

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

TESINA DE GRADO

“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA LOCALIDAD
DE SAYÁ”

TRABAJO FIN DE CARRERA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MINAS

Presentada por:

Fernando Heraclídes Alvarez Ramos

Guayaquil – Ecuador

2010

AGRADECIMIENTO

A TODA LAS PERSONAS QUE DE UNO U OTRO MODO COLABORARON EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO Y ESPECIALMENTE EN LA DRA. PAOLA ROMERO DIRECTORA DE TESINA, POR SU INVALUABLE AYUDA.

DEDICATORIA

A DIOS

MIS ABUELOS

MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Msc. Gastón Proaño

SUB- DECANO DE LA FICT

Dra. Paola Romero

DIRECTOR DE TESINA

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este trabajo. Fin de Carrera “Tesina”, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITOTAL”

Fernando H. Alvarez Ramos

RESUMEN

La localidad de Sayá se encuentra en el sector Este de la Península de Santa Elena (Ecuador). El clima semi árido propiciado por la situación geográfica junto con el incremento de la demanda de agua, han hecho preciso un conocimiento de los recursos hídricos subterráneos. Así pues, el objetivo principal de esta tesina es caracterizar el Sistema Acuífero local considerando el funcionamiento hidrogeológico.

Ha sido recopilada la información de varios trabajos previos y además sean desarrollados tareas de campo y de gabinete en el periodo 2008-2009. Los resultados ponen de manifiesto que el sistema local está compuesto por dos unidades hidrogeológicas. Las arenas de la Formación Tablazo y la arenisca posiblemente del Grupo Azúcar con una media $134.4 \text{ m}^2/\text{día}$. El flujo hidráulico de la región circula básicamente de noroeste a sureste y localmente sufre un cambio de dirección hacia las captaciones que se encuentran expuestas a un régimen de explotación mayor.

Las conductividades eléctricas oscilan entre $500 - 4000 \text{ }\mu\text{S/cm}$, se puede inferir que el agua es de tipo salobre. La utilización de las reservas estimadas está en el orden de $32500 \text{ m}^3/\text{año}$.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE GRADUACION	IV
DECLARACION EXPRESA	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos del Estudio	2
1.3. Metodología de Trabajo	3
1.3.1. Gabinete	3
1.3.2. Campo	3

1.4. Marco Geográfico	4
1.4.1. Localización de la Zona de Estudio	4
1.4.2. Datos Climáticos	7
1.5. Uso del Agua en la Comuna	9
2. GEOLOGÍA	11
2.1. Geología del Ecuador	11
2.2. Geología de la Península de Santa Elena	12
2.2.1. Formación Piñón	16
2.2.2. Formación Santa Elena (Cretáceo Superior)	16
2.2.3. Grupo Azúcar (Paleoceno)	17
2.2.4. Grupo Ancón (Eoceno Medio a Superior)	17
2.2.5. Formación Tablazo (Pleistoceno)	18
2.2.6. Depósitos Coluviales y Aluviales Recientes (Pleistoceno y Holoceno)	18
2.2.7. Estructuras	19
2.3. Geología Local de Sayá	20

3. HIDROGEOLOGÍA	22
3.1. Comportamiento Hidrogeológico del Medio	22
3.2. Caracterización Hidrogeológica de la localidad de Sayá	23
3.2.1. Unidades Hidrogeológicas	23
3.2.2. Caracterización del Flujo Subterráneo	26
3.2.2.1. Procedencia de los Datos Piezométricos	27
3.2.2.2. Evolución Temporal de los Niveles Piezométricos	28
3.2.2.3. Estudio de la Piezometría de la Zona de Estudio	41
3.2.2.3.1. Limitación al Trazado Piezométrico	41
3.2.2.3.2. Mapas Piezométricos de la zona de estudio	42
3.2.3. Variación del Almacenamiento	48
4. HIDROQUIMICA	50
4.1. Distribución Espacio-Temporal de parámetros químicos.	50
4.1.1. Temperatura	50
4.1.2. Conductividad Eléctrica	52
4.2. Perfiles de temperatura y Conductividad Eléctrica	54

4.2.1 Metodología	54
4.2.2 Resultados	59
Conclusiones y Recomendaciones	63
Bibliografía	69
Anexos	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación de la población de Sayá	5
Figura 1.2. Mapa Topográfico de la zona de estudio	6
Figura 1.3. Delimitación de las principales cuencas hidrográficas de la zona de estudio	6
Figura 1.4 Mapa de Isoyetas	8
Figura 1.5. Isoyetas Medias Anuales de las Comunidades de la Península de Santa Elena (Fuente INAMHI – CEDEGE)	9
Figura 2.1. Mapa Geológico de la Península de Santa Elena del Ecuador.	14
Figura 2.2. Mapa geológico de la comunidad de Sayá.	20
Figura 3.1. Esquema Acuífero de la localidad de Sayá.	23
Figura 3.2. Columna Litológica pozo de observación de Sayá.	24
Figura. 3.3. Precipitaciones Anuales en el Área de la estación La Azúcar.	34
Figura. 3.4. Precipitaciones Anuales en el Área de la estación Manglaralto	34

Figura. 3.5. Precipitaciones Acumuladas La Libertad – INOCAR.	35
Figura. 3.6. Precipitaciones Acumuladas La Libertad – INOCAR.	35
Figura 3.7 Mapa ubicación espacial de las captaciones.	36
Figura 3.8 Distribución de las conductividades eléctricas máximas (us/cm) alcanzadas en las captaciones de la red de control en el área de la población de Sayá.	37
Figura 3.9 Mapa Piezométrico de la zona de estudio.	42
Figura 3.10 Mapa Piezométrico de la zona de estudio.	44
Figura 4.1. Temperatura media del agua de las captaciones y temperatura media del aire en el periodo de estudio 2008-2009	49
Figura 4.2. Conductividad eléctrica media de las captaciones.	51
Figura 4.3 Mapa de ISO-conductividades.	52
Figura 4.4.a. Evolución temporal de la conductividad eléctrica de algunos pozos	58
Figura 4.4.b Evolución temporal de la conductividad eléctrica de algunos pozos	59
Figura 4.4.c Evolución temporal de la conductividad eléctrica de algunos pozos	59

Figura 4.4.d Evolución temporal de la conductividad eléctrica de algunos pozos	60
Figura C.1 Clasificación de Aguas de Riverside	63
Figura A2.1. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 1.	76
Figura A2.2. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 2.	77
Figura A2.3. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 3.	78
Figura A2.4. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 4.	79
Figura A2.5. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 5.	80
Figura A2.6. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 6.	81
Figura A2.7. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 7	82
Figura A2.8. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 8.	83

Figura A2.9. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 9.	84
Figura A2.10. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 10.	85
Figura A2.11. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 11.	86
Figura A2.12. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo 12.	87
Figura A2.13. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 13.	88
Figura A3. 1. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozo Sayá 1.	95
Figura A3.2. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozo Sayá 1.	96
Figura A3.3. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 1.	97
Figura A3.4. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 1.	98

- Figura A3.5.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozo Sayá 2. 99
- Figura A3.6.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozo Sayá 2. 100
- Figura A3.7.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 4. 101
- Figura A3.8.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 5. 102
- Figura A3.9.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 5. 103
- Figura A3.10.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 6. 104
- Figura A3.11.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 6. 105
- Figura A3.12.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 6. 106
- Figura A3.13.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 7. 107

- Figura A3.14.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 7. 108
- Figura A3.15.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 8. 109
- Figura A3.16.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 8. 110
- Figura A3.17.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 9. 111
- Figura A3.18.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 10. 112
- Figura A3.19.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 10. 113
- Figura A3.20.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 11. 114
- Figura A3.21.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 11. 115
- Figura A3.22.** Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 12. 116

Figura A3.23. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 13.	117
Figura A4.1. Interpretación de SEV Sayá-01, utilizando WINSEV 6.1.	120
Figura A4.2. Interpretación de SEV Sayá-02, utilizando WINSEV 6.1.	121
Figura A4.3. Interpretación de SEV Sayá-03, utilizando WINSEV 6.1.	122
Figura A4.4. Interpretación de SEV Sayá-04, utilizando WINSEV 6.1.	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Coordenadas del área de estudio	4
Tabla 2.1. Cuadro resumen de la historia geológica de la Península de Santa Elena. Marco Estratigráfico	15
Tabla 3.1. Observaciones efectuadas a partir de los gráficos de las Evoluciones Temporales del Nivel Piezométrico	30
Tabla 3.2. Variación del almacenamiento.	47
Tabla 4.1. Relación de la temperatura del agua con la del aire	50
Tabla C.1 Unidades Hidrogeológicas.	64
Tabla C.2 Resumen de los valores de transmisividad	64
Tabla C.3 Resultados de Conductividad Eléctrica.	66
Tabla A1.1. Situación de las captaciones de la zona	66
Tabla A1.2. Datos piezométricos de la zona de estudio.	67
Tabla A1.3. Resumen de los valores de transmisividad.	75
Tabla A3.1. Datos de Conductividad Eléctrica y Temperatura.	89
Tabla A4.1. Interpretación del SEV Sayá-01	120
Tabla A4.2. Interpretación del SEV Sayá-02	121
Tabla A4.3. Interpretación del SEV Sayá-03	122
Tabla A4.4. Interpretación del SEV Sayá-04	123

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

La presente tesina se enmarca dentro de los trabajos del proyecto ECU /8/026 titulado “Caracterización de Acuíferos Costeros de la Península de Santa Elena Ecuador, auspiciado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la ESPOL.

Gracias a la concesión de este proyecto en el año 2006, se ofrece la posibilidad de llevar a cabo un estudio exhaustivo del funcionamiento del sistema de acuíferos de la península de Santa Elena.

Este proyecto se desarrolla desde el año 2006 y constituye el inicio de una investigación más profunda, puesto que los trabajos realizados hasta la fecha han sido muy generales referente a los recursos hídricos de la península de Santa Elena.

El autor de esta tesina formó parte del seminario de graduación dictado en noviembre del 2009 mientras las labores del proyecto ECU /8/026 continúan de forma integrada.

Los trabajos elaborados para el proyecto han contribuido de manera inestimable a la ejecución de la tesina. Cabe indicar necesariamente, el ingente trabajo de campo del Inventario de Puntos de Agua.

1.2. Objetivos del Estudio

El abastecimiento de agua para el consumo humano, y agrícola en la zona rural de la provincia de Santa Elena es mayoritariamente por pozos los cuales captan el agua subterránea, y por albardas que almacenan la escorrentía producto de las pequeñas precipitaciones en la época lluviosa.

De acuerdo con la problemática del sector expuesta anteriormente, la escasa disponibilidad de recursos hídricos y el desconocimiento del medio el objetivo fundamental de la tesina es determinar las características hidrogeológicas del sector de Sayá.

Los específicos son los siguientes:

- Definir unidades hidrogeológicas
- Analizar la evolución temporal de los niveles piezométricos.
- Analizar la evolución temporal y espacial de conductividad eléctrica y temperatura
- Definir el comportamiento hidrogeológico en el sector de Sayá.

1.3. Metodología de Trabajo

1.3.1. Gabinete

Esta parte se divide en dos etapas. La primera, antes de comenzar el trabajo, es una planificación de tareas junto con una recopilación de la información previa. La segunda, constituye el análisis e interpretación de los datos registrados en campo durante los años 2008 y 2009.

1.3.2. Campo

La primera labor de campo comprendió levantar un inventario de puntos de agua que se llevó a cabo durante el año 2008 y 2009, en los cuales se registraron mensualmente los niveles piezométricos, temperatura y conductividad eléctrica. La segunda labor, consistió en el reconocimiento de

los materiales geológicos en superficie y en profundidad y sondeos eléctricos.

1.4. Marco Geográfico

1.4.1. Localización de la zona de estudio

La figura 1.1. muestra la ubicación de la población de Sayá al Este de la Península de Santa Elena. En la figura 1.2. se muestra la topografía de la zona de estudio en forma detallada. En la figura 1.3. se muestra las principales cuencas hidrográficas de la zona de estudio.

El acuífero de la comunidad de Sayá se encuentra en la cabecera de la cuenca del río Salado con 200 Km² de superficie. La cabecera de la cuenca arranca a una altura de 130 msnm y termina a nivel del mar.

UTM X	UTM Y
539550	9754050
540050	9754050
539550	9753550
540050	9753550

Tabla 1.1 Coordenadas del área de estudio



Figura 1.1 Ubicación de la población de Sayá. (ESPOL-OIEA, 2006, ECU/8/026)

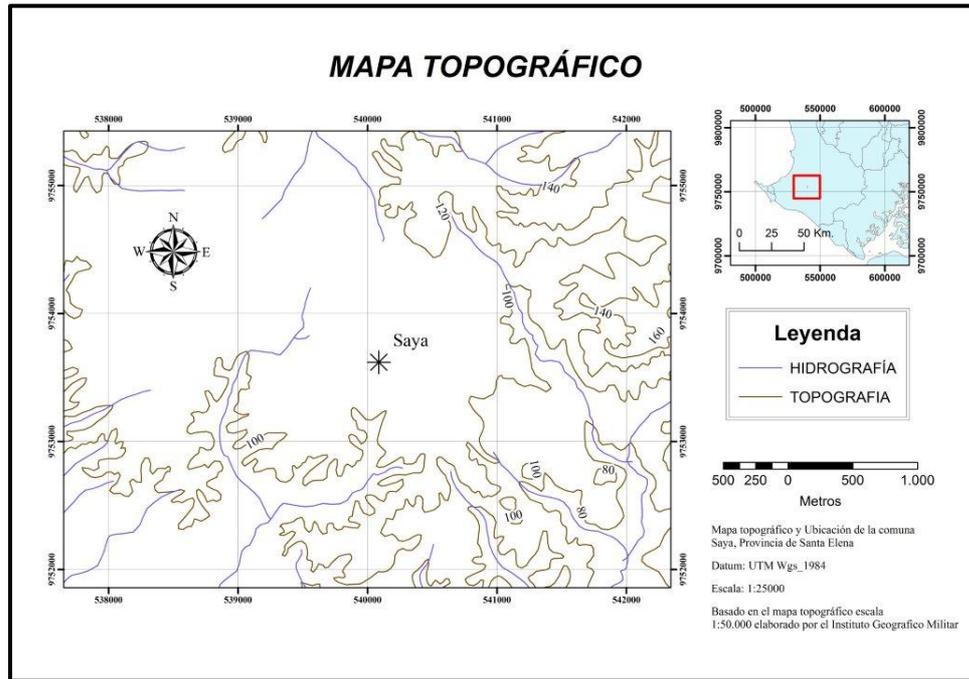


Figura 1.2. Mapa Topográfico de la zona de estudio. (ESPOL-OIEA, 2006, ECU/8/026)

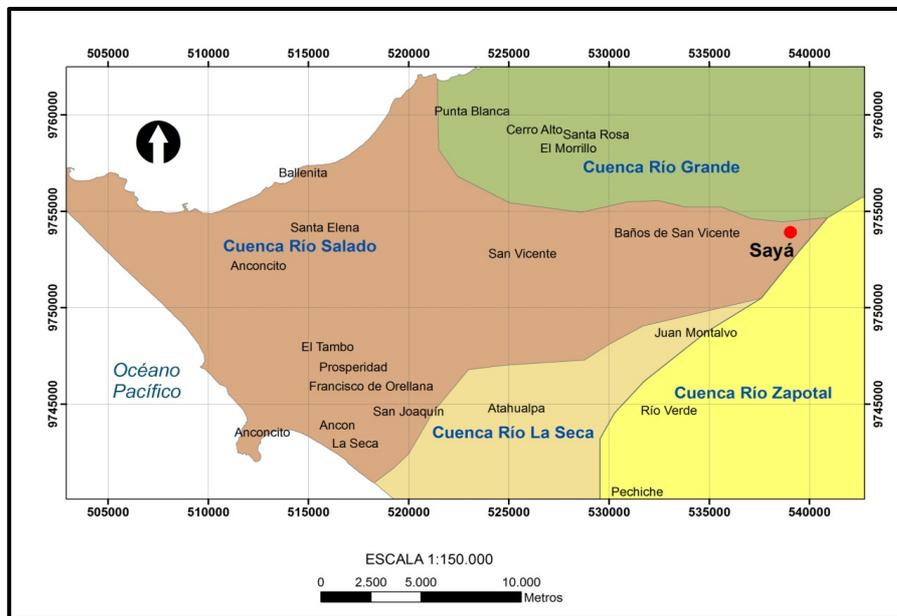


Figura 1.3. Delimitación de las principales cuencas hidrográficas de la zona de estudio. (ESPOL-OIEA, 2006, ECU/8/026)

1.4.2. Datos Climáticos

El factor geográfico más importante que incide en el clima de la zona son la corriente fría de Humboldt y la corriente cálida del Niño, dando lugar a dos estaciones climáticas en el año.

La primera estación comprende la época lluviosa desde Enero hasta Abril en la cual se produce prácticamente toda la precipitación anual que está entre 300 a 350 mm/año y cíclicamente cada 8 a 10 años se produce el fenómeno climático denominado El Niño donde las precipitaciones en esos años alcanzan un promedio de 750 mm. La segunda estación denominada verano comprende los meses de Mayo a Diciembre, el tiempo se caracteriza por un cielo muy nuboso, neblinas y garúas sin impacto para la vegetación.

Las temperaturas oscilan entre mínima 16°C, máxima de 32°C, con una media de 24°C. La figura 1.4. Recoge la distribución de ISO yetas en la Península de Santa Elena. Figura 1.5. ISO yetas medias anuales de las comunidades de la Península.

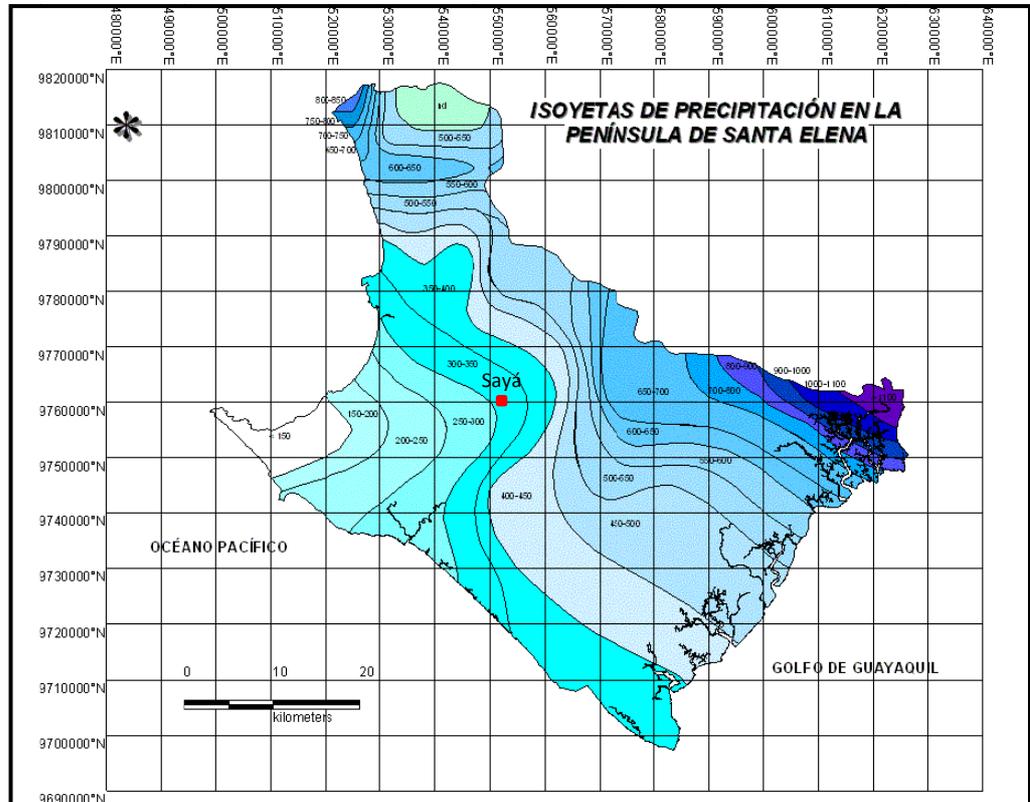


Figura 1.4 Mapa de ISO yetas de la Península de Santa Elena.

(ESPOL-OIEA, 2006, ECU/8/026)

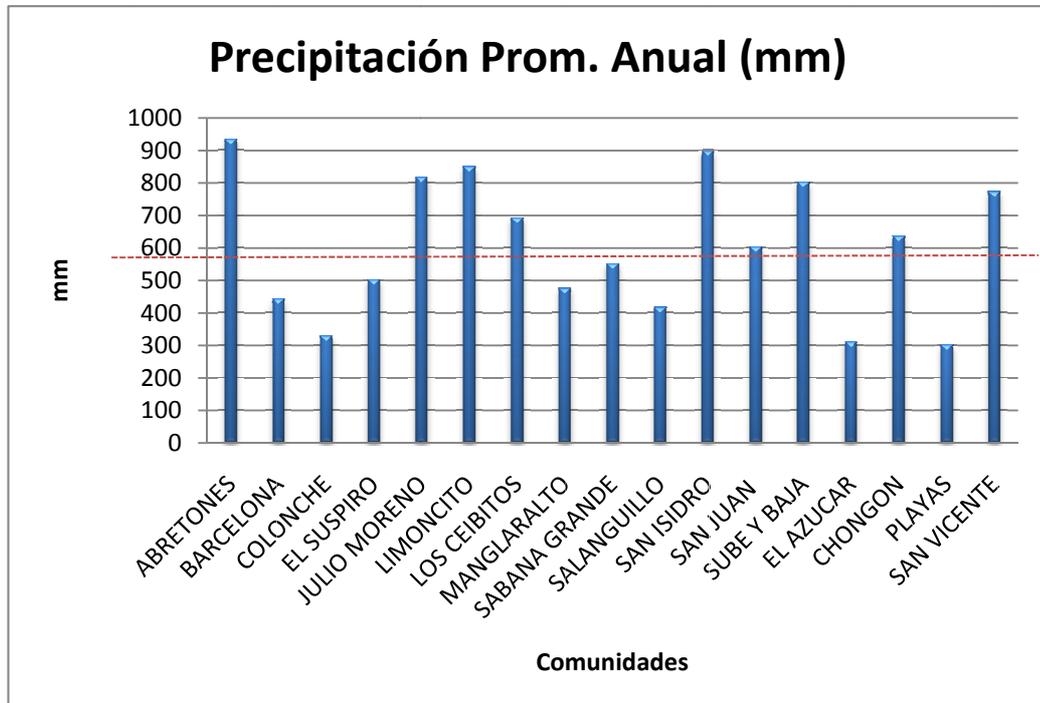


Figura 1.5. ISO yetas Medias Anuales de las Comunidades de la Península de Santa Elena. (ESPOL-OIEA, 2006, ECU/8/026)

1.5. Uso del agua subterránea en la comuna

Los usos principales del agua subterránea en la comuna son:

- a) Para consumo humano
- b) Agricultura, existen cultivos de maíz.

c) Usos Pecuarios y avícolas, entre las especies animales que más se crían tenemos.

Ganado vacuno, bovino, criaderos de chivos y granjas

d) Para uso forestal, en la península ha existido una tala indiscriminada en el transcurso de los años de los árboles nativos como el Guayacán por lo que es vital una reforestación para que no se pierda este recurso.

2. GEOLOGÍA

2.1 Geología del Ecuador

Los estudios del Dr. Teodoro Wolf, en el siglo pasado, y del Dr. Walter Sauer, en el presente, han permitido determinar que los basamentos colosales de los Andes se configuraron en el Paleozoico, al que corresponden por eso, las rocas más antiguas o arcaicas, esquistos y metamórficas, con predominio de las pizarras de textura cristalina y los esquistos micáceos, arcillosos, cloríticos y talcosos, etc.

Estas formaciones fueron sustancialmente modificadas en su superficie, pero también en su interior, por todos los cataclismos de las diversas edades geológicas posteriores, de modo especial por el vulcanismo cuaternario, que recubrió esos basamentos, con un espeso manto de tobas, conglomerados, andesitas y lavas.

2.2 Geología de la Península de Santa Elena

La Península de Santa Elena es un accidente geográfico producto del movimiento de subducción de la placa de Nazca y la placa de Sudamérica, dicho movimiento acrecionó estos materiales de la corteza marina hacia la margen occidental de los Andes deslizándose a través del sistema continental de fallas Guayaquil – Dolores – Romeral durante la transición Cretáceo Tardío – Terciario temprano. Este sistema de fallas entra al continente por el Golfo de Guayaquil, atraviesa Ecuador y Colombia. Figura 2.1.

Llegando hasta el mar Caribe de acuerdo a Goosens & Rose, 1973; Jutean et al. , 1977 y lehat et al., 1987.

En la Península de Santa Elena se han determinado la presencia de los siguientes grupos y formaciones estratigráficas, tabla 2.1., que en orden cronológico ascendente son:

Formación Piñón, Formación Santa Elena, Grupo Azúcar, Grupo Ancón, Formación Tablazo y los depósitos coluviales y aluviales recientes.

Los depósitos más significantes para el aprovechamiento del agua subterránea en la Península de Santa Elena, corresponden a los esquistos y areniscas de grano fino, areniscas marinas de aguas profundas y conglomerados pertenecientes a los grupos Ancón y Azúcar, los depósitos de la formación Tablazo y los depósitos del Pleistoceno y recientes no diferenciados.

Los estudios gravimétricos y paleo magnéticos (Feininger & Segui, 1983) realizados en la costa noroeste peruana y en la costa suroeste ecuatoriana, determinan que los materiales de la Península de Santa Elena tienen una rotación de 70° en sentido horario, ocurrida desde el Cretáceo Medio (Roperch et al, 1987), lo cual confirma la naturaleza alóctona de la costa ecuatoriana.

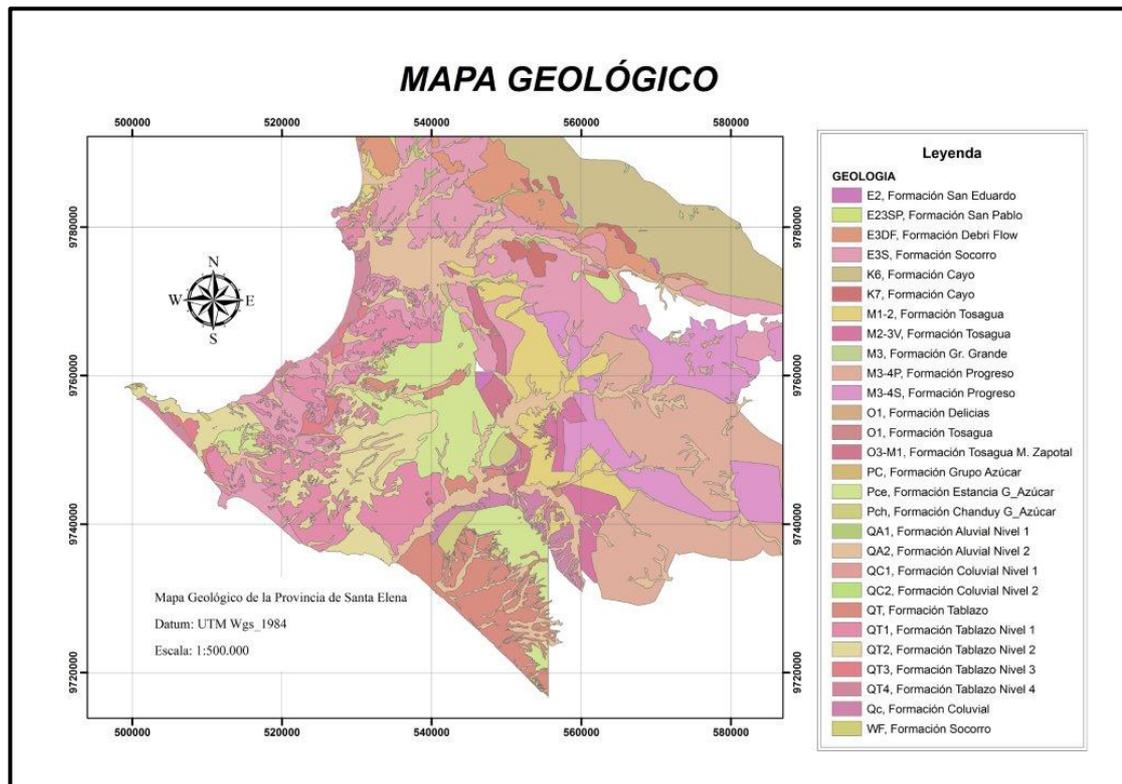


Figura 2.1. Mapa Geológico de la Península de Santa Elena del Ecuador. .

(ESPOL-OIEA, 2006, ECU/8/026)

Periodo	Epoca	Edad	Unidades	Espesor (m)	Litología	Ambiente deposicional	
Cuaternario	Pleistoceno		Fm. Tablazo	30	Areniscas calcáreas	Marino somero	
Terciario	Neogeno	Plioceno					
		Mioceno					
		Oligoceno					
	Paleogeno	Eoceno	Tardío	Priaboniano			
			Medio	Bartoniano	Punta Ancón / Fm. Zapotal	150	Areniscas gruesas
				Fm. Seca	500	Lutitas, limolitas y margas	Plataforma intermedia a marino somero
				Fm. Socorro	450	Turbiditas finas y arcillas	Facies de talud a plataforma externa
				Fm. Clay Pebble Bed	0 - 650	Arcillas conglomeráticas	Depósitos de remoción en masa en ambiente de talud (Slump)
				Fm. Passage Beds		Turbiditas finas	Abanicos turbidíticos - relleno de cuencas de talud
		Temporano	Ypresiano				
	Paleoceno	Tardío	Thanetiano	Grupo Azúcar	1500 - 2000	Areniscas turbidíticas gruesas, conglomerados y lutitas oscuras	Complejo de abanicos turbidíticos depositados en ambiente marino profundo (Basin Floor Fans), turbiditas de alta densidad con participación minoritaria de flujos de baja densidad
		Temporano	Daniano				
	Cretácico	Senoniano	Tardío	Maastrichtiano	Fm. Santa Elena	500	Arcillas pelágicas silíceas, turbiditas, cherts intrusivos doleríticos
Campaniano				Fm. Cayo	2000	Tobas, lutitas oscuras, turbiditas con aportes proclásticos	Secuencia granocreciente de turbiditas de alta a baja densidad con intercalaciones de lutitas pelágicas y hemipelágicas
Santoniano							
Temporano Medio		Coniaciano	Fm. Plifón	?	Basaltos, doleritas e intrusivos ultramáficos	Fondo oceánico	
		Turoniano					
		Cenomaniano					
		Albiano					

Tabla 2.1. Cuadro resumen de la historia geológica de la Península de Santa Elena. Marco Estratigráfico (Malone et al, 1999; Gonzales M., 2003)

2.2.1 Formación Piñón

Es el sustrato volcánico sobre el cual yacen los sedimentos marinos a lo largo de la región costera del Ecuador, consiste principalmente de flujos de basaltos y diabasas con brechas y aglomerados mayoritariamente de origen submarino y que tienen una edad Pre- Cuyo. Existen afloramientos en las montañas de Jama.

2.2.2 Formación Santa Elena (Cretáceo Superior)

Esta formación es producto de una silidificación de sedimentos eocénicos, debido a un agente hidrotermal en relación con episodios volcánicos Sheppard (1937 – 1946).

La Fm. Santa Elena consiste en Lutitas Silíceas blancas, grises o verdosas,

Conteniendo grandes Cherts negros o marrones (Jailard et al, 1993)

2.2.3. Grupo Azúcar (Paleoceno)

El grupo Azúcar está constituido por la Fm. Santo Thomas, Fm. Atlanta y Fm. San José con un espesor aproximado entre 1500 – 2000 metros y la conforman areniscas Turbidíticas gruesas, conglomerados y Lutitas oscuras.

Estas rocas fueron depositadas en un ambiente marino profundo (Basin Floor Faces), turbiditas de alta densidad con participación minoritaria de flujos de baja densidad. (Sigal 1968)

2.2.4 Grupo Ancón (Eoceno Medio a Superior)

El grupo Ancón está constituido por la Fm. Passage Beds de aproximadamente 650 metros, compuesta de Turbiditas finas, depositado como relleno de cuenca de talud.

Fm. Clay Pebble Bed formada por arcillas conglomeráticas. Fm. Socorro dee Aproximadamente 460 m de potencia, son arcillas turbiditicas finas, creadas en un ambiente deposicional Facies de Talud a plataforma externa. Fm. Seca constituidas por lutitas, limolitas, ambiente deposicional plataforma

intermedia a marino somero. Formación Zapotal formada por areniscas gruesas de un ambiente marino (Malone et al, 1999)

2.2.5 Formación Tablazo (Pleistoceno)

El nombre es tomado de las terrazas marinas del Perú. Con la excepción de los depósitos aluviales de la planicie Colonche, todos estos depósitos cuaternarios alcanzan la playa, formando cuatro niveles de Tablazos. En los lugares que aflora esta formación se observa un ligero buzamiento de 10° con dirección al Este; de acuerdo a este buzamiento se puede afirmar que se trata de un solo nivel de Tablazo, el cual se encuentra moldeando las estructuras antiguas a alturas variables, por encontrarse afectado por la tectónica de fallas cuaternarias. Su litología hace lentes de lumaquelas, areniscas calcáreas, arenas conglomeráticas, arcillas con conchas y nódulos, y arenas finas con un espesor aproximado de 40 metros.

2.2.6 Depósitos Coluviales Y Aluviales Recientes (Pleistoceno y holoceno)

Los depósitos coluviales pueden ser encontrados en la Península de Santa Elena como acumulaciones mal clasificadas de sedimentos constituidos por

arenas, arcillas y gravas que representan sedimentos de pie de monte. Los depósitos aluviales están constituidos por materiales muy variables de acuerdo a la zona de aportes arenas y rodados grandes provenientes del Grupo Azúcar, arenas sueltas y arcillas removidas ligadas al Grupo Ancón, Formaciones Zapotal y Dos Bocas.

2.2.7 Estructuras

La Península de Santa Elena está constituida por los siguientes rasgos estructurales:

- 1. Cordillera Chongón - Colonche** dispuesto en sentido E-W, límite norte.
- 2. Depresión Chongón - Colonche** dispuesto en sentido E-W, límite sur.
- 3. Horst Chongón - Colonche.** Emplazado al sur de la depresión Chongón Colonche y dispuesta paralela a ésta.
- 4. Horst Azúcar - Playas.** Se presenta en sentido NW _ SE y delimita la región sur de la Cuenca Progreso.

5. Cuenca Progreso. Limitada por el Horst Chongón y la cordillera de Chongón Colonche al norte y por el Horst Azúcar – Playas al oeste.

6. Cuenca Ancón. Limitada al este por el Horst Azúcar - Playas. Uniéndose al norte con la depresión Colonche.

2.3 Geología local de Sayá

El área de Sayá esta constituida por materiales arenosos, pertenecientes a la Formación Tablazo. Estos depósitos de Edad Cuaternaria se presentan en forma de arenas poco consolidadas. Figura 2.2.

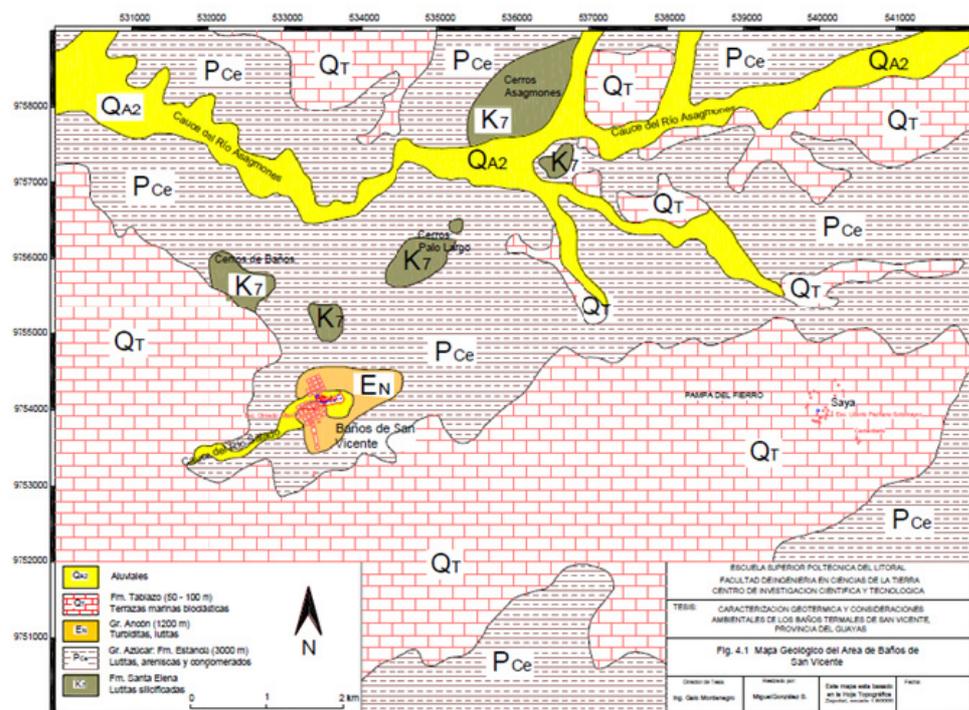


Figura 2.2. Mapa geológico de la comunidad de Sayá. (Gonzales M., 2003)

Al Norte y Este afloran areniscas, areniscas arcillosas del Grupo Azúcar. Cortando a este en la parte norte aparecen los materiales aluviales recientes del río Asagmones , que se caracterizan por ser niveles bien clasificados de arenas y rodados de tamaño variable provenientes del Grupo Azúcar , Formación Santa Elena o Formación Tablazo.

3. HIDROGEOLOGÍA

3.1. Comportamiento Hidrogeológico del Medio

El funcionamiento hidrogeológico de la península, considerada como un todo, consiste esencialmente en un acuífero único con unas zonas de recarga predominantemente en el norte y con un flujo Noroeste - Sureste que descarga al mar en las zonas de costa. En el transcurso entre las primeras y las segundas, el agua encuentra materiales que favorecen su circulación o su almacenamiento y la disposición de estos materiales en profundidad, junto con sus características hidráulicas relativas diferenciadas por su propia litología y composición es lo que define a los sistemas acuíferos locales dentro del sistema peninsular.

De esta forma, la naturaleza y disposición espacial de las formaciones presentes en el subsuelo condicionan de forma fundamental el flujo de agua, así como su relación hidráulica.

3.2. Caracterización Hidrogeológica de la localidad de Sayá

3.2.1. Unidades Hidrogeológicas

La visión local del sistema revela la presencia de dos unidades hidrogeológicas: Las arenas de Formación Tablazo, y areniscas subyacente posiblemente del Grupo Azúcar. El acuífero se puede considerar como un sistema acuífero libre compuesto por estas dos unidades hidrogeológicas que están conectadas hidráulicamente mediante las superficies de contacto que hay entre ambas.

Según el estudio geoeléctrico la unidad hidrogeológica formada por la Formación Tablazo se encuentra a una profundidad desde los 2 m hasta los 13 m y en otros sectores hasta los 37.9 m, espesor promedio de 23,5 m con valores de resistividad de 5.1 a 27 Ω -m debido a que el agua en esta zona es salobre.

Se estima que aproximadamente a partir de los 40 m de profundidad existe la presencia de una capa con características hidrogeológicas favorables para la ocurrencia de agua subterránea, que probablemente pertenece a las areniscas del Grupo Azúcar , espesor promedio de 14 m con valores de resistividad de 57 Ω -m. Dando una potencia media total de 37,51 m con un espesor saturado promedio de 27,5 m. Figura 3.1.

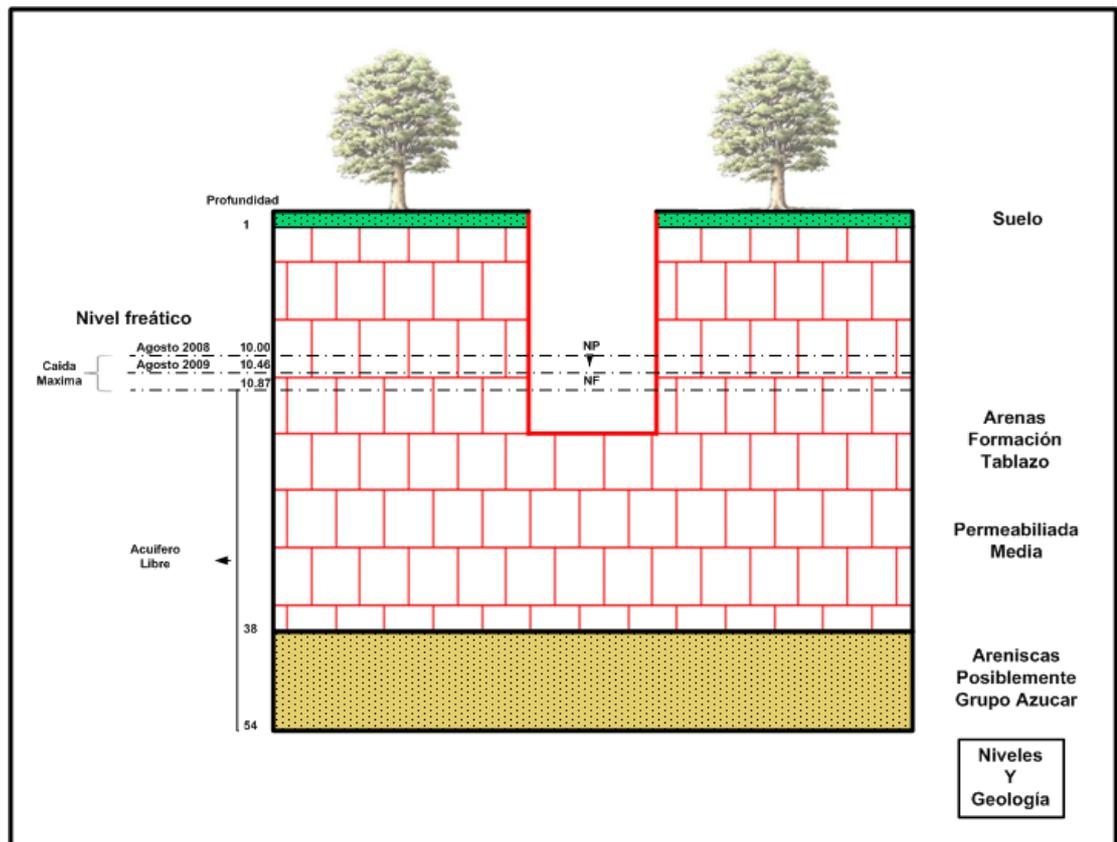


Figura 3.1. Esquema Acuífero de la localidad de Sayá.

La unidad que se explota en la localidad, es la formada por las arenas con una granulometría media a fina de la Formación Tablazo según levantamiento litoestratigráfico, con una porosidad determinada de 23 – 30% y la porosidad efectiva 15 – 22% con una capacidad de retención del 8%. El nivel freático en promedio se encuentra a 10 m de profundidad según levantamiento piezométrico de las captaciones de la zona de estudio.

	TRANSMISIVIDAD (m²/día)	PERMEABILIDAD (m/día)	POROSIDAD EFFECTIVA %
Formación Tablazo	134,395 (31.62-237.17)	3,62 (1.97-5.27)	18,5 (15-22%)
Depósitos Aluviales	---	Alta	40%

Tabla A1.3. Resumen de los valores de transmisividad. (Romero P., 2002)

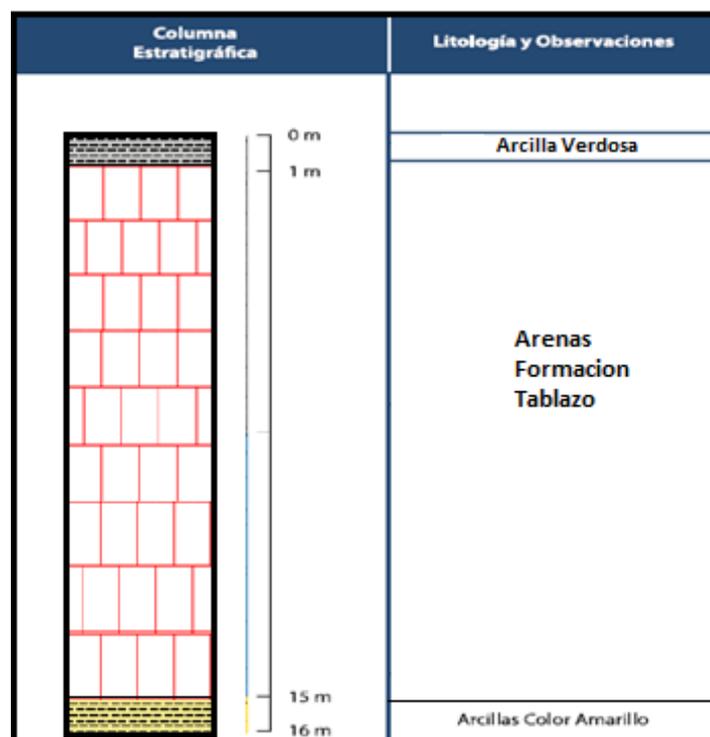


Figura 3.2. Columna Litológica pozo de observación de Sayá. (ESPOL-OIEA, 2006, ECU/8/026)

Se construyó un pozo de observación con interés hidrogeológico y se realizó el levantamiento litoestratigráfico, figura 3.2. Los 16 m de sondeo corresponden a las arenas bioclásticas de la Formación Tablazo. Por la abundancia de material conchífero, estas capas se formaron en un ambiente marino superficial de aguas tranquilas y abundancia de especies marinas, ubicándose en un ambiente arrecifal. Se considera que las capas infra yacentes a la Formación Tablazo corresponden al Grupo Azúcar

3.2.2. Caracterización del Flujo Subterráneo

Tal como se expuso en el Capítulo 3.1. en la Península se puede hablar de un acuífero general con una superficie piezométrica que alcanza sus máximos en el sector Norte, con zonas de recarga preferente de depósitos aluviales de las cuencas hidrográficas y un flujo generalizado hacia el mar. De esta forma, la situación estructural de las formaciones geológicas hace que el flujo en la zona discurra desde las estribaciones del Norte hacia el mar con dirección Noroeste - Sureste.

3.2.2.1. Procedencia de los Datos Piezométricos

En el **Anexo A1**. Datos Piezométricos, se recogen todos los datos piezométricos utilizados para el presente trabajo. La tabla 3.1. Recoge los siguientes datos de cada punto: fecha, altitud de la boca del pozo, profundidad del pozo, nivel freático, profundidad del pozo en msnm, y nivel freático estático en msnm, procedencia del dato.

En la mayoría de los pozos, las cotas de las captaciones se estimaron, a partir de su localización en el campo sobre planos a escala 1:50000 editados por el Instituto Geográfico Militar en el año 1984. Estas cotas se refieren en todos los casos, a la cabecera del pozo.

La medición del nivel freático y la profundidad del pozo se han efectuado por medición directa mediante sondeos de nivel por contacto eléctrico.

Los niveles de agua subterránea se registraron por medio de la instalación de Cera-Diver, es un dispositivo de control que permite el monitoreo automático frecuente de los pozos. El CTD- Diver es un datalogger compacto, altamente fiable que incluye memoria, batería y sensores para la medida simultánea del nivel, temperatura y conductividad de las aguas subterráneas.

Los datos para elaborar las piezometría local proceden:

Proyecto ECU /8/026: Los datos proceden directamente de las fichas de campo de inventario llevado a cabo durante 2008 y 2009. Se dispone de 13 puntos diferentes con este tipo de información; por lo que la escasez de datos no permite que puedan ser utilizados para la elaboración de un mapa piezométrico a mayor escala, sólo local alrededor de la albarrada de Sayá, y sólo aquellos que se han registrado de forma repetitiva han sido utilizados para la observación de la evolución temporal del nivel piezométrico.

3.2.2.2. Evolución Temporal de Niveles Piezométricos

A partir de los datos piezométricos disponibles se ha llevado a cabo el análisis de las evoluciones temporales de los niveles piezométricos en 13 captaciones perteneciente a la red de control previamente descrita, con medidas mensuales.

Para ello se han representado de forma gráfica los niveles piezométricos y las profundidades de cada pozo, en función del tiempo. Han sido eliminados y corregidos los datos que mostraban medidas incongruentes, atribuibles a errores en la medición o de confusión de la solera de referencia. Estos gráficos se representan uno por uno en el **Anexo A2**. Evolución Temporal de Niveles Piezométricos.

En los gráficos se reflejan las evoluciones temporales, en el eje X se representa el tiempo mientras, los datos de nivel de agua, profundidad de la captación y conductividad eléctrica están representadas en los distintos ejes Y con unas simbologías diferentes.

Las principales observaciones que se desprenden de los gráficos elaborados se relacionan de forma sistemática en la **Tabla 3.1**. Observaciones efectuadas a partir de los gráficos de las Evoluciones Temporales del Nivel Piezométrico, Profundidad y Conductividades. Se indica el N° del pozo de la captación, el intervalo de tiempo considerado según los datos disponibles, y las principales observaciones deducidas en cuanto a las evoluciones de niveles piezométricos, las conductividades eléctricas.

Respecto a los niveles, se considera el descenso neto que ha sido registrado entre los niveles estáticos máximos y mínimos de los que se dispone, así como la fecha en la que se registraron dichos niveles. Asimismo se especifica el comportamiento del nivel freático ante las lluvias de los años 2008 y 2009.

Además, la conductividad eléctrica se considera en los mismos términos que los niveles piezométricos, es decir, los valores máximos y mínimos alcanzados en función del tiempo, y su variación en la época lluviosa.

- **Consideraciones para el análisis de los datos**

Las extracciones varían en el tiempo debido fundamentalmente, a tres factores: La potencialidad hidráulica de la propia captación, las necesidades de riego de acuerdo al calendario agrícola y/o las condicionantes de demanda del recurso. La combinación de estos factores puede hacer que las extracciones disminuyan no porque el caudal potencial se reduzca, sino porque los recursos de agua superficial sean más abundantes, debido a un aumento de las lluvias, y por tanto, las condiciones piezométricas del acuífero son más favorables. Por todo ello, las relaciones entre niveles, conductividades y extracciones son complejas y su análisis es complicado.

A la hora de analizar los datos, hay que tener en cuenta que cada nivel de agua tomado en un pozo representa un sumatorio de las situaciones de todos los pozos vecinos y no exclusivamente del punto donde se realiza la medida.

Se deduce que el nivel piezométrico está siendo afectado debido a la extracción en las captaciones, ya que los niveles que se miden son el resultado de una interrelación entre todas ellas.

Tabla 3.1. Observaciones efectuadas a partir de los gráficos de las Evoluciones Temporales del Nivel Piezométrico, Profundidad y Conductividades.

Código del Pozo	Período de Tiempo de Observación	Nivel piezométrico (msnm)	Cota Fondo m.s.n. m	Caída max (m)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)
Sayá 1	2008-2009	NP max=107,70 mediado verano '08 NP min=107,50 invierno '09 Se mantiene tras las lluvias 2008 y 2009	105,25	0,20	CEmax=2850 verano '08 CEmin=2410 invierno '09 Baja en los últimos meses del año 2008 y sube tras las lluvias 2009
Sayá 2	2008-2009	NP max=111,90 verano '08 NP min=111,30 verano '09 Baja en los últimos meses del 2008, se mantiene tras lluvias 2009, no alcanza nivel 2008	110,30	0,60	CEmax=3000 verano '09 CEmin=2250 invierno '09 Sube tras lluvias 2009
Sayá 3	2008-2009	NP max=113,80 inicio verano '09 NP min=112,50 finales verano '08 Baja los últimos meses del 2008, sube y se mantiene tras lluvias 2009 por encima de los niveles 2008	112,25	0,80	CEmax=1400 verano '09 CEmin= 800 invierno '09 Se mantiene en el 2008 hasta invierno 2009 y luego mantiene una subida constante
Sayá 4	2008-2009	NP max=111,30 verano '08 NP min=110,60 finales verano '08 Baja los últimos meses 2008 y se recupera tras lluvias del 2009 pero no alcanza niveles del 2008	110,60	0,70	CEmax=1400 verano '09 CEmin= 800 verano '08 Se mantiene en 2008, sube y se mantiene tras lluvias 2009
Sayá 5	2008-2009	NP max=113,40 verano '09 NP min=112,50 verano '08 Se mantiene tras lluvias 2008 y sube tras lluvias 2009	110,7	10,9	CEmax=3750 finales verano '08 CEmin= 1500 finales invierno- inicio verano '09 baja en el 2009

Código del Pozo	Período de Tiempo de Observación	Nivel piezométrico (msnm)	Cota Fondo m.s.n.m	Caída max (m)	Conductividad Eléctrica (µs/cm)
Sayá 6	2008-2009	NP max=113,40 inicio verano'08 NP min=111,50 finales verano '08 Baja los últimos meses 2008 y se recupera tras lluvias del 2009 pero no alcanza niveles del 2008	110,10	1,90	CEmax=3750 verano '09 CEmin= 500 verano'08 Mantiene una subida constante desde el 2008
Sayá 7	2008-2009	NP =115 Se mantiene tras lluvias 2008 y 2009	111,50		CEmax= 3750 verano 2009 CEmin= 500 mediados verano 2008 Mantiene una subida constante desde el 2008
Sayá 8	2008-2009	NPmax =114,30 inicio verano'09 NPmin= 113,90 finales'08 Se mantiene tras lluvias de 2008 y 2009	112,50	0,4	CE= 2000 Se mantiene tras lluvias 2008 y 2009
Sayá 9	2008-2009	NP =115,10 mediados verano2008 NPmin= 114,5mediados verano'09 Baja los últimos meses 2008 y se mantiene tras lluvias del 2009 pero no alcanza niveles del 2008	113,75	0,60	CEmax=3750 invierno '09 CEmin= 3100 finales'08,principios'09 sube tras lluvias 2009
Sayá 10	2008-2009	NP max=116,2 mediados verano'08 NP min=115,20 finales'08 Baja los últimos meses 2008 y se recupera tras lluvias del 2009 pero no alcanza niveles del 2008	113,80	1,00	CEmax= 2750 verano'09 Cemin= 2000 verano'08 Mantiene una subida constante desde el 2008

Código del Pozo	Período de Tiempo de Observación	Nivel piezométrico (msnm)	Cota Fondo m.s.n.m	Caída max (m)	Conductividad Eléctrica (μs/cm)
Sayá 11	2008-2009	NPmax =113,10 mediados'08 NPmin= 112 finales '08 y principios'09 Se mantiene tras lluvias 2008 y 2009	110,50	1,10	CEmax= 3250 finales'08 CEmin= 2800 inicio verano'09 Se mantiene tras lluvias 2008 y 2009
Sayá 12	2008-2009	NP max=116,2mediado verano'08 NP min=115,0 inicio invierno '09 Baja los últimos meses de verano'08 y se recupera tras lluvias del 2009 pero no alcanza niveles del 2008	114,50	1,0	CEmax=600 finales invierno '09 CEmin= 480 finales verano'08 Baja los últimos meses de verano'08 , se recupera tras lluvias del 2009 pasa los niveles del '08
Sayá 13	2008-2009	NPmax =116,2 mediados de verano'08 NPmin=115 inicio invierno'09 Baja los últimos 2008 y se recupera tras lluvias del 2009 pero no alcanza niveles del 2008	110	1,2	CEmax= 2500 mediados verano '08 CEmin= 2000 finales verano'08 Baja los últimos meses de verano'08 , se recupera tras lluvias del 2009 pero no alcanza niveles del '08

- **Conclusiones sobre la evolución de los niveles piezométricos**

El descenso neto del nivel estático entre las mediciones oscila entre 0,20 m (pozo 1) a 1,90 m (pozo 6) según las captaciones.

Se observa un comportamiento generalizado de descensos en los últimos meses del 2008 (Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre) con una media de 0,87 m, coincidiendo con el final de la estación seca del año 2008 y una recuperación tras las lluvias del año 2009 con una media de 0,41 m pero no alcanza los niveles del 2008. Considerando que los datos de precipitación aportan información importante para la piezometría de las captaciones, en la Figura 3.3. y 3.4 se han representado las precipitaciones anuales en el periodo 1963 – 2008 de la estación Manglaralto (COD: M619) y de la estación La Azúcar , de la Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas CEDEGE. La tendencia de las precipitaciones en esta estación se repite en las diferentes estaciones de la zona de la Península de Santa Elena. En el grafico de la figura 3.5, y figura 3.6 se observa que las precipitaciones del 2008 están por encima de la media y las del 2009 por debajo de la media lo que indica que fue un año seco y esto se ve reflejado en los niveles piezométricos del año 2009 que no alcanzaron los niveles del año 2008.

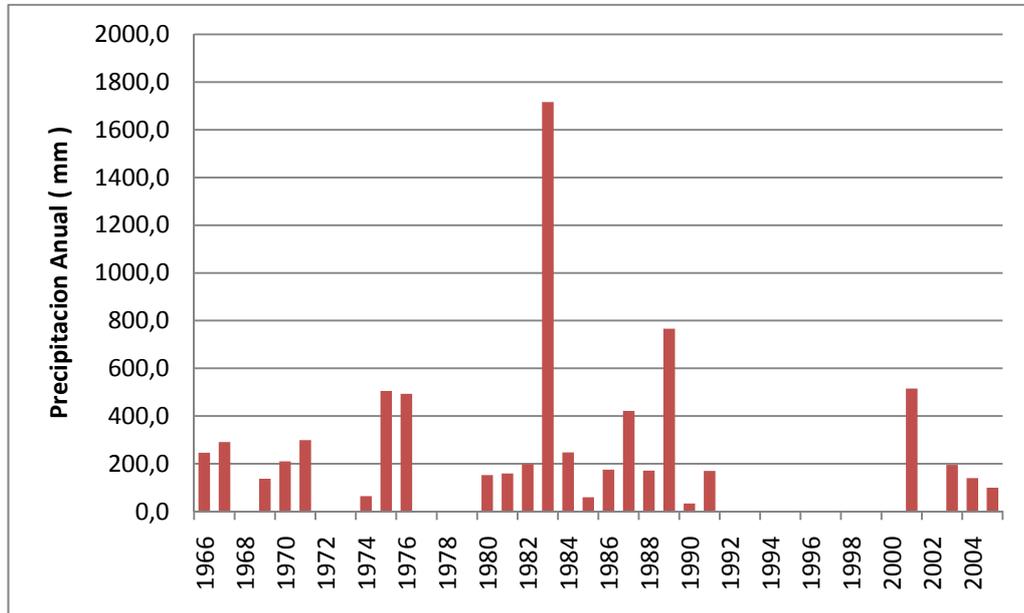


Figura. 3.3. Precipitaciones Anuales en el Área de la estación La Azúcar.

(ESPOL-OIEA, 2006, ECU/8/026)

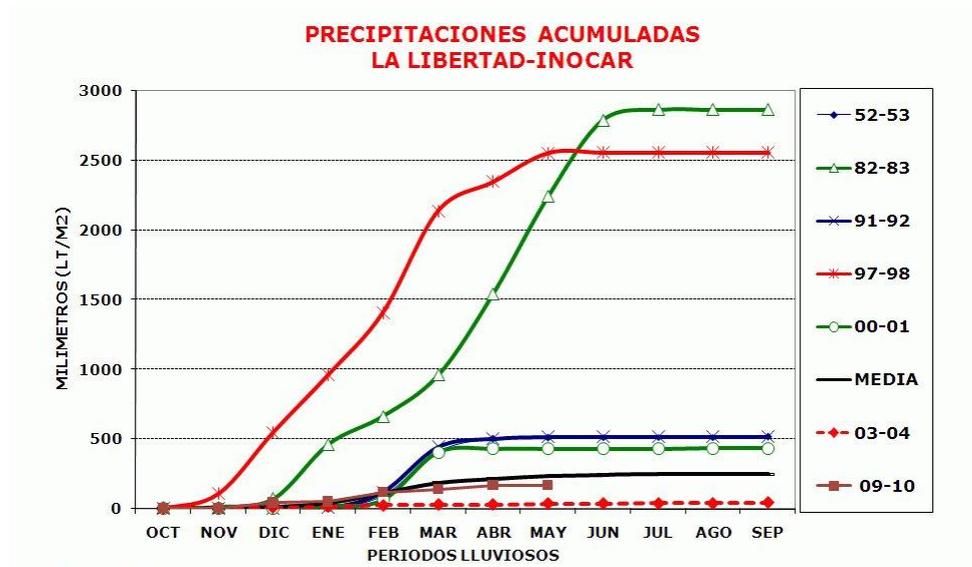


Figura. 3.6. Precipitaciones Acumuladas La Libertad – INOCAR. (Gálvez H., Regalado J., 2010)

La representación espacial de las observaciones procedentes de la tabla 3.1. Queda reflejada en el mapa de la Figura 3.7. Dónde se agrupan las captaciones.

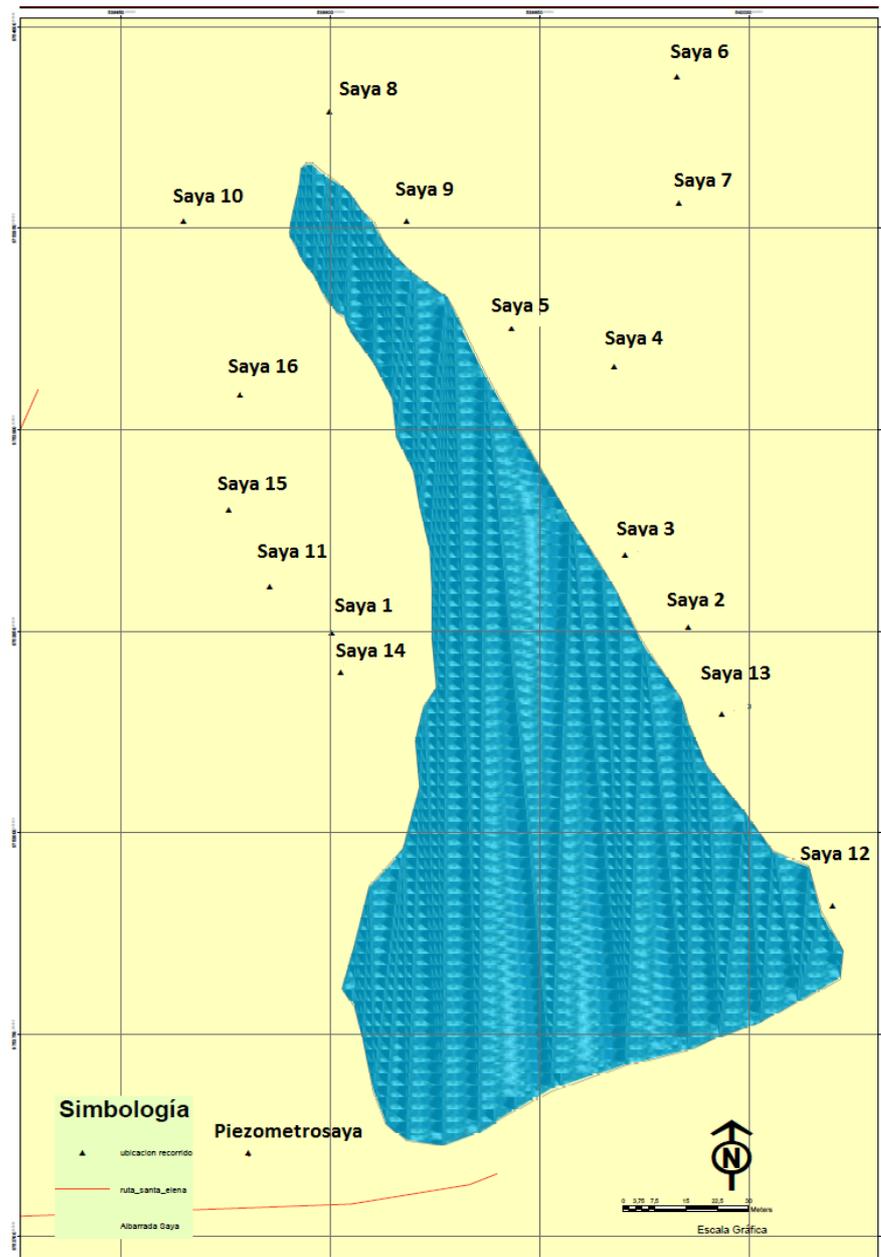


Figura 3.7 Mapa ubicación espacial de las captaciones. (ESPOL-OIEA, 2006, ECU/8/026)

En lo referente a las **conductividades eléctricas**, existe una gran heterogeneidad. En la Figura 3.8 se representan espacialmente las conductividades máximas que se han alcanzado en los pozos que han sido estudiados. Considerando la evolución temporal de la conductividad (Ver gráficos del **Anexo A2. Evolución Temporal de Nivel Piezométrico y Conductividad Eléctrica** , se pueden realizar las siguientes observaciones:

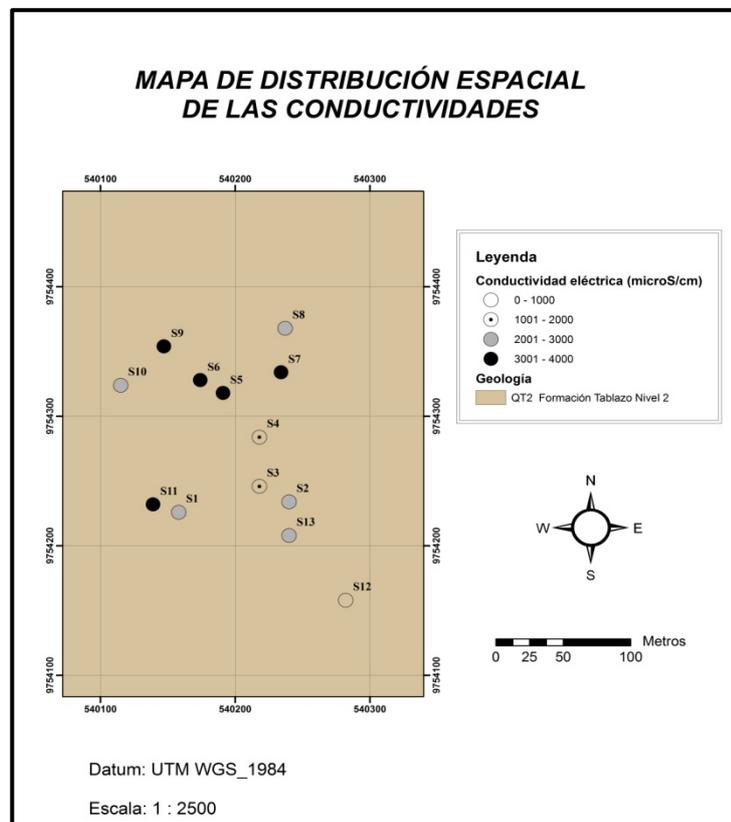


Figura 3.8 Distribución de las conductividades eléctricas máximas ($\mu\text{S}/\text{cm}$) alcanzadas en las captaciones de la red de control en el área de la población de Sayá.

-
-
- Pozo 12: los valores de conductividad del pozo 12 oscila entre los más bajos de la localidad (500-600 us/cm).
- Pozo 3 y 4: Las conductividades se encuentran en un rango medio entre (800-1400 us/cm) , mantienen una subida continua en el 2009
- Pozo 6 y 7: las conductividades se incrementan significativamente desde (500-3750 us/cm), mantienen una subida constante desde el 2008.
- Pozo 1,2,8,9,10 y 11: Sus conductividades están entre (2000-3750 us/cm), con una ligera tendencia a incrementarse.
- Se observa un aumento general de la conductividad que debe estar provocado por la explotación del pozo Sayá1. Este pozo está sujeto a un régimen de explotación intensivo, es el que abastece a la comunidad para su consumo.

3.2.2.3. Estudio de la Piezometría de la Zona de Estudio

3.2.2.3.1. Limitación al Trazado Piezométrico

La determinación de la piezometría en la zona de estudio se ha llevado a cabo a partir de la caracterización de un acuífero único con dos capas de diferentes permeabilidad, tal y como se ha definido en apartados anteriores.

La primera limitación procede de la exactitud con que se han determinado las cotas de las captaciones. Las cotas de las captaciones fueron determinadas mediante GPS. Además de estas imprecisiones, las mediciones de niveles piezométricos siempre se han referido a la solera de la captación, cuya situación en el entorno de los pozos es muy relativa ya que pueden existir alteraciones de la superficie, por terraplenes, obras o movimientos de tierra. A partir de estas consideraciones se pueden derivar errores máximos en la piezometría de 1 a 2 m. Por lo que se recomienda considerar la profundidad del nivel del agua.

Otro de los inconvenientes es el que las medidas de nivel se efectúan en las propias captaciones que están sometidas a un régimen de bombeo, se miden niveles estáticos o esperando recuperación dinámica.

3.2.2.3.2. Mapas Piezométricos de la Zona de Estudio

Con los datos piezométricos disponibles se han elaborado los mapas piezométricos referidos a 2008 y 2009. En estos años 2008 y 2009 se reflejan los datos de niveles del inventario del Proyecto ECU 8/026 Titulado “Caracterización de Acuíferos Costeros de la Península de Santa Elena Ecuador” el cual es el inventario base para la realización de la presente tesina. En ambas fechas se ha considerado niveles piezométricos estáticos. Los datos de cada punto aparecen tabulados detalladamente en el **Tabla A1.2** Datos Piezométricos de la zona de estudio.

Merece especial atención la asignación sobre la clave de nivel como estático. Cuando la toma se la hace con la bomba en funcionamiento el nivel es dinámico, sin embargo cuando el pozo está parado el criterio para clasificar un nivel como estático o en recuperación está sujeto a la consideración de varios factores. Principalmente se tiene en cuenta el tiempo que este sin

funcionar la bomba, aunque existen otros factores como distancia entre captaciones , comportamiento hidrodinámico del acuífero.

La equidistancia entre las isopiezas se ajusta a los valores de niveles disponibles y a las escalas en que se representan cada mapa. Es necesario recordar que el error de partida es métrico debido a la falta de nivelación de los puntos considerados. Las curvas dibujadas representan los valores de la superficie piezométrica a una altura de 117 a 124 msnm.

En la Figura 3.9. Reflejan la piezometría de Sayá en 2008 y la Figura 3.10 la del 2009 de la misma zona. Nótese las mismas equidistancias usadas en cada mapa.

- **Piezometría de 2008**

Se trata de la piezometría elaborada con los datos de 2008 procedente del Proyecto ECU 8/026. Los datos piezométricos de cada punto se pueden observar en la Figura 3.9.

En la localidad de Sayá debería conforme al esquema piezométrico general de la península, las isopiezas deberían ser paralelas a la dirección noreste-suroeste indicando un flujo de las aguas subterráneas noroeste- sureste. Esta dirección se aprecia si analizamos las isopiezas de Septiembre 2008 de los pozos Sayá 10 y Sayá 12 en las cuales existe una diferencia de 0,5 m. El gradiente hidráulico es de 0,18%.

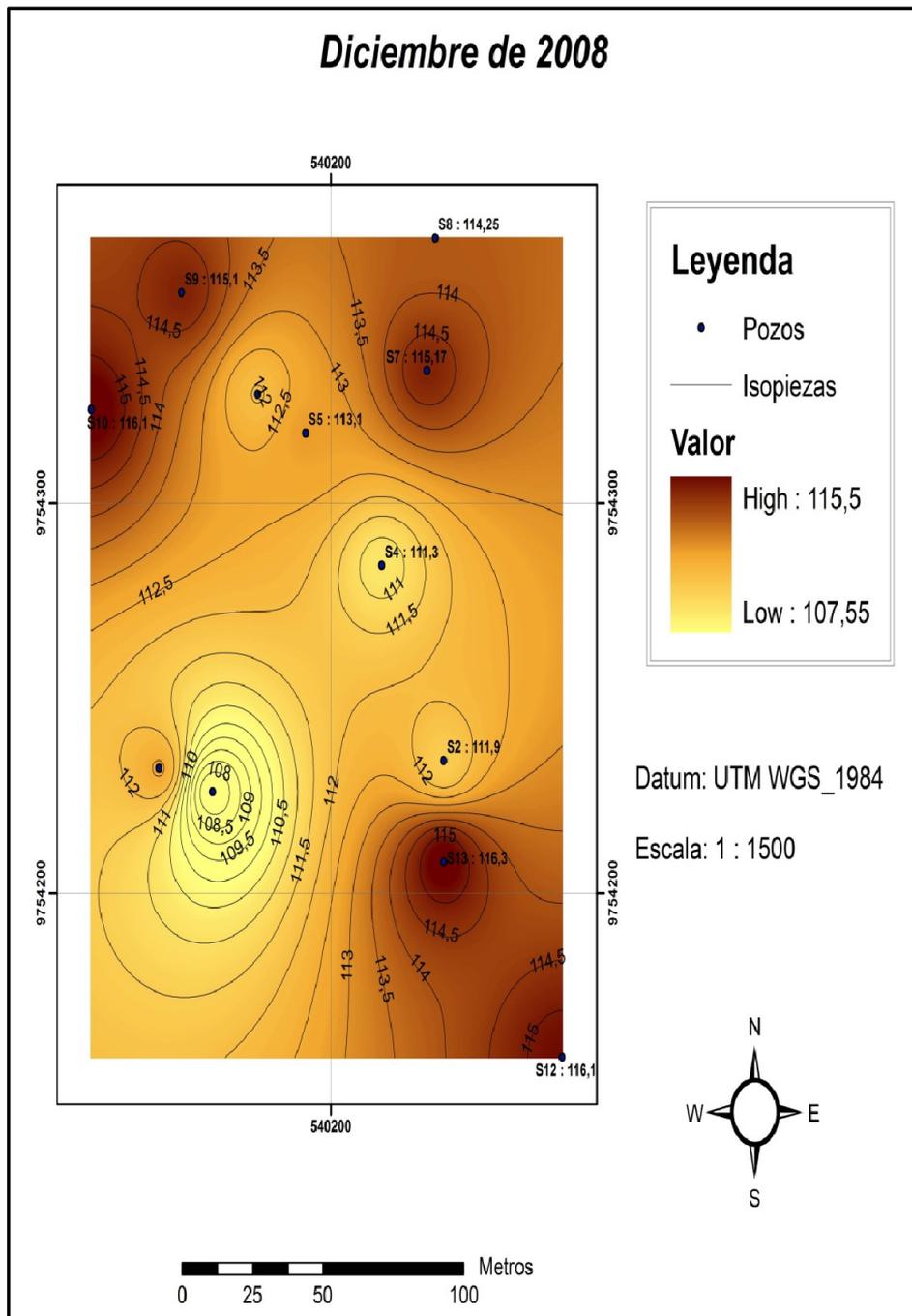


Figura 3.9 Mapa Piezométrico de la zona de estudio.

La gran disparidad de gradientes y el quiebre importante que sufren las isopiezas debe atribuirse por las múltiples captaciones que realizan extracciones y que causan depresiones de bombeo en la piezometría local de la localidad de Sayá.

En general el flujo del agua subterránea en la zona de estudio es hacia el pozo Sayá 1. Esta captación (pozo Sayá 1) está sometida a un régimen de explotación intenso el cual se lo realiza con bomba mientras las otras captaciones se explotan manualmente, el nivel del cono de esta captación es el más bajo.

- **Piezometría 2009**

Los datos con que ha sido elaborada la piezometría para este año, proceden del inventario registrado durante el invierno y parte del verano de 2009. Los datos piezométricos de cada punto se pueden observar en la Figura 3.10.

La configuración general de la piezometría es la misma que se ha descrito anteriormente, es decir las isopiezas sufren un quiebre importante y el flujo de agua subterránea es hacia el pozo Sayá 1. Existe una variedad de gradientes hidráulicos que van desde (5 – 10%). Estos valores de gradiente son debidos al régimen de explotación que está sometido las captaciones y la disposición espacial de estos que es menor al radio de influencia.

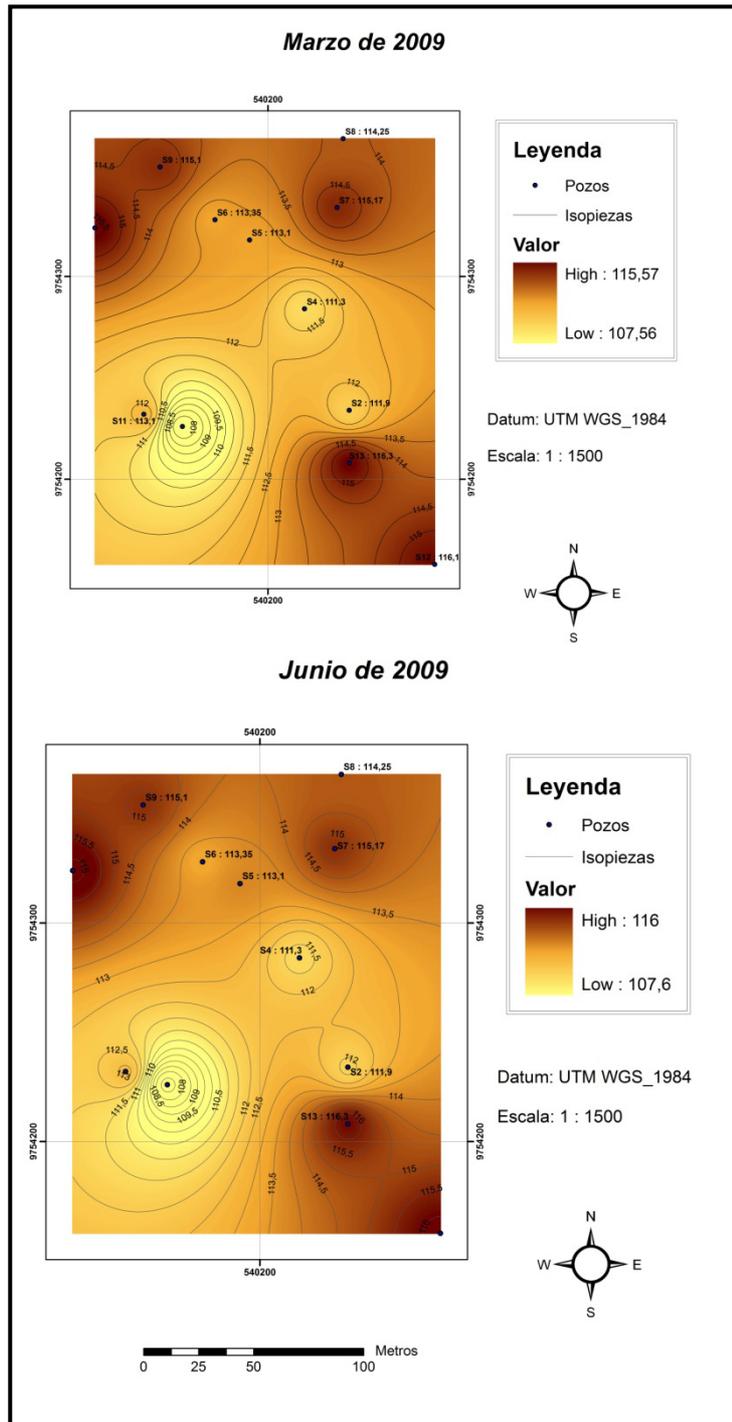


Figura 3.10 Mapa Piezométrico de la zona de estudio.

No hay variación entre las cifras de 2008 y 2009. En términos generales la morfología de la piezometría no ha cambiado en este período. Se distingue la presencia de conos de bombeo especialmente el del pozo Sayá 1 que está por debajo del nivel de los otros. Estos conos están causados por la extracción que sufre en estos momentos varios pozos en especial la del pozo Sayá 1. Algunos niveles piezométricos en los que se fundamentan estos conos son medidas en recuperación, pero también hay algunas medidas de niveles estáticos que denotan la influencia que ejercen estas extracciones en las captaciones de alrededor.

- **Conclusiones generales sobre la piezometría**

Los inventarios de los estudios no recogen datos suficientes para elaborar una piezometría de la zona a escala regional.

Las isopiezas sufren un quiebre importante y el flujo es desde el perímetro hacia el interior de la zona de estudio. Existe una variedad de gradientes hidráulicos que van desde 5% y 10%. Todo esto debido al régimen de explotación que está sometido el área de estudio y la proximidad de las captaciones que están por debajo del radio de influencia.

De la comparación entre los mapas de ambas fechas (Fig.3.7. y 3.8.) se desprende que la morfología de las isopiezas en la zona de estudio se mantiene en el tiempo, lo que varía sólo es el nivel de la superficie piezométrica.

La dirección de flujo de agua subterránea es desde las captaciones que se encuentran cerca del perímetro de la zona de estudio (pozo Sayá 10, Sayá 9, Sayá 8, Sayá 7, Sayá 12) hacia las captaciones del interior (pozo Sayá 1, Sayá 2, Sayá 4, Sayá 6). Los gradientes hidráulicos deducidos oscilan entre 5% y 10%.

3.2.3. Variación del Almacenamiento

La existencia de un descenso generalizado en los niveles piezométricos, según se enuncio en el apartado 3.2., indica que en el periodo de estudio habrá cambios en el almacenamiento entre los años en que se realiza el balance. Este descenso podría fijarse en una media de 0.87 m y el área en donde tiene lugar es la localidad de Sayá con 250000 m². Se estima una porosidad eficaz de 0,15 para las arena de la Formación Tablazo, donde

se ha producido el descenso. La utilización de reservas así estimada se fijaría en 32500 m³/año.

Código pozo	Caída máx. de nivel (m)
Pozo Sayá1	0,20
Pozo Sayá2	0,60
Pozo Sayá3	0,80
Pozo Sayá4	0,70
Pozo Sayá5	0,90
Pozo Sayá6	1,90
Pozo Sayá7	0,00
Pozo Sayá8	0,40
Pozo Sayá9	0,60
Pozo Sayá10	1,00
Pozo Sayá11	1,10
Pozo Sayá12	1,00
Pozo Sayá13	1,20
TOTAL	10,40
Promedio caída (m)	0,87
Área (m2)	250.000,00
Porosidad (%)	0,15
Variación del Almacenamiento (m3/año)	32.500,00

Tabla 3.2. Variación del almacenamiento.

4. HIDROQUIMICA

4.1. Distribución Espacio-Temporal de parámetros químicos.

4.1.1 Temperatura

La toma de temperatura del agua debe llevarse a cabo en campo y tener en cuenta alguna precaución, como rapidez en la medida, poco espacio entre el pozo y el lugar de la toma de muestra, etc.

Si se toma una muestra mediante bombeo representativa del pozo, la temperatura debe medirse inmediatamente para que no haya alteración por el ambiente. Si se realiza con una sonda paramétrica, se recomienda esperar hasta que se estabilice para cada toma.

La temperatura media del aire es 24°C. Normalmente la temperatura del agua subterránea se corresponde con la temperatura media del aire, y por lo tanto decrece con la altitud topográfica, en el supuesto de que no concurren anomalías en los gradientes geotérmicos o que se trate de agua subterránea profunda, (Muñoz J, p190, 2005).

En la Figura 4.1 podemos observar que la temperatura media del agua con respecto a la del aire es mayor, y la del pozo Sayá1 es superior a las otras captaciones. Las conclusiones del estudio apuntan a que el agua subterránea local podría estar afectado por el régimen de la explotación de las captaciones de los pozos.

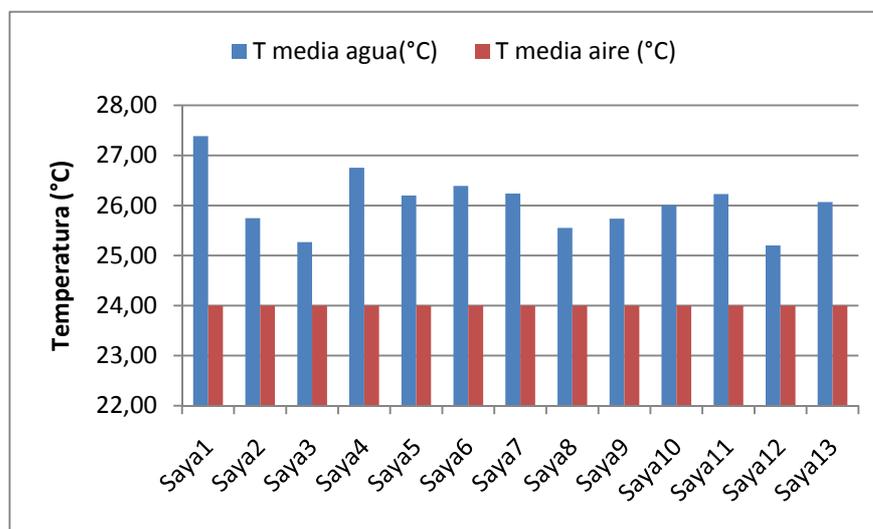


Figura 4.1. Temperatura media del agua y del aire en las captaciones del periodo de estudio 2008-2009

En la tabla 4.1. se observa la relación Tagua/Taire, y se puede ver que en todas las captaciones la relación es mayor a 1. Por lo que se recomendaría para un próximo estudio realizar un perfil geotérmico con dirección hacia el afloramiento de aguas hidrotermales de baños de San Vicente.

Código pozo	T media(°C)	T media aire (°C)	T agua/t. aire
Sayá1	27,38	24,00	1,14
Sayá2	25,75	24,00	1,07
Sayá3	25,27	24,00	1,05
Sayá4	26,75	24,00	1,11
Sayá5	26,20	24,00	1,09
Sayá6	26,39	24,00	1,10
Sayá7	26,24	24,00	1,09
Sayá8	25,55	24,00	1,06
Sayá9	25,74	24,00	1,07
Sayá10	26,01	24,00	1,08
Sayá11	26,23	24,00	1,09
Sayá12	25,20	24,00	1,05
Sayá13	26,07	24,00	1,09

Tabla 4.1. Relación de la temperatura del agua con la del aire

4.1.2 Conductividad Eléctrica

Las distribuciones de conductividad eléctrica del periodo de estudio 2008 al 2009 se recogen en la Figura 4.2. En 2008 la conductividad eléctrica media

es de 1842 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en 2009 es de 2257 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Lo cual muestra un aumento medio de 415 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aproximado.

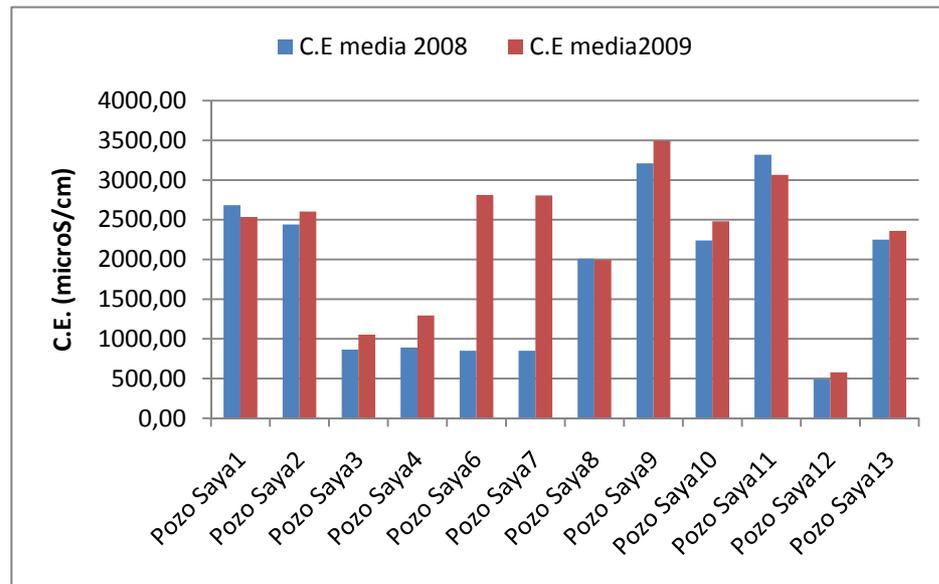


Figura 4.2. Conductividad eléctrica media de las captaciones.

El mapa de ISO-conductividades (Figura 4.3) se ha llevado a cabo con los niveles máximos que alcanzaron las captaciones en el periodo de estudio. Las conductividad más alta, 3750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en los años 2008 y 2009, se encuentra localizadas en los pozos Sayá 6, Sayá 7, Sayá 9, Sayá 11, todos ellos en la zona Noroeste del área de estudio, lo que coincide con la posible dirección del flujo del acuífero de la Formación Tablazo.

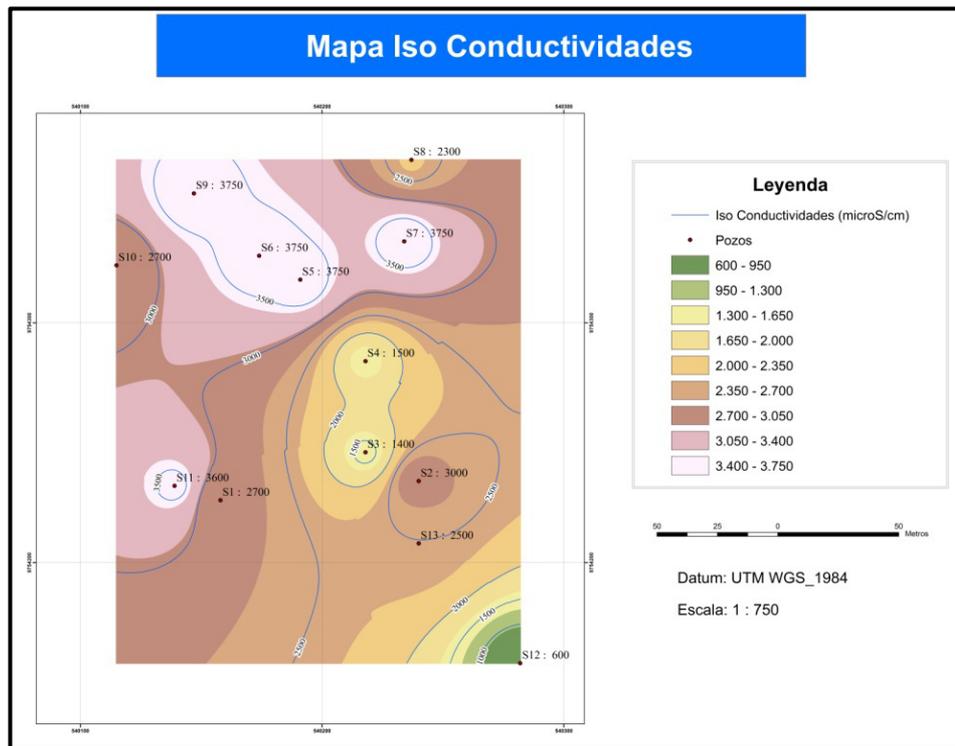


Figura 4.3 Mapa de iso-conductividades.

4.2. Perfiles de temperatura y Conductividad Eléctrica.

4.2.1 Metodología

Se ha llevado a cabo la campaña de medida de perfiles verticales de temperatura y conductividad eléctrica en diferentes meses desde agosto del

2008 a agosto del 2009, con el fin de poder registrar posibles cambios estacionales o debido a otros motivos en los mismos puntos de medición. Se tomaron medidas en 13 puntos. La representación de los parámetros medidos se presenta en el Anexo 3. Perfiles de Temperatura – Conductividad Eléctrica.

Para realizar este tipo de perfiles se ha utilizado una sonda multiparamétrica de la marca Diver con un sensor que permite medir simultánea la temperatura y conductividad eléctrica. Los registros se realizaron haciendo descender el electrodo hasta el nivel freático, a partir del cual se toman las mediciones de conductividad y temperatura aproximadamente cada 1 m, aunque la frecuencia de las medidas se adaptó al registro de los cambios en el perfil.

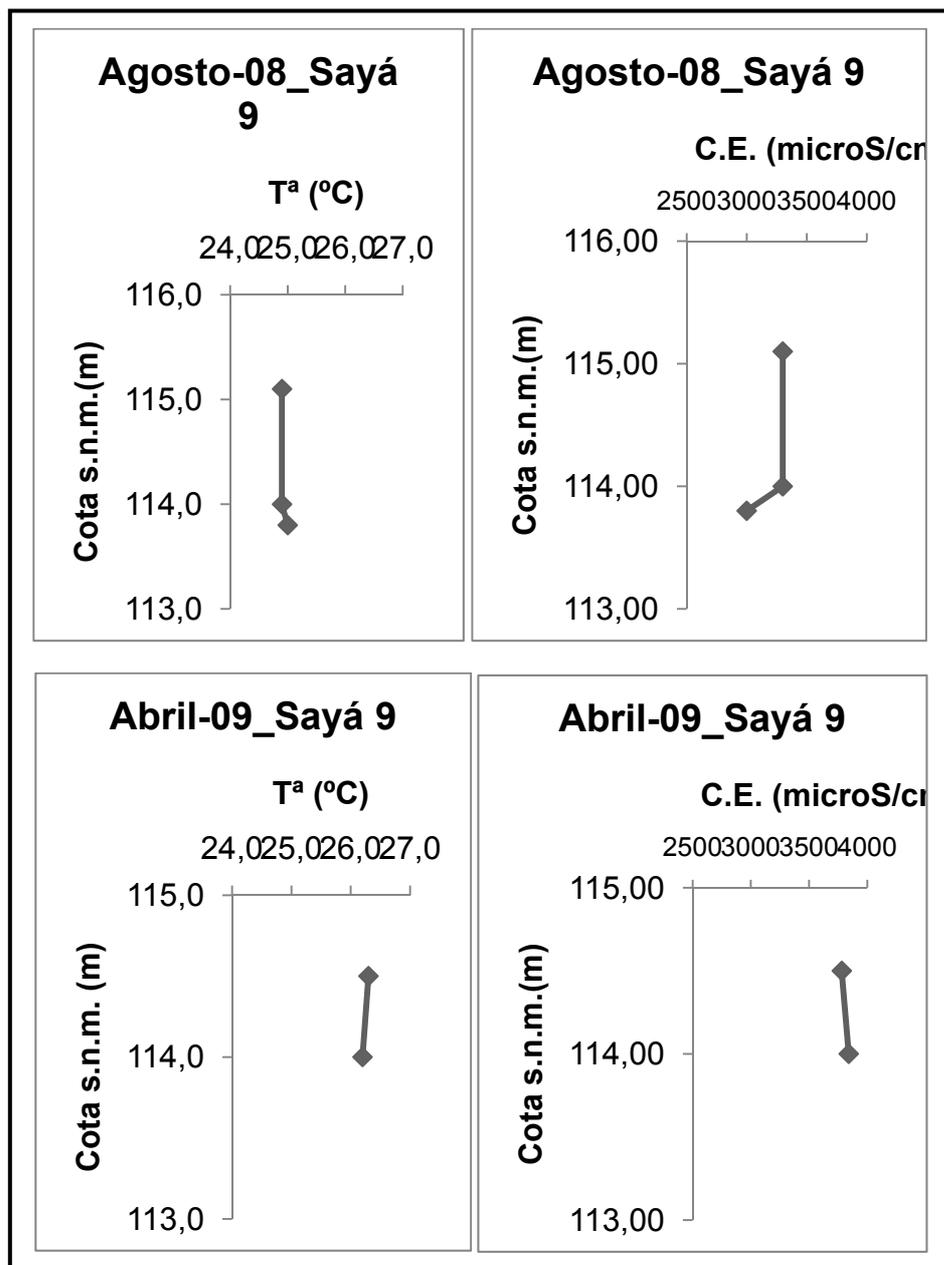


Figura A3. 17. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozo Sayá 9.

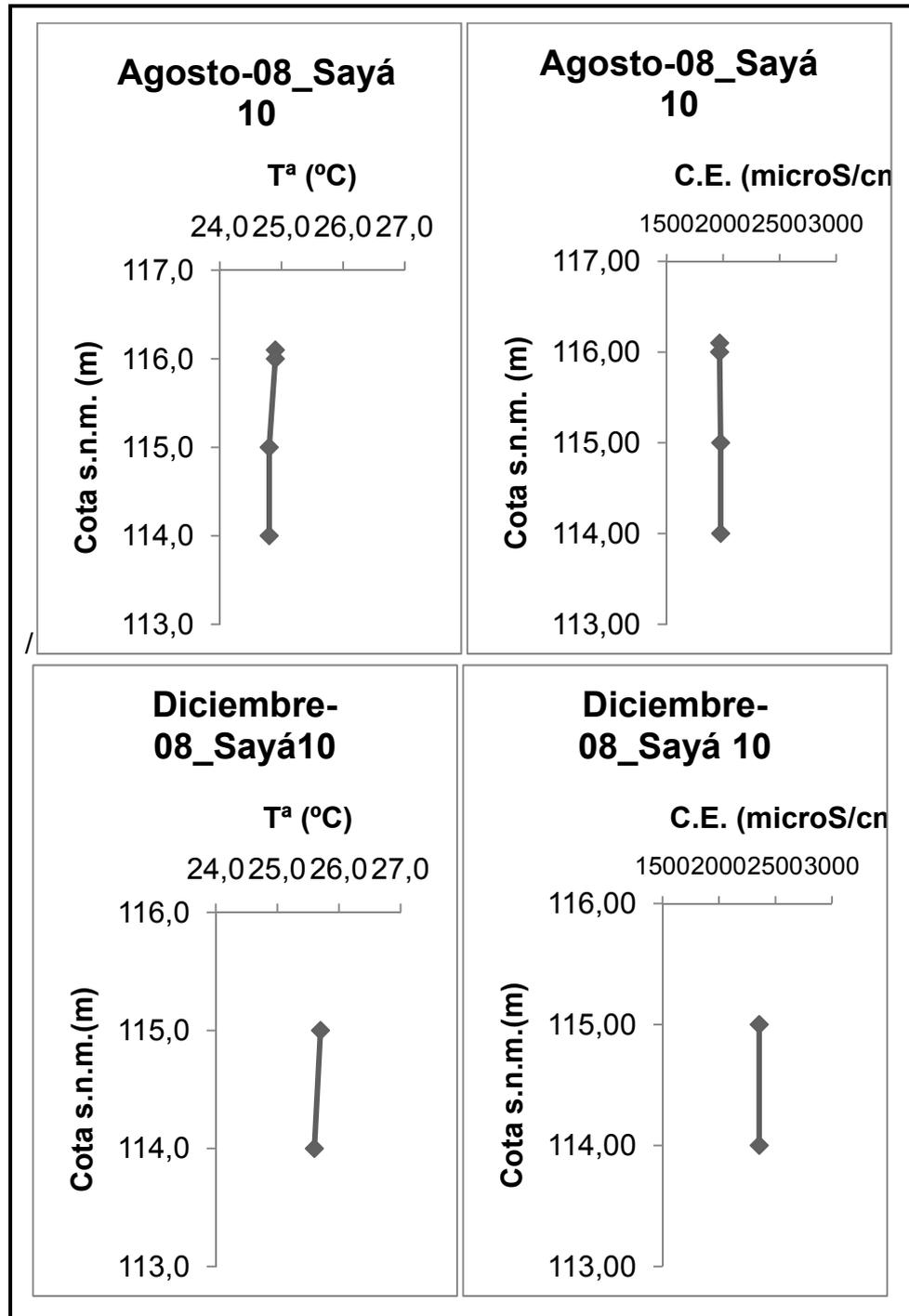


Figura A3.18. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el Sayá10.

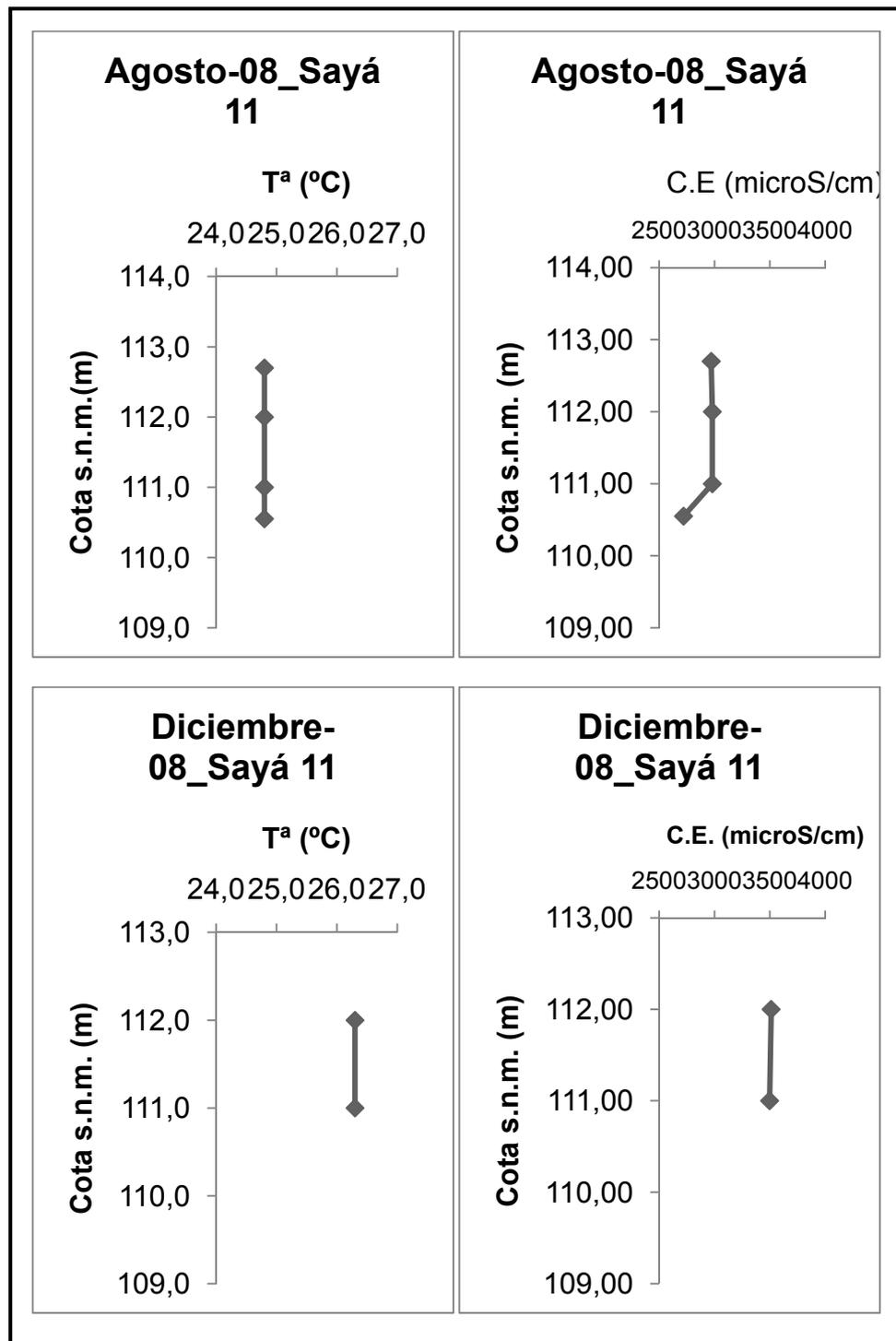


Figura A3.20. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica pozo Sayá 11.

4.2.2 Resultados

En la figuras A3.17-18-20, se muestran las columnas de los puntos Sayá 9, Sayá 10, y Sayá 11 en donde se ha repetido los perfiles en las fechas citadas.

A partir de los perfiles registrados se pueden deducir las siguientes conclusiones:

- Las variaciones térmicas no superan 1°C, por lo que, al no estar acompañadas de variaciones en la conductividad eléctrica, no se consideran importantes.

- El comportamiento de la conductividad eléctrica es muy similar en los registros- (Fig.A3.17-18-20.), no hay variación significativa que indique mezcla de aguas.

- La conductividad en los pozos en la zona de Sayá hace inferir que el agua es salobre.

- La evolución temporal de las conductividades de algunos pozos de la población de Sayá alrededor del pozo Sayá 1, evidencia las alteraciones causadas por el bombeo. Figura 4.4.

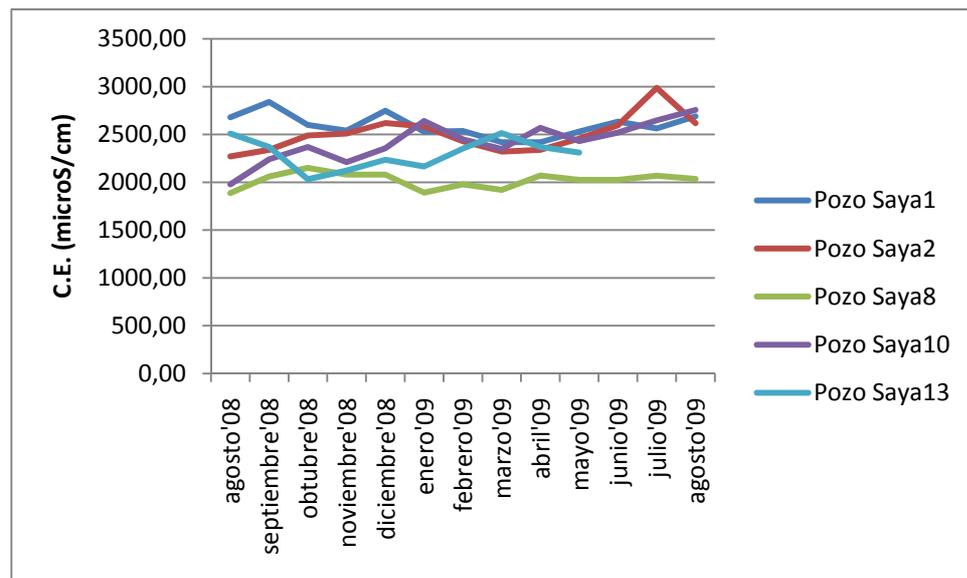


Figura 4.4.a. Evolución temporal de la conductividad eléctrica de los pozos de Sayá

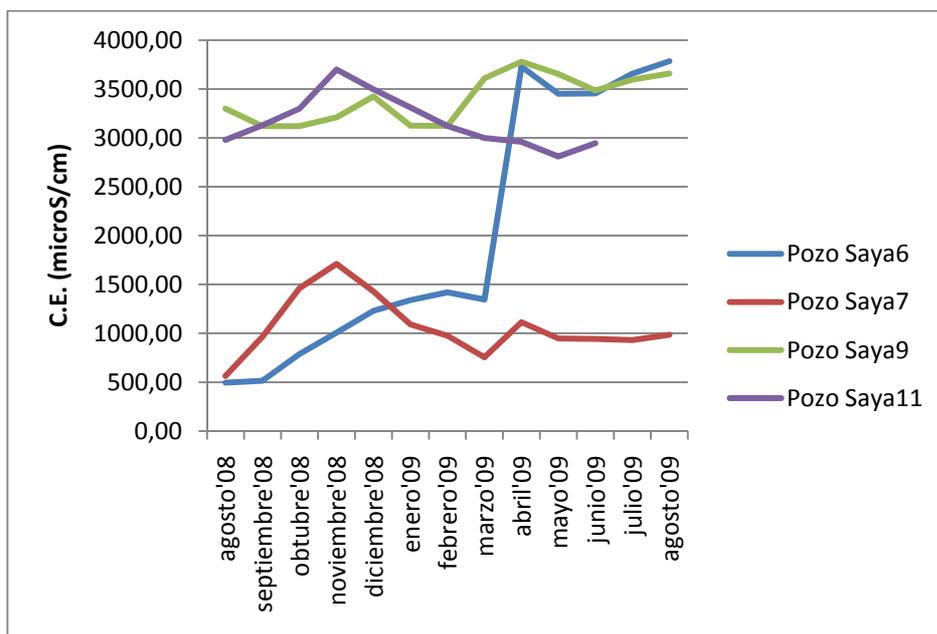


Figura 4.4.b. Evolución temporal de la conductividad eléctrica de los pozos de Sayá

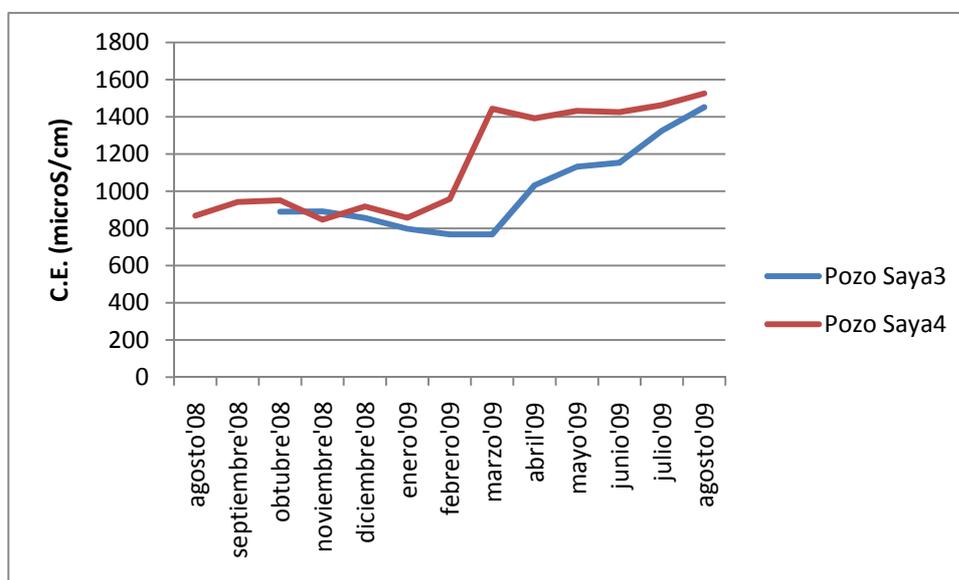


Figura 4.4.c Evolución temporal de la conductividad eléctrica de los pozos de Sayá

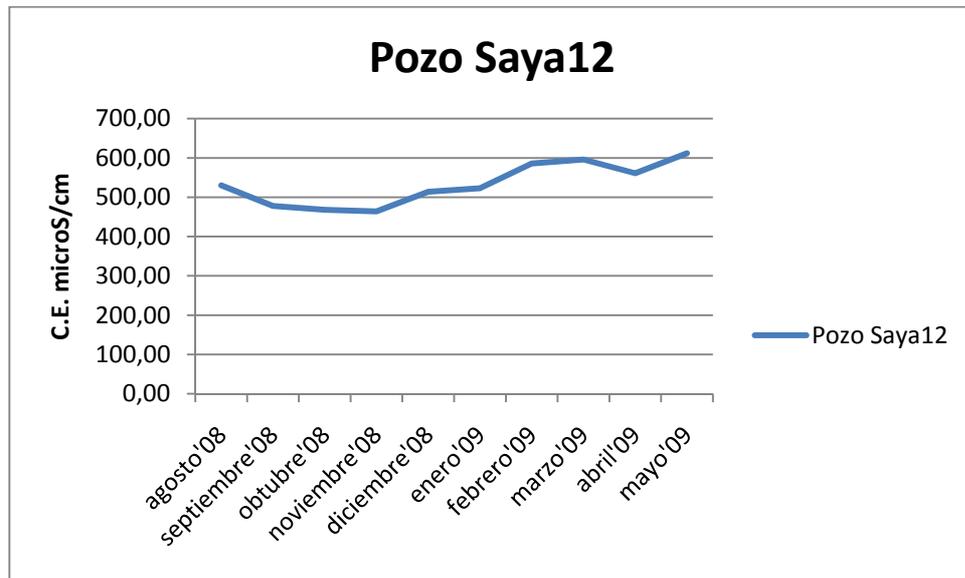


Figura 4.4.d Evolución temporal de la conductividad eléctrica de los pozos de sayá

Conclusiones y Recomendaciones

El acuífero de Sayá está constituido por dos unidades hidrogeológicas: el cuerpo de arenas de la Formación Tablazo que ocupa la parte superior y las areniscas infra yacentes posiblemente del Grupo Azúcar.

La caracterización de la unidad de las arenas de la Formación Tablazo tiene interés puesto que conforma la parte del acuífero de donde se extrae el agua. Es un medio considerado salobre de arenas medias a finas con una permeabilidad media. El cuerpo sedimentario tiene una potencia media de 23,5 m.

Por su parte, los materiales areniscos posiblemente del Grupo Azúcar son más antiguos, con una potencia media de 14 m.

Unidad Hidrogeológica	Potencia Media (m)
Arenas Formación. Tablazo	23.5
Areniscas Grupo Azúcar	14
Total	37.5

Tabla C.1 Unidades Hidrogeológicas.

	TRANSMISIVIDAD (m ² /día)	PERMEABILIDAD (m/día)	POROSIDAD EFECTIVA %
Formación Tablazo	134,395 (31.62-237.17)	3,62 (1.97-5.27)	18,5 (15-22%)
Depósitos Aluviales	---	Alta	40%

Tabla C.2 Resumen de los valores de transmisividad. (Romero P., 2002)

La piezometría local no está acorde con el modelo de flujo regional Noroeste-Sureste, está sufre un quiebre importante, debido a la explotación y las cercanías de las captaciones. Se observa que el flujo de aguas subterráneas se dirigen hacia los pozos ubicados en el área más interna de la zona de estudio, especialmente hacia el pozo Sayá 1, el cual se explota

para el abastecimiento de la población para uso de las diferentes actividades como son doméstica, agrícola, pecuario, etc. Por lo cual está expuesto a un régimen de explotación más intensivo, por eso su cono de abatimiento esta en el nivel más bajo de la localidad, (107 msnm), mientras el nivel piezométrico del pozo 10 es de 116 msnm. El gradiente medio en la localidad de Sayá es de 7,5% y circula desde el perímetro de la zona de estudio hacia el interior debido a la explotación de los pozos.

Se aprecia un descenso de los niveles piezométricos con una media de 0.87 m en los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre, y Diciembre coincidiendo con los últimos meses de la estación seca. Luego se recuperan con una media de 0.41 m tras la época lluviosa del 2009, con una precipitación de 200 mm.

Los niveles piezométricos del 2009 no alcanzaron los niveles del 2008, porque las precipitaciones de 200 mm estuvieron por debajo de la media del sector que es de 300 mm.

La recarga proviene de los depósitos aluviales de los ríos Asagmones que se encuentran al Norte, con porosidad efectiva de 40% y permeabilidad alta los cuales favorecen la infiltración de la escorrentía. El espejo de agua de la

albarrada está por encima del nivel freático del acuífero local lo que la convierte en un elemento más de recarga.

La variación del almacenamiento indica que se están produciendo pérdidas de las reservas del sistema de alrededor de 32500 m³/ año

No se registran cambios significativos en profundidad, de temperatura y conductividad que indique un flujo vertical. La temperatura del agua está por encima de la media del aire, en 1.5°C.

La conductividad eléctrica es afecta por la disminución de la precipitación en el año 2009 y por la explotación. El rango de conductividad es de 500 a 4000 µS/cm. La conductividad eléctrica media subió 415 µs/cm aproximadamente.

Rango (µS/cm)	C.E media 2008 (µS/cm)	C.E media 2009 (µS/cm)	Incremento (µS/c m)
500-4000	1842	2257	415

Tabla C.3 Resultados de Conductividad Eléctrica.

Con los valores determinados de conductividad eléctrica en pozos, concluimos según la clasificación de aguas de Riverside que está no es apta para el consumo humano, para riego con precauciones.

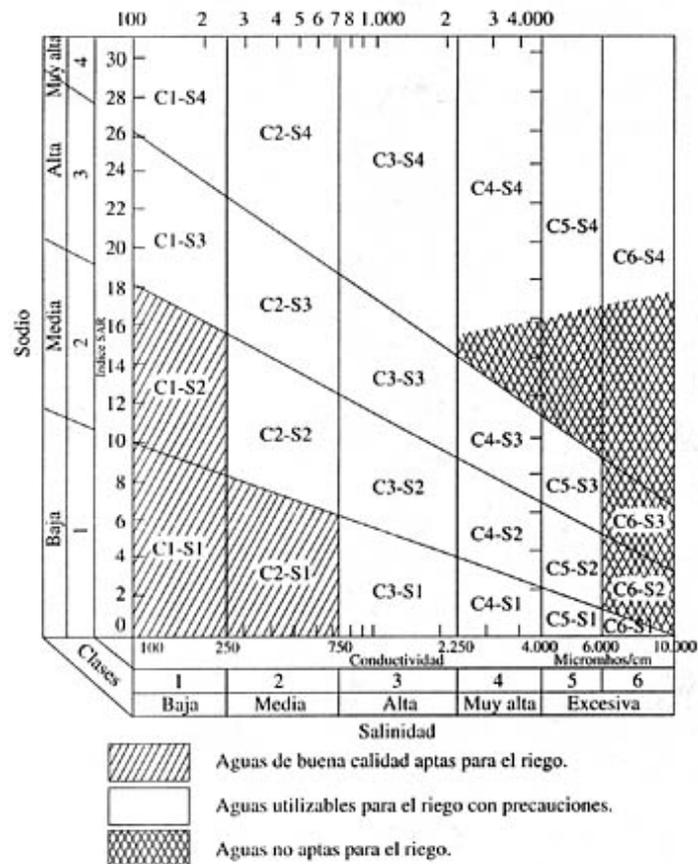


Figura C.1 Clasificación de Aguas de Riverside. (US Salinity Laboratory , 1951)

Se recomienda utilizar para abastecimiento de consumo humano los pozos que tienen rango de conductividad eléctrica 500 a 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que son los pozos Sayá 12, 3 y 4.

Dar mantenimiento a la albarrada para preservar la capacidad de almacenamiento de agua y así la población podrá disponer mayor tiempo los recursos de agua.

Profundizar las captaciones hasta los 50 m para: acceder a mayor volumen de agua; provocar la mezcla de agua y probablemente mejorar la calidad; reconocimiento de los materiales.

Bibliografía

- Ecuador, Teodoro Wolf, "GEOGRAFÍA Y GEOLOGÍA DEL ECUADOR" ,1892.
- Ecuador, Walter Sauer, "Geología del Ecuador",1964.
- Guayaquil, ESPOL-OIEA, "*Caracterización de Acuíferos Costeros de la Península de Santa Elena*" ECU/8/026 , 2006.
- Guayaquil, Instituto Oceanográfico de la Armada, INOCAR,"Comportamiento de las Precipitaciones en la Costa Ecuatoriana ",2008.
- Guayaquil, Miguel González, "Caracterización geotérmica y consideraciones ambientales de los baños termales de San Vicente, provincia del Guayas" ,2003.
- Guayaquil, Paola Leonor Romero, "*Estudio Geológico y Planeamiento de Explotación de Aguas Subterráneas en el Sector de Santa Elena , Atahualpa , Ancón y Pechiche*",2002.
- Jaillard, E.; Ordóñez, M.; Benítez, S.; Berrones, G.; Jimenez, N.; Montenegro, G. & Zambrano, I. , "*Basin development in an accretionary, oceanic floored forearc setting: Southern Ecuador during Late Cretaceous*

to Late Eocene Times. In Petroleum Basins of South America. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem “,1993.

- Las Palmas de Gran Canaria, Josefa Muñoz, “*Caracterización Hidrogeológica del Acuífero de la Aldea (Gran Canaria)*”,2005.
- Malone, P.; Fantin, F.; Tuero F., “*Informe de Geología y Reservorios de los Campos Petroleros de la Península de Santa Elena. C.G.C., Informe Interno no publicado*” ,1999.
- US, Salinity Laboratory, “*Normas de Riverside*” , 1951.

Anexos

Anexo 1. Datos Piezométricos.

Código del pozo	Topónimo	UTM-X	UTM-Y	Altitud (m)
Pozo Saya 1	Saya	540158	9754226	117
Pozo Saya 2	Saya	540240	9754234	120
Pozo Saya 3	Saya	540218	9754246	121
Pozo Saya 4	Saya	540218	9754284	119
Pozo Saya 5	Saya	540174	9754328	121
Pozo Saya 6	Saya	540191	9754318	121
Pozo Saya 7	Saya	540234	9754334	123
Pozo Saya 8	Saya	540237	9754368	123
Pozo Saya 9	Saya	540147	9754354	123
Pozo Saya 10	Saya	540115	9754324	124
Pozo Saya 11	Saya	540139	9754232	121
Pozo Saya 12	Saya	540282	9754158	124
Pozo Saya 13	Saya	540240	9754208	124

Tabla A1.1. Dato de la situación de las captaciones de la zona de estudio

Código pozo	Fecha	Altitud m.s.n.m	Profundidad m	Nivel Freático estático(m)	Profundidad m.s.n.m	Nivel Freático estático m.s.n.m	Procedencia del dato
Pozo Saya 1	ago-08	117,00	11,70	9,70	105,30	107,30	Saya
Pozo Saya 1	sep-08	117,00	11,50	9,33	105,50	107,67	Saya
Pozo Saya 1	oct-08	117,00	11,70	9,32	105,30	107,68	Saya
Pozo Saya 1	nov-08	117,00	11,50	9,30	105,50	107,70	Saya
Pozo Saya 1	dic-08	117,00	11,47	9,45	105,53	107,55	Saya
Pozo Saya 1	ene-09	117,00	11,52	9,61	105,48	107,39	Saya
Pozo Saya 1	feb-09	117,00	11,80	9,48	105,20	107,52	Saya
Pozo Saya 1	mar-09	117,00	12,00	9,44	105,00	107,56	Saya
Pozo Saya 1	abr-09	117,00	11,80	9,45	105,20	107,55	Saya
Pozo Saya 1	may-09	117,00	11,50	9,50	105,50	107,50	Saya
Pozo Saya 1	jun-09	117,00	11,50	9,40	105,50	107,60	Saya
Pozo Saya 1	jul-09	117,00	11,40	9,50	105,60	107,50	Saya
Pozo Saya 1	ago-09	117,00	11,50	9,50	105,50	107,50	Saya
Pozo Saya 2	ago-08	120,00	9,70	8,10	110,30	111,90	Saya
Pozo Saya 2	sep-08	120,00	9,85	8,30	110,15	111,70	Saya
Pozo Saya 2	oct-08	120,00	9,95	8,46	110,05	111,54	Saya
Pozo Saya 2	nov-08	120,00	9,90	8,40	110,10	111,60	Saya
Pozo Saya 2	dic-08	120,00	9,90	8,46	110,10	111,54	Saya
Pozo Saya 2	ene-09	120,00	9,87	8,38	110,13	111,62	Saya
Pozo Saya 2	feb-09	120,00	9,89	8,51	110,11	111,49	Saya
Pozo Saya 2	mar-09	120,00	9,90	8,47	110,10	111,53	Saya

Tabla A1.2. Datos piezométricos de la zona de estudio.

Codigo pozo	Fecha	Altitud m.s.n.m	Profundidad m	Nivel Freático estático(m)	Profundidad m.s.n.m	Nivel Freático estático m.s.n.m	Procedencia del dato
							Saya
Pozo Saya 2	abr-09	120,00	9,90	8,66	110,10	111,34	Saya
Pozo Saya 2	may-09	120,00	9,85	8,50	110,15	111,50	Saya
Pozo Saya 2	jun-09	120,00	9,80	8,60	110,20	111,40	Saya
Pozo Saya 2	jul-09	120,00	9,75	8,70	110,25	111,30	Saya
Pozo Saya 2	ago-09	120,00	9,70	8,65	110,30	111,35	Saya
Pozo Saya 3	ago-08	121,00					Saya
Pozo Saya 3	sep-08	121,00					Saya
Pozo Saya 3	oct-08	121,00	9,00	8,20	112,00	112,80	Saya
Pozo Saya 3	nov-08	121,00	8,70	8,50	112,30	112,50	Saya
Pozo Saya 3	dic-08	121,00	8,75	8,46	112,25	112,54	Saya
Pozo Saya 3	ene-09	121,00	8,73	8,15	112,27	112,85	Saya
Pozo Saya 3	feb-09	121,00	8,70	8,25	112,30	112,75	Saya
Pozo Saya 3	mar-09	121,00					Saya
Pozo Saya 3	abr-09	121,00	7,30	7,20	113,70	113,80	Saya
Pozo Saya 3	may-09	121,00	7,45	7,20	113,55	113,80	Saya
Pozo Saya 3	jun-09	121,00	7,50	7,12	113,50	113,88	Saya
Pozo Saya 3	jul-09	121,00	7,65	7,20	113,35	113,80	Saya
Pozo Saya 3	ago-09	121,00	7,55	7,15	113,45	113,85	Saya
Pozo Saya 4	ago-08	119,00	8,40	7,70	110,60	111,30	Saya
Pozo Saya 4	sep-08	119,00	9,63	8,32	109,37	110,68	Saya

Codigo pozo	Fecha	Altitud m.s.n.m	Profundidad m	Nivel Freático estático(m)	Profundidad m.s.n.m	Nivel Freático estático m.s.n.m	Procedencia del dato
Pozo Saya 4	oct-08	119,00	9,34	8,38	109,66	110,62	Saya
Pozo Saya 4	nov-08	119,00	9,55	8,30	109,45	110,70	Saya
Pozo Saya 4	dic-08	119,00	9,58	8,28	109,42	110,72	Saya
Pozo Saya 4	ene-09	119,00	9,47	8,17	109,53	110,83	Saya
Pozo Saya 4	feb-09	119,00	9,42	7,92	109,58	111,08	Saya
Pozo Saya 4	mar-09	119,00	9,38	7,85	109,62	111,15	Saya
Pozo Saya 4	abr-09	119,00	9,60	7,86	109,40	111,14	Saya
Pozo Saya 4	may-09	119,00	9,55	7,85	109,45	111,15	Saya
Pozo Saya 4	jun-09	119,00	9,60	7,80	109,40	111,20	Saya
Pozo Saya 4	jul-09	119,00	9,55	7,90	109,45	111,10	Saya
Pozo Saya 4	ago-09	119,00	9,60	7,80	109,40	111,20	Saya
Pozo Saya 5	ago-08	121,00	10,30	7,90	110,70	113,10	Saya
Pozo Saya 5	sep-08	121,00	10,20	8,20	110,80	112,80	Saya
Pozo Saya 5	oct-08	121,00	10,15	8,40	110,85	112,60	Saya
Pozo Saya 5	nov-08	121,00	10,20	8,20	110,80	112,80	Saya
Pozo Saya 5	dic-08	121,00	10,08	8,18	110,92	112,82	Saya
Pozo Saya 5	ene-09	121,00	10,15	8,20	110,85	112,80	Saya
Pozo Saya 5	feb-09	121,00	9,98	8,05	111,02	112,95	Saya
Pozo Saya 5	mar-09	121,00	10,39	8,18	110,61	112,82	Saya
Pozo Saya 5	abr-09	121,00	10,93	7,94	110,07	113,06	Saya
Pozo Saya 5	may-09	121,00	10,95	7,80	110,05	113,20	Saya

Codigo pozo	Fecha	Altitud m.s.n.m	Profundidad m	Nivel Freático estático(m)	Profundidad m.s.n.m	Nivel Freático estático m.s.n.m	Procedencia del dato
Pozo Saya 5	jun-09	121,00	10,80	7,70	110,20	113,30	Saya
Pozo Saya 5	jul-09	121,00	10,90	7,70	110,10	113,30	Saya
Pozo Saya 5	ago-09	121,00	10,80	7,60	110,20	113,40	Saya
Pozo Saya 6	ago-08	121,00	10,80	7,65	110,20	113,35	Saya
Pozo Saya 6	sep-08	121,00	10,84	8,25	110,16	112,75	Saya
Pozo Saya 6	oct-08	121,00	10,89	9,48	110,11	111,52	Saya
Pozo Saya 6	nov-08	121,00	10,80	9,20	110,20	111,80	Saya
Pozo Saya 6	dic-08	121,00	10,46	9,03	110,54	111,97	Saya
Pozo Saya 6	ene-09	121,00	10,68	9,18	110,32	111,82	Saya
Pozo Saya 6	feb-09	121,00	10,12	8,79	110,88	112,21	Saya
Pozo Saya 6	mar-09	121,00	9,94	8,20	111,06	112,80	Saya
Pozo Saya 6	abr-09	121,00	10,44	8,15	110,56	112,85	Saya
Pozo Saya 6	may-09	121,00	10,50	8,10	110,50	112,90	Saya
Pozo Saya 6	jun-09	121,00	10,50	8,20	110,50	112,80	Saya
Pozo Saya 6	jul-09	121,00	10,60	8,30	110,40	112,70	Saya
Pozo Saya 6	ago-09	121,00	10,55	8,35	110,45	112,65	Saya
Pozo Saya 7	ago-08	123,00	11,60	7,83	111,40	115,17	Saya
Pozo Saya 7	sep-08	123,00	11,15	7,91	111,85	115,09	Saya
Pozo Saya 7	oct-08	123,00	11,15	8,20	111,85	114,80	Saya
Pozo Saya 7	nov-08	123,00	11,15	8,20	111,85	114,80	Saya
Pozo Saya 7	dic-08	123,00	11,18	8,15	111,82	114,85	Saya

Codigo pozo	Fecha	Altitud m.s.n.m	Profundidad m	Nivel Freático estático(m)	Profundidad m.s.n.m	Nivel Freático estático m.s.n.m	Procedencia del dato
Pozo Saya 7	ene-09	123,00	11,15	8,20	111,85	114,80	Saya
Pozo Saya 7	feb-09	123,00	11,08	8,17	111,92	114,83	Saya
Pozo Saya 7	mar-09	123,00	11,10	8,10	111,90	114,90	Saya
Pozo Saya 7	abr-09	123,00	11,50	8,14	111,50	114,86	Saya
Pozo Saya 7	may-09	123,00	11,20	8,10	111,80	114,90	Saya
Pozo Saya 7	jun-09	123,00	11,10	8,20	111,90	114,80	Saya
Pozo Saya 7	jul-09	123,00	11,00	8,10	112,00	114,90	Saya
Pozo Saya 7	ago-09	123,00	11,20	8,20	111,80	114,80	Saya
Pozo Saya 8	ago-08	123,00	10,40	8,75	112,60	114,25	Saya
Pozo Saya 8	sep-08	123,00	10,44	8,90	112,56	114,10	Saya
Pozo Saya 8	oct-08	123,00	10,51	9,02	112,49	113,98	Saya
Pozo Saya 8	nov-08	123,00	10,50	9,00	112,50	114,00	Saya
Pozo Saya 8	dic-08	123,00	10,35	9,10	112,65	113,90	Saya
Pozo Saya 8	ene-09	123,00	10,52	8,80	112,48	114,20	Saya
Pozo Saya 8	feb-09	123,00	10,53	8,75	112,47	114,25	Saya
Pozo Saya 8	mar-09	123,00	10,47	8,96	112,53	114,04	Saya
Pozo Saya 8	abr-09	123,00	10,30	8,82	112,70	114,18	Saya
Pozo Saya 8	may-09	123,00	10,20	8,60	112,80	114,40	Saya
Pozo Saya 8	jun-09	123,00	10,10	8,90	112,90	114,10	Saya
Pozo Saya 8	jul-09	123,00	10,20	8,70	112,80	114,30	Saya
Pozo Saya 8	ago-09	123,00	10,15	8,80	112,85	114,20	Saya

Codigo pozo	Fecha	Altitud m.s.n.m	Profundidad m	Nivel Freático estático(m)	Profundidad m.s.n.m	Nivel Freático estático m.s.n.m	Procedencia del dato
Pozo Saya 9	ago-08	123,00	9,20	7,90	113,80	115,10	Saya
Pozo Saya 9	sep-08	123,00	9,50	7,90	113,50	115,10	Saya
Pozo Saya 9	oct-08	123,00	9,21	8,21	113,79	114,79	Saya
Pozo Saya 9	nov-08	123,00	9,40	8,00	113,60	115,00	Saya
Pozo Saya 9	dic-08	123,00	9,38	8,15	113,62	114,85	Saya
Pozo Saya 9	ene-09	123,00	9,40	8,10	113,60	114,90	Saya
Pozo Saya 9	feb-09	123,00	9,38	8,14	113,62	114,86	Saya
Pozo Saya 9	mar-09	123,00	9,35	8,19	113,65	114,81	Saya
Pozo Saya 9	abr-09	123,00	9,10	8,18	113,90	114,82	Saya
Pozo Saya 9	may-09	123,00	9,10	8,10	113,90	114,90	Saya
Pozo Saya 9	jun-09	123,00	9,05	8,20	113,95	114,80	Saya
Pozo Saya 9	jul-09	123,00	9,10	8,10	113,90	114,90	Saya
Pozo Saya 9	ago-09	123,00	9,15	8,20	113,85	114,80	Saya
Pozo Saya 10	ago-08	124,00	10,18	7,90	113,82	116,10	Saya
Pozo Saya 10	sep-08	124,00	10,33	7,75	113,67	116,25	Saya
Pozo Saya 10	oct-08	124,00	10,30	8,20	113,70	115,80	Saya
Pozo Saya 10	nov-08	124,00	10,30	8,70	113,70	115,30	Saya
Pozo Saya 10	dic-08	124,00	10,35	8,50	113,65	115,50	Saya
Pozo Saya 10	ene-09	124,00	10,40	8,42	113,60	115,58	Saya
Pozo Saya 10	feb-09	124,00	10,30	8,52	113,70	115,48	Saya
Pozo Saya 10	mar-09	124,00	10,28	8,43	113,72	115,57	Saya

Codigo pozo	Fecha	Altitud m.s.n.m	Profundidad m	Nivel Freático estático(m)	Profundidad m.s.n.m	Nivel Freático estático m.s.n.m	Procedencia del dato
Pozo Saya 10	abr-09	124,00	10,10	8,03	113,90	115,97	Saya
Pozo Saya 10	may-09	124,00	10,00	7,95	114,00	116,05	Saya
Pozo Saya 10	jun-09	124,00	10,00	8,00	114,00	116,00	Saya
Pozo Saya 10	jul-09	124,00	10,00	8,10	114,00	115,90	Saya
Pozo Saya 10	ago-09	124,00	10,00	8,20	114,00	115,80	Saya
Pozo Saya 11	ago-08	121,00	10,45	7,90	110,55	113,10	Saya
Pozo Saya 11	sep-08	121,00	10,47	8,47	110,53	112,53	Saya
Pozo Saya 11	oct-08	121,00	10,47	9,00	110,53	112,00	Saya
Pozo Saya 11	nov-08	121,00	10,47	8,50	110,53	112,50	Saya
Pozo Saya 11	dic-08	121,00	10,45	8,45	110,55	112,55	Saya
Pozo Saya 11	ene-09	121,00	10,50	8,70	110,50	112,30	Saya
Pozo Saya 11	feb-09	121,00	10,48	8,90	110,52	112,10	Saya
Pozo Saya 11	mar-09	121,00	10,38	8,80	110,62	112,20	Saya
Pozo Saya 11	abr-09	121,00	10,25	8,74	110,75	112,26	Saya
Pozo Saya 11	may-09	121,00	10,15	8,80	110,85	112,20	Saya
Pozo Saya 11	jun-09	121,00	10,10	8,90	110,90	112,10	Saya
Pozo Saya 11	jul-09	121,00					Saya
Pozo Saya 11	ago-09	121,00					Saya
Pozo Saya 12	ago-08	124,00	9,43	7,90	114,57	116,10	Saya
Pozo Saya 12	sep-08	124,00	8,80	8,20	115,20	115,80	Saya
Pozo Saya 12	oct-08	124,00	9,33	8,60	114,67	115,40	Saya

Codigo pozo	Fecha	Altitud m.s.n.m	Profundidad m	Nivel Freático estático(m)	Profundidad m.s.n.m	Nivel Freático estático m.s.n.m	Procedencia del dato
Pozo Saya 12	nov-08	124,00	9,20	8,70	114,80	115,30	Saya
Pozo Saya 12	dic-08	124,00	9,50	8,80	114,50	115,20	Saya
Pozo Saya 12	ene-09	124,00	9,60	9,00	114,40	115,00	Saya
Pozo Saya 12	feb-09	124,00	8,70	8,00	115,30	116,00	Saya
Pozo Saya 12	mar-09	124,00	9,00	8,60	115,00	115,40	Saya
Pozo Saya 12	abr-09	124,00	8,66	8,43	115,34	115,57	Saya
Pozo Saya 12	may-09	124,00	8,60	8,40	115,40	115,60	Saya
Pozo Saya 12	jun-09	124,00	8,90	8,30	115,10	115,70	Saya
Pozo Saya 12	jul-09	124,00					Saya
Pozo Saya 12	ago-09	124,00					Saya
Pozo Saya 13	ago-08	124,00	10,70	7,70	113,30	116,30	Saya
Pozo Saya 13	sep-08	124,00	10,70	8,22	113,30	115,78	Saya
Pozo Saya 13	oct-08	124,00	9,60	9,14	114,40	114,86	Saya
Pozo Saya 13	nov-08	124,00	10,20	8,90	113,80	115,10	Saya
Pozo Saya 13	dic-08	124,00	10,50	8,50	113,50	115,50	Saya
Pozo Saya 13	ene-09	124,00	9,80	8,90	114,20	115,10	Saya
Pozo Saya 13	feb-09	124,00	9,20	8,70	114,80	115,30	Saya
Pozo Saya 13	mar-09	124,00	8,73	8,49	115,27	115,51	Saya
Pozo Saya 13	abr-09	124,00	9,71	8,50	114,29	115,50	Saya
Pozo Saya 13	may-09	124,00	9,10	8,60	114,90	115,40	Saya
Pozo Saya 13	jun-09	124,00	9,10	8,50	114,90	115,50	Saya

	TRANSMISIVIDAD (m²/día)	PERMEABILIDAD (m/día)	POROSIDAD EFFECTIVA %
Fm. Tablazo	134,395 (31.62-237.17)	3,62 (1.97-5.27)	18,5 (15-22%)

Tabla A1.3. Resumen de los valores de transmisividad.

Anexo 2. Evolución Temporal del nivel piezométrico y conductividad eléctrica.

POZO SAYÁ 1

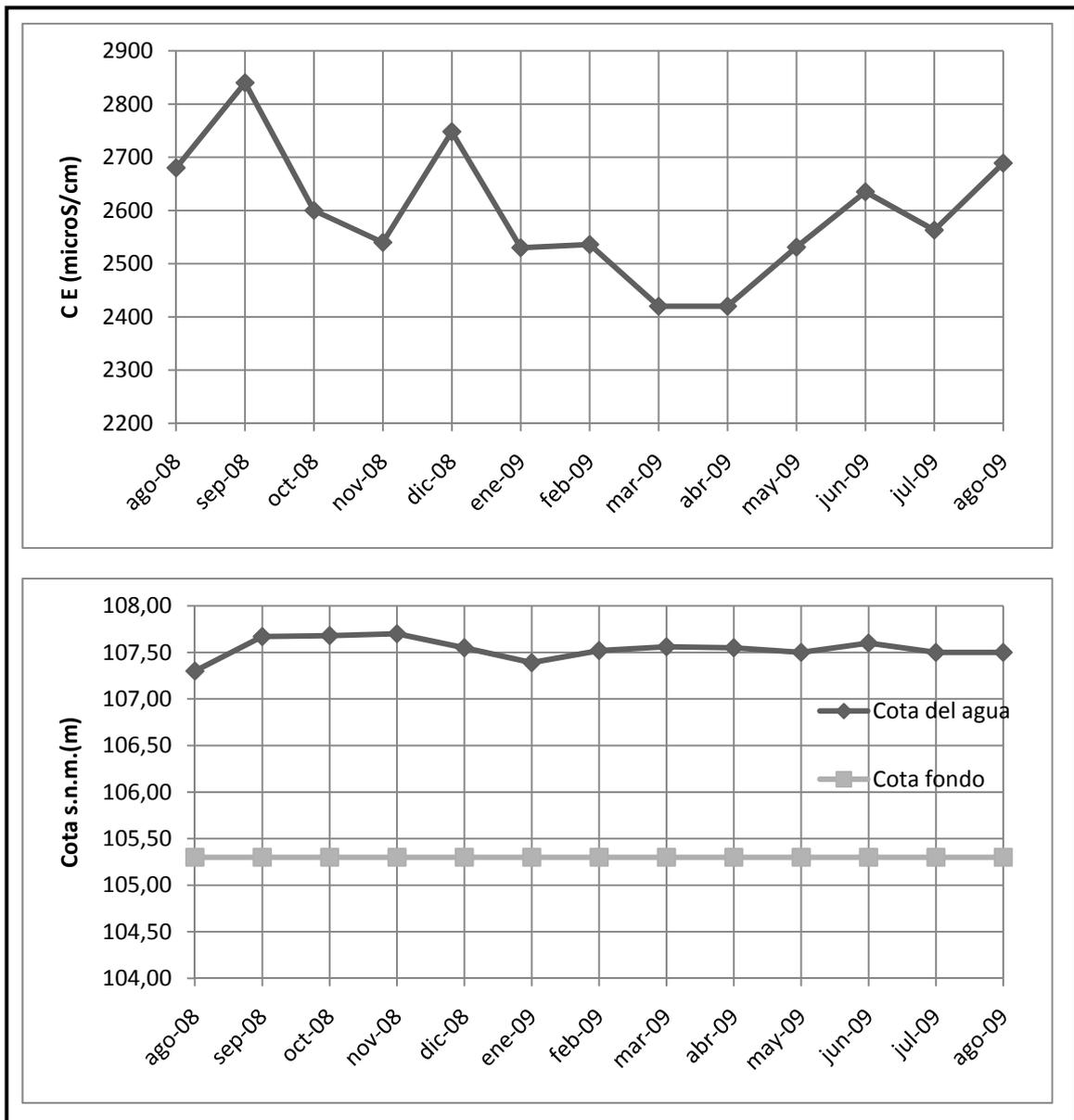


Figura A2.1. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 1.

POZO SAYÁ 2

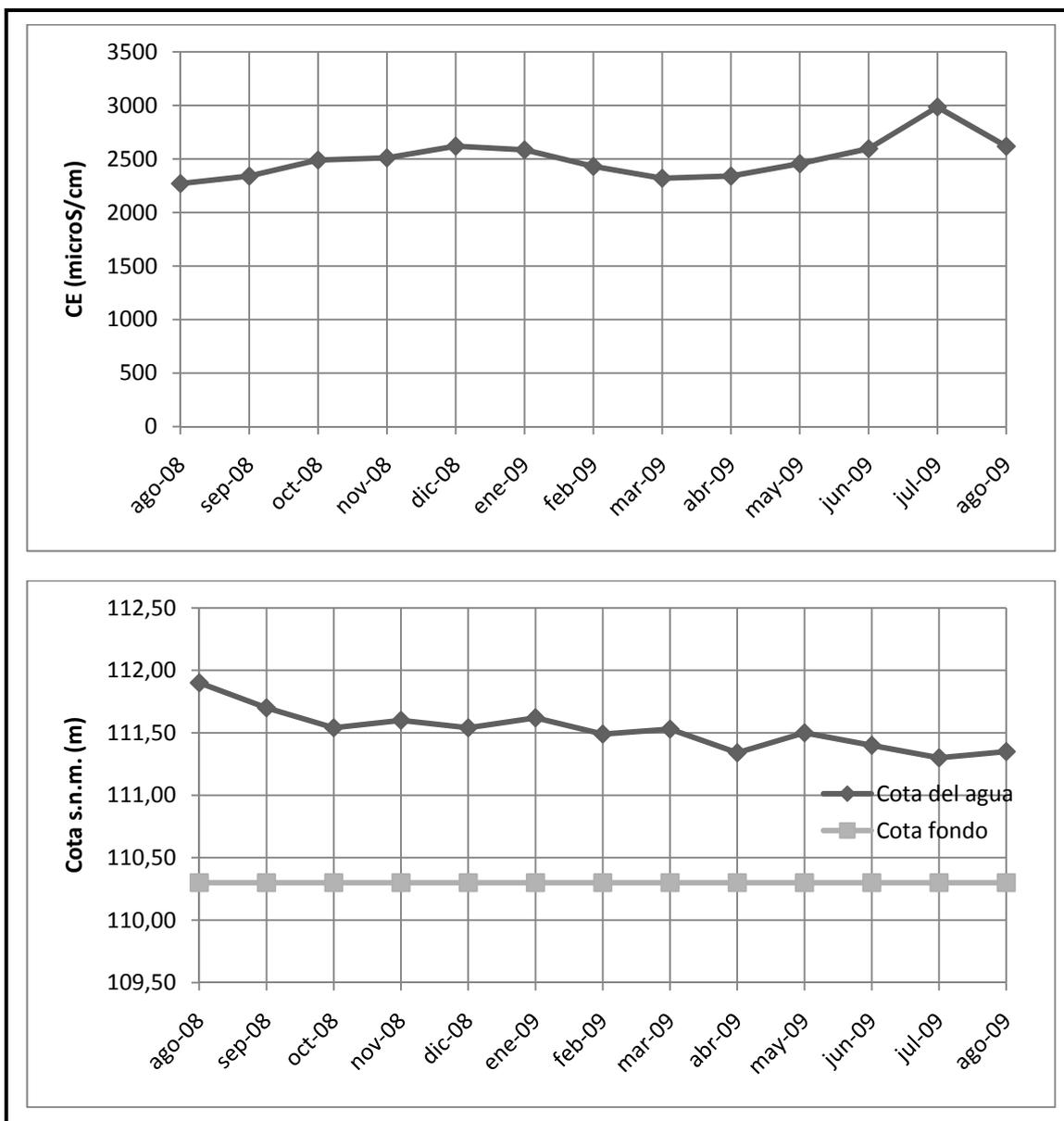


Figura A2.2. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 2.

POZO SAYÁ 3

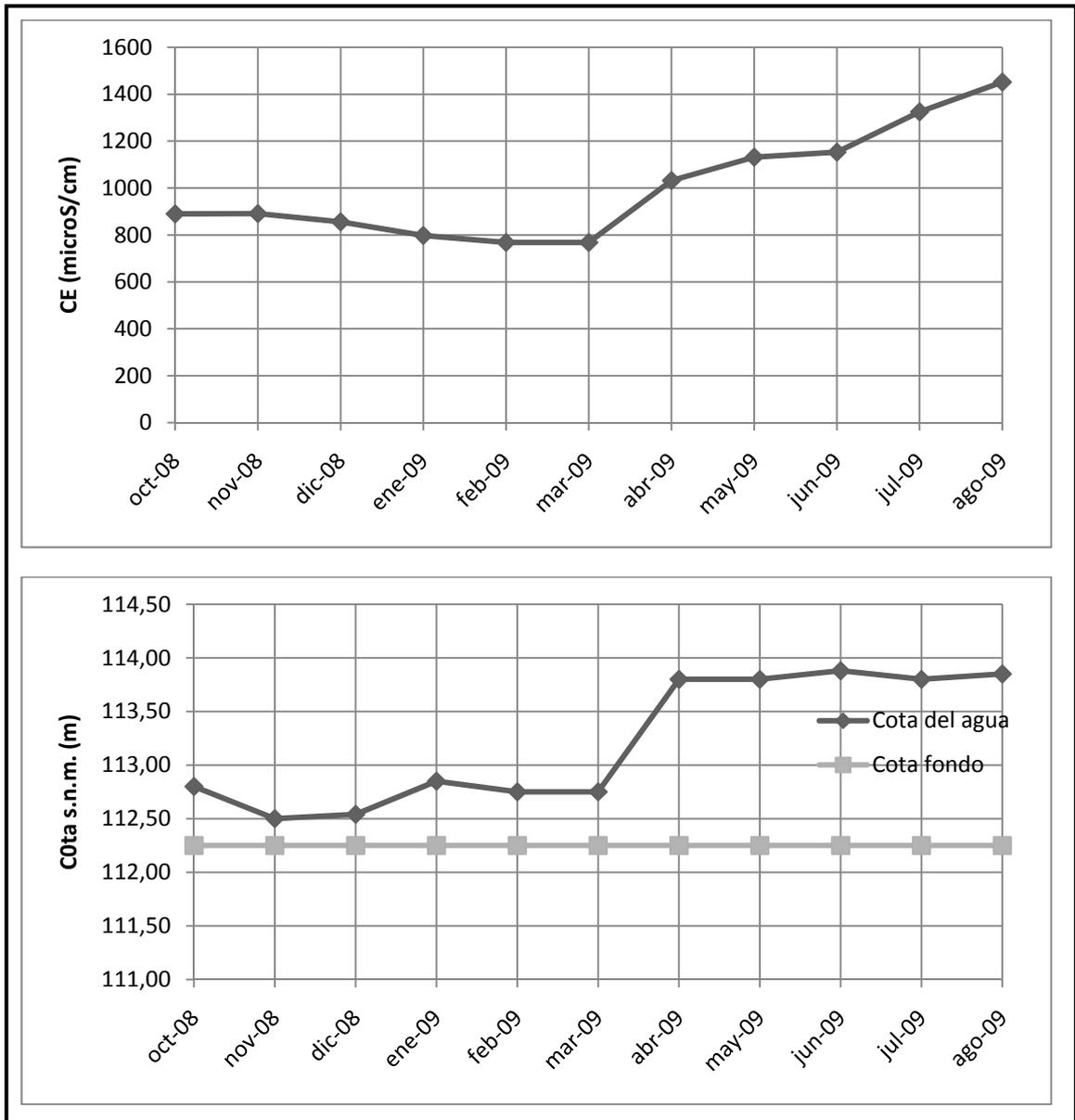


Figura A2.3. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 3.

POZO SAYÁ 4

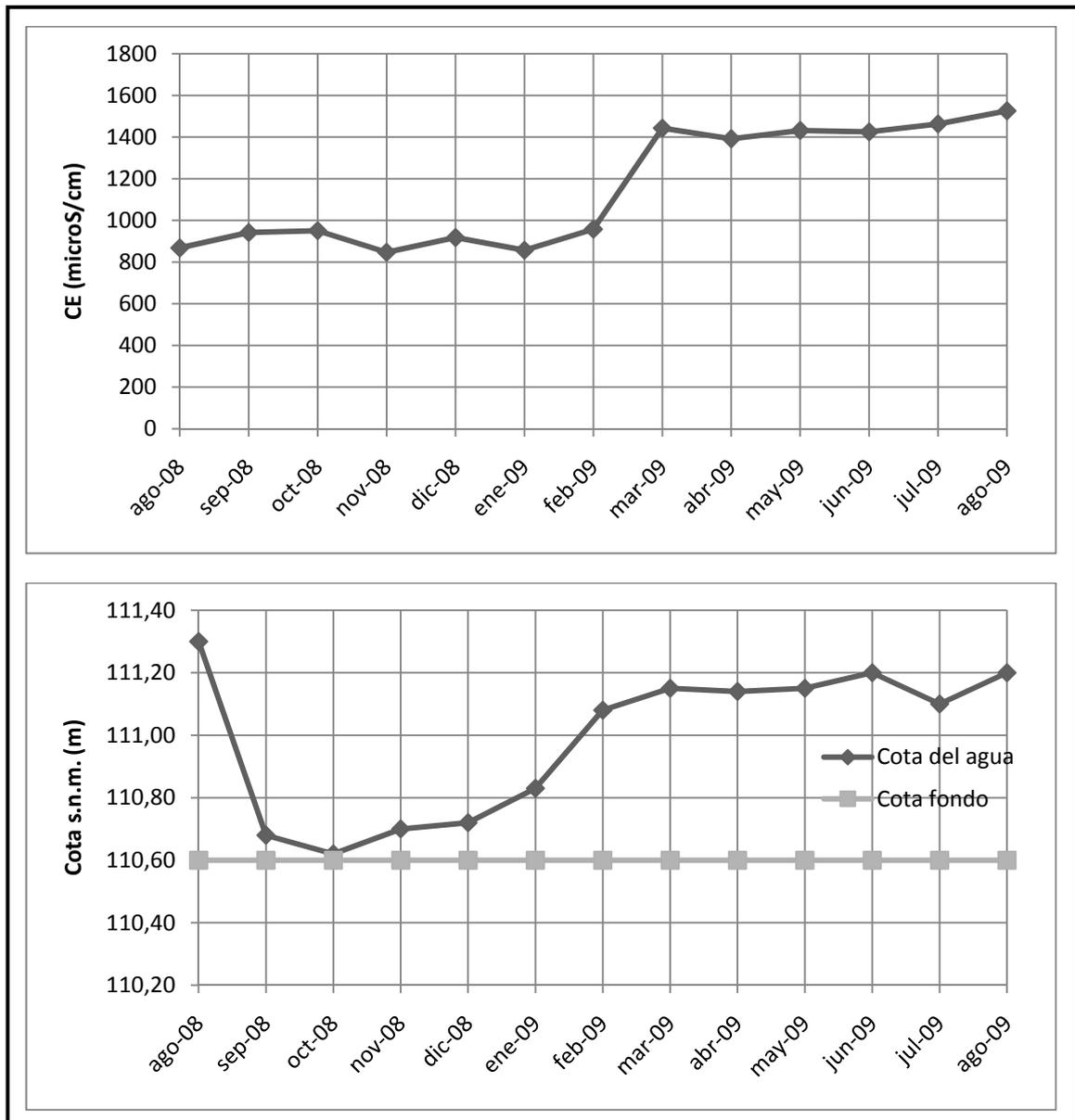


Figura A2.4. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 4.

POZO SAYÁ 5

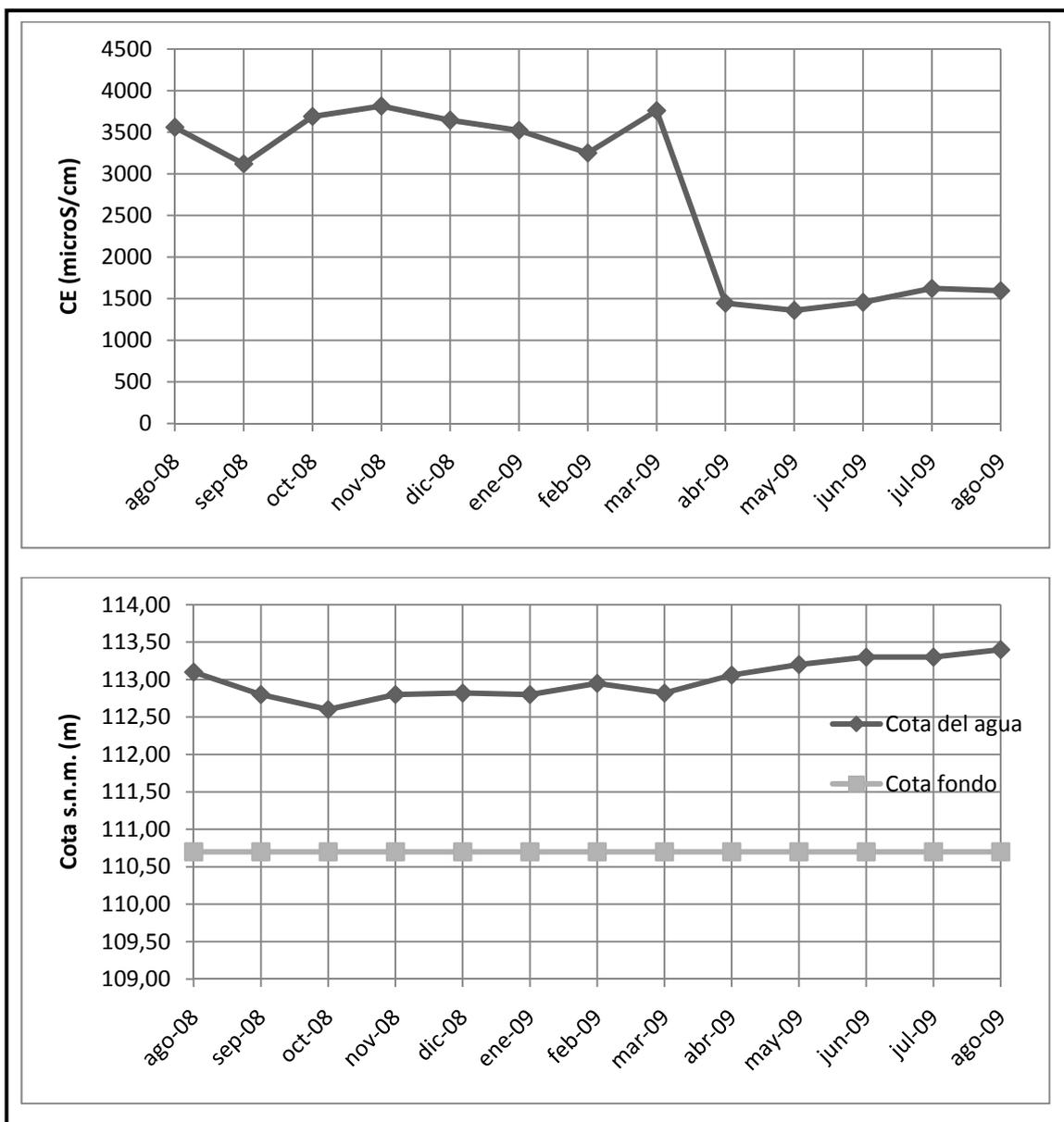


Figura A2.5. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 5.

POZO SAYÀ 6

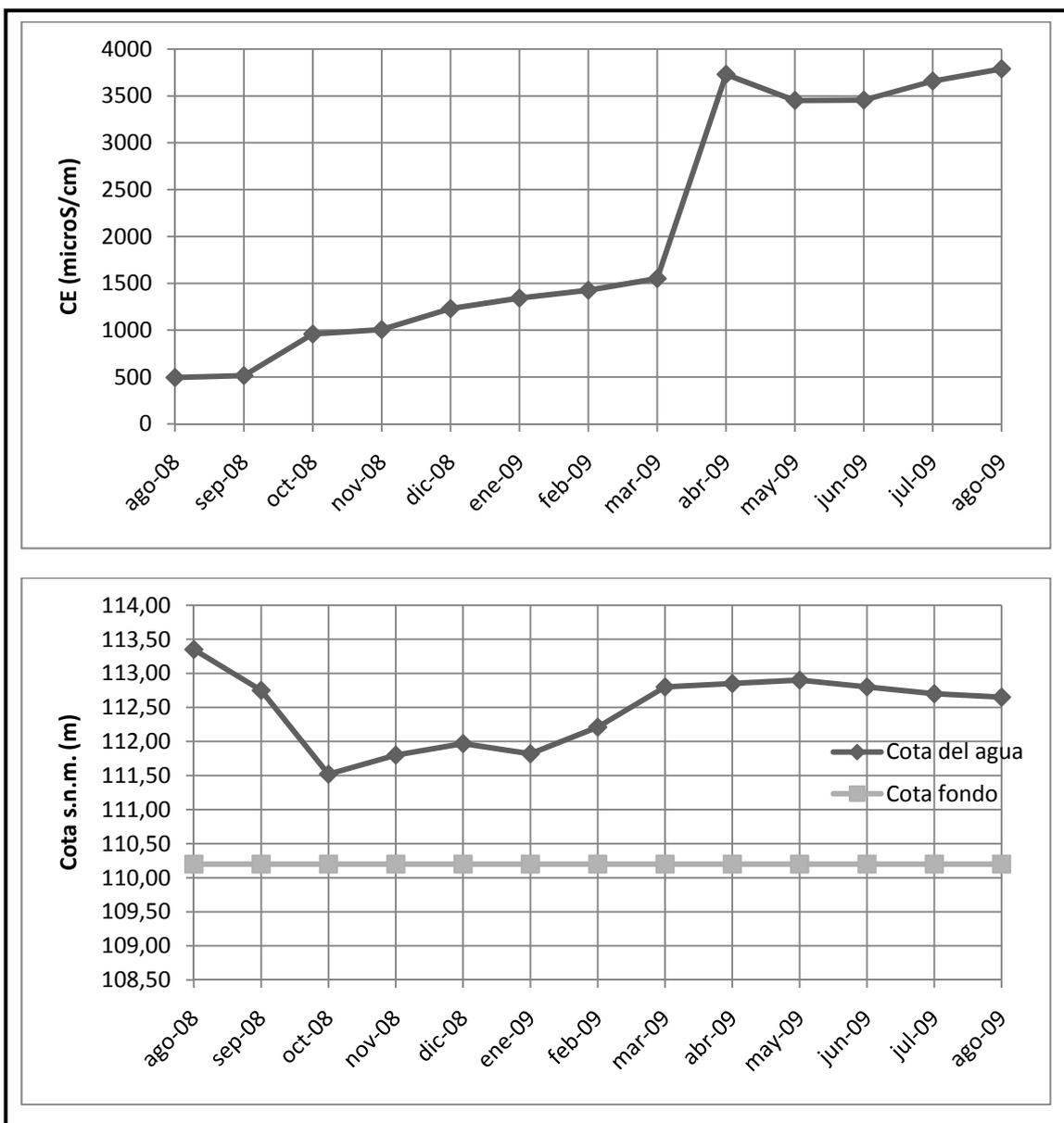


Figura A2.6. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayà 6.

POZO SAYÁ 7

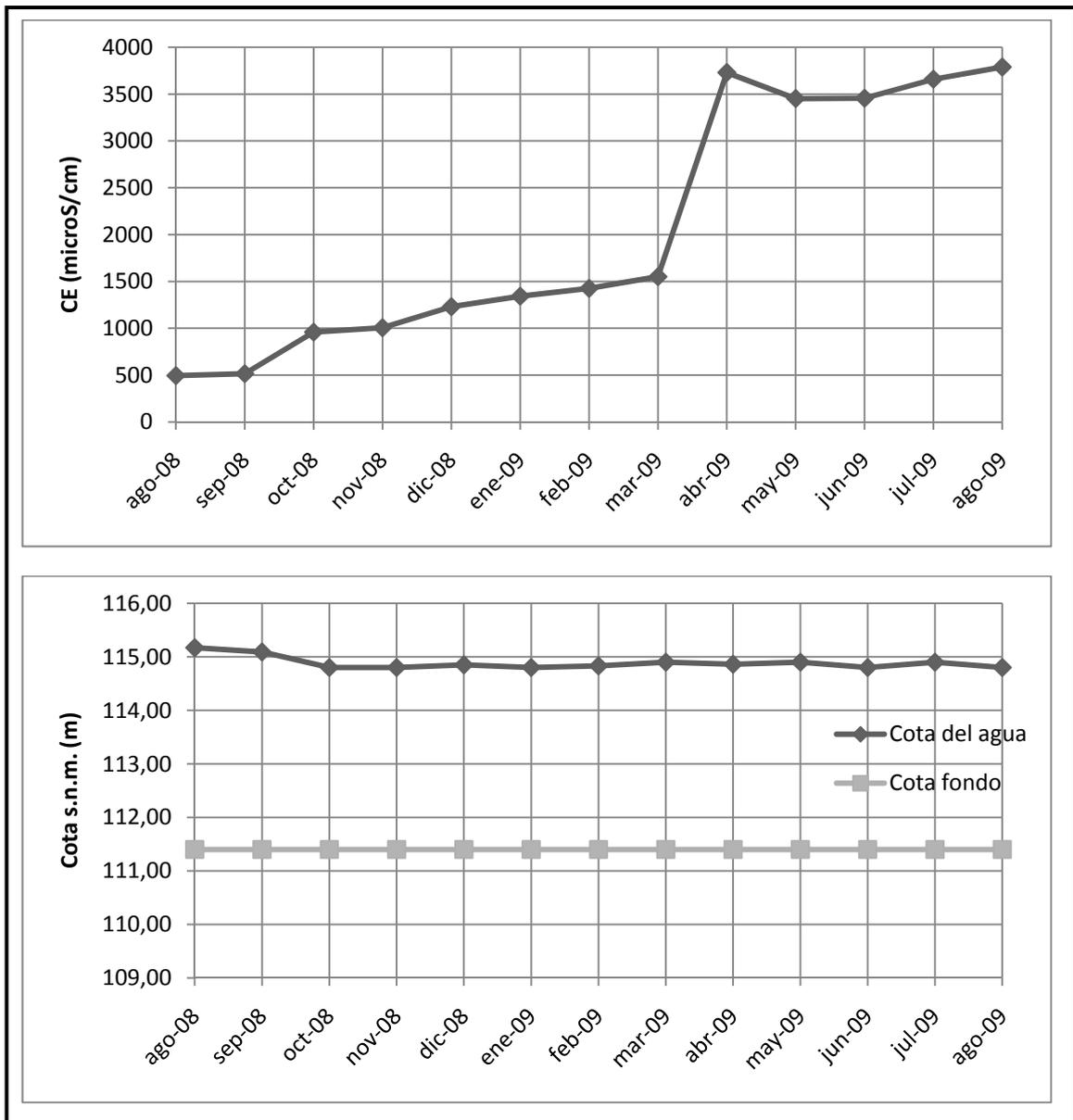


Figura A2.7. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 7

POZO SAYÁ 8

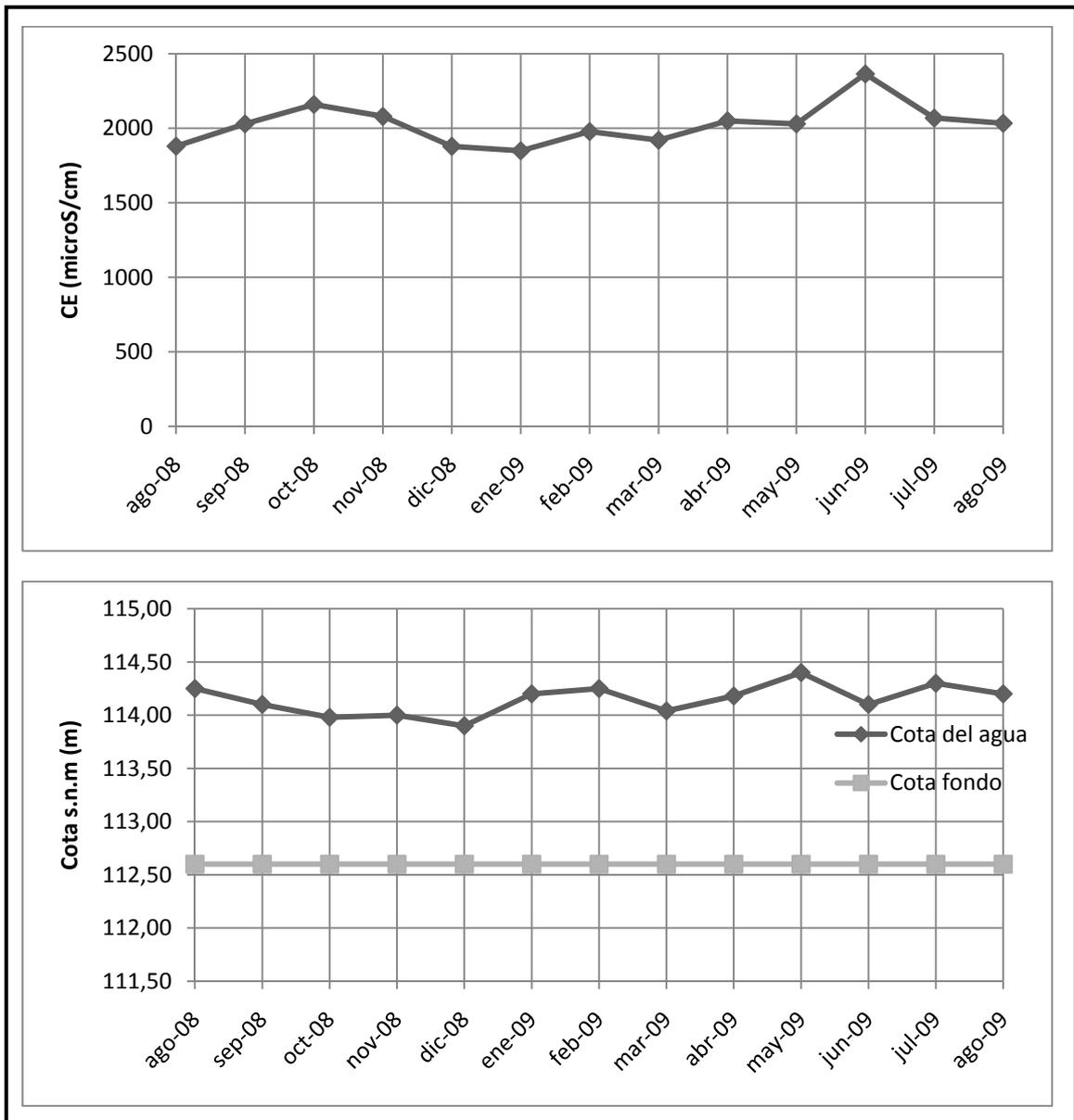


Figura A2.8. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 8.

POZO SAYÁ 9

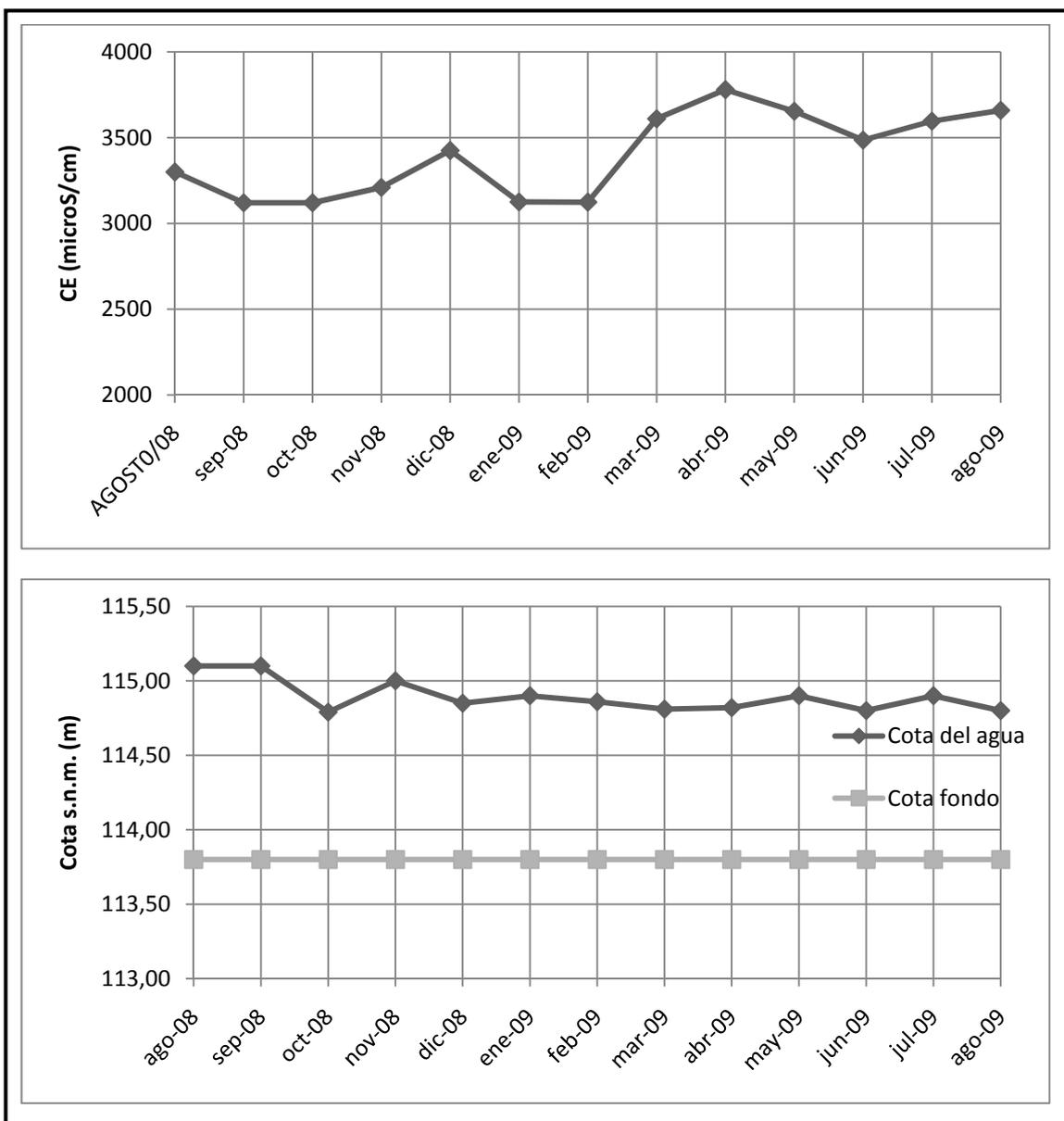


Figura A2.9. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 9.

POZO SAYÁ 10

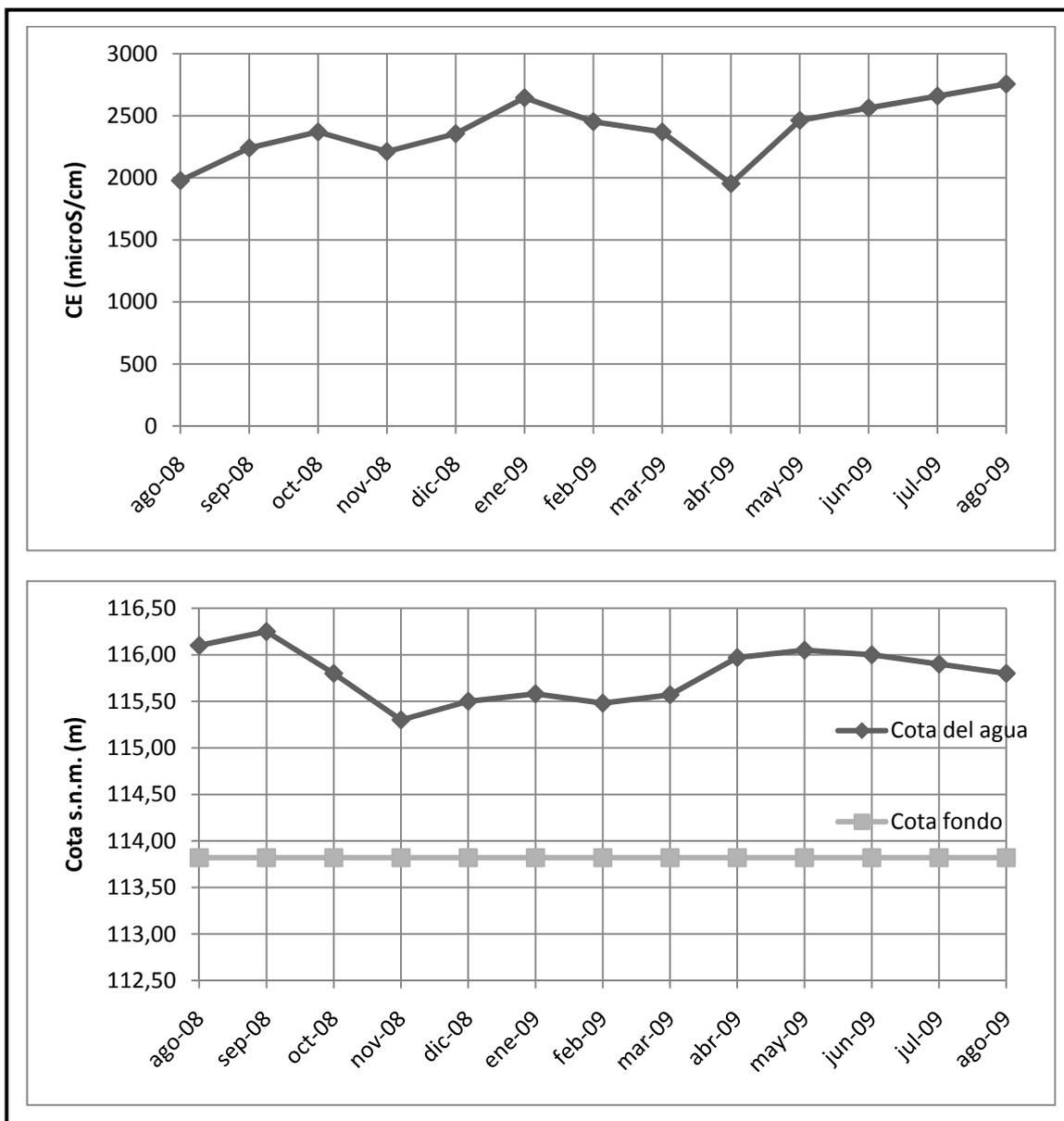


Figura A2.10. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 10.

POZO SAYÁ 11

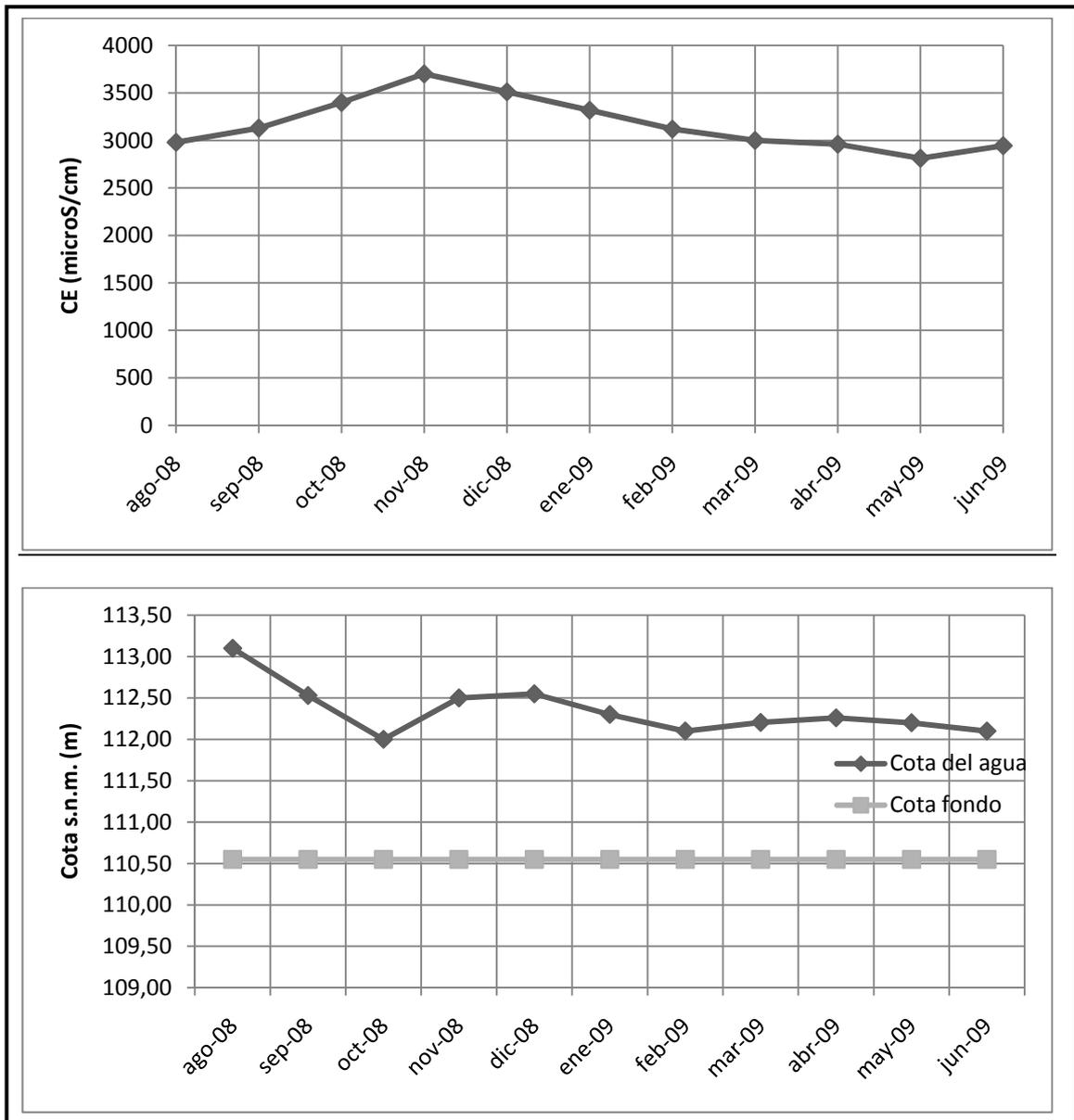


Figura A2.11. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 11.

POZO SAYÁ 12

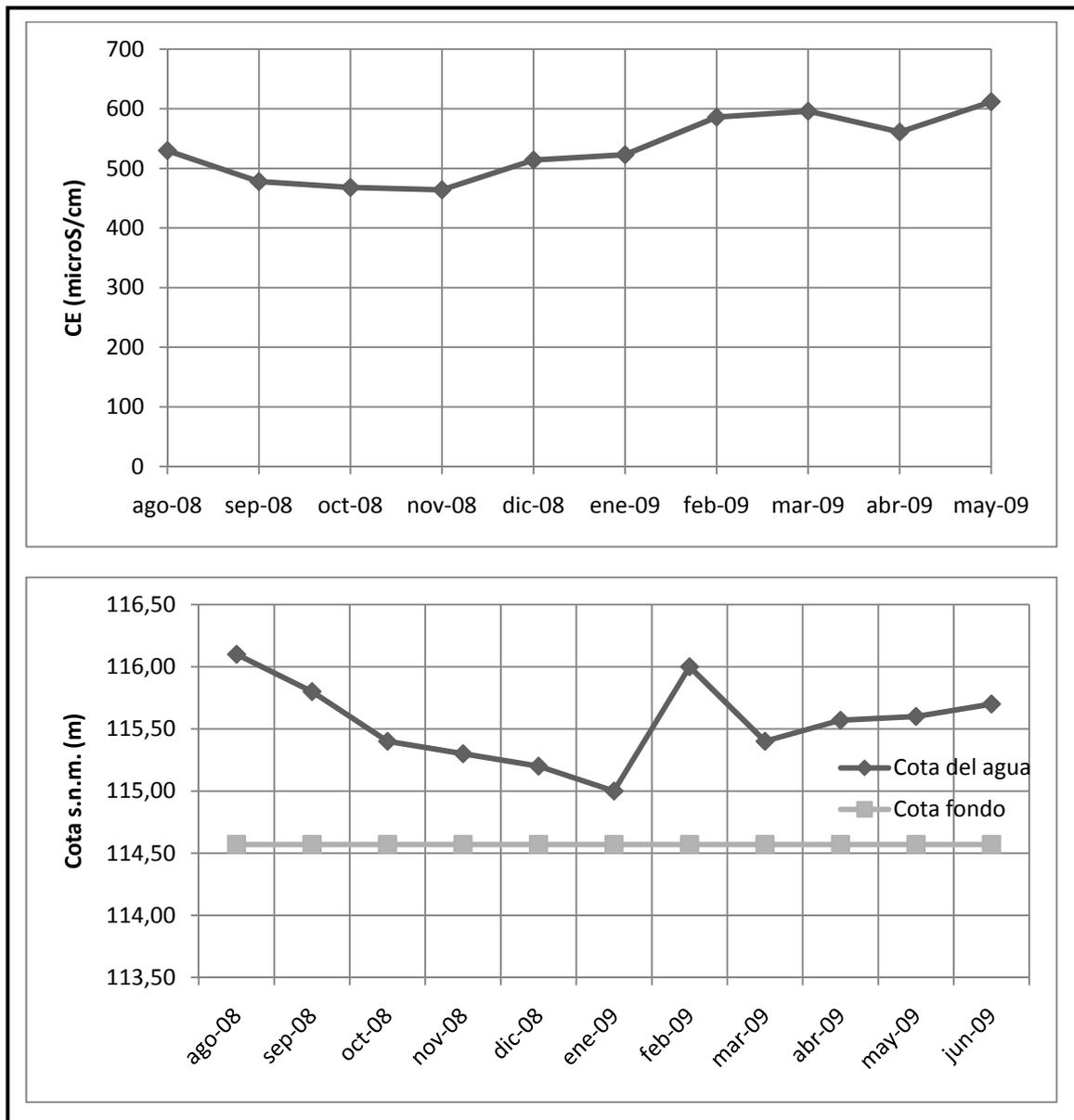


Figura A2.12. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo 12.

POZO SAYÁ 13

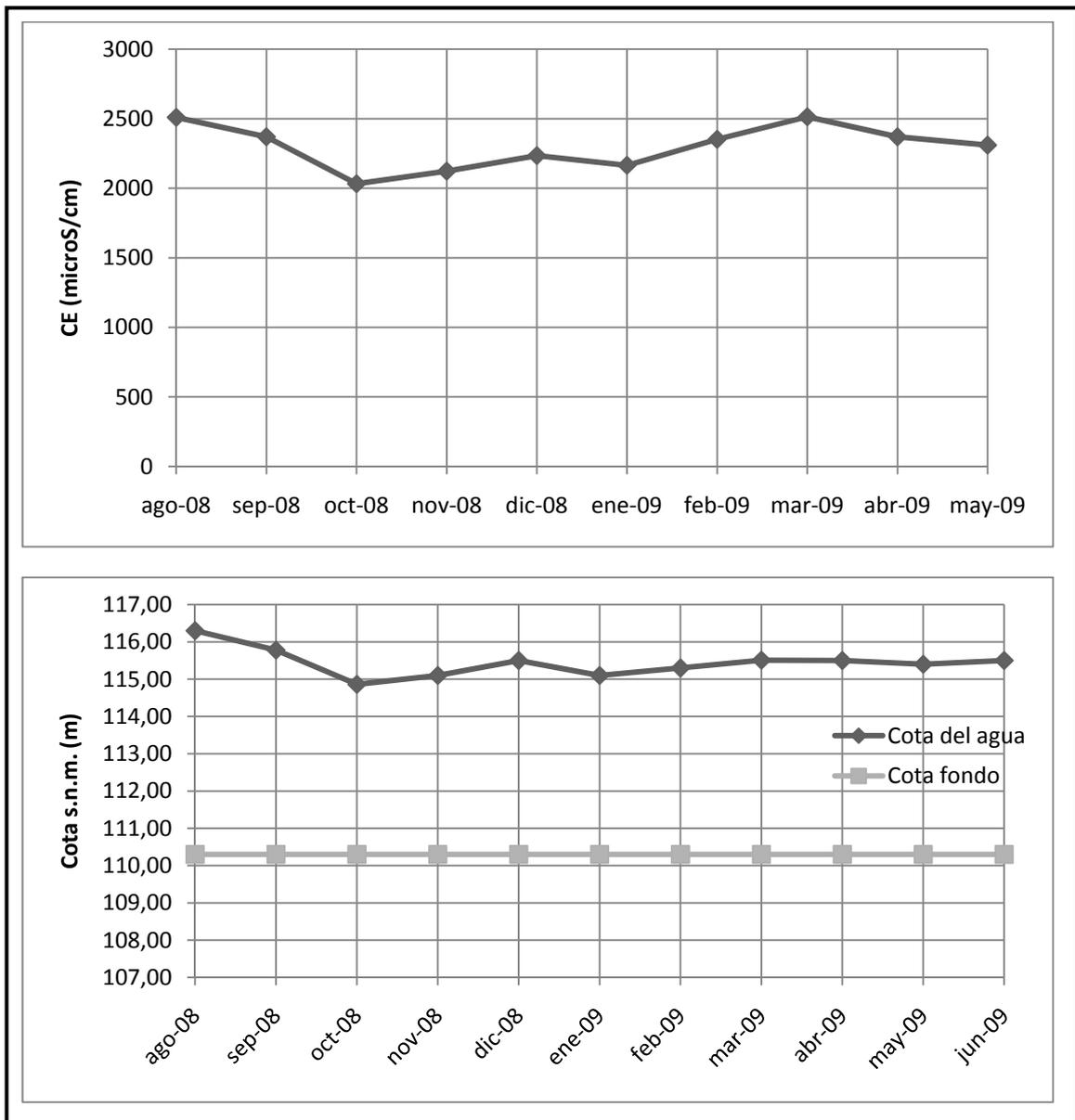


Figura A2.13. Evolución temporal del nivel piezométrico, profundidad, y conductividad eléctrica en el pozo Sayá 13.

Anexo 3. Perfiles de Temperatura y Conductividad Eléctrica

Tabla A3.1 Datos de Conductividad Eléctrica y Temperatura.

Cod - pozo	Z	Prof(m)	Prof (msnm)	ago-08		sep-08		oct-08	
				Conduct (us/cm)	T (°C)	Conduct (us/cm)	T (°C)	Conduct (us/cm)	T (°C)
Pozo Saya 1	117,0	10,00	107,00	2670	26,7	2630	27,6	2600	27,2
		11,00	106,00	2680	26,7	2840	27,6	2600	27,3
		11,70	105,30	2680	26,8	2840	27,6	2600	27,2
Pozo Saya 2	120,0	8,50	111,50	2270	24,8	2340	24,9	2490	25,1
		9,00	111,00	2270	24,9	2670	25,0	2500	25,1
		9,70	110,30	2440	24,9				
Pozo Saya 3	121,0						3900	25,0	
Pozo Saya 4	119,0	7,70	111,30	874	26,1	832	26,8	951	26,8
		8,00	111,00	868	26,3	842	26,8		
		8,40	110,60	868	26,3	942	26,8		
Pozo Saya 5	121,0	8,30	112,70	3560	24,4	3120	24,8	3690	25,6
		9,00	112,00	3560	24,4	3180	24,8	4970	25,8
		10,00	111,00	3540	24,5	4060	25,3		
		10,30	110,70	3510	24,5				
Pozo Saya 6	121,0	8,00	113,00	492	26,5	507	26,7	958	27,3
		9,00	112,00	492	26,6	512	26,6	788	27,3
		10,00	111,00	494	26,5	515	26,7	1180	27,3
		10,80	110,20	495	26,6	515	26,6		

Cod - pozo	Z	Prof(m)	Prof (msnm)	ago-08		sep-08		oct-08	
				Conduct (us/cm)	T (°C)	Conduct (us/cm)	T (°C)	Conduct (us/cm)	T (°C)
Pozo Saya 7	123,0	8,00	115,00	562	25,2	966	25,9	1461	25,7
		9,00	114,00	563	25,1	966	25,9	1462	25,8
		10,00	113,00	563	25,1	966	26,0	1462	25,8
		11,00	112,00	563	25,1	992	25,9		
		11,50	111,50	565	25,1				
Pozo Saya 8	123,0	9,00	114,00	1880	24,5	2030	24,5	2160	24,5
		10,00	113,00	1887	24,5	2060	24,6	2150	24,5
		10,40	112,60	2100	24,2				
Pozo Saya 9	123,0	7,90	115,10	3300	24,9	3180	24,8	3120	24,7
		9,00	114,00	3300	24,9	3120	24,9		
		9,20	113,80	3000	25,0				
Pozo Saya 10	124,0	7,90	116,10	1969	24,9	2240	25,0	2360	24,6
		8,00	116,00	1968	24,9	2240	25,1	2370	24,6
		9,00	115,00	1978	24,8	2240	25,1	2370	24,2
		10,00	114,00	1978	24,8				
Pozo Saya 11	121,0	8,30	112,70	2970	24,8	3130	24,9	3400	26,9
		9,00	112,00	2980	24,8	3130	25,1	3300	26,8
		10,00	111,00	2980	24,8	3530	25,2		
		10,45	110,55	2720	24,8				
Pozo Saya 12	124,0	7,90	116,10	511	24,1	478	24,3	468	24,7
		9,00	115,00	530	24,1				
		9,43	114,57	515	24,1				
Pozo Saya 13	124,0	7,70	116,30	2510	25,7	2360	26,3	2032	26,8
		9,00	115,00	2510	25,7	2370	26,2	2033	26,8
		10,00	114,00	2510	25,7	2370	26,3		
		10,70	113,30	2180	25,7	2370	26,3		

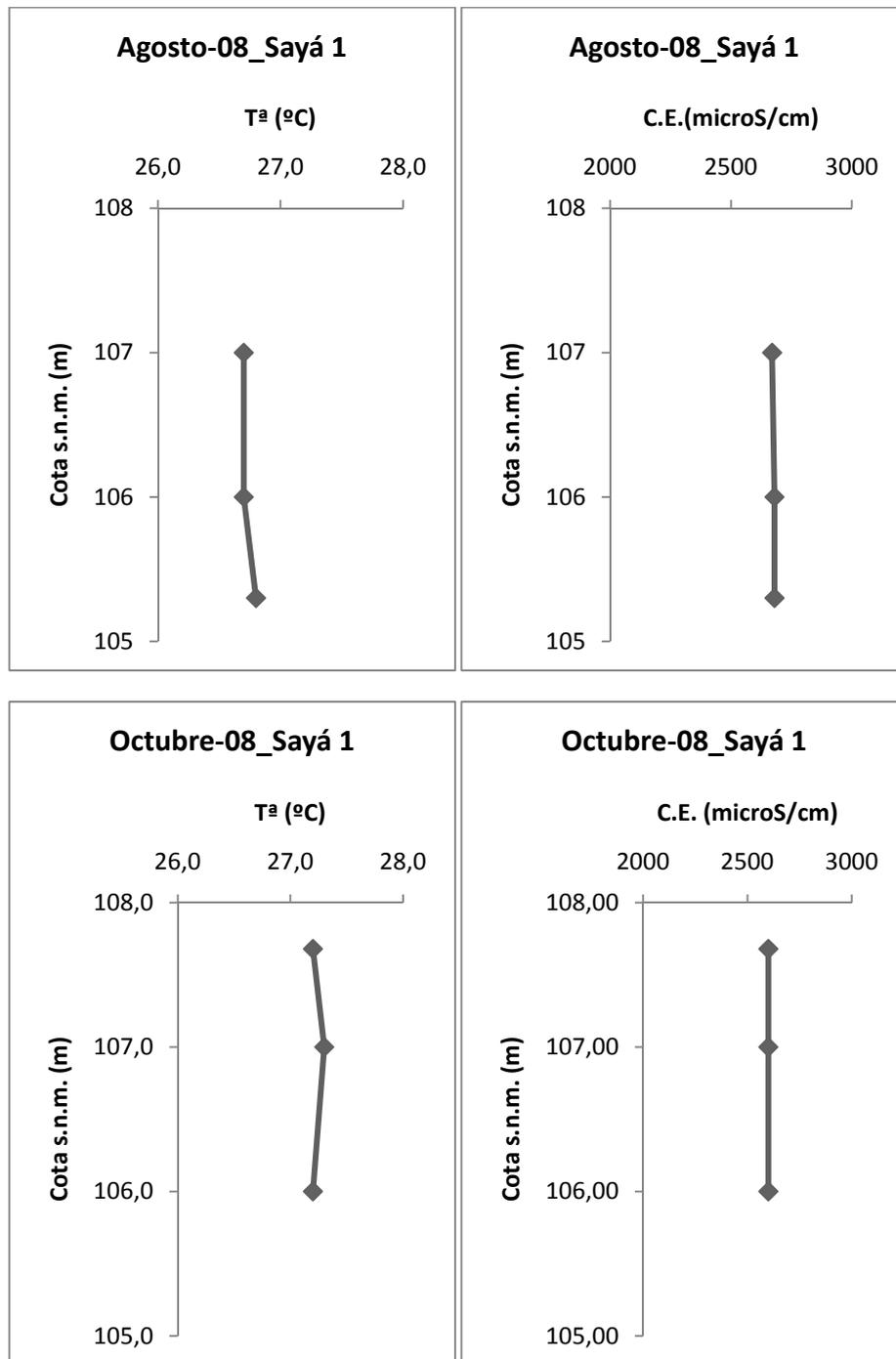


Figura A3. 1. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozo Sayá 1.

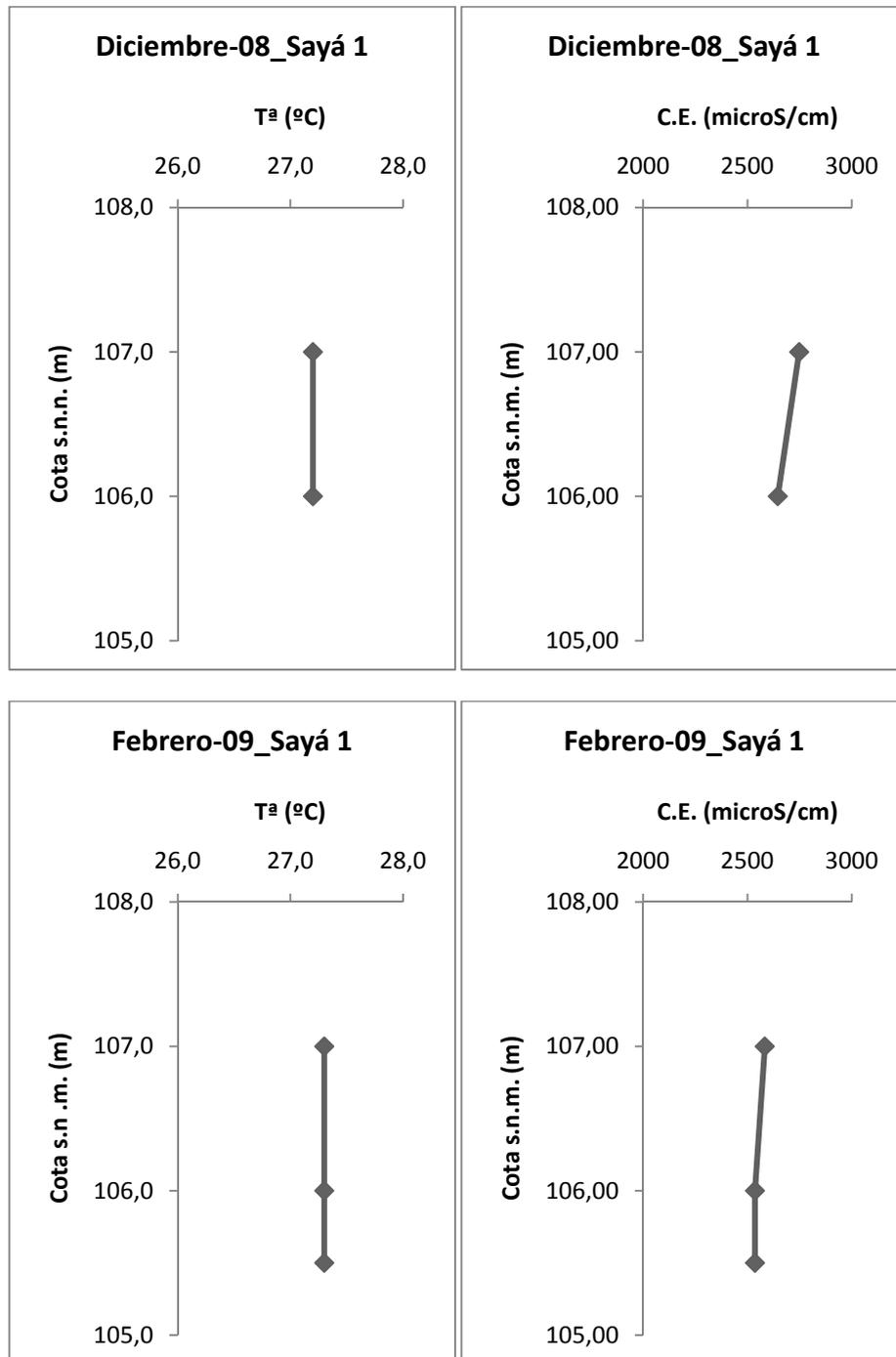


Figura A3.2. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozo Sayá 1.

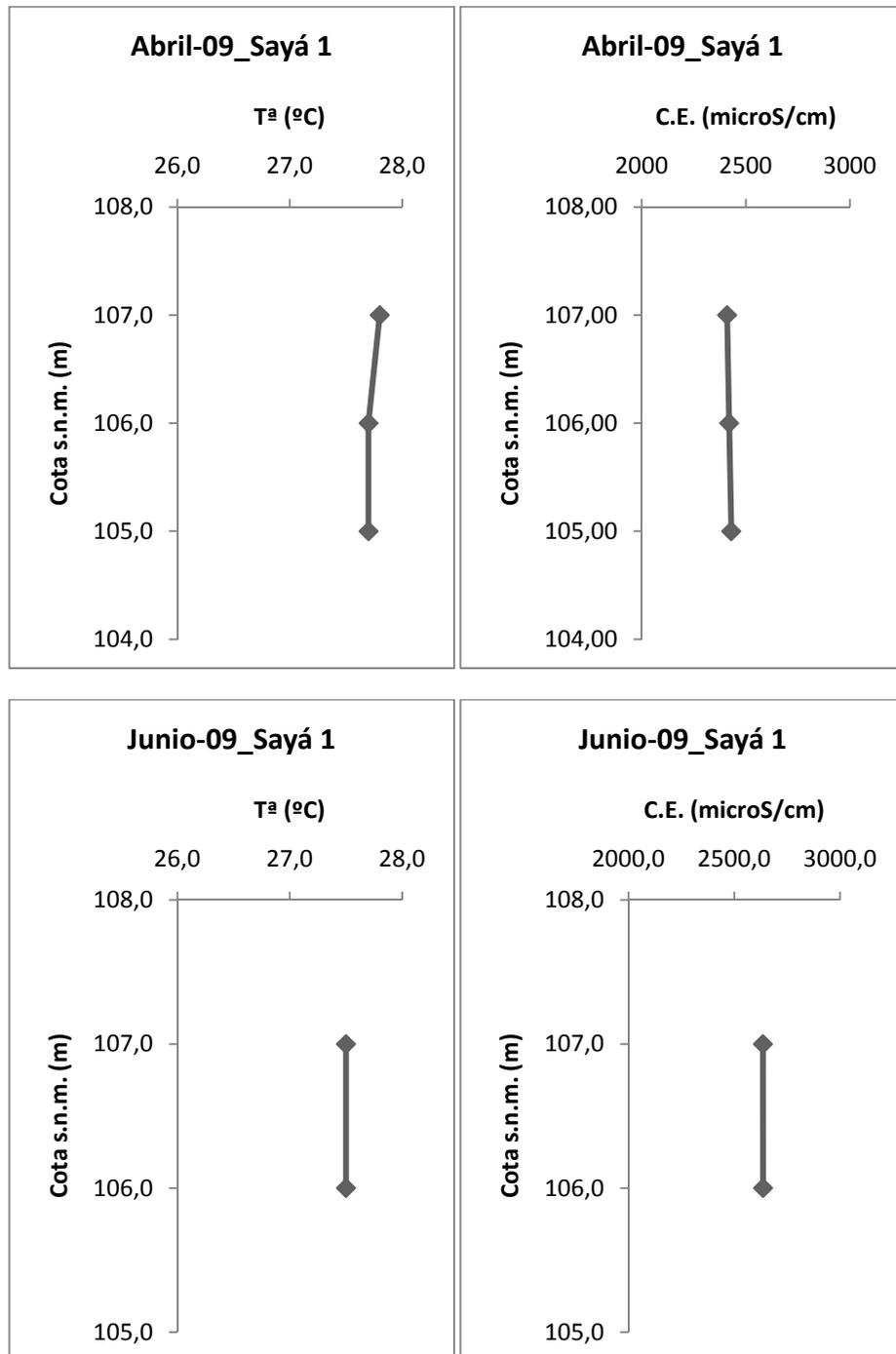


Figura A3.3. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 1.

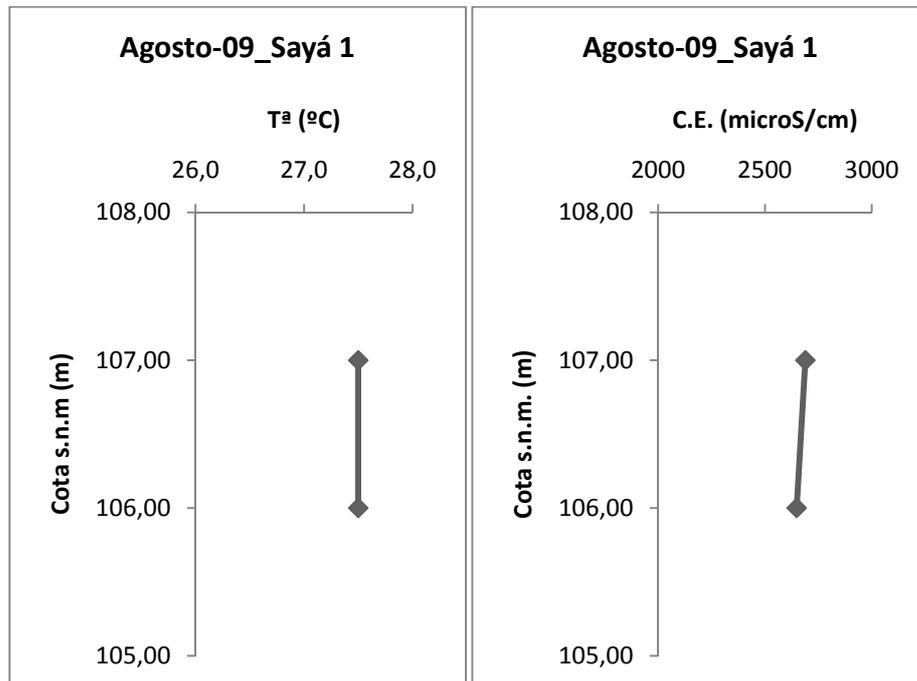


Figura A3.4. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 1.

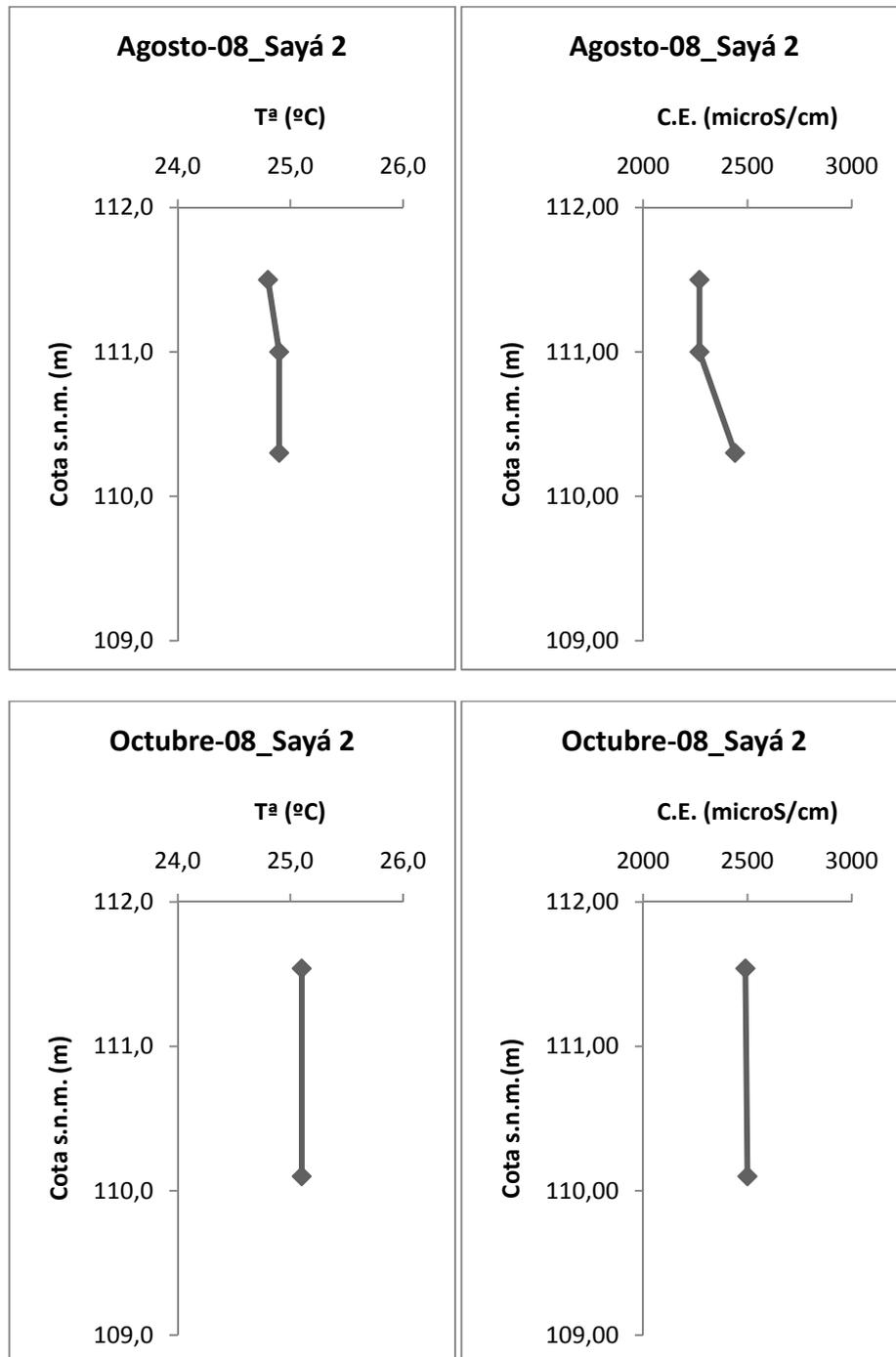


Figura A3.5. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozo Sayá 2.

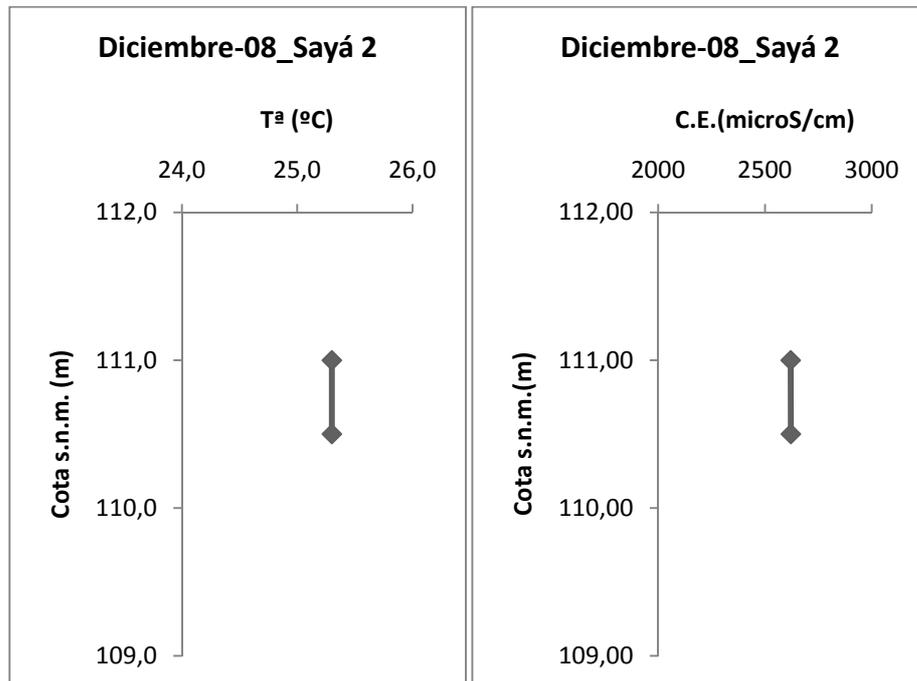


Figura A3.6. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozo Sayá 2.

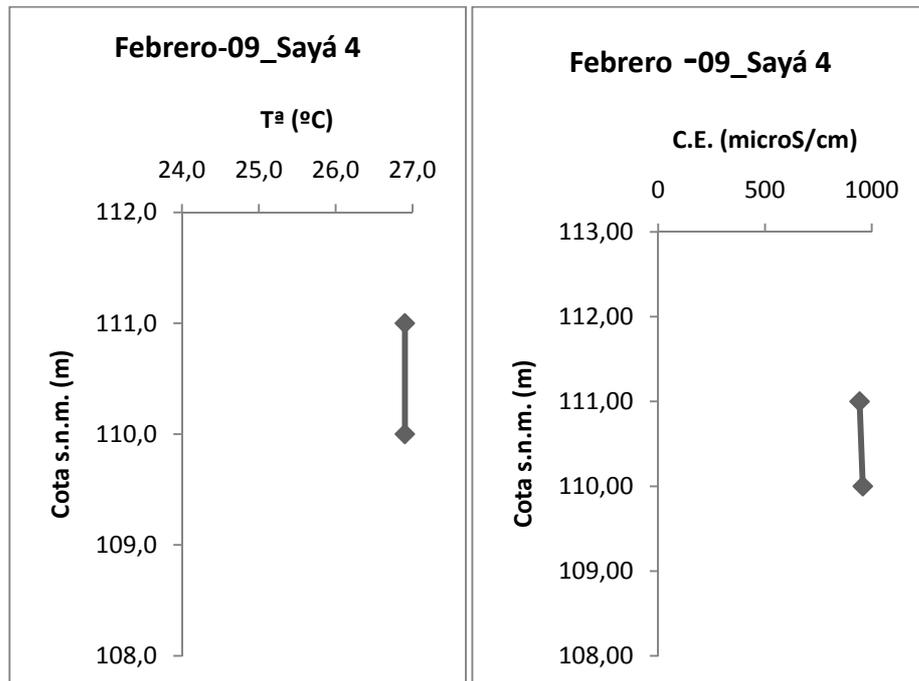


Figura A3.7. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 4.

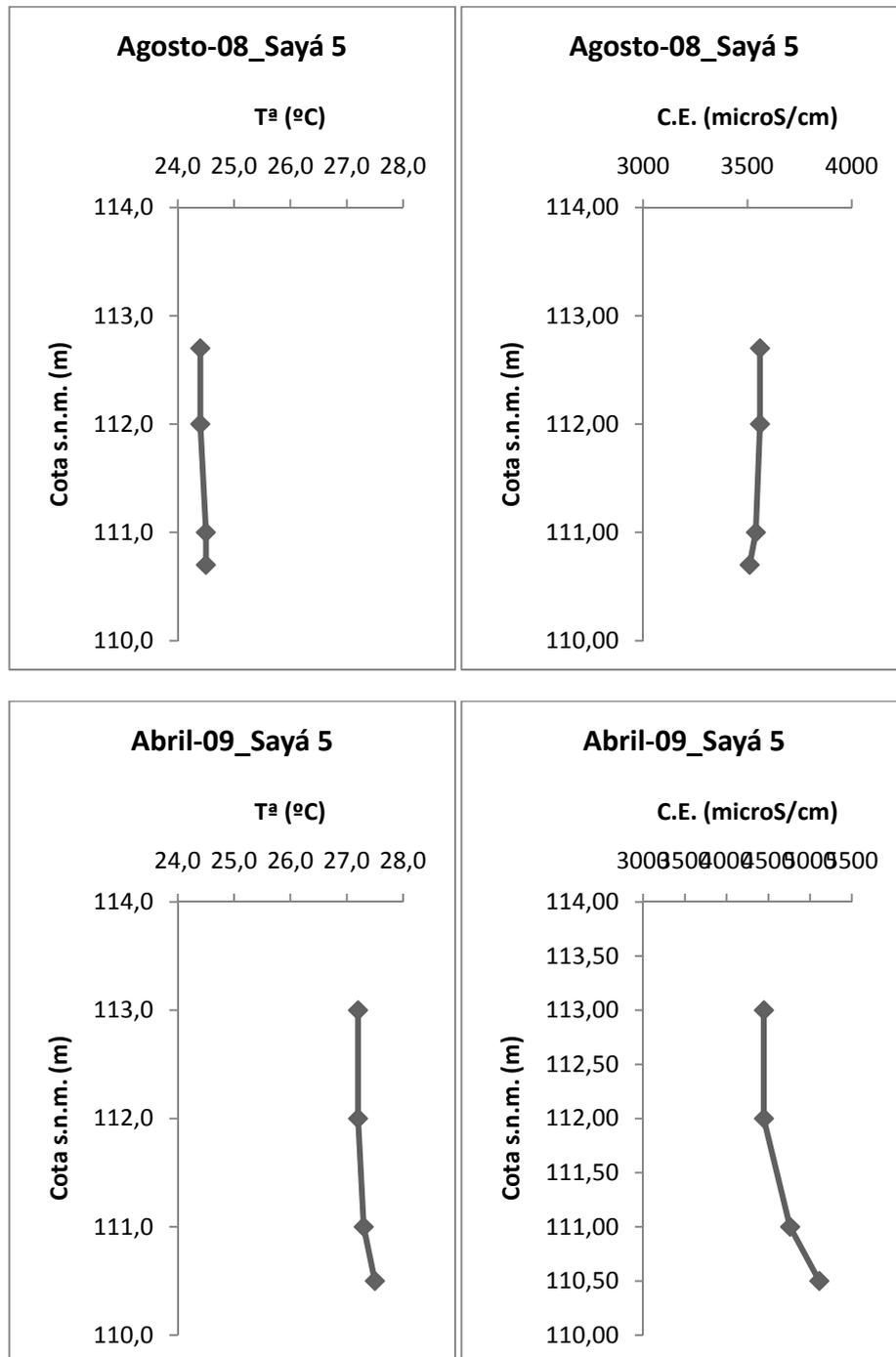


Figura A3.8. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 5.

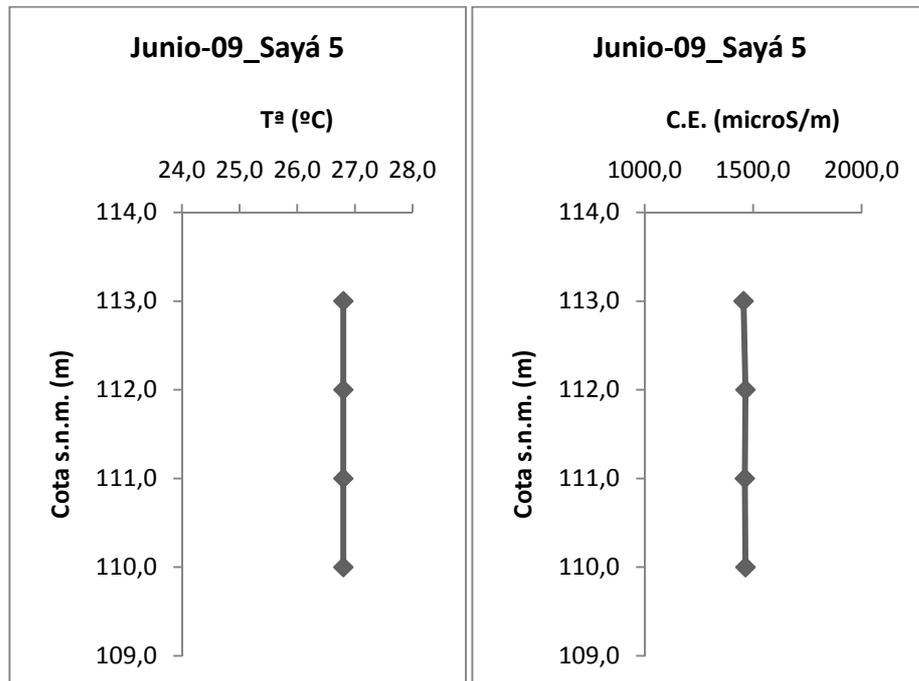


Figura A3.9. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 5.

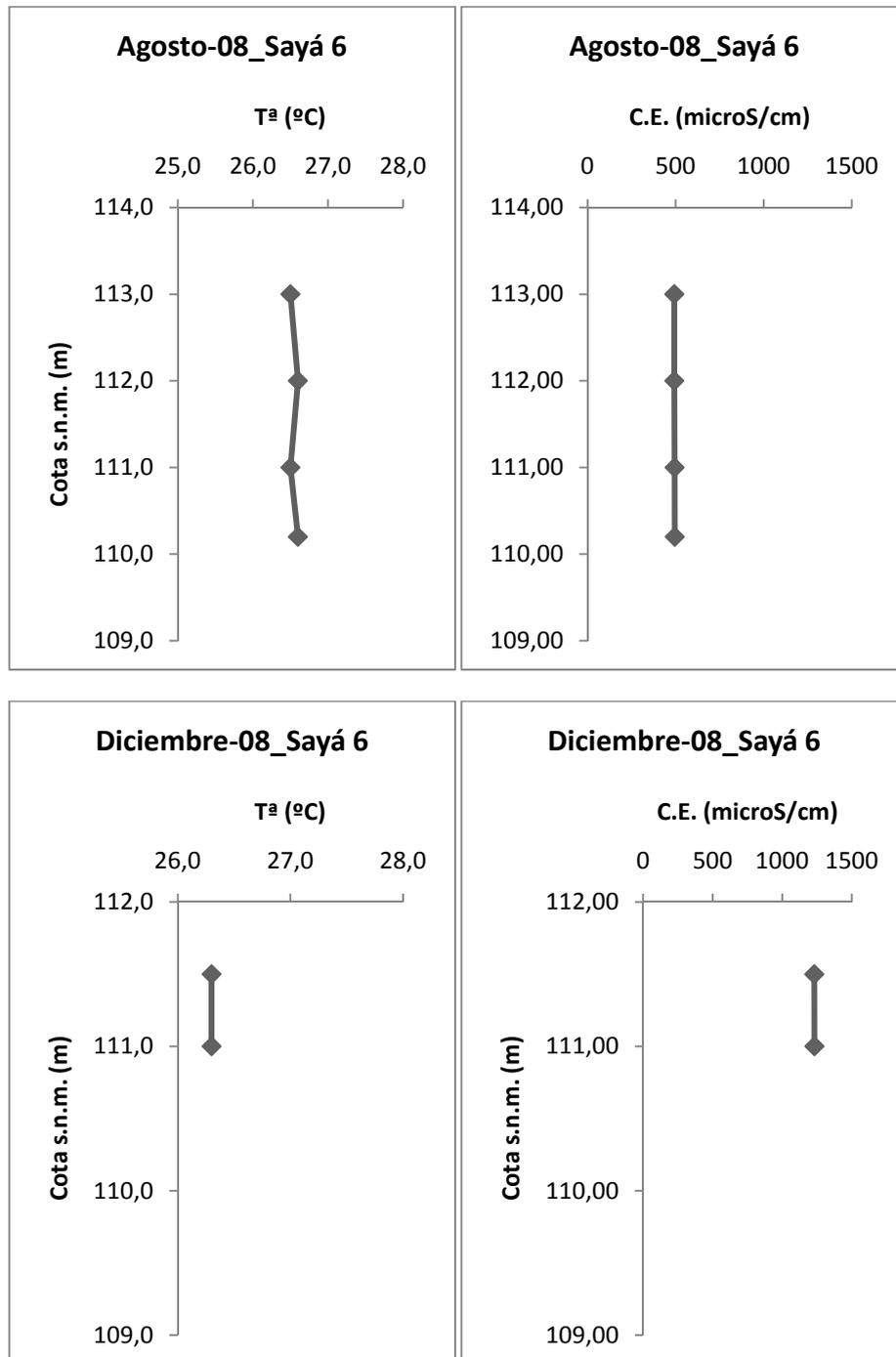


Figura A3.10. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 6.

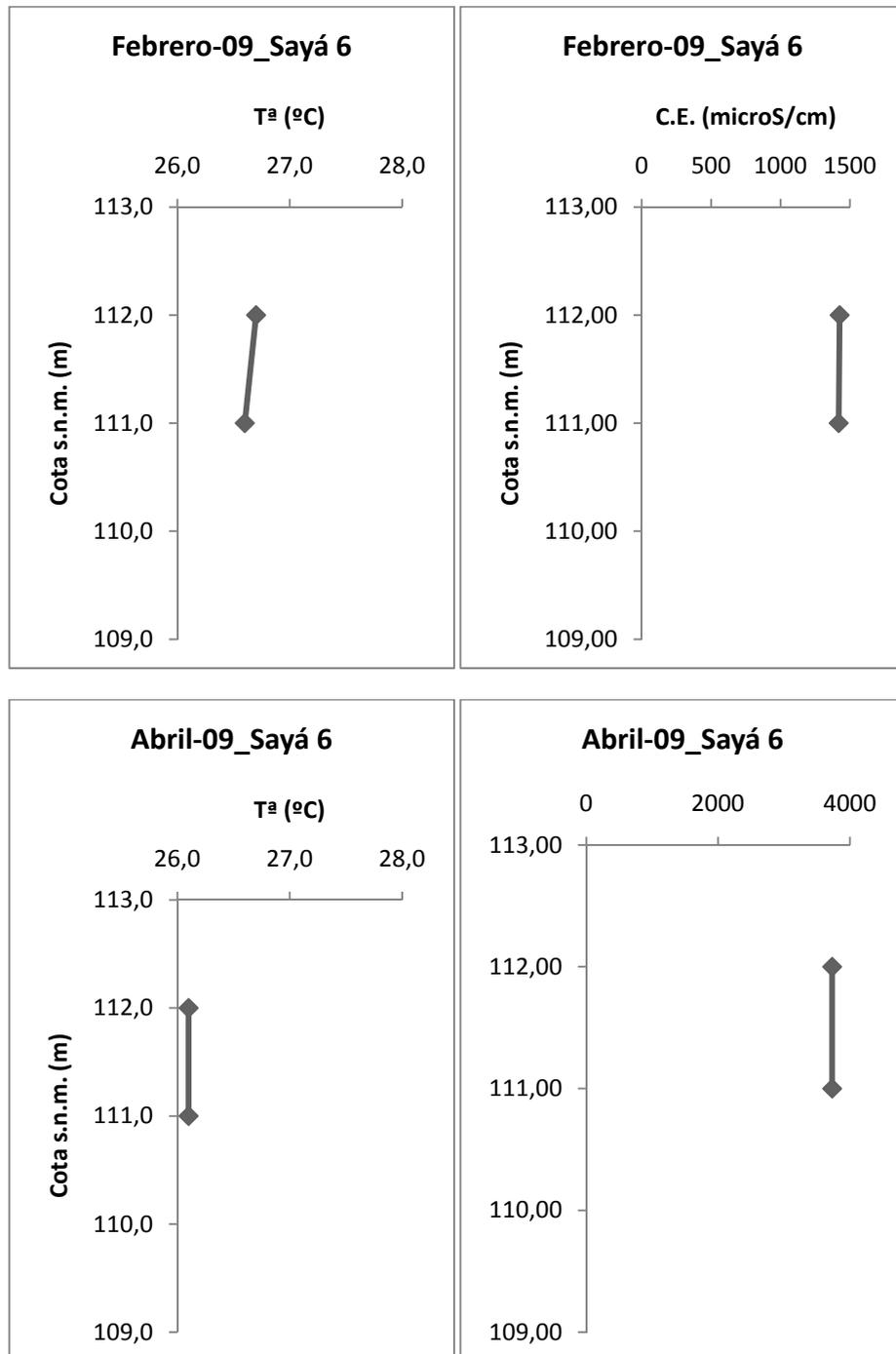


Figura A3.11. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 6.

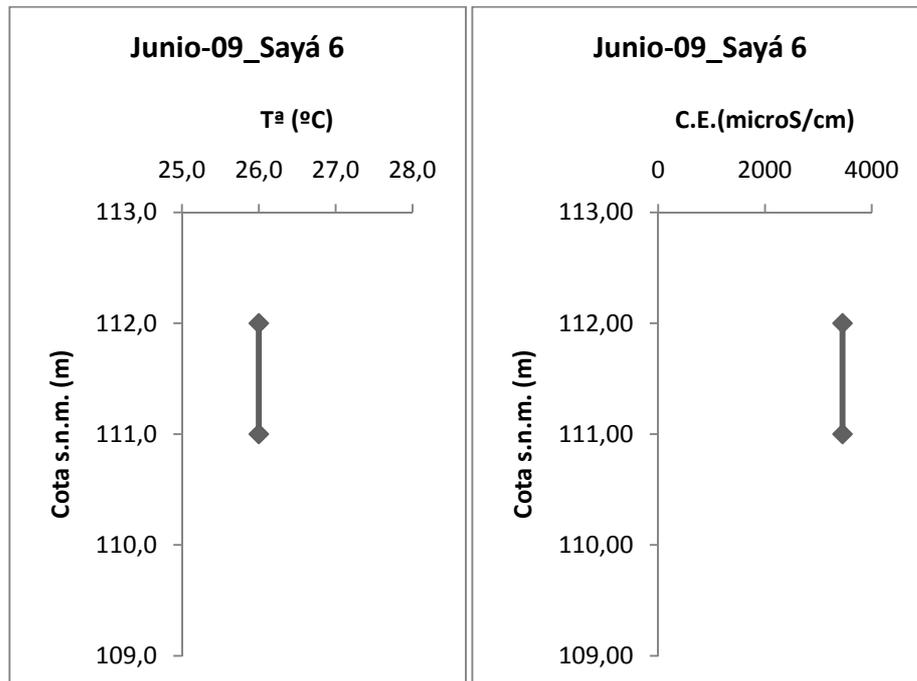


Figura A3.12. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 6.

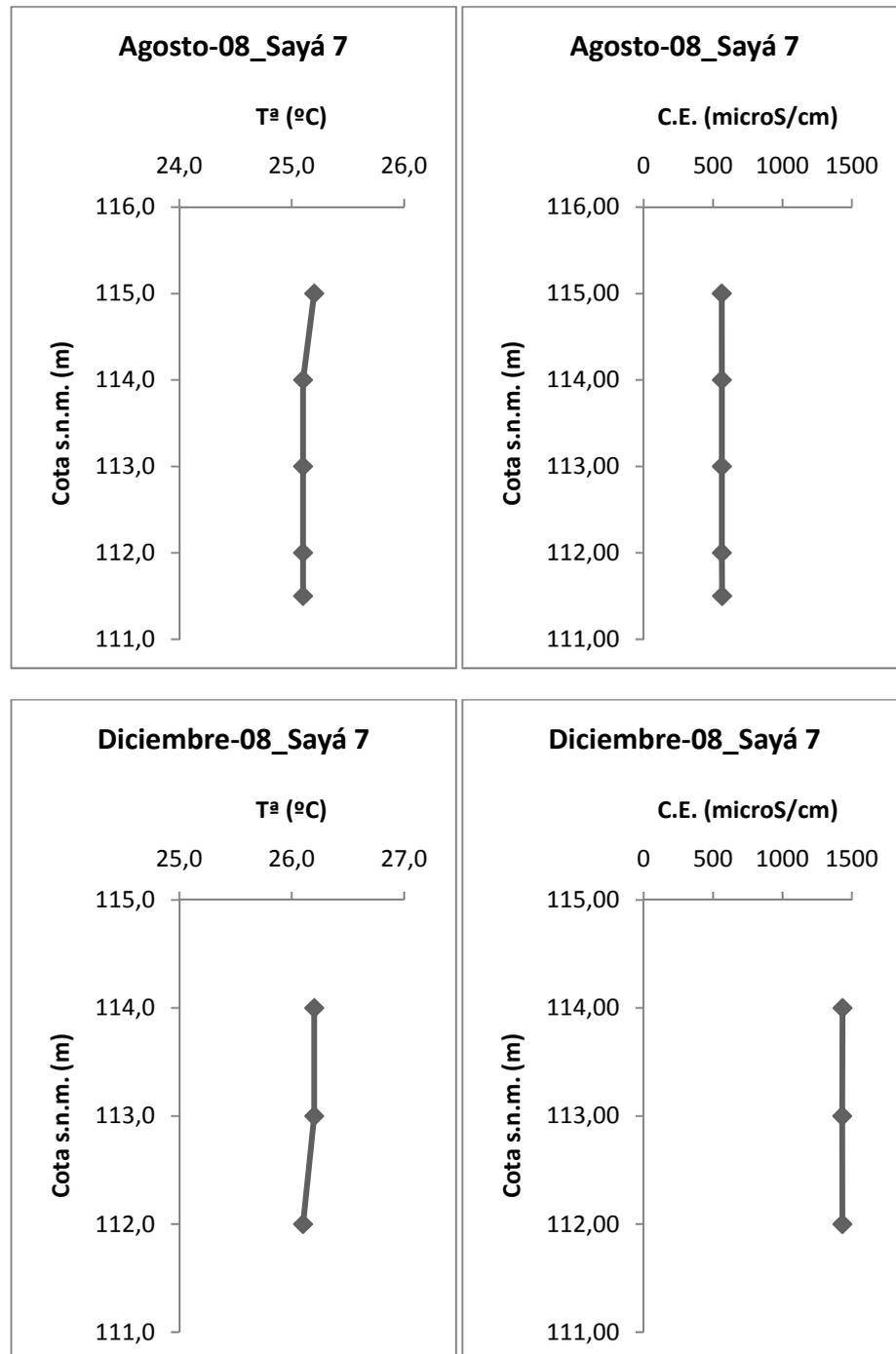


Figura A3.13. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 7.

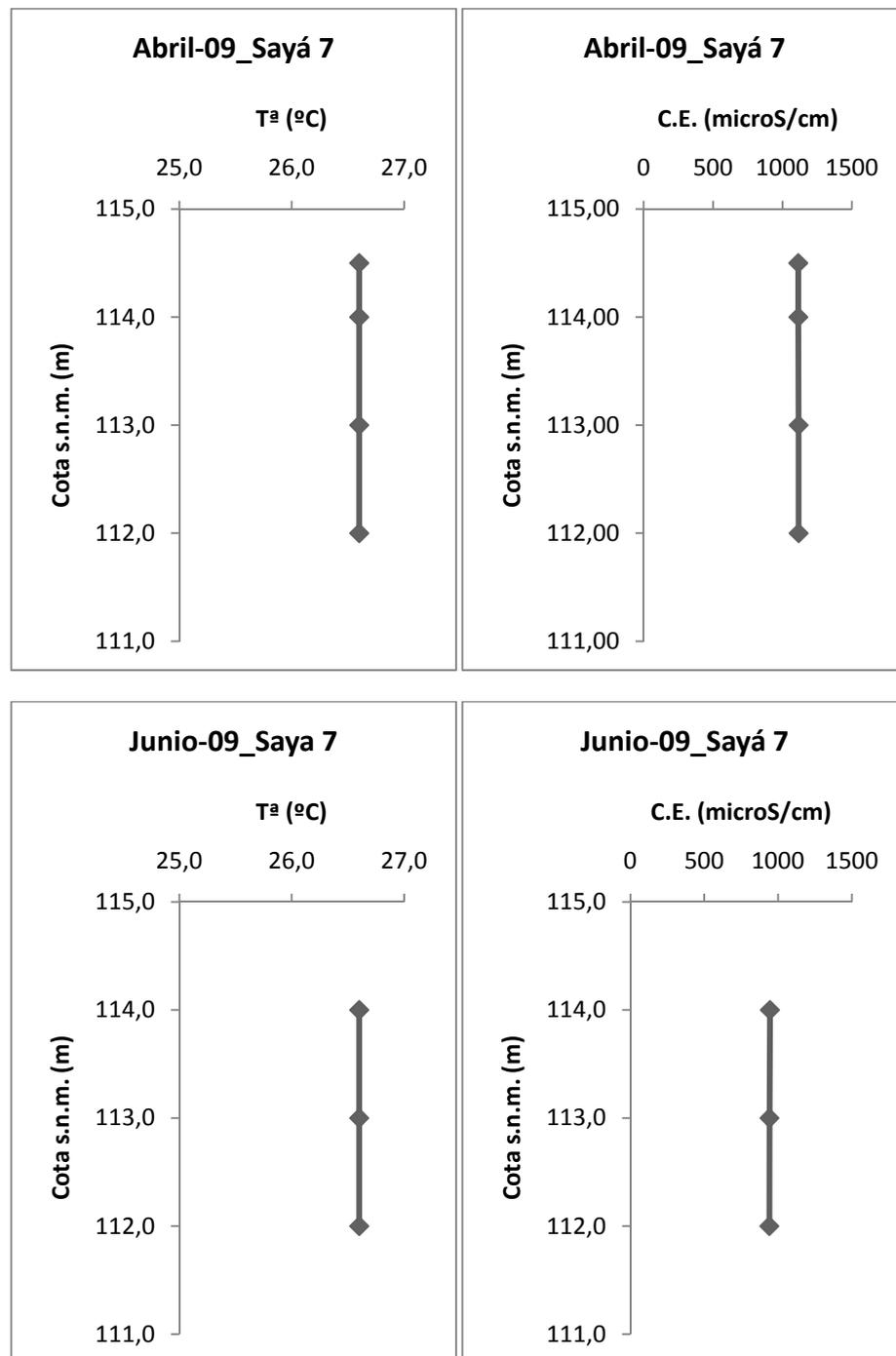


Figura A3.14. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 7.

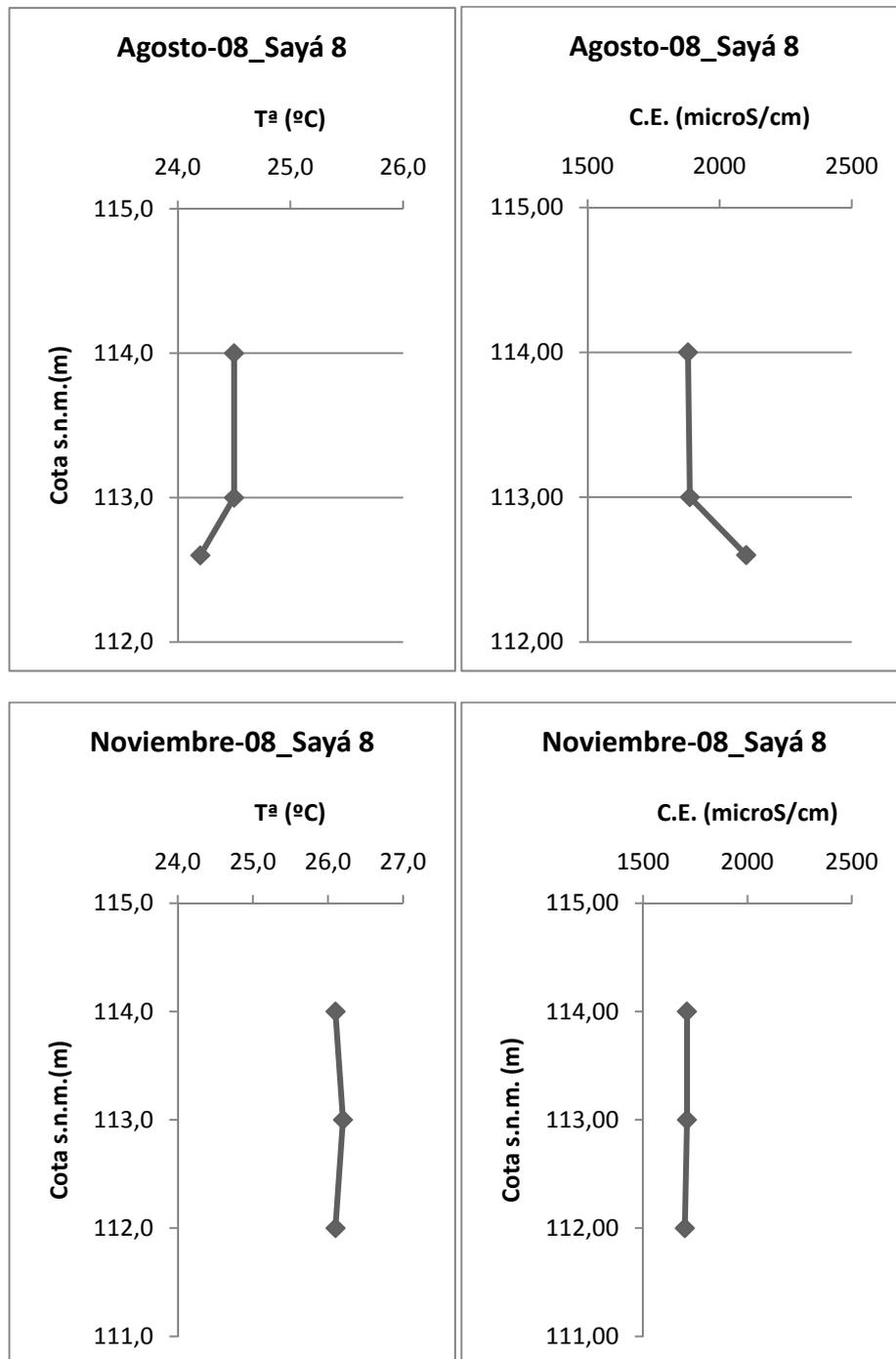


Figura A3.15. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 8.

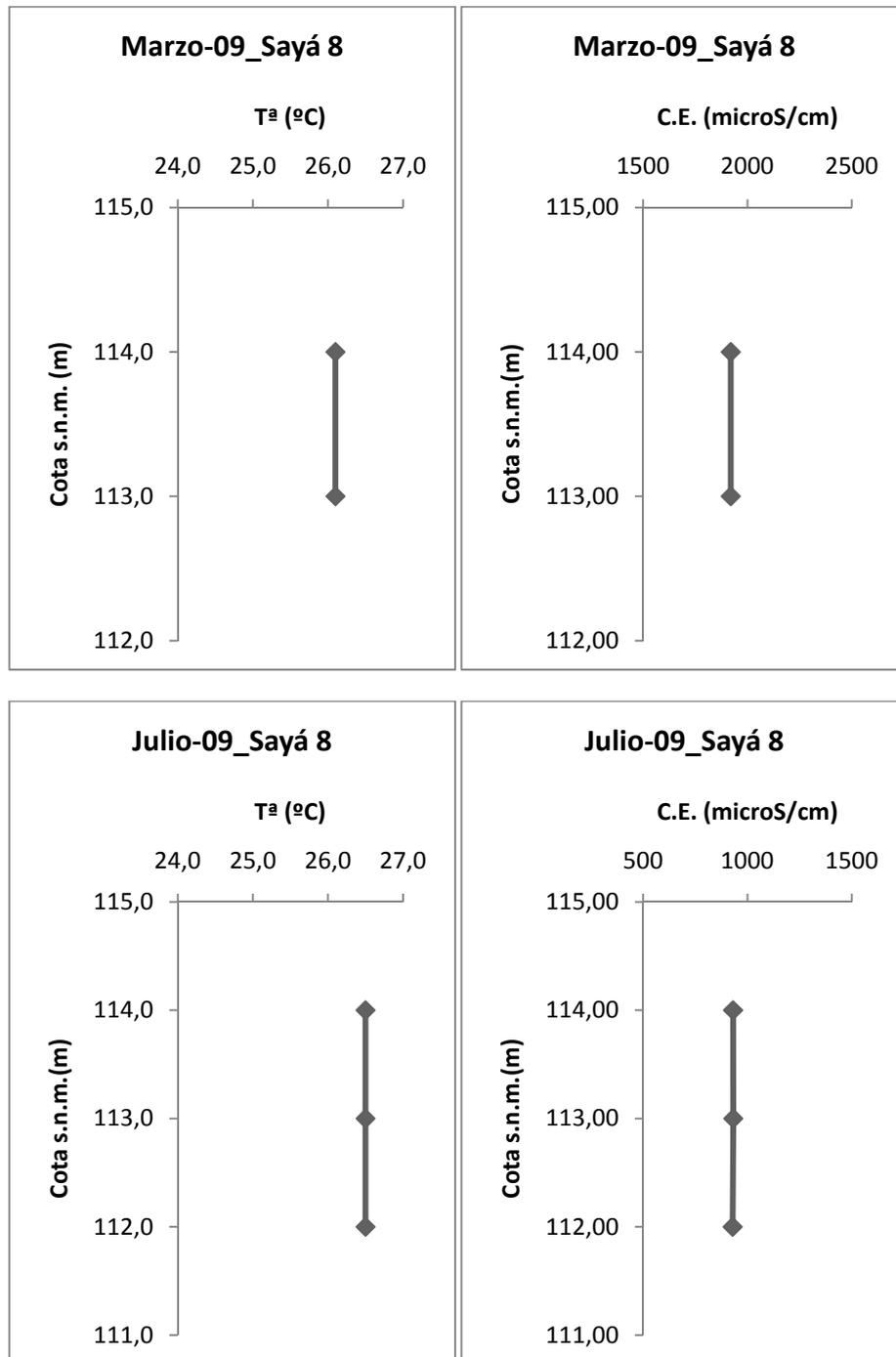


Figura A3.16. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 8.

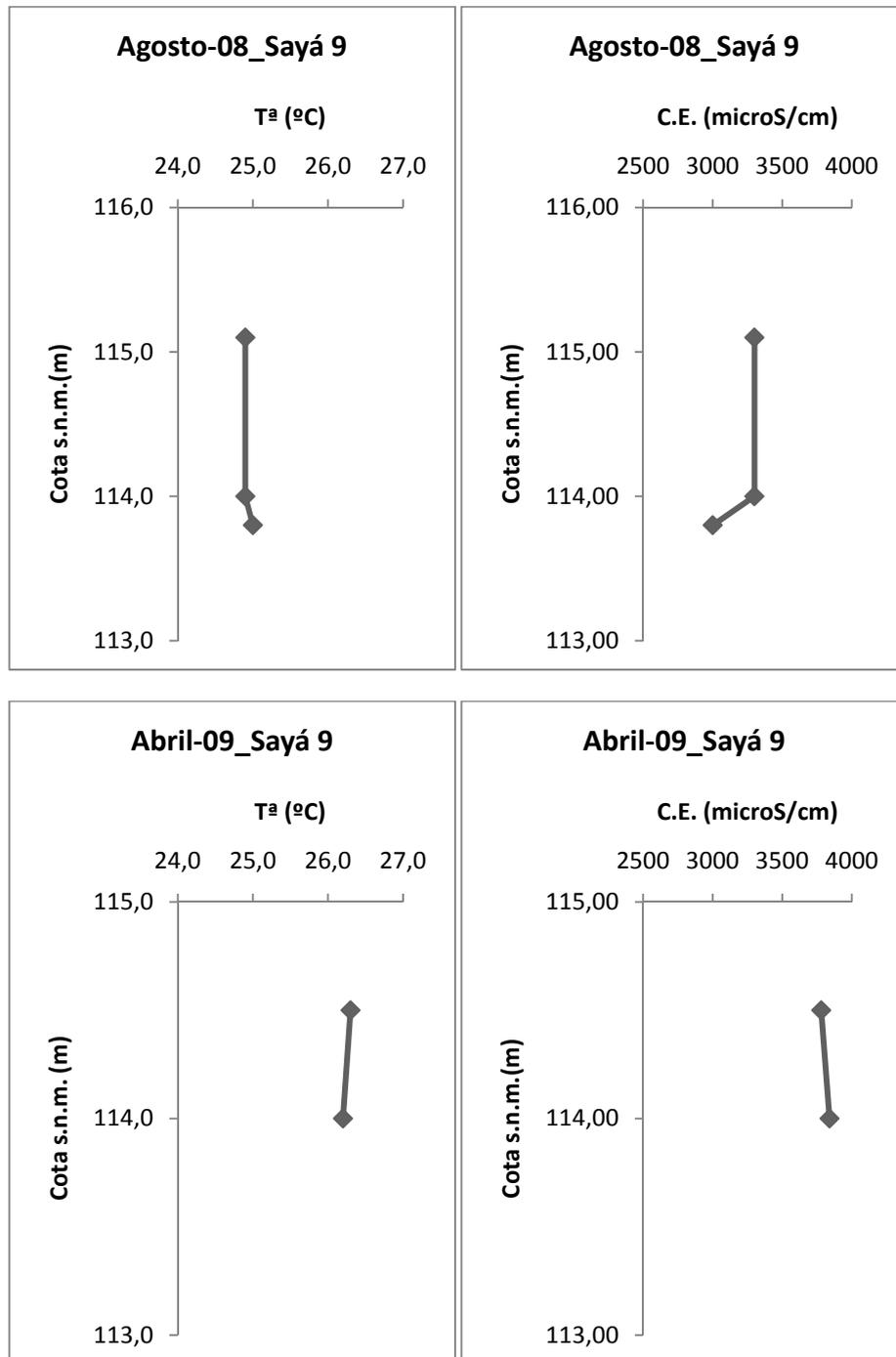


Figura A3.17. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 9.

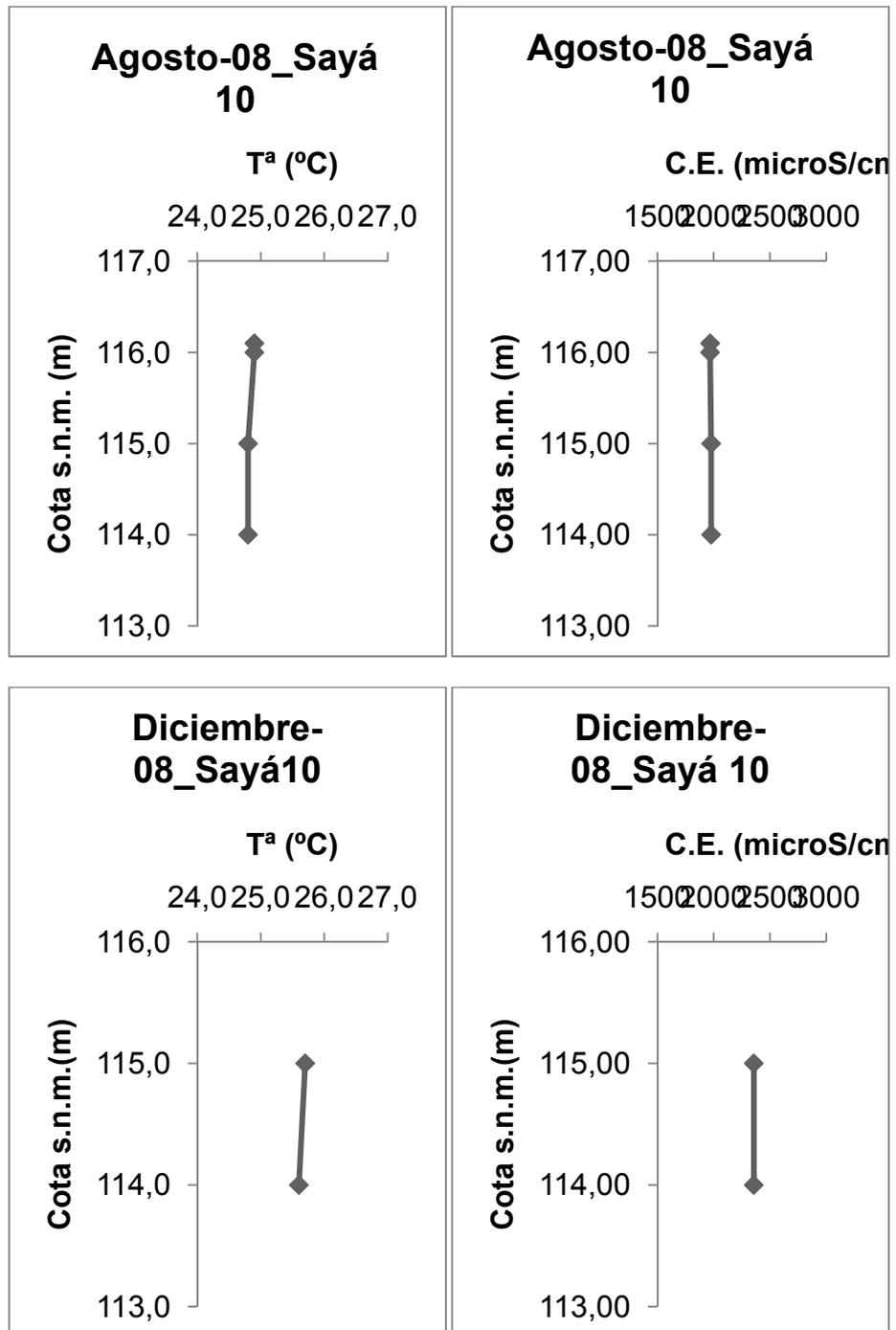


Figura A3.18. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 10.

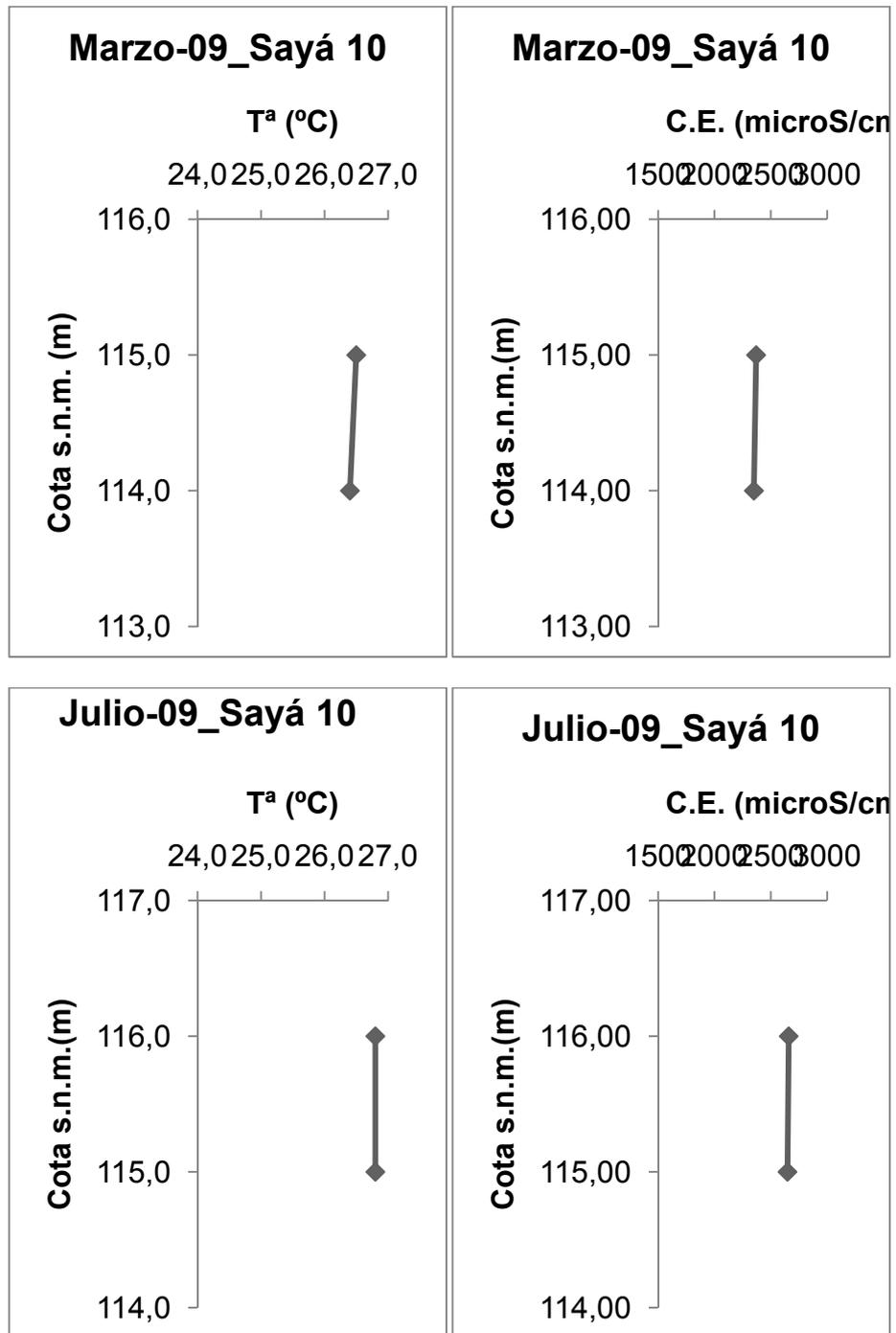


Figura A3.19. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 10.

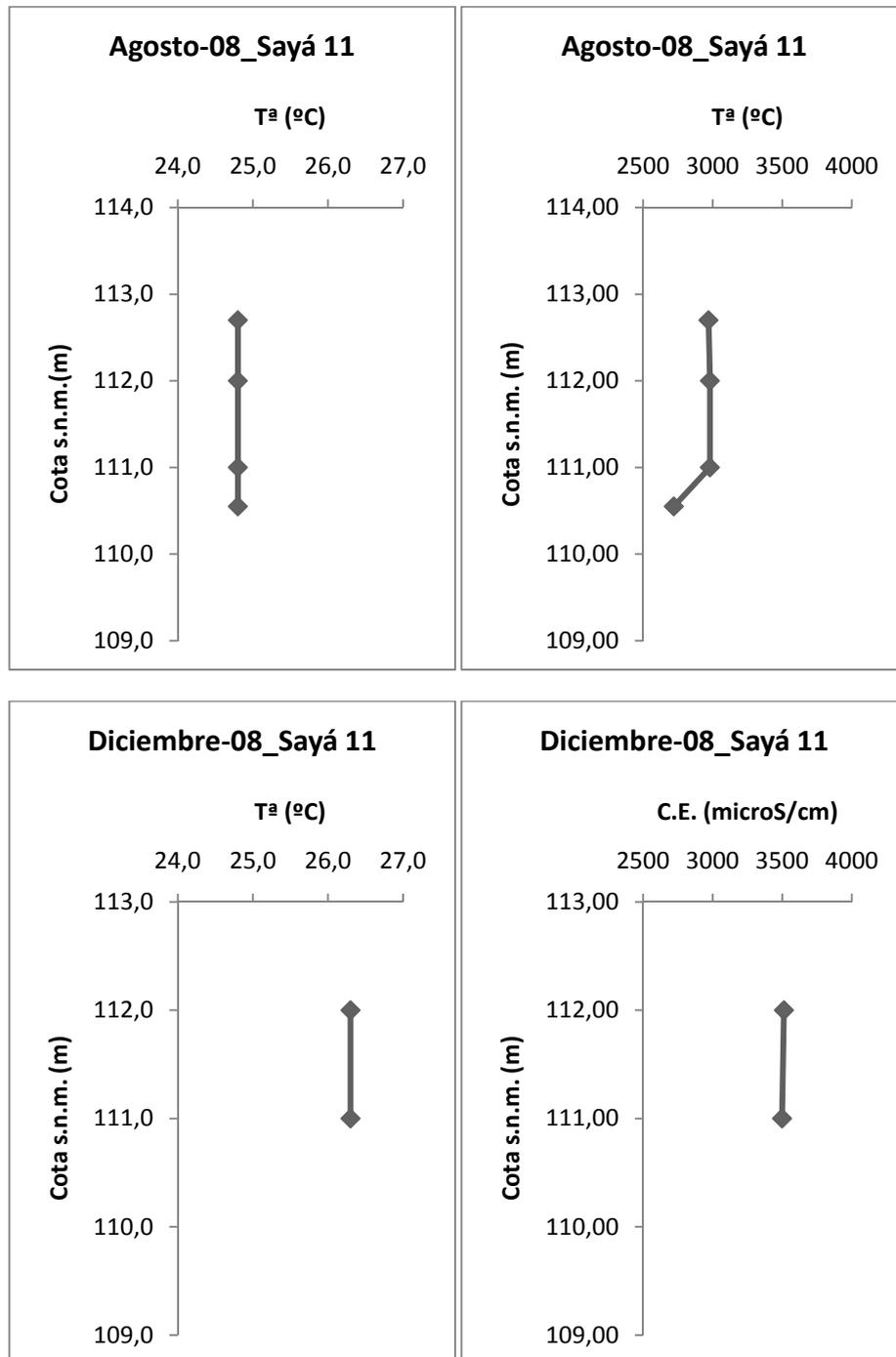


Figura A3.20. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 11.

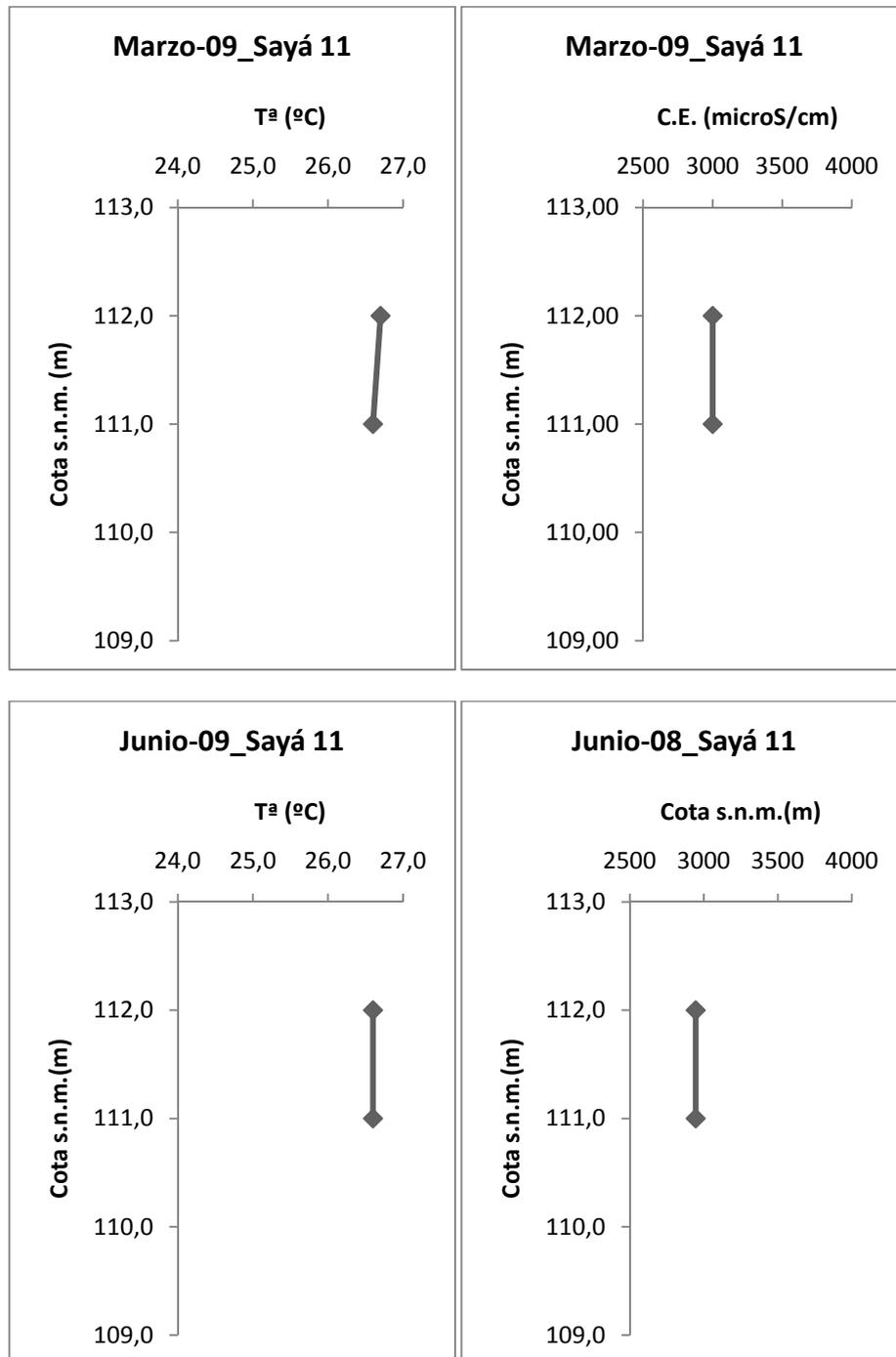


Figura A3.21. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 11.

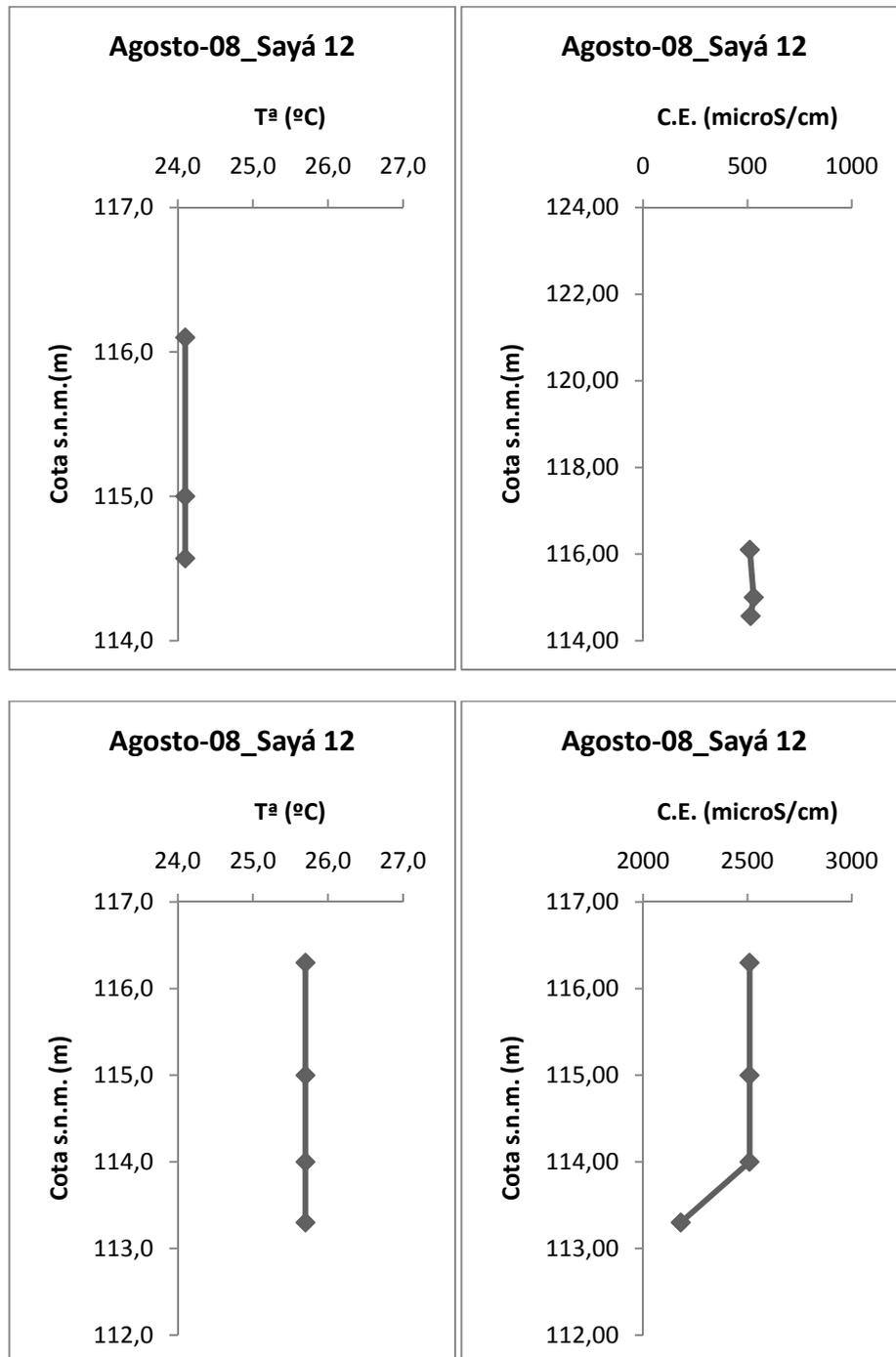


Figura A3.22. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 12.

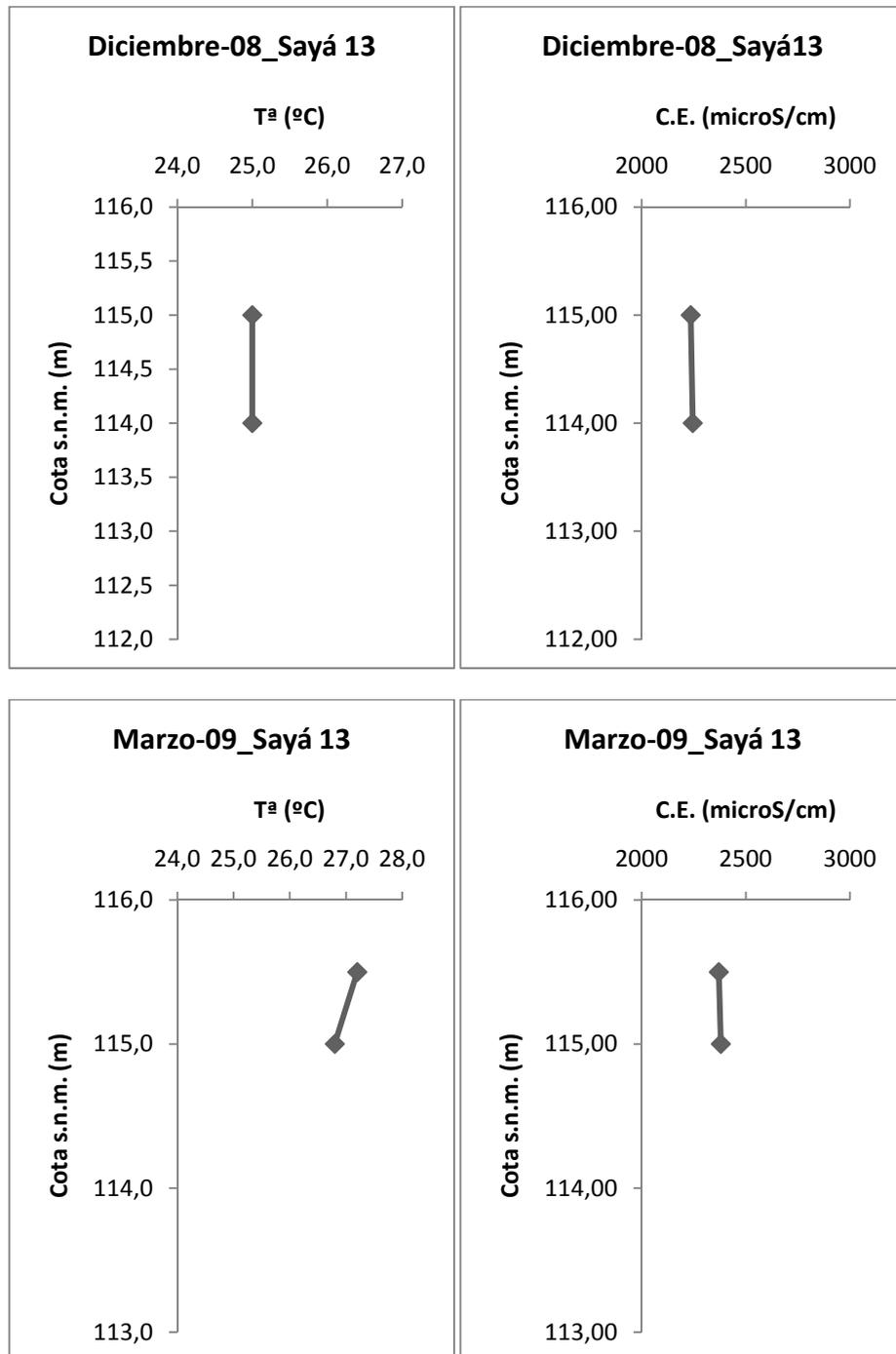


Figura A3.23. Perfiles de temperatura y conductividad eléctrica en el interior de los sondeos pozó Sayá 13.

Anexo 4. Sondeos Eléctricos Verticales.

Se realizaron cuatro SEV en los alrededores de la albarrada, de los cuales dos fueron con un AB/2 de 215 m, mientras que los dos restantes con un AB/2 de 147m, estos últimos solo alcanzaron dicha distancia por limitaciones topográficas.

Según el estudio geoelectrico la capa acuífera formada el nivel QT2 de la Fm. Tablazo se encuentra a una profundidad de 2 m hasta los 13 m, con un espesor promedio de 11 m, con valores de resistividad de 5.1 a 27 Ω m. A continuación comentaremos algunas observaciones importantes referentes a la interpretación de los SEV, Anexo A4. :

- El SEV Sayá-01 Figura A4.1. se realizó cerca del piezómetro Sayá y mediante correlación del levantamiento de la columna estratigráfica se estima que la capa acuífera se encuentra entre 2 a 13 m de profundidad, con un espesor aproximado de 11 m, sin embargo la capa acuífera presenta un bajo valor de resistividad de 5 Ω .m, esto se debe a que el agua en esta zona es salobre (ver datos de conductividad eléctrica en el apartado 4.6) y que QT2 se considera que tiene una facie salobre.

- El SEV Sayá-03 Figura A4.3. presenta las condiciones más favorables para el almacenamiento de agua subterránea, encontrando que el acuífero se encuentra entre 1.7 a 37.9 m de profundidad con un espesor medio de 36.2, el mayor espesor registrado en los cuatro SEV realizados.
- Se estima que aproximadamente a partir de los 40 m de profundidad existe la presencia de una capa con características hidrogeológicas favorables para la ocurrencia de agua subterránea, que probablemente pertenece al nivel QT1 de la Fm. Tablazo, según los registros que presentan valores altos de resistividad a partir de 38 a 54 m de profundidad y la tendencia de las curvas de resistividad a incrementar la resistividad a mayor profundidad.

A partir del pozo de observación que se construyó con interés hidrogeológico se realizó el levantamiento litoestratigráfico del sondeo, donde se observa que existe un acuífero superior formado por arenas y gravas del QT2 de Tablazo, el cual tiene un espesor de 14 m con un espesor saturado de agua de aproximadamente 5 m. A continuación se presenta la columna estratigráfica observada y una tabla que resumen las principales características del pozo.

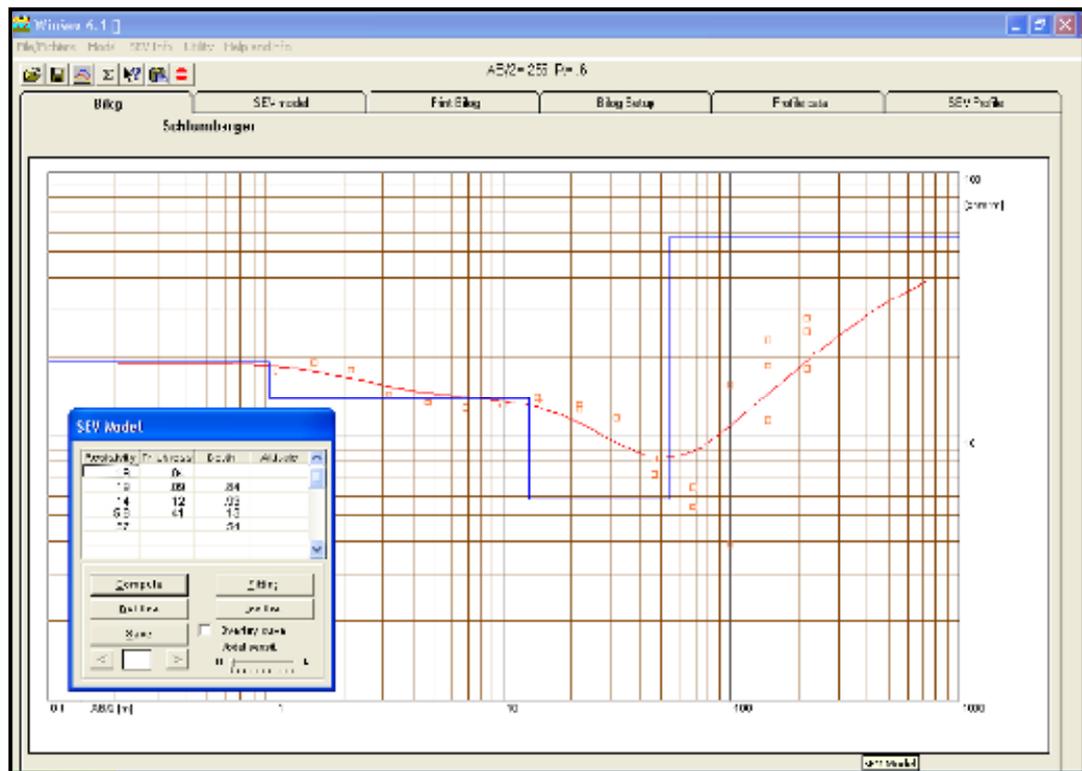


Figura A4.2. Interpretación de SEV Sayá-02, utilizando WINSEV 6.1.

SEV	Profundidad (m)	Espesor (m)	Resistividad (Ω .m)	Unidad Hidrogeológica
Sayá-02	0.84	0.84	19	Suelo
	13	12	14	Acuífera Pemeable
	54	41	5.8	Impermeable
			57	Acuífera Pemeable

Tabla A4.2. Interpretación del SEV Sayá-02

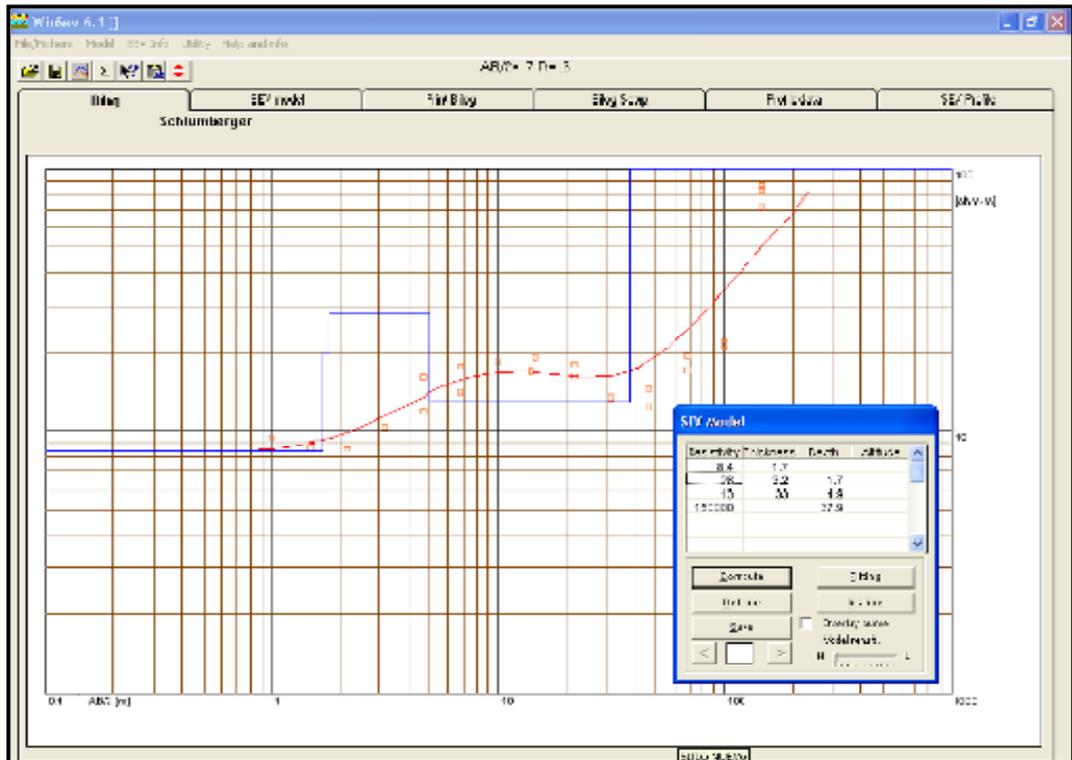


Figura A4.3. Interpretación de SEV Sayá-03, utilizando WINSEV 6.1.

SEV	Profundidad (m)	Espesor (m)	Resistividad ($\Omega.m$)	Unidad Hidrogeológica
Sayá-03	1.7	1.7	8.4	Suelo
	4.9	3.2	28	Acuífera Permeable
	37.9	33	13	Acuífera Permeable
			150000	Acuífera Permeable

Tabla A4.3 Interpretación del SEV Sayá-03

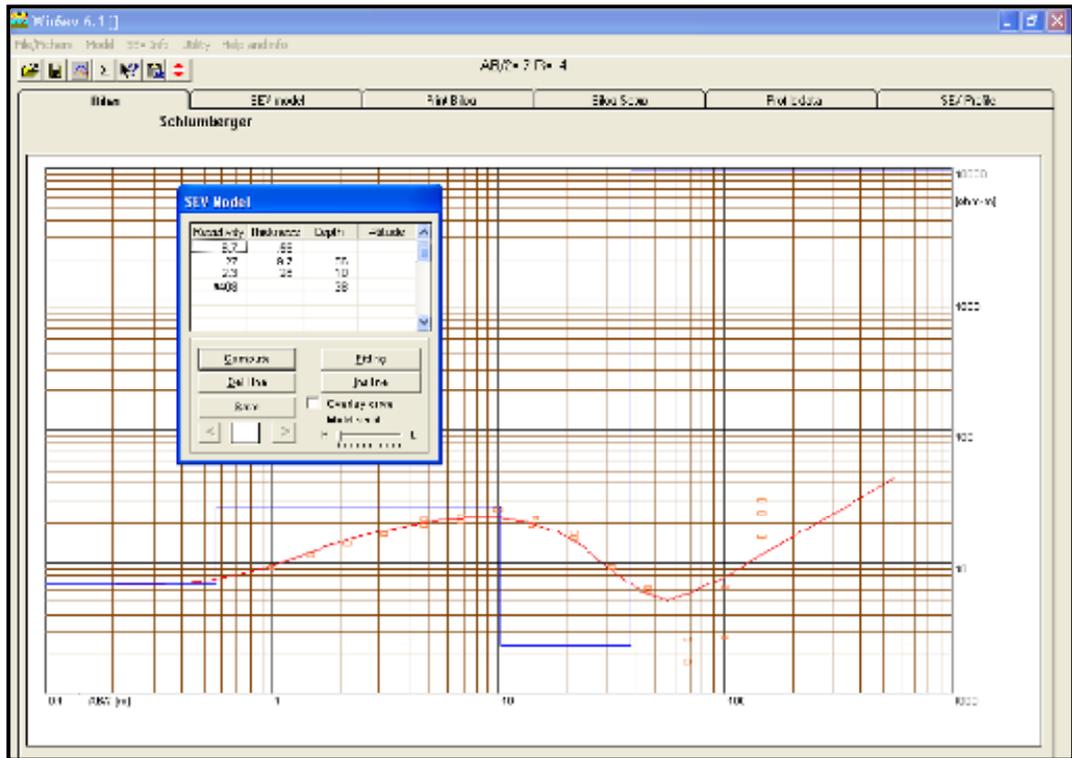


Figura A4.4. Interpretación de SEV Sayá-04, utilizando WINSEV 6.1.

SEV	Profundidad (m)	Espesor (m)	Resistividad (Ω .m)	Unidad Hidrogeológica
Sayá-04	0.56	0.56	6.7	Suelo
	10	9.7	27	Acuífera Permeable
	38	28	2.3	Impermeable
			9408	Acuífera Permeable

Tabla A4.4 Interpretación del SEV Sayá-04