

PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA

PROYECTO LA DESCUBRIDORA

Departamento Antofagasta de la Sierra

PROVINCIA DE CATAMARCA



Julio de 2024

**Responsables técnicos: Geól. Facundo Martínez
Geól. Florencia Crespi**



ÍNDICE

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	1
VÍAS DE ACCESO	2
MARCO GEOLÓGICO	4
OBJETIVOS	5
METODOLOGÍA	5
EQUIPAMIENTO	7
TRABAJOS DE CAMPO	8
RESULTADOS	10
<i>PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-1</i>	10
<i>PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-2</i>	11
<i>PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-3</i>	12
<i>PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-4</i>	13
<i>PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-5</i>	14
<i>PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-6</i>	15
<i>PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-7</i>	16
<i>PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-8</i>	177
<i>PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-9</i>	188
<i>PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-10</i>	199
INTERPRETACIÓN	20
PSEUDOSECCIONES	20
CONCLUSIONES	24
RECOMENDACIONES	25
BIBLIOGRAFÍA	26

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente informe corresponde a los resultados obtenidos durante la prospección geoelectrica realizada en el proyecto de mina La Descubridora, ubicada en el departamento de Antofagasta de la Sierra, provincia de Catamarca, unos 40 km al noreste de la localidad de El Peñón (Fig. 1). Posee una superficie de 8.550 ha y una altura promedio de 4.300 msnm.

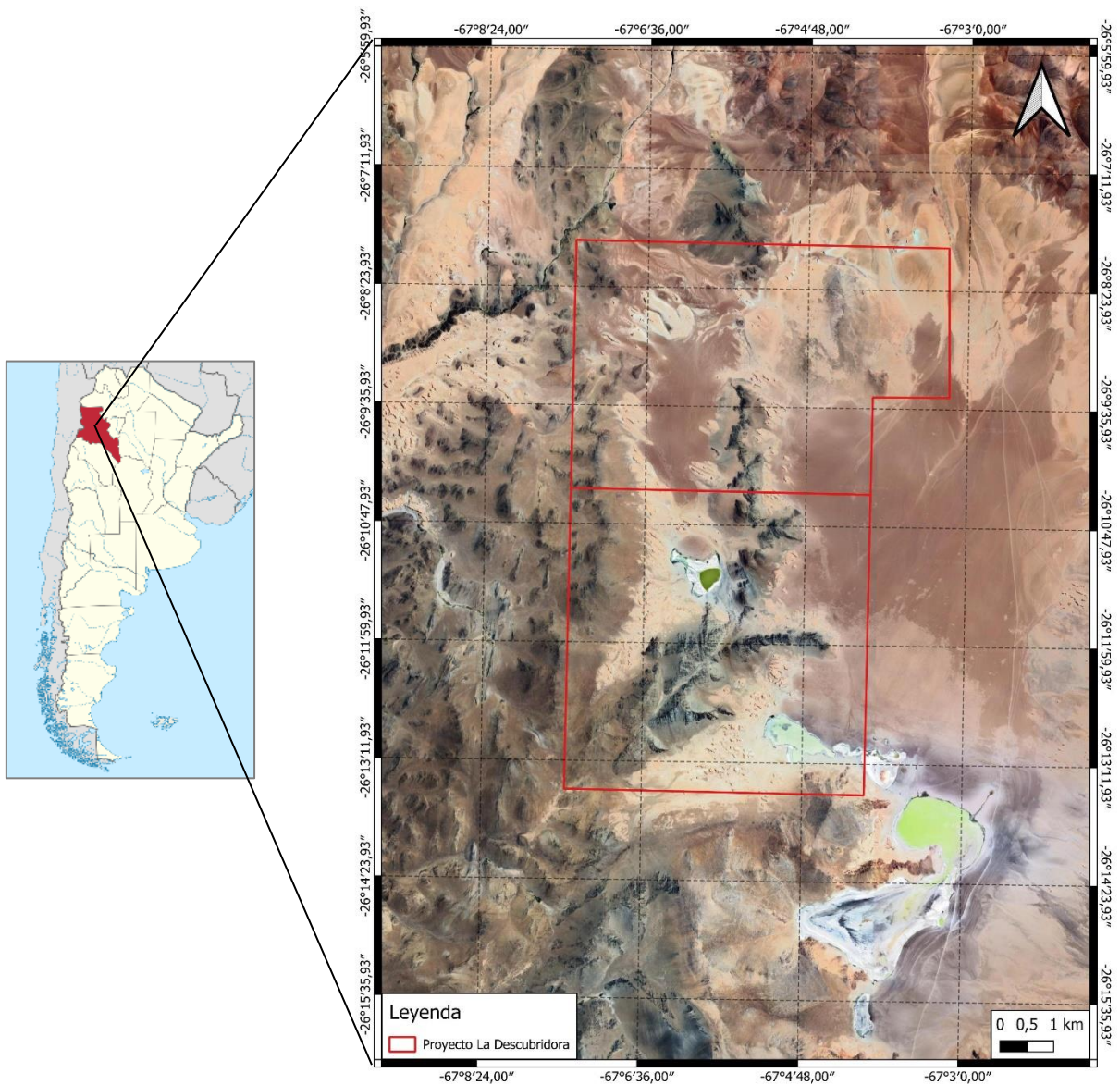


Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio.



VÍAS DE ACCESO

Para acceder al área de estudio desde la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, se transitan unos 400 km aproximadamente (todo asfaltado) por Ruta Nacional N°38, pasando por las localidades de Nueva Coneta, Huillapima y Chumbicha. Desde allí se continúa por la ruta Nacional N° 60 ingresando hacia el oeste por la Quebrada de la Cébila, pasando por Aimogasta (provincia de La Rioja), hasta el cruce con la ruta Nacional N° 40 en la localidad de Cerro Negro (departamento Tinogasta), pasando luego por las localidades de Londres, Belén, La Puerta de San José, San Fernando y El Eje. En este paraje se abre a mano izquierda la Ruta Provincial N°36, hasta llegar a Puerta de Corral Quemado, donde debe tomarse la Ruta Provincial N° 43 hacia el norte, pasando por las localidades de Villa Vil, Barranca Larga y finalmente El Peñón (Fig. 2). Desde aquí, se recorren 44 km en dirección noreste por camino de ripio (huella de uso turístico en buen estado), hasta llegar a la zona de Laguna Grande.

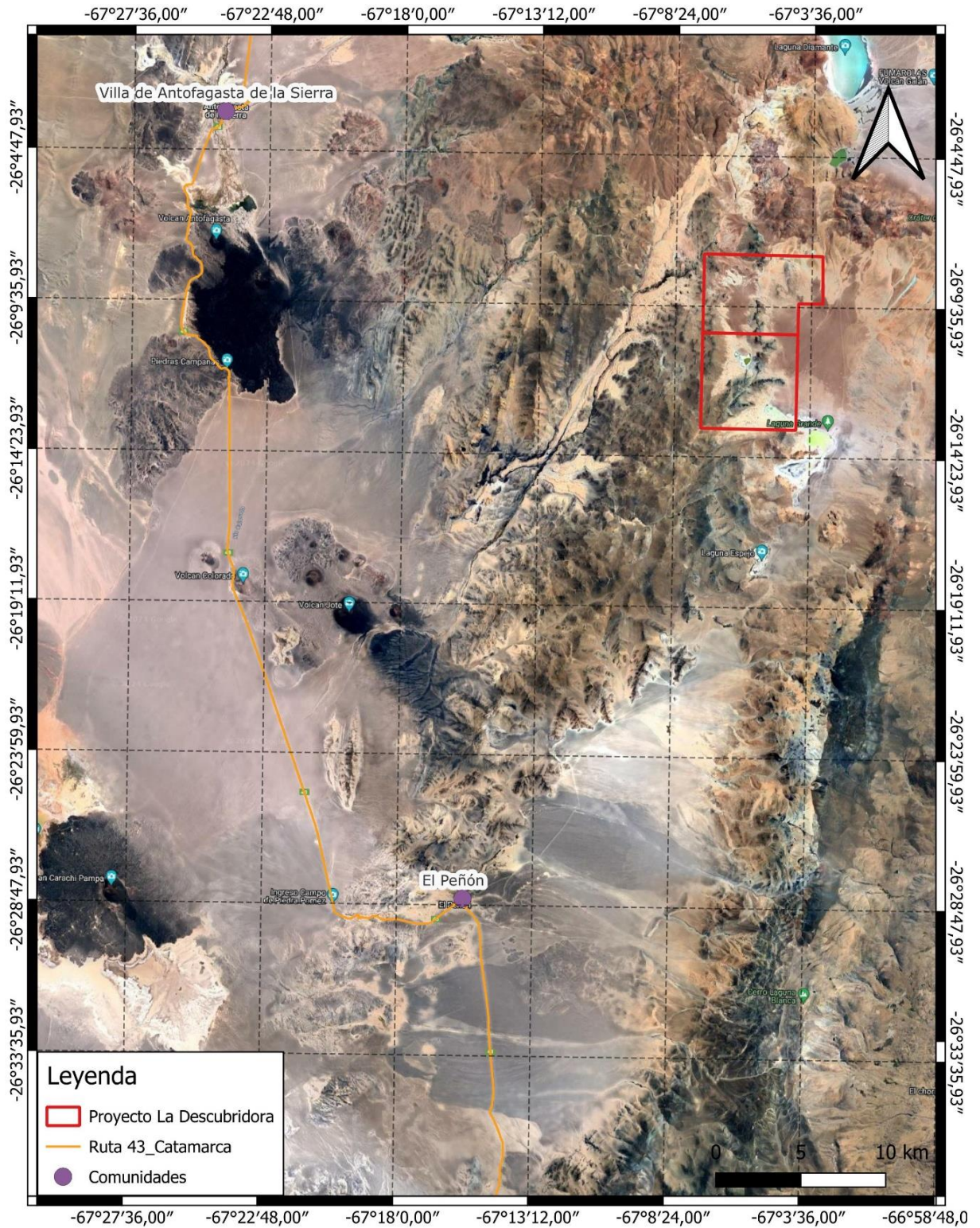


Figura 2: Mapa de accesos al área de estudio.



MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se sitúa en dentro de la provincia geológica Puna Austral (Alonso et al., 1984a), conformando una estructura de tipo basin and range (Allmendinger et al., 1977) con cordones alineados norte – sur, aparatos volcánicos jóvenes y depresiones rellenas con evaporitas.

La geología general de la región presenta un registro estratigráfico que abarca unidades litológicas de edad Neoproterozoica – Paleozoico inferior (Turner, 1972) hasta el reciente.

Las facies más antiguas afloran al norte de la localidad del Peñón, en la Sierra del Jote, Sierra Pirica, Sierra del Colorado y la Sierra de Laguna Blanca; y corresponden a rocas metamórficas de mediano a alto grado que conforman el basamento cristalino (esquistos y gneises, localmente con fenómenos de migmatización).

Sobre el basamento se apoyan unidades sedimentarias y magmáticas neopaleozoicas y cenozoicas. La cobertura que acompaña al basamento está constituida por rocas de edades diversas cámbricas, ordovícicas, terciarias y cuaternarias (Mon y Hongn, 1996; Allmendinger et al., 1983; Alonso et al., 1984a).

La columna estratigráfica continúa con secuencias sedimentarias marinas de edad Ordovícico de la Formación Falda Ciénaga (Aceñolaza et al., 1976) constituida por grauvacas, tobas y areniscas volcanoclásticas, afectadas por un metamorfismo de muy bajo a bajo grado (Toselli, 1982).

Una característica distintiva a nivel regional de la Puna Austral es la manifestación de un vulcanismo básico monogénico desarrollado durante el Plioceno-Holoceno. Durante el Cenozoico se desarrolló un vulcanismo orogénico, constituido por estratovolcanes y domos volcánicos de composición andesítica y dacítica, calderas volcánicas, algunas de grandes dimensiones (Volcán Galán), asociadas a flujos ignimbríticos y conos basálticos monogénicos. Esta característica distintiva de vulcanismo y productos volcánicos se intercalan con depósitos terciarios continentales que se desarrollaron en cuencas intermontanas, la mayor parte de ellas endorreicas, que culminan con depósitos evaporíticos los cuales constituyen los grandes salares de la Puna.

Los depósitos aluviales no consolidados son principalmente limos, arenas, gravas y conglomerados asociados a sistemas de drenaje que constituyen abanicos aluviales, cauces, rellenos de valles y quebradas actuales. Estos depósitos incluyen los materiales acumulados de origen eólico, que por lo general son arenas muy finas fijadas en las laderas de las sierras y depósitos de origen coluvial como limos, arenas y conglomerados.

OBJETIVOS

- Caracterizar las propiedades geoelectricas del subsuelo y su correlación con la geología.
- Determinar la factibilidad de que existan condiciones litológicas e hidrogeológicas en el subsuelo para el desarrollo de acuíferos en profundidad.
- Establecer el sitio más apropiado para llevar a cabo obras de captación subterráneas, en caso de que sea factible.

METODOLOGÍA

Se utilizó el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) como método de prospección geofísica. El mismo intenta reconocer las formaciones geológicas que se encuentran en profundidad mediante parámetros de resistividad del subsuelo. Su principal finalidad es examinar la distribución vertical en profundidad de las resistividades bajo el punto sondeado a partir de medidas de la diferencia de potencial en la superficie. Para este estudio se utilizó el arreglo electródico Schlumberger que utiliza un par de electrodos de inyección de corriente (AB) determinando la diferencia de potencial en donde es captado en otro par de electrodos (MN).

En el arreglo Schlumberger se utilizan distancias AMNB con $AB > MN$ y consiste en separar progresivamente los electrodos inyectoros A y B dejando los electrodos detectores M y N fijos en torno a un punto central fijo P. La representación de este sondeo muestra en ordenadas ρ_a ($\Omega \cdot m$) y en abscisas la distancia $AB/2$ (m). En este sondeo el efecto de las heterogeneidades irrelevantes es menor pues sólo se mueven el par de electrodos inyectoros A y B en escala logarítmica (Fig. 3).

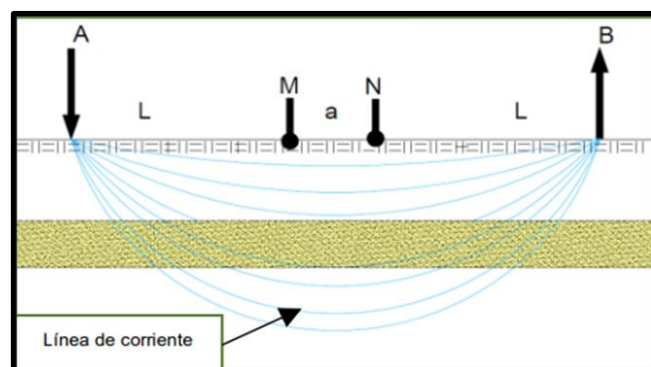


Figura 3: Arreglo Schlumberger para sondeos eléctricos verticales.

El método SEV puede realizarse sobre cualquier combinación de formaciones geológicas, pero para que la curva de resistividad aparente sea interpretable (curva de campo), el



subsuelo debe estar representado por capas horizontales y homogéneas. En muchos casos la realidad se acerca lo suficiente a esta restricción teórica como para que los resultados sean aprovechables.

El agua pura es poco conductora a causa de su reducida cantidad de iones disueltos, por lo que no es conductiva, pero las aguas que se encuentran en la naturaleza presentan conductividades apreciables, ya que siempre contienen sales disueltas que le asignan valores diagnósticos para su resistividad. Además, la resistividad eléctrica de los suelos no solo depende de sus sales sino de su composición, porosidad y tamaño de grano, por lo que una roca o sustrato será menos resistiva eléctricamente cuanto más agua tenga en sus poros y a su vez, cuanta más sales disueltas contenga (Fig. 4). Entonces, en base a estas características del sustrato, se puede inyectar corriente penetrando las distintas capas infrayacentes permitiendo conocer sus características hidrogeológicas.

<i>Aguas o rocas</i>	<i>Resistividad (en ohm m)</i>
Agua de mar	0,2
Agua de acuíferos aluviales	10-30
Agua de fuentes	50-100
Arenas y gravas secas	1 000-10 000
Arenas y gravas con agua dulce	50-500
Arenas y gravas con agua salada	0,5-5
Arcillas	2-20
Margas	20-100
Calizas	300-10 000
Areniscas arcillosas	50-300
Areniscas cuarcitas	300-10 000
Cineritas, tobas volcánicas	20-100
Lavas	300-10 000
Esquistos grafitosos	0,5-5
Esquistos arcillosos o alterados	100-300
Esquistos sanos	300-3 000
Gneis, granito alterados	100-1 000
Gneis, granito sanos	1 000-10 000

Figura 4: Resistividad de agua y algunas rocas (Astier, 1975).

La profundidad de penetración de la corriente eléctrica depende de la separación de los electrodos inyectores AB. Si la distancia entre los electrodos AB aumenta, la corriente circula a mayor profundidad, pero su intensidad disminuye. Por medio de este estudio se puede inferir la forma, composición y dimensiones de las estructuras que se encuentran en el subsuelo a partir de datos indirectos recolectados en la superficie terrestre.

Equipamiento

Los valores de resistividad fueron determinados en el campo con el equipo GEOMETER MPX-400 By PONTI Electronics (Fig. 5). Este dispositivo trabaja con 2 módulos: a) un módulo de inyección (mili-amperímetro) conectado a una fuente de energía de 12V que emite una corriente al terreno (I), y b) un módulo receptor (mili-voltímetro) que mide la diferencia de potencial (ΔV). Además, el equipo consta de 10 electrodos de acero y cobre de 10 mm de sección, y 4 carretes con cables de 2 mm de sección, que permiten separar el dispositivo electródico hasta una distancia de 500 m, llegando a una profundidad máxima teórica de exploración de 250 m.



Figura 5: Equipo GEOMETER MPX 400 utilizado para la ejecución de los sondeos.

Trabajos de campo

Se realizó un viaje de campaña donde se llevaron a cabo un total de 10 sondeos eléctricos verticales para la interpretación del subsuelo. Los sondeos fueron distribuidos en el área de estudio acorde a las indicaciones o necesidades del propietario y recomendaciones del equipo técnico (Fig. 6 y 7).

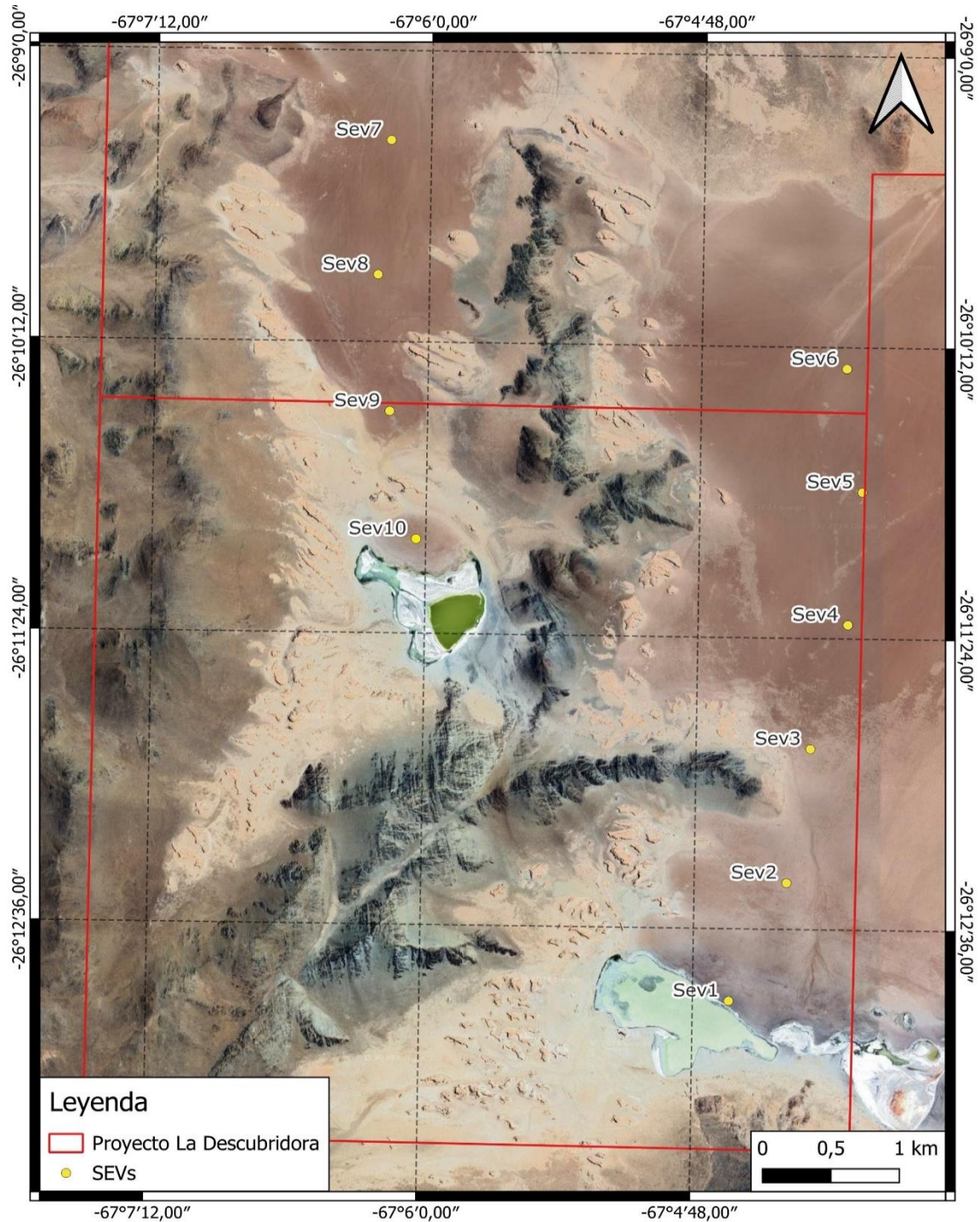


Figura 6: Ubicación de los SEVs realizados.

Mediante cada SEV se obtuvieron valores de voltaje (V) e intensidad (I) de corriente, con el fin de obtener las curvas de resistividad aparente del subsuelo. Posteriormente, los datos adquiridos se procesaron mediante métodos de inversión gráfica con el software IPI2Win de manera tal de obtener los denominados horizontes geoelectrónicos, los cuales expresan resistividades reales, espesores de capas y profundidades de sus límites, lo que permitió realizar una interpretación hidrogeológica del subsuelo. Por último, se utilizó el software Surfer 16 para la elaboración de mapas de espesor de acuíferos y nivel freático.



Figura 7: Fotografías tomadas durante la ejecución de los SEVs en La Descubridora.

RESULTADOS

A continuación, se pueden observar los distintos SEV's realizados para cada sitio de interés, junto con un perfil interpretativo del subsuelo estudiado con la ubicación de cada uno de ellos.

PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-1

Coordenadas: 26°12'53.86"S - 67° 4'38.47"O - Cota: 4262 msnm

Profundidad teórica de exploración (AB/2): 500 m - Humedad superficial: MUY BAJA

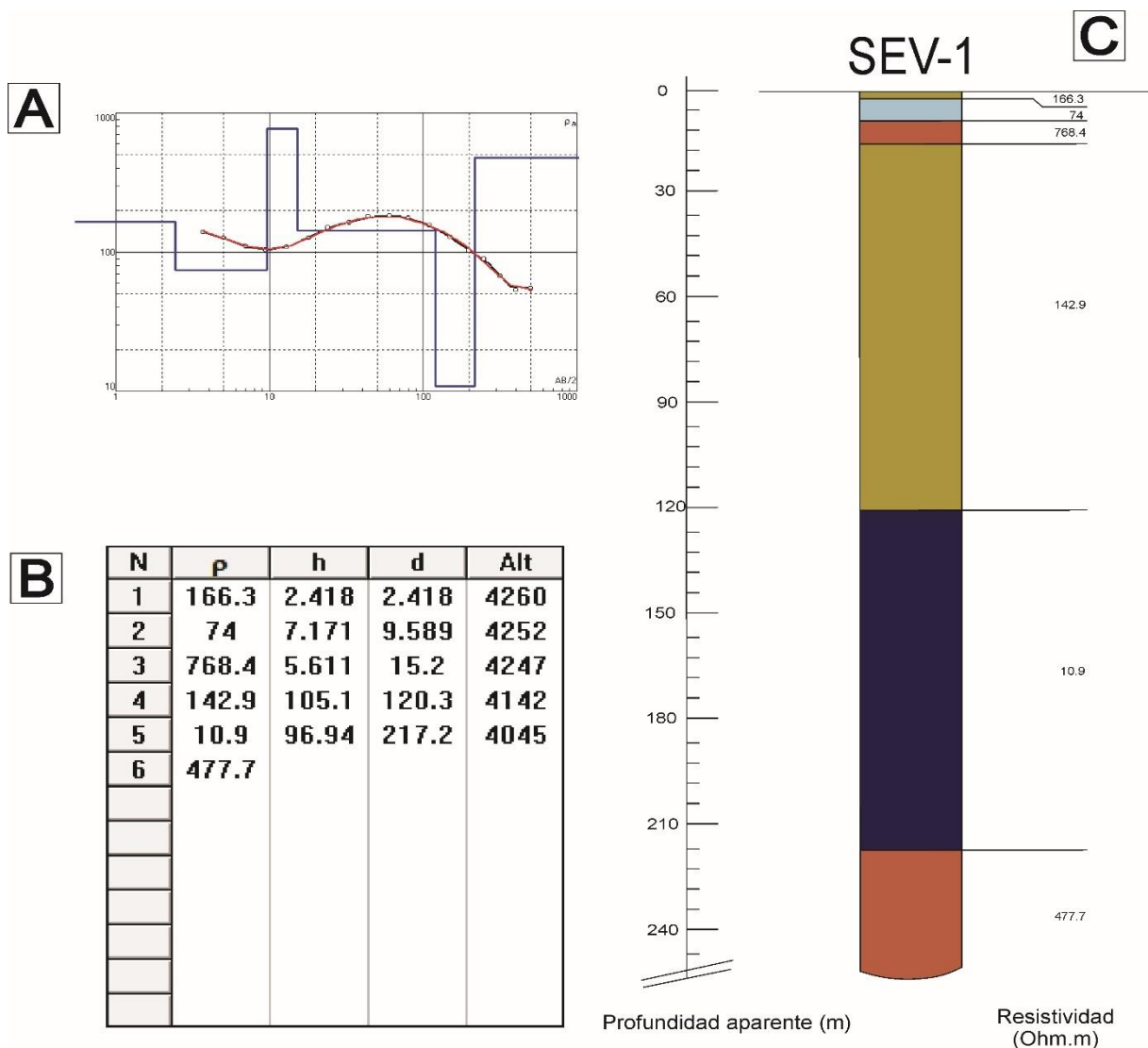


Figura 8: Cálculo en SEV-1 para la obtención de número y espesor de horizontes geoelectricos con sus respectivas resistividades. REFERENCIAS: A) Curva de campo. Círculos blancos y línea negra = valores y curva de resistividad aparente obtenida en el relevamiento de campo; Línea roja = curva teórica que mejor se ajusta; Línea azul = espesor y resistividad de cada horizonte (en X se grafica la profundidad teórica y en Y se grafica la resistividad aparente). B) Parámetros calculados para el SEV. N = número de horizontes determinados; ρ = resistividad real calculada de cada horizonte (en $\Omega.m$); h

=espesor (en m); d = profundidad del límite inferior de cada horizonte (en m); Alt = cota en metros sobre nivel del mar (msnm).

PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-2

Coordenadas: 26°12'24.53"S - 67° 4'23.67"O - Cota: 4279 msnm

Profundidad teórica de exploración (AB/2): 250 m - Humedad superficial: MUY BAJA

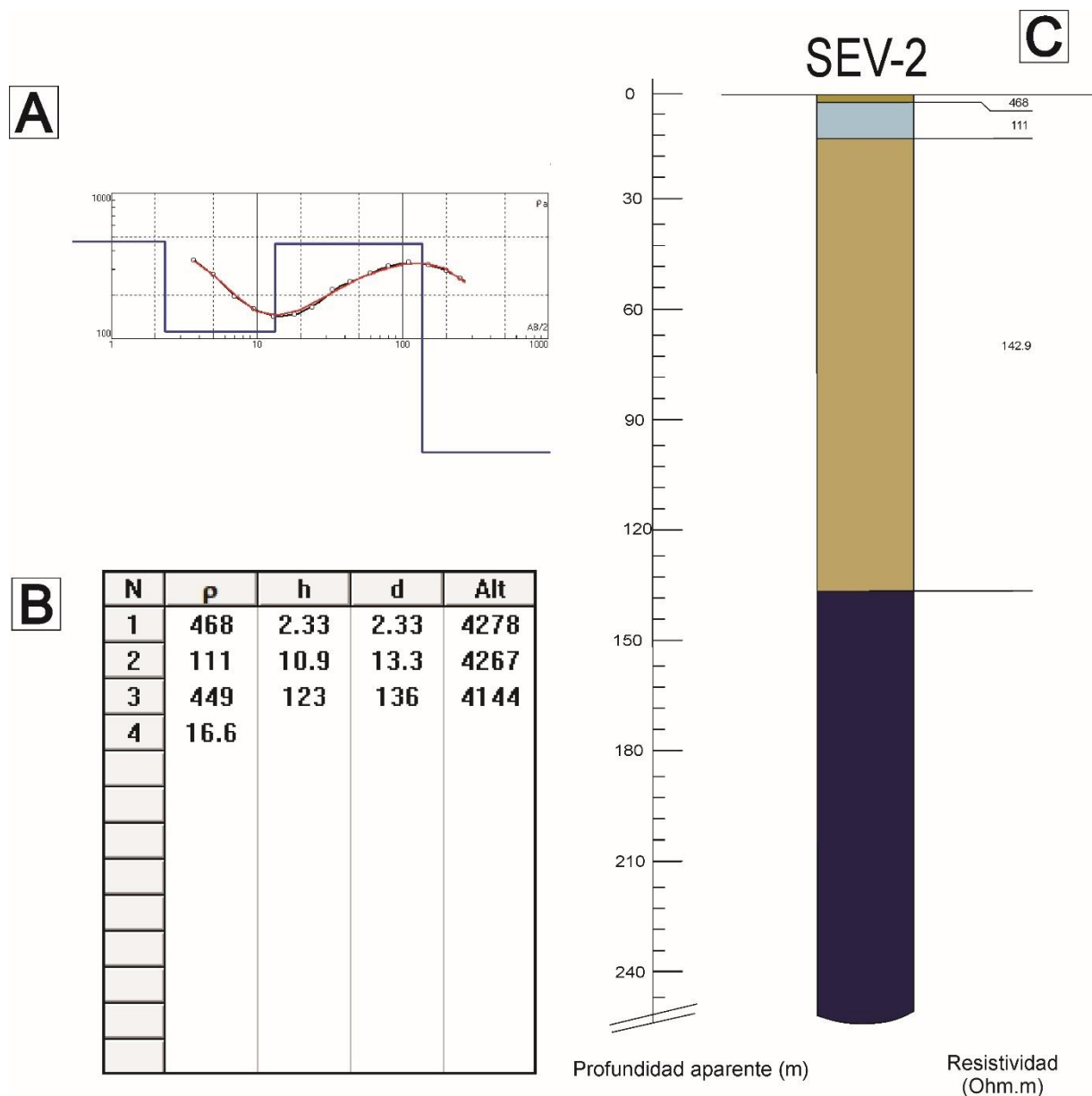


Figura 9: Cálculo en SEV-2 para la obtención de número y espesor de horizontes geoelectricos con sus respectivas resistividades. REFERENCIAS: Ídem figura 8.

PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-3

Coordenadas: 26°11'51.33"S - 67° 4'17.94"O - Cota: 4294 msnm

Profundidad teórica de exploración (AB/2): 250 m - Humedad superficial: MUY BAJA

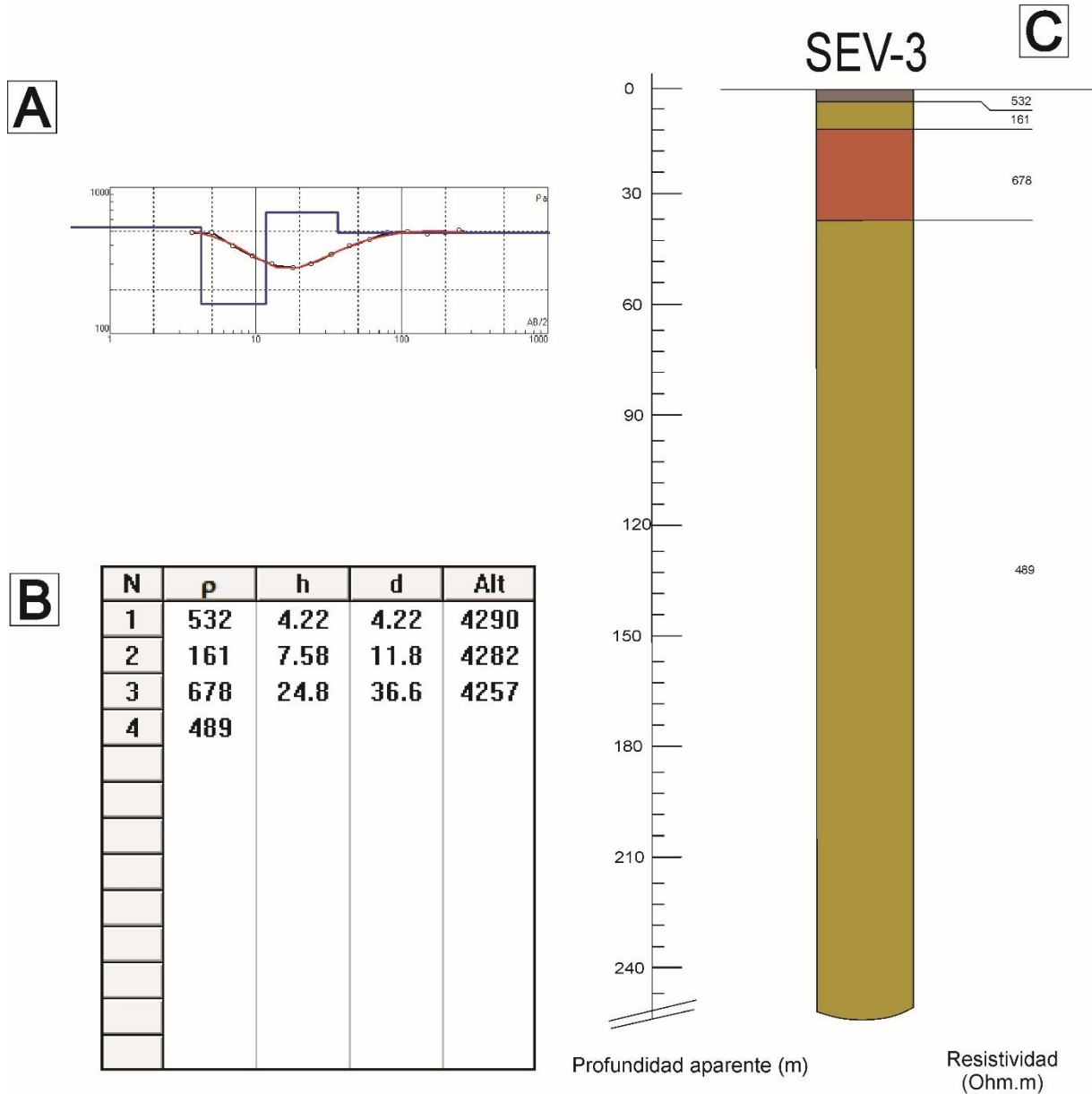


Figura 10: Cálculo en SEV-3 para la obtención de número y espesor de horizontes geoelectricos con sus respectivas resistividades. REFERENCIAS: Ídem figura 8.

PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-4

Coordenadas: 26°11'20.54"S - 67° 4'8.56"O - Cota: 4314 msnm

Profundidad teórica de exploración (AB/2): 500 m - Humedad superficial: MUY BAJA

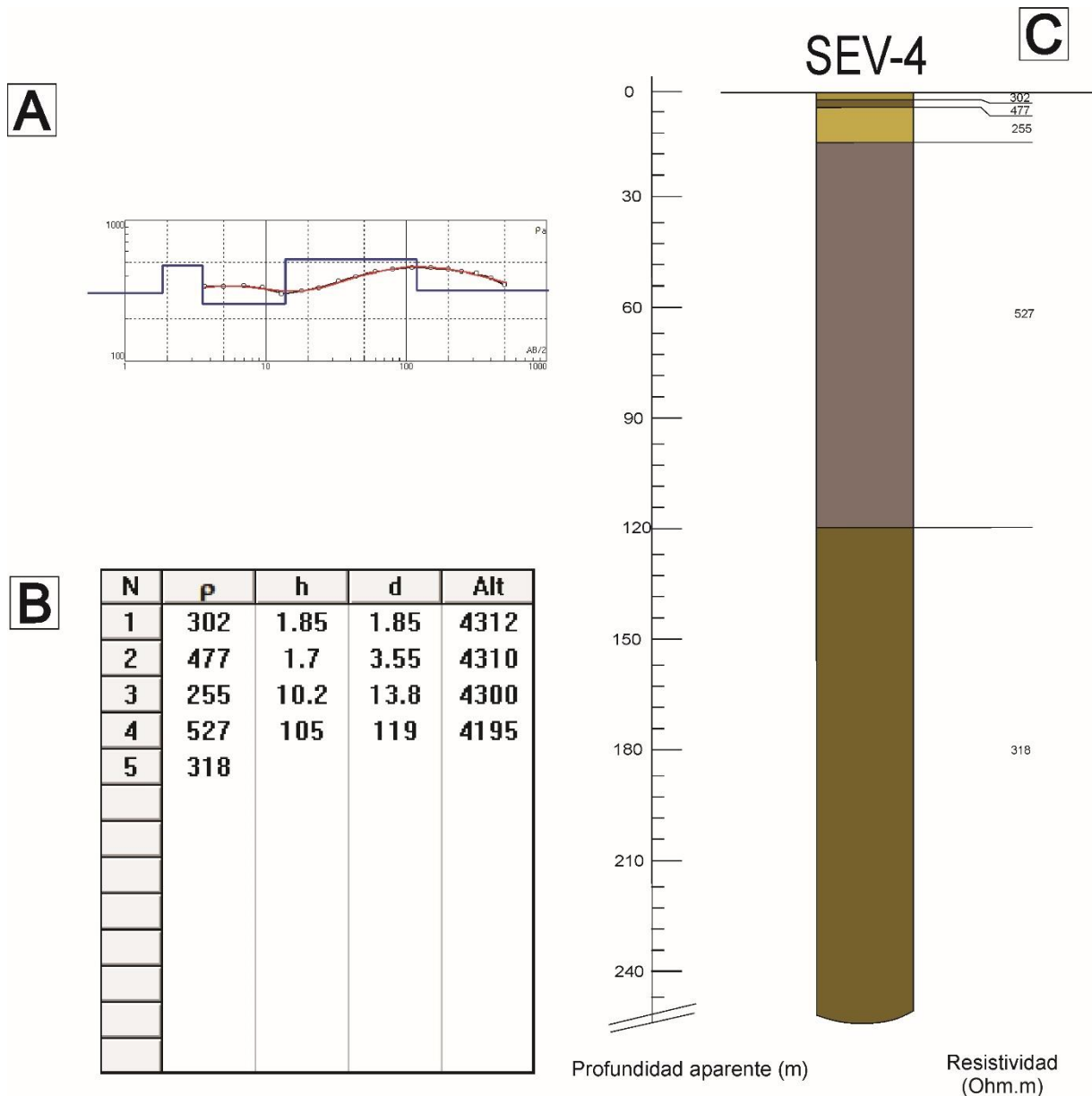


Figura 11: Cálculo en SEV-4 para la obtención de número y espesor de horizontes geoelectricos con sus respectivas resistividades. REFERENCIAS: Ídem figura 8.

PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-5

Coordenadas: 26°10'47.72"S - 67° 4'5.24"O - Cota: 4341 msnm

Profundidad teórica de exploración (AB/2): 250 m - Humedad superficial: MUY BAJA

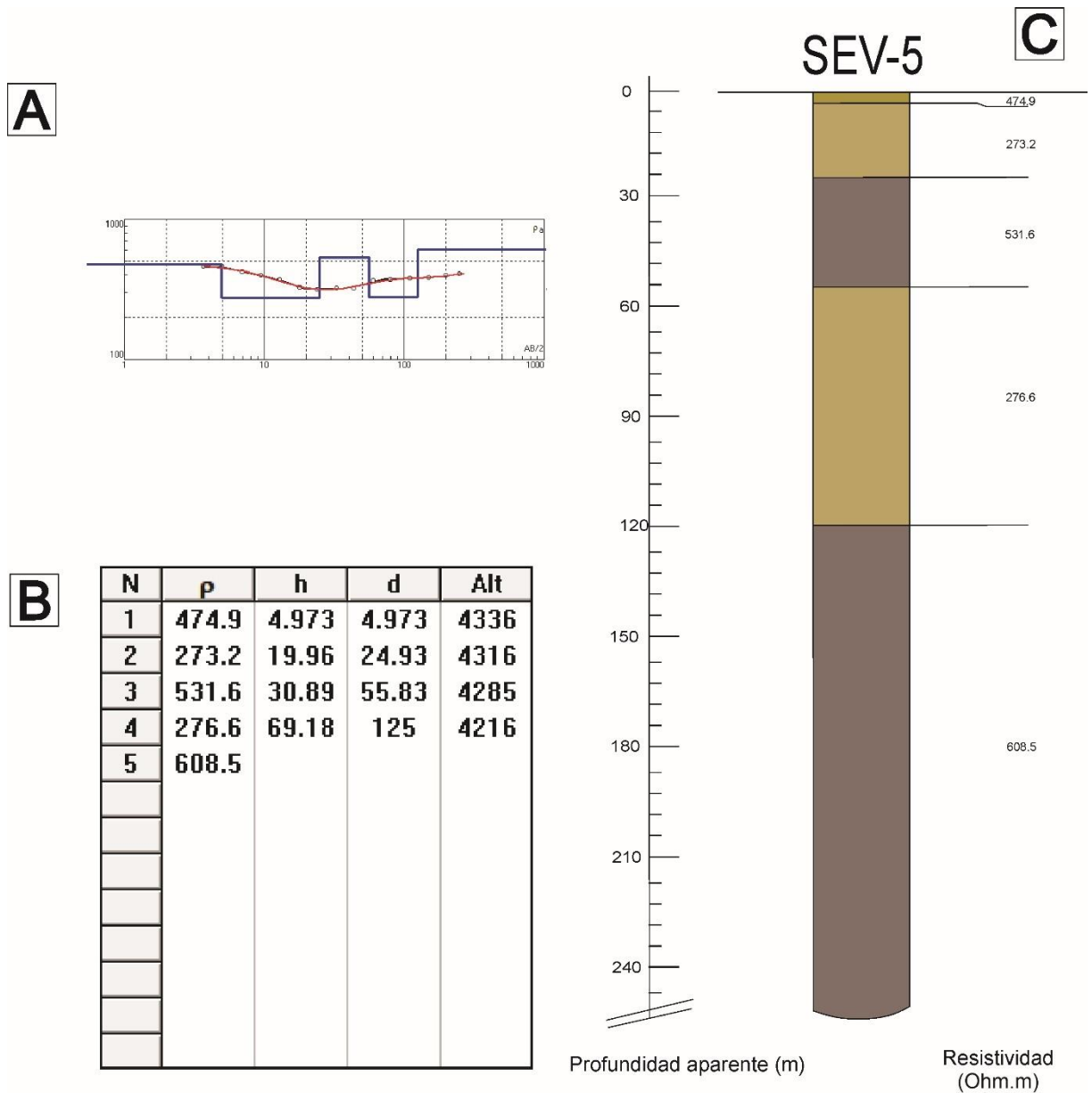


Figura 12: Cálculo en SEV-5 para la obtención de número y espesor de horizontes geoeléctricos con sus respectivas resistividades. REFERENCIAS: Ídem figura 8.

PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-6

Coordenadas: 26°10'17.24"S - 67° 4'9.81"O - Cota: 4367 msnm

Profundidad teórica de exploración (AB/2): 250 m - Humedad superficial: MUY BAJA

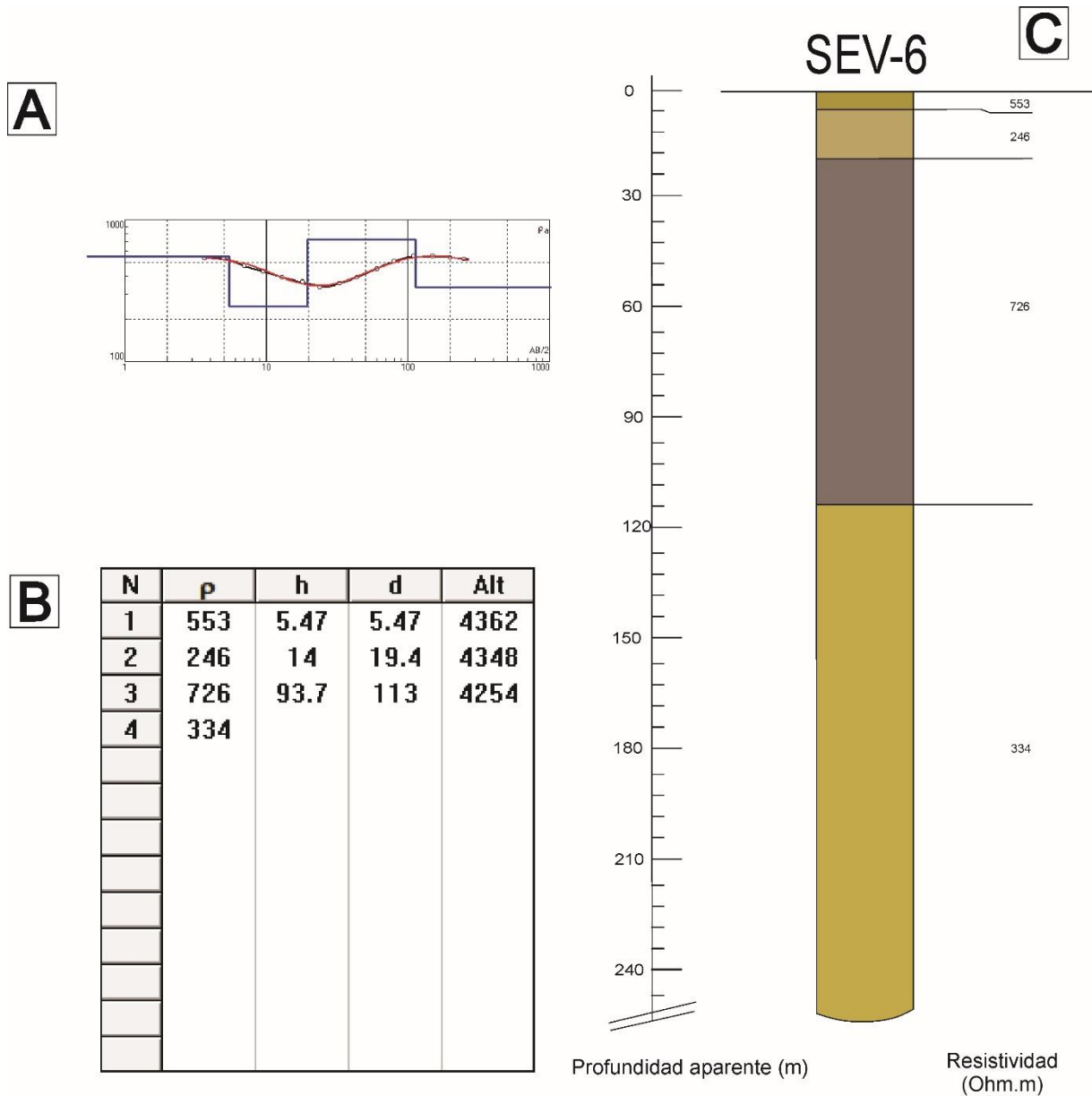


Figura 13: Cálculo en SEV-6 para la obtención de número y espesor de horizontes geoelectricos con sus respectivas resistividades. REFERENCIAS: Ídem figura 8.

PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-7

Coordenadas: 26° 9'22.14"S - 67° 6'10.55"O - Cota: 4361 msnm

Profundidad teórica de exploración (AB/2): 250 m - Humedad superficial: MUY BAJA

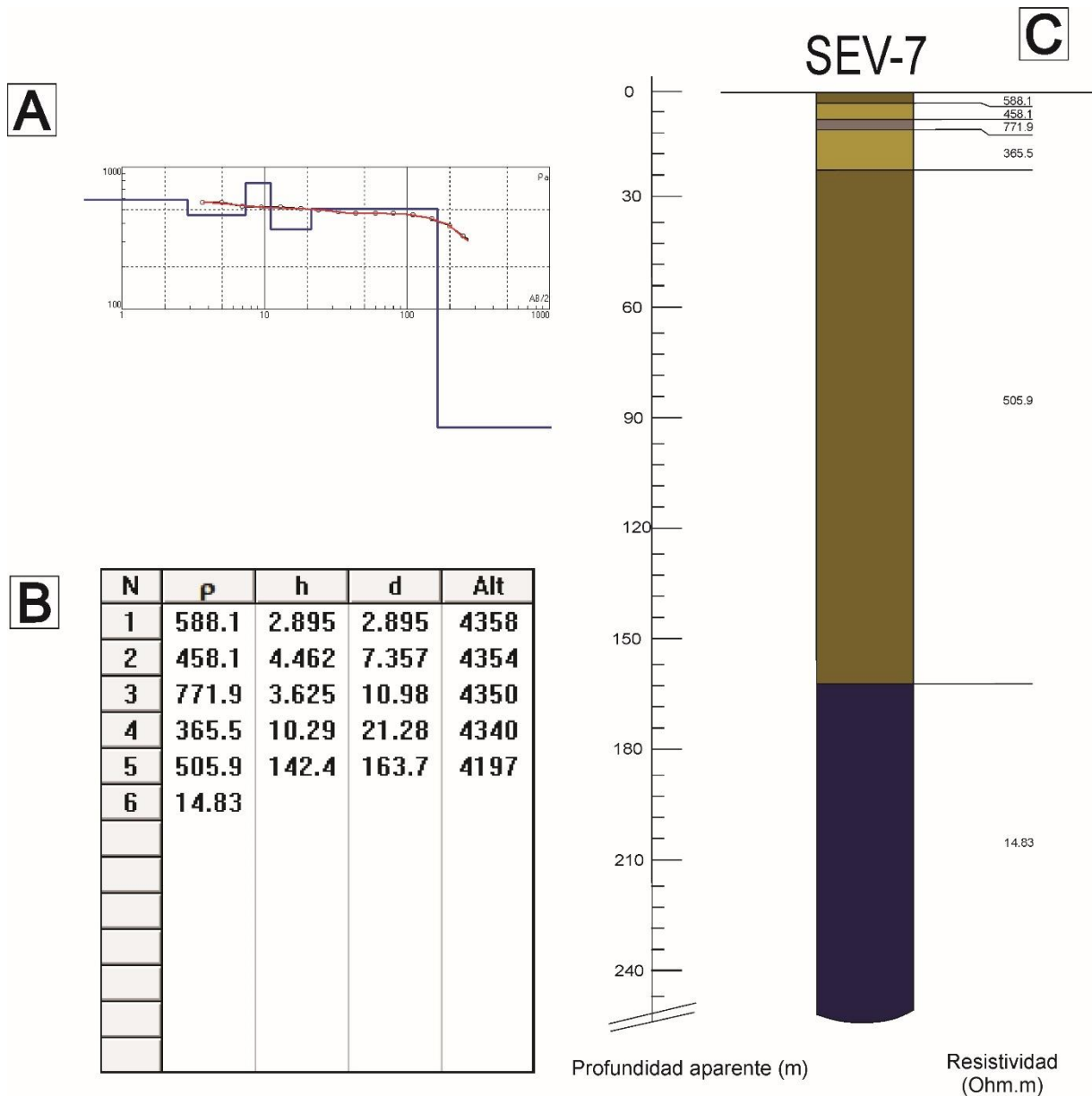


Figura 14: Cálculo en SEV-7 para la obtención de número y espesor de horizontes geoelectricos con sus respectivas resistividades. REFERENCIAS: Ídem figura 8.

PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-8

Coordenadas: 26° 9'55.42"S - 67° 6'13.57"O - Cota: 4333 msnm

Profundidad teórica de exploración (AB/2): 250 m - Humedad superficial: MUY BAJA

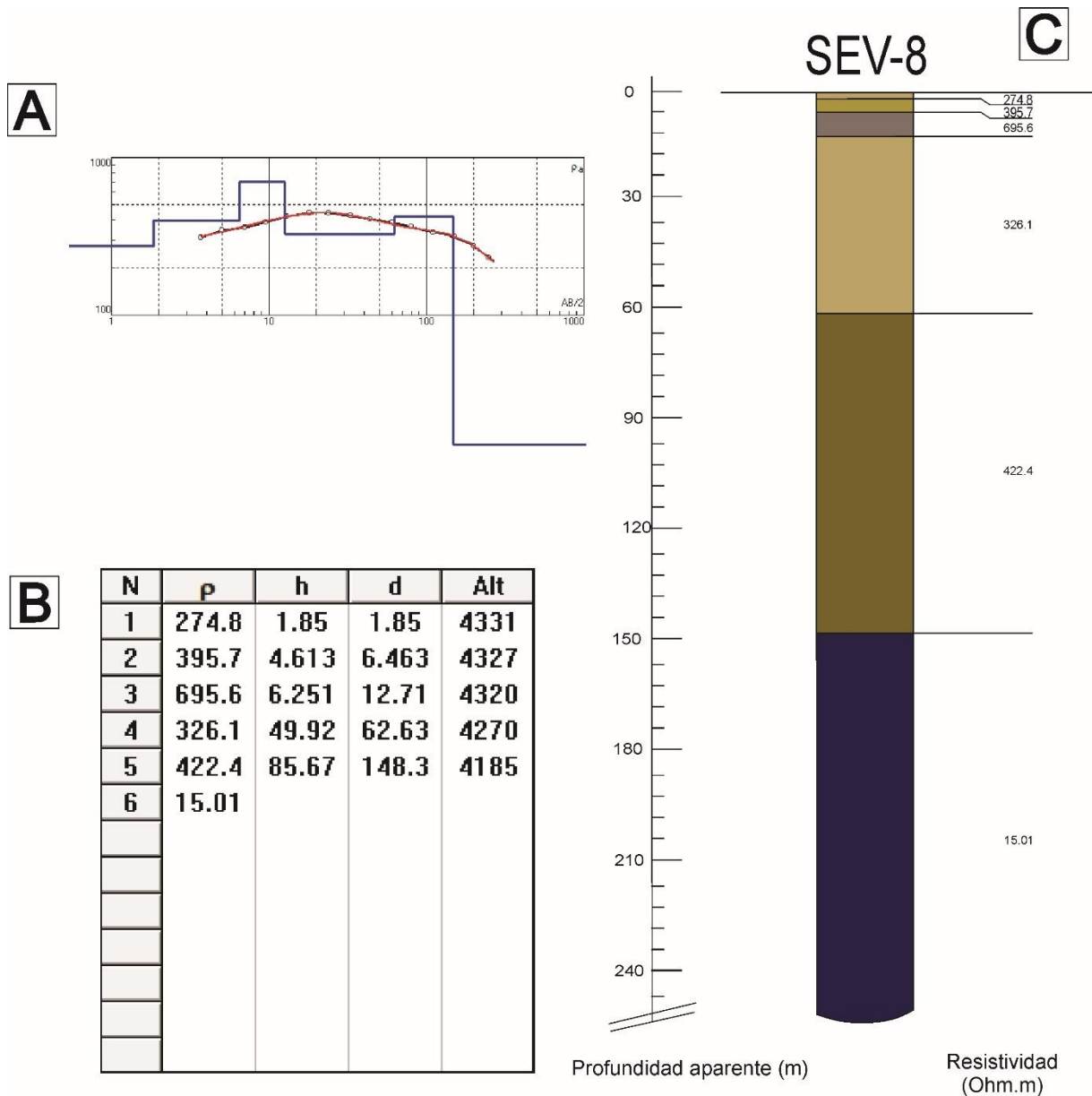


Figura 15: Cálculo en SEV-8 para la obtención de número y espesor de horizontes geoelectricos con sus respectivas resistividades. REFERENCIAS: Ídem figura 8.

PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-9

Coordenadas: 26°10'29.14"S - 67° 6'9.99"O - Cota: 4312 msnm

Profundidad teórica de exploración (AB/2): 250 m - Humedad superficial: MUY BAJA

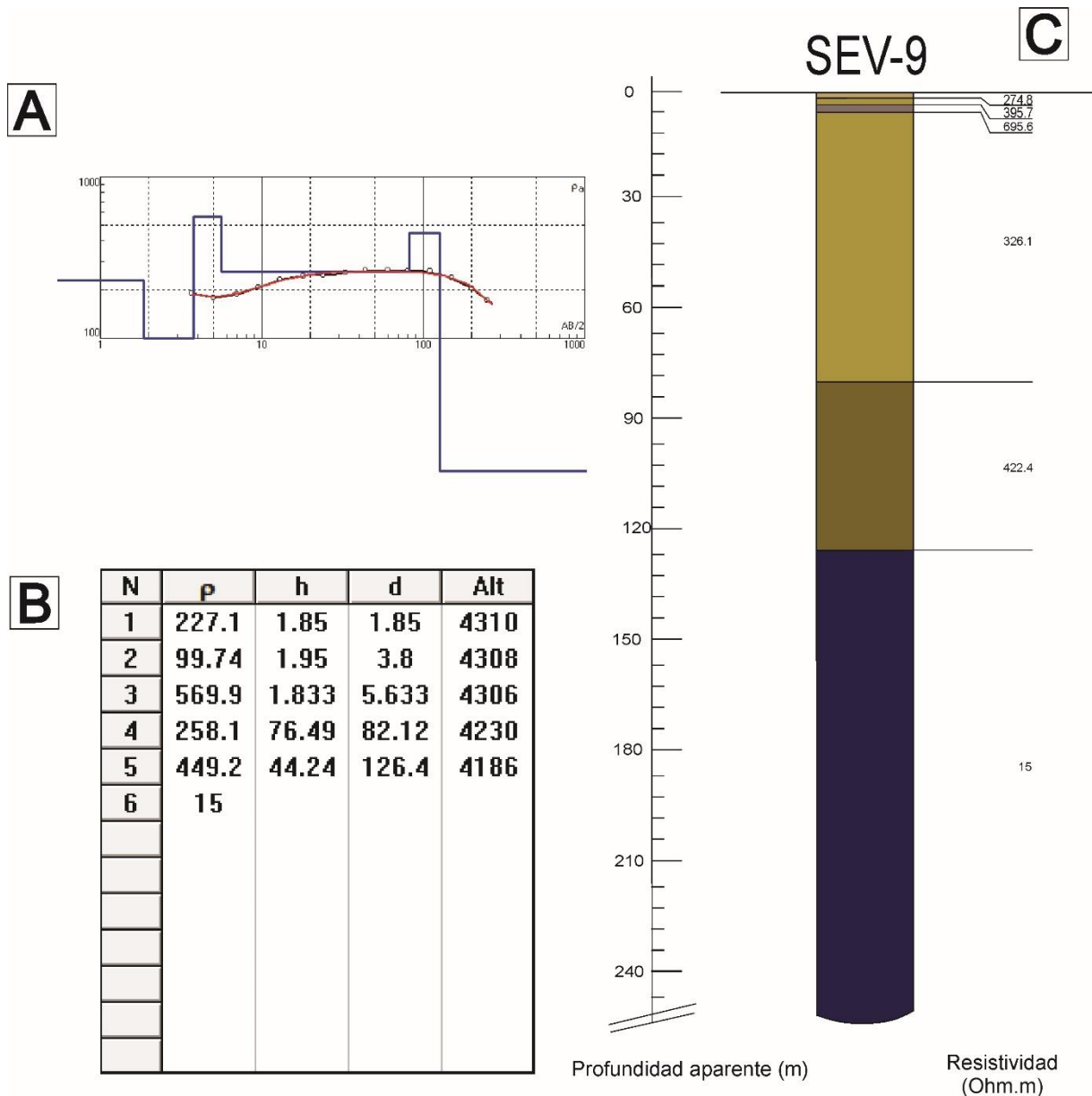


Figura 16: Cálculo en SEV-9 para la obtención de número y espesor de horizontes geoelectricos con sus respectivas resistividades. REFERENCIAS: Ídem figura 8.

PUNTO DE MEDICIÓN: SEV-10

Coordenadas: 26°11'1.80"S - 67° 6'1.32"O - Cota: 4291 msnm

Profundidad teórica de exploración (AB/2): 250 m - Humedad superficial: MUY BAJA

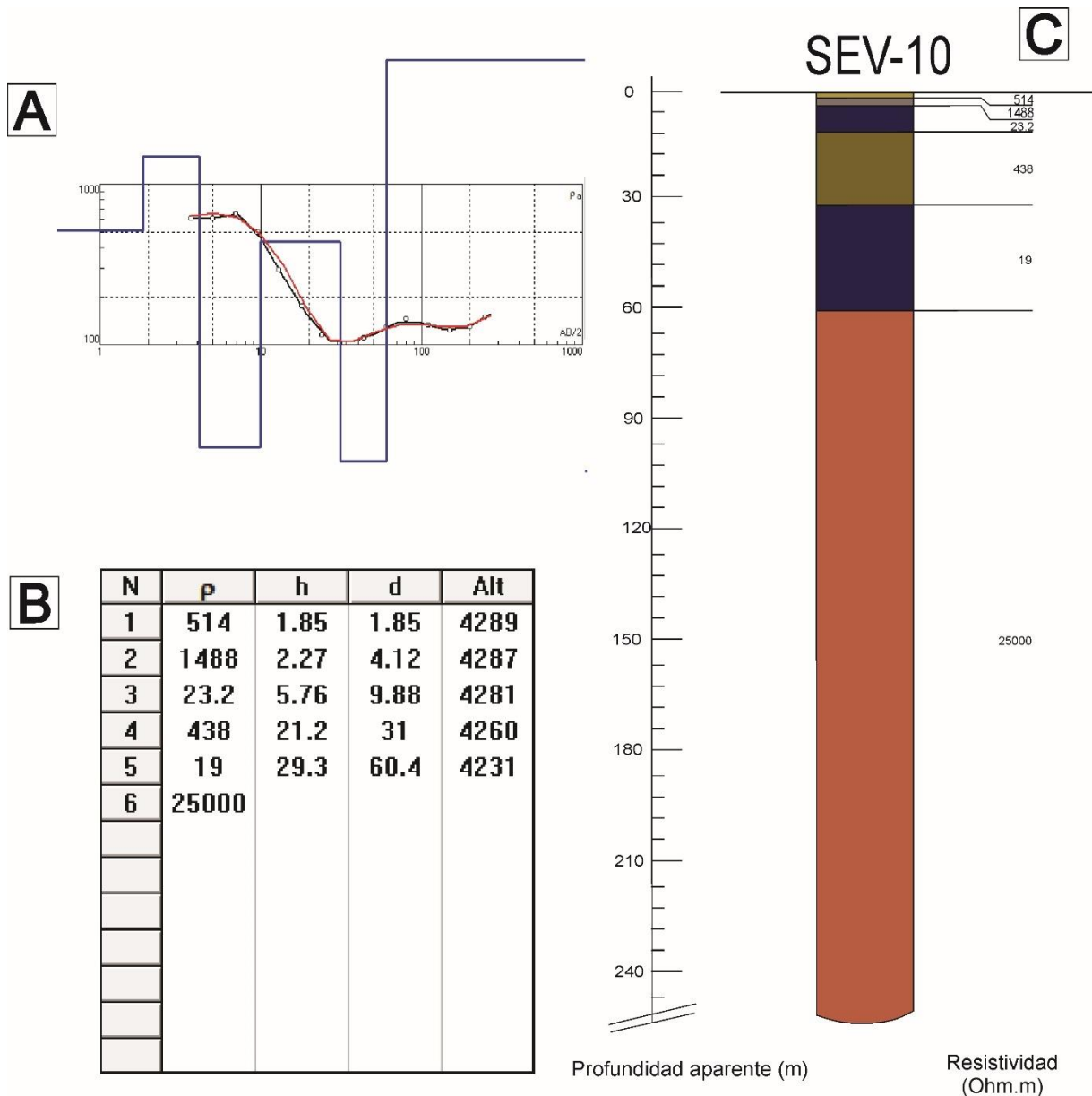


Figura 17: Cálculo en SEV-10 para la obtención de número y espesor de horizontes geoelectrónicos con sus respectivas resistividades. REFERENCIAS: Ídem figura 8.



INTERPRETACIÓN

Todas las curvas de resistividad aparente obtenidas en cada SEV tienen una morfología similar y presentan valores correlacionables entre ellas; a continuación, se describirán sintéticamente las distintas unidades alcanzadas mediante el método.

Los primeros horizontes geoelectricos, representados por colores castaños, presentan resistividades moderadas a altas (entre 100 y 2000 Ω .m, aproximadamente), y estarían vinculados a sedimentos areno-conglomerádicos de origen volcanoclástico, alcanzando profundidades variables, dependiendo de la presencia o no de material saturado infrayacente. Las mayores resistividades corresponden a sedimentos más gruesos, y los valores disminuyen conforme aumenta la proporción de arena. Estas capas no tendrían interés hidrogeológico, solo se puede observar algún nivel de pocos metros de espesor que podría estar vinculado a agua subterránea.

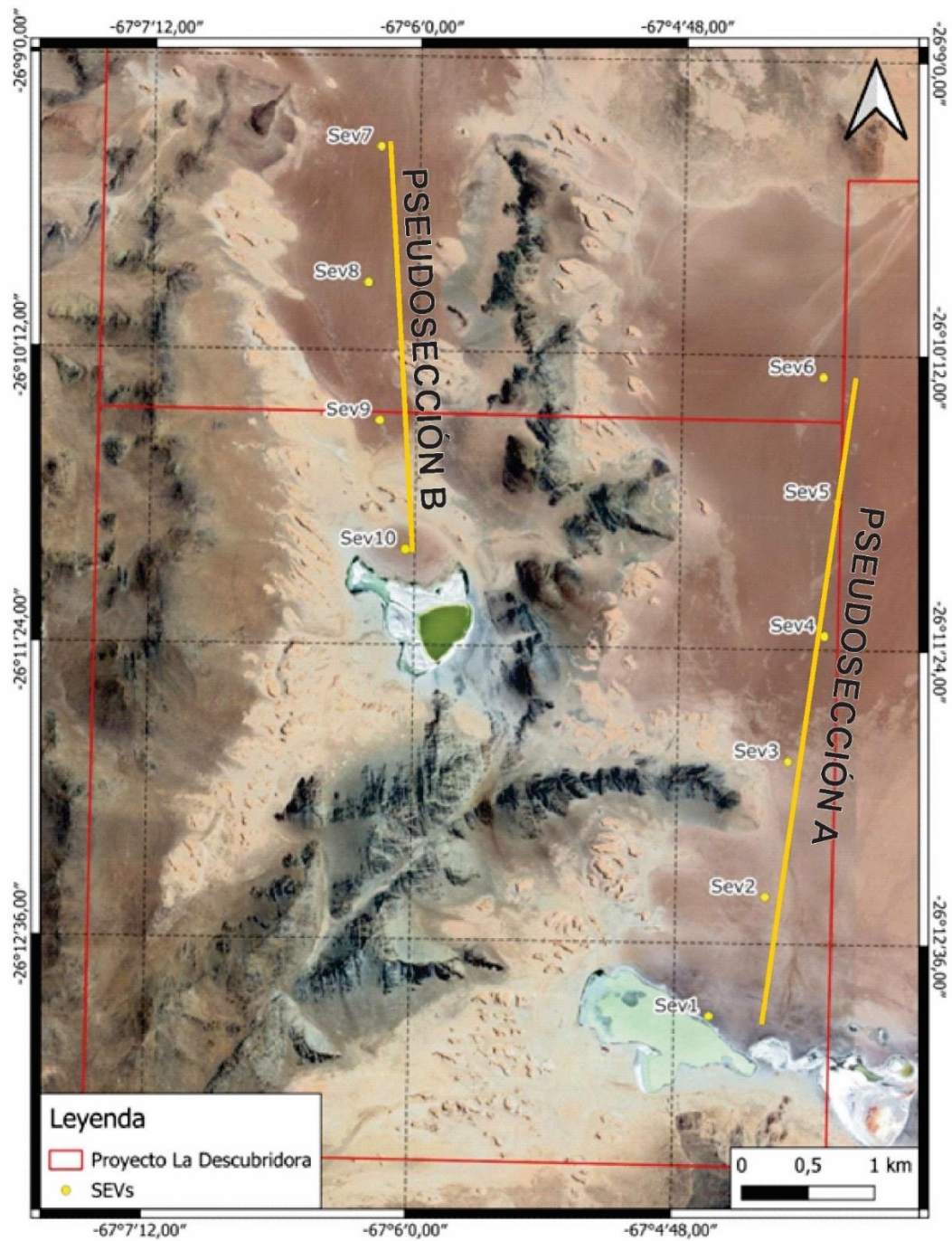
El último horizonte visible, se encuentra por debajo de los horizontes geoelectricos mencionados, y no resulta factible determinar la profundidad de base del mismo, exceptuando los SEVs 1 y 10. Esta unidad corresponde a sedimentos con resistividades bajas, probablemente saturados en agua con iones de sales disueltos. Se estima que este horizonte podría presentar interés hidrogeológico. Cabe mencionar que variaciones en la resistividad pueden estar vinculadas a variaciones de salinidad y/o de composición de los sedimentos. En los SEVs 3, 4, 5 y 6, correspondientes a la pseudosección B, no se observa este horizonte, ya que no se aprecia una bajada en los valores de resistividad.

En los SEVs 1 y 10, por debajo del horizonte de baja resistividad, se puede apreciar un incremento significativo de la resistividad, lo cual, se correspondería con la presencia de un sustrato hidrogeológico.

PSEUDOSECCIONES

A fin de facilitar la interpretación y entendimiento del área de estudio, se realizaron pseudosecciones o perfiles en sentido N-S, abarcando todos los SEVs. Se elaboró un mapa con la ubicación de las mismas y los SEVs que componen a cada una de ellas (Fig. 18).

Una pseudosección es una gráfica que representa las variaciones de resistividad aparente entre los SEVs ubicados a lo largo de una transecta. A partir de cada SEV, se obtienen los distintos perfiles de resistividad eléctrica del subsuelo y se realizan modelos de correlación. Esto se realizó mediante el software IPI2WIN, el cual permite por medio del método de inversión gráfica, obtener las resistividades reales para cada sitio de medición (SEV).



Con la información procesada, se pudieron realizar 2 pseudosecciones: en éstas, se puede observar en la mitad superior de la imagen, la resistividad aparente en cada sitio de medición (SEV), y en la mitad inferior los horizontes geoelectrónicos que se infieren.

En la pseudosección A (Fig.19), se puede observar en los SEVs 1 y 2, la presencia de bajas conductividades, que podrían corresponder con sedimentos saturados en agua con probablemente concentraciones de sales disueltas altas; hacia el norte, en el resto de los SEVs, no se aprecian bajas resistividades, con lo cual la presencia de material saturado es descartada. En el SEV-1 en particular, se observa por debajo del horizonte de baja resistividad, un incremento de la resistividad, que podría deberse a la presencia de un sustrato hidrogeológico (color castaño).

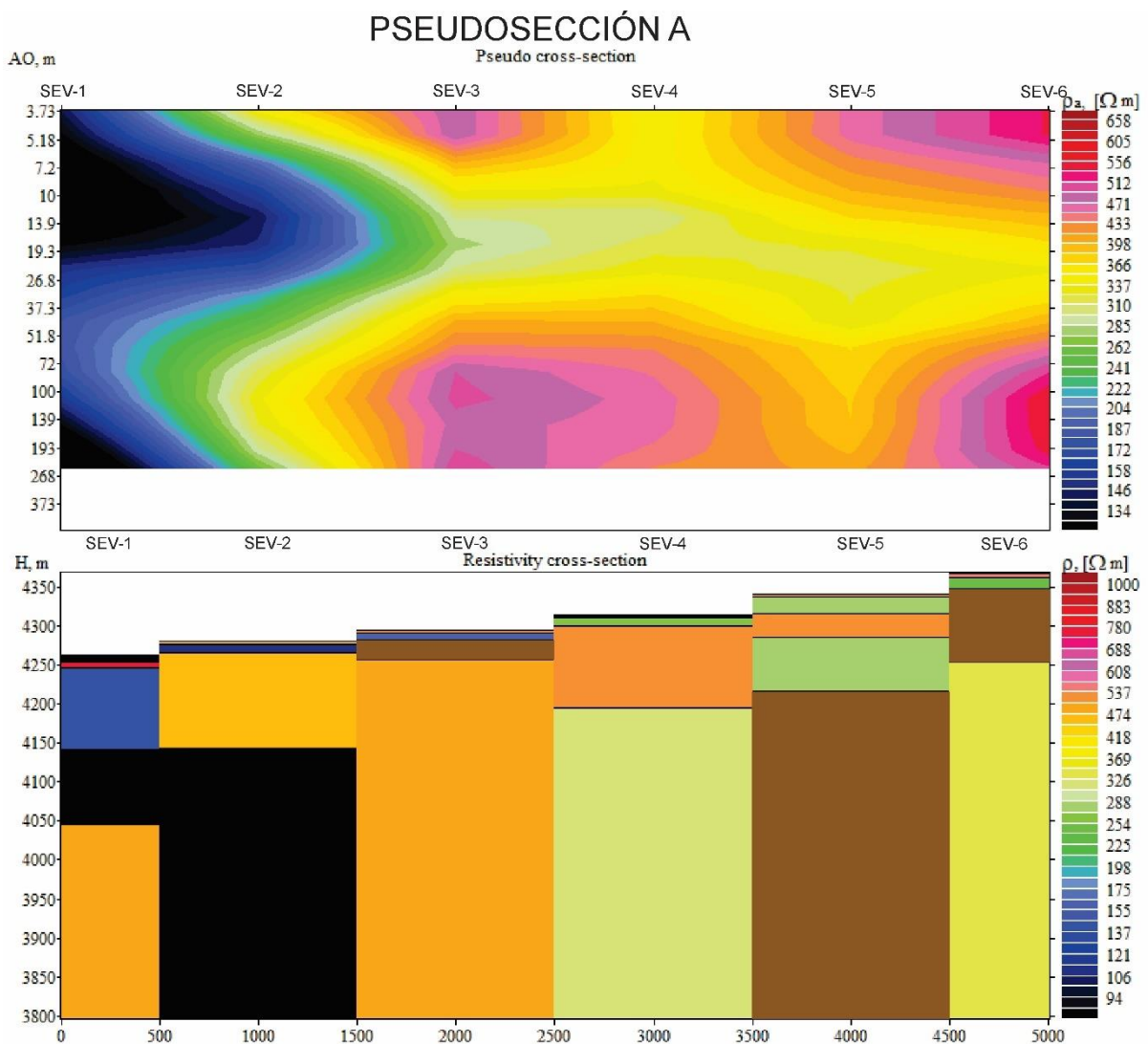


Figura 19: Pseudosección A.



En la pseudosección B (Fig. 20) se puede observar el horizonte de baja conductividad en todos los SEVs. En el SEV-1, se puede observar debajo del horizonte mencionado, uno de alta resistividad, que correspondería al sustrato hidrogeológico, y es en el único SEV que logra apreciarse.

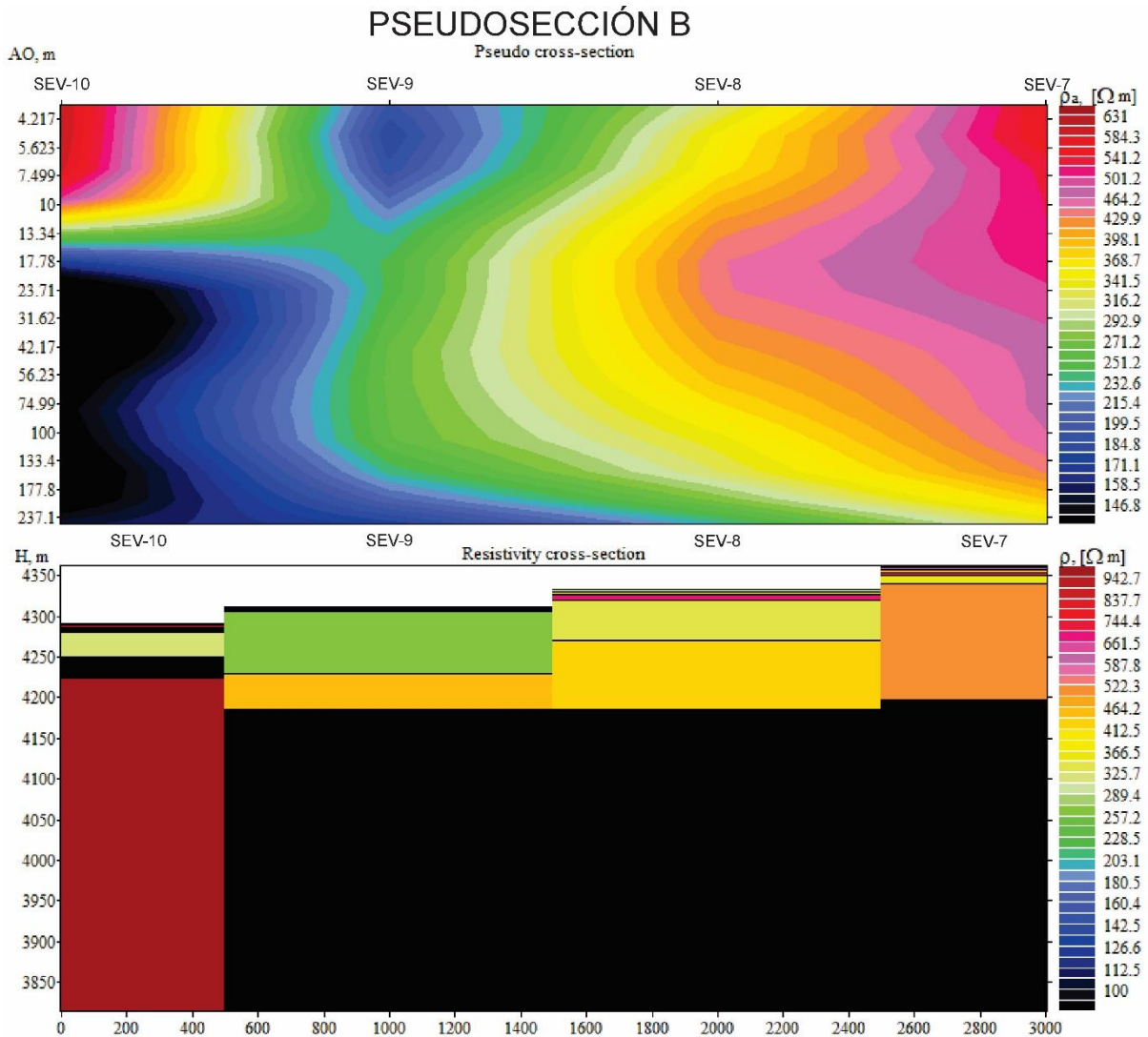


Figura 20: Pseudosección B.



CONCLUSIONES

- Los SEVs presentan características diferentes de la curva en base a la ubicación de los mismos y son correlacionables entre ellos.
- En todos los SEVs, se puede observar los primeros horizontes con resistividades moderadas/altas y corresponderían a sedimentos gruesos (tamaños grava/bloque). En estos horizontes geoelectricos no se logra observar la presencia de acuíferos de importancia.
- En los SEVs 1, 2, 7, 8, 9 y 10, subyacente al horizonte mencionado, las resistividades son bajas (10-20 Ω .m), lo cual podría corresponder a la presencia de un material gravoso, saturado en agua. La resistividad teórica de un material arenoso-gravoso saturado en agua salada es de 0.5-5 Ω .m (Fig. 4); los valores presentes del horizonte mencionado son algo mayores. Esta capa no se encuentra presente en el sector norte de la pseudosección A. Si bien las resistividades son más altas de lo que se vincula con salmueras, es factible que se encuentre alojada en sedimentos gruesos, por lo tanto, la resistividad sería mayor. Es importante mencionar que, al no hallarse obras de captación subterránea en cercanías al área de estudio, y no poder obtener valores paramétricos, se dificulta poder definir con precisión y asignarle un valor de resistividad al horizonte de interés, ya que la resistividad del horizonte está condicionada por la concentración de sales en solución y el material en el que se aloja.
- Vale la pena mencionar que, si bien la profundidad teórica de investigación del método con el arreglo Schlumberger (AB/2) fue de 250 metros, cuando la corriente llega a un horizonte geoelectrico muy conductivo con presencia de gran cantidad de iones en solución, a ésta le es muy difícil atravesar la zona de baja resistividad. Con esto, se intenta decir que puede existir un margen de error en la profundidad, ya que la corriente fue condicionada por la alta conductividad del material atravesado.



RECOMENDACIONES

- En base a los valores de resistividad obtenidos en la zona de interés, los espesores de los horizontes geoelectricos obtenidos y el conjunto de información integrada, se considera que realizar obras de extracción de salmuera son de alto riesgo, debido a que, al no poder asignarle un valor paramétrico de resistividad al horizonte de interés, no se lo puede definir con precisión.
- En la pseudosección A, solo se aprecia el horizonte de baja resistividad en SEV 1 Y 2, en donde la altura al nivel del mar a la que se encuentra el mencionado es prácticamente la misma. En el SEV-1, por debajo del acuífero, se puede apreciar un sector de alta resistividad, probablemente vinculado con el sustrato hidrogeológico.
- En la pseudosección B, debido a que el acuífero pudo observarse en todos los SEVs, se determinó que la altura sobre el nivel del mar al que se encuentra el mismo es variable, sin lograr apreciarse un gradiente.
- En base a los SEVS realizados y sus resistividades, el mejor sitio de extracción de agua con sales en solución en la pseudosección A, sería en el sector Sur del perfil, precisamente en el SEV-2. En la pseudosección B, los SEVs que presentan mejores condiciones para la presencia de iones en solución son los SEV 8 y 9. En el SEV-10, ubicado a escasos metros de la laguna, se logra apreciar la presencia del horizonte de interés a poca profundidad (31 metros), por lo que realizar una perforación en el sitio, permitiría conocer el valor real de resistividad del acuífero y su salinidad, logrando mejores interpretaciones. Al no haber podido realizar SEVs paramétricos, resulta difícil determinar con exactitud la resistividad que posee el acuífero e identificarlo con mayor precisión. Es por esto que, en caso de iniciarse una nueva obra de captación, estos serían los sitios más favorables de todos los prospectados dentro del área.
- Se recomienda, en caso de realizar la obra de extracción, realizar un perfilaje eléctrico de pozo, con el fin de obtener una mayor precisión sobre los horizontes atravesados durante la misma. Esto permitirá tomar mejores decisiones sobre el entubado y colocación de filtros según los mejores niveles en la columna. Además, es importante que se realicen los ensayos de bombeo correspondientes con el fin de conocer el caudal óptimo al momento de realizar la captación, y así evitar una sobreexplotación del acuífero.

Geól. Facundo Ariel Martinez
M.P. N° 137

Geól. Ma. Florencia Crespi
M.P. A-717



BIBLIOGRAFÍA

Aceñolaza, F., Gorustovich, S., Solis, J., 1976. El Ordovícico del río la Alumbra, departamento Tinogasta, provincia de Catamarca.

Allmendinger, R., Ramos, V., Jordán, T., Palma, M., Isacks, B., 1983. Paleogeografía y geometría estructural andina, noroeste argentino.

Allmendinger, R., Eremchuk, J., Francis, P., 1987. The Pasto Ventura pull-apart and the southward extension of the Southern Puna Plateau. Universidad Nacional de Catamarca, departamento de Geología (inédito), 13 p. Catamarca.

Alonso, R.N. Gutiérrez, R.V y Viramonte, J.G., 1984. Puna Austral - Bases para el subprovincialismo geológico de la Puna Argentina. IX Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 43-63.

Mon y Hongn, 1996. Estructura del basamento proterozoico y paleozoico inferior del norte argentino. Revista de la Asociación Geológica Argentina.

Toselli, A., 1982. Criterios de definición del metamorfismo de muy bajo grado, con especial énfasis en el perfil de Falda Ciénaga, Puna de Catamarca. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 37:205-213. Buenos Aires.

Turner, J.C.M., 1972. Puna (Leanza, A.; editor). In Simposio de Geología Regional Argentina, No. 1, Academia Nacional de Ciencias: 91-116. Córdoba.