	GV	812117	10002686	2730	0,00	-	438	8,1	17,4
Hacienda El Prado	16/06/2017	VV	816672	10010516	2813	0,00	-	321	7,2	16,5
Ishigto	16/06/2017	VV	814712	10000550	2663	0,00	-	394	7,3	21,6
Pisc. Term. El Pisque #1	16/06/2017	GV	814087	10000686	2644	0,00	-	1439	7,1	26,9
Hda. Vieja	23/06/2017	PP	814418	10009044	2834	22,09	50,0	527	7,7	17,1
Angumba	23/06/2017	CV	810137	10002430	2579	0,00	-	363	7,7	20,5
San Pablito Agualongo	23/06/2017	PE	813723	10010472	2911	11,37	23,0	290	7,7	16,9
NESTLE ECUAJ. #1	07/07/2017	PP	817367	10004734	2849	13,38	166,5			
NESTLE ECUAJ. #2	07/07/2017	PP	817282	10004695	2845	40,30	135,0	307	7,2	16,5
Hoja Verde	07/07/2017	PP	816612	10001572	2782	-	80,0	402	7,4	16,9
Rosa Prima	07/07/2017	PP	814113	10007073	2819	10,00	108,0	333	7,5	16,5

Tabla N° 3. Ubicación de perforaciones incorporadas

En cuanto a la hidroquímica se refiere, los análisis de 2017 y un análisis de 2018 se procesaron y se calculó el error del balance iónico (Tabla N° 4). La Figura N° 34 muestra los diagramas de Schöeller y sus agrupamientos. En el centro del área de interés, se analizaron muestras de dos perforaciones próximas captadas a distinta profundidad, de dos medios acuíferos diferenciados. La Figura N° 35 presenta los resultados en el diagrama de Piper y la Figura N° 36 el diagrama de Stiff. Puede observarse un mayor contenido en los iones principales cloruro, sulfato y magnesio de la muestra 2, perforación a menor profundidad.

ION (meq/l)	Muestra	HCO3-	NO3-	Cl-	SO4-	Na+	K+	Mg+	Ca+	Σ aniones	Σ cationes	% error
Cananvalle #2	1	4,17	0,27	0,32	0,26	1,43	0,84	2,18	1,35	5,02	5,81	7%
Hda. El Prado	2	3,35	0,10	0,20	0,07	1,15	0,68	1,43	0,96	3,72	4,21	6%
Ishigto	3	4,00	0,00	0,14	0,28	1,62	0,95	1,79	1,04	4,42	5,40	10%
Piscinas termales El Pisque #1	4	11,61	0,10	3,31	0,36	8,80	5,18	4,69	1,51	15,38	20,18	13%
Hda. Vieja	5	2,80	0,05	0,06	0,02	0,90	0,53	0,95	1,11	2,92	3,50	9%
Angumba	6	4,09	0,12	0,23	0,11	1,06	0,62	1,35	1,99	4,54	5,03	5%
San Pablito de Agualongo	7	2,37	0,16	0,35	0,29	0,57	0,33	1,23	1,15	3,17	3,28	2%
NESTLE, ECUAJUGOS #1	14	2,86	0,00	0,03	0,04	0,84	0,49	1,30	0,81	2,94	3,44	8%
NESTLE, ECUAJUGOS #2	11	2,32	0,22	0,46	0,57	0,78	0,46	1,59	0,96	3,57	3,78	3%
Hoja Verde	12	3,10	0,33	0,23	0,92	1,02	0,60	1,99	1,51	4,58	5,12	6%
Rosa Prima	13	3,05	0,08	0,03	0,02	1,08	0,64	1,59	0,88	3,18	4,19	14%

Tabla N° 4. Análisis químicos

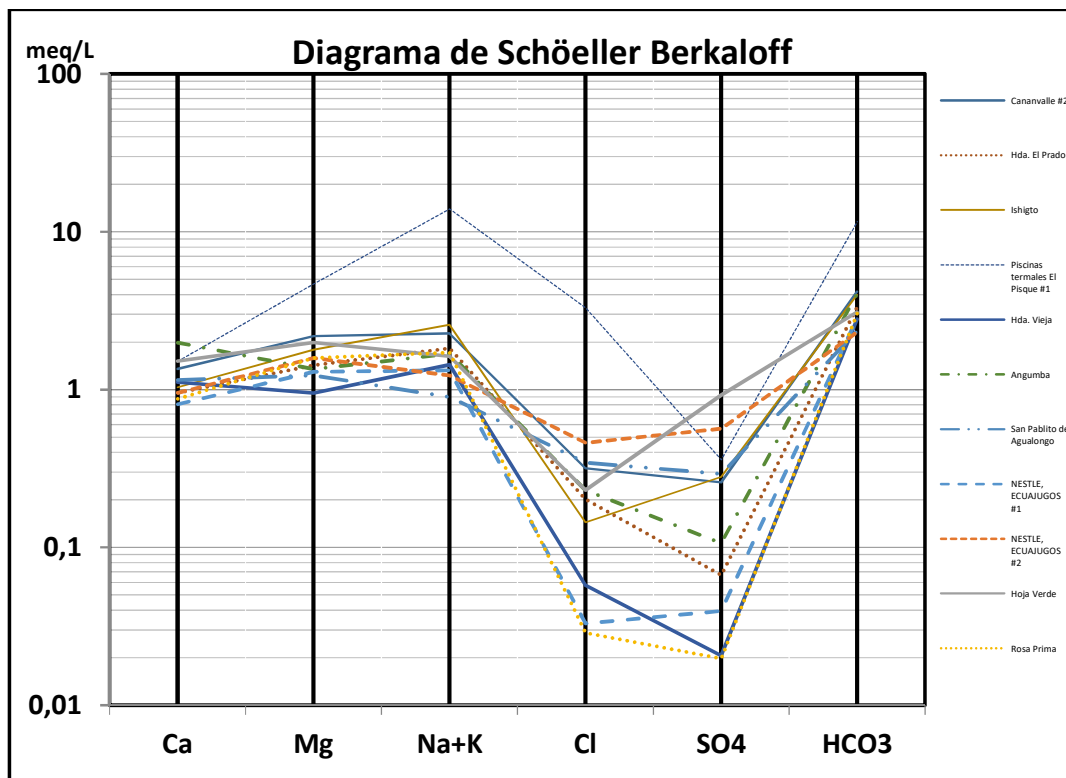


Figura Nº 34. Diagrama de Schöeller.

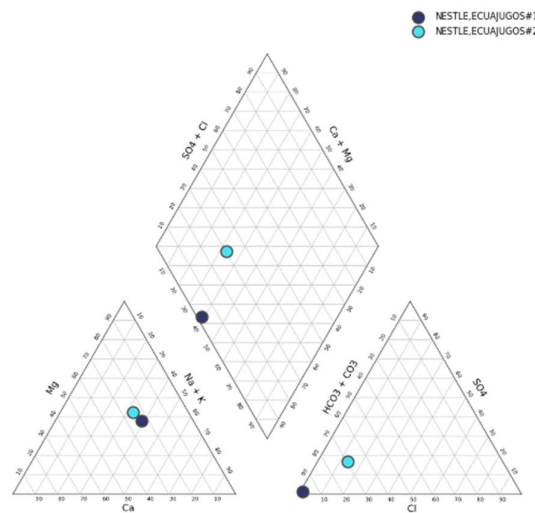


Figura Nº 35. Diagrama de Piper – Pozos Nestlé.

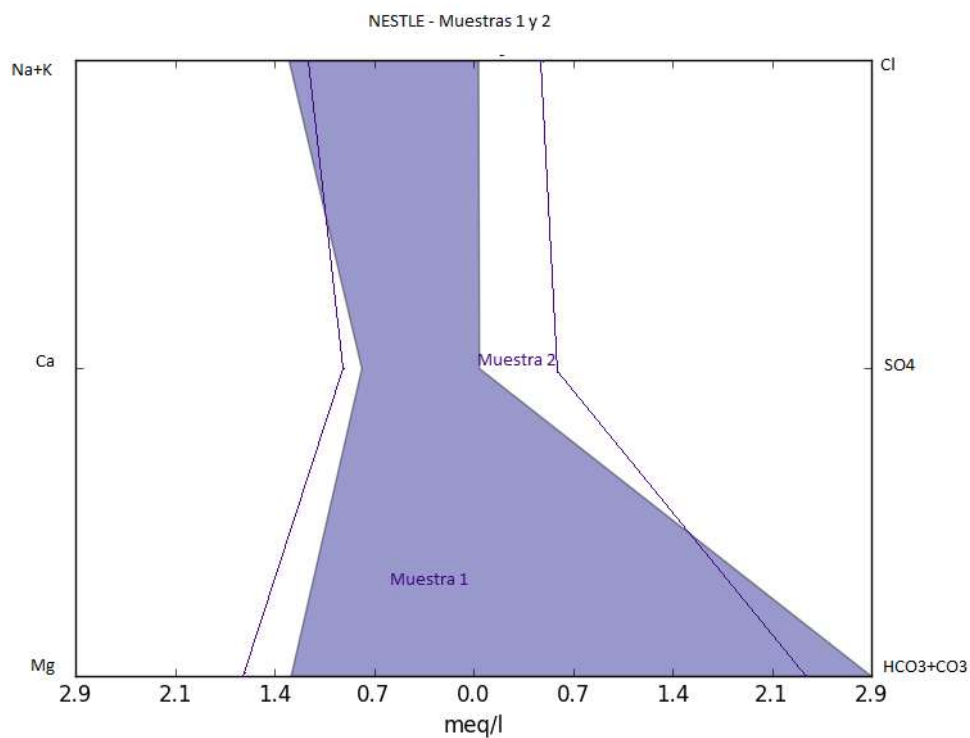


Figura N° 36. Diagramas de Stiff – Pozos Nestlé

Análisis de la información relevada

Se reunió toda la información útil en la Figura N° 37.

Las cualidades acuíferas del sistema Cayambe son variables, con buenas posibilidades de explotación a distintas profundidades. Por esta razón, y la escasa cantidad de datos con que se trabajó, se entendió conveniente asociar resistividades medias en dos categorías: Medio permeable y Medio resistivo.

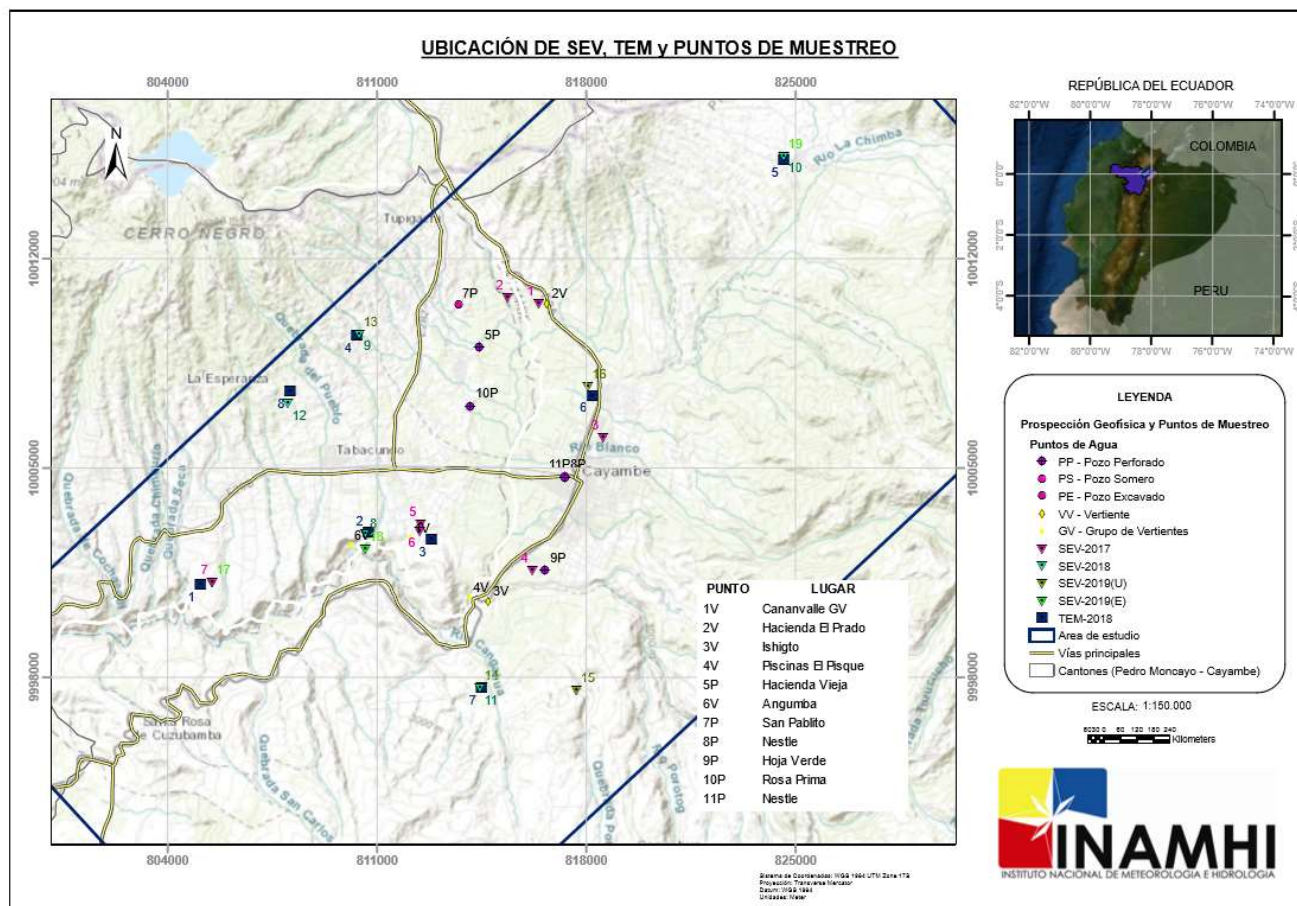


Figura Nº 37. Puntos de muestreo hidroquímico y relevamiento geofísico

Tomando como inicial el sector más al norte (TEM 5, SEVs 10 y 19), se trazan tres direcciones en abanico, hacia el suroeste (Figura 38):

Línea 1: SEVs 1 y 2, 2V, 7P, 5P; TEM 4, SEVs 9 Y 13; TEM 8, SEV 12.

Línea 2: TEM 6, SEVs 16 y 3, 10P; 11P, 8P, 1V, TEM 3, SEVs 5 y 6; 6V; TEM 1, SEVs 7 y 17.

Línea 3: SEV 3; SEV 4, 9P, 4V, 3V; TEM 7, SEVs 11, 14 y 15.

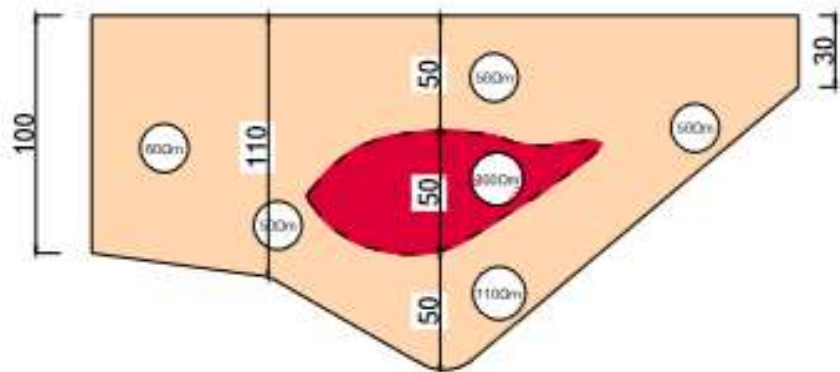


Figura Nº 39. Detalle de profundidades medias y resistividades de la Línea 1

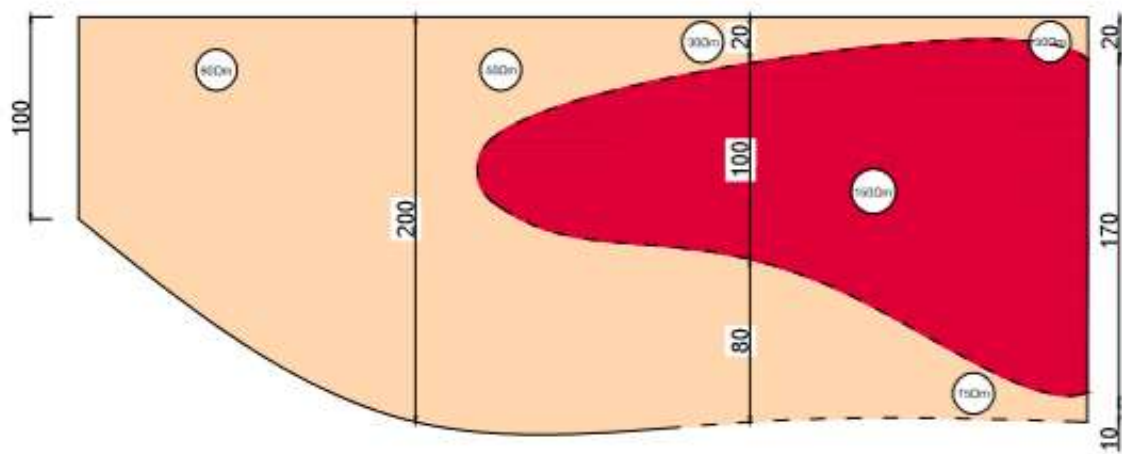


Figura Nº 40. Detalle de profundidades medias y resistividades de la Línea 2

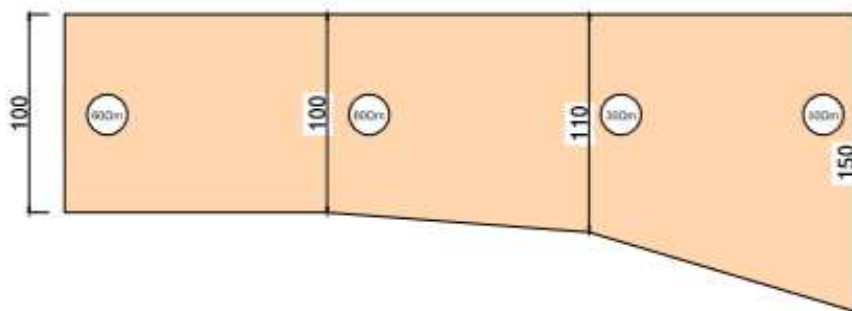


Figura Nº 41. Detalle de profundidades medias y resistividades de la Línea 3

Conclusiones

Existen hasta dos estratos permeables con posibilidades para el alumbramiento de cantidades útiles de agua subterránea para la producción florícola, en buena parte del área relevada. Las profundidades de los pozos en el sector de la Línea 1, son del orden de 100m cuando hay una sola capa permeable resistiva. Cuando hay tres capas, en la primera capa resistiva permeable, son pozos previsibles de 50m promedio, y para utilizar la segunda capa resistiva permeable, entre 100m y 150m.

En la Línea 2, la profundidad de los pozos se halla entre 100m y 200m cuando hay una sola capa resistiva permeable. En caso de dos capas, la primera es poco importante, y la segunda puede encontrarse más allá de los 100m de profundidad, y hasta los 200m o más, en algún caso.

En la Línea 3, los pozos tendrán una profundidad promedio de 100m a 150m.

La calidad del agua para riego es buena.

Agradecimientos

A los Funcionarios Públicos de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) municipales y parroquiales de Pedro Moncayo y Cayambe por la ayuda proporcionada en el desarrollo de esta investigación.

Bibliografía

1. Keller, G.V., Frischknecht, F.C. (1966) Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Pergamon Press, 519 p.
2. Orellana, E. (1972) Prospección geoeléctrica en corriente continua. Ed. Paraninfo, 523 p.
3. Astier, J.L. (1975) Geofísica aplicada a la hidrogeología. Ed. Paraninfo. 343 p.
4. Koefed, O. (1979) Geosounding Principles, 1. Resistivity Sounding Measurements. Elsevier. 276 p.
5. Iakubivskii, Iu.V, Liajov, L.L. (1980) Exploración Eléctrica. Ed. Reverté. 421 p.
6. Ward, S.H. and Hohmann, G.W. (1987) Electromagnetic Theory for Geophysical Applications. In: Nabighian, M.N., Ed., Electromagnetic Methods in Applied Geophysics, Vol. 1, Society of Exploration Geophysicists, 131-311.
7. Sharma, P.V. (1997) Environmental and Engineering Geophysics. Cambridge University Press. 475 p.
8. Reynolds, J. M. (1997) An introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons Ltd. 778 p.
9. INAMHI. (2017) Estudio de caracterización hidrogeológica del acuífero de Cayambe (Provincia de Pichincha). Informe final. 124p.



Campaña de levantamiento de datos geofísicos 2018 - Resistivimetría

Angumba, Vía a Laguna de Mojanda, San José Alto y Olmedo/San Pablo Urco



Campaña de levantamiento de datos geofísicos 2018 – Transitorios electromagnéticos

Tomalón, Cananvalle, Angumba y San José Alto



Campaña de levantamiento de datos geofísicos 2018 - Transitorios electromagnéticos

Olmedo/San Pedro Urco, Ayora y Vía a Laguna de Mojanda



Primera Campaña de levantamiento de datos geofísicos 2019 - Resistivimetría
Cangahua, Comuna Caniburo y Ayora



Segunda Campaña de levantamiento de datos geofísicos 2019 - Resistivimetría
Tomalón, Angumba y San Pablo Urco