

ESTUDIO GEOFÍSICO PARA EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS SUBTERRÁNEAS Y EN SU CASO, PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO.

Estado: Oaxaca.

Municipio: Tuxtepec

Localidad: Catarino Torres Prada



Realizó:
M.C. Valdemar Belmonte García
Ced. Prof.: 12000740

octubre/2023

Cel: 9511056286 - E-mail: belmonte.oaxaca@gmail.com

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	3
1.1.	Antecedentes	3
1.2.	Objetivo de estudio	4
1.3.	Localización del área de estudio	5
2.	ASPECTOS FÍSICOS	6
2.1.	Geología Regional	6
2.2.	Hidrología	7
3.	METODOLOGÍA	7
3.1.	Fundamentos generales de Geofísica	7
3.2.	Método de resistividad (Sondeo Eléctrico Vertical, SEV)	8
3.3.	Metodología del estudio	9
3.4.	Equipo utilizado	10
3.5.	Procesado de datos geofísicos	10
4.	RESULTADOS	11
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
6.	ANEXOS	23
6.1.	Pseudosección de resistividad	23
6.2.	Memoria técnica	24
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El presente trabajo se realizó con el propósito de caracterizar el área de influencia y **evaluar el sitio desde el punto de vista geohidrológico más favorable para el almacenamiento y transmisión de agua subterránea**, que permita abastecer del vital líquido a la población perteneciente a la población de Catarino Torres Prada, ubicado en el municipio de Tuxtepec, Oaxaca, ver **Figura 1**.

El método empleado para el estudio geofísico fue el de resistividad de corriente directa, consistió en la realización de **tres** Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) localizados en los predios de interés.

Con este estudio realizado, se elaboró un perfil litológico en el que se incorporó la información geológica y geofísica obtenida. En este estudio se alcanzó una profundidad teórica de exploración de **120m** con lo cual se pretende conocer las características del subsuelo y evaluar las posibilidades acuíferas, así como la geometría del basamento que en esta área corresponde a **roca sedimentaria de tipo conglomerado poligénico-arenisca**.

Es importante recalcar que con este tipo de estudios se investigan las posibilidades acuíferas subterráneas de la zona, pero **NO es posible cuantificar el gasto** que pueda en su caso tener un pozo profundo antes de perforarlo y hacer el aforo correspondiente, **así como garantizar la calidad de agua**. El trabajo de campo se realizó el **04 de octubre de 2023**.

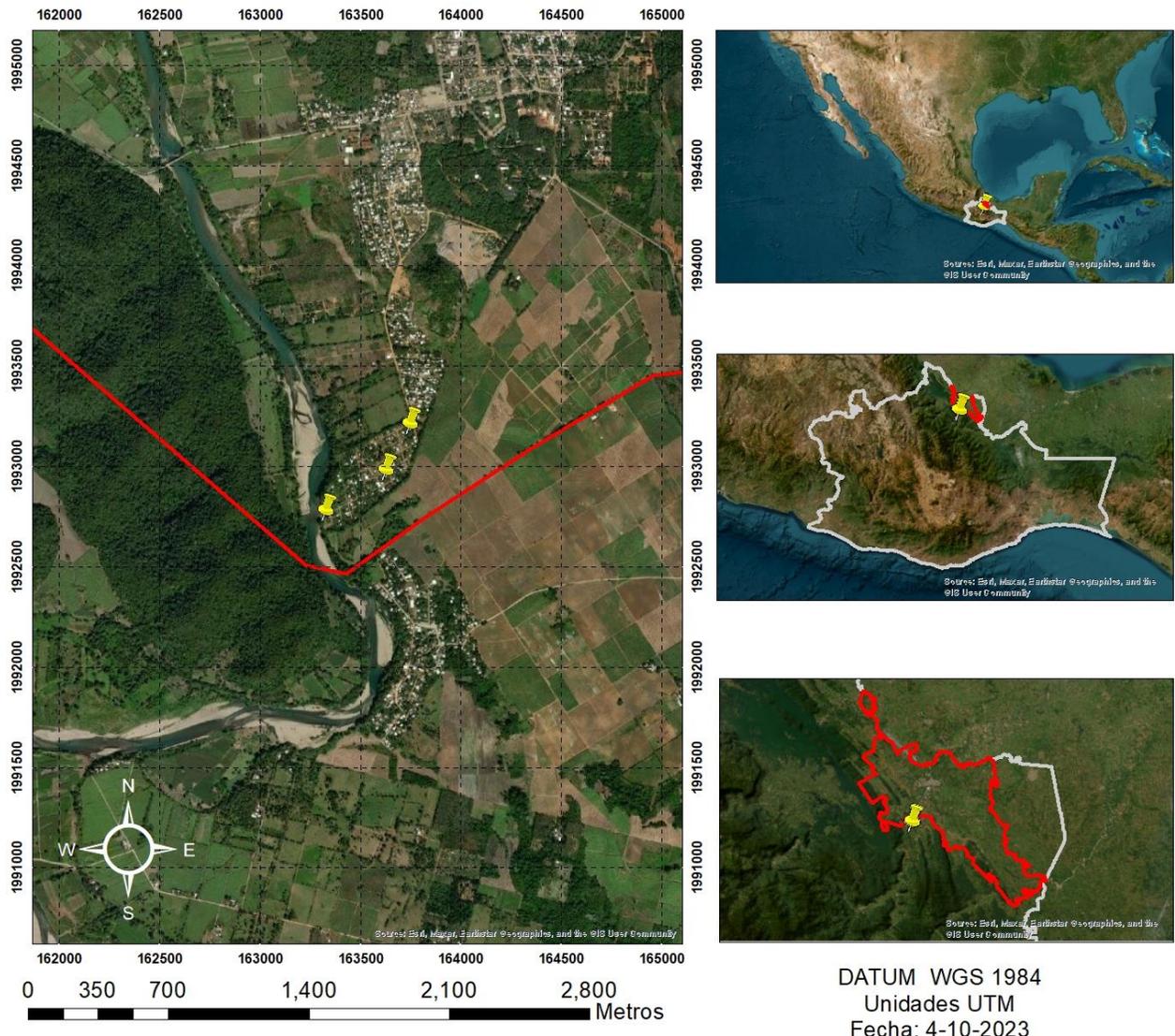


Figura 1. Plano de localización general de la zona donde se realizó el estudio geofísico con enfoque geohidrológico ubicado el municipio de Tuxtepec, Oaxaca. Con un polígono rojo se señala la extensión del municipio, con símbolos color amarillo se señalan las zonas exploradas.

Fuente: INEGI, 2012

1.2. Objetivo de estudio

El presente informe geofísico se realizó con el objetivo de caracterizar el área de influencia y evaluar el sitio geohidrológicamente más favorable que cumpla con las características de almacenamiento y transmisión de agua subterránea, que permita suministrar el vital líquido a la población de interés. Esto se llevará a cabo determinando el **espesor** de las capas permeables y los **límites** del acuífero en profundidad en caso de existir.

1.3. Localización del área de estudio.

El municipio San Juan Bautista Tuxtepec está situado al noreste del estado de Oaxaca. Forma parte del distrito 06 Tuxtepec en la región conocida como Papaloapan. Se ubica entre las coordenadas geográficas 17°48' y 18°19' de latitud norte y 95°51' y 96°19' longitud oeste, a una altura que va de los 100 a los 400 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el estado de Veracruz y el municipio de San Miguel Soyaltepec, al sur con los municipios de Santiago Jocotepec y Loma Bonita, al poniente con los municipios de Santa María Jacatepec, San Lucas Ojitlán y San José Chiltepec, al oriente con el municipio de Loma Bonita. En la **Figura 2**, se indica con mayor detalle, la ubicación específica donde se realizaron los Sondeos Eléctricos Verticales.

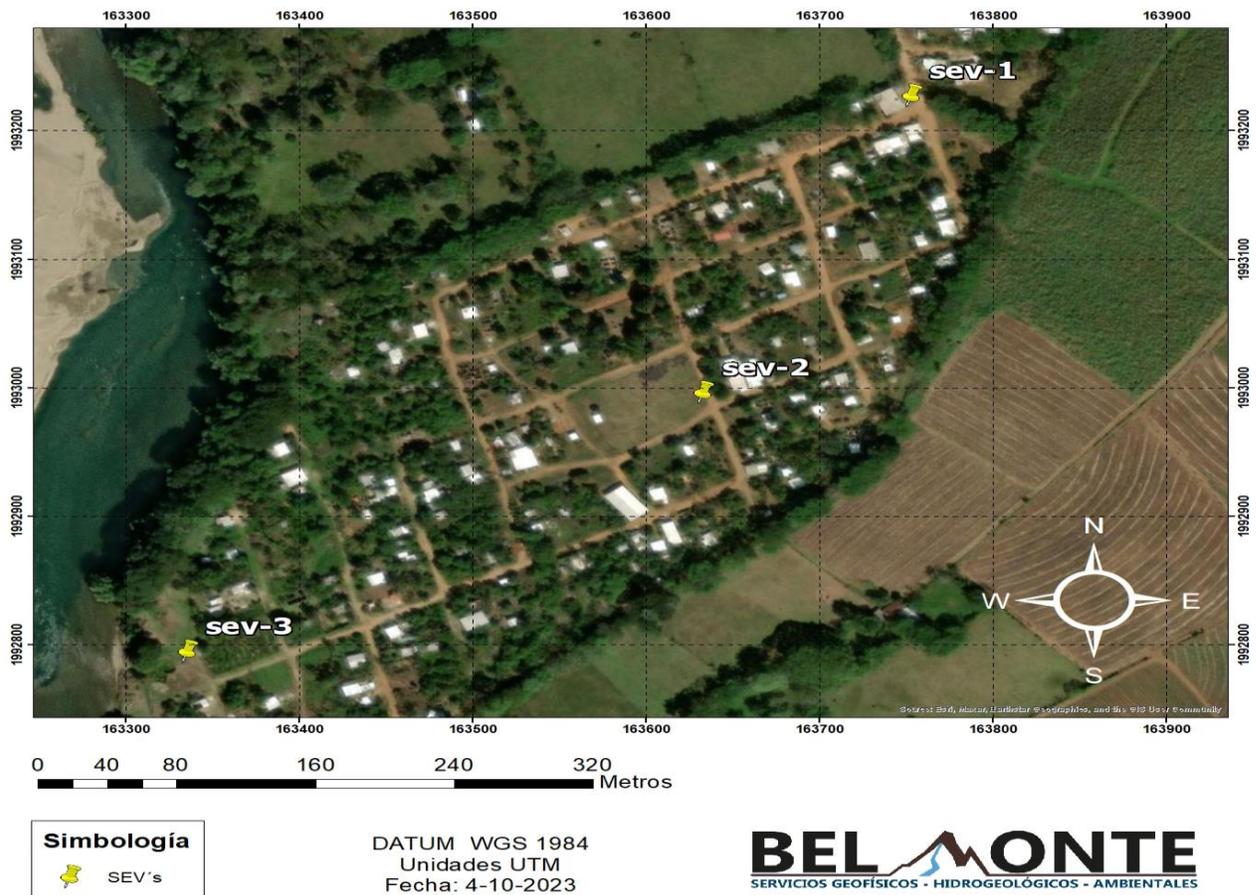


Figura 2. Ubicación delimitada del sitio en donde se efectuaron los SEV's, en los predios de interés en Catarino Torres Preda.

En la **tabla 1** se muestra la ubicación en coordenadas UTM de los puntos donde se realizaron los Sondeos Eléctricos Verticales.

Tabla 1. Coordenadas UTM y elevación del punto en donde se efectuó cada Sondeo Eléctrico Vertical.

Zona 14Q	Coordenada Este (m)	Coordenada Norte (m)	Elevación (m)
SEV 1	799163	1992627	39
SEV 2	799051	1992392	43
SEV 3	798760	1992181	26

2. ASPECTOS FÍSICOS

2.1. Geología Regional

La geología predominante en el municipio San Juan Bautista Tuxtepec está conformada por rocas de periodo Neógeno (57.35%), Cuaternario (16.17%), Paleógeno (15.16%) y Cretácico (10.21%). El principal tipo de roca que aflora en la región es de clase sedimentaria, de tipo conglomerado (46.59%), lutita-arenisca (15.16%), caliza (10.21%), arenisca (9.09%) y arenisca conglomerado (1.67%). También existe presencia de suelo aluvial (16.17%). Ver **Figura 3**.

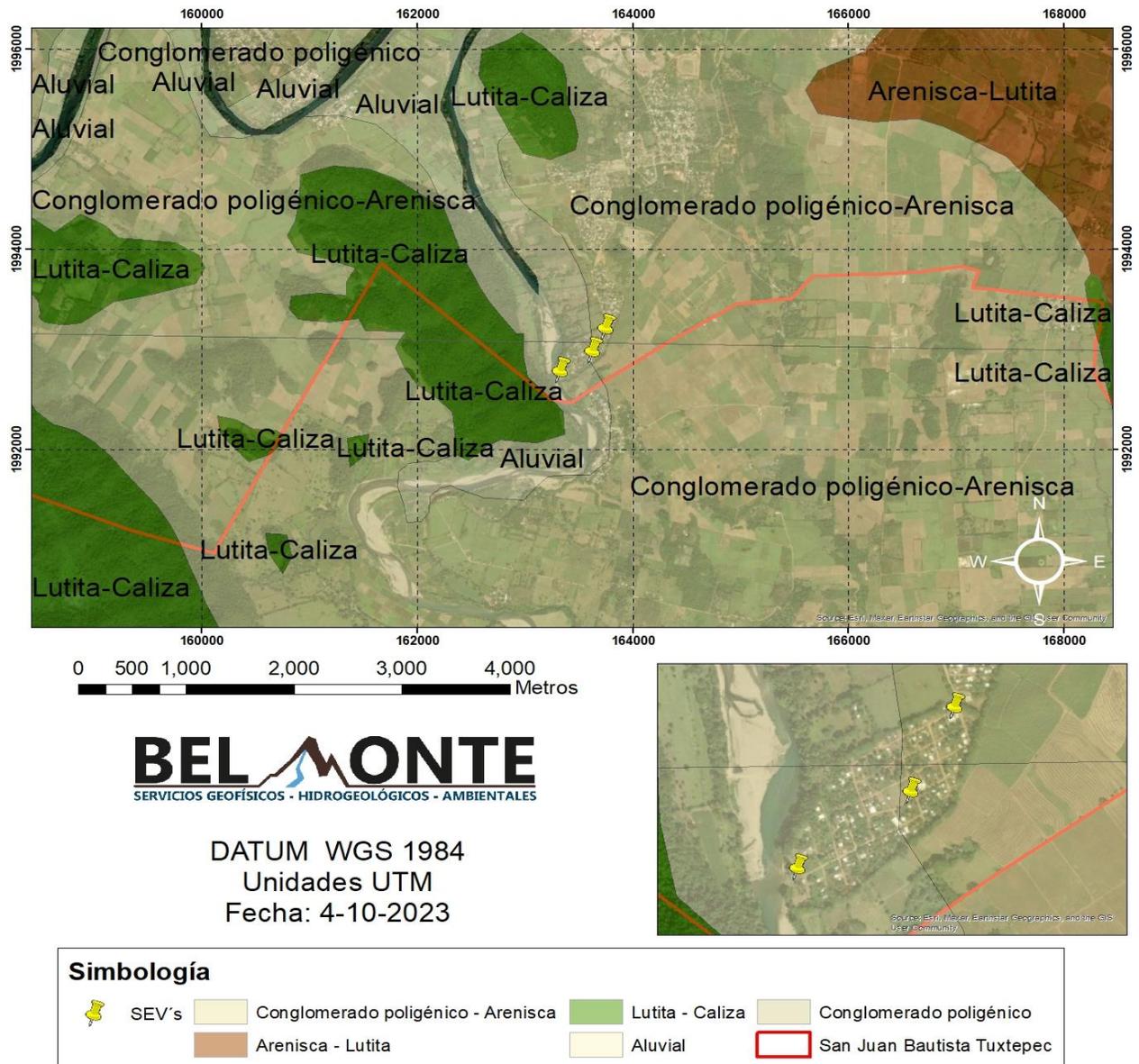


Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio escala 1:50,000m. Con un símbolo asignado color amarillo se observa la ubicación donde se efectuaron los SEV's. Se observa que toda el área de estudio se encuentra en zona de roca sedimentaria de tipo conglomerado poligénico-arenisca.

Fuente: SGM, 2000; INEGI, 2012

2.2. Hidrología

El municipio de San Juan Bautista Tuxtepec se ubica en su totalidad dentro de la región hidrológica Papaloapan. La cuenca que cubre todo el municipio es R. Papaloapan. De esta cuenca se derivan las subcuencas R. Blanco (48.02%), R. Obispo (45.43%), R. Tesechoacán (4.43%), R. Playa (1.73%) y R. Amapa (0.39%) las cuales son las únicas subcuencas que le conciernen al municipio. Cerca de la zona de estudio existen cauces de ríos perennes como Papaloapan, Tonto, Valle Nacional, Santo Domingo, Amapa, Limón, La Virgen, Obispo y Coapa lo cual es favorable para la recarga de acuíferos someros. **Figura 4.** Se observa que los puntos se encuentren cercanos a una corriente perenne que pueda significar tener un nivel freático más somero.

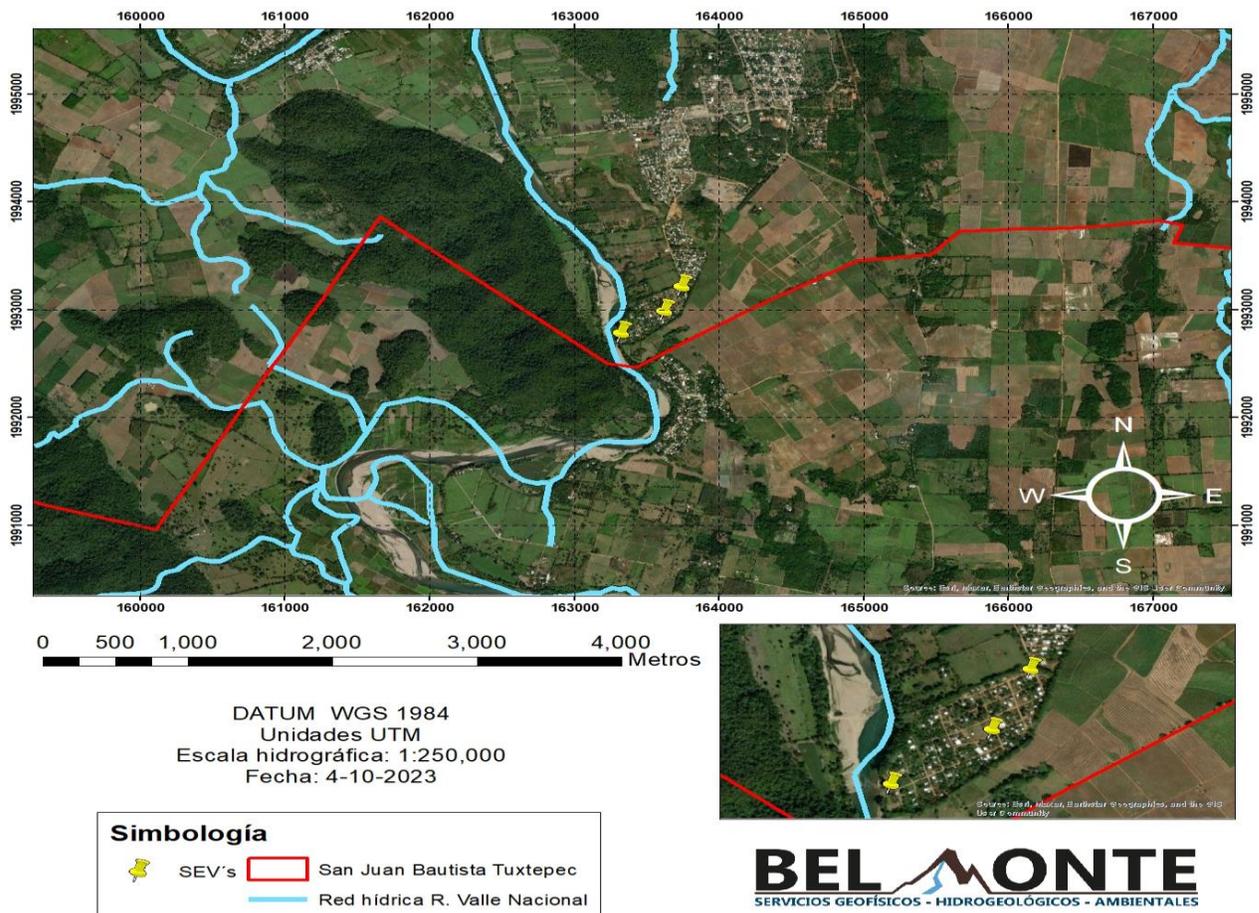


Figura 4. Mapa hidrológico de la zona de estudio escala 1:50,000 en donde se realizaron las mediciones de resistividad en Catarino Torres Preda, Oaxaca; con un símbolo color amarillo se señalan las zonas exploradas.

Fuente: INEGI, 2001

3. METODOLOGÍA

3.1. Fundamentos generales de Geofísica

La Geofísica es la ciencia que estudia los campos físicos que se encuentran involucrados en nuestro planeta. Es una rama en común con la geología y física, ya que comparte con la primera la búsqueda del

conocimiento de las características de la Tierra, y con la segunda, la aplicación de métodos, técnicas y principios de carácter indirecto que son amigables con el medio ambiente, para cuantificar las diversas propiedades físicas del subsuelo y de la Tierra para así poder determinar su distribución espacial, ejemplo de ellos es la densidad, campo magnético, conductividad eléctrica, velocidad de transmisión de ondas elásticas, etc. La finalidad de la geofísica de exploración es la de separar zonas que aparecen como estériles de las que presentan posibilidades de contener yacimientos económicamente explotables y/o que muestren alguna característica de interés para el proyecto planteado.

La selección del método geofísico apropiado para una campaña de exploración depende del objetivo del estudio, de las características de las estructuras geológicas y las condiciones del terreno. La interpretación de los datos geofísicos consta de 2 niveles, primero la modelación matemática en el que se definen las combinaciones de valores de la propiedad que se mide y de la geometría de las estructuras del subsuelo coherentes con las mediciones realizadas en el terreno, y segundo, la interpretación de los modelos en términos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos, etc.

3.2. Método de resistividad (Sondeo Eléctrico Vertical, SEV)

Los métodos de resistividad de corriente directa (DC) son eficaces cuando existen contrastes significativos en las propiedades eléctricas de las rocas. Éstos utilizan fuentes artificiales de corriente para producir un campo de potencial eléctrico en el subsuelo. La frecuencia de la corriente continua de la fuente es cero, es decir, no varía con el tiempo. Conociendo la corriente introducida a través de los electrodos fuente y la configuración geométrica electródica se puede determinar la distribución espacial de la resistividad (o su recíproco, la conductividad) en el subsuelo. Como el objetivo es encontrar agua subterránea, se utilizó el método eléctrico de corriente directa conocido como arreglo Schlumberger en su variante de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) ya que es el más adecuado para cumplir el objetivo propuesto, esto debido a que este arreglo logra obtener mejor sensibilidad para encontrar anchura, profundidad, espesor y resistividad de los cuerpos a grandes profundidades en comparación con otros arreglos eléctricos como lo es el Dipolo-Dipolo y Wenner.

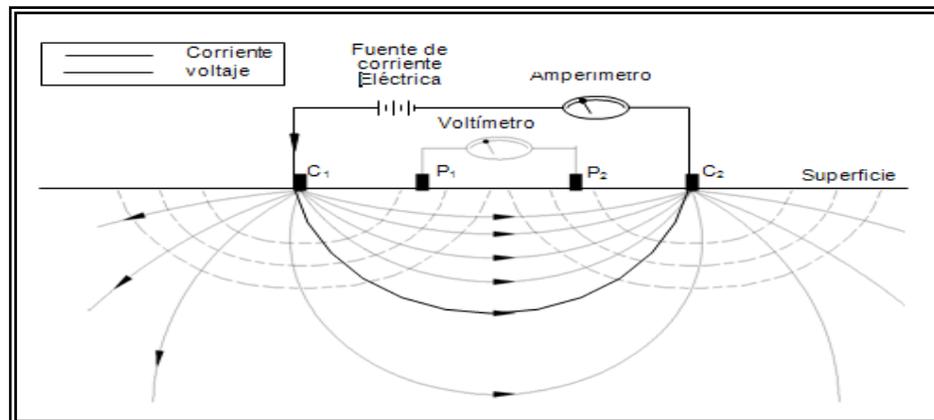


Figura 5. Diagrama que indica la forma de medir la resistividad en campo. C1 y C2 son electrodos de corriente, P1 y P2 electrodos de potencial.

El arreglo Schlumberger consta de cuatro electrodos colineales. Los dos electrodos exteriores actúan como fuente (C1-C2) inyectando corriente eléctrica y los dos electrodos interiores actúan como receptores midiendo el potencial eléctrico (P1-P2). La **Figura 5** se muestra un esquema de la disposición de los electrodos en campo.

Los electrodos de potencial se instalan en el centro del arreglo con una pequeña separación entre ellos en comparación con los electrodos de corriente, $(C1-C2) / 2 \gg 5 (P1-P2)$. Los electrodos de corriente incrementan su separación durante el estudio para lograr alcanzar mayor profundidad de exploración, mientras que los electrodos de potencial permanecen en la misma posición hasta que el voltaje observado se vuelve demasiado pequeño para medir, por lo que es necesario cambiarlos a una posición más cercana a los electrodos de corriente.

Finalmente conociendo la corriente inyectada, el potencial medido y la distribución geométrica de los electrodos se puede conocer el valor de la resistividad aparente en el subsuelo.

El valor de resistividad aparente obtenido en campo es graficada en escala bi-logarítmica debido al rango tan grande que existe entre los valores de resistividad de las rocas y minerales en el subsuelo (0.1 Ω -m hasta más de 1,000,000 Ω -m) de donde se obtiene un modelo de capas inicial de la tierra, el cual sirve para iniciar iterativamente el modelado directo con un software que calcula un nuevo modelo de resistividad real a partir de la resistividad aparente, esto sucede al resolver la ecuación diferencial que rige el flujo de la corriente eléctrica en medios estratificados.

El resultado final es un modelo geoelectrico del subsuelo para cada sondeo, definido por espesores y resistividad de las capas interpretadas. Los modelos geoelectricos se correlacionan considerando la información de la zona como son la geología local, presencia de pozos, ríos o cuerpos de agua cercanos, registros eléctricos de pozos en su caso, así como estudios anteriores en caso de existir.

3.3. Metodología del estudio

El estudio consistió en interpretación geológica, hidrogeológica, observación en campo, medición de los datos geofísicos e interpretación de los resultados obtenidos. Para el caso de los trabajos geológicos, se analizaron mapas geológicos, para el caso de hidrogeológicos se utilizó un simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas. Los trabajos de geofísica consistieron en la realización de **tres** sondeos eléctricos verticales (SEV) que proporcionó información de la geometría, propiedades geohidrológicas del subsuelo y estructuras geológicas a profundidad que fueron correlacionadas con información disponible del área a nivel regional.

Este tipo de estudios tienen naturalmente limitaciones al ser estudios indirectos, aunque son valiosos al proporcionar información para tomar decisiones en la ubicación de sitios con mayores posibilidades hídricas para realizar pozos exploratorios o bien, no recomendarlos. También este tipo de estudios no pueden tomarse como indicadores de la cantidad de agua que puede aportar un sistema acuífero, sino hasta después de perforar un pozo exploratorio y aforarlo.

3.4. Equipo utilizado

El equipo de resistividad usado consta de un transmisor de corriente directa (CD), cuya fuente es un generador de corriente alterna (CA) que se rectifica para convertirla en CD e inyectarla al subsuelo o una batería de automóvil de 12V (CD). Un receptor de alta impedancia de entrada y electrodos impolarizables complementan el equipo básico de exploración. La **Figura 6** muestra el equipo utilizado para las mediciones de resistividad del subsuelo.



Figura 6. Equipo de resistividad utilizado para realizar el estudio geofísico de corriente directa (SEV).

3.5. Procesado de datos geofísicos

Los datos de los SEV's se procesaron con un software de modelado directo de datos geofísicos que genera modelos de capas del subsuelo en una dimensión, y a partir de la interpolación de estos modelos generamos una sección bidimensional en donde se puede observar la profundidad y valores de resistividad verdaderos de la estratigrafía del subsuelo. El software utilizado es el ZONDIP1D (2012).

En el sitio donde se realizó el SEV-1 se infirieron 8 unidades geoeléctricas con base a la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, ver **Figura 8**.

La primera capa tiene una resistividad de **221Ω•m** y un espesor de 1m, está asociada a suelo residual.

La segunda capa tiene una resistividad de **284Ω•m** que se refiere a un horizonte de 9m de espesor asociado a conglomerado poligénico-arenisca con boleos.

La tercera capa contiene un espesor de aproximadamente 4m y tiene una resistividad de **99Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca de matriz arcillosa con posible presencia de humedad.

La cuarta capa comienza a una profundidad de 14m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca de matriz arcillosa, su espesor es aproximadamente de 32m y tiene una resistividad de **52Ω•m**.

La quinta capa tiene una resistividad de **46Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca fracturada con posible presencia de humedad, comienza a los 46m de profundidad y tiene un espesor de 6m.

La sexta capa comienza a una profundidad de 52m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca, su espesor es aproximadamente de 22m y tiene una resistividad de **87Ω•m**.

La séptima capa tiene una resistividad de **69Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca fracturada con posible presencia de humedad, comienza a los 74m de profundidad y tiene un espesor de 12m.

La octava capa se asocia a conglomerado poligénico-arenisca compacta, tiene una resistividad de **244Ω•m**, y comienza a los 86m de profundidad aproximadamente, sirve como basamento geohidrológico. Ver **figura 11**.

Tabla A1. Profundidades resultantes por el modelo con su respectiva resistividad del SEV-1. Donde, N= Número de capa, ρ= Resistividad (Ohm-m), h= Espesor (m), z=Profundidad donde inicia la capa (m).

N	ρ	h	z
1	221	1	0
2	284	9	1
3	99	4	10
4	52	32	14
5	41	6	46
6	87	22	52
7	69	12	74
8	244		86

Modelo de capas SEV-1 Error RMS=21.3%

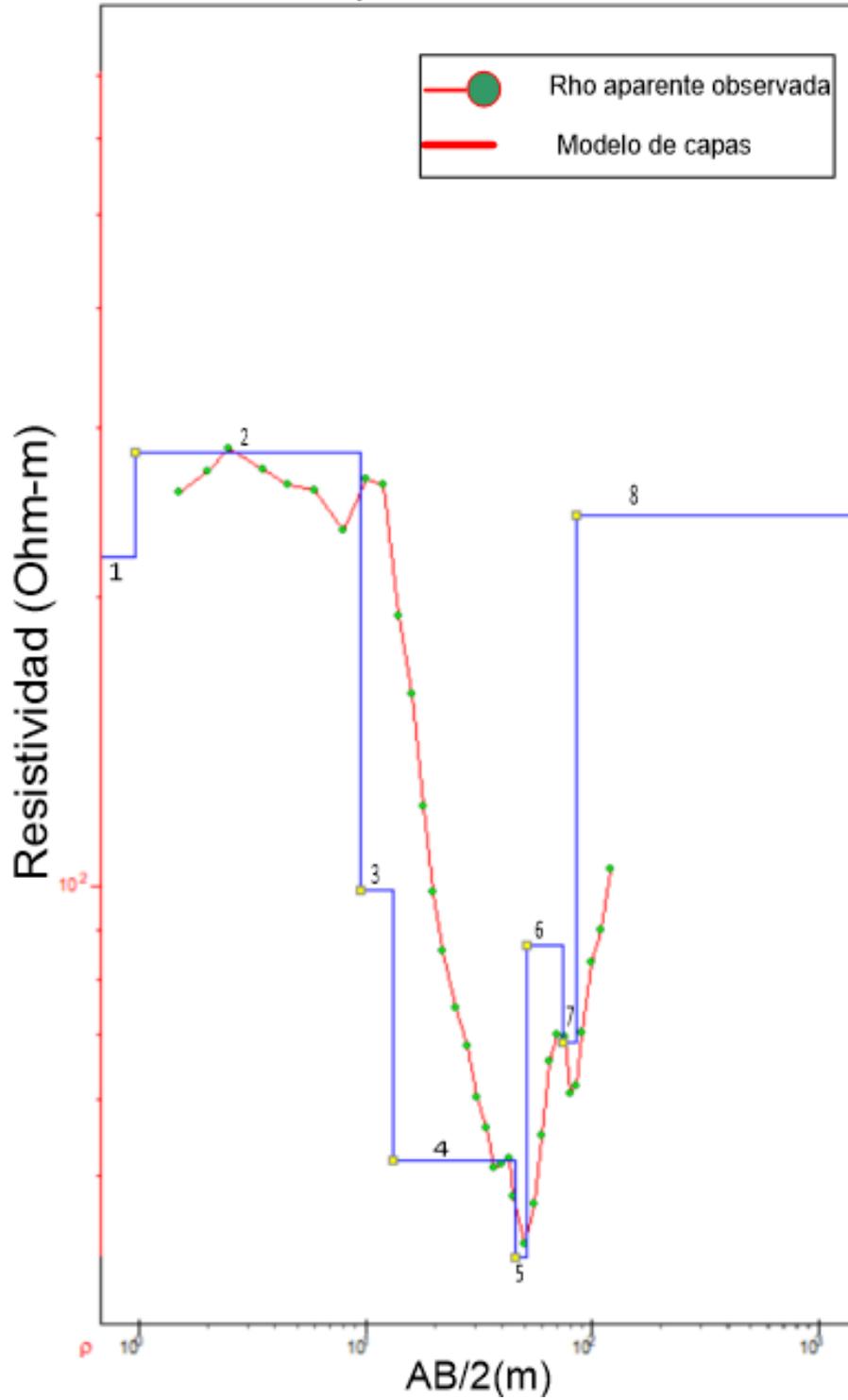


Figura 8. Modelo de capas SEV-1 y resistividad aparente observada en campo.

En el sitio donde se realizó el SEV-2 se infirieron 8 unidades geoeléctricas con base a la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, ver **Figura 9**.

La primera capa tiene una resistividad de **687Ω•m** y un espesor de 3m, está asociada a suelo residual.

La segunda capa tiene una resistividad de **358Ω•m** que se refiere a un horizonte de 4m de espesor asociado a conglomerado poligénico-arenisca con boleos.

La tercera capa contiene un espesor de aproximadamente 5m y tiene una resistividad de **195Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca de matriz arcillosa con posible presencia de humedad.

La cuarta capa comienza a una profundidad de 103m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca de matriz arcillosa, su espesor es aproximadamente de 22m y tiene una resistividad de **103Ω•m**.

La quinta capa tiene una resistividad de **93Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca fracturada con posible presencia de humedad, comienza a los 34m de profundidad y tiene un espesor de 8m.

La sexta capa comienza a una profundidad de 42m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca, su espesor es aproximadamente de 12m y tiene una resistividad de **143Ω•m**.

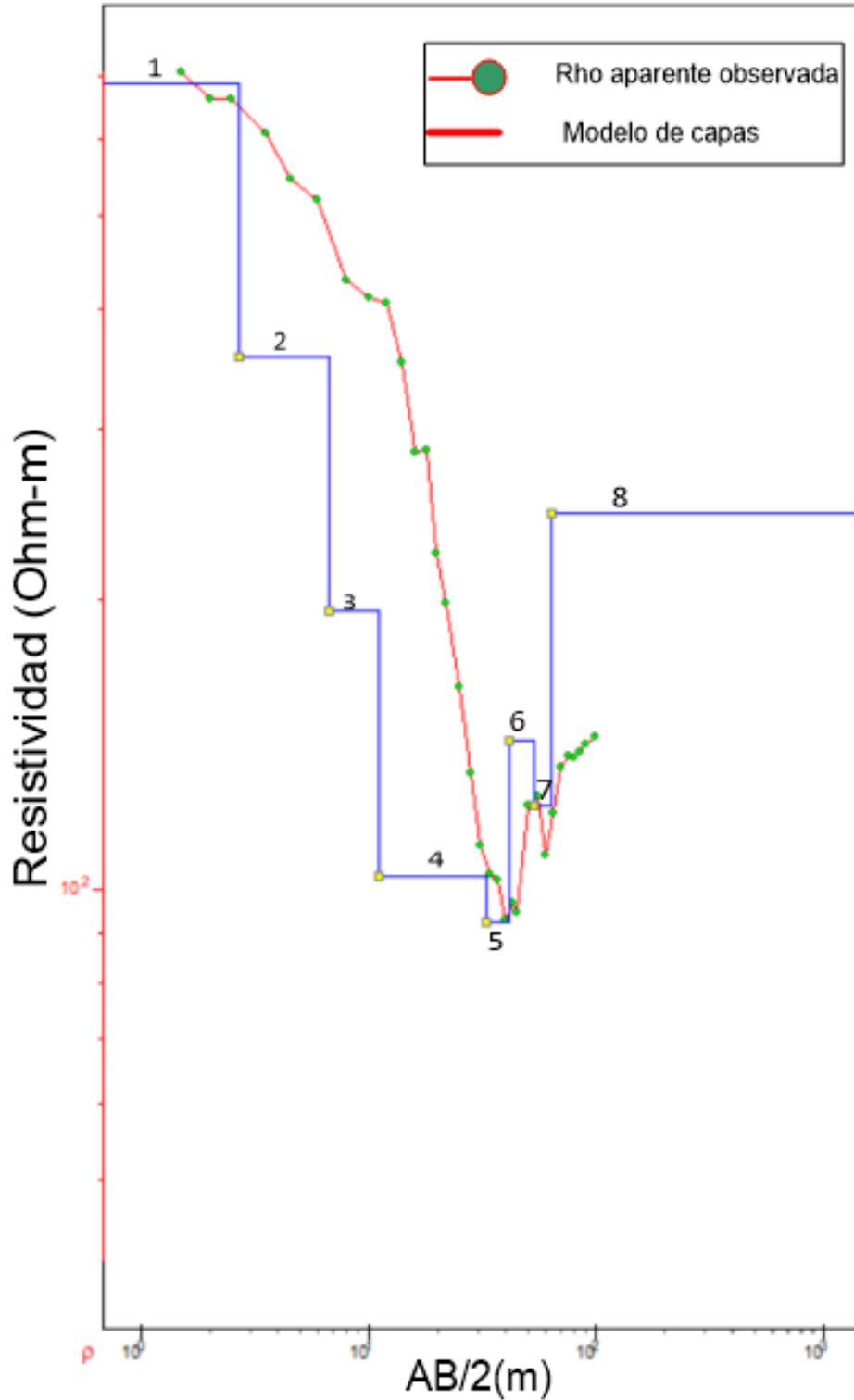
La séptima capa tiene una resistividad de **122Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca fracturada con posible presencia de humedad, comienza a los 54m de profundidad y tiene un espesor de 10m.

La octava capa se asocia a conglomerado poligénico-arenisca compacta, tiene una resistividad de **246Ω•m**, y comienza a los 64m de profundidad aproximadamente, sirve como basamento geohidrológico. Ver **figura 11**.

Tabla A2. Profundidades resultantes por el modelo con su respectiva resistividad del SEV-2. Donde, N= Número de capa, ρ= Resistividad (Ohm-m), h= Espesor (m), z=Profundidad donde inicia la capa (m).

N	ρ	h	z
1	687	3	0
2	358	4	3
3	195	5	7
4	103	22	12
5	93	8	34
6	143	12	42
7	122	10	54
8	246		64

Modelo de capas SEV-2 Error RMS=10.4%



En el sitio donde se realizó el SEV-3 se infirieron 8 unidades geoeléctricas con base a la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, ver **Figura 10**.

La primera capa tiene una resistividad de **96Ω•m** y un espesor de 2m, está asociada a suelo residual.

La segunda capa tiene una resistividad de **79Ω•m** que se refiere a un horizonte de 4m de espesor asociado a arenas-gravas-boleos.

La tercera capa contiene un espesor de aproximadamente 75m y tiene una resistividad de **75Ω•m** asociada a arenas-gravas-boleos con posible presencia de humedad.

La cuarta capa comienza a una profundidad de 8m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca, su espesor es aproximadamente de 9m y tiene una resistividad de **89Ω•m**.

La quinta capa tiene una resistividad de **66Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca fracturada con posible presencia de humedad, comienza a los 17m de profundidad y tiene un espesor de 4m.

La sexta capa comienza a una profundidad de 21m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca, su espesor es aproximadamente de 22m y tiene una resistividad de **113Ω•m**.

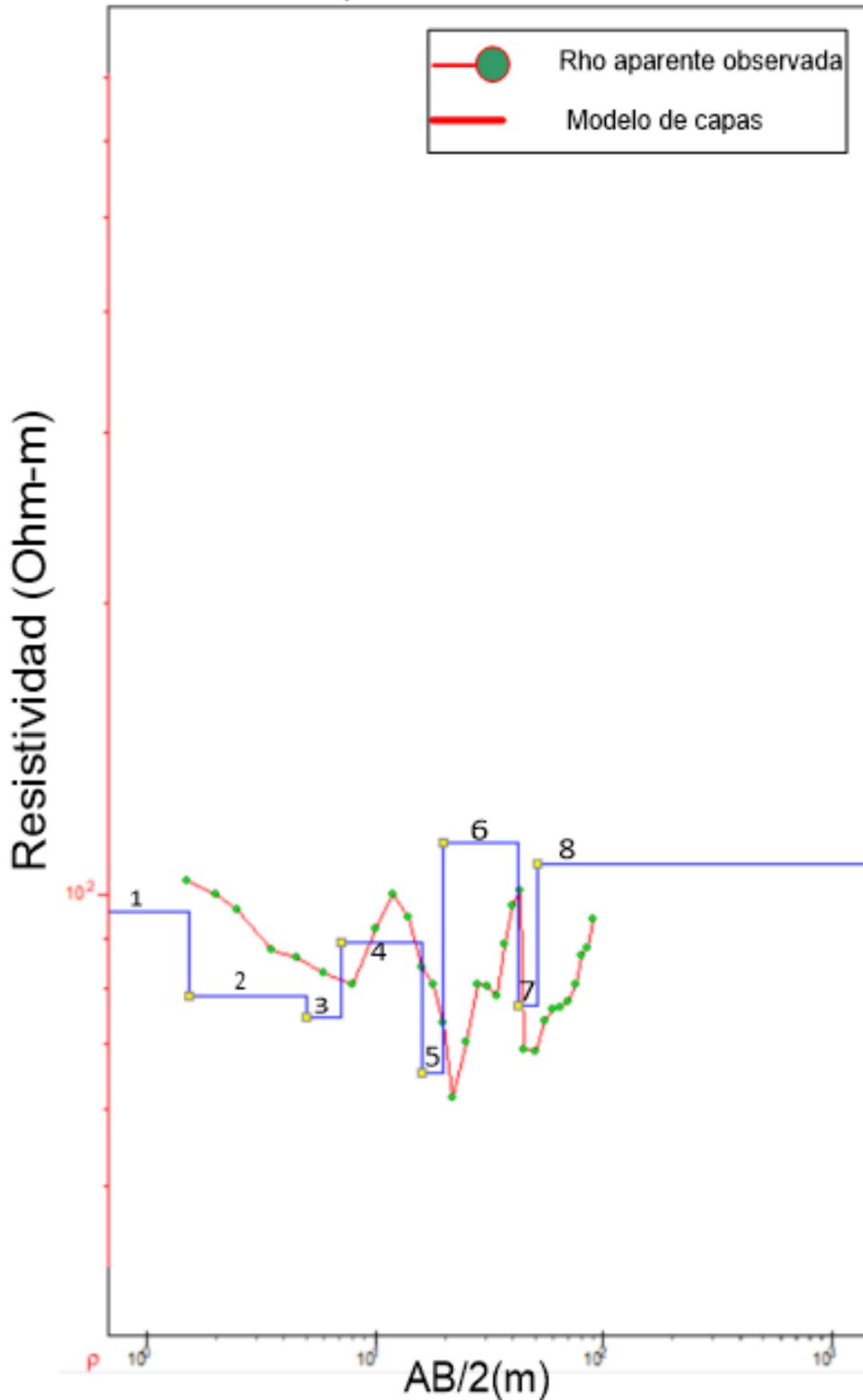
La séptima capa tiene una resistividad de **77Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca fracturada con posible presencia de humedad, comienza a los 43m de profundidad y tiene un espesor de 10m.

La octava capa se asocia a conglomerado poligénico-arenisca compacta, tiene una resistividad de **108Ω•m**, y comienza a los 53m de profundidad aproximadamente, sirve como basamento geohidrológico. Ver **figura 11**.

Tabla A2. Profundidades resultantes por el modelo con su respectiva resistividad del SEV-3. Donde, N= Número de capa, ρ= Resistividad (Ohm-m), h= Espesor (m), z=Profundidad donde inicia la capa (m).

N	ρ	h	z
1	96	2	0
2	79	4	2
3	75	2	6
4	89	9	8
5	66	4	17
6	113	22	21
7	77	10	43
8	108		53

Modelo de capas SEV-3 Error RMS=14.2%



La **figura 11** muestra la comparación de los sondeos eléctricos verticales realizados. Se observa el sondeo 3 principalmente observa anomalías con probabilidad de agua hasta una profundidad máxima de 60m.

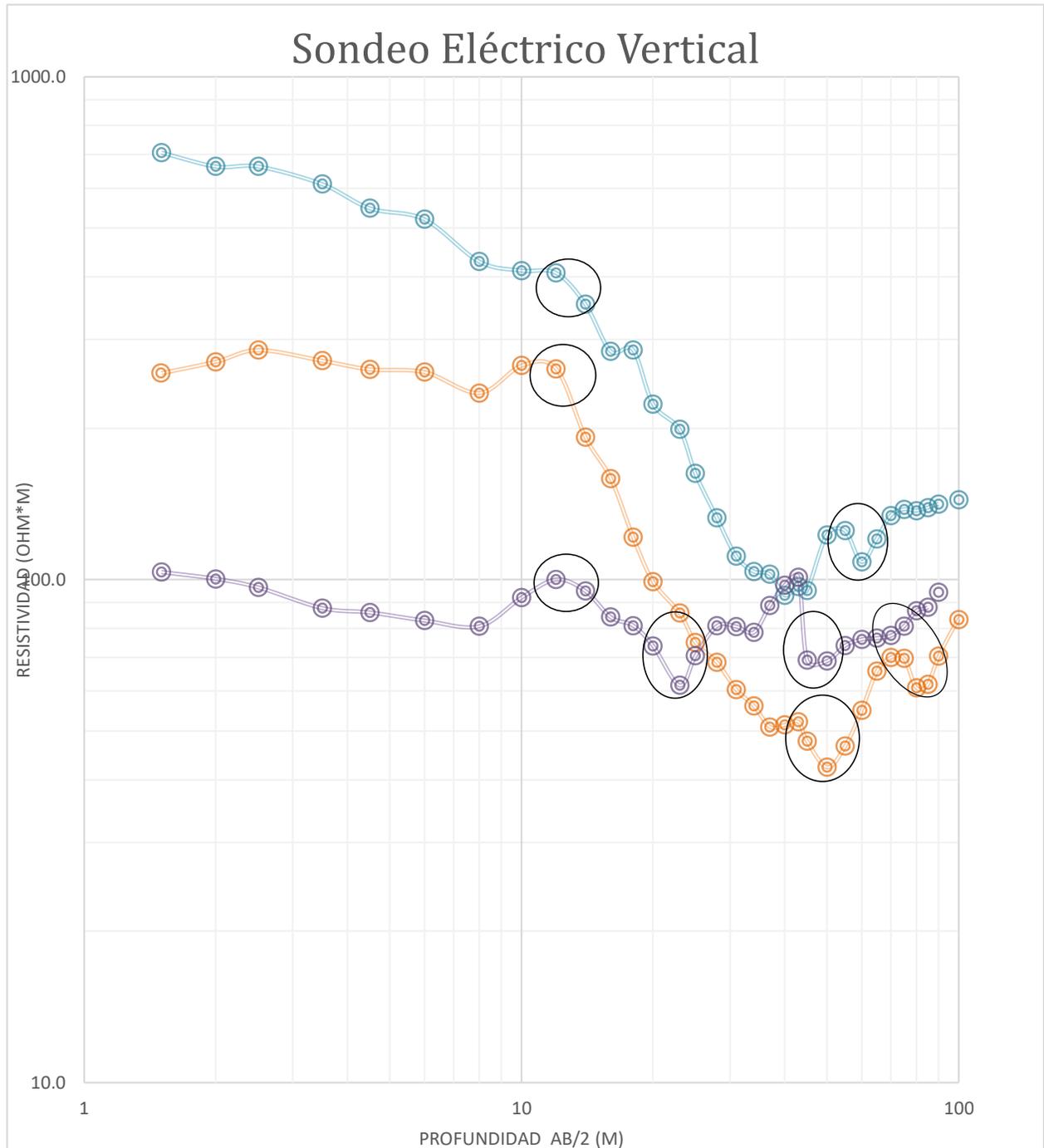


Figura 10. Comparación de los 3 Sondeos realizados. De color naranja se muestra el SEV-1, de color azul el SEV-2 y de morado el SEV-3. Con óvalos se señalan zonas con posibilidad hídrica.

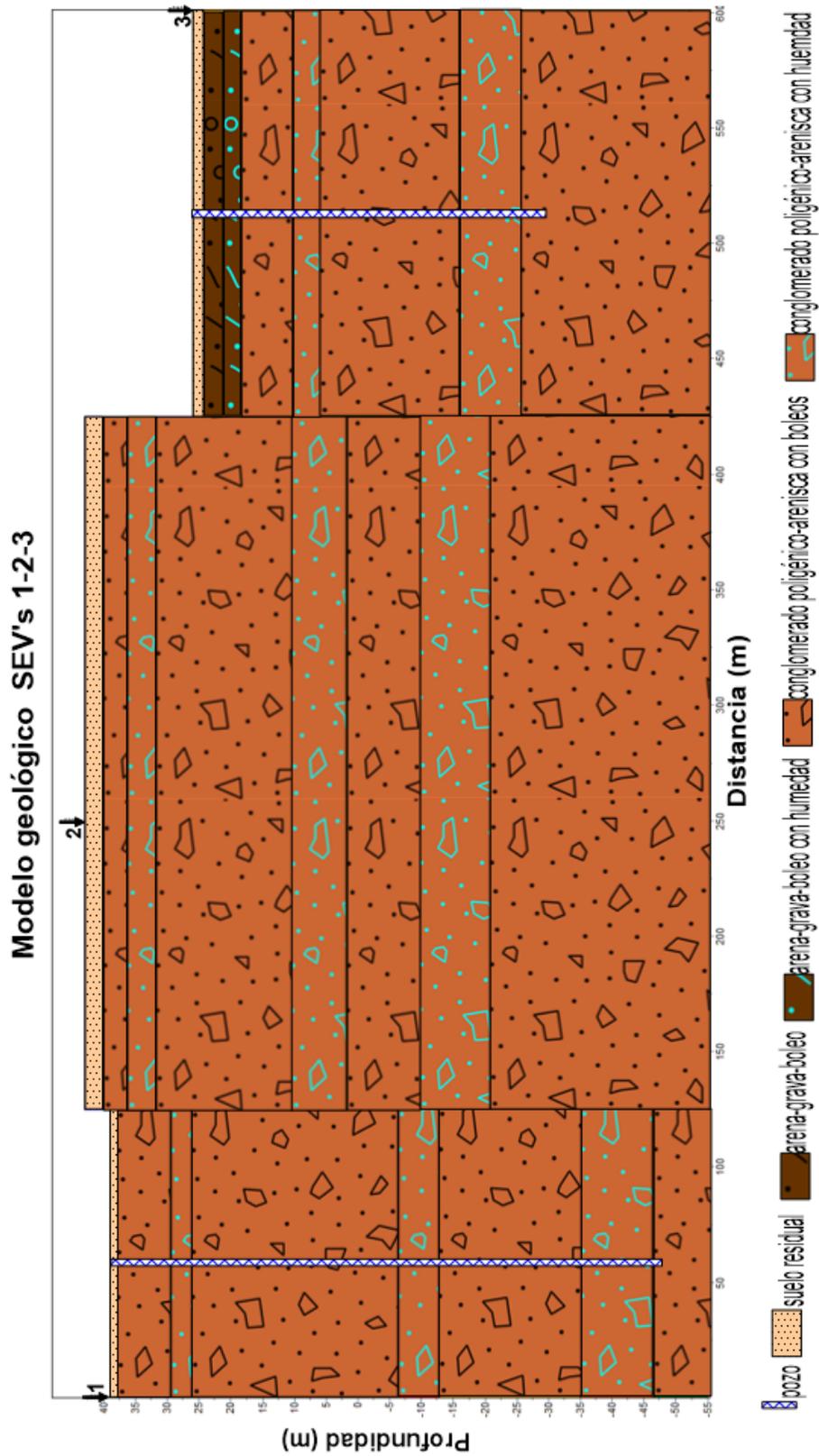


Figura 11. Sección geológica inferida a partir de los 3 SEV's realizados.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos por los estudios de geofísica, se puede concluir geohidrológicamente como **regular** a la zona donde se realizaron los sondeos, ya que está compuesta por materiales de origen sedimentario, estos materiales son permeables en los horizontes de mayor contenido de rocas pocas consolidadas y de mayor tamaño de grano como arenas de grano grande. Gravitas y boleas, además de las zonas de fractura de la roca sedimentaria de tipo conglomerado poligénico-arenisca, por lo que el flujo de agua será mayormente en estas zonas existiendo factibilidad en posibilidades hídricas señalados en la **Figura 11**.

Subyaciendo la capa fracturada se encuentra la presencia de roca la misma roca que funge como basamento geológico, es decir, roca compacta con muy baja o nula porosidad y permeabilidad. El acuífero es libre ya que el agua fluye a través de los poros de la roca sedimentaria y se esperan **gastos regulares** por el tipo de material presente, y se vuelve impermeable en las zonas sin fractura o de mayor contenido de limos y arcillas. De no haber otras alternativas de abastecimiento, se sugiere hacer una perforación exploratoria de la siguiente manera:

Como primera opción perforar en el sitio del SEV-1 a **90m de profundidad**.

Como segunda opción perforar en el sitio del SEV-3 a **60m de profundidad**.

Con base en la clasificación de dureza de las rocas se consideran tres tipos de materiales, denominados 'I', 'II' y 'III', correspondiendo el primero a los más blandos, y el último, a los más duros. Conforme a los resultados expuestos se determina que la dureza de los materiales corresponde a tipo II para el conglomerado-arenisca, será tipo I para el suelo aluvial y tipo III para los boleas de gran tamaño. (CNA, 2012)

Figura 12.

Material tipo I	Material tipo II	Material tipo III
Arcillas	Lutitas	Ortoquarcitas
Limos	Limolitas	Metacuarcitas
Arenas	Areniscas	Bloques y cantos rodados (mayores a 20 cm)
Gravitas (menores a 5 cm)	Clásticos gruesos (5 a 20 cm)	Pedernal
Creta y tufa	Conglomerados y brechas	Rocas ígneas extrusivas
Sanas	5	5
Yeso	Calizas, dolomías y travertinos	Rocas ígneas intrusivas
Sanas	3	5
Diatomitas	Anhidrita	Gneis
Carbón	Tezontle	Corneanas
Cenizas volcánicas	Tobas	
Perlita y retinita	Rocas ígneas extrusivas alteradas	
Pumita o toba pumíticas	Rocas ígneas intrusivas alteradas	
Tocas alteradas	Vidrio volcánico	
Rocas metamórficas alteradas	Rocas metamórficas (excepto metacuarcita, gneis y corneanas)	

Figura 12. Clasificación de suelos y rocas para estimaciones de trabajos de perforación.

Por lo cual se recomienda utilizar una máquina perforadora **rotaria** o **percusión** para poder penetrar a través de los materiales antes mencionados, ya que en varios horizontes tienen un comportamiento muy compacto. **En dado caso de encontrarse con roca sana, será preferible detener la perforación hasta la profundidad alcanzada.**

El sitio final se deberá elegir tomando en cuenta aspectos de disponibilidad de la infraestructura (acceso, energía eléctrica, etc.). Durante la perforación se deberá analizar la muestra de roca, y en caso de estar sanas se deberá detener la perforación.

Al terminar la perforación y antes de ademar en su caso el pozo, se recomienda hacer un **registro eléctrico** (de resistividad y potencial natural), para conocer las posibilidades reales de las formaciones geológicas en cuanto a su permeabilidad y saber si se debe parar la perforación o aumentar algunos metros si existe respuesta favorable. Del mismo modo, **se recomienda efectuar un análisis de la calidad del agua** y monitorearlo de manera permanente para evaluar algún problema eventual de contaminación.

Para elegir correctamente el diámetro del ademe se deben satisfacer dos necesidades principales: Que exista un espacio suficiente para el alojamiento de la bomba y un espacio libre que permita su instalación y mantenimiento. La siguiente tabla de CONAGUA muestra de la cantidad máxima de agua que puede fluir del pozo desde una tubería con diámetro conocido. El diámetro del ademe debe tener un espacio libre que garantice la buena eficiencia hidráulica del aprovechamiento en operación.

El diámetro se determina de acuerdo al tamaño de la bomba por utilizar, que es función del gasto y la potencia requerida. De forma general, se recomienda que el diámetro del tubo del ademe sea 5 cm (2") mayor que el diámetro nominal de la Bomba requerida. En la **Tabla 2** se muestran algunas recomendaciones para determinar el diámetro del ademe en función del gasto que se espera obtener y en la **Tabla 3** se presentan las máximas descargas de acuerdo a los diámetros del tubo de ademe.

TABLA 2. Diámetro del ademe en función al gasto esperado.

Gasto esperado (L/s)	Diámetro nominal de tazonos de bomba (mm)	Medida óptima del diámetro del ademe (mm) (pulg.)	Medida mínima del diámetro del ademe (mm) (pulg.)
Menos de 6	102	(152) Di (6")	(127) Di (5")
5 a 11	127	(203) Di (8")	(152) Di (6")
10 a 22	152	(254) Di (10")	(203) Di (8")
20 a 44	203	(305) Di (12")	(254) Di (10")
30 a 60	254	(356) DE (14")	(305) Di (12")
50 a 115	305	(406) DE (16")	(356) DE (14")
75 a 190	356	(508) DE (20")	(406) DE (16")
125 a 240	406	(610) DE (24")	(508) DE (20")
190 a 380	508	(782) DE (30")	(610) DE (24")

DI: diámetro interior, DE: diámetro exterior

TABLA 3. Descarga máxima a partir del diámetro estándar del ademe

Medida del ademe (mm)	Pulg.	Descarga máxima (L/s)
(102)	(4")	13
(127)	(5")	20
(152)	(6")	28
(203)	(8")	49
(254)	(10")	78
(305)	(12")	111
(337)	(14")	136
(387)	(16")	180
(439)	(18")	230
(489)	(20")	286
(591)	(24")	418

6. ANEXOS

6.1. Pseudosección de resistividad

La representación de los datos tomados en campo genera una pseudo-sección de resistividad aparente contra pseudo-profundidad, ver Figura A1. Este tipo de mapas sirve para ver coherencia en los datos, sin embargo, no tiene que ver nada con la realidad del subsuelo, ya que el punto de atribución se da a 45° de distancia entre transmisor y receptor, y no necesariamente ocurre esto en el interior de la tierra. Es necesario aplicar técnicas de inversión de datos para obtener el valor y posición verdadera de la distribución de la resistividad del subsuelo. En este trabajo la sección resultante es muy similar a la pseudosección, esto indica que la respuesta del modelo generado por el software es confiable y genera más certidumbre.

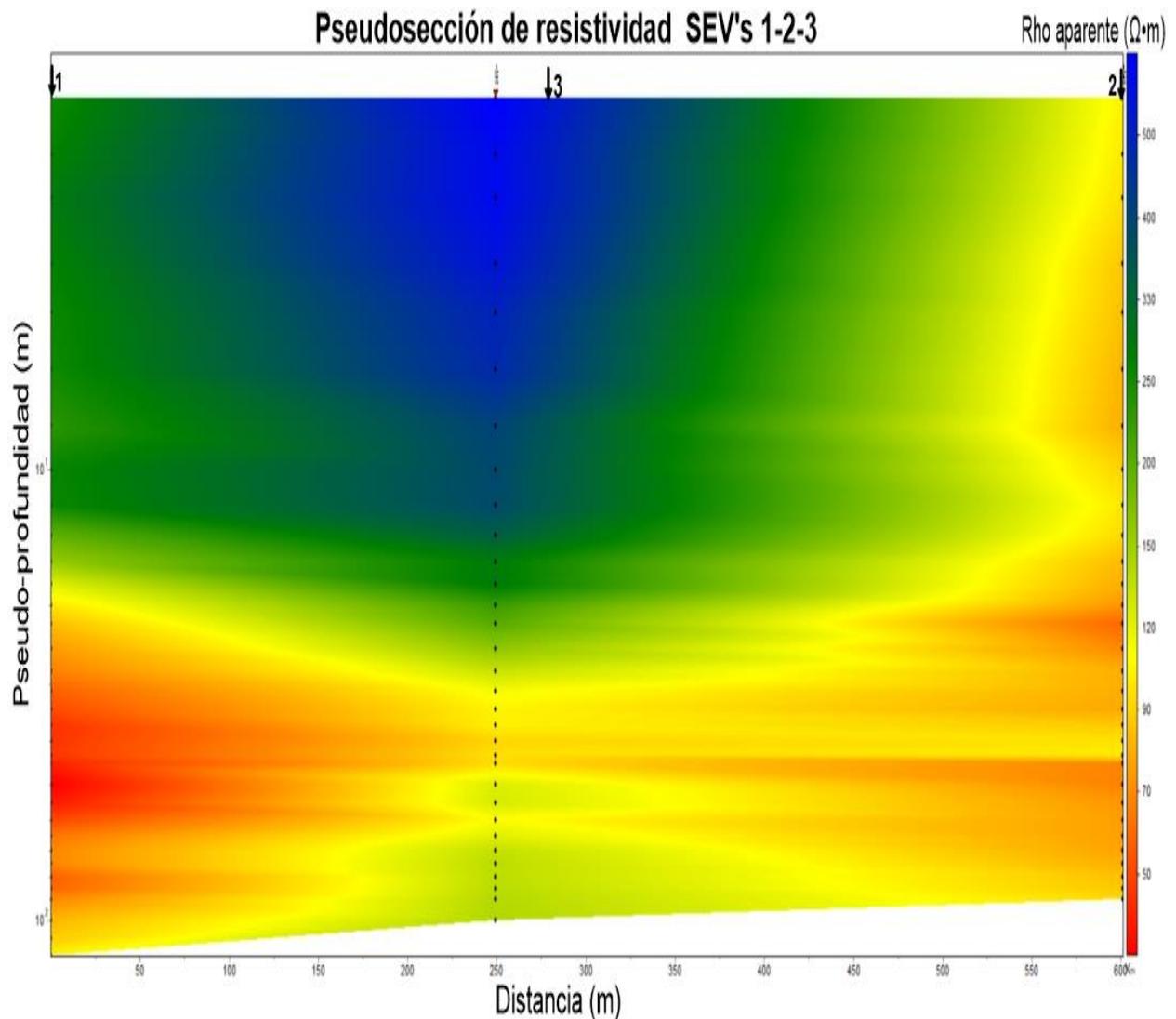


Figura A1. Pseudosección de resistividad aparente. De rojo se observan los materiales más conductores y de azul los más resistentes que se asocian a materiales más duros e impermeables. Con puntos negros se observa la profundidad teórica alcanzada en cada medición.

6.2. Memoria técnica

SEV-1



SEV-2



SEV-3



Cel: 9511056286 - E-mail: belmonte.oaxaca@gmail.com

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Reynolds, J., 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Wiley, p. 417-425.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., 1990, Applied Geophysics. Cambridge University Press, p. 283-289.
- Keller, G.V., 1989, Electrical properties, en: R.S. Carmichael, editor, Practical Handbook of Physical Properties of Rocks and Minerals, CRC Press, pp. 361-427.
- Arosio, D., Longoni, L., Mazza, F., Papini, M. and Zanzi, L. (2013). Freeze-thaw cycle and rockfall monitoring. In Landslide Science and Practice, Springer Berling Heidelberg, 385-390 p.
- Hill, M. L. (1959). Dual classification of faults. The Association of Petroleum Geologists Bulletin. 43 (1), 217-237.
- INEGI. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tuxtepec Oaxaca, 2010.
- INEGI. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, 2009.
- SGM. Carta Geológica Orizaba E14-16. Primera Edición 2000.
- SGM. Conjunto de datos vectoriales geológicos. Primera Edición 2000.
- INEGI. Mapa hidrográfico 2020.
- INEGI. Áreas geoestadísticas municipales. 2001.
- CNA. Manual de agua. Edición 2007. México D.F.

ESTUDIO GEOFÍSICO PARA EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS SUBTERRÁNEAS Y EN SU CASO, PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO.

Estado: Oaxaca.

Municipio: Tuxtepec

Paraje: Manantiales del Escobillado



Realizó:
M.C. Valdemar Belmonte García
Ced. Prof.: 12000740

octubre/2023

Cel: 9511056286 - E-mail: belmonte.oaxaca@gmail.com

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	3
1.1.	Antecedentes	3
1.2.	Objetivo de estudio	4
1.3.	Localización del área de estudio	5
2.	ASPECTOS FÍSICOS	6
2.1.	Geología Regional	6
2.2.	Hidrología	7
3.	METODOLOGÍA	7
3.1.	Fundamentos generales de Geofísica	7
3.2.	Método de resistividad (Sondeo Eléctrico Vertical, SEV)	8
3.3.	Metodología del estudio	9
3.4.	Equipo utilizado	10
3.5.	Procesado de datos geofísicos	10
4.	RESULTADOS	11
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
6.	ANEXOS	23
6.1.	Pseudosección de resistividad	23
6.2.	Memoria técnica	24
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El presente trabajo se realizó con el propósito de caracterizar el área de influencia y **evaluar el sitio desde el punto de vista geohidrológico más favorable para el almacenamiento y transmisión de agua subterránea**, que permita abastecer del vital líquido a la población perteneciente a manantiales del escobillado, ubicado en el municipio de Tuxtepec, Oaxaca, ver **Figura 1**.

El método empleado para el estudio geofísico fue el de resistividad de corriente directa, consistió en la realización de **tres** Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) localizados en los predios de interés.

Con este estudio realizado, se elaboró un perfil litológico en el que se incorporó la información geológica y geofísica obtenida. En este estudio se alcanzó una profundidad teórica de exploración de **100m** con lo cual se pretende conocer las características del subsuelo y evaluar las posibilidades acuíferas, así como la geometría del basamento que en esta área corresponde a **roca sedimentaria de tipo conglomerado poligénico**.

Es importante recalcar que con este tipo de estudios se investigan las posibilidades acuíferas subterráneas de la zona, pero **NO es posible cuantificar el gasto** que pueda en su caso tener un pozo profundo antes de perforarlo y hacer el aforo correspondiente, **así como garantizar la calidad de agua**. El trabajo de campo se realizó el **03 de octubre de 2023**.

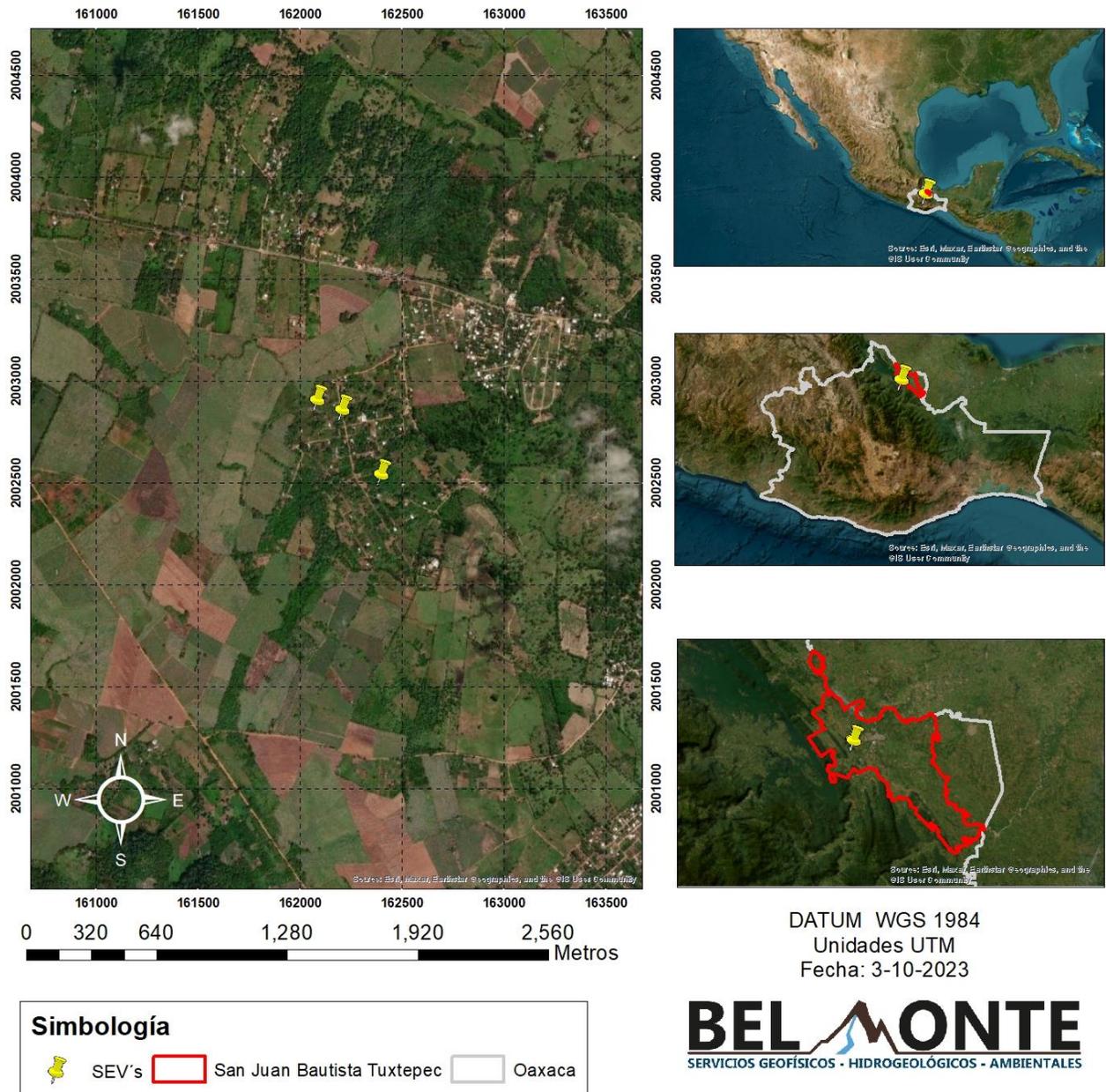


Figura 1. Plano de localización general de la zona donde se realizó el estudio geofísico con enfoque geohidrológico ubicado el municipio de Tuxtepec, Oaxaca. Con un polígono rojo se señala la extensión del municipio, con símbolos color amarillo se señalan las zonas exploradas.

Fuente: INEGI, 2012

1.2. Objetivo de estudio

El presente informe geofísico se realizó con el objetivo de caracterizar el área de influencia y evaluar el sitio geohidrológicamente más favorable que cumpla con las características de almacenamiento y transmisión de agua subterránea, que permita suministrar el vital líquido a la población de interés. Esto se llevará a cabo determinando el **espesor** de las capas permeables y los **límites** del acuífero en profundidad en caso de existir.

1.3. Localización del área de estudio.

El municipio San Juan Bautista Tuxtepec está situado al noreste del estado de Oaxaca. Forma parte del distrito 06 Tuxtepec en la región conocida como Papaloapan. Se ubica entre las coordenadas geográficas 17°48' y 18°19' de latitud norte y 95°51' y 96°19' longitud oeste, a una altura que va de los 100 a los 400 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el estado de Veracruz y el municipio de San Miguel Soyaltepec, al sur con los municipios de Santiago Jocotepec y Loma Bonita, al poniente con los municipios de Santa María Jacatepec, San Lucas Ojitlán y San José Chiltepec, al oriente con el municipio de Loma Bonita. En la **Figura 2**, se indica con mayor detalle, la ubicación específica donde se realizaron los Sondeos Eléctricos Verticales.



Figura 2. Ubicación delimitada del sitio en donde se efectuaron los SEV's, en los predios de interés en Manantiales del Escobillado.

En la **tabla 1** se muestra la ubicación en coordenadas UTM de los puntos donde se realizaron los Sondeos Eléctricos Verticales.

Tabla 1. Coordenadas UTM y elevación del punto en donde se efectuó cada Sondeo Eléctrico Vertical.

Zona 14Q	Coordenada Este (m)	Coordenada Norte (m)	Elevación (m)
SEV 1	797511	2001901	32
SEV 2	797310	2002210	33
SEV 3	797188	2002253	33

2. ASPECTOS FÍSICOS

2.1. Geología Regional

La geología predominante en el municipio San Juan Bautista Tuxtepec está conformada por rocas de periodo Neógeno (57.35%), Cuaternario (16.17%), Paleógeno (15.16%) y Cretácico (10.21%). El principal tipo de roca que aflora en la región es de clase sedimentaria, de tipo conglomerado (46.59%), lutita-arenisca (15.16%), caliza (10.21%), arenisca (9.09%) y arenisca conglomerado (1.67%). También existe presencia de suelo aluvial (16.17%). Ver **Figura 3**.

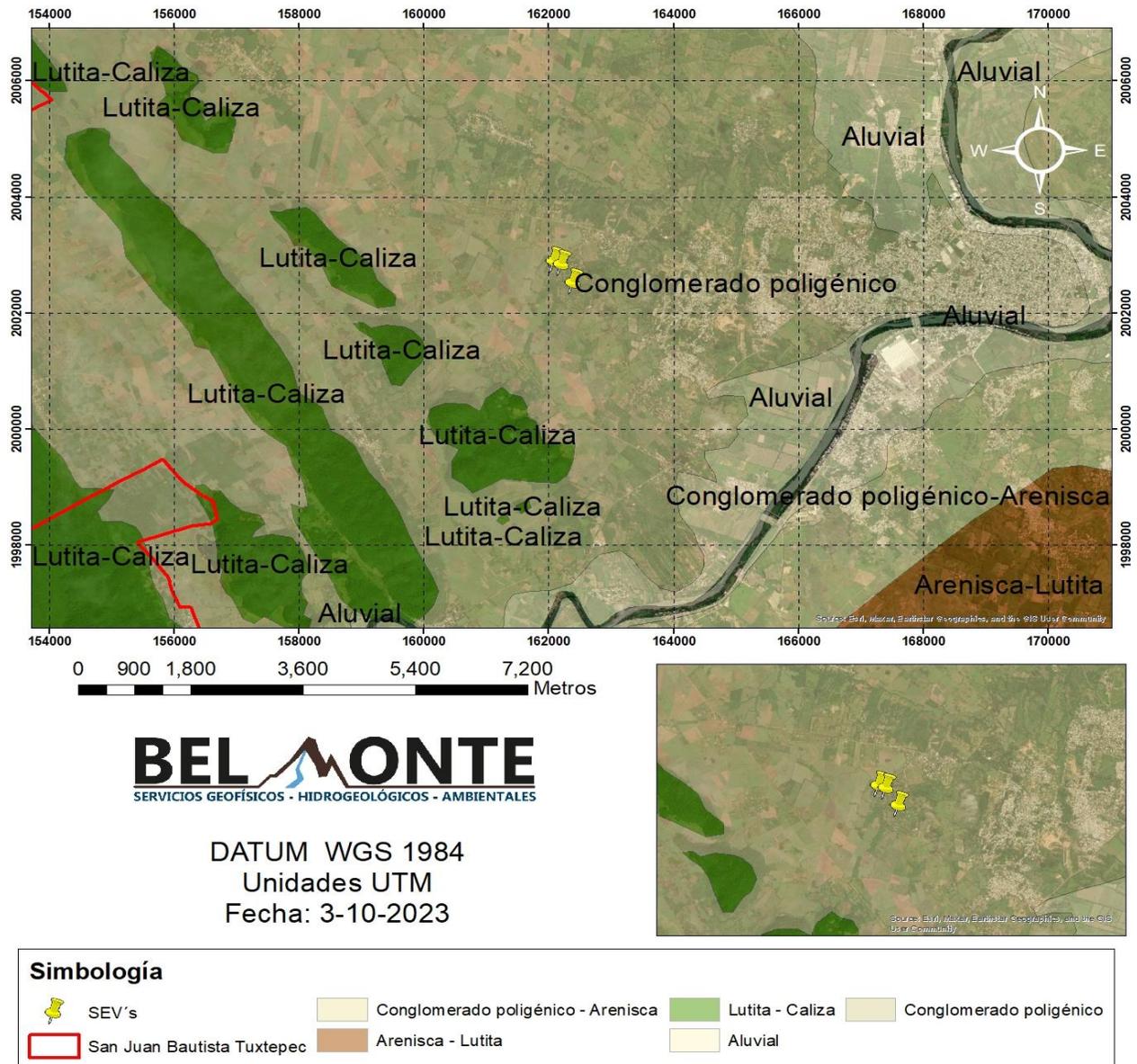


Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio escala 1:50,000m. Con un símbolo asignado color amarillo se observa la ubicación donde se efectuaron los SEV's. Se observa que toda el área de estudio se encuentra en zona de roca sedimentaria de tipo conglomerado poligénico.

Fuente: SGM, 2000; INEGI, 2012

2.2. Hidrología

El municipio de San Juan Bautista Tuxtepec se ubica en su totalidad dentro de la región hidrológica Papaloapan. La cuenca que cubre todo el municipio es R. Papaloapan. De esta cuenca se derivan las subcuencas R. Blanco (48.02%), R. Obispo (45.43%), R. Tesechoacán (4.43%), R. Playa (1.73%) y R. Amapa (0.39%) las cuales son las únicas subcuencas que le conciernen al municipio. Cerca de la zona de estudio existen cauces de ríos perennes como Papaloapan, Tonto, Valle Nacional, Santo Domingo, Amapa, Limón, La Virgen, Obispo y Coapa lo cual es favorable para la recarga de acuíferos someros. **Figura 4.** Se observa que los puntos se encuentren cercanos a una corriente superficial que pueda significar tener un nivel freático más somero.

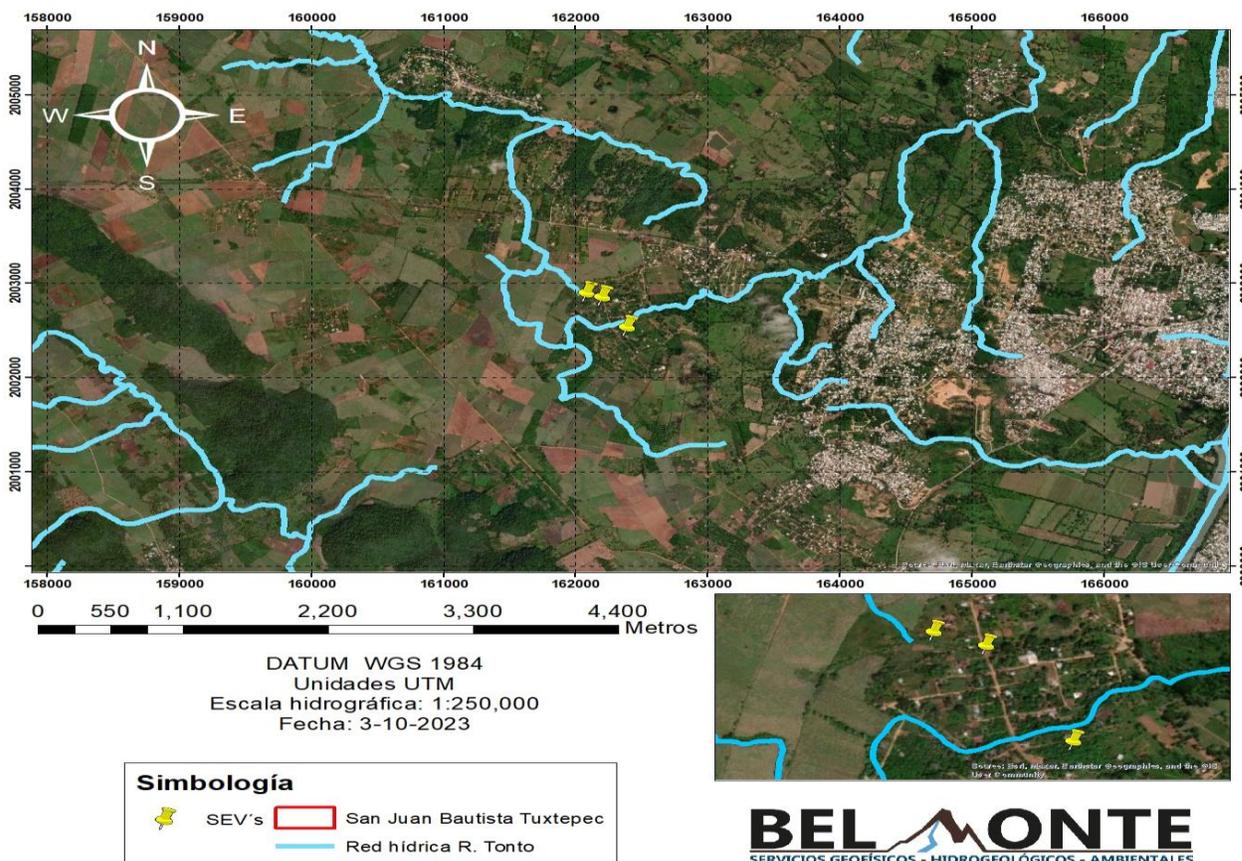


Figura 4. Mapa hidrológico de la zona de estudio escala 1:50,000 en donde se realizaron las mediciones de resistividad en Manantiales del Escobillado, Oaxaca; con un símbolo color amarillo se señalan las zonas exploradas.

Fuente: INEGI, 2001

3. METODOLOGÍA

3.1. Fundamentos generales de Geofísica

La Geofísica es la ciencia que estudia los campos físicos que se encuentran involucrados en nuestro planeta. Es una rama en común con la geología y física, ya que comparte con la primera la búsqueda del conocimiento de las características de la Tierra, y con la segunda, la aplicación de métodos, técnicas y

principios de carácter indirecto que son amigables con el medio ambiente, para cuantificar las diversas propiedades físicas del subsuelo y de la Tierra para así poder determinar su distribución espacial, ejemplo de ellos es la densidad, campo magnético, conductividad eléctrica, velocidad de transmisión de ondas elásticas, etc. La finalidad de la geofísica de exploración es la de separar zonas que aparecen como estériles de las que presentan posibilidades de contener yacimientos económicamente explotables y/o que muestren alguna característica de interés para el proyecto planteado.

La selección del método geofísico apropiado para una campaña de exploración depende del objetivo del estudio, de las características de las estructuras geológicas y las condiciones del terreno. La interpretación de los datos geofísicos consta de 2 niveles, primero la modelación matemática en el que se definen las combinaciones de valores de la propiedad que se mide y de la geometría de las estructuras del subsuelo coherentes con las mediciones realizadas en el terreno, y segundo, la interpretación de los modelos en términos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos, etc.

3.2. Método de resistividad (Sondeo Eléctrico Vertical, SEV)

Los métodos de resistividad de corriente directa (DC) son eficaces cuando existen contrastes significativos en las propiedades eléctricas de las rocas. Éstos utilizan fuentes artificiales de corriente para producir un campo de potencial eléctrico en el subsuelo. La frecuencia de la corriente continua de la fuente es cero, es decir, no varía con el tiempo. Conociendo la corriente introducida a través de los electrodos fuente y la configuración geométrica electródica se puede determinar la distribución espacial de la resistividad (o su recíproco, la conductividad) en el subsuelo. Como el objetivo es encontrar agua subterránea, se utilizó el método eléctrico de corriente directa conocido como arreglo Schlumberger en su variante de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) ya que es el más adecuado para cumplir el objetivo propuesto, esto debido a que este arreglo logra obtener mejor sensibilidad para encontrar anchura, profundidad, espesor y resistividad de los cuerpos a grandes profundidades en comparación con otros arreglos eléctricos como lo es el Dipolo-Dipolo y Wenner.

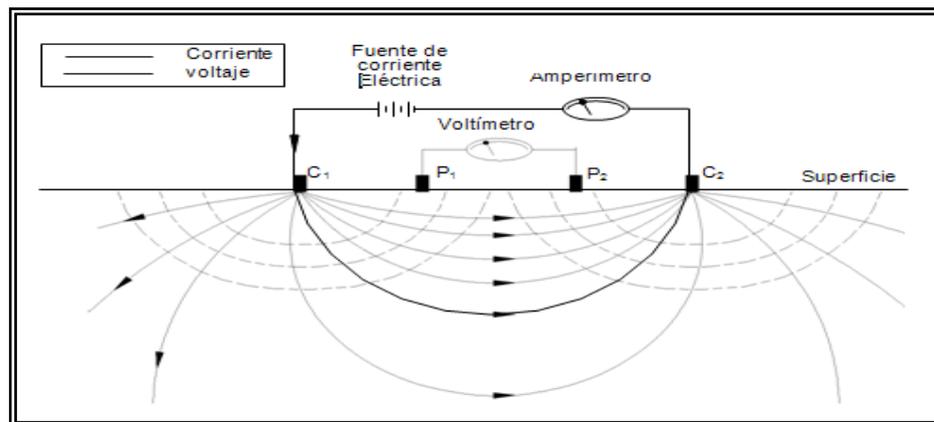


Figura 5. Diagrama que indica la forma de medir la resistividad en campo. C1 y C2 son electrodos de corriente, P1 y P2 electrodos de potencial.

El arreglo Schlumberger consta de cuatro electrodos colineales. Los dos electrodos exteriores actúan como fuente (C1-C2) inyectando corriente eléctrica y los dos electrodos interiores actúan como receptores midiendo el potencial eléctrico (P1-P2). La **Figura 5** se muestra un esquema de la disposición de los electrodos en campo.

Los electrodos de potencial se instalan en el centro del arreglo con una pequeña separación entre ellos en comparación con los electrodos de corriente, $(C1-C2) / 2 \gg 5 (P1-P2)$. Los electrodos de corriente incrementan su separación durante el estudio para lograr alcanzar mayor profundidad de exploración, mientras que los electrodos de potencial permanecen en la misma posición hasta que el voltaje observado se vuelve demasiado pequeño para medir, por lo que es necesario cambiarlos a una posición más cercana a los electrodos de corriente.

Finalmente conociendo la corriente inyectada, el potencial medido y la distribución geométrica de los electrodos se puede conocer el valor de la resistividad aparente en el subsuelo.

El valor de resistividad aparente obtenido en campo es graficada en escala bi-logarítmica debido al rango tan grande que existe entre los valores de resistividad de las rocas y minerales en el subsuelo (0.1 Ω -m hasta más de 1,000,000 Ω -m) de donde se obtiene un modelo de capas inicial de la tierra, el cual sirve para iniciar iterativamente el modelado directo con un software que calcula un nuevo modelo de resistividad real a partir de la resistividad aparente, esto sucede al resolver la ecuación diferencial que rige el flujo de la corriente eléctrica en medios estratificados.

El resultado final es un modelo geoelectrico del subsuelo para cada sondeo, definido por espesores y resistividad de las capas interpretadas. Los modelos geoelectricos se correlacionan considerando la información de la zona como son la geología local, presencia de pozos, ríos o cuerpos de agua cercanos, registros eléctricos de pozos en su caso, así como estudios anteriores en caso de existir.

3.3. Metodología del estudio

El estudio consistió en interpretación geológica, hidrogeológica, observación en campo, medición de los datos geofísicos e interpretación de los resultados obtenidos. Para el caso de los trabajos geológicos, se analizaron mapas geológicos, para el caso de hidrogeológicos se utilizó un simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas. Los trabajos de geofísica consistieron en la realización de **tres** sondeos eléctricos verticales (SEV) que proporcionó información de la geometría, propiedades geohidrológicas del subsuelo y estructuras geológicas a profundidad que fueron correlacionadas con información disponible del área a nivel regional.

Este tipo de estudios tienen naturalmente limitaciones al ser estudios indirectos, aunque son valiosos al proporcionar información para tomar decisiones en la ubicación de sitios con mayores posibilidades hídricas para realizar pozos exploratorios o bien, no recomendarlos. También este tipo de estudios no pueden tomarse como indicadores de la cantidad de agua que puede aportar un sistema acuífero, sino hasta después de perforar un pozo exploratorio y aforarlo.

3.4. Equipo utilizado

El equipo de resistividad usado consta de un transmisor de corriente directa (CD), cuya fuente es un generador de corriente alterna (CA) que se rectifica para convertirla en CD e inyectarla al subsuelo o una batería de automóvil de 12V (CD). Un receptor de alta impedancia de entrada y electrodos impolarizables complementan el equipo básico de exploración. La **Figura 6** muestra el equipo utilizado para las mediciones de resistividad del subsuelo.



Figura 6. Equipo de resistividad utilizado para realizar el estudio geofísico de corriente directa (SEV).

3.5. Procesado de datos geofísicos

Los datos de los SEV's se procesaron con un software de modelado directo de datos geofísicos que genera modelos de capas del subsuelo en una dimensión, y a partir de la interpolación de estos modelos generamos una sección bidimensional en donde se puede observar la profundidad y valores de resistividad verdaderos de la estratigrafía del subsuelo. El software utilizado es el ZONDIP1D (2012).

4. RESULTADOS

4.1. Geofísica

Como resultado de los sondeos eléctricos verticales (SEV's) se obtuvo una sección geoelectrica, ver **Figura 7**, a partir de la correlación del SEV-1, SEV-2 y SEV-3 en donde se interpretaron alrededor de 6-7 unidades lito-estratigráficas que representan las características geológicas del lugar según la profundidad medida. En el anexo 6.1 se incluye la pseudosección resultante.

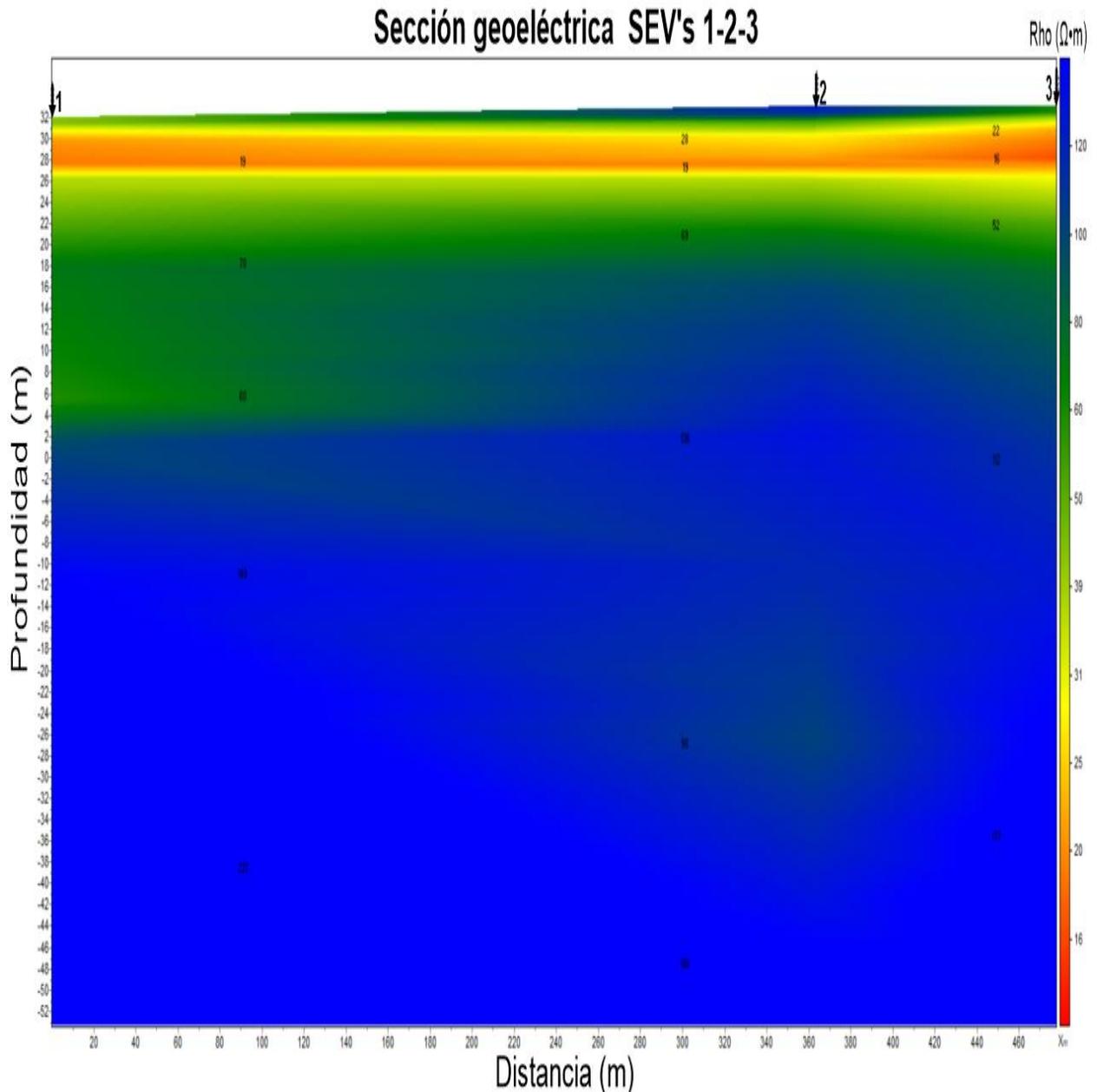


Figura 7. Sección de resistividad. De verde se observan los materiales más conductores y de azul, los más resistivos que se asocian a materiales más duros e impermeables.

En el sitio donde se realizó el SEV-1 se infirieron 7 unidades geoeléctricas con base a la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, ver **Figura 8**.

La primera capa tiene una resistividad de **43Ω•m** y un espesor de 2m, está asociada a suelo residual.

La segunda capa tiene una resistividad de **21Ω•m** que se refiere a un horizonte de 2m de espesor asociado a limo-grava.

La tercera capa contiene un espesor de aproximadamente 3m y tiene una resistividad de **19Ω•m** asociada a limo-grava con posible presencia de humedad.

La cuarta capa comienza a una profundidad de 7m y se asocia a conglomerado poligénico compacto, su espesor es aproximadamente de 16m y tiene una resistividad de **70Ω•m**.

La quinta capa tiene una resistividad de **60Ω•m** asociada a conglomerado poligénico fracturado con posible presencia de humedad, comienza a los 23m de profundidad y tiene un espesor de 8m.

La sexta capa comienza a una profundidad de 31m y se asocia a conglomerado poligénico, su espesor es aproximadamente de 25m y tiene una resistividad de **149Ω•m**.

La séptima capa se asocia a conglomerado poligénico compacto, tiene una resistividad de **237Ω•m**, comienza a los 56m de profundidad aproximadamente, sirve como basamento geohidrológico. Ver **figura 11**.

Tabla A1. Profundidades resultantes por el modelo con su respectiva resistividad del SEV-1. Donde, N= Número de capa, ρ= Resistividad (Ohm-m), h= Espesor (m), z=Profundidad donde inicia la capa (m).

N	ρ	h	z
1	43	2	0
2	21	2	2
3	19	3	4
4	70	16	7
5	60	8	23
6	149	25	31
7	237		56

Modelo de capas SEV-1 Error RMS=20.0%

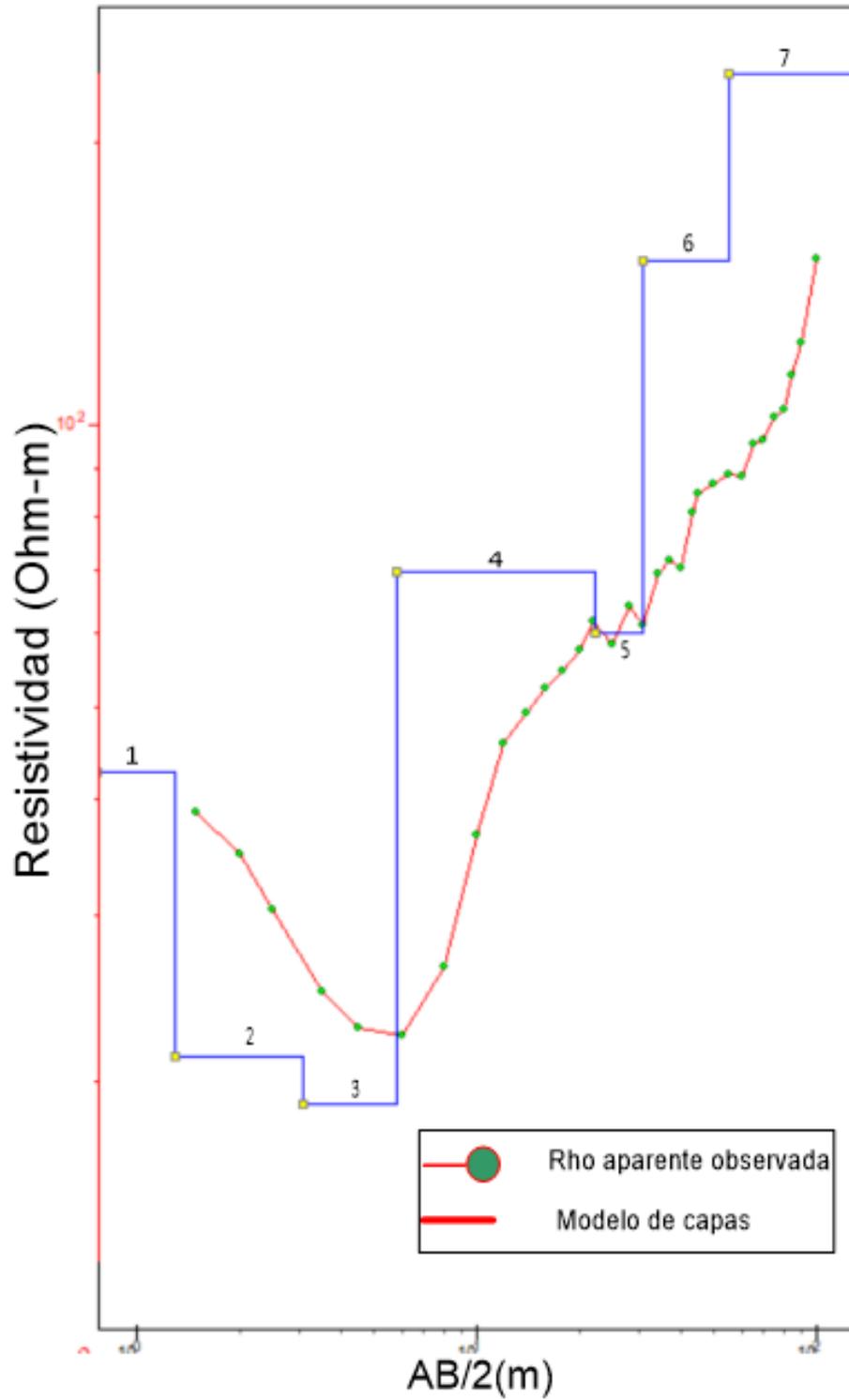


Figura 8. Modelo de capas SEV-1 y resistividad aparente observada en campo.

En el sitio donde se realizó el SEV-2 se infirieron 7 unidades geoeléctricas con base a la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, ver **Figura 9**.

La primera capa tiene una resistividad de **120Ω•m** y un espesor de 2m, está asociada a suelo residual.

La segunda capa tiene una resistividad de **28Ω•m** que se refiere a un horizonte de 3m de espesor asociado a limo-grava.

La tercera capa contiene un espesor de aproximadamente 3m y tiene una resistividad de **19Ω•m** asociada a limo-grava con posible presencia de humedad.

La cuarta capa comienza a una profundidad de 8m y se asocia a conglomerado poligénico compacto, su espesor es aproximadamente de 10m y tiene una resistividad de **69Ω•m**.

La quinta capa tiene una resistividad de **136Ω•m** asociada a conglomerado poligénico, comienza a los 18m de profundidad y tiene un espesor de 28m.

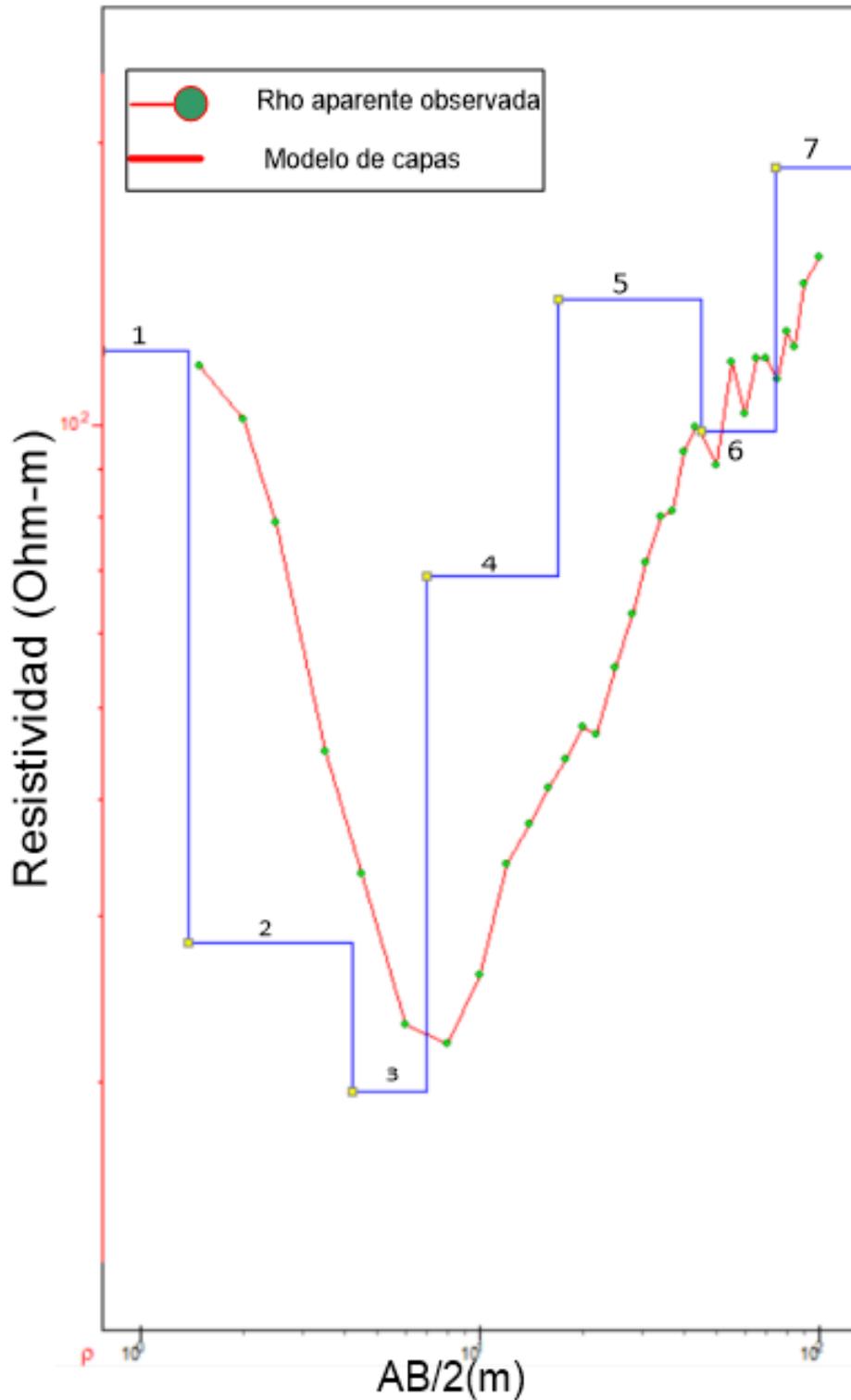
La sexta capa comienza a una profundidad de 46m y se asocia a conglomerado poligénico fracturado con posible presencia de humedad, su espesor es aproximadamente de 29m y tiene una resistividad de **98Ω•m**.

La séptima capa se asocia a conglomerado poligénico compacto, tiene una resistividad de **188Ω•m**, comienza a los 75m de profundidad aproximadamente, sirve como basamento geohidrológico. Ver **figura 11**.

Tabla A2. Profundidades resultantes por el modelo con su respectiva resistividad del SEV-2. Donde, N= Número de capa, ρ= Resistividad (Ohm-m), h= Espesor (m), z=Profundidad donde inicia la capa (m).

N	ρ	h	z
1	120	2	0
2	28	3	2
3	19	3	5
4	69	10	8
5	136	28	18
6	98	29	46
7	188		75

Modelo de capas SEV-2 Error RMS=19.1%



Modelo de capas SEV-2 y resistividad aparente observada en campo.

En el sitio donde se realizó el SEV-3 se infirieron 6 unidades geoeléctricas con base a la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, ver **Figura 10**.

La primera capa tiene una resistividad de **62Ω•m** y un espesor de 1m, está asociada a suelo residual.

La segunda capa tiene una resistividad de **22Ω•m** que se refiere a un horizonte de 2m de espesor asociado a limo-grava.

La tercera capa contiene un espesor de aproximadamente 3m y tiene una resistividad de **16Ω•m** asociada a limo-grava con posible presencia de humedad.

La cuarta capa comienza a una profundidad de 6m y se asocia a conglomerado poligénico compacto, su espesor es aproximadamente de 9m y tiene una resistividad de **52Ω•m**.

La quinta capa tiene una resistividad de **112Ω•m** asociada a conglomerado poligénico, comienza a los 15m de profundidad y tiene un espesor de 35m.

La sexta capa se asocia a conglomerado poligénico compacto, tiene una resistividad de **176Ω•m**, comienza a los 50m de profundidad aproximadamente, sirve como basamento geohidrológico. Ver **figura 11**.

Tabla A2. Profundidades resultantes por el modelo con su respectiva resistividad del SEV-3. Donde, N= Número de capa, ρ= Resistividad (Ohm-m), h= Espesor (m), z=Profundidad donde inicia la capa (m).

N	ρ	h	z
1	62	1	0
2	22	2	1
3	16	3	3
4	52	9	6
5	112	35	15
6	176		50

Modelo de capas SEV-3 Error RMS=20.9%

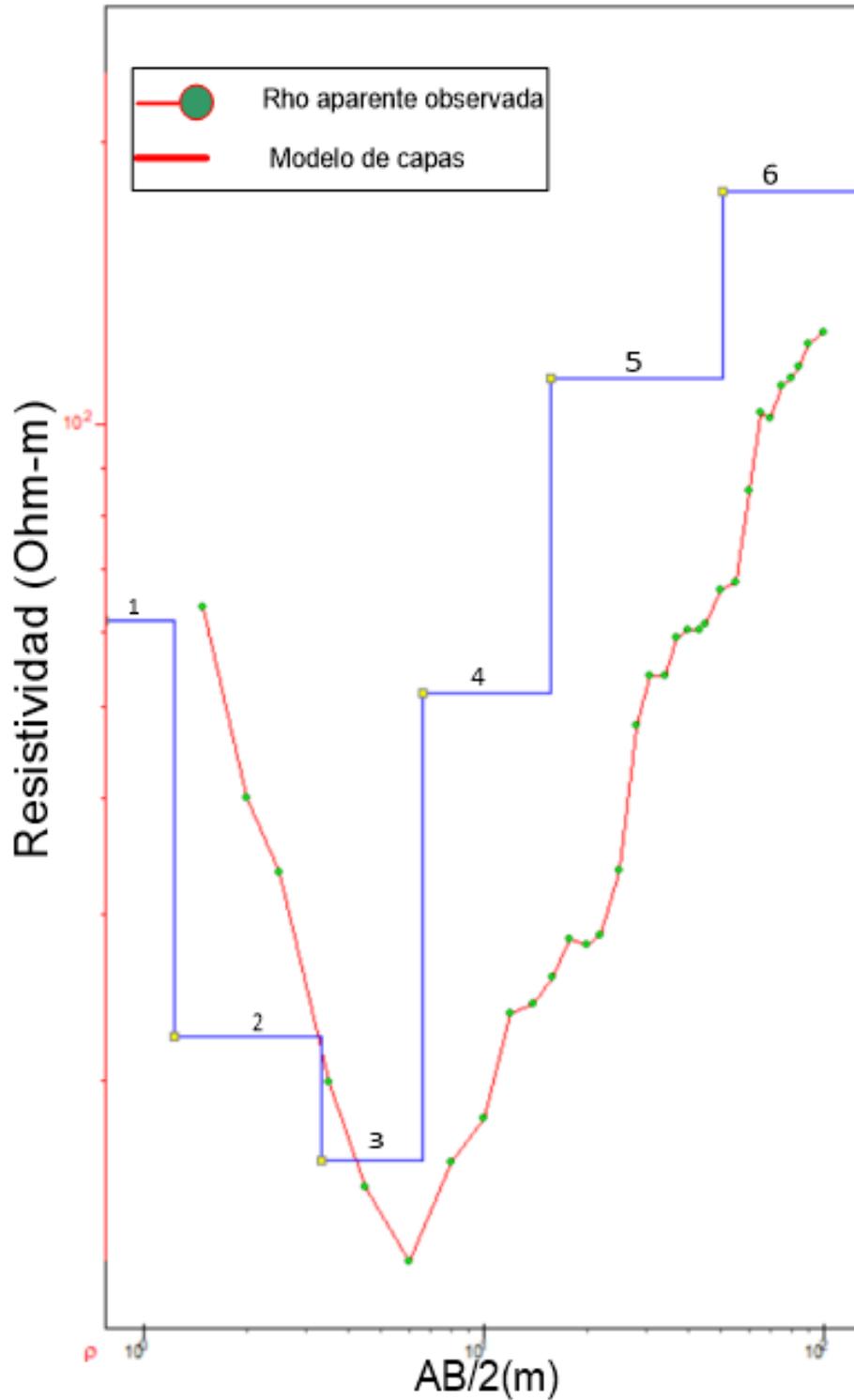


Figura 9. Modelo de capas SEV-3 y resistividad aparente observada en campo.

La **figura 11** muestra la comparación de los sondeos eléctricos verticales realizados. Se observa que el sondeo 2 presenta anomalías con probabilidad de agua hasta una profundidad máxima de 75m.

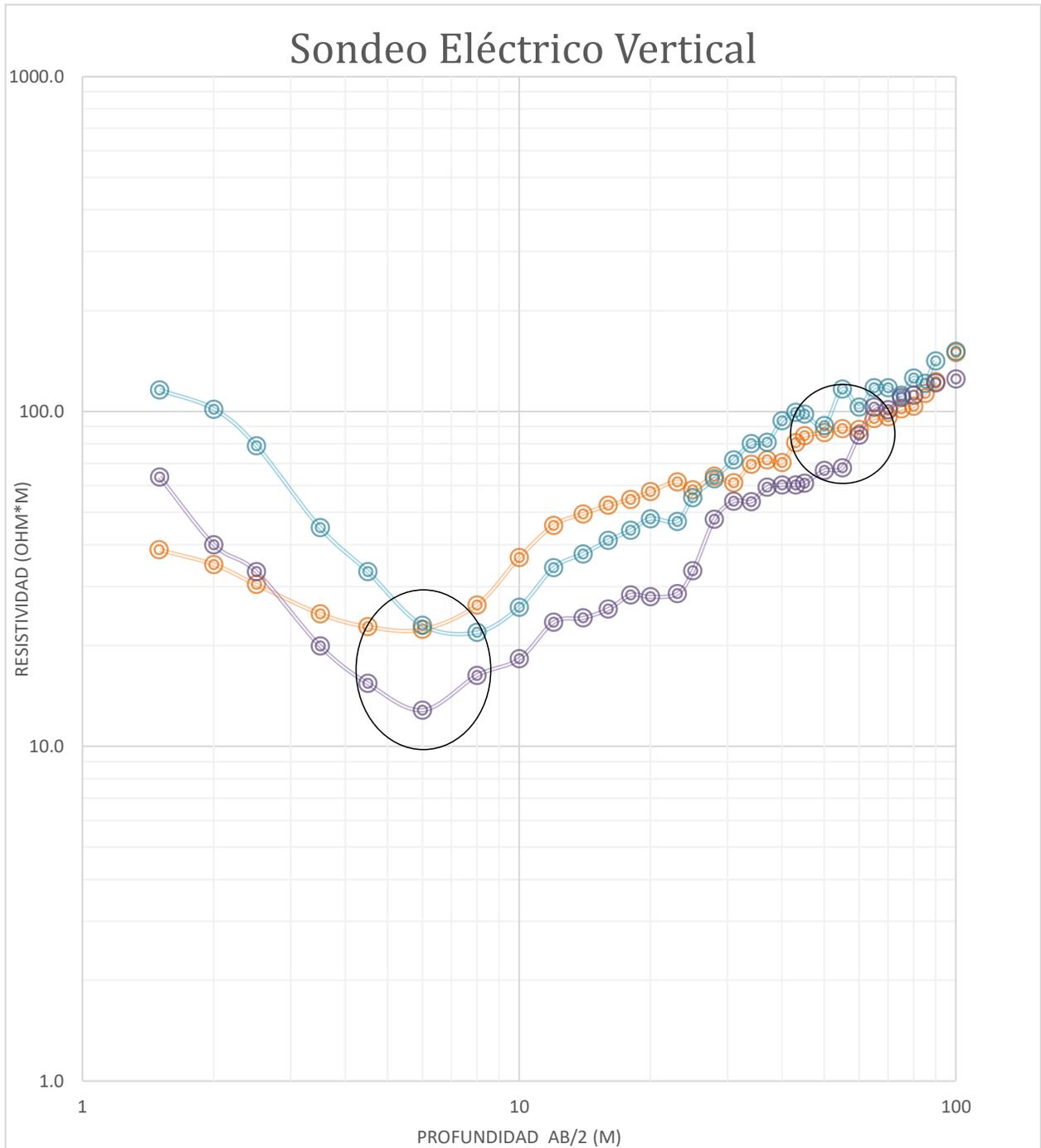


Figura 10. Comparación de los 3 Sondeos realizados. De color naranja se muestra el SEV-1, de color azul el SEV-2 y de morado el SEV-3. Con óvalos se señalan zonas con posibilidad hídrica.

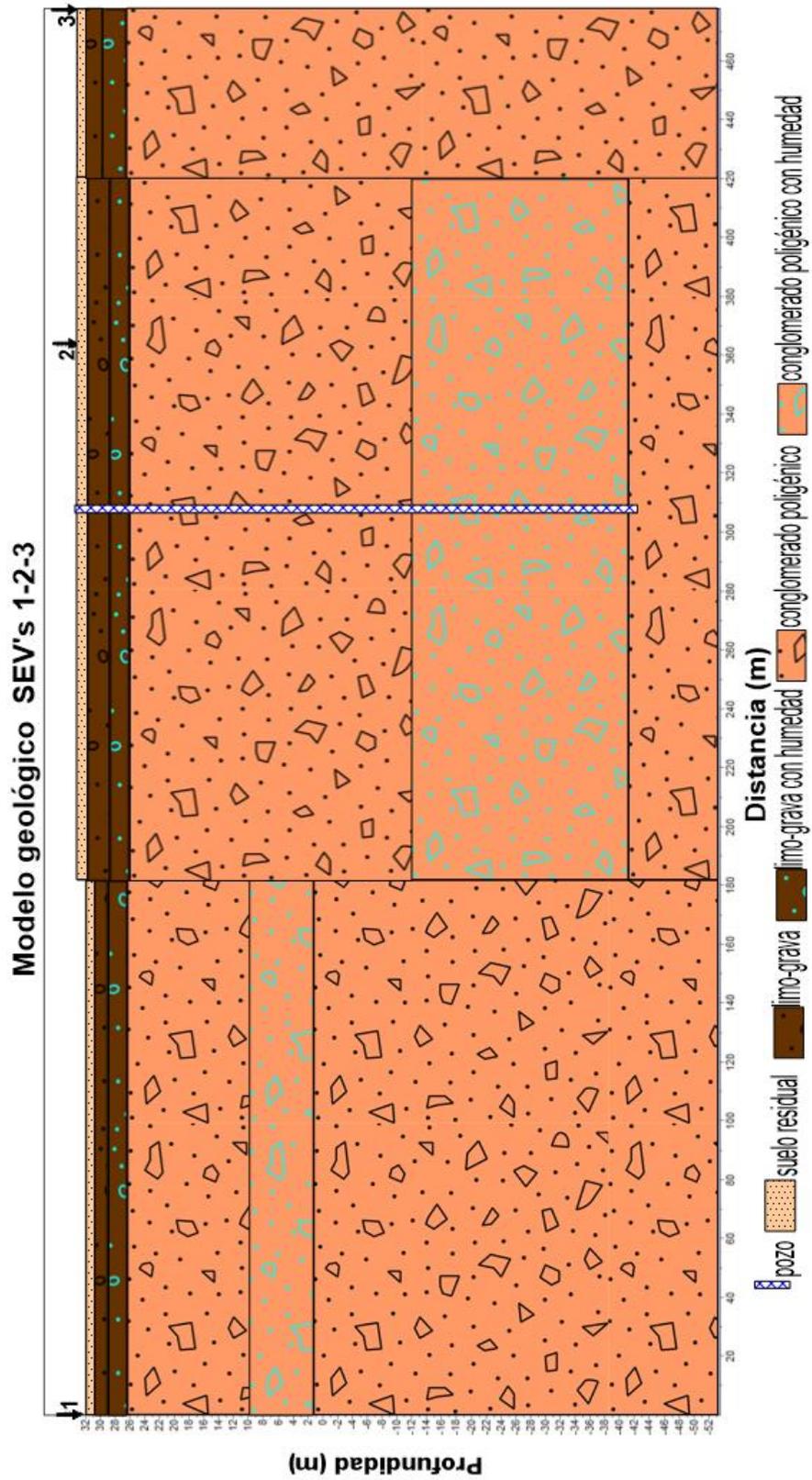


Figura 11. Sección geológica inferida a partir de los 3 SEV's realizados.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos por los estudios de geofísica, se puede concluir geohidrológicamente como **baja** a la zona donde se realizaron los sondeos, ya que está compuesta por materiales de origen sedimentario, estos materiales son permeables en los horizontes de mayor contenido de rocas pocos consolidadas y de mayor tamaño de grano como arenas de grano grande y gravas, por lo que el flujo de agua será mayormente en estas zonas existiendo factibilidad en posibilidades hídricas señalados en la **Figura 11**.

Subyaciendo la zona no consolidada se encuentra la presencia de conglomerado poligénico, roca que es poco permeable a menos que cuente con fracturas, como se observa principalmente en el sondeo 2. El acuífero es libre ya que el agua fluye a través de los poros de la roca sedimentaria y se esperan **gastos bajos** por el tipo de material presente, y se vuelve impermeable en las zonas sin fractura o de mayor contenido de limos. De no haber otras alternativas de abastecimiento, se sugiere hacer una perforación exploratoria de la siguiente manera:

Como primera opción perforar en el sitio del SEV-2 a **75m de profundidad**.

Con base en la clasificación de dureza de las rocas se consideran tres tipos de materiales, denominados 'I', 'II' y 'III', correspondiendo el primero a los más blandos, y el último, a los más duros. Conforme a los resultados expuestos se determina que la dureza de los materiales corresponde a tipo II para el conglomerado poligénico y tipo I para el suelo aluvial limoso. (CNA, 2012) **Figura 12**.

Material tipo I	Material tipo II	Material tipo III
Arcillas	Lutitas	Ortoquarcitas
Limos	Limolitas	Metacuarcitas
Arenas	Areniscas	Bloques y cantos rodados (mayores a 20 cm)
Gravas (menores a 5 cm)	Clásticos gruesos (5 a 20 cm)	Pedernal
Creta y tufa	Conglomerados y brechas	Rocas ígneas extrusivas
Sanas	5	5
Yeso	Calizas, dolomías y travertinos	Rocas ígneas intrusivas
Sanas	3	5
Diatomitas	Anhidrita	Gneis
Carbón	Tezontle	Corneanas
Cenizas volcánicas	Tobas	
Perlita y retinita	Rocas ígneas extrusivas alteradas	
Pumita o toba pumíticas	Rocas ígneas intrusivas alteradas	
Tocas alteradas	Vidrio volcánico	
Rocas metamórficas alteradas	Rocas metamórficas (excepto metacuarcita, gneis y corneanas)	

Figura 12. Clasificación de suelos y rocas para estimaciones de trabajos de perforación.

Por lo cual se recomienda utilizar una máquina perforadora **rotaria** o **percusión** para poder penetrar a través de los materiales antes mencionados, ya que en varios horizontes tienen un comportamiento muy compacto. **En dado caso de encontrarse con roca sana, será preferible detener la perforación hasta la profundidad alcanzada.**

El sitio final se deberá elegir tomando en cuenta aspectos de disponibilidad de la infraestructura (acceso, energía eléctrica, etc.). Durante la perforación se deberá analizar la muestra de roca, y en caso de estar sanas se deberá detener la perforación.

Al terminar la perforación y antes de ademar en su caso el pozo, se recomienda hacer un **registro eléctrico** (de resistividad y potencial natural), para conocer las posibilidades reales de las formaciones geológicas en cuanto a su permeabilidad y saber si se debe parar la perforación o aumentar algunos metros si existe respuesta favorable. Del mismo modo, **se recomienda efectuar un análisis de la calidad del agua** y monitorearlo de manera permanente para evaluar algún problema eventual de contaminación.

Para elegir correctamente el diámetro del ademe se deben satisfacer dos necesidades principales: Que exista un espacio suficiente para el alojamiento de la bomba y un espacio libre que permita su instalación y mantenimiento. La siguiente tabla de CONAGUA muestra de la cantidad máxima de agua que puede fluir del pozo desde una tubería con diámetro conocido. El diámetro del ademe debe tener un espacio libre que garantice la buena eficiencia hidráulica del aprovechamiento en operación.

El diámetro se determina de acuerdo al tamaño de la bomba por utilizar, que es función del gasto y la potencia requerida. De forma general, se recomienda que el diámetro del tubo del ademe sea 5 cm (2") mayor que el diámetro nominal de la Bomba requerida. En la **Tabla 2** se muestran algunas recomendaciones para determinar el diámetro del ademe en función del gasto que se espera obtener y en la **Tabla 3** se presentan las máximas descargas de acuerdo a los diámetros del tubo de ademe.

TABLA 2. Diámetro del ademe en función al gasto esperado.

Gasto esperado (L/s)	Diámetro nominal de tazonos de bomba (mm)	Medida óptima del diámetro del ademe (mm) (pulg.)	Medida mínima del diámetro del ademe (mm) (pulg.)
Menos de 6	102	(152) Di (6")	(127) Di (5")
5 a 11	127	(203) Di (8")	(152) Di (6")
10 a 22	152	(254) Di 10"	(203) Di (8")
20 a 44	203	(305) Di (12")	(254) Di (10")
30 a 60	254	(356) DE (14")	(305) Di (12")
50 a 115	305	(406) DE (16")	(356) DE (14")
75 a 190	356	(508) DE (20")	(406) DE (16")
125 a 240	406	(610) DE (24")	(508) DE (20")
190 a 380	508	(782) DE (30")	(610) DE (24")

DI: diámetro interior, DE: diámetro exterior

TABLA 3. Descarga máxima a partir del diámetro estándar del ademe

Medida del ademe (mm)	Pulg.	Descarga máxima (L/s)
(102)	(4")	13
(127)	(5")	20
(152)	(6")	28
(203)	(8")	49
(254)	(10")	78
(305)	(12")	111
(337)	(14")	136
(387)	(16")	180
(439)	(18")	230
(489)	(20")	286
(591)	(24")	418

6. ANEXOS

6.1. Pseudosección de resistividad

La representación de los datos tomados en campo genera una pseudo-sección de resistividad aparente contra pseudo-profundidad, ver Figura A1. Este tipo de mapas sirve para ver coherencia en los datos, sin embargo, no tiene que ver nada con la realidad del subsuelo, ya que el punto de atribución se da a 45° de distancia entre transmisor y receptor, y no necesariamente ocurre esto en el interior de la tierra. Es necesario aplicar técnicas de inversión de datos para obtener el valor y posición verdadera de la distribución de la resistividad del subsuelo. En este trabajo la sección resultante es muy similar a la pseudosección, esto indica que la respuesta del modelo generado por el software es confiable y genera más certidumbre.

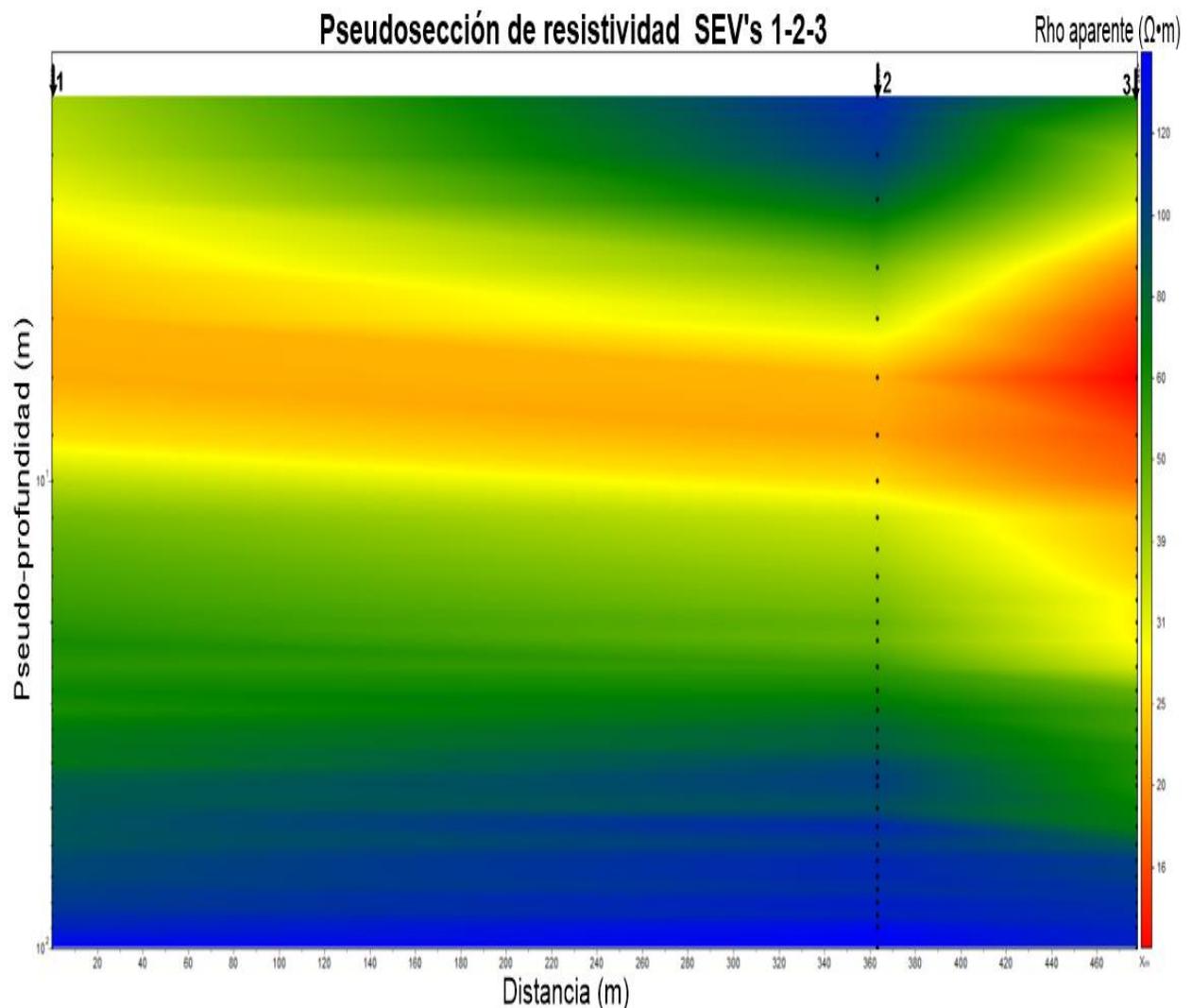


Figura A1. Pseudosección de resistividad aparente. De rojo se observan los materiales más conductores y de azul los más resistentes que se asocian a materiales más duros e impermeables. Con puntos negros se observa la profundidad teórica alcanzada en cada medición.

6.2. Memoria técnica

SEV-1



SEV-2



SEV-3



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Reynolds, J., 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Wiley, p. 417-425.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., 1990, Applied Geophysics. Cambridge University Press, p. 283-289.
- Keller, G.V., 1989, Electrical properties, en: R.S. Carmichael, editor, Practical Handbook of Physical Properties of Rocks and Minerals, CRC Press, pp. 361-427.
- Arosio, D., Longoni, L., Mazza, F., Papini, M. and Zanzi, L. (2013). Freeze-thaw cycle and rockfall monitoring. In Landslide Science and Practice, Springer Berling Heidelberg, 385-390 p.
- Hill, M. L. (1959). Dual classification of faults. The Association of Petroleum Geologists Bulletin. 43 (1), 217-237.
- INEGI. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tuxtepec Oaxaca, 2010.
- INEGI. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, 2009.
- SGM. Carta Geológica Orizaba E14-16. Primera Edición 2000.
- SGM. Conjunto de datos vectoriales geológicos. Primera Edición 2000.
- INEGI. Mapa hidrográfico 2020.
- INEGI. Áreas geoestadísticas municipales. 2001.
- CNA. Manual de agua. Edición 2007. México D.F.

ESTUDIO GEOFÍSICO PARA EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS SUBTERRÁNEAS Y EN SU CASO, PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO.

Estado: Oaxaca.

Municipio: Tuxtepec

Paraje: La Unión



Realizó:
M.C. Valdemar Belmonte García
Ced. Prof.: 12000740

octubre/2023

Cel: 9511056286 - E-mail: belmonte.oaxaca@gmail.com

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	3
1.1.	Antecedentes	3
1.2.	Objetivo de estudio	4
1.3.	Localización del área de estudio	5
2.	ASPECTOS FÍSICOS	6
2.1.	Geología Regional	6
2.2.	Hidrología	7
3.	METODOLOGÍA	7
3.1.	Fundamentos generales de Geofísica	7
3.2.	Método de resistividad (Sondeo Eléctrico Vertical, SEV)	8
3.3.	Metodología del estudio	9
3.4.	Equipo utilizado	10
3.5.	Procesado de datos geofísicos	10
4.	RESULTADOS	11
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
6.	ANEXOS	23
6.1.	Pseudosección de resistividad	23
6.2.	Memoria técnica	24
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El presente trabajo se realizó con el propósito de caracterizar el área de influencia y **evaluar el sitio desde el punto de vista geohidrológico más favorable para el almacenamiento y transmisión de agua subterránea**, que permita abastecer del vital líquido a la población perteneciente a La Unión, ubicado en el municipio de Tuxtepec, Oaxaca, ver **Figura 1**.

El método empleado para el estudio geofísico fue el de resistividad de corriente directa, consistió en la realización de **tres** Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) localizados en los predios de interés.

Con este estudio realizado, se elaboró un perfil litológico en el que se incorporó la información geológica y geofísica obtenida. En este estudio se alcanzó una profundidad teórica de exploración de **150m** con lo cual se pretende conocer las características del subsuelo y evaluar las posibilidades acuíferas, así como la geometría del basamento que en esta área corresponde a **roca sedimentaria de tipo conglomerado poligénico-arenisca**.

Es importante recalcar que con este tipo de estudios se investigan las posibilidades acuíferas subterráneas de la zona, pero **NO es posible cuantificar el gasto** que pueda en su caso tener un pozo profundo antes de perforarlo y hacer el aforo correspondiente, **así como garantizar la calidad de agua**. El trabajo de campo se realizó el **05 de octubre de 2023**.

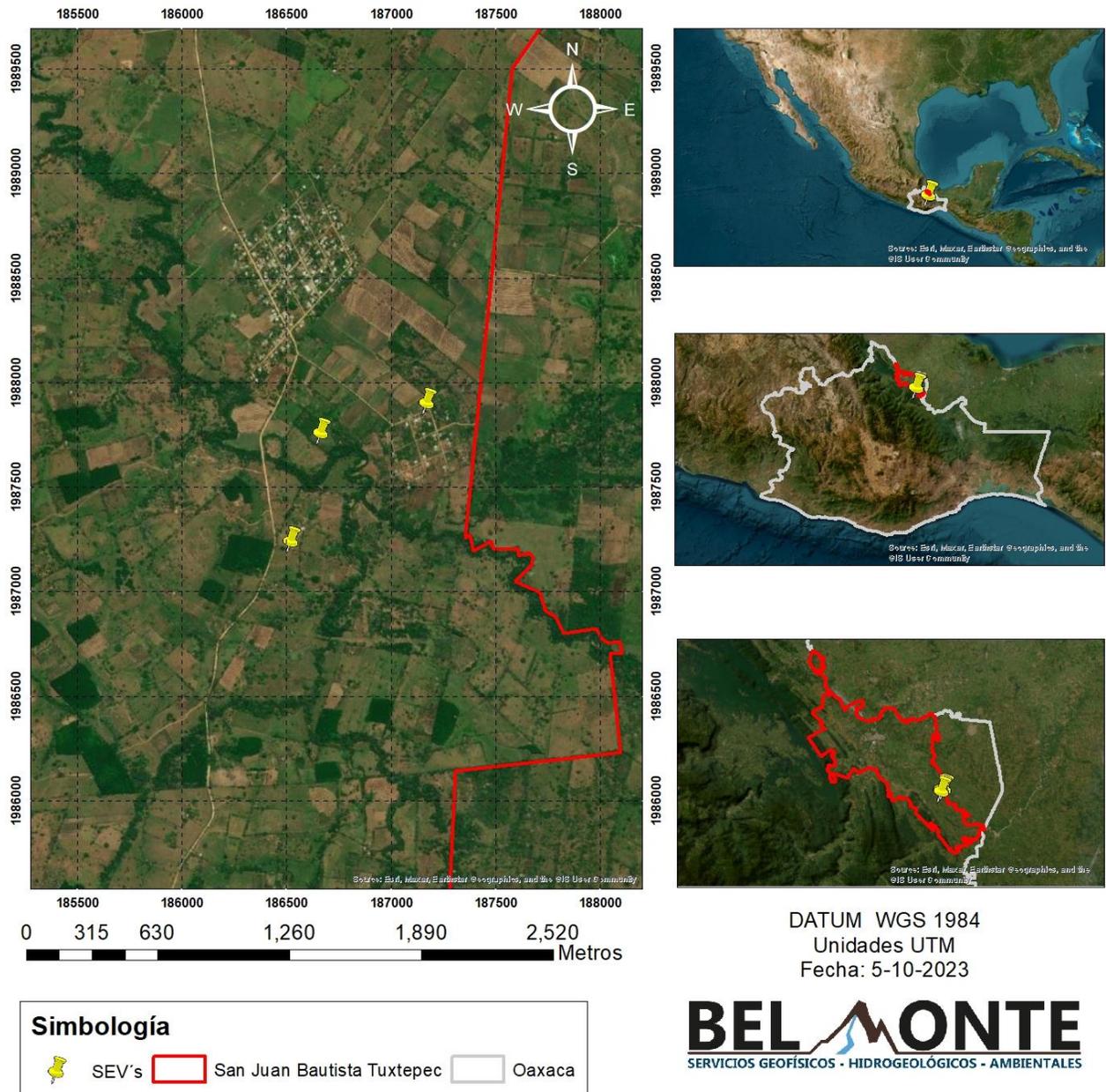


Figura 1. Plano de localización general de la zona donde se realizó el estudio geofísico con enfoque geohidrológico ubicado el municipio de Tuxtepec, Oaxaca. Con un polígono rojo se señala la extensión del municipio, con símbolos color amarillo se señalan las zonas exploradas.

Fuente: INEGI, 2012

1.2. Objetivo de estudio

El presente informe geofísico se realizó con el objetivo de caracterizar el área de influencia y evaluar el sitio geohidrológicamente más favorable que cumpla con las características de almacenamiento y transmisión de agua subterránea, que permita suministrar el vital líquido a la población de interés. Esto se llevará a cabo determinando el **espesor** de las capas permeables y los **límites** del acuífero en profundidad en caso de existir.

1.3. Localización del área de estudio.

El municipio San Juan Bautista Tuxtepec está situado al noreste del estado de Oaxaca. Forma parte del distrito 06 Tuxtepec en la región conocida como Papaloapan. Se ubica entre las coordenadas geográficas 17°48' y 18°19' de latitud norte y 95°51' y 96°19' longitud oeste, a una altura que va de los 100 a los 400 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el estado de Veracruz y el municipio de San Miguel Soyaltepec, al sur con los municipios de Santiago Jocotepec y Loma Bonita, al poniente con los municipios de Santa María Jacatepec, San Lucas Ojitlán y San José Chiltepec, al oriente con el municipio de Loma Bonita. En la **Figura 2**, se indica con mayor detalle, la ubicación específica donde se realizaron los Sondeos Eléctricos Verticales.

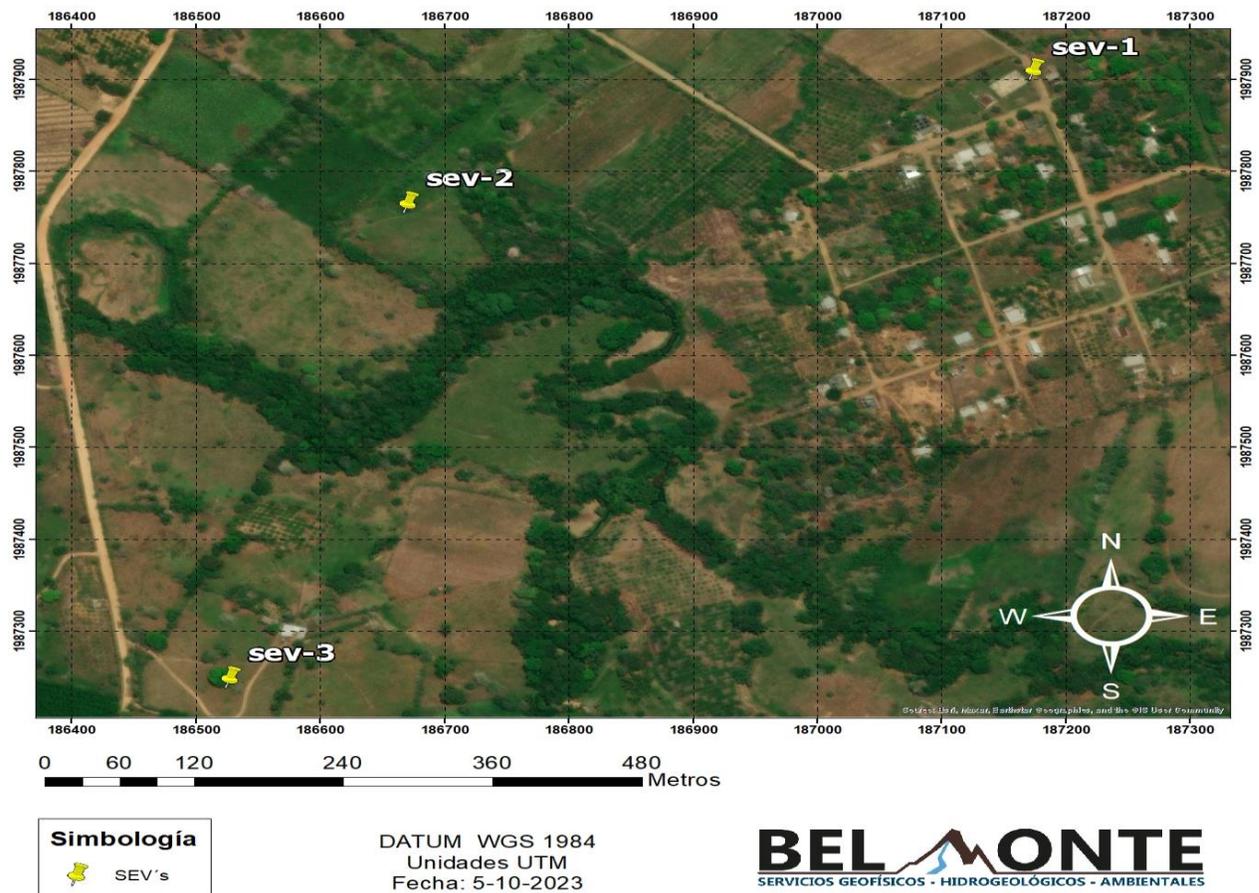


Figura 2. Ubicación delimitada del sitio en donde se efectuaron los SEV's, en los predios de interés en La Unión.

En la **tabla 1** se muestra la ubicación en coordenadas UTM de los puntos donde se realizaron los Sondeos Eléctricos Verticales.

Tabla 1. Coordenadas UTM y elevación del punto en donde se efectuó cada Sondeo Eléctrico Vertical.

Zona 14Q	Coordenada Este (m)	Coordenada Norte (m)	Elevación (m)
SEV 1	187175	1987911	42
SEV 2	186671	1987766	34
SEV 3	186528	1987250	41

2. ASPECTOS FÍSICOS

2.1. Geología Regional

La geología predominante en el municipio San Juan Bautista Tuxtepec está conformada por rocas de periodo Neógeno (57.35%), Cuaternario (16.17%), Paleógeno (15.16%) y Cretácico (10.21%). El principal tipo de roca que aflora en la región es de clase sedimentaria, de tipo conglomerado (46.59%), lutita-arenisca (15.16%), caliza (10.21%), arenisca (9.09%) y arenisca conglomerado (1.67%). También existe presencia de suelo aluvial (16.17%). Ver **Figura 3**.

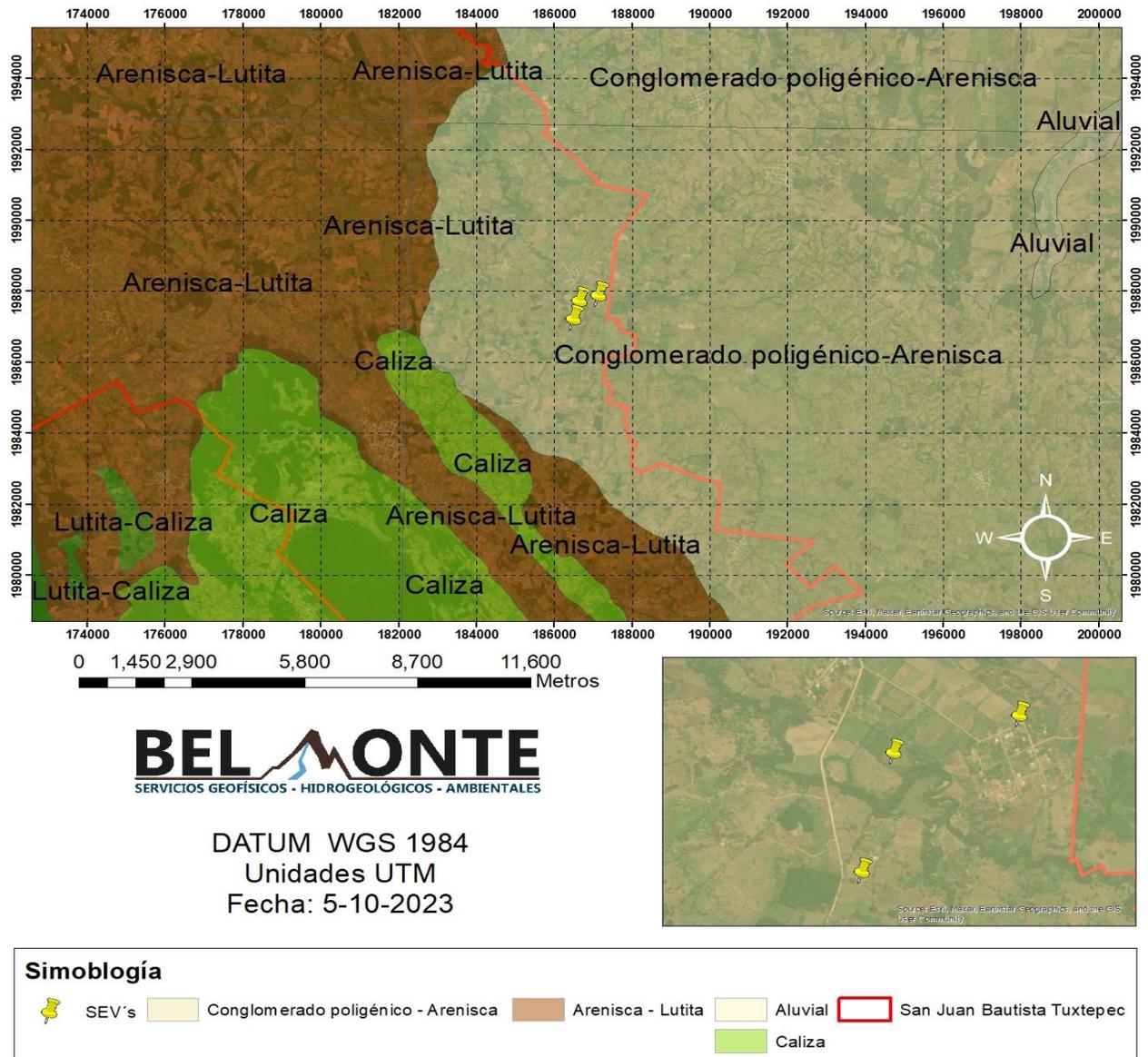


Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio escala 1:50,000m. Con un símbolo asignado color amarillo se observa la ubicación donde se efectuaron los SEV's. Se observa que toda el área de estudio se encuentra en zona de roca sedimentaria de tipo conglomerado poligénico-arenisca.

Fuente: SGM, 2000; INEGI, 2012

2.2. Hidrología

El municipio de San Juan Bautista Tuxtepec se ubica en su totalidad dentro de la región hidrológica Papaloapan. La cuenca que cubre todo el municipio es R. Papaloapan. De esta cuenca se derivan las subcuencas R. Blanco (48.02%), R. Obispo (45.43%), R. Tesechoacán (4.43%), R. Playa (1.73%) y R. Amapa (0.39%) las cuales son las únicas subcuencas que le conciernen al municipio. Cerca de la zona de estudio existen cauces de ríos perennes como Papaloapan, Tonto, Valle Nacional, Santo Domingo, Amapa, Limón, La Virgen, Obispo y Coapa lo cual es favorable para la recarga de acuíferos someros. **Figura 4.** Se observa que los puntos 2-3 se encuentran cercanos a una corriente superficial que pueda significar tener un nivel freático más somero.

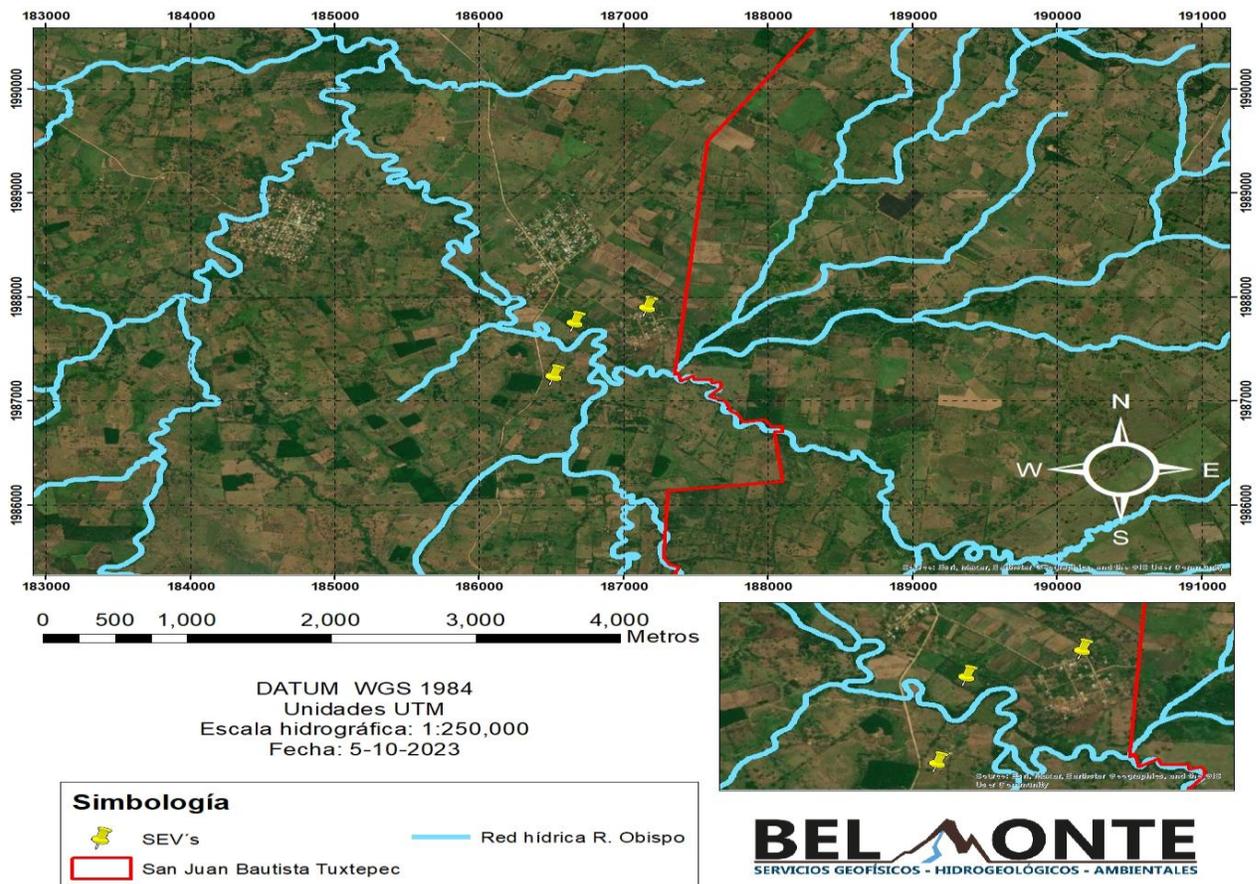


Figura 4. Mapa hidrológico de la zona de estudio escala 1:50,000 en donde se realizaron las mediciones de resistividad en Manantiales del Escobillado, Oaxaca; con un símbolo color amarillo se señalan las zonas exploradas.

Fuente: INEGI, 2001

3. METODOLOGÍA

3.1. Fundamentos generales de Geofísica

La Geofísica es la ciencia que estudia los campos físicos que se encuentran involucrados en nuestro planeta. Es una rama en común con la geología y física, ya que comparte con la primera la búsqueda del conocimiento de las características de la Tierra, y con la segunda, la aplicación de métodos, técnicas y

principios de carácter indirecto que son amigables con el medio ambiente, para cuantificar las diversas propiedades físicas del subsuelo y de la Tierra para así poder determinar su distribución espacial, ejemplo de ellos es la densidad, campo magnético, conductividad eléctrica, velocidad de transmisión de ondas elásticas, etc. La finalidad de la geofísica de exploración es la de separar zonas que aparecen como estériles de las que presentan posibilidades de contener yacimientos económicamente explotables y/o que muestren alguna característica de interés para el proyecto planteado.

La selección del método geofísico apropiado para una campaña de exploración depende del objetivo del estudio, de las características de las estructuras geológicas y las condiciones del terreno. La interpretación de los datos geofísicos consta de 2 niveles, primero la modelación matemática en el que se definen las combinaciones de valores de la propiedad que se mide y de la geometría de las estructuras del subsuelo coherentes con las mediciones realizadas en el terreno, y segundo, la interpretación de los modelos en términos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos, etc.

3.2. Método de resistividad (Sondeo Eléctrico Vertical, SEV)

Los métodos de resistividad de corriente directa (DC) son eficaces cuando existen contrastes significativos en las propiedades eléctricas de las rocas. Éstos utilizan fuentes artificiales de corriente para producir un campo de potencial eléctrico en el subsuelo. La frecuencia de la corriente continua de la fuente es cero, es decir, no varía con el tiempo. Conociendo la corriente introducida a través de los electrodos fuente y la configuración geométrica electródica se puede determinar la distribución espacial de la resistividad (o su recíproco, la conductividad) en el subsuelo. Como el objetivo es encontrar agua subterránea, se utilizó el método eléctrico de corriente directa conocido como arreglo Schlumberger en su variante de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) ya que es el más adecuado para cumplir el objetivo propuesto, esto debido a que este arreglo logra obtener mejor sensibilidad para encontrar anchura, profundidad, espesor y resistividad de los cuerpos a grandes profundidades en comparación con otros arreglos eléctricos como lo es el Dipolo-Dipolo y Wenner.

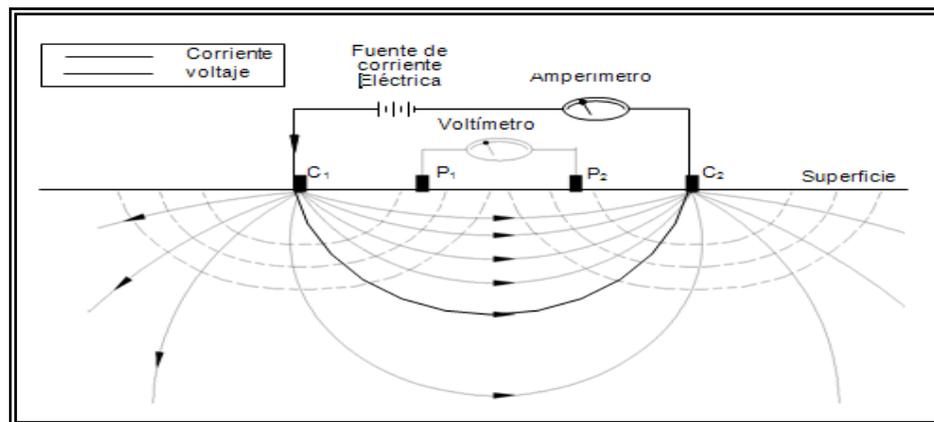


Figura 5. Diagrama que indica la forma de medir la resistividad en campo. C1 y C2 son electrodos de corriente, P1 y P2 electrodos de potencial.

El arreglo Schlumberger consta de cuatro electrodos colineales. Los dos electrodos exteriores actúan como fuente (C1-C2) inyectando corriente eléctrica y los dos electrodos interiores actúan como receptores midiendo el potencial eléctrico (P1-P2). La **Figura 5** se muestra un esquema de la disposición de los electrodos en campo.

Los electrodos de potencial se instalan en el centro del arreglo con una pequeña separación entre ellos en comparación con los electrodos de corriente, $(C1-C2) / 2 \gg 5 (P1-P2)$. Los electrodos de corriente incrementan su separación durante el estudio para lograr alcanzar mayor profundidad de exploración, mientras que los electrodos de potencial permanecen en la misma posición hasta que el voltaje observado se vuelve demasiado pequeño para medir, por lo que es necesario cambiarlos a una posición más cercana a los electrodos de corriente.

Finalmente conociendo la corriente inyectada, el potencial medido y la distribución geométrica de los electrodos se puede conocer el valor de la resistividad aparente en el subsuelo.

El valor de resistividad aparente obtenido en campo es graficada en escala bi-logarítmica debido al rango tan grande que existe entre los valores de resistividad de las rocas y minerales en el subsuelo (0.1 Ω -m hasta más de 1,000,000 Ω -m) de donde se obtiene un modelo de capas inicial de la tierra, el cual sirve para iniciar iterativamente el modelado directo con un software que calcula un nuevo modelo de resistividad real a partir de la resistividad aparente, esto sucede al resolver la ecuación diferencial que rige el flujo de la corriente eléctrica en medios estratificados.

El resultado final es un modelo geoelectrico del subsuelo para cada sondeo, definido por espesores y resistividad de las capas interpretadas. Los modelos geoelectricos se correlacionan considerando la información de la zona como son la geología local, presencia de pozos, ríos o cuerpos de agua cercanos, registros eléctricos de pozos en su caso, así como estudios anteriores en caso de existir.

3.3. Metodología del estudio

El estudio consistió en interpretación geológica, hidrogeológica, observación en campo, medición de los datos geofísicos e interpretación de los resultados obtenidos. Para el caso de los trabajos geológicos, se analizaron mapas geológicos, para el caso de hidrogeológicos se utilizó un simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas. Los trabajos de geofísica consistieron en la realización de **tres** sondeos eléctricos verticales (SEV) que proporcionó información de la geometría, propiedades geohidrológicas del subsuelo y estructuras geológicas a profundidad que fueron correlacionadas con información disponible del área a nivel regional.

Este tipo de estudios tienen naturalmente limitaciones al ser estudios indirectos, aunque son valiosos al proporcionar información para tomar decisiones en la ubicación de sitios con mayores posibilidades hídricas para realizar pozos exploratorios o bien, no recomendarlos. También este tipo de estudios no pueden tomarse como indicadores de la cantidad de agua que puede aportar un sistema acuífero, sino hasta después de perforar un pozo exploratorio y aforarlo.

3.4. Equipo utilizado

El equipo de resistividad usado consta de un transmisor de corriente directa (CD), cuya fuente es un generador de corriente alterna (CA) que se rectifica para convertirla en CD e inyectarla al subsuelo o una batería de automóvil de 12V (CD). Un receptor de alta impedancia de entrada y electrodos impolarizables complementan el equipo básico de exploración. La **Figura 6** muestra el equipo utilizado para las mediciones de resistividad del subsuelo.



Figura 6. Equipo de resistividad utilizado para realizar el estudio geofísico de corriente directa (SEV).

3.5. Procesado de datos geofísicos

Los datos de los SEV's se procesaron con un software de modelado directo de datos geofísicos que genera modelos de capas del subsuelo en una dimensión, y a partir de la interpolación de estos modelos generamos una sección bidimensional en donde se puede observar la profundidad y valores de resistividad verdaderos de la estratigrafía del subsuelo. El software utilizado es el ZONDIP1D (2012).

4. RESULTADOS

4.1. Geofísica

Como resultado de los sondeos eléctricos verticales (SEV's) se obtuvo una sección geoelectrica, ver **Figura 7**, a partir de la correlación del SEV-1, SEV-2 y SEV-3 en donde se interpretaron alrededor de 5-8 unidades lito-estratigráficas que representan las características geológicas del lugar según la profundidad medida. En el anexo 6.1 se incluye la pseudosección resultante.

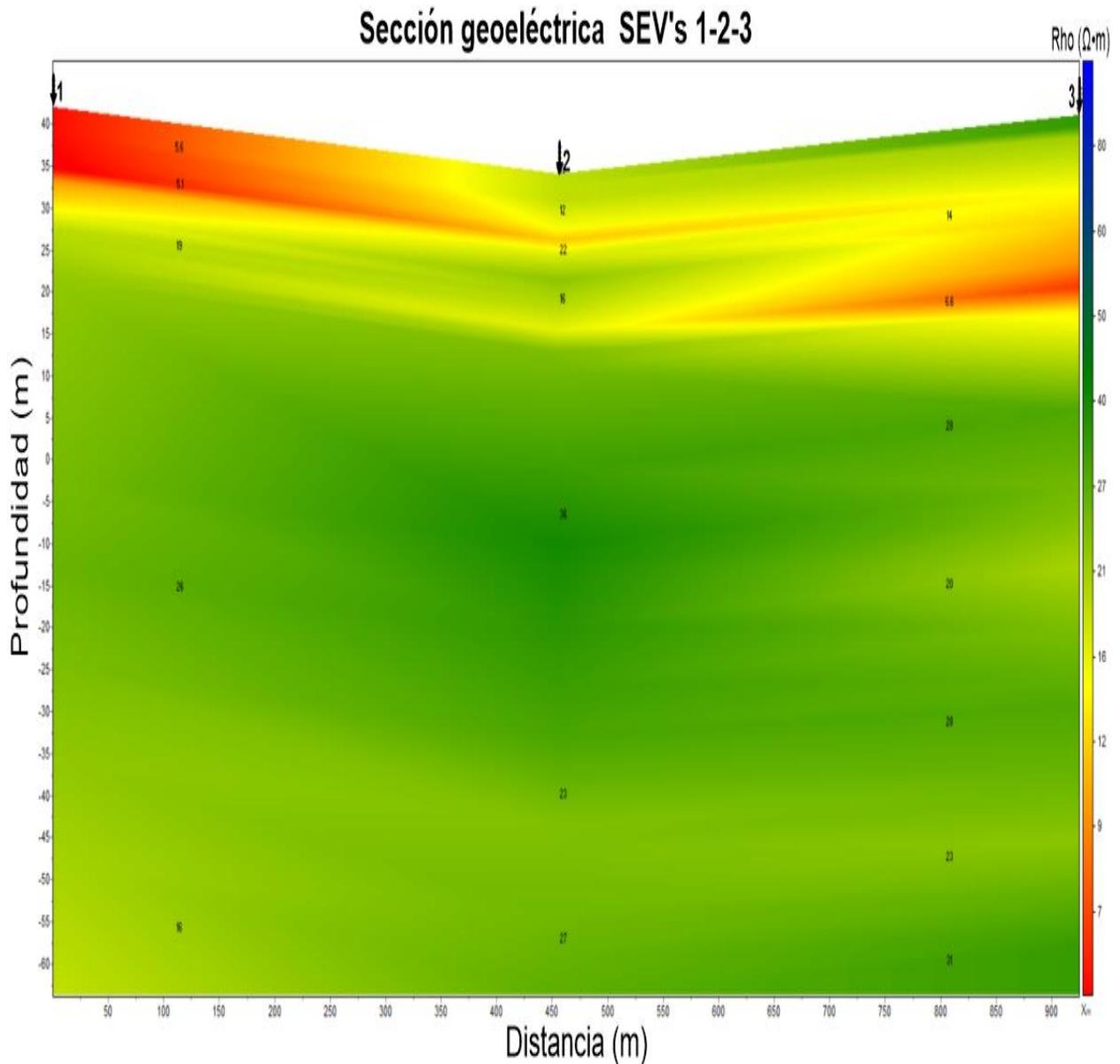


Figura 7. Sección de resistividad. De verde se observan los materiales más conductores y de azul, los más resistivos que se asocian a materiales más duros e impermeables.

En el sitio donde se realizó el SEV-1 se infirieron 5 unidades geoeléctricas con base a la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, ver **Figura 8**.

La primera capa tiene una resistividad de **6Ω•m** y un espesor de 6m, está asociada a suelo residual arcilloso.

La segunda capa tiene una resistividad de **5Ω•m** que se refiere a un horizonte de 3m de espesor asociado a conglomerado poligénico-arenisca fracturada con posible presencia de humedad.

La tercera capa contiene un espesor de aproximadamente 12m y tiene una resistividad de **19Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca.

La cuarta capa comienza a una profundidad de 21m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca de mayor compactación, su espesor es aproximadamente de 70m y tiene una resistividad de **26Ω•m**.

La quinta capa tiene una resistividad de **16Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca fracturada. Ver **figura 11**.

Tabla A1. Profundidades resultantes por el modelo con su respectiva resistividad del SEV-1. Donde, N= Número de capa, ρ= Resistividad (Ohm-m), h= Espesor (m), z=Profundidad donde inicia la capa (m).

N	ρ	h	z
1	6	6	0
2	5	3	6
3	19	12	9
4	26	70	21
5	16		91

Modelo de capas SEV-1 Error RMS=9.6%

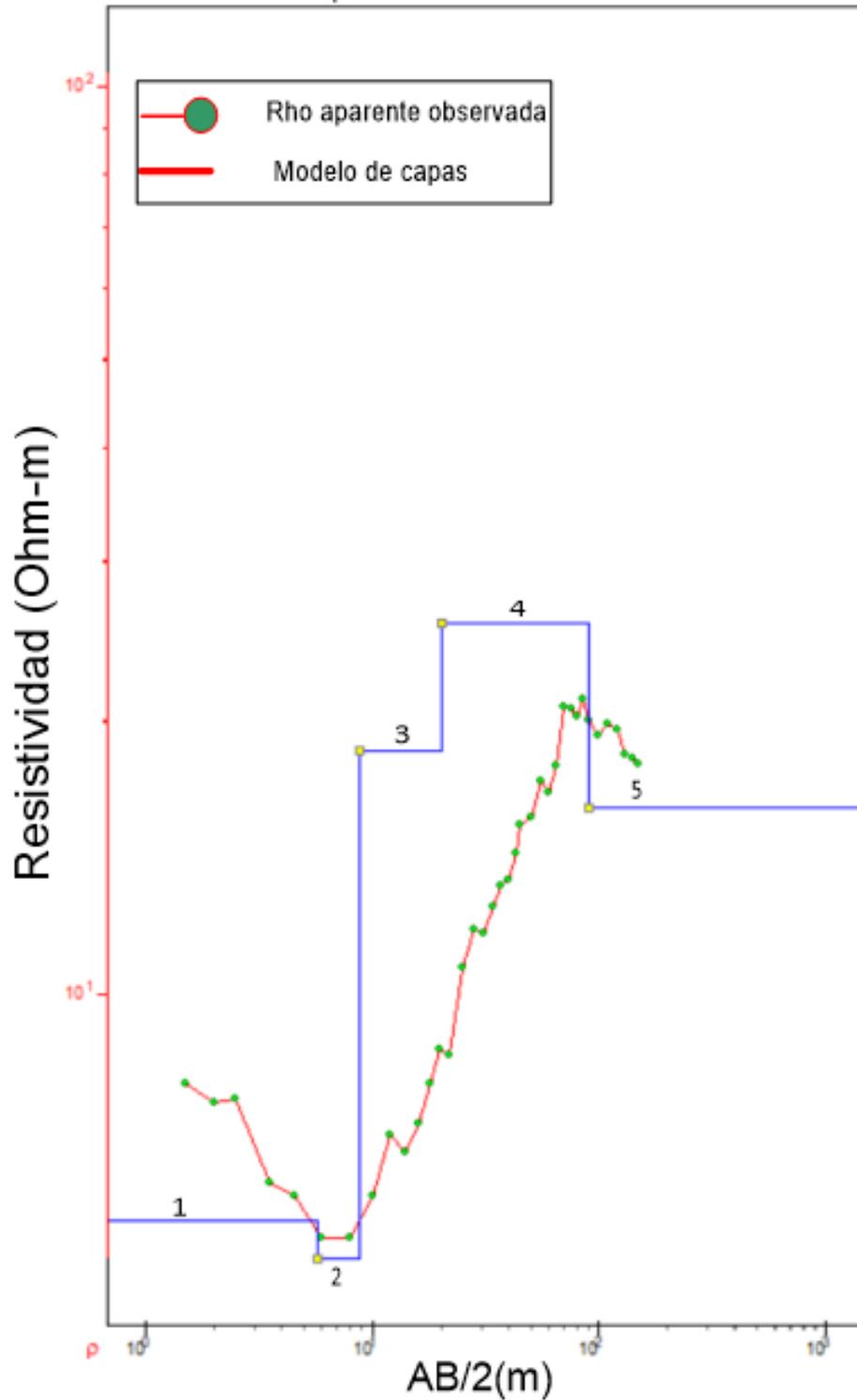


Figura 8. Modelo de capas SEV-1 y resistividad aparente observada en campo.

En el sitio donde se realizó el SEV-2 se infirieron 7 unidades geoeléctricas con base a la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, ver **Figura 9**.

La primera capa tiene una resistividad de **18Ω•m** y un espesor de 6m, está asociada a suelo residual limoso. La segunda capa tiene una resistividad de **12Ω•m** que se refiere a un horizonte de 3m de espesor asociado a conglomerado-poligénico fracturado con posible presencia de humedad.

La tercera capa contiene un espesor de aproximadamente 6m y tiene una resistividad de **22Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca.

La cuarta capa comienza a una profundidad de 15m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca fracturada con posible presencia de humedad, su espesor es aproximadamente de 5m y tiene una resistividad de **16Ω•m**.

La quinta capa tiene una resistividad de **36Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca compacta, comienza a los 20m de profundidad y tiene un espesor de 46m. se muestra fractura a los 40m con posibilidad hídrica

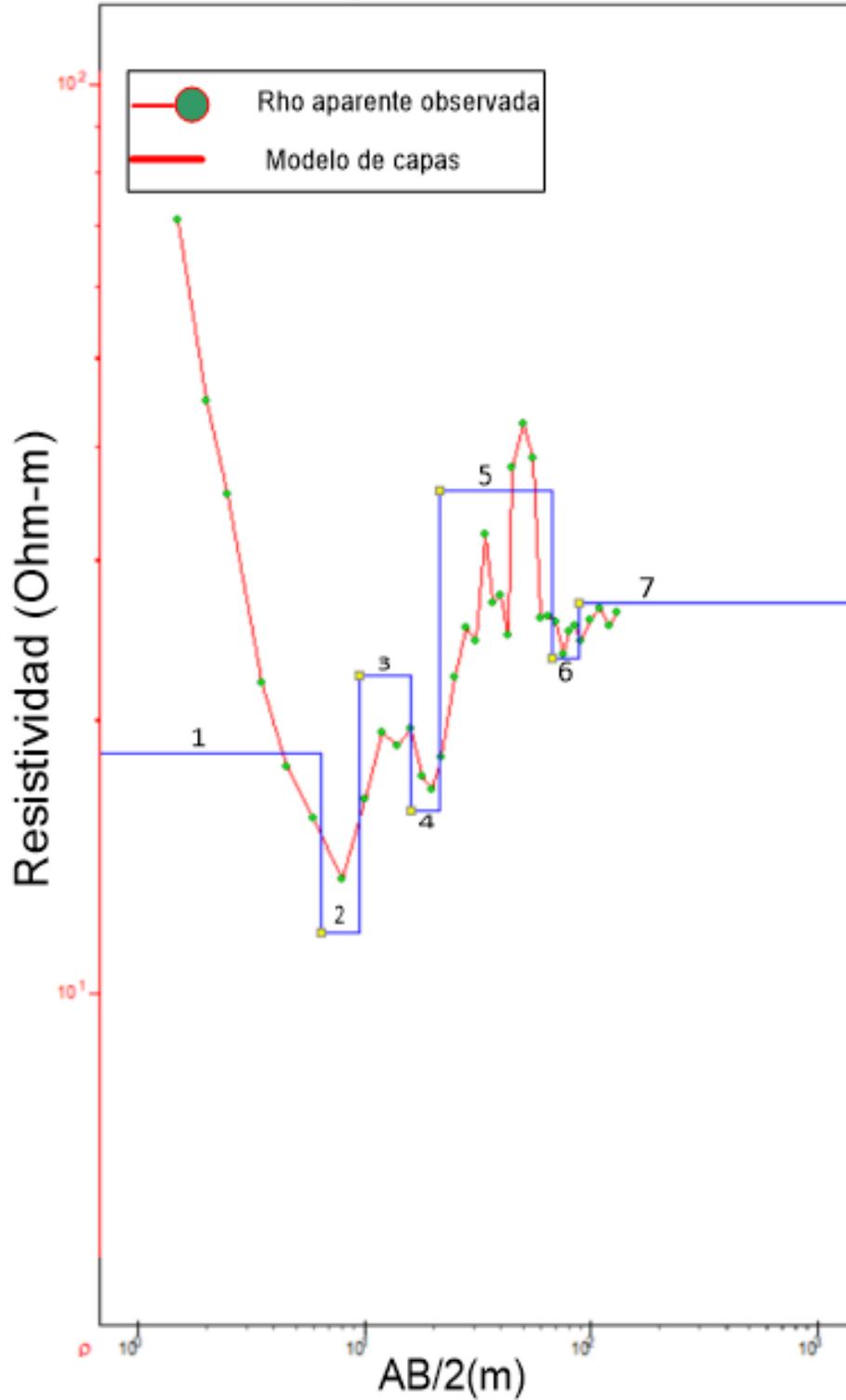
La sexta capa comienza a una profundidad de 66m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca fracturado con posible presencia de humedad, su espesor es aproximadamente de 21m y tiene una resistividad de **23Ω•m**.

La séptima capa tiene una resistividad de **27Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca. **Figura 11**.

Tabla A2. Profundidades resultantes por el modelo con su respectiva resistividad del SEV-2. Donde, N= Número de capa, ρ= Resistividad (Ohm-m), h= Espesor (m), z=Profundidad donde inicia la capa (m).

N	ρ	h	z
1	18	6	0
2	12	3	6
3	22	6	9
4	16	5	15
5	36	46	20
6	23	21	66
7	27		87

Modelo de capas SEV-2 Error RMS=17.7%



Modelo de capas SEV-2 y resistividad aparente observada en campo.

En el sitio donde se realizó el SEV-3 se infirieron 8 unidades geoeléctricas con base a la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, ver **Figura 10**.

La primera capa tiene una resistividad de **32Ω•m** y un espesor de 3m, está asociada a suelo residual limoso. La segunda capa tiene una resistividad de **14Ω•m** que se refiere a un horizonte de 15m de espesor asociado a conglomerado-poligénico-arenisca.

La tercera capa contiene un espesor de aproximadamente 6m y tiene una resistividad de **7Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca fracturado con posible presencia de humedad.

La cuarta capa comienza a una profundidad de 24m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca, su espesor es aproximadamente de 24m y tiene una resistividad de **28Ω•m**.

La quinta capa tiene una resistividad de **20Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca fracturado con posible presencia de humedad, comienza a los 48m de profundidad y tiene un espesor de 14m.

La sexta capa comienza a una profundidad de 62m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca compacto, su espesor es aproximadamente de 19m y tiene una resistividad de **28Ω•m**.

La séptima capa tiene una resistividad de **23Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca fracturada con posible presencia de humedad, su espesor es de 13m.

La octava capa tiene una resistividad de **31Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca, comienza a los 94m de profundidad. **Figura 11**.

Tabla A2. Profundidades resultantes por el modelo con su respectiva resistividad del SEV-3. Donde, N= Número de capa, ρ= Resistividad (Ohm-m), h= Espesor (m), z=Profundidad donde inicia la capa (m).

N	ρ	h	z
1	32	3	0
2	14	15	3
3	7	6	18
4	28	24	24
5	20	14	48
6	28	19	62
7	23	13	81
8	31		94

Modelo de capas SEV-3 Error RMS=33.9%

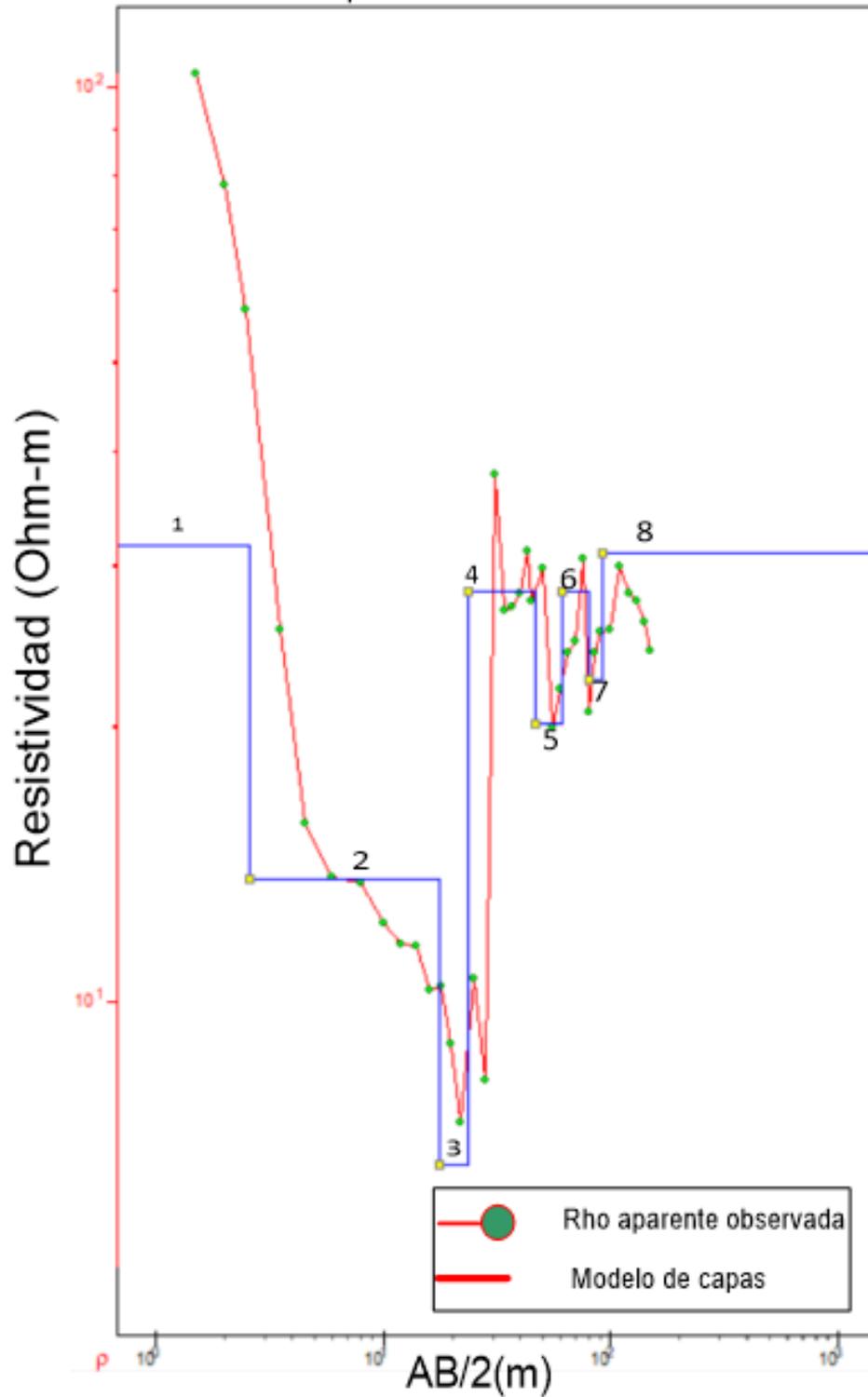


Figura 9. Modelo de capas SEV-3 y resistividad aparente observada en campo.

La **figura 11** muestra la comparación de los sondeos eléctricos verticales realizados. Se observa el sondeo 2 principalmente observa anomalías con probabilidad de agua hasta una profundidad máxima de 85m.

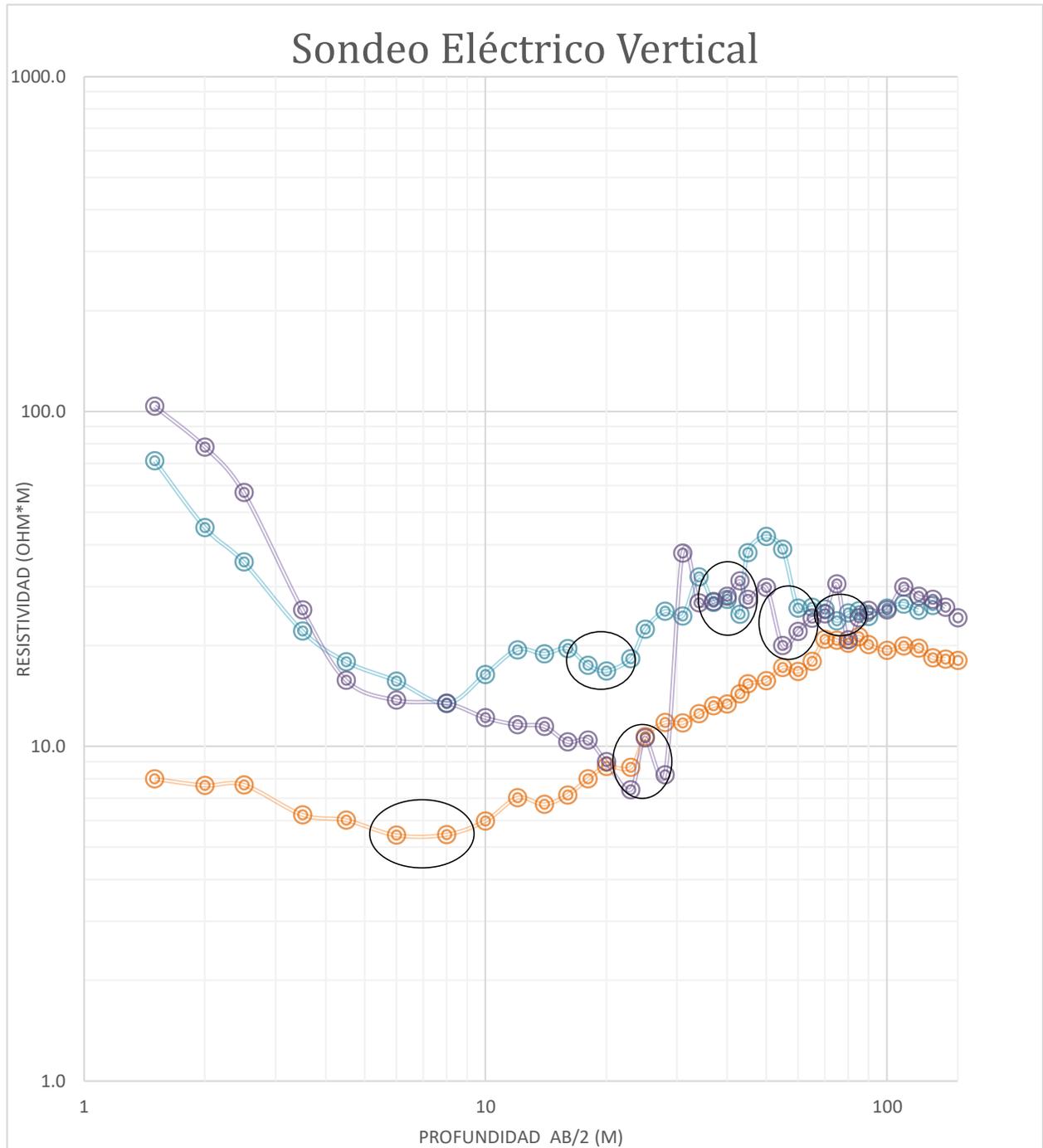


Figura 10. Comparación de los 3 Sondeos realizados. De color naranja se muestra el SEV-1, de color azul el SEV-2 y de morado el SEV-3. Con óvalos se señalan zonas con posibilidad hídrica.

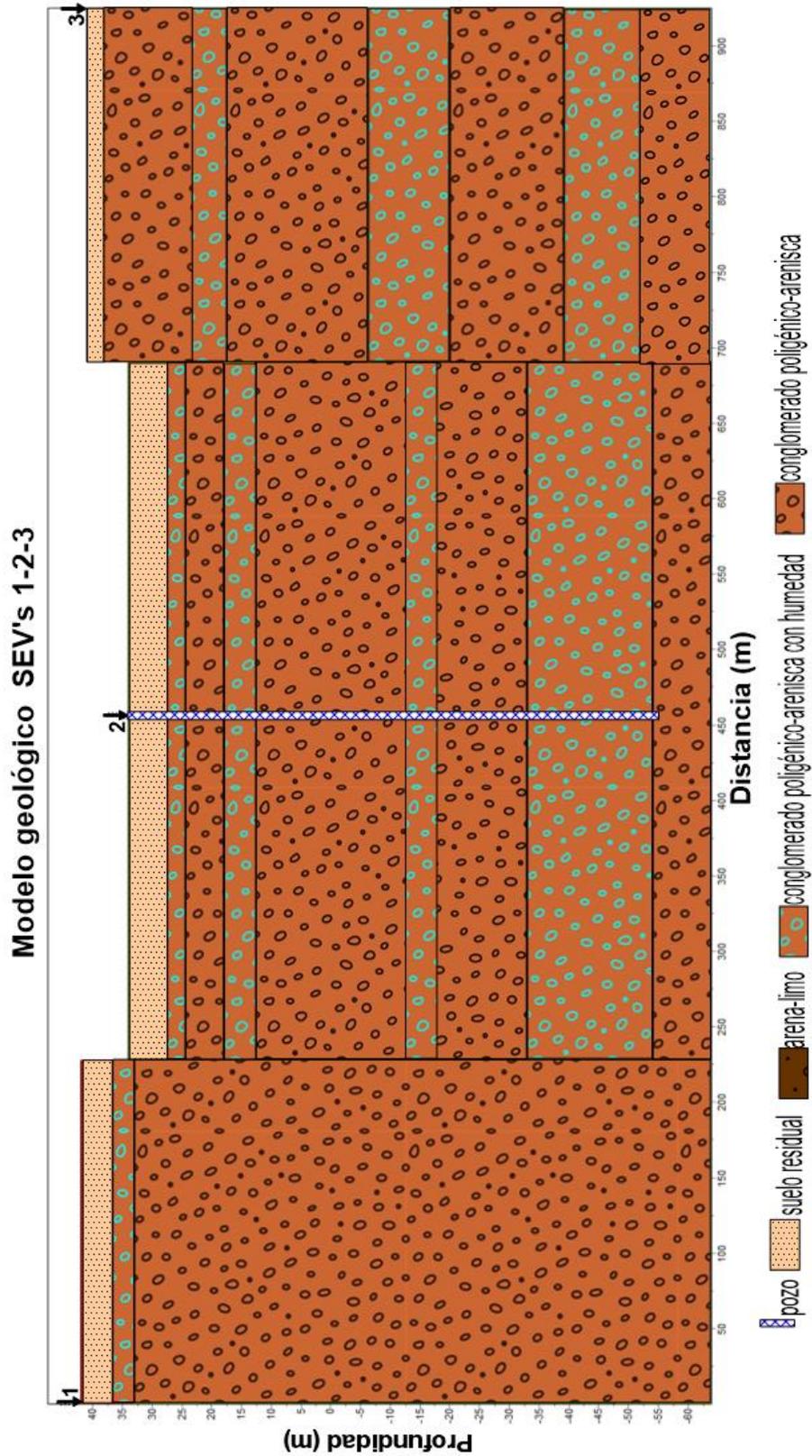


Figura 11. Sección geológica inferida a partir de los 3 SEV's realizados.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos por los estudios de geofísica, se puede concluir geohidrológicamente como **regular** a la zona donde se realizaron los sondeos, ya que está compuesta por materiales de origen sedimentario, estos materiales son permeables en los horizontes de mayor contenido de rocas pocos consolidadas y de mayor tamaño de grano como arenas de grano grande y gravas, además de las zonas de fractura del conglomerado poligénico, por lo que el flujo de agua será mayormente en estas zonas existiendo factibilidad en posibilidades hídricas señalados en la **Figura 11**.

Subyaciendo la capa fracturada se encuentra la presencia de roca la misma roca que funge como basamento geológico, es decir, roca compacta con muy baja o nula porosidad y permeabilidad. El acuífero es libre ya que el agua fluye a través de los poros de la roca sedimentaria y se esperan **gastos regulares** por el tipo de material presente, y se vuelve impermeable en las zonas sin fractura o de mayor contenido de limos y arcillas. De no haber otras alternativas de abastecimiento, se sugiere hacer una perforación exploratoria de la siguiente manera:

Como primera opción perforar en el sitio del SEV-2 a **90m de profundidad**.

Con base en la clasificación de dureza de las rocas se consideran tres tipos de materiales, denominados 'I', 'II' y 'III', correspondiendo el primero a los más blandos, y el último, a los más duros. Conforme a los resultados expuestos se determina que la dureza de los materiales corresponde a tipo II para la roca sedimentaria de tipo conglomerado y tipo I para el suelo aluvial. (CNA, 2012) **Figura 12**.

Material tipo I	Material tipo II	Material tipo III
Arcillas	Lutitas	Ortoquarcitas
Limos	Limolitas	Metacuarcitas
Arenas	Areniscas	Bloques y cantos rodados (mayores a 20 cm)
Gravas (menores a 5 cm)	Clásticos gruesos (5 a 20 cm)	Pederal
Creta y tufa	Conglomerados y brechas	Rocas ígneas extrusivas
Sanas	5	5
Yeso	Calizas, dolomías y travertinos	Rocas ígneas intrusivas
Sanas	3	5
Diatomitas	Anhidrita	Gneis
Carbón	Tezontle	Corneanas
Cenizas volcánicas	Tobas	
Perlita y retinita	Rocas ígneas extrusivas alteradas	
Pumita o toba pumíticas	Rocas ígneas intrusivas alteradas	
Tocas alteradas	Vidrio volcánico	
Rocas metamórficas alteradas	Rocas metamórficas (excepto metacuarcita, gneis y corneanas)	

Figura 12. Clasificación de suelos y rocas para estimaciones de trabajos de perforación.

Por lo cual se recomienda utilizar una máquina perforadora **rotaria** o **percusión** para poder penetrar a través de los materiales antes mencionados, ya que en varios horizontes tienen un comportamiento muy

compacto. **En dado caso de encontrarse con roca sana, será preferible detener la perforación hasta la profundidad alcanzada.**

El sitio final se deberá elegir tomando en cuenta aspectos de disponibilidad de la infraestructura (acceso, energía eléctrica, etc.). Durante la perforación se deberá analizar la muestra de roca, y en caso de estar sanas se deberá detener la perforación.

Al terminar la perforación y antes de ademar en su caso el pozo, se recomienda hacer un **registro eléctrico** (de resistividad y potencial natural), para conocer las posibilidades reales de las formaciones geológicas en cuanto a su permeabilidad y saber si se debe parar la perforación o aumentar algunos metros si existe respuesta favorable. Del mismo modo, **se recomienda efectuar un análisis de la calidad del agua** y monitorearlo de manera permanente para evaluar algún problema eventual de contaminación.

Para elegir correctamente el diámetro del ademe se deben satisfacer dos necesidades principales: Que exista un espacio suficiente para el alojamiento de la bomba y un espacio libre que permita su instalación y mantenimiento. La siguiente tabla de CONAGUA muestra de la cantidad máxima de agua que puede fluir del pozo desde una tubería con diámetro conocido. El diámetro del ademe debe tener un espacio libre que garantice la buena eficiencia hidráulica del aprovechamiento en operación.

El diámetro se determina de acuerdo al tamaño de la bomba por utilizar, que es función del gasto y la potencia requerida. De forma general, se recomienda que el diámetro del tubo del ademe sea 5 cm (2") mayor que el diámetro nominal de la Bomba requerida. En la **Tabla 2** se muestran algunas recomendaciones para determinar el diámetro del ademe en función del gasto que se espera obtener y en la **Tabla 3** se presentan las máximas descargas de acuerdo a los diámetros del tubo de ademe.

TABLA 2. Diámetro del ademe en función al gasto esperado.

Gasto esperado (L/s)	Diámetro nominal de tazonos de bomba (mm)	Medida óptima del diámetro del ademe (mm) (pulg.)	Medida mínima del diámetro del ademe (mm) (pulg.)
Menos de 6	102	(152) Di (6")	(127) Di (5")
5 a 11	127	(203) Di (8")	(152) Di (6")
10 a 22	152	(254) Di 10")	(203) Di (8")
20 a 44	203	(305) Di (12")	(254) Di (10")
30 a 60	254	(356) DE (14")	(305) Di (12")
50 a 115	305	(406) DE (16")	(356) DE (14")
75 a 190	356	(508) DE (20")	(406) DE (16")
125 a 240	406	(610) DE (24")	(508) DE (20")
190 a 380	508	(782) DE (30")	(610) DE (24")

DI: diámetro interior, DE: diámetro exterior

TABLA 3. Descarga máxima a partir del diámetro estándar del ademe

Medida del ademe (mm)	Pulg.	Descarga máxima (L/s)
(102)	(4")	13
(127)	(5")	20
(152)	(6")	28
(203)	(8")	49
(254)	(10")	78
(305)	(12")	111
(337)	(14")	136
(387)	(16")	180
(439)	(18")	230
(489)	(20")	286
(591)	(24")	418

6. ANEXOS

6.1. Pseudosección de resistividad

La representación de los datos tomados en campo genera una pseudo-sección de resistividad aparente contra pseudo-profundidad, ver Figura A1. Este tipo de mapas sirve para ver coherencia en los datos, sin embargo, no tiene que ver nada con la realidad del subsuelo, ya que el punto de atribución se da a 45° de distancia entre transmisor y receptor, y no necesariamente ocurre esto en el interior de la tierra. Es necesario aplicar técnicas de inversión de datos para obtener el valor y posición verdadera de la distribución de la resistividad del subsuelo. En este trabajo la sección resultante es muy similar a la pseudosección, esto indica que la respuesta del modelo generado por el software es confiable y genera más certidumbre.

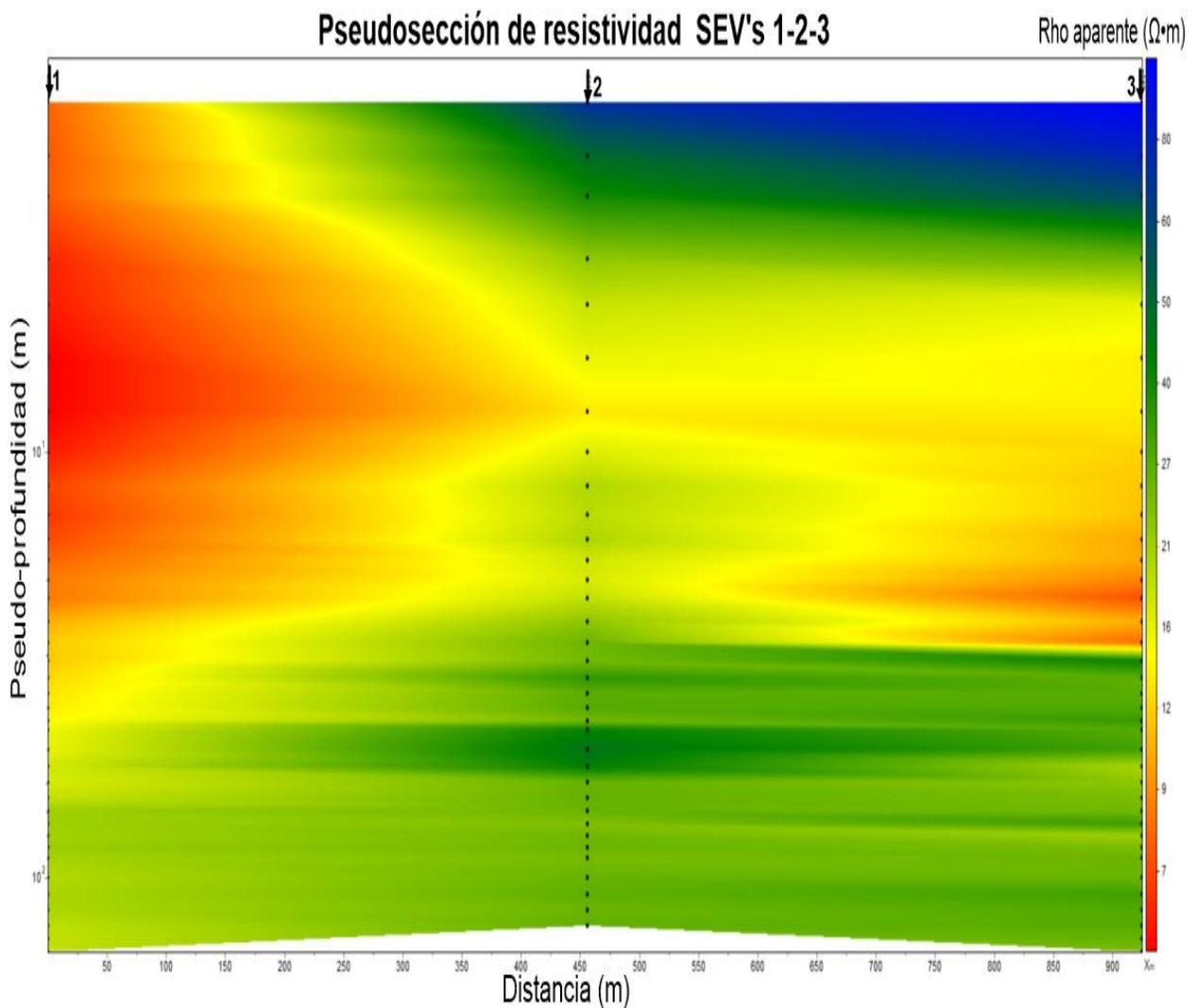


Figura A1. Pseudosección de resistividad aparente. De rojo se observan los materiales más conductores y de azul los más resistentes que se asocian a materiales más duros e impermeables. Con puntos negros se observa la profundidad teórica alcanzada en cada medición.

6.2. Memoria técnica

SEV-1



SEV-2



SEV-3



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Reynolds, J., 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Wiley, p. 417-425.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., 1990, Applied Geophysics. Cambridge University Press, p. 283-289.
- Keller, G.V., 1989, Electrical properties, en: R.S. Carmichael, editor, Practical Handbook of Physical Properties of Rocks and Minerals, CRC Press, pp. 361-427.
- Arosio, D., Longoni, L., Mazza, F., Papini, M. and Zanzi, L. (2013). Freeze-thaw cycle and rockfall monitoring. In Landslide Science and Practice, Springer Berling Heidelberg, 385-390 p.
- Hill, M. L. (1959). Dual classification of faults. The Association of Petroleum Geologists Bulletin. 43 (1), 217-237.
- INEGI. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tuxtepec Oaxaca, 2010.
- INEGI. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, 2009.
- SGM. Carta Geológica Orizaba E14-16. Primera Edición 2000.
- SGM. Conjunto de datos vectoriales geológicos. Primera Edición 2000.
- INEGI. Mapa hidrográfico 2020.
- INEGI. Áreas geoestadísticas municipales. 2001.
- CNA. Manual de agua. Edición 2007. México D.F.

ESTUDIO GEOFÍSICO PARA EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS SUBTERRÁNEAS Y EN SU CASO, PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO.

Estado: Oaxaca.

Municipio: Tuxtepec

Localidad: San Rafael



Realizó:
M.C. Valdemar Belmonte García
Ced. Prof.: 12000740

octubre/2023

Cel: 9511056286 - E-mail: belmonte.oaxaca@gmail.com

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	3
1.1.	Antecedentes	3
1.2.	Objetivo de estudio	4
1.3.	Localización del área de estudio	5
2.	ASPECTOS FÍSICOS	6
2.1.	Geología Regional	6
2.2.	Hidrología	7
3.	METODOLOGÍA	7
3.1.	Fundamentos generales de Geofísica	7
3.2.	Método de resistividad (Sondeo Eléctrico Vertical, SEV)	8
3.3.	Metodología del estudio	9
3.4.	Equipo utilizado	10
3.5.	Procesado de datos geofísicos	10
4.	RESULTADOS	11
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
6.	ANEXOS	23
6.1.	Pseudosección de resistividad	23
6.2.	Memoria técnica	24
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El presente trabajo se realizó con el propósito de caracterizar el área de influencia y **evaluar el sitio desde el punto de vista geohidrológico más favorable para el almacenamiento y transmisión de agua subterránea**, que permita abastecer del vital líquido a a la población perteneciente a San Rafael, ubicado en el municipio de Tuxtepec, Oaxaca, ver **Figura 1**.

El método empleado para el estudio geofísico fue el de resistividad de corriente directa, consistió en la realización de **tres** Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) localizados en los predios de interés.

Con este estudio realizado, se elaboró un perfil litológico en el que se incorporó la información geológica y geofísica obtenida. En este estudio se alcanzó una profundidad teórica de exploración de **100m** con lo cual se pretende conocer las características del subsuelo y evaluar las posibilidades acuíferas, así como la geometría del basamento que en esta área corresponde a **roca sedimentaria de tipo lutita-caliza**

Es importante recalcar que con este tipo de estudios se investigan las posibilidades acuíferas subterráneas de la zona, pero **NO es posible cuantificar el gasto** que pueda en su caso tener un pozo profundo antes de perforarlo y hacer el aforo correspondiente, **así como garantizar la calidad de agua**. El trabajo de campo se realizó el **04 de octubre de 2023**.

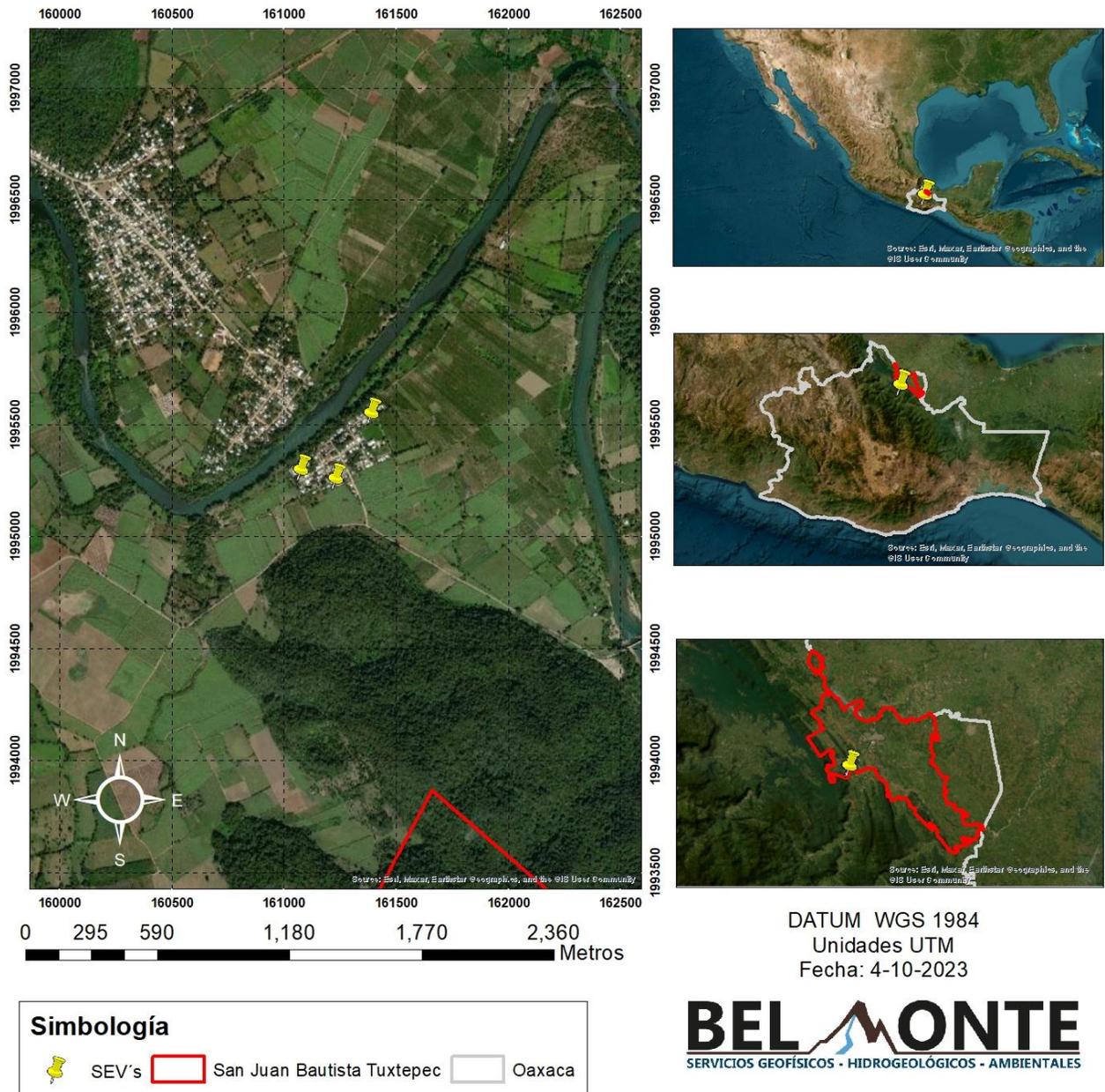


Figura 1. Plano de localización general de la zona donde se realizó el estudio geofísico con enfoque geohidrológico ubicado el municipio de Tuxtepec, Oaxaca. Con un polígono rojo se señala la extensión del municipio, con símbolos color amarillo se señalan las zonas exploradas.

Fuente: INEGI, 2012

1.2. Objetivo de estudio

El presente informe geofísico se realizó con el objetivo de caracterizar el área de influencia y evaluar el sitio geohidrológicamente más favorable que cumpla con las características de almacenamiento y transmisión de agua subterránea, que permita suministrar el vital líquido a la población de interés. Esto se llevará a cabo determinando el **espesor** de las capas permeables y los **límites** del acuífero en profundidad en caso de existir.

1.3. Localización del área de estudio.

El municipio San Juan Bautista Tuxtepec está situado al noreste del estado de Oaxaca. Forma parte del distrito 06 Tuxtepec en la región conocida como Papaloapan. Se ubica entre las coordenadas geográficas 17°48' y 18°19' de latitud norte y 95°51' y 96°19' longitud oeste, a una altura que va de los 100 a los 400 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el estado de Veracruz y el municipio de San Miguel Soyaltepec, al sur con los municipios de Santiago Jocotepec y Loma Bonita, al poniente con los municipios de Santa María Jacatepec, San Lucas Ojitlán y San José Chiltepec, al oriente con el municipio de Loma Bonita. En la **Figura 2**, se indica con mayor detalle, la ubicación específica donde se realizaron los Sondeos Eléctricos Verticales.

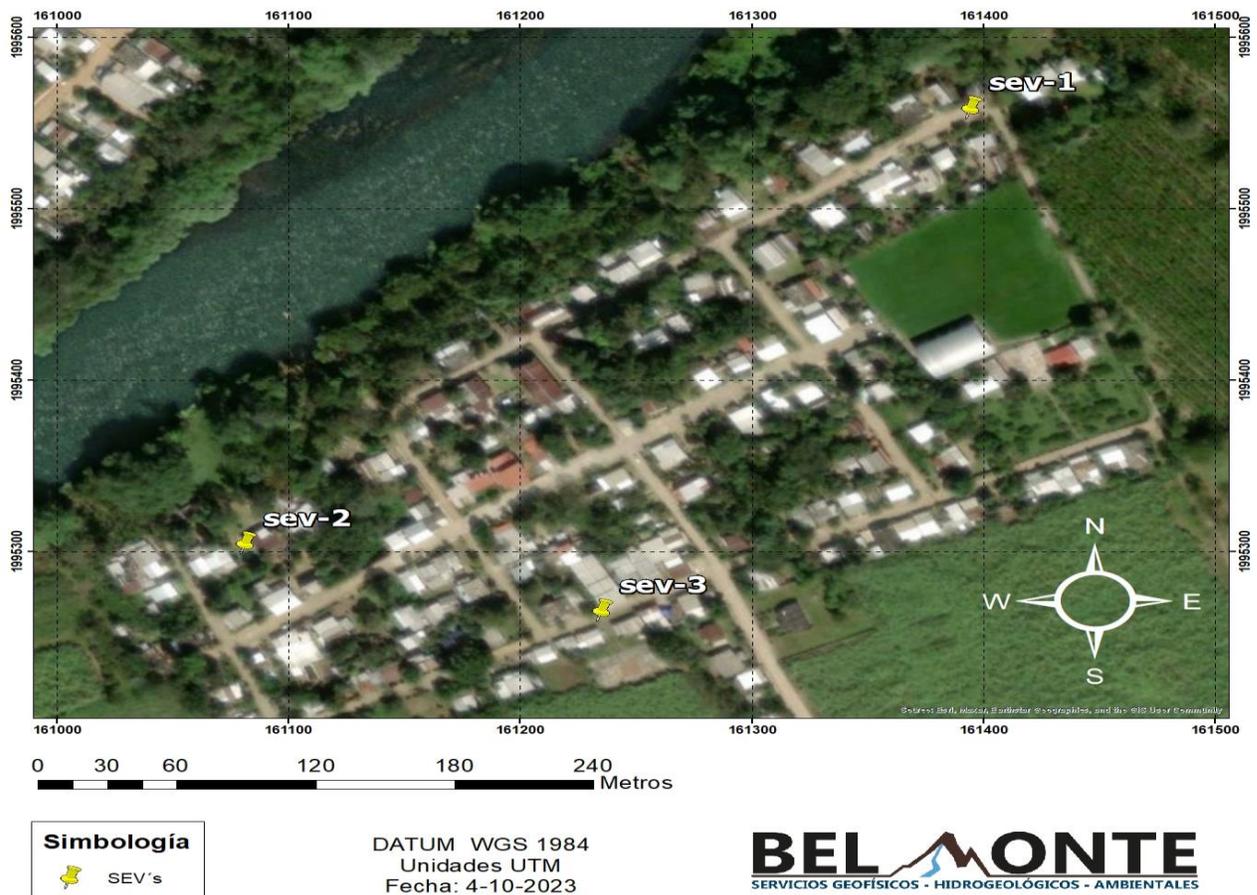


Figura 2. Ubicación delimitada del sitio en donde se efectuaron los SEV's, en los predios de interés en San Rafael.

En la **tabla 1** se muestra la ubicación en coordenadas UTM de los puntos donde se realizaron los Sondeos Eléctricos Verticales.

Tabla 1. Coordenadas UTM y elevación del punto en donde se efectuó cada Sondeo Eléctrico Vertical.

Zona 14Q	Coordenada Este (m)	Coordenada Norte (m)	Elevación (m)
SEV 1	796731	1994880	31
SEV 2	796426	1994616	29
SEV 3	796581	1994582	34

2. ASPECTOS FÍSICOS

2.1. Geología Regional

La geología predominante en el municipio San Juan Bautista Tuxtepec está conformada por rocas de periodo Neógeno (57.35%), Cuaternario (16.17%), Paleógeno (15.16%) y Cretácico (10.21%). El principal tipo de roca que aflora en la región es de clase sedimentaria, de tipo conglomerado (46.59%), lutita-arenisca (15.16%), caliza (10.21%), arenisca (9.09%) y arenisca conglomerado (1.67%). También existe presencia de suelo aluvial (16.17%). Ver **Figura 3**.

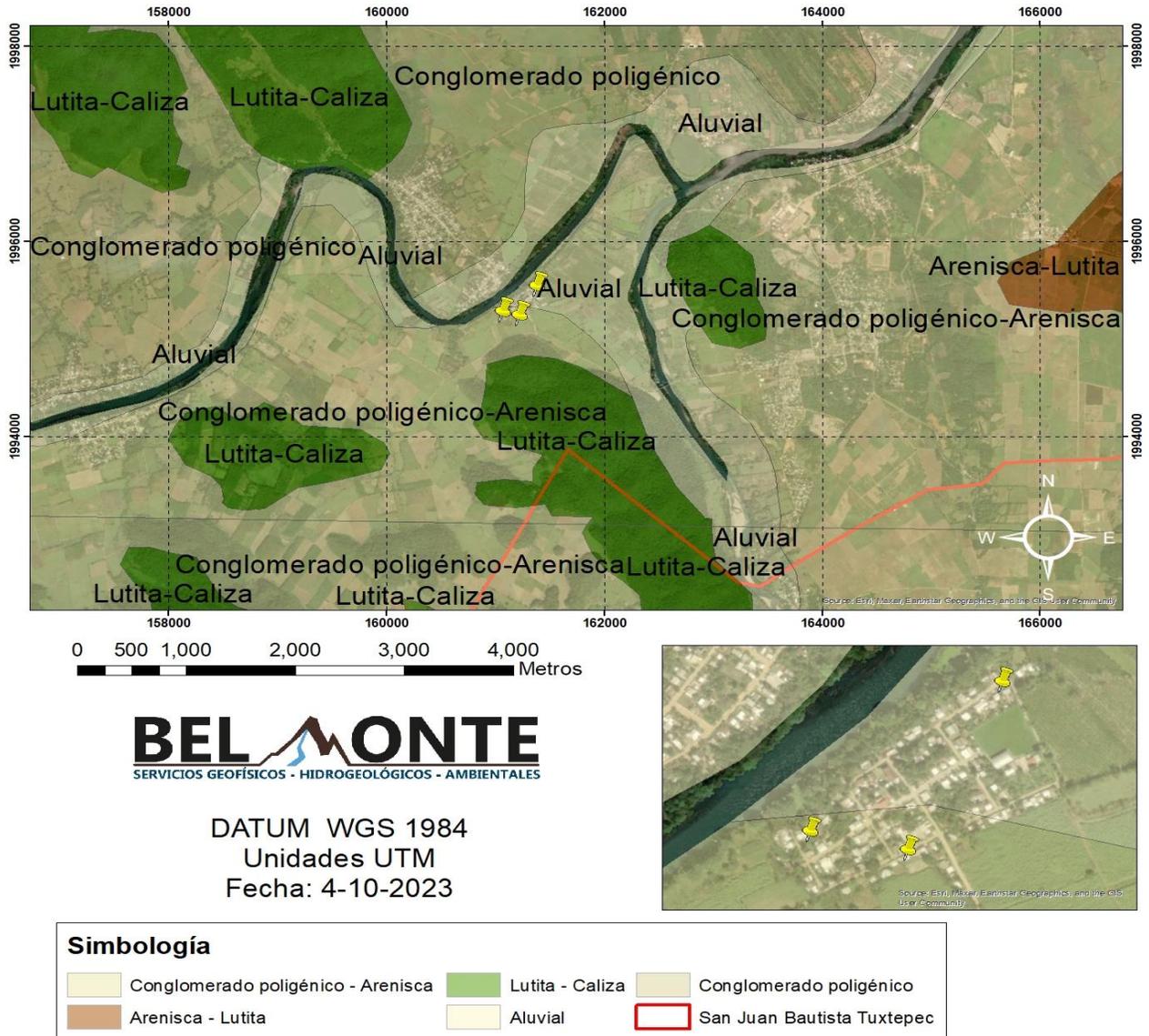


Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio escala 1:50,000m. Con un símbolo asignado color amarillo se observa la ubicación donde se efectuaron los SEV's. Se observa que toda el área de estudio se encuentra en zona de roca sedimentaria de tipo aluvial en la superficie y subyaciendo se encuentra la presencia de roca de tipo lutita-caliza.

Fuente: SGM, 2000; INEGI, 2012

2.2. Hidrología

El municipio de San Juan Bautista Tuxtepec se ubica en su totalidad dentro de la región hidrológica Papaloapan. La cuenca que cubre todo el municipio es R. Papaloapan. De esta cuenca se derivan las subcuencas R. Blanco (48.02%), R. Obispo (45.43%), R. Tesechoacán (4.43%), R. Playa (1.73%) y R. Amapa (0.39%) las cuales son las únicas subcuencas que le conciernen al municipio. Cerca de la zona de estudio existen cauces de ríos perennes como Papaloapan, Tonto, Valle Nacional, Santo Domingo, Amapa, Limón, La Virgen, Obispo y Coapa lo cual es favorable para la recarga de acuíferos someros. **Figura 4.** Se observa que los puntos se encuentren cercanos a una corriente superficial que pueda significar tener un nivel freático más somero.

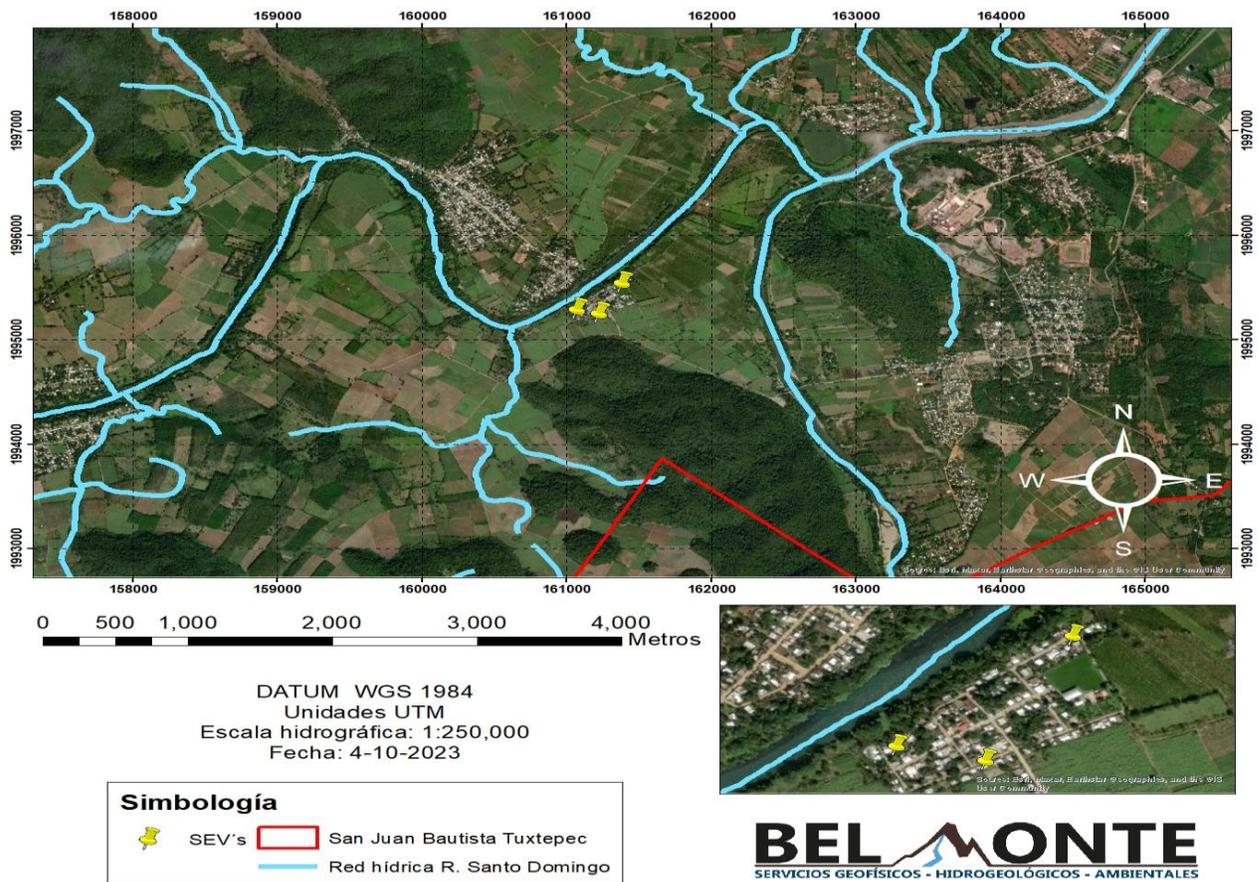


Figura 4. Mapa hidrológico de la zona de estudio escala 1:50,000 en donde se realizaron las mediciones de resistividad en Manantiales del Escobillado, Oaxaca; con un símbolo color amarillo se señalan las zonas exploradas.

Fuente: INEGI, 2001

3. METODOLOGÍA

3.1. Fundamentos generales de Geofísica

La Geofísica es la ciencia que estudia los campos físicos que se encuentran involucrados en nuestro planeta. Es una rama en común con la geología y física, ya que comparte con la primera la búsqueda del conocimiento de las características de la Tierra, y con la segunda, la aplicación de métodos, técnicas y

principios de carácter indirecto que son amigables con el medio ambiente, para cuantificar las diversas propiedades físicas del subsuelo y de la Tierra para así poder determinar su distribución espacial, ejemplo de ellos es la densidad, campo magnético, conductividad eléctrica, velocidad de transmisión de ondas elásticas, etc. La finalidad de la geofísica de exploración es la de separar zonas que aparecen como estériles de las que presentan posibilidades de contener yacimientos económicamente explotables y/o que muestren alguna característica de interés para el proyecto planteado.

La selección del método geofísico apropiado para una campaña de exploración depende del objetivo del estudio, de las características de las estructuras geológicas y las condiciones del terreno. La interpretación de los datos geofísicos consta de 2 niveles, primero la modelación matemática en el que se definen las combinaciones de valores de la propiedad que se mide y de la geometría de las estructuras del subsuelo coherentes con las mediciones realizadas en el terreno, y segundo, la interpretación de los modelos en términos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos, etc.

3.2. Método de resistividad (Sondeo Eléctrico Vertical, SEV)

Los métodos de resistividad de corriente directa (DC) son eficaces cuando existen contrastes significativos en las propiedades eléctricas de las rocas. Éstos utilizan fuentes artificiales de corriente para producir un campo de potencial eléctrico en el subsuelo. La frecuencia de la corriente continua de la fuente es cero, es decir, no varía con el tiempo. Conociendo la corriente introducida a través de los electrodos fuente y la configuración geométrica electródica se puede determinar la distribución espacial de la resistividad (o su recíproco, la conductividad) en el subsuelo. Como el objetivo es encontrar agua subterránea, se utilizó el método eléctrico de corriente directa conocido como arreglo Schlumberger en su variante de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) ya que es el más adecuado para cumplir el objetivo propuesto, esto debido a que este arreglo logra obtener mejor sensibilidad para encontrar anchura, profundidad, espesor y resistividad de los cuerpos a grandes profundidades en comparación con otros arreglos eléctricos como lo es el Dipolo-Dipolo y Wenner.

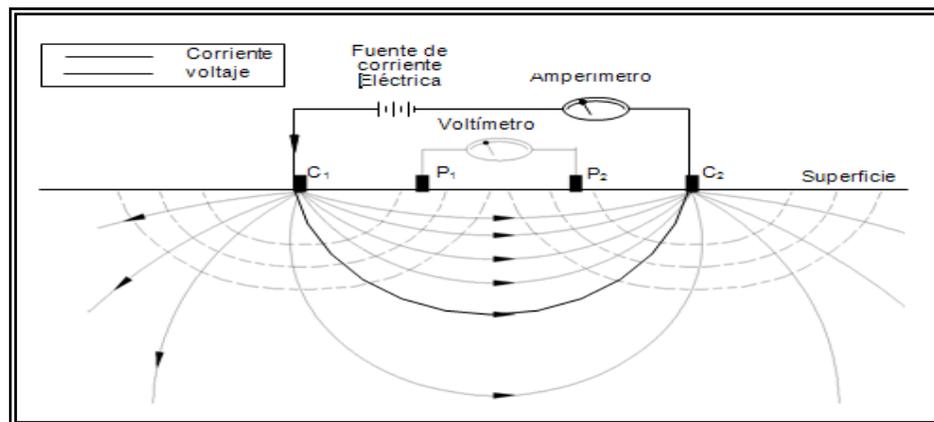


Figura 5. Diagrama que indica la forma de medir la resistividad en campo. C1 y C2 son electrodos de corriente, P1 y P2 electrodos de potencial.

El arreglo Schlumberger consta de cuatro electrodos colineales. Los dos electrodos exteriores actúan como fuente (C1-C2) inyectando corriente eléctrica y los dos electrodos interiores actúan como receptores midiendo el potencial eléctrico (P1-P2). La **Figura 5** se muestra un esquema de la disposición de los electrodos en campo.

Los electrodos de potencial se instalan en el centro del arreglo con una pequeña separación entre ellos en comparación con los electrodos de corriente, $(C1-C2) / 2 \gg 5 (P1-P2)$. Los electrodos de corriente incrementan su separación durante el estudio para lograr alcanzar mayor profundidad de exploración, mientras que los electrodos de potencial permanecen en la misma posición hasta que el voltaje observado se vuelve demasiado pequeño para medir, por lo que es necesario cambiarlos a una posición más cercana a los electrodos de corriente.

Finalmente conociendo la corriente inyectada, el potencial medido y la distribución geométrica de los electrodos se puede conocer el valor de la resistividad aparente en el subsuelo.

El valor de resistividad aparente obtenido en campo es graficada en escala bi-logarítmica debido al rango tan grande que existe entre los valores de resistividad de las rocas y minerales en el subsuelo (0.1 Ω -m hasta más de 1,000,000 Ω -m) de donde se obtiene un modelo de capas inicial de la tierra, el cual sirve para iniciar iterativamente el modelado directo con un software que calcula un nuevo modelo de resistividad real a partir de la resistividad aparente, esto sucede al resolver la ecuación diferencial que rige el flujo de la corriente eléctrica en medios estratificados.

El resultado final es un modelo geoelectrico del subsuelo para cada sondeo, definido por espesores y resistividad de las capas interpretadas. Los modelos geoelectricos se correlacionan considerando la información de la zona como son la geología local, presencia de pozos, ríos o cuerpos de agua cercanos, registros eléctricos de pozos en su caso, así como estudios anteriores en caso de existir.

3.3. Metodología del estudio

El estudio consistió en interpretación geológica, hidrogeológica, observación en campo, medición de los datos geofísicos e interpretación de los resultados obtenidos. Para el caso de los trabajos geológicos, se analizaron mapas geológicos, para el caso de hidrogeológicos se utilizó un simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas. Los trabajos de geofísica consistieron en la realización de **tres** sondeos eléctricos verticales (SEV) que proporcionó información de la geometría, propiedades geohidrológicas del subsuelo y estructuras geológicas a profundidad que fueron correlacionadas con información disponible del área a nivel regional.

Este tipo de estudios tienen naturalmente limitaciones al ser estudios indirectos, aunque son valiosos al proporcionar información para tomar decisiones en la ubicación de sitios con mayores posibilidades hídricas para realizar pozos exploratorios o bien, no recomendarlos. También este tipo de estudios no pueden tomarse como indicadores de la cantidad de agua que puede aportar un sistema acuífero, sino hasta después de perforar un pozo exploratorio y aforarlo.

3.4. Equipo utilizado

El equipo de resistividad usado consta de un transmisor de corriente directa (CD), cuya fuente es un generador de corriente alterna (CA) que se rectifica para convertirla en CD e inyectarla al subsuelo o una batería de automóvil de 12V (CD). Un receptor de alta impedancia de entrada y electrodos impolarizables complementan el equipo básico de exploración. La **Figura 6** muestra el equipo utilizado para las mediciones de resistividad del subsuelo.



Figura 6. Equipo de resistividad utilizado para realizar el estudio geofísico de corriente directa (SEV).

3.5. Procesado de datos geofísicos

Los datos de los SEV's se procesaron con un software de modelado directo de datos geofísicos que genera modelos de capas del subsuelo en una dimensión, y a partir de la interpolación de estos modelos generamos una sección bidimensional en donde se puede observar la profundidad y valores de resistividad verdaderos de la estratigrafía del subsuelo. El software utilizado es el ZONDIP1D (2012).

4. RESULTADOS

4.1. Geofísica

Como resultado de los sondeos eléctricos verticales (SEV's) se obtuvo una sección geoelectrica, ver **Figura 7**, a partir de la correlación del SEV-1, SEV-2 y SEV-3 en donde se interpretaron alrededor de 6-9 unidades lito-estratigráficas que representan las características geológicas del lugar según la profundidad medida. En el anexo 6.1 se incluye la pseudosección resultante.

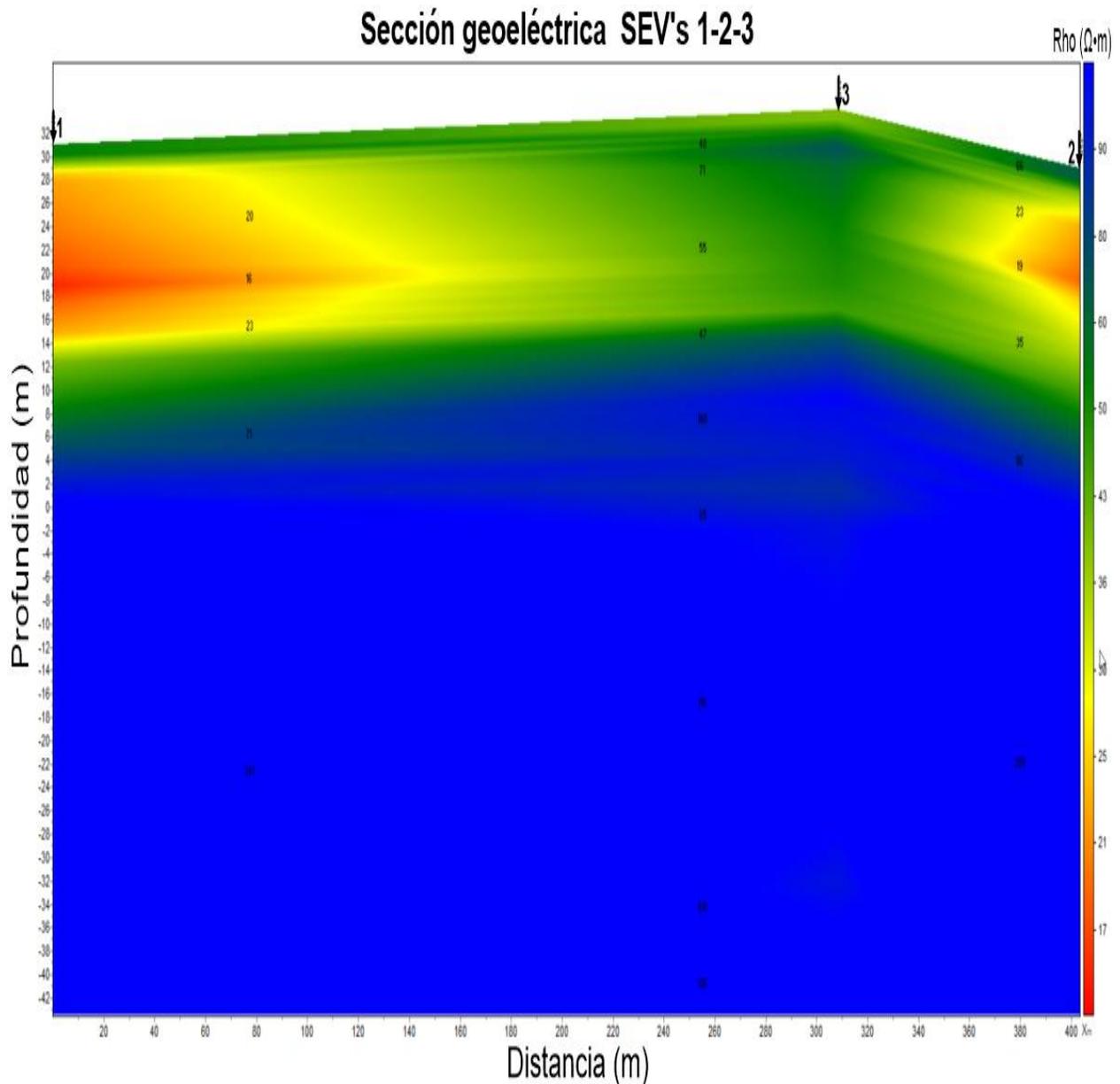


Figura 7. Sección de resistividad. De verde se observan los materiales más conductores y de azul, los más resistivos que se asocian a materiales más duros e impermeables.

En el sitio donde se realizó el SEV-1 se infirieron 7 unidades geoeléctricas con base a la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, ver **Figura 8**.

La primera capa tiene una resistividad de **55Ω•m** y un espesor de 2m, está asociada a suelo residual.

La segunda capa tiene una resistividad de **24Ω•m** que se refiere a un horizonte de 2m de espesor asociado a arenas-limos-boleos.

La tercera capa contiene un espesor de aproximadamente 7m y tiene una resistividad de **20Ω•m** asociada a arena-limos-boleos.

La cuarta capa comienza a una profundidad de 11m y se asocia a arenas-limos-boleos con posible presencia de humedad, su espesor es aproximadamente de 4m y tiene una resistividad de **16Ω•m**.

La quinta capa tiene una resistividad de **23Ω•m** asociada a caliza-lutita fracturada, comienza a los 15m de profundidad y tiene un espesor de 5m.

La sexta capa comienza a una profundidad de 20m y se asocia a caliza-lutita, su espesor es aproximadamente de 14m y tiene una resistividad de **71Ω•m**.

La séptima capa comienza a una profundidad de 34m y se asocia a caliza-lutita compacta, tiene una resistividad de **241Ω•m**. Ver **figura 11**.

Tabla A1. Profundidades resultantes por el modelo con su respectiva resistividad del SEV-1. Donde, N= Número de capa, ρ= Resistividad (Ohm-m), h= Espesor (m), z=Profundidad donde inicia la capa (m).

N	ρ	h	z
1	55	2	0
2	24	2	2
3	20	7	4
4	16	4	11
5	23	5	15
6	71	14	20
7	241		34

Modelo de capas SEV-1 Error RMS=20.9%

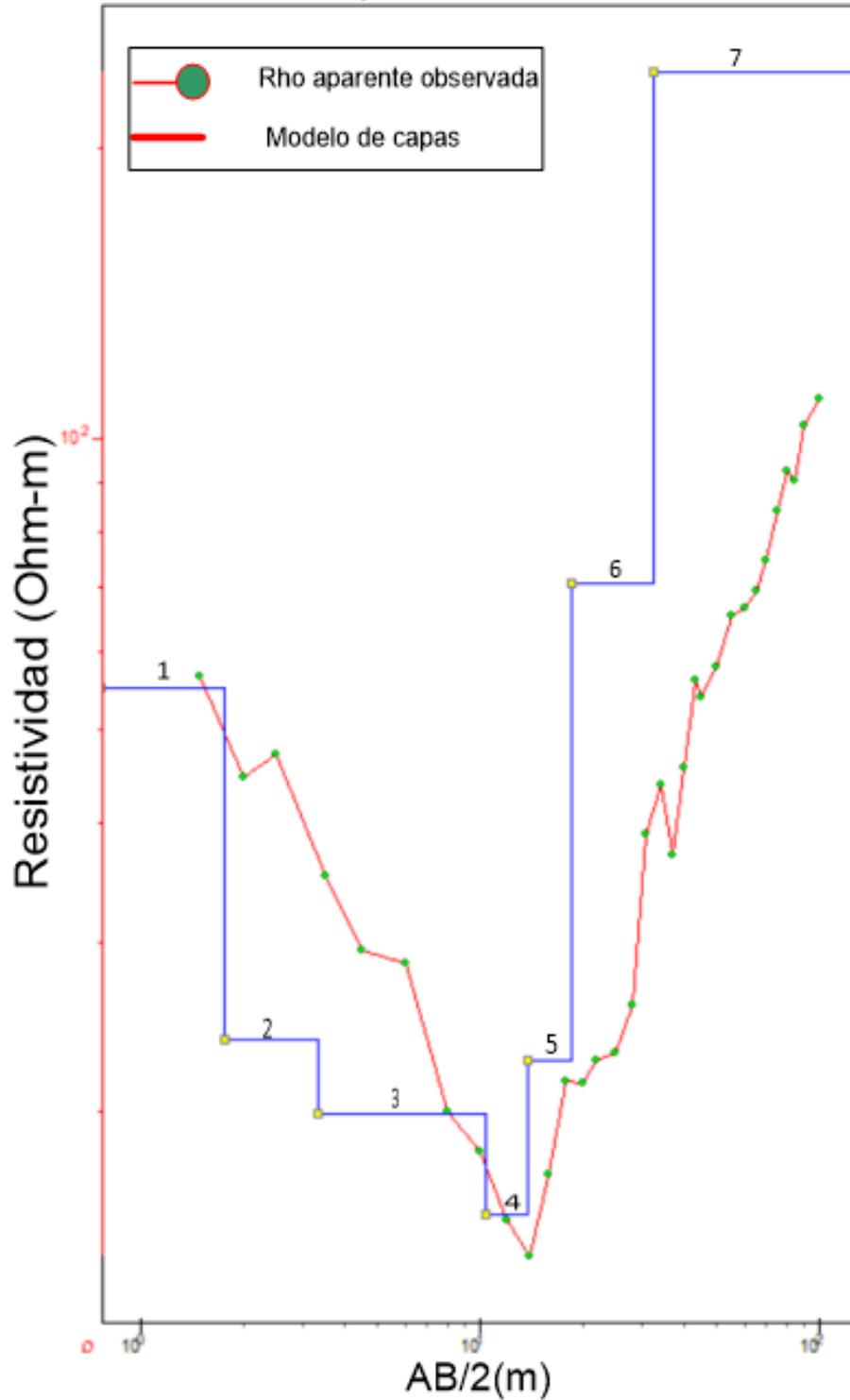


Figura 8. Modelo de capas SEV-1 y resistividad aparente observada en campo.

En el sitio donde se realizó el SEV-2 se infirieron 6 unidades geoeléctricas con base a la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, ver **Figura 9**.

La primera capa tiene una resistividad de **66Ω•m** y un espesor de 2m, está asociada a suelo residual.

La segunda capa tiene una resistividad de **23Ω•m** que se refiere a un horizonte de 6m de espesor asociado a arenas-limos-boleos.

La tercera capa contiene un espesor de aproximadamente 4m y tiene una resistividad de **19Ω•m** asociada a arena-limos-boleos con posible presencia de humedad.

La cuarta capa comienza a una profundidad de 11m y se asocia a caliza-lutita, su espesor es aproximadamente de 9m y tiene una resistividad de **35Ω•m**.

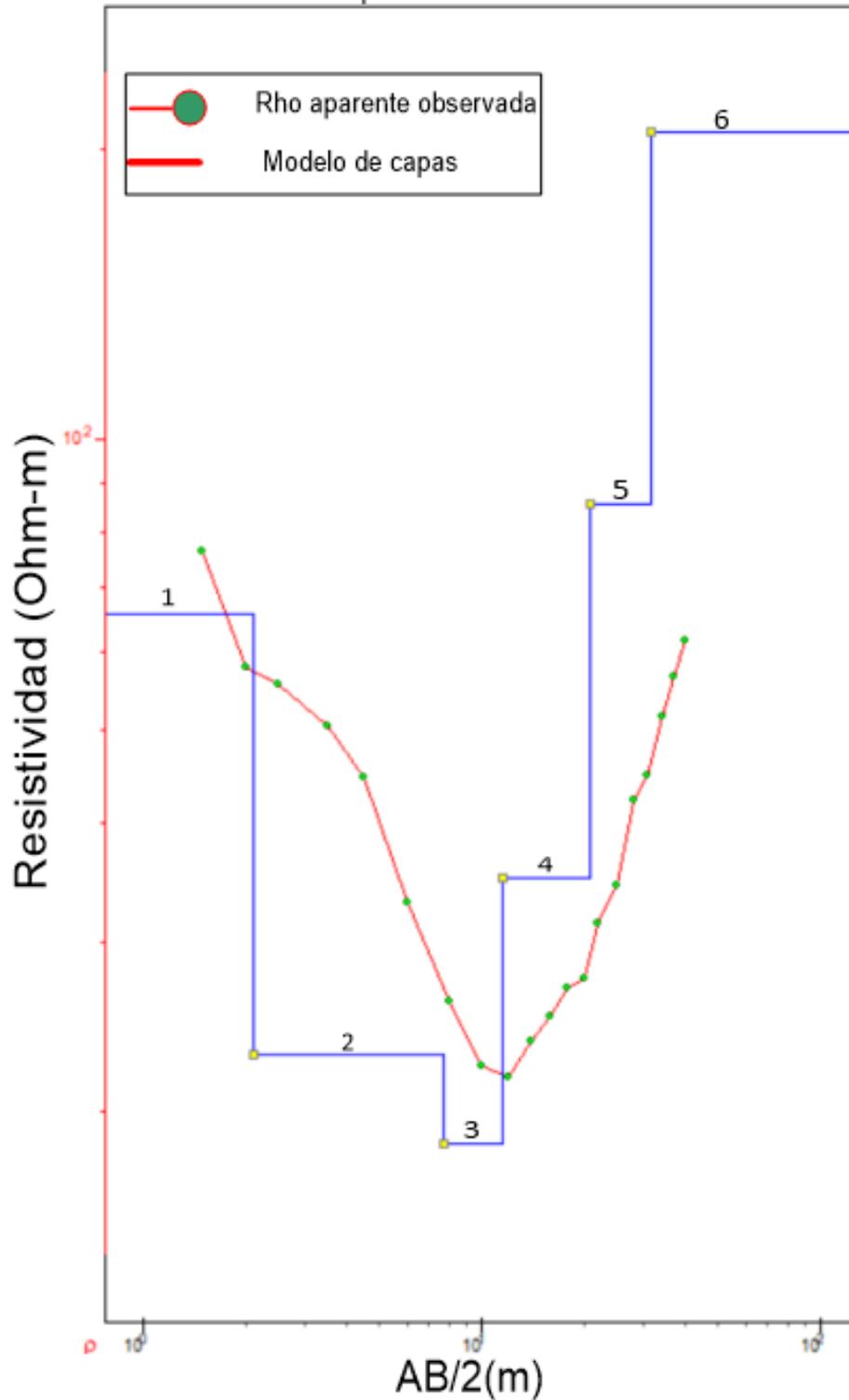
La quinta capa comienza a una profundidad de 23m y se asocia a caliza-lutita compacta, su espesor es aproximadamente de 11m y tiene una resistividad de **86Ω•m**.

La sexta capa tiene una resistividad de **28Ω•m** asociada a caliza-lutita, comienza a los 28m de profundidad. Ver **figura 11**.

Tabla A2. Profundidades resultantes por el modelo con su respectiva resistividad del SEV-2. Donde, N= Número de capa, ρ= Resistividad (Ohm-m), h= Espesor (m), z=Profundidad donde inicia la capa (m).

N	ρ	h	z
1	66	2	0
2	23	6	2
3	19	4	9
4	35	9	11
5	86	11	23
6	209		28

Modelo de capas SEV-2 Error RMS=12.8%



En el sitio donde se realizó el SEV-3 se infirieron 9 unidades geoeléctricas con base a la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, ver **Figura 10**.

La primera capa tiene una resistividad de **40Ω•m** y un espesor de 2m, está asociada a suelo residual.

La segunda capa tiene una resistividad de **71Ω•m** que se refiere a un horizonte de 3m de espesor asociado a arenas-limos-boleos.

La tercera capa contiene un espesor de aproximadamente 10m y tiene una resistividad de **55Ω•m** asociada a arena-limos-boleos.

La cuarta capa comienza a una profundidad de 15m y se asocia a arenas-limos-boleos con posible presencia de humedad, su espesor es aproximadamente de 4m y tiene una resistividad de **47Ω•m**.

La quinta capa tiene una resistividad de **108Ω•m** asociada a caliza-lutita, comienza a los 19m de profundidad y tiene un espesor de 10m.

La sexta capa comienza a una profundidad de 29m y se asocia a caliza-lutita fracturada con posible presencia de humedad, su espesor es aproximadamente de 85m y tiene una resistividad de **85Ω•m**.

La séptima capa comienza a una profundidad de 35m y se asocia a caliza-lutita, su espesor es aproximadamente de 26m y tiene una resistividad de **118Ω•m**.

La octava capa tiene una resistividad de **100Ω•m** asociada a caliza-lutita fracturada con posible presencia de humedad, comienza a los 61m de profundidad y tiene un espesor de 9m.

La novena capa comienza a una profundidad de 70m y se asocia a caliza-lutita compacta, tiene una resistividad de **126Ω•m**. Ver **figura 11**.

Tabla A2. Profundidades resultantes por el modelo con su respectiva resistividad del SEV-3. Donde, N= Número de capa, ρ= Resistividad (Ohm-m), h= Espesor (m), z=Profundidad donde inicia la capa (m).

N	ρ	h	z
1	40	2	0
2	71	3	2
3	55	10	5
4	47	4	15
5	108	10	19
6	85	6	29
7	118	26	35
8	100	9	61
9	126		70

Modelo de capas SEV-3 Error RMS=8.7%

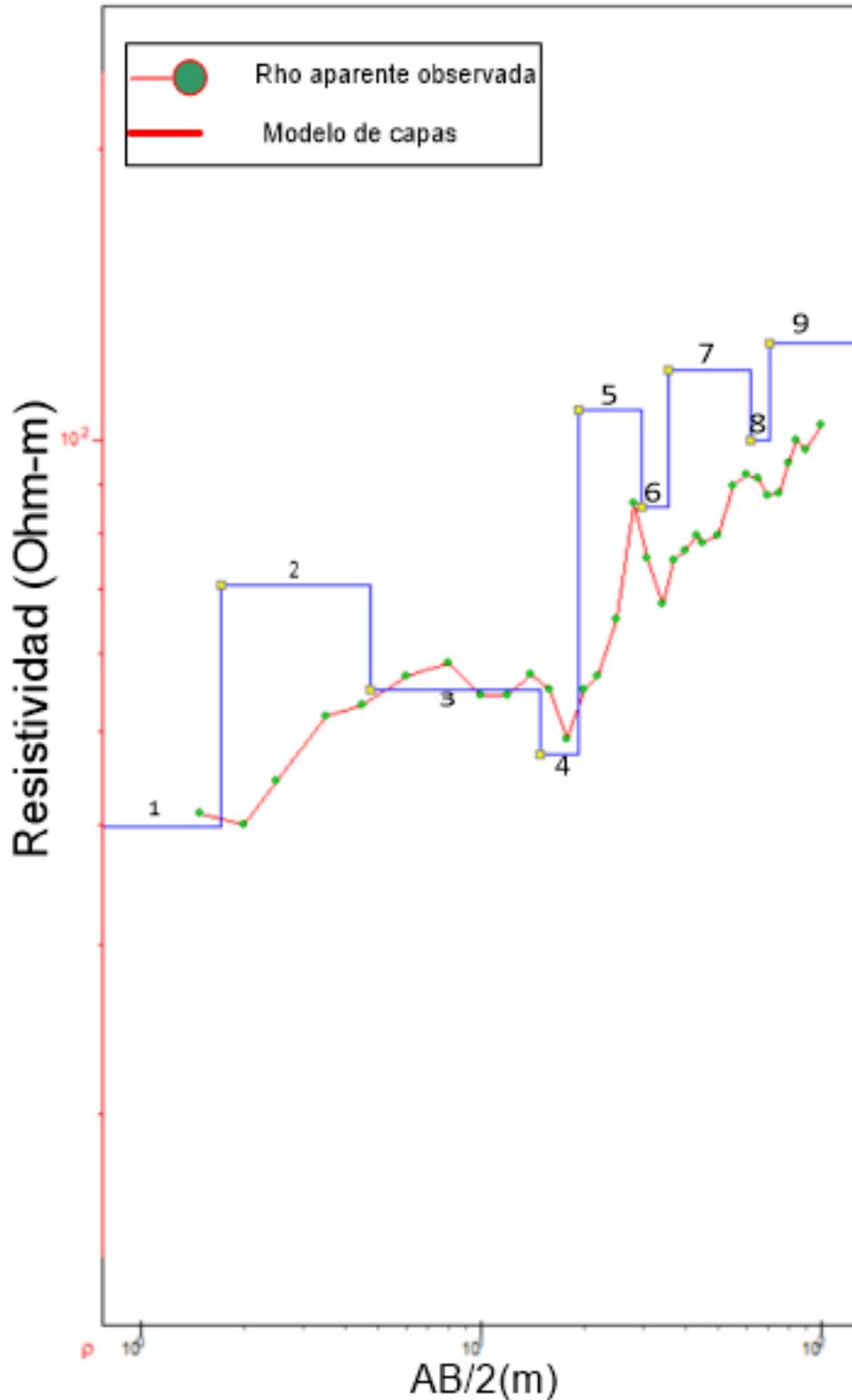


Figura 9. Modelo de capas SEV-3 y resistividad aparente observada en campo.

La **figura 11** muestra la comparación de los sondeos eléctricos verticales realizados. Se observa el sondeo 3 principalmente observar anomalías con probabilidad de agua hasta una profundidad máxima de 75m.

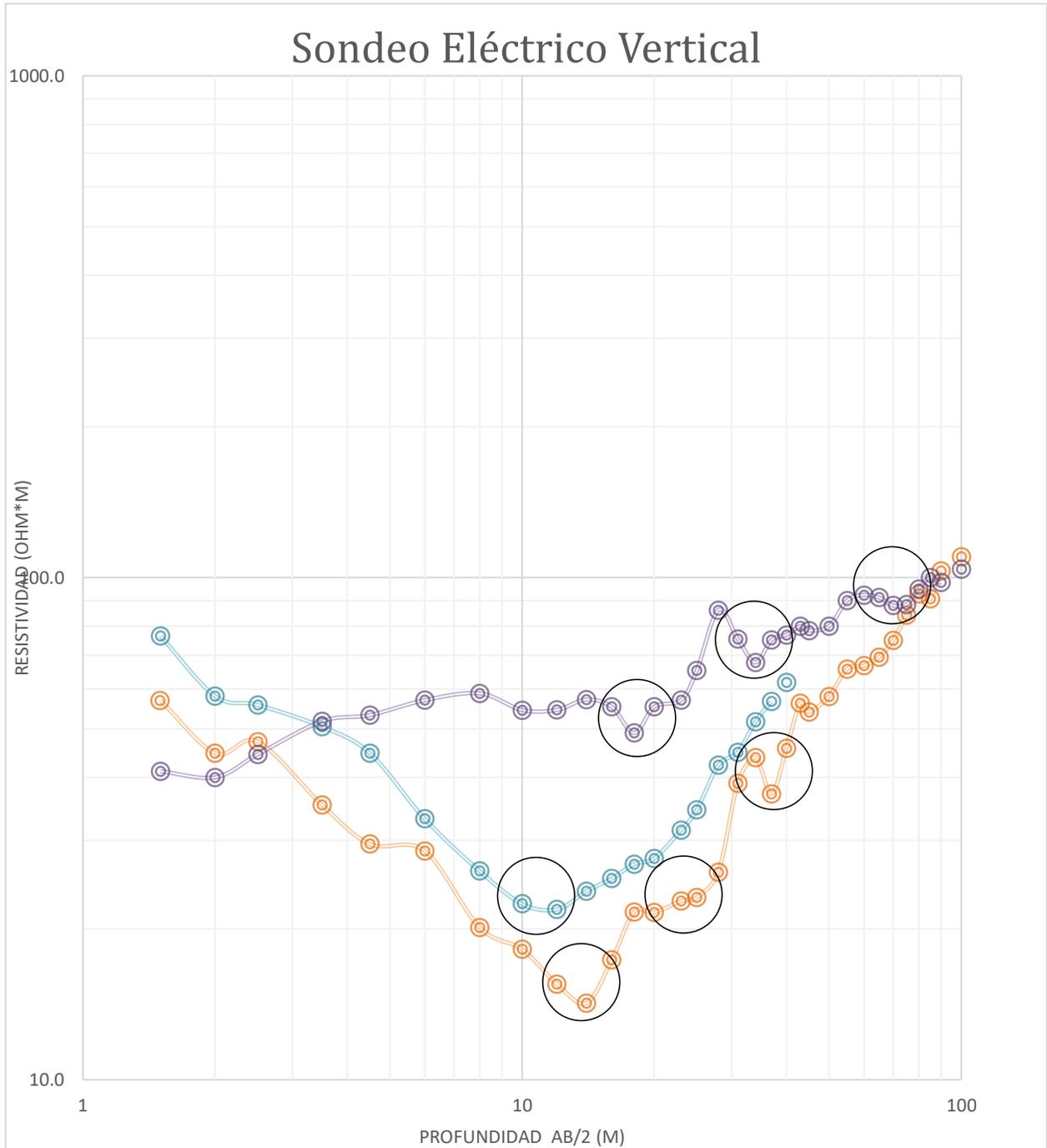


Figura 10. Comparación de los 3 Sondeos realizados. De color naranja se muestra el SEV-1, de color azul el SEV-2 y de morado el SEV-3. Con óvalos se señalan zonas con posibilidad hídrica.

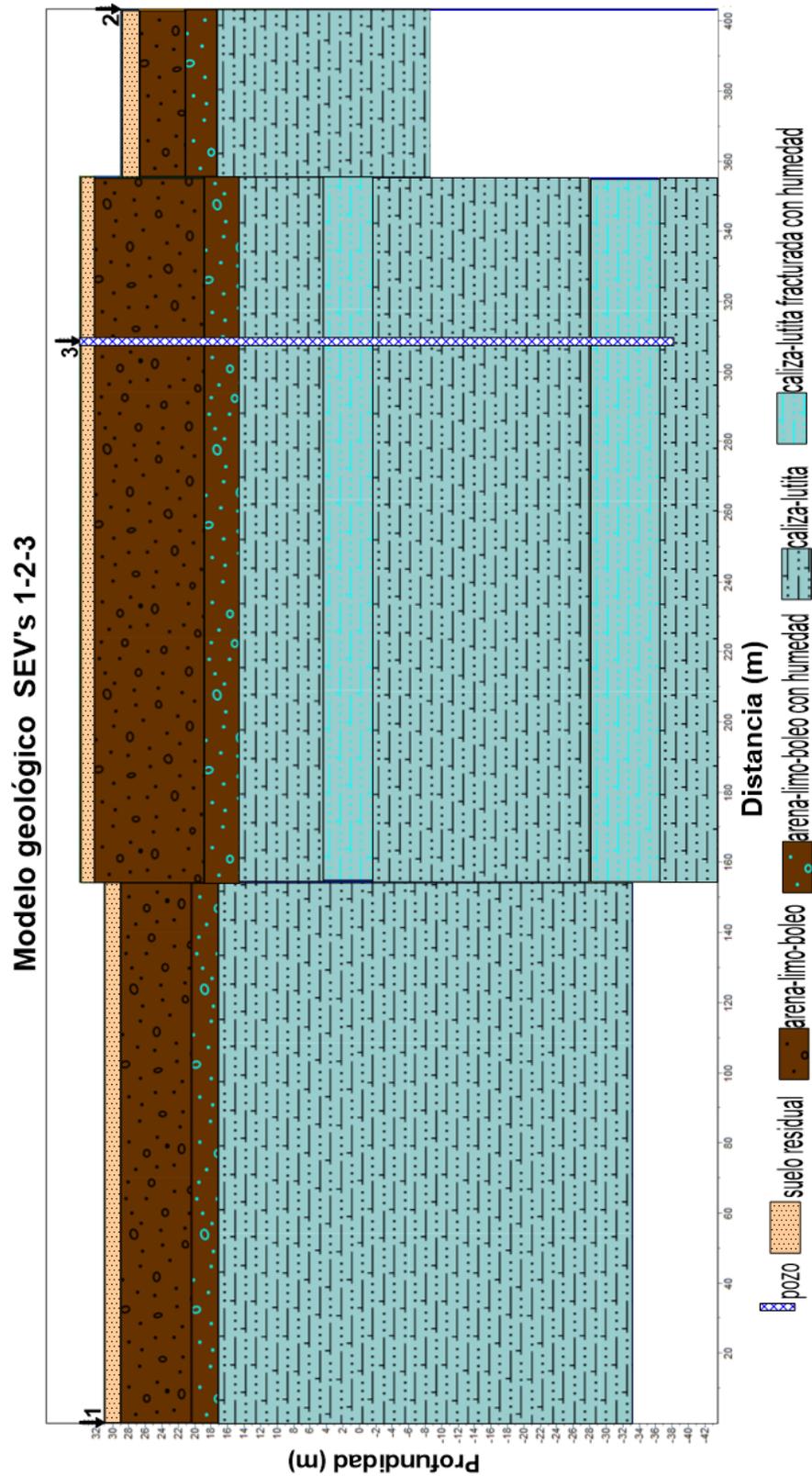


Figura 11. Sección geológica inferida a partir de los 3 SEV's realizados.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos por los estudios de geofísica, se puede concluir geohidrológicamente como **regulares** a la zona donde se realizaron los sondeos, ya que está compuesta por materiales de origen sedimentario, estos materiales son permeables en los horizontes de mayor contenido de rocas pocos consolidadas y de mayor tamaño de grano como arenas de grano grande y gravas, por lo que el flujo de agua será mayormente en estas zonas existiendo factibilidad en posibilidades hídricas señalados en la **Figura 11**. Subyaciendo la capa aluvial se encuentra la presencia de roca sedimentaria de tipo caliza-lutita, que en algunos horizontes muestra porosidad secundaria (fracturamiento). El acuífero es libre ya que el agua fluye a través de los poros del material aluvial y fracturas de la caliza-lutita, y se vuelve impermeable en las zonas sin fractura o de mayor contenido de arcillas y limos. Se esperan **gastos regulares** por el tipo de material presente.

De no haber otras alternativas de abastecimiento, se sugiere hacer una perforación exploratoria de la siguiente manera:

Como primera opción perforar en el sitio del SEV-3 a **70m de profundidad**.

Con base en la clasificación de dureza de las rocas se consideran tres tipos de materiales, denominados 'I', 'II' y 'III', correspondiendo el primero a los más blandos, y el último, a los más duros. Conforme a los resultados expuestos se determina que la dureza de los materiales corresponde a tipo II para la roca caliza, tipo III para boleos de gran tamaño y tipo I par el suelo aluvial. (CNA, 2012) **Figura 12**.

Material tipo I	Material tipo II	Material tipo III
Arcillas	Lutitas	Ortoquarcitas
Limos	Limolitas	Metacuarcitas
Arenas	Areniscas	Bloques y cantos rodados (mayores a 20 cm)
Gravas (menores a 5 cm)	Clásticos gruesos (5 a 20 cm)	Pedral
Creta y tufa	Conglomerados y brechas	Rocas ígneas extrusivas
Sanas	5	5
Yeso	Calizas, dolomías y travertinos	Rocas ígneas intrusivas
Sanas	3	5
Diatomitas	Anhidrita	Gneis
Carbón	Tezontle	Corneanas
Cenizas volcánicas	Tobas	
Perlita y retinita	Rocas ígneas extrusivas alteradas	
Pumita o toba pumíticas	Rocas ígneas intrusivas alteradas	
Tocas alteradas	Vidrio volcánico	
Rocas metamórficas alteradas	Rocas metamórficas (excepto metacuarcita, gneis y corneanas)	

Figura 12. Clasificación de suelos y rocas para estimaciones de trabajos de perforación.

Por lo cual se recomienda utilizar una máquina perforadora **rotaria** o **percusión** para poder penetrar a través de los materiales antes mencionados, ya que en varios horizontes tienen un comportamiento muy compacto. **En dado caso de encontrarse con roca sana, será preferible detener la perforación hasta la profundidad alcanzada.**

El sitio final se deberá elegir tomando en cuenta aspectos de disponibilidad de la infraestructura (acceso, energía eléctrica, etc.). Durante la perforación se deberá analizar la muestra de roca, y en caso de estar sanas se deberá detener la perforación.

Al terminar la perforación y antes de ademar en su caso el pozo, se recomienda hacer un **registro eléctrico** (de resistividad y potencial natural), para conocer las posibilidades reales de las formaciones geológicas en cuanto a su permeabilidad y saber si se debe parar la perforación o aumentar algunos metros si existe respuesta favorable. Del mismo modo, **se recomienda efectuar un análisis de la calidad del agua** y monitorearlo de manera permanente para evaluar algún problema eventual de contaminación.

Para elegir correctamente el diámetro del ademe se deben satisfacer dos necesidades principales: Que exista un espacio suficiente para el alojamiento de la bomba y un espacio libre que permita su instalación y mantenimiento. La siguiente tabla de CONAGUA muestra de la cantidad máxima de agua que puede fluir del pozo desde una tubería con diámetro conocido. El diámetro del ademe debe tener un espacio libre que garantice la buena eficiencia hidráulica del aprovechamiento en operación.

El diámetro se determina de acuerdo al tamaño de la bomba por utilizar, que es función del gasto y la potencia requerida. De forma general, se recomienda que el diámetro del tubo del ademe sea 5 cm (2") mayor que el diámetro nominal de la Bomba requerida. En la **Tabla 2** se muestran algunas recomendaciones para determinar el diámetro del ademe en función del gasto que se espera obtener y en la **Tabla 3** se presentan las máximas descargas de acuerdo a los diámetros del tubo de ademe.

TABLA 2. Diámetro del ademe en función al gasto esperado.

Gasto esperado (L/s)	Diámetro nominal de tazonos de bomba (mm)	Medida óptima del diámetro del ademe (mm) (pulg.)	Medida mínima del diámetro del ademe (mm) (pulg)
Menos de 6	102	(152) Di (6")	(127) Di (5")
5 a 11	127	(203) Di (8")	(152) Di (6")
10 a 22	152	(254) Di (10")	(203) Di (8")
20 a 44	203	(305) Di (12")	(254) Di (10")
30 a 60	254	(356) DE (14")	(305) Di (12")
50 a 115	305	(406) DE (16")	(356) DE (14")
75 a 190	356	(508) DE (20")	(406) DE (16")
125 a 240	406	(610) DE (24")	(508) DE (20")
190 a 380	508	(782) DE (30")	(610) DE (24")

DI: diámetro interior, DE: diámetro exterior

TABLA 3. Descarga máxima a partir del diámetro estándar del ademe

Medida del ademe (mm)	Pulg.	Descarga máxima (L/s)
(102)	(4")	13
(127)	(5")	20
(152)	(6")	28
(203)	(8")	49
(254)	(10")	78
(305)	(12")	111
(337)	(14")	136
(387)	(16")	180
(439)	(18")	230
(489)	(20")	286
(591)	(24")	418

6. ANEXOS

6.1. Pseudosección de resistividad

La representación de los datos tomados en campo genera una pseudo-sección de resistividad aparente contra pseudo-profundidad, ver Figura A1. Este tipo de mapas sirve para ver coherencia en los datos, sin embargo, no tiene que ver nada con la realidad del subsuelo, ya que el punto de atribución se da a 45° de distancia entre transmisor y receptor, y no necesariamente ocurre esto en el interior de la tierra. Es necesario aplicar técnicas de inversión de datos para obtener el valor y posición verdadera de la distribución de la resistividad del subsuelo. En este trabajo la sección resultante es muy similar a la pseudosección, esto indica que la respuesta del modelo generado por el software es confiable y genera más certidumbre.

Figura A1. Pseudosección de resistividad aparente. De rojo se observan los materiales más conductores y de azul los más resistivos que se asocian a materiales más duros e impermeables. Con puntos negros se observa la profundidad teórica alcanzada en cada medición.

6.2. Memoria técnica

SEV-1



SEV-2



SEV-3



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Reynolds, J., 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Wiley, p. 417-425.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., 1990, Applied Geophysics. Cambridge University Press, p. 283-289.
- Keller, G.V., 1989, Electrical properties, en: R.S. Carmichael, editor, Practical Handbook of Physical Properties of Rocks and Minerals, CRC Press, pp. 361-427.
- Arosio, D., Longoni, L., Mazza, F., Papini, M. and Zanzi, L. (2013). Freeze-thaw cycle and rockfall monitoring. In Landslide Science and Practice, Springer Berlin Heidelberg, 385-390 p.
- Hill, M. L. (1959). Dual classification of faults. The Association of Petroleum Geologists Bulletin. 43 (1), 217-237.
- INEGI. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tuxtepec Oaxaca, 2010.
- INEGI. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, 2009.
- SGM. Carta Geológica Orizaba E14-16. Primera Edición 2000.
- SGM. Conjunto de datos vectoriales geológicos. Primera Edición 2000.
- INEGI. Mapa hidrográfico 2020.
- INEGI. Áreas geoestadísticas municipales. 2001.
- CNA. Manual de agua. Edición 2007. México D.F.

ESTUDIO GEOFÍSICO PARA EVALUAR LAS CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS SUBTERRÁNEAS Y EN SU CASO, PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO.

Estado: Oaxaca.

Municipio: Tuxtepec

Paraje: Nueva Revolución



Realizó:

M.C. Valdemar Belmonte García

Ced. Prof.: 12000740

octubre/2023

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	3
1.1.	Antecedentes	3
1.2.	Objetivo de estudio	4
1.3.	Localización del área de estudio	5
2.	ASPECTOS FÍSICOS	6
2.1.	Geología Regional	6
2.2.	Hidrología	7
3.	METODOLOGÍA	7
3.1.	Fundamentos generales de Geofísica	7
3.2.	Método de resistividad (Sondeo Eléctrico Vertical, SEV)	8
3.3.	Metodología del estudio	9
3.4.	Equipo utilizado	10
3.5.	Procesado de datos geofísicos	10
4.	RESULTADOS	11
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
6.	ANEXOS	23
6.1.	Pseudosección de resistividad	23
6.2.	Memoria técnica	24
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El presente trabajo se realizó con el propósito de caracterizar el área de influencia y **evaluar el sitio desde el punto de vista geohidrológico más favorable para el almacenamiento y transmisión de agua subterránea**, que permita abastecer del vital líquido a la población perteneciente a la colonia Nueva Revolución, ubicado en el municipio de Tuxtepec, Oaxaca, ver **Figura 1**.

El método empleado para el estudio geofísico fue el de resistividad de corriente directa, consistió en la realización de **tres** Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) localizados en los predios de interés.

Con este estudio realizado, se elaboró un perfil litológico en el que se incorporó la información geológica y geofísica obtenida. En este estudio se alcanzó una profundidad teórica de exploración de **130m** con lo cual se pretende conocer las características del subsuelo y evaluar las posibilidades acuíferas, así como la geometría del basamento que en esta área corresponde a **roca sedimentaria de tipo conglomerado poligénico**.

Es importante recalcar que con este tipo de estudios se investigan las posibilidades acuíferas subterráneas de la zona, pero **NO es posible cuantificar el gasto** que pueda en su caso tener un pozo profundo antes de perforarlo y hacer el aforo correspondiente, **así como garantizar la calidad de agua**. El trabajo de campo se realizó el **04-05 de octubre de 2023**.

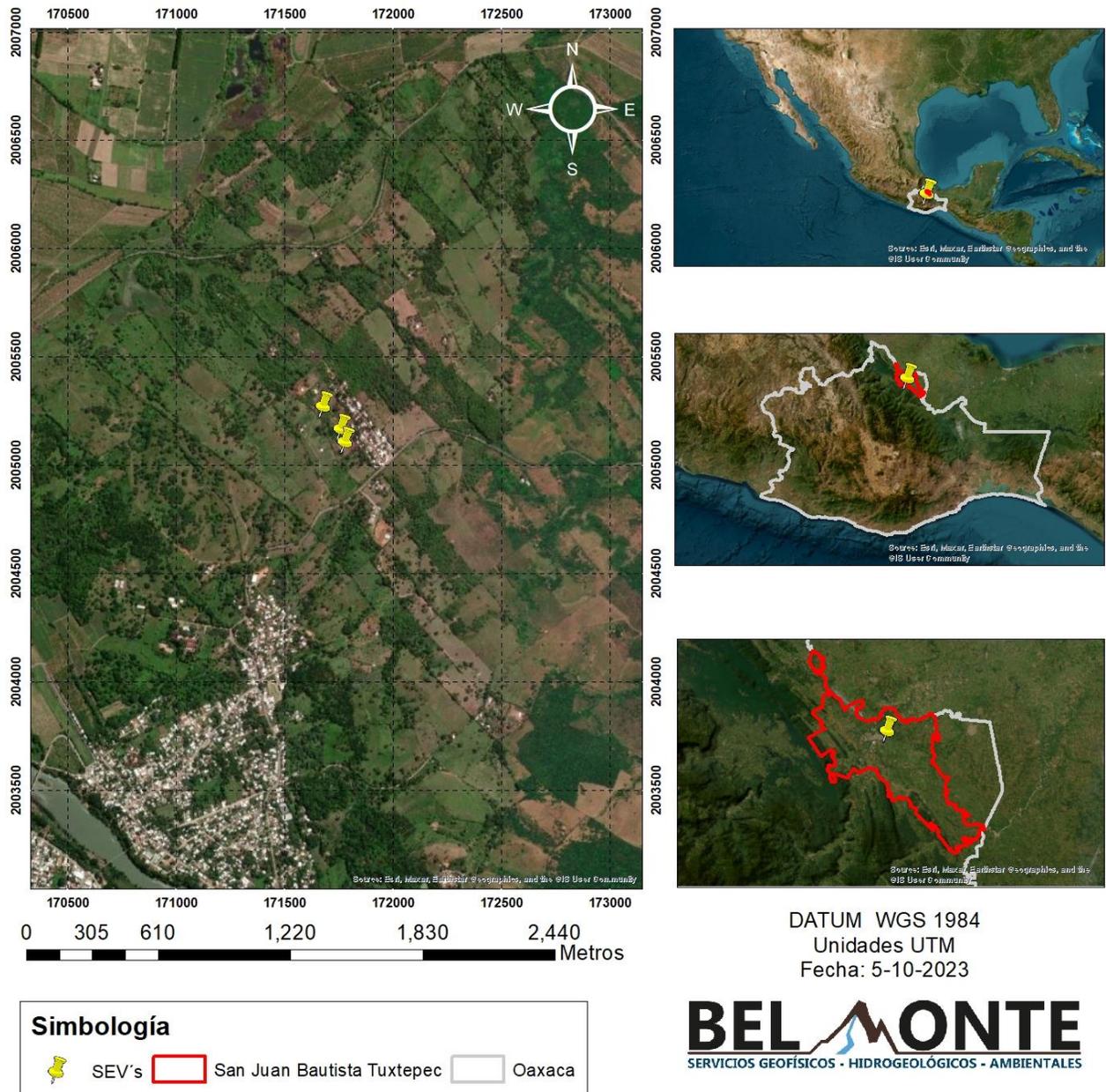


Figura 1. Plano de localización general de la zona donde se realizó el estudio geofísico con enfoque geohidrológico ubicado el municipio de Tuxtepec, Oaxaca. Con un polígono rojo se señala la extensión del municipio, con símbolos color amarillo se señalan las zonas exploradas.

Fuente: INEGI, 2012

1.2. Objetivo de estudio

El presente informe geofísico se realizó con el objetivo de caracterizar el área de influencia y evaluar el sitio geohidrológicamente más favorable que cumpla con las características de almacenamiento y transmisión de agua subterránea, que permita suministrar el vital líquido a la población de interés. Esto se llevará a cabo determinando el **espesor** de las capas permeables y los **límites** del acuífero en profundidad en caso de existir.

1.3. Localización del área de estudio.

El municipio San Juan Bautista Tuxtepec está situado al noreste del estado de Oaxaca. Forma parte del distrito 06 Tuxtepec en la región conocida como Papaloapan. Se ubica entre las coordenadas geográficas 17°48' y 18°19' de latitud norte y 95°51' y 96°19' longitud oeste, a una altura que va de los 100 a los 400 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el estado de Veracruz y el municipio de San Miguel Soyaltepec, al sur con los municipios de Santiago Jocotepec y Loma Bonita, al poniente con los municipios de Santa María Jacatepec, San Lucas Ojitlán y San José Chiltepec, al oriente con el municipio de Loma Bonita. En la **Figura 2**, se indica con mayor detalle, la ubicación específica donde se realizaron los Sondeos Eléctricos Verticales.

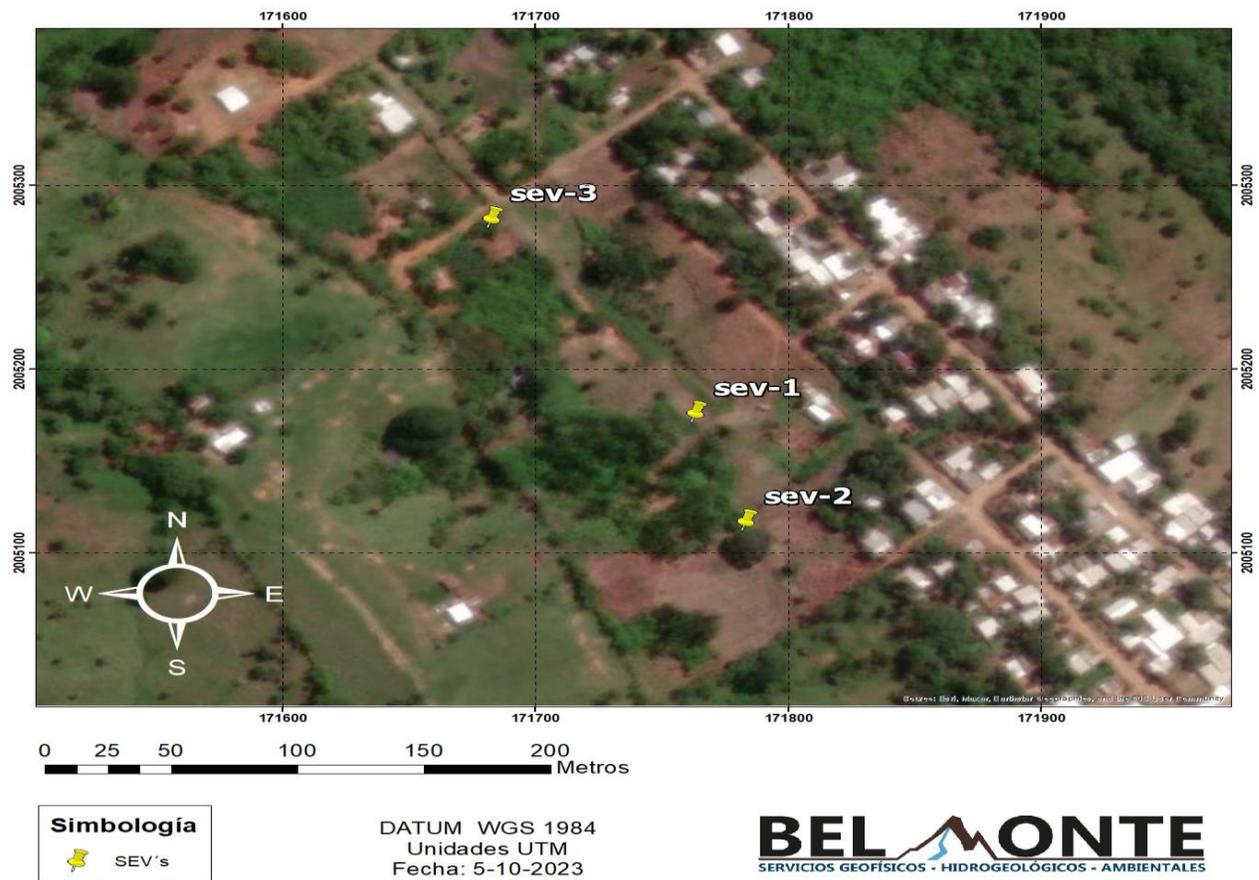


Figura 2. Ubicación delimitada del sitio en donde se efectuaron los SEV's, en los predios de interés en la colonia Nueva Revolución.

En la **tabla 1** se muestra la ubicación en coordenadas UTM de los puntos donde se realizaron los Sondeos Eléctricos Verticales.

Tabla 1. Coordenadas UTM y elevación del punto en donde se efectuó cada Sondeo Eléctrico Vertical.

Zona 14Q	Coordenada Este (m)	Coordenada Norte (m)	Elevación (m)
SEV 1	806779	2004827	31
SEV 2	806801	2004769	33
SEV 3	806695	2004930	31

2. ASPECTOS FÍSICOS

2.1. Geología Regional

La geología predominante en el municipio San Juan Bautista Tuxtepec está conformada por rocas de periodo Neógeno (57.35%), Cuaternario (16.17%), Paleógeno (15.16%) y Cretácico (10.21%). El principal tipo de roca que aflora en la región es de clase sedimentaria, de tipo conglomerado (46.59%), lutita-arenisca (15.16%), caliza (10.21%), arenisca (9.09%) y arenisca conglomerado (1.67%). También existe presencia de suelo aluvial (16.17%). Ver **Figura 3**.

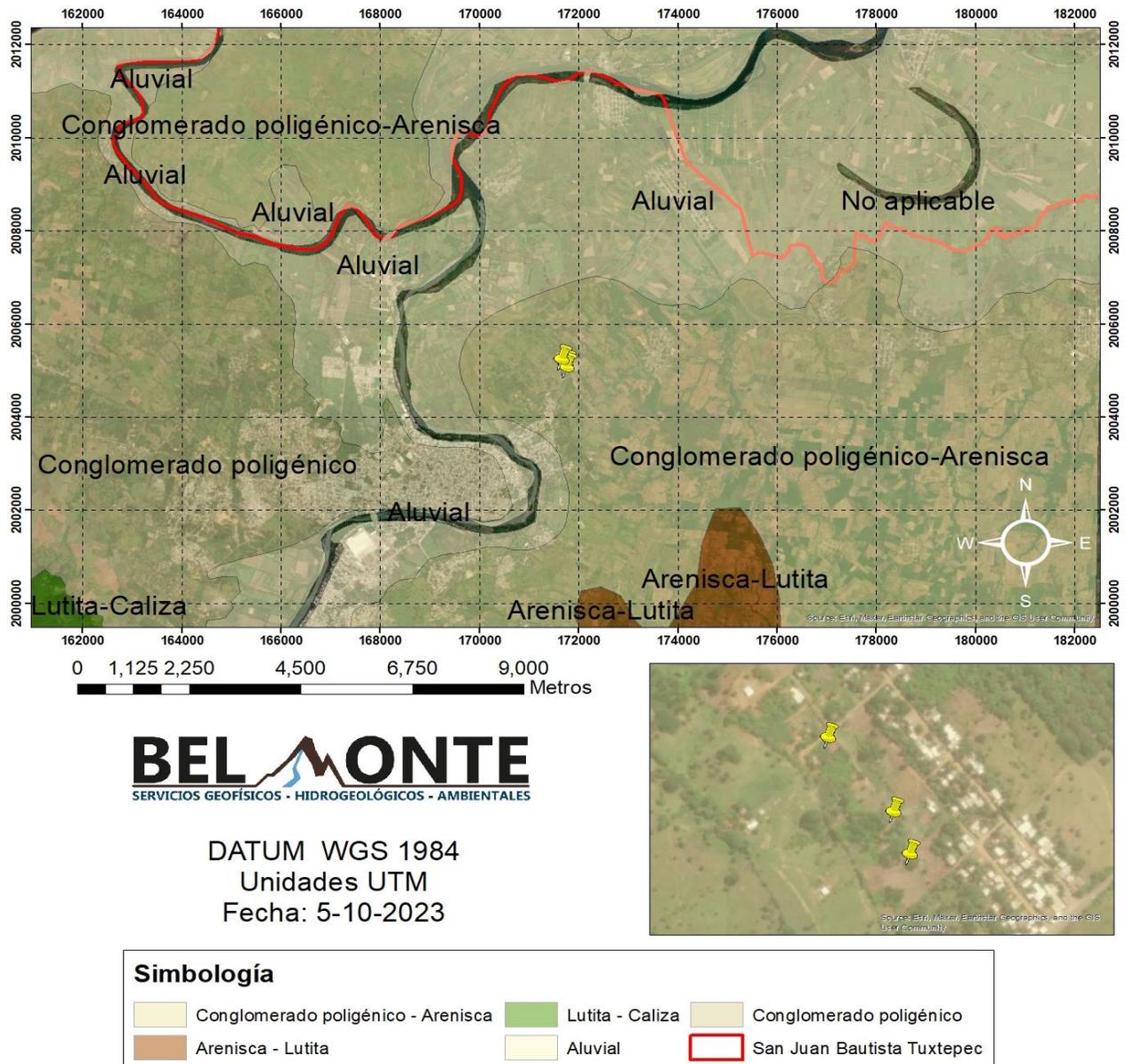


Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio escala 1:50,000m. Con un símbolo asignado color amarillo se observa la ubicación donde se efectuaron los SEV's. Se observa que toda el área de estudio se encuentra en zona de roca sedimentaria de tipo conglomerado poligénico-arenisca.

Fuente: SGM, 2000; INEGI, 2012

2.2. Hidrología

El municipio de San Juan Bautista Tuxtepec se ubica en su totalidad dentro de la región hidrológica Papaloapan. La cuenca que cubre todo el municipio es R. Papaloapan. De esta cuenca se derivan las subcuencas R. Blanco (48.02%), R. Obispo (45.43%), R. Tesechoacán (4.43%), R. Playa (1.73%) y R. Amapa (0.39%) las cuales son las únicas subcuencas que le conciernen al municipio. Cerca de la zona de estudio existen cauces de ríos perennes como Papaloapan, Tonto, Valle Nacional, Santo Domingo, Amapa, Limón, La Virgen, Obispo y Coapa lo cual es favorable para la recarga de acuíferos someros. **Figura 4.** Se observa que los puntos se encuentren cercanos a una corriente superficial que pueda significar tener un nivel freático más somero.

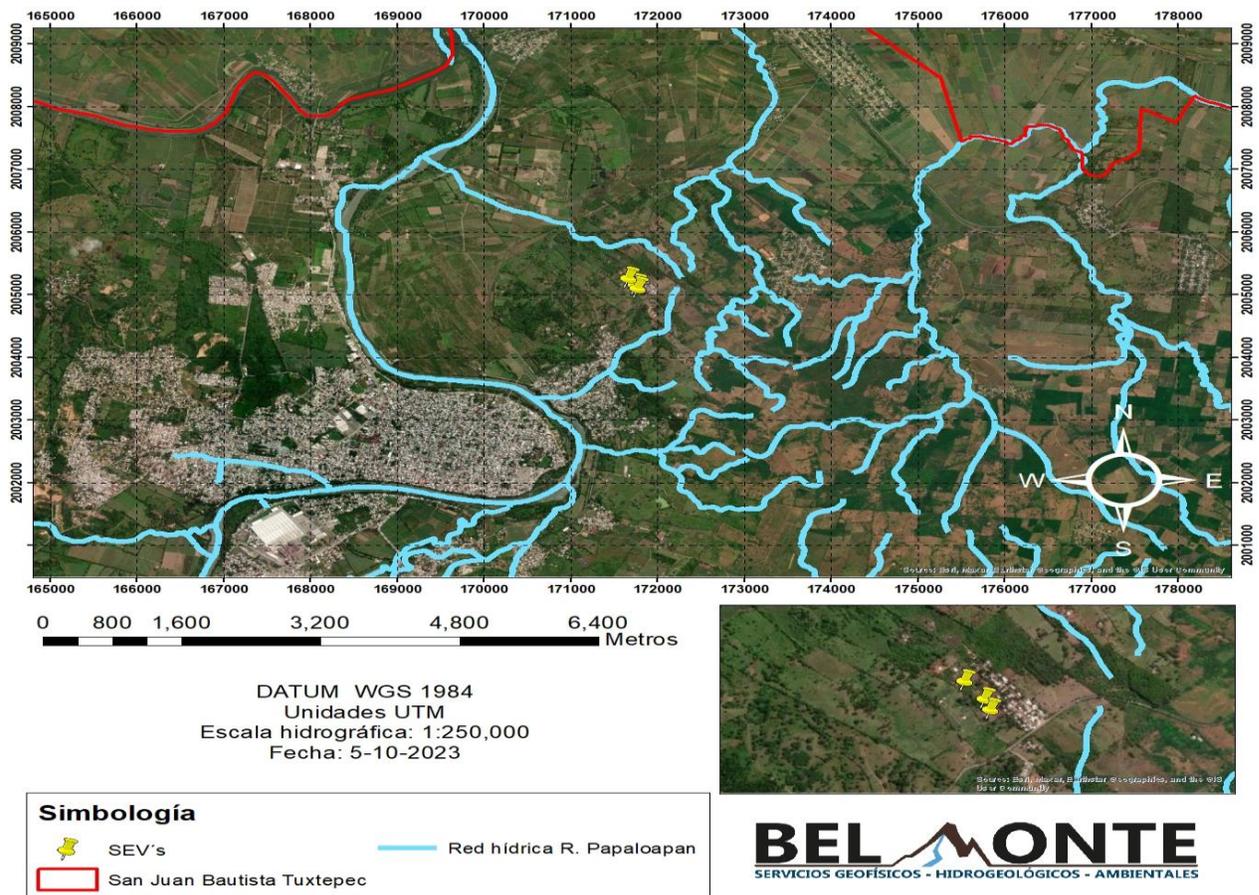


Figura 4. Mapa hidrológico de la zona de estudio escala 1:50,000 en donde se realizaron las mediciones de resistividad en Manantiales del Escobillado, Oaxaca; con un símbolo color amarillo se señalan las zonas exploradas.

Fuente: INEGI, 2001

3. METODOLOGÍA

3.1. Fundamentos generales de Geofísica

La Geofísica es la ciencia que estudia los campos físicos que se encuentran involucrados en nuestro planeta. Es una rama en común con la geología y física, ya que comparte con la primera la búsqueda del conocimiento de las características de la Tierra, y con la segunda, la aplicación de métodos, técnicas y

Cel: 9511056286 - E-mail: belmonte.oaxaca@gmail.com

principios de carácter indirecto que son amigables con el medio ambiente, para cuantificar las diversas propiedades físicas del subsuelo y de la Tierra para así poder determinar su distribución espacial, ejemplo de ellos es la densidad, campo magnético, conductividad eléctrica, velocidad de transmisión de ondas elásticas, etc. La finalidad de la geofísica de exploración es la de separar zonas que aparecen como estériles de las que presentan posibilidades de contener yacimientos económicamente explotables y/o que muestren alguna característica de interés para el proyecto planteado.

La selección del método geofísico apropiado para una campaña de exploración depende del objetivo del estudio, de las características de las estructuras geológicas y las condiciones del terreno. La interpretación de los datos geofísicos consta de 2 niveles, primero la modelación matemática en el que se definen las combinaciones de valores de la propiedad que se mide y de la geometría de las estructuras del subsuelo coherentes con las mediciones realizadas en el terreno, y segundo, la interpretación de los modelos en términos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos, etc.

3.2. Método de resistividad (Sondeo Eléctrico Vertical, SEV)

Los métodos de resistividad de corriente directa (DC) son eficaces cuando existen contrastes significativos en las propiedades eléctricas de las rocas. Éstos utilizan fuentes artificiales de corriente para producir un campo de potencial eléctrico en el subsuelo. La frecuencia de la corriente continua de la fuente es cero, es decir, no varía con el tiempo. Conociendo la corriente introducida a través de los electrodos fuente y la configuración geométrica electródica se puede determinar la distribución espacial de la resistividad (o su recíproco, la conductividad) en el subsuelo. Como el objetivo es encontrar agua subterránea, se utilizó el método eléctrico de corriente directa conocido como arreglo Schlumberger en su variante de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) ya que es el más adecuado para cumplir el objetivo propuesto, esto debido a que este arreglo logra obtener mejor sensibilidad para encontrar anchura, profundidad, espesor y resistividad de los cuerpos a grandes profundidades en comparación con otros arreglos eléctricos como lo es el Dipolo-Dipolo y Wenner.

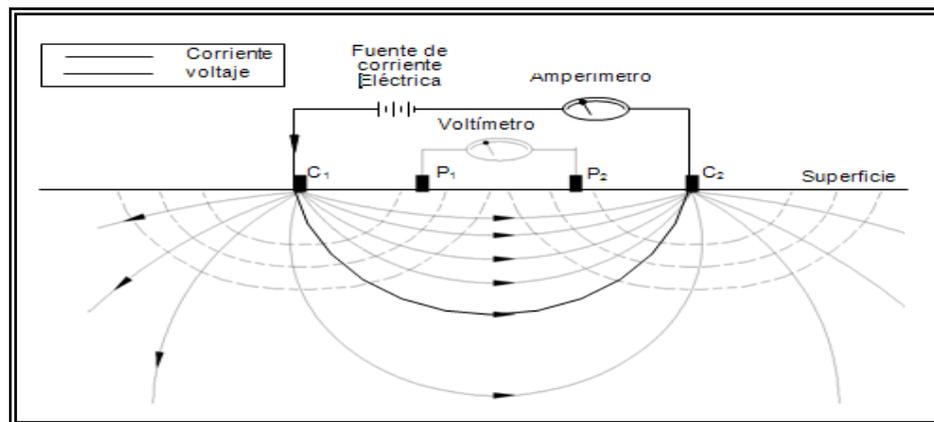


Figura 5. Diagrama que indica la forma de medir la resistividad en campo. C1 y C2 son electrodos de corriente, P1 y P2 electrodos de potencial.

El arreglo Schlumberger consta de cuatro electrodos colineales. Los dos electrodos exteriores actúan como fuente (C1-C2) inyectando corriente eléctrica y los dos electrodos interiores actúan como receptores midiendo el potencial eléctrico (P1-P2). La **Figura 5** se muestra un esquema de la disposición de los electrodos en campo.

Los electrodos de potencial se instalan en el centro del arreglo con una pequeña separación entre ellos en comparación con los electrodos de corriente, $(C1-C2) / 2 \gg 5 (P1-P2)$. Los electrodos de corriente incrementan su separación durante el estudio para lograr alcanzar mayor profundidad de exploración, mientras que los electrodos de potencial permanecen en la misma posición hasta que el voltaje observado se vuelve demasiado pequeño para medir, por lo que es necesario cambiarlos a una posición más cercana a los electrodos de corriente.

Finalmente conociendo la corriente inyectada, el potencial medido y la distribución geométrica de los electrodos se puede conocer el valor de la resistividad aparente en el subsuelo.

El valor de resistividad aparente obtenido en campo es graficada en escala bi-logarítmica debido al rango tan grande que existe entre los valores de resistividad de las rocas y minerales en el subsuelo (0.1 Ω -m hasta más de 1,000,000 Ω -m) de donde se obtiene un modelo de capas inicial de la tierra, el cual sirve para iniciar iterativamente el modelado directo con un software que calcula un nuevo modelo de resistividad real a partir de la resistividad aparente, esto sucede al resolver la ecuación diferencial que rige el flujo de la corriente eléctrica en medios estratificados.

El resultado final es un modelo geoelectrico del subsuelo para cada sondeo, definido por espesores y resistividad de las capas interpretadas. Los modelos geoelectricos se correlacionan considerando la información de la zona como son la geología local, presencia de pozos, ríos o cuerpos de agua cercanos, registros eléctricos de pozos en su caso, así como estudios anteriores en caso de existir.

3.3. Metodología del estudio

El estudio consistió en interpretación geológica, hidrogeológica, observación en campo, medición de los datos geofísicos e interpretación de los resultados obtenidos. Para el caso de los trabajos geológicos, se analizaron mapas geológicos, para el caso de hidrogeológicos se utilizó un simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas. Los trabajos de geofísica consistieron en la realización de **tres** sondeos eléctricos verticales (SEV) que proporcionó información de la geometría, propiedades geohidrológicas del subsuelo y estructuras geológicas a profundidad que fueron correlacionadas con información disponible del área a nivel regional.

Este tipo de estudios tienen naturalmente limitaciones al ser estudios indirectos, aunque son valiosos al proporcionar información para tomar decisiones en la ubicación de sitios con mayores posibilidades hídricas para realizar pozos exploratorios o bien, no recomendarlos. También este tipo de estudios no pueden tomarse como indicadores de la cantidad de agua que puede aportar un sistema acuífero, sino hasta después de perforar un pozo exploratorio y aforarlo.

3.4. Equipo utilizado

El equipo de resistividad usado consta de un transmisor de corriente directa (CD), cuya fuente es un generador de corriente alterna (CA) que se rectifica para convertirla en CD e inyectarla al subsuelo o una batería de automóvil de 12V (CD). Un receptor de alta impedancia de entrada y electrodos impolarizables complementan el equipo básico de exploración. La **Figura 6** muestra el equipo utilizado para las mediciones de resistividad del subsuelo.



Figura 6. Equipo de resistividad utilizado para realizar el estudio geofísico de corriente directa (SEV).

3.5. Procesado de datos geofísicos

Los datos de los SEV's se procesaron con un software de modelado directo de datos geofísicos que genera modelos de capas del subsuelo en una dimensión, y a partir de la interpolación de estos modelos generamos una sección bidimensional en donde se puede observar la profundidad y valores de resistividad verdaderos de la estratigrafía del subsuelo. El software utilizado es el ZONDIP1D (2012).

4. RESULTADOS

4.1. Geofísica

Como resultado de los sondeos eléctricos verticales (SEV's) se obtuvo una sección geoelectrica, ver **Figura 7**, a partir de la correlación del SEV-1, SEV-2 y SEV-3 en donde se interpretaron alrededor de 7-9 unidades lito-estratigráficas que representan las características geológicas del lugar según la profundidad medida. En el anexo 6.1 se incluye la pseudosección resultante.

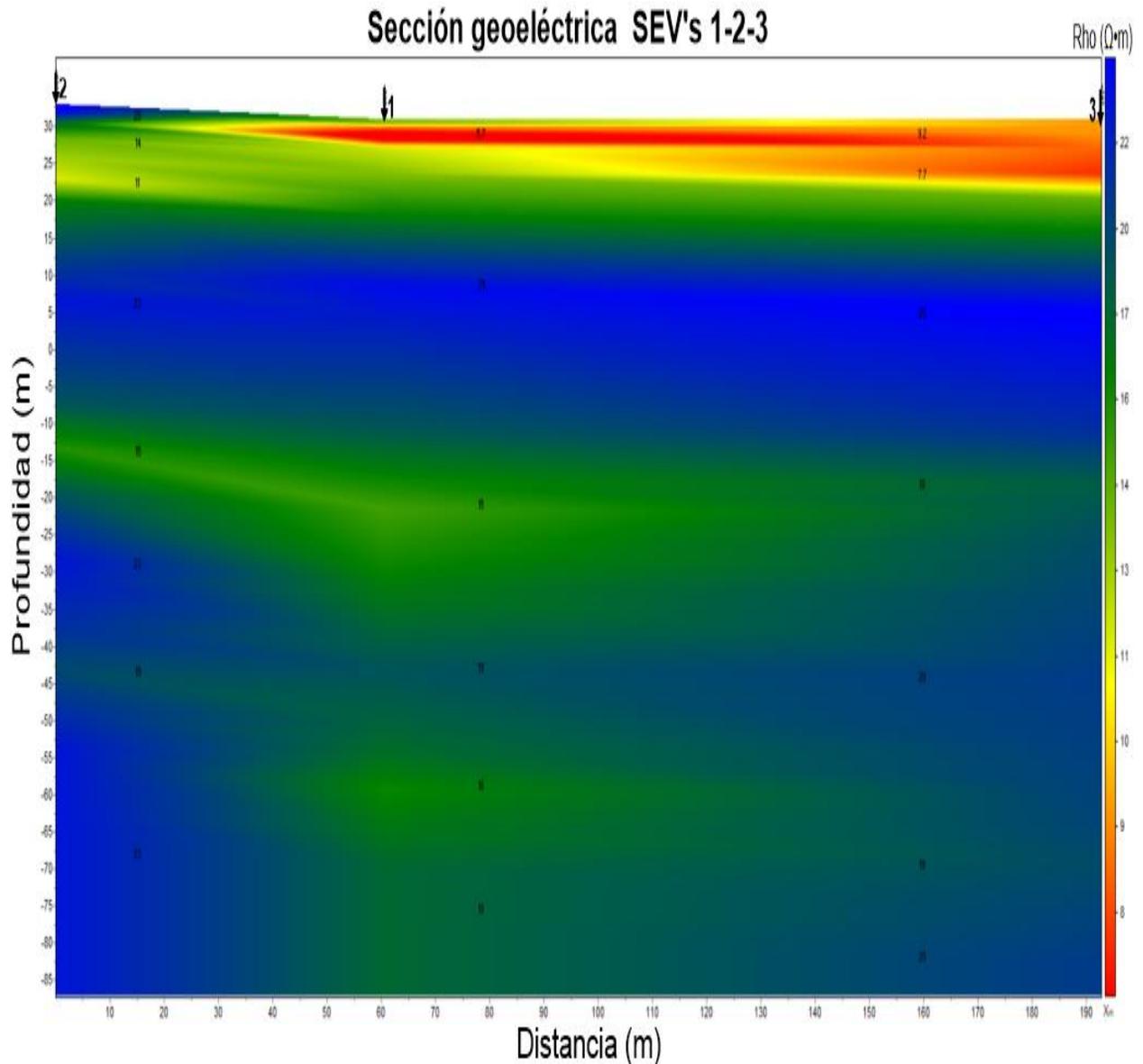


Figura 7. Sección de resistividad. De verde se observan los materiales más conductores y de azul, los más resistivos que se asocian a materiales más duros e impermeables.

En el sitio donde se realizó el SEV-1 se infirieron 7 unidades geoeléctricas con base a la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, ver **Figura 8**.

La primera capa tiene una resistividad de **13Ω•m** y un espesor de 1m, está asociada a suelo residual limoso. La segunda capa tiene una resistividad de **6Ω•m** que se refiere a un horizonte de 3m de espesor asociado a arenas-limos con posible presencia de humedad.

La tercera capa contiene un espesor de aproximadamente 38m y tiene una resistividad de **24Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca de matriz arcillosa.

La cuarta capa comienza a una profundidad de 42m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca fracturada con posible presencia de humedad, su espesor es aproximadamente de 21m y tiene una resistividad de **15Ω•m**.

La quinta capa tiene una resistividad de **19Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca compacto, comienza a los 64m de profundidad y tiene un espesor de 21m.

La sexta capa comienza a una profundidad de 85m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca fracturada con posible presencia de humedad, su espesor es aproximadamente de 11m y tiene una resistividad de **16Ω•m**.

La séptima capa se asocia a conglomerado poligénico-arenisca compacta, tiene una resistividad de **18Ω•m**, y comienza a los 96m de profundidad aproximadamente, sirve como basamento geohidrológico. Ver **figura 11**.

Tabla A1. Profundidades resultantes por el modelo con su respectiva resistividad del SEV-1. Donde, N= Número de capa, ρ= Resistividad (Ohm-m), h= Espesor (m), z=Profundidad donde inicia la capa (m).

N	ρ	h	z
1	13	1	0
2	6	3	1
3	24	38	4
4	15	22	42
5	19	21	64
6	16	11	85
7	18		96

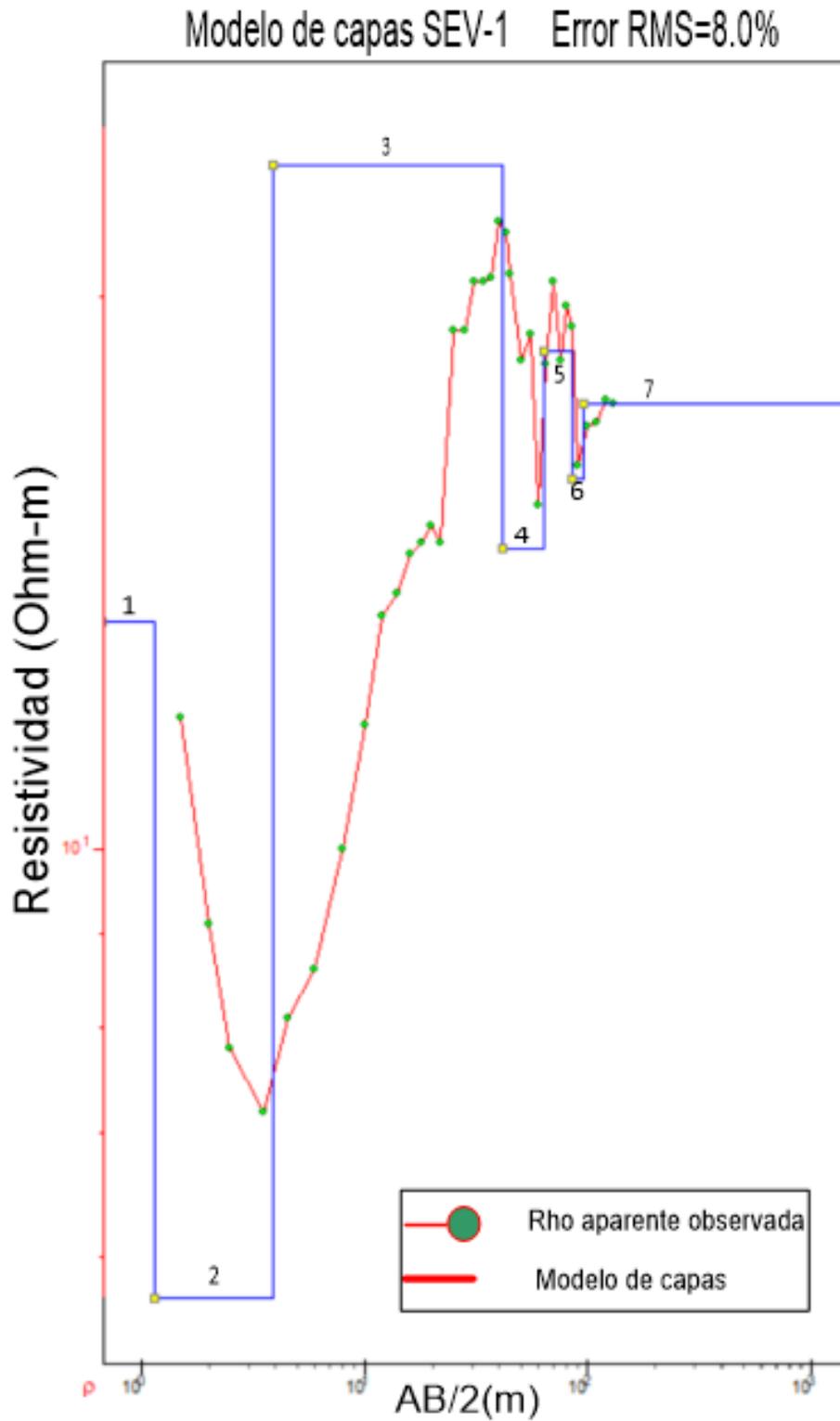


Figura 8. Modelo de capas SEV-1 y resistividad aparente observada en campo.

En el sitio donde se realizó el SEV-2 se infirieron 8 unidades geoeléctricas con base a la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, ver **Figura 9**.

La primera capa tiene una resistividad de **25Ω•m** y un espesor de 2m, está asociada a suelo residual limoso. La segunda capa tiene una resistividad de **14Ω•m** que se refiere a un horizonte de 5m de espesor asociado a arenas-limos con posible presencia de humedad.

La tercera capa contiene un espesor de aproximadamente 6m y tiene una resistividad de **11Ω•m** asociada a arenas-limos.

La cuarta capa comienza a una profundidad de 13m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca, su espesor es aproximadamente de 27m y tiene una resistividad de **23Ω•m**.

La quinta capa comienza a una profundidad de 40m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca fracturada con posible presencia de humedad, su espesor es aproximadamente de 13m y tiene una resistividad de **15Ω•m**.

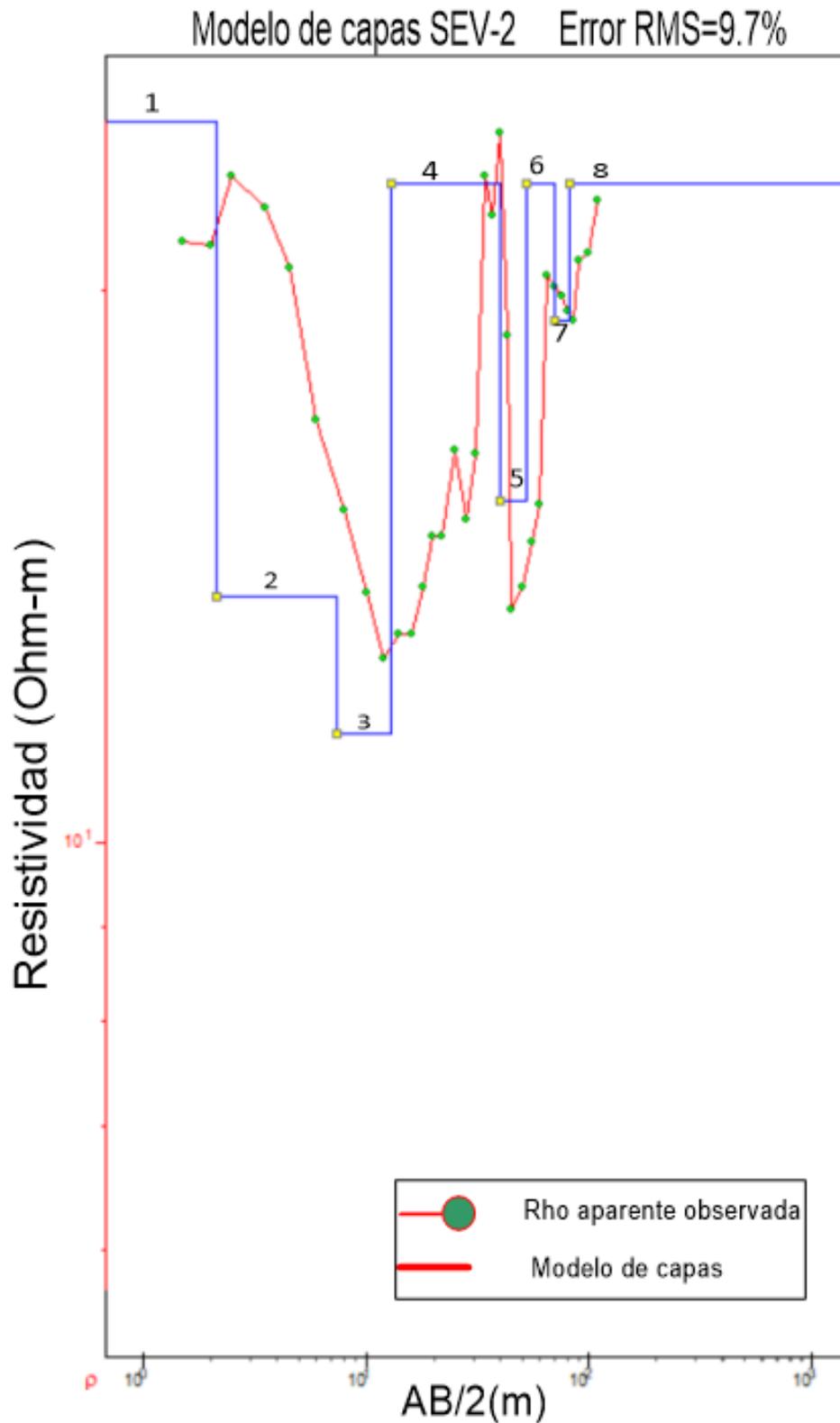
La sexta capa comienza a una profundidad de 53m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca, su espesor es aproximadamente de 18m y tiene una resistividad de **23Ω•m**.

La séptima capa comienza a una profundidad de 71m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca fracturada con posible presencia de humedad, su espesor es aproximadamente de 11m y tiene una resistividad de **19Ω•m**.

La octava capa se asocia a conglomerado poligénico-arenisca compacta, tiene una resistividad de **23Ω•m**, y comienza a los 82m de profundidad aproximadamente, sirve como basamento geohidrológico. Ver **figura 11**.

Tabla A2. Profundidades resultantes por el modelo con su respectiva resistividad del SEV-2. Donde, N= Número de capa, ρ= Resistividad (Ohm-m), h= Espesor (m), z=Profundidad donde inicia la capa (m).

N	ρ	h	z
1	25	2	0
2	14	5	2
3	11	6	7
4	23	27	13
5	15	13	40
6	23	18	53
7	19	11	71
8	23		82



Modelo de capas SEV-2 y resistividad aparente observada en campo.

En el sitio donde se realizó el SEV-3 se infirieron 7 unidades geoeléctricas con base a la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, ver **Figura 10**.

La primera capa tiene una resistividad de **9Ω•m** y un espesor de 4m, está asociada a suelo residual limoso. La segunda capa tiene una resistividad de **8Ω•m** que se refiere a un horizonte de 7m de espesor asociado a arenas-limos con posible presencia de humedad.

La tercera capa contiene un espesor de aproximadamente 31m y tiene una resistividad de **25Ω•m** asociada a conglomerado poligénico-arenisca.

La cuarta capa comienza a una profundidad de 42m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca fracturada con posible presencia de humedad, su espesor es aproximadamente de 15m y tiene una resistividad de **18Ω•m**.

La quinta capa comienza a una profundidad de 57m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca, su espesor es aproximadamente de 37m y tiene una resistividad de **20Ω•m**.

La sexta capa comienza a una profundidad de 94m y se asocia a conglomerado poligénico-arenisca fracturada con posible presencia de humedad, su espesor es aproximadamente de 14m y tiene una resistividad de **19Ω•m**.

La séptima capa se asocia a conglomerado poligénico-arenisca compacta, tiene una resistividad de **20Ω•m**, y comienza a los 108m de profundidad aproximadamente, sirve como basamento geohidrológico. Ver **figura 11**.

Tabla A2. Profundidades resultantes por el modelo con su respectiva resistividad del SEV-3. Donde, N= Número de capa, ρ= Resistividad (Ohm-m), h= Espesor (m), z=Profundidad donde inicia la capa (m).

N	ρ	h	z
1	9	4	0
2	8	7	4
3	25	31	11
4	18	15	42
5	20	37	57
6	19	14	94
7	20		108

Modelo de capas SEV-3 Error RMS=10.5%

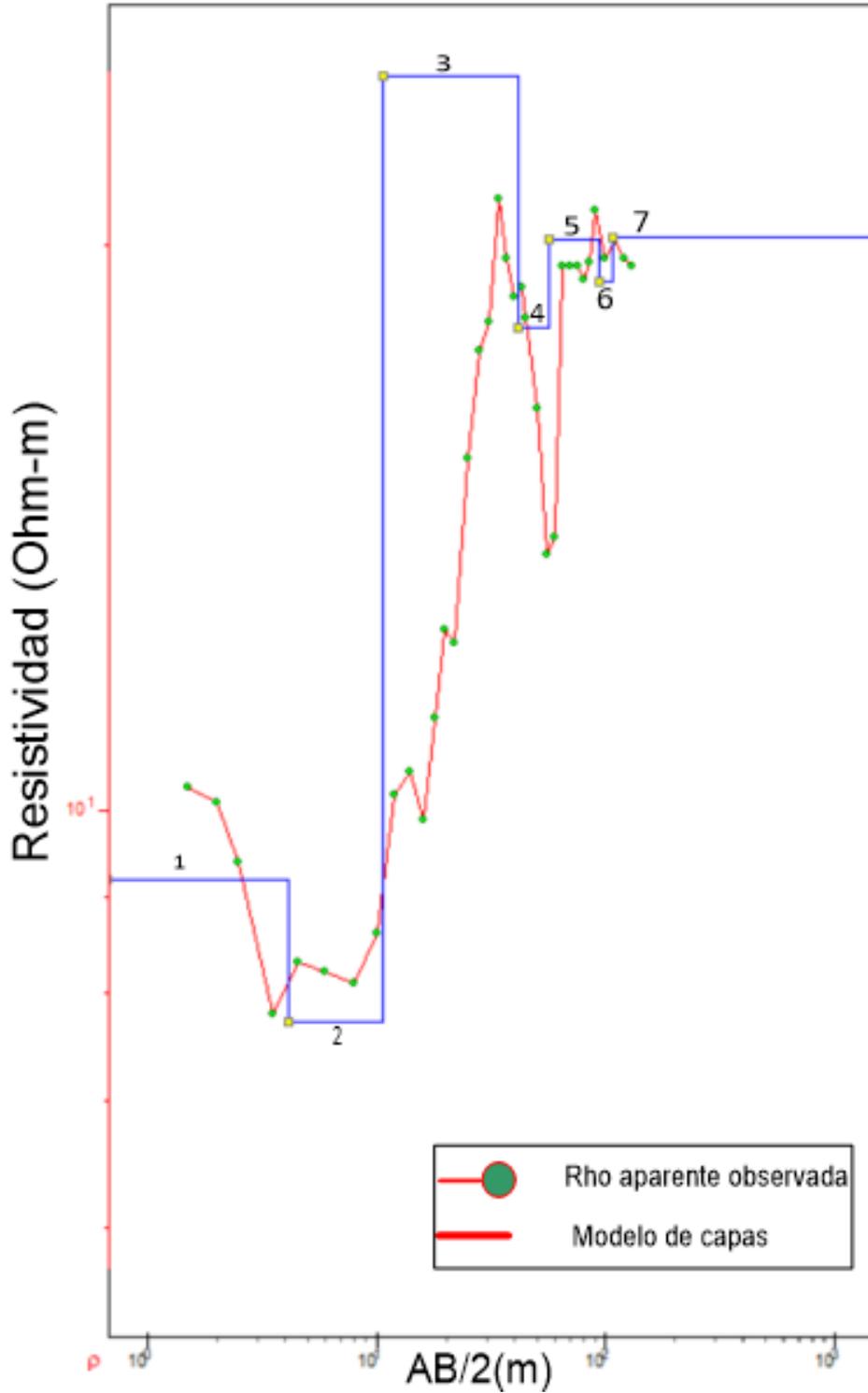


Figura 9. Modelo de capas SEV-3 y resistividad aparente observada en campo.

La **figura 11** muestra la comparación de los sondeos eléctricos verticales realizados. Se observa el sondeo 1 principalmente observar anomalías con probabilidad de agua hasta una profundidad máxima de 100m.

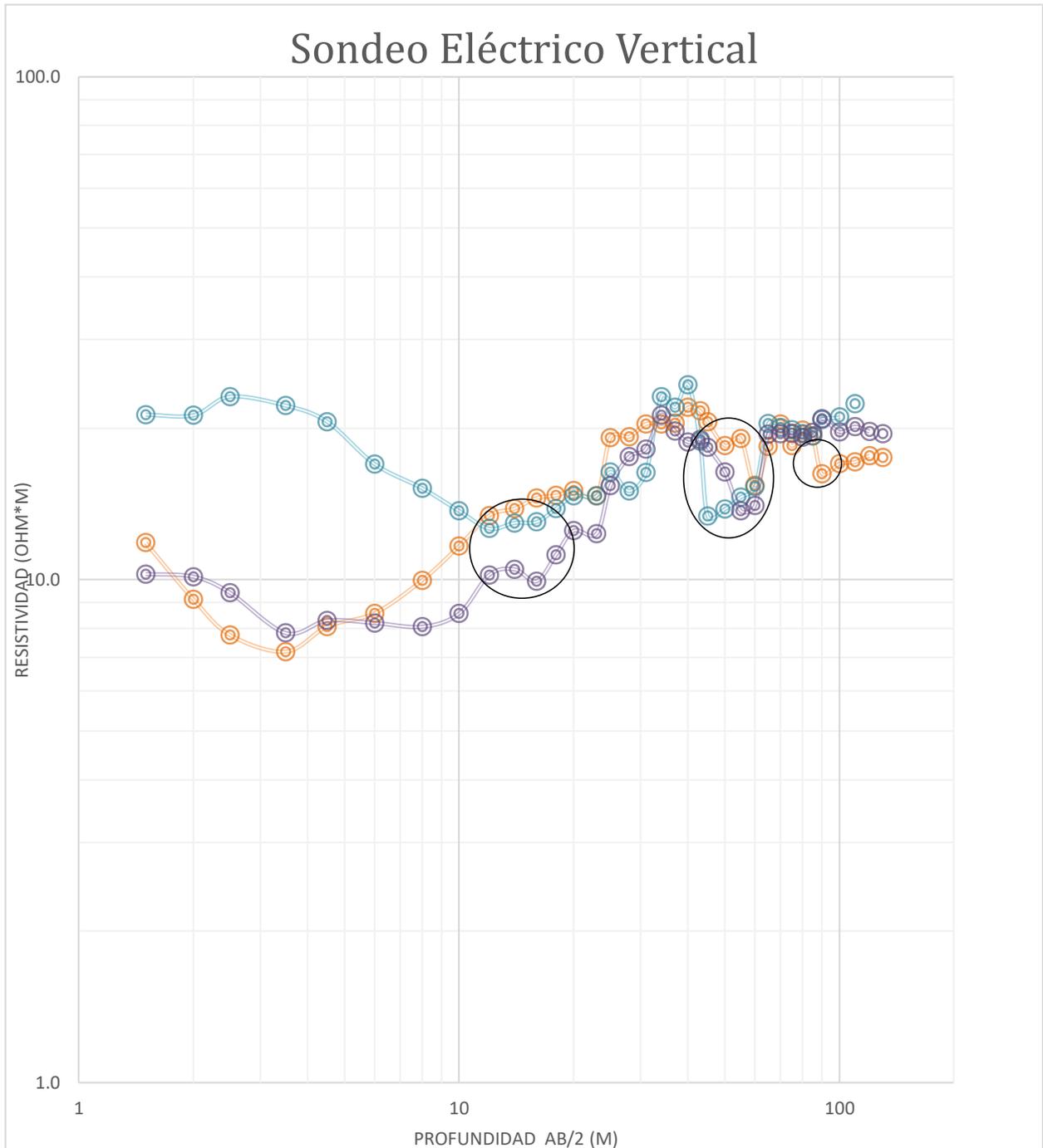


Figura 10. Comparación de los 3 Sondeos realizados. De color naranja se muestra el SEV-1, de color azul el SEV-2 y de morado el SEV-3. Con óvalos se señalan zonas con posibilidad hídrica.

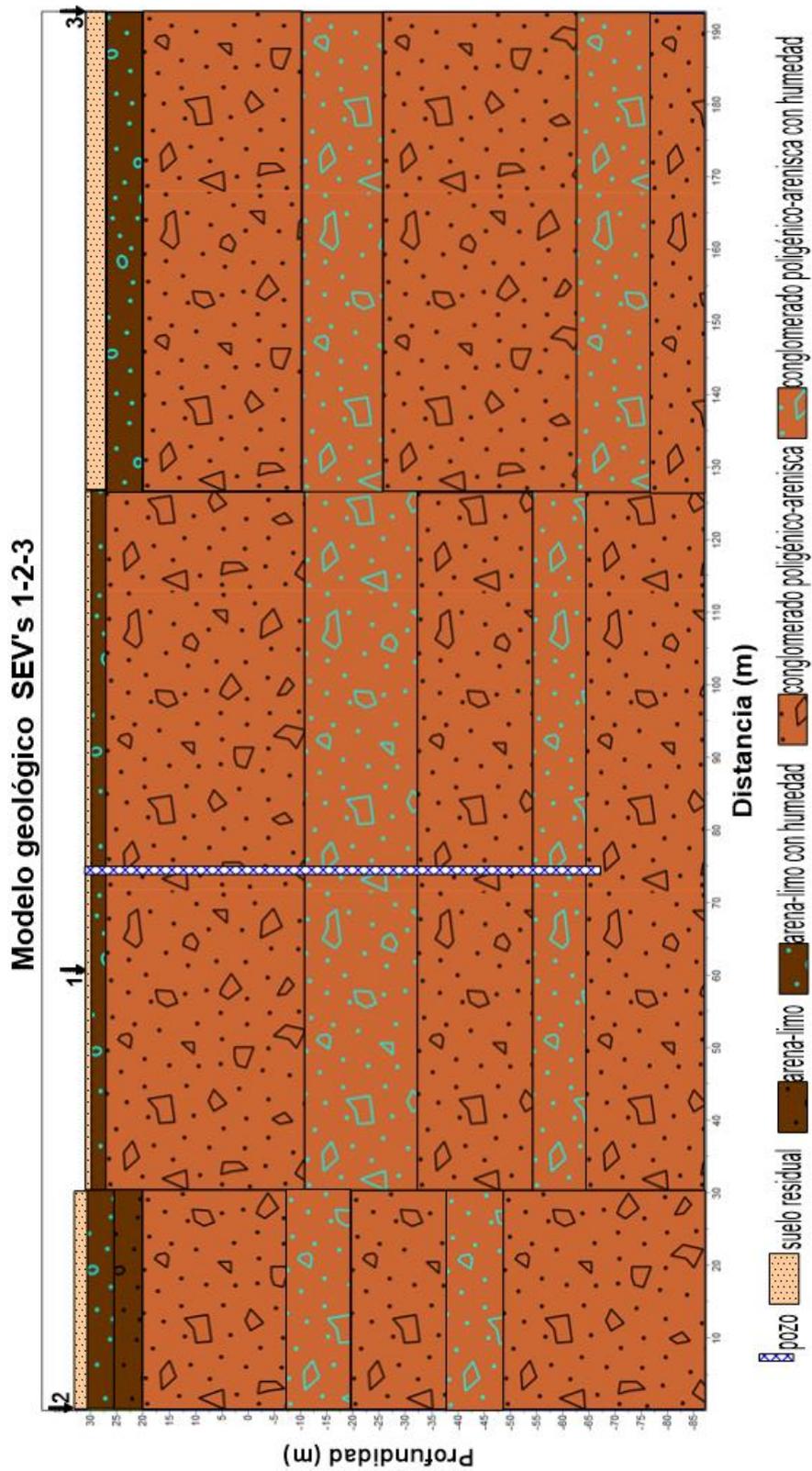


Figura 11. Sección geológica inferida a partir de los 3 SEV's realizados.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos por los estudios de geofísica, se puede concluir geohidrológicamente como **regular** a la zona donde se realizaron los sondeos, ya que está compuesta por materiales de origen sedimentario, estos materiales son permeables en los horizontes de mayor contenido de rocas pocos consolidadas y de mayor tamaño de grano como arenas de grano grande y gravas, además de las zonas de fractura del conglomerado poligénico-arenisca, por lo que el flujo de agua será mayormente en estas zonas existiendo factibilidad en posibilidades hídricas señalados en la **Figura 11**.

Subyaciendo la capa fracturada se encuentra la presencia de roca la misma roca que funge como basamento geológico, es decir, roca compacta con muy baja o nula porosidad y permeabilidad. El acuífero es libre ya que el agua fluye a través de los poros de la roca sedimentaria y se esperan **gastos regulares** por el tipo de material presente, y se vuelve impermeable en las zonas sin fractura o de mayor contenido de limos y arcilla. De no haber otras alternativas de abastecimiento, se sugiere hacer una perforación exploratoria de la siguiente manera:

Como primera opción perforar en el sitio del SEV-1 a **100m de profundidad**.

Con base en la clasificación de dureza de las rocas se consideran tres tipos de materiales, denominados 'I', 'II' y 'III', correspondiendo el primero a los más blandos, y el último, a los más duros. Conforme a los resultados expuestos se determina que la dureza de los materiales corresponde a tipo II para el conglomerado poligénico-arenisca, será tipo I para el suelo aluvial. (CNA, 2012) **Figura 12**.

Material tipo I	Material tipo II	Material tipo III
Arcillas	Lutitas	Ortoquarcitas
Limos	Limolitas	Metacuarcitas
Arenas	Areniscas	Bloques y cantos rodados (mayores a 20 cm)
Gravas (menores a 5 cm)	Clásticos gruesos (5 a 20 cm)	Pederal
Creta y tufa	Conglomerados y brechas	Rocas ígneas extrusivas
Sanas	5	5
Yeso	Calizas, dolomías y travertinos	Rocas ígneas intrusivas
Sanas	3	5
Diatomitas	Anhidrita	Gneis
Carbón	Tezontle	Corneanas
Cenizas volcánicas	Tobas	
Perlita y retinita	Rocas ígneas extrusivas alteradas	
Pumita o toba pumíticas	Rocas ígneas intrusivas alteradas	
Tocas alteradas	Vidrio volcánico	
Rocas metamórficas alteradas	Rocas metamórficas (excepto metacuarcita, gneis y corneanas)	

Figura 12. Clasificación de suelos y rocas para estimaciones de trabajos de perforación.

Por lo cual se recomienda utilizar una máquina perforadora **rotaria** o **percusión** para poder penetrar a través de los materiales antes mencionados, ya que en varios horizontes tienen un comportamiento muy compacto. **En dado caso de encontrarse con roca sana, será preferible detener la perforación hasta la profundidad alcanzada.**

El sitio final se deberá elegir tomando en cuenta aspectos de disponibilidad de la infraestructura (acceso, energía eléctrica, etc.). Durante la perforación se deberá analizar la muestra de roca, y en caso de estar sanas se deberá detener la perforación.

Al terminar la perforación y antes de ademar en su caso el pozo, se recomienda hacer un **registro eléctrico** (de resistividad y potencial natural), para conocer las posibilidades reales de las formaciones geológicas en cuanto a su permeabilidad y saber si se debe parar la perforación o aumentar algunos metros si existe respuesta favorable. Del mismo modo, **se recomienda efectuar un análisis de la calidad del agua** y monitorearlo de manera permanente para evaluar algún problema eventual de contaminación.

Para elegir correctamente el diámetro del ademe se deben satisfacer dos necesidades principales: Que exista un espacio suficiente para el alojamiento de la bomba y un espacio libre que permita su instalación y mantenimiento. La siguiente tabla de CONAGUA muestra de la cantidad máxima de agua que puede fluir del pozo desde una tubería con diámetro conocido. El diámetro del ademe debe tener un espacio libre que garantice la buena eficiencia hidráulica del aprovechamiento en operación.

El diámetro se determina de acuerdo al tamaño de la bomba por utilizar, que es función del gasto y la potencia requerida. De forma general, se recomienda que el diámetro del tubo del ademe sea 5 cm (2") mayor que el diámetro nominal de la Bomba requerida. En la **Tabla 2** se muestran algunas recomendaciones para determinar el diámetro del ademe en función del gasto que se espera obtener y en la **Tabla 3** se presentan las máximas descargas de acuerdo a los diámetros del tubo de ademe.

TABLA 2. Diámetro del ademe en función al gasto esperado.

Gasto esperado (L/s)	Diámetro nominal de tazonas de bomba (mm)	Medida óptima del diámetro del ademe (mm) (pulg.)	Medida mínima del diámetro del ademe (mm) (pulg.)
Menos de 6	102	(152) Di (6")	(127) Di (5")
5 a 11	127	(203) Di (8")	(152) Di (6")
10 a 22	152	(254) Di 10"	(203) Di (8")
20 a 44	203	(305) Di (12")	(254) Di (10")
30 a 60	254	(356) DE (14")	(305) Di (12")
50 a 115	305	(406) DE (16")	(356) DE (14")
75 a 190	356	(508) DE (20")	(406) DE (16")
125 a 240	406	(610) DE (24")	(508) DE (20")
190 a 380	508	(782) DE (30")	(610) DE (24")

DI: diámetro interior, DE: diámetro exterior

TABLA 3. Descarga máxima a partir del diámetro estándar del ademe

Medida del ademe (mm)	Pulg.	Descarga máxima (L/s)
(102)	(4")	13
(127)	(5")	20
(152)	(6")	28
(203)	(8")	49
(254)	(10")	78
(305)	(12")	111
(337)	(14")	136
(387)	(16")	180
(439)	(18")	230
(489)	(20")	286
(591)	(24")	418

6. ANEXOS

6.1. Pseudosección de resistividad

La representación de los datos tomados en campo genera una pseudo-sección de resistividad aparente contra pseudo-profundidad, ver Figura A1. Este tipo de mapas sirve para ver coherencia en los datos, sin embargo, no tiene que ver nada con la realidad del subsuelo, ya que el punto de atribución se da a 45° de distancia entre transmisor y receptor, y no necesariamente ocurre esto en el interior de la tierra. Es necesario aplicar técnicas de inversión de datos para obtener el valor y posición verdadera de la distribución de la resistividad del subsuelo. En este trabajo la sección resultante es muy similar a la pseudosección, esto indica que la respuesta del modelo generado por el software es confiable y genera más certidumbre.

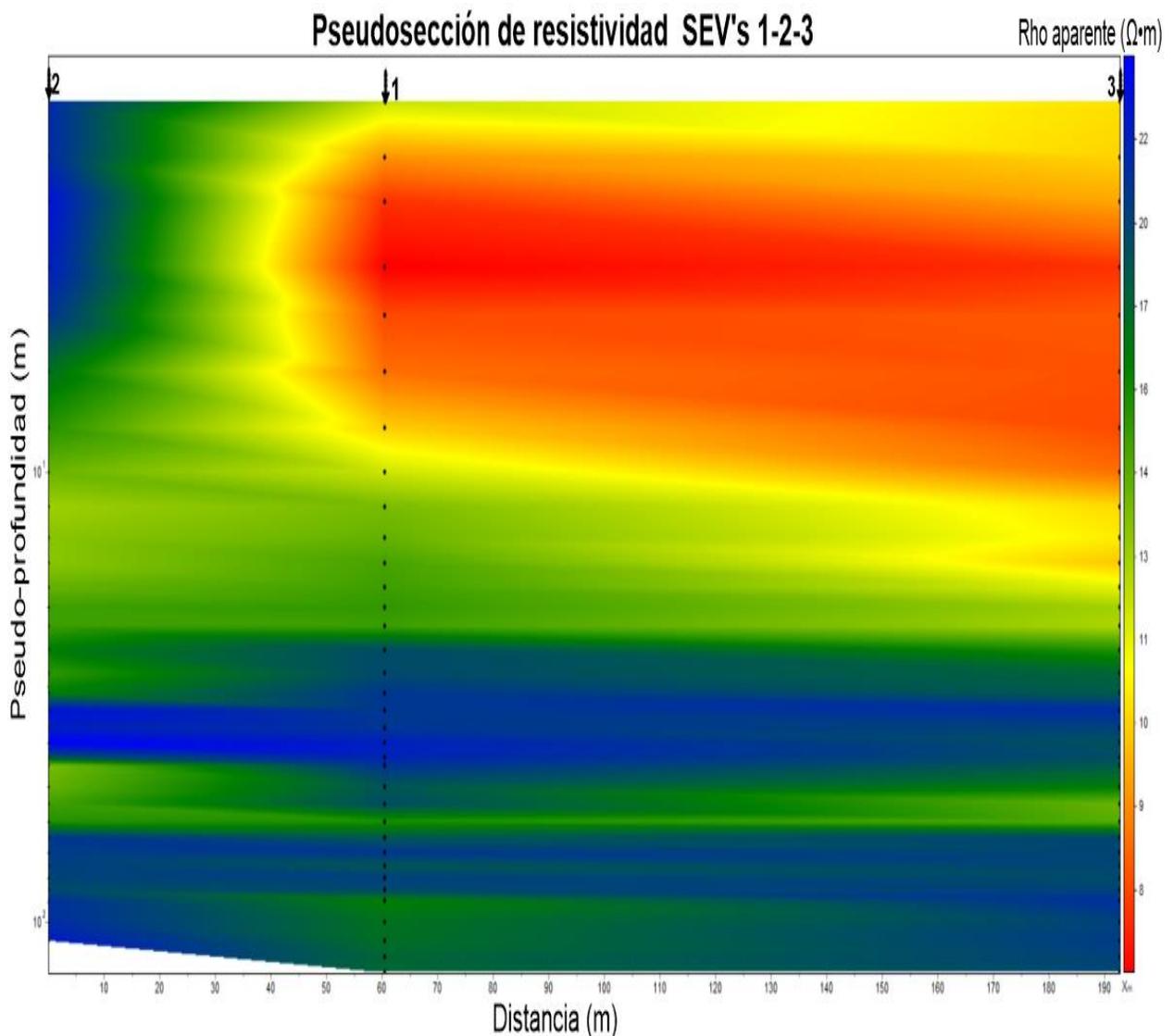


Figura A1. Pseudosección de resistividad aparente. De rojo se observan los materiales más conductores y de azul los más resistentes que se asocian a materiales más duros e impermeables. Con puntos negros se observa la profundidad teórica alcanzada en cada medición.

6.2. Memoria técnica

SEV-1



SEV-2



SEV-3



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Reynolds, J., 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Wiley, p. 417-425.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., 1990, Applied Geophysics. Cambridge University Press, p. 283-289.
- Keller, G.V., 1989, Electrical properties, en: R.S. Carmichael, editor, Practical Handbook of Physical Properties of Rocks and Minerals, CRC Press, pp. 361-427.
- Arosio, D., Longoni, L., Mazza, F., Papini, M. and Zanzi, L. (2013). Freeze-thaw cycle and rockfall monitoring. In Landslide Science and Practice, Springer Berling Heidelberg, 385-390 p.
- Hill, M. L. (1959). Dual classification of faults. The Association of Petroleum Geologists Bulletin. 43 (1), 217-237.
- INEGI. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tuxtepec Oaxaca, 2010.
- INEGI. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, 2009.
- SGM. Carta Geológica Orizaba E14-16. Primera Edición 2000.
- SGM. Conjunto de datos vectoriales geológicos. Primera Edición 2000.
- INEGI. Mapa hidrográfico 2020.
- INEGI. Áreas geoestadísticas municipales. 2001.
- CNA. Manual de agua. Edición 2007. México D.F.