
ESTUDIO GEOELÉCTRICO EN LA LOCALIDAD DE NOGOLÍ: UN APORTE A LA COMPRENSIÓN DE LA ESTRUCTURA E HIDROGEOLOGÍA EN EL PIEDEMONTE OCCIDENTAL DE LA SIERRA DE SAN LUIS.

Martín Nadalez¹, Juan Perón¹, Jael Aranda¹, Augusto
Morosini^{1,2}

¹ Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis.

² CCT-San Luis - CONICET

martinnadalez@gmail.com

RESUMEN

Se utilizó el método geofísico de sondeos eléctricos verticales (SEV) para la determinación de las características estructurales y condiciones hidrogeológicas en la localidad de Nogolí. Con la información obtenida en cada SEV se realizó una integración y posterior construcción de perfiles de resistividades aparentes (pseudo secciones), mapas isopáquicos de sedimentos cuaternarios y precuaternarios, isobatas del basamento ígneo-metamórfico, como así también del acuífero libre en dicha localidad. El uso del método geoeléctrico en distintos puntos de interés, permite aportar nuevas evidencias a la interpretación del comportamiento estructural neotectónico en el borde occidental de la sierra de San Luis asociado a su frente de levantamiento en un contexto geológico de dinámica contraccional, que dio lugar a una deformación progradante hacia el centro la cuenca (piedmont foreland). Las condiciones hidrogeológicas de la localidad se encuentran afectadas por la estructuración del sector que produce la discontinuidad del acuífero en el bloque hundido ubicado hacia el oeste de las fallas detectadas e inferidas mediante las técnicas geofísica y el análisis morfoestructural.

Palabras clave: Geofísica, Neotectónica, Sierras Pampeanas, Hidrogeología, Piedemonte.

ABSTRACT

The following work, used the application of vertical electrical sounding (VES) with the Schlumberger symmetrical electrode array for the determination of the electrical properties of the subsoil in Nogolí town. With the information obtained in each VES, an integration and subsequent construction of apparent resistivity profiles (pseudo section), isopach maps of Quaternary and Neogene sediments, igneous-metamorphic basement and the unconfined aquifer of the locality was carried out. The use of the geoelectric method in different points of interest, allowed us to understand the behavior of the western edge of the Sierras de San

Luis in a geological context of contractional dynamics, which gave rise to a prograding deformation towards the center of basin (piedmont forelands). The hydrogeological conditions of the locality are affected by the structuring of the sector that produces the discontinuity of the aquifer in the footwall located to the west of the detected faults, also generating a north and south bifurcation.

Key words: Geophysics, Neotectonics, The Sierras Pampeanas, Hidrogeology, Piedmont.

INTRODUCCIÓN

La localidad de Nogolí está ubicada en el piedemonte del frente principal de la Sierra Grande de San Luis, y se encuentra a tan solo 43 km de la ciudad de San Luis en dirección norte (**Figura 1**). En el área circundante a esta localidad, aflora el basamento cristalino, como así también rocas sedimentarias de edades precuaternarias (neógenas?) (Sozzi, 1991; Ojeda, 1991; Sozzi et al. 1995; Costa et al., 2001; entre otros) y cuaternarias con marcadas diferencias en sus propiedades geoelectricas, lo que permite su distinción haciendo uso de métodos geofísicos geoelectricos. Los sedimentos precuaternarios ricos en material arcilloso, que se encuentran en relación de inconformidad sobre el basamento cristalino paleozoico, presentan valores bajos de resistividad eléctrica en comparación con los depósitos cuaternarios suprayacentes. Además, las rocas del basamento cristalino exhiben valores de resistividad muy altos, por lo que es normal observar un aumento de los mismos en la parte inferior de los sondeos eléctricos, permitiendo trazar sus límites en el subsuelo y a su vez desarrollar mapas isopáquicos de las unidades sedimentarias que lo cubren. Este método, junto con un relevamiento geológico de superficie, han permitido realizar una integración del conocimiento morfo-estructural y estratigráfico de la zona, y comprender la dinámica del acuífero presente en la localidad, determinando sus límites y potencias.

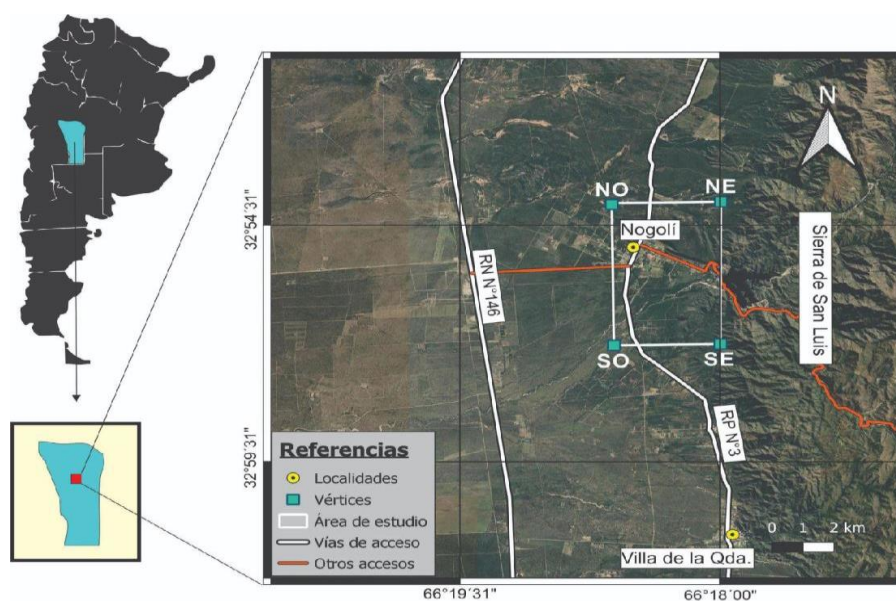


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

GEOLOGÍA

El área está afectada por un sistema de fallas inversas que ponen en contacto rocas del basamento ígneo-metamórfico de las sierras de San Luis con los depósitos precuaternarios y cuaternarios (**Figura 2**). Los depósitos precuaternarios se encuentran en inconformidad sobre el basamento cristalino y están expuestos en ambas márgenes del río Nogolí e inmediaciones; han sido definidas como sedimentitas de coloraciones rojizas, caracterizada por areniscas guijosas, de estructura masiva, consistencia friable, pobremente seleccionadas, con base no aflorante y espesores de entre 2 y 5 m. Han sido atribuidas por diferentes autores al Neógeno (Ojeda 1991, Sozzi, 1991, Sozzi et al., 1995, Marnetti, 1995, Costa et al., 2001 a) y referidas como Formación San Roque (Oligoceno-Mioceno) (Flores 1969; Pascual y Bondesio 1981; Rivarola 1990). No obstante, no se descartan otras correlaciones con las Formaciones Lagarcito (Criado Roque et al. 1981), Potrero de los Funes (Rivarola et al. 2017) o sus equivalentes. Aquí no se les asignará un nombre formal, dado que identificar a qué unidad litológica pertenecen no es el objetivo de este trabajo; se referirá a ella como sedimentitas neógenas.

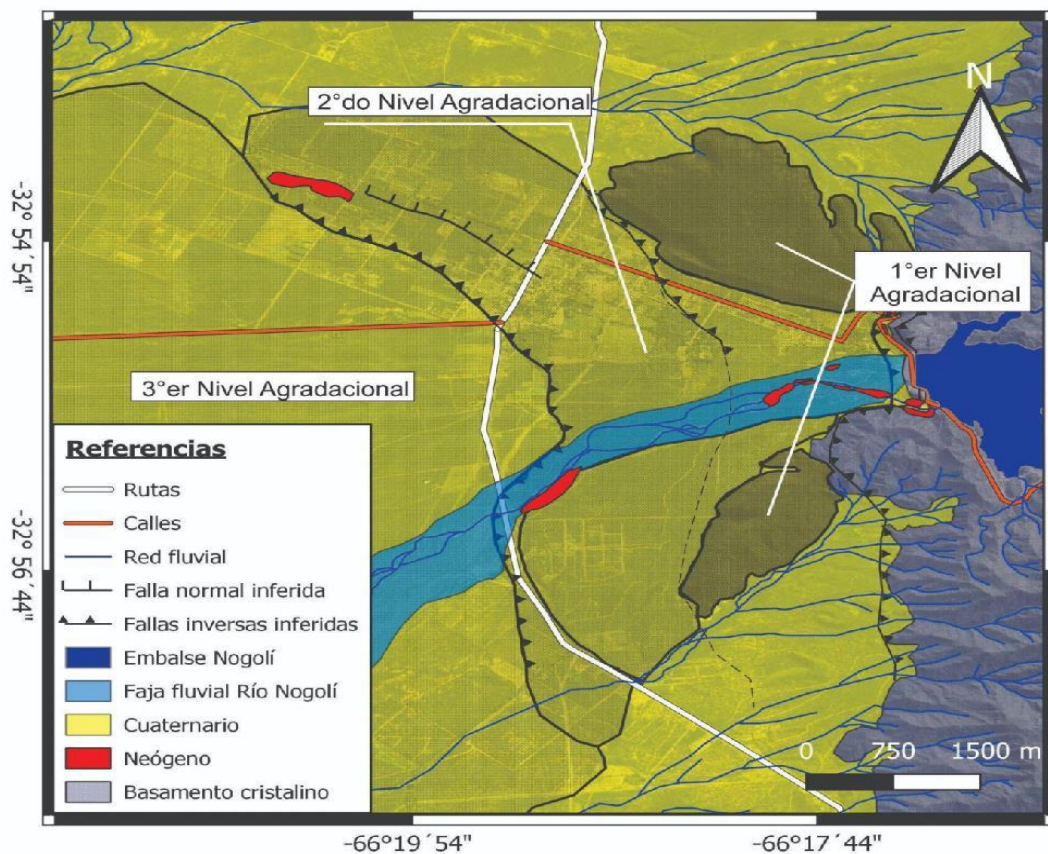


Figura 2: Mapa geológico del área de estudio.

En proximidades al dique Nogolí, se observan afloramientos de ortoconglomerados de matriz arenosa a fango-arenosas con clastos de vulcanitas, feldespato, cuarzo y arcilitas; con estructura masiva, coloraciones rojizas a pardo claras; y buzamientos de $N30^{\circ}/72^{\circ}$ en el frente serrano a $N30^{\circ}/10^{\circ}$ en perfiles retirados al frente serrano.

Asimismo, exhiben una relación de discordancia angular con los sedimentos suprayacentes (**Figura 3**). Las características de estas sedimentitas, en especial su fábrica cerrada, su grado de cementación y su buzamiento, permitirían designarlas como el sustrato hidrogeológico de la zona, con un comportamiento de capa impermeable que posibilita la acumulación de agua de las precipitaciones y la escorrentía subterránea aportada por el río Nogolí.



Figura 3: Afloramiento cercano al frente serrano, donde se observa el contacto discordante entre las sedimentitas precuaternarias y cuaternarias (depósitos aluviales).

Luego, en la ladera serrana se reconocen tres niveles aluviales cuaternarios de granulometrías decrecientes y localizados a diferentes alturas con relaciones incisivas entre ellos. Aranda et al (2016) y más Aranda (2020) describe el 1° nivel aluvial y más antiguo, correspondiente a remanentes de abanicos aluviales adosados al quiebre (*knick*) serrano, integrados por aglomerados y conglomerados gruesos en cuerpos tabulares, grisáceos y pardo claros y poco consolidados; donde se los atribuye a abanicos aluviales con geometrías tabulares. El 2° nivel, incidido en el anterior, comprende a cuerpos de abanicos bien diferenciados y preservados, constituidos por conglomerados gruesos clasto-sostén con intercalaciones de facies arenosas gruesas y estructura laminar. Finalmente, incidido en este último, se reconoce el último 3° nivel aluvial con límites poco definidos, integrado por sedimentos limo-arenosos con gravas finas dispersas. De manera suprayacente a los niveles aluviales hay una alternancia de depósitos arenosos claros con intercalaciones de gravas y material loessoide, de espesores variables, y ocasionalmente el desarrollo de un paleosuelo, en la parte superior del 3° nivel aluvial. Según estas litologías se

correlacionan a la Formación Barranquita, el paleosuelo Los Toldos, y culminando, la parte inferior de la Formación Algarrobito (Aranda et al. 2016; Aranda 2020; Indelicato 2020) (**Figura 4**).

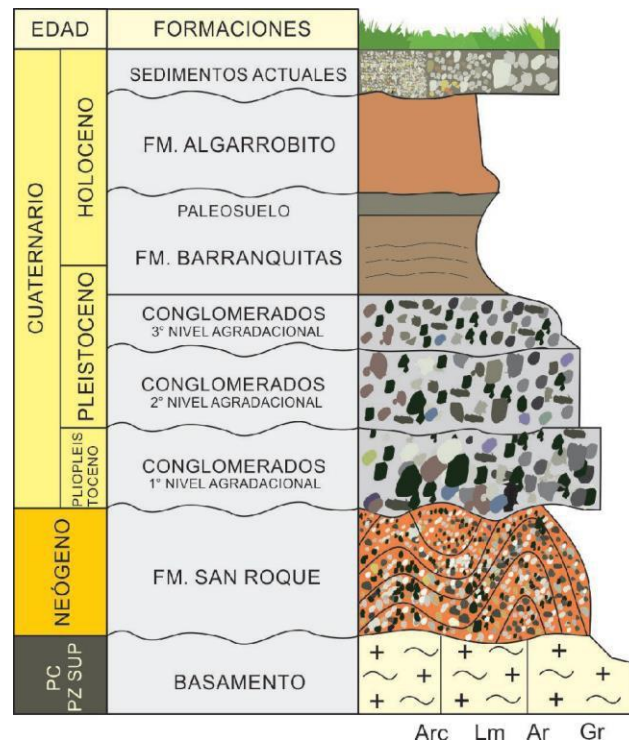


Figura 4: Columna estratigráfica de la zona de estudio, modificado de (Latrubesse et al. 1990, Ramonell et al. 1992).

Morfotectónica

Al norte del área de estudio, el piedemonte presenta rasgos peculiares debido a la presencia de bloques de basamento subaflorescentes, escalonados, que interrumpen la monótona pendiente pedemontana hacia el oeste, que no han sido objeto de estudios geomorfológicos de detalle (Traverso 2018; Aranda 2020; Traverso et al 2022; Aranda y Ojeda 2022). Al oeste del frente de levantamiento occidental de sierras de San Luis, hay un predominio de estructuras de deformación frágil en el borde pedemontano que son expresadas por la Falla de San Luis (Costa 1992; Costa y Cortes 1993; Costa et al., 2001; Flores 1969) (**Figura 5**). Estas estructuras se vinculan a un sistema de fallas que constituyen el frente de levantamiento andino principal de la sierra de San Luis (Costa 1992, Costa et al. 2001).

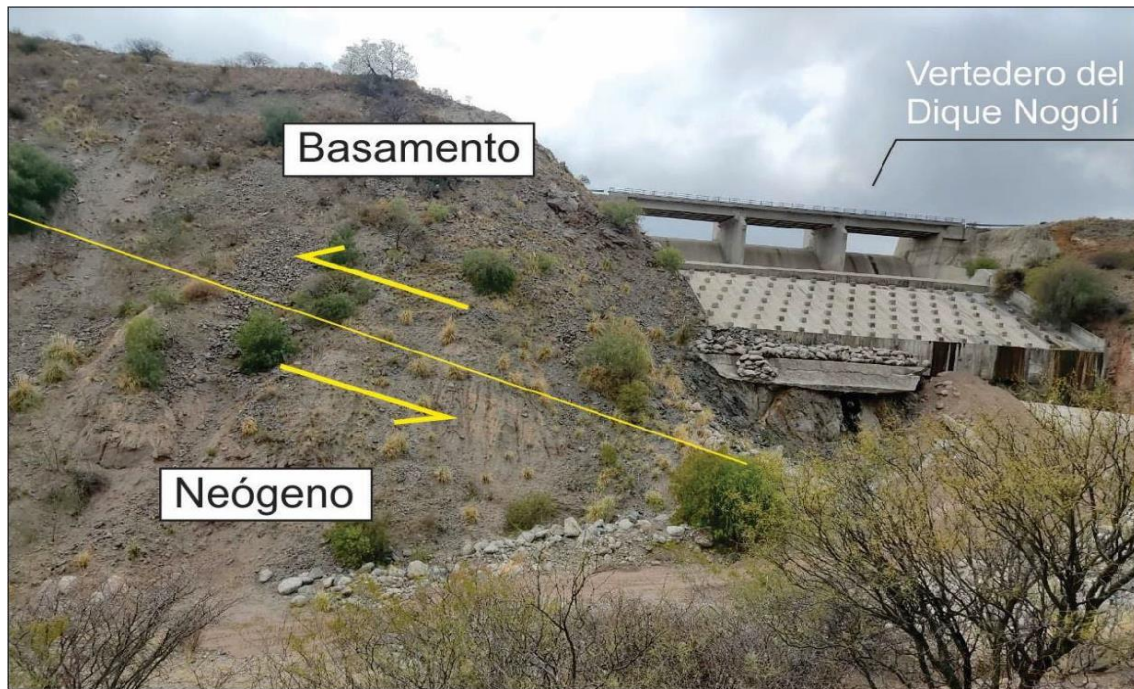


Figura 5: Se observa la falla principal de San Luis donde cabalga el basamento sobre rocas de probable edad neógenas (fotografía con vista al noreste).

La disposición morfoestructural de la sierra corresponde a un bloque que se caracteriza por mayor desarrollo areal de una ladera erosiva (borde pasivo oriental) y una ladera corta y abrupta, donde se ha concentrado el fallamiento desde el Neógeno (borde activo occidental). El desarrollo evolutivo de estructuras propagantes hacia el interior de cuenca (piedmonts foreland) determina un basculamiento de las superficies aluviales pedemontanas en sentido contrario a sus pendientes, destacando un estilo estructural semejante al bloque serrano principal asociado a la sierra de San Luis. Estas elevaciones pedemontanas normalmente exponen en su base rocas precuaternarias y están marginadas por escarpas continuas o discontinuas con cara hacia la cuenca, que por encima culminan con depósitos cuaternarios (**Figura 6**). En estos sectores (incluyendo el área de estudio), la actividad tectónica reciente se manifiesta por el corrimiento de depósitos precuaternarios o rocas del basamento cristalino sobre depósitos aluviales neógenos (Costa 2019).

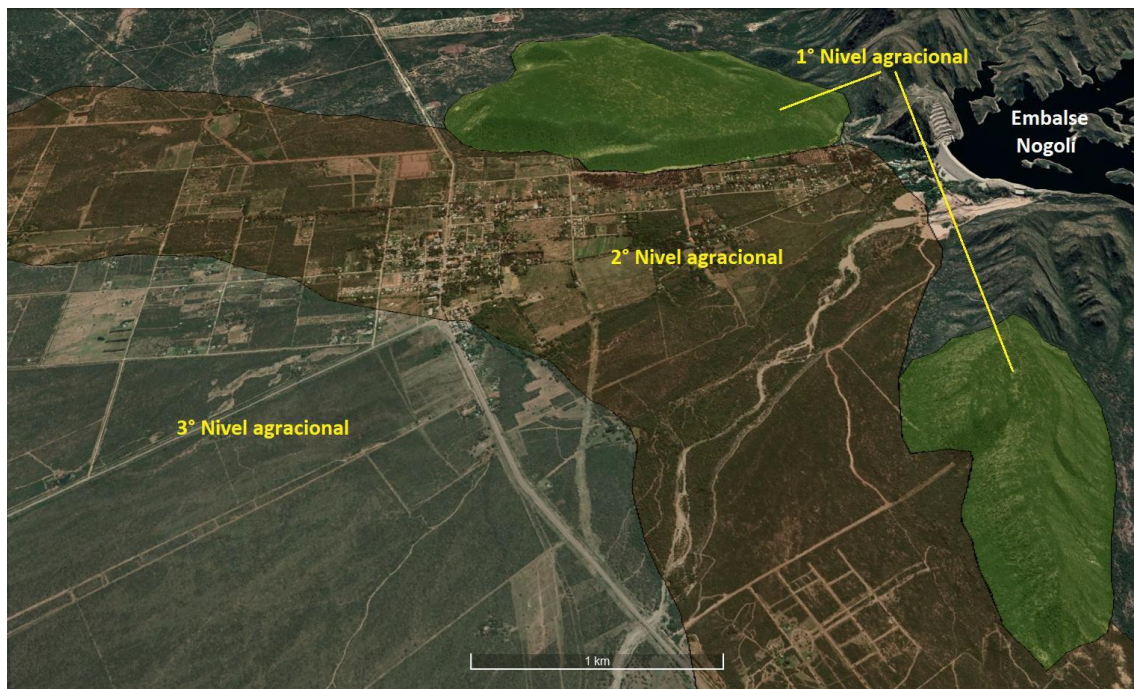


Figura 6: Imagen satelital con vista inclinada del sector analizado tomada de Google Earth. Con polígonos verdes se muestran los abanicos colgados cuaternarios del primer nivel agradacional y para el segundo nivel de agradación, se representa por un polígono rojizo.

METODOLOGÍA

Para la investigación se realizó una recopilación y estudio de la información del área analizando mapas, antecedentes bibliográficos e imágenes satelitales. Los mapas geológicos fueron confeccionados a partir de la utilización de sistemas de información geográfica (SIG) mediante el análisis de imágenes satelitales para su posterior digitalización, aplicando polígonos de atributos. Respecto a la distribución de los sondeos eléctricos verticales (SEVs) se hizo un exhaustivo análisis del terreno, teniendo en cuenta caminos, viviendas y zonas de fácil acceso; considerando espacios de hasta 1000 metros en línea recta para el despliegue de cables y colocación de electrodos. Además, los puntos escogidos para cada sondeo eléctrico vertical se distribuyeron de manera estratégica con el fin de tener una buena resolución y homogeneización de los datos de la zona de estudio. Se utilizó un resistímetro GEOMETER MPX-400, y un arreglo electródico lineal simétrico Schlumberger.

Luego, para una segunda etapa de gabinete, se obtuvieron curvas de resistividad aparente procesadas a partir de métodos de inversión gráfica con el software IPI2win (Bobachev et al. 2000) para la obtención de cada uno de los SEVs realizados, los horizontes geoelectrónicos (que expresan resistividades reales), espesores de capas y profundidades de sus límites, a fin de ser interpretadas en un modelo geológico del subsuelo en cada punto de medición.

Se realizaron 21 sondeos eléctricos verticales (**Figura 7**) para la interpretación del subsuelo. Dos de ellos, (SEV-Q y SEV-R) se hicieron cercanos a pozos de captación de agua para obtener parámetros de profundidad del acuífero y resistividad.

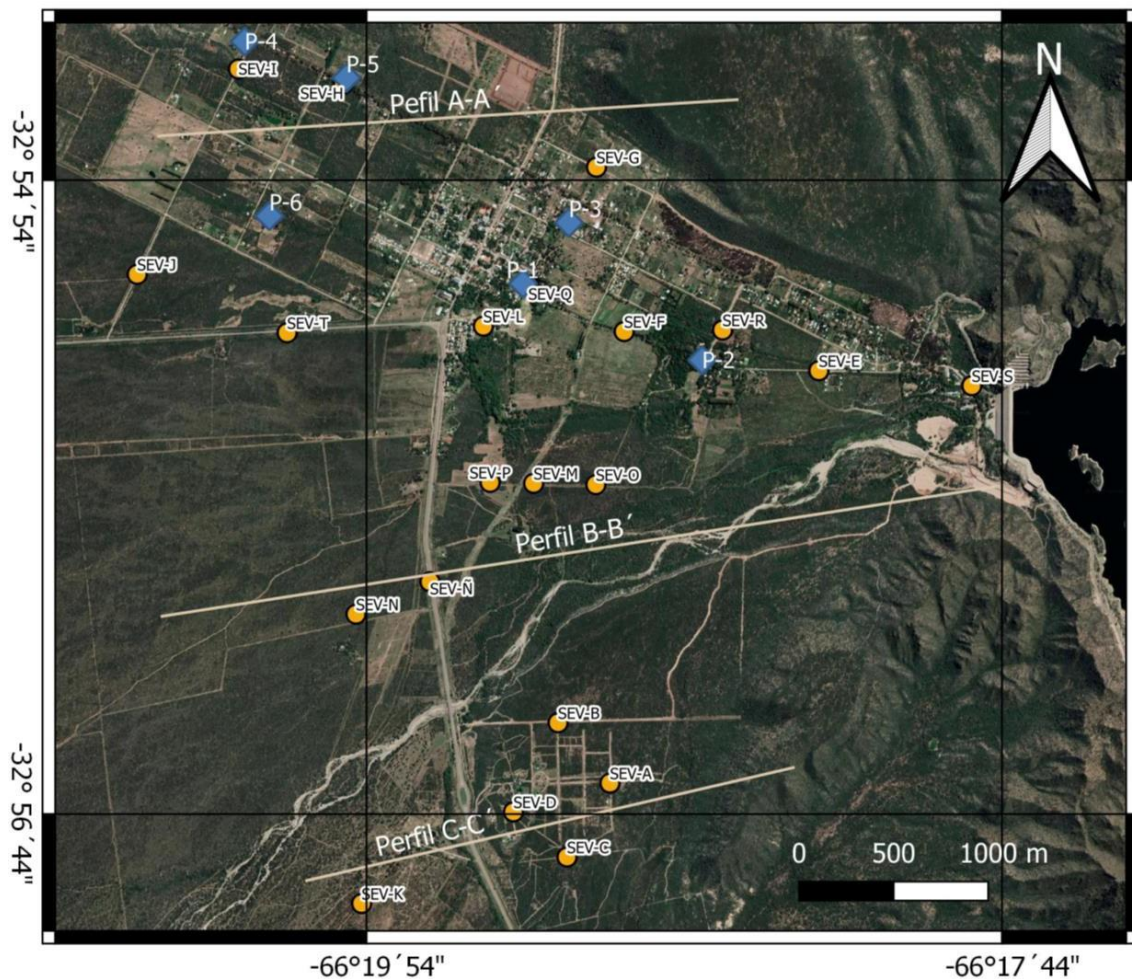


Figura 7: Disposición de los SEVs (puntos amarillos) y pozos (puntos azules).

Para los resultados de la inversión de cada uno de los 21 SEVs (**Tabla 1**) fueron interpolados en una grilla con el fin de obtener mapas de contornos y perfiles de correlación para la interpretación de la configuración geológica y las condiciones hidrogeológicas del subsuelo del área de estudio.

También, se tomaron puntos de control de los afloramientos del basamento, rocas precuaternarias y cuaternarias con el objeto de restringir la información obtenida en los SEVs. Asimismo, se tuvieron en cuenta datos de pozos de agua (**Figura 8**), en los cuales se midieron las profundidades del nivel freático con el fin de parametrizar los horizontes inferidos en los sondeos eléctricos verticales realizados aledaños a estos.

Estudio geoelectrico aplicado a la comprensión de la estructura e hidrogeología del piedemonte occidental de la sierra de San Luis.

AB/2	3.7	5	7	9,5	13	18	24	33	44	60	80	110	150	200	250	300	400
SEV-A	424	542.6	613	721	742	651.8	490	340	120.1	35.3	9.8	6.65	7.51	9.79	12.3		
SEV-B	703	922	1028	1177	1028	922	763	481	286	98	34.3	9.23	8.27	10.3	12.8		
SEV-C	960	1130	1303	1330	1153	922	554	261	131	63.9	26.3	24.8	31.3	43	56.8		
SEV-D	765	935	1055	1027	840.2	555	251	92.2	32.9	21.4	20.5	28.4	37.1	49.9			
SEV-E	181	221	277	313	354	400	392	333	245	128	48.1	13.9	5.82	5.98	7.52		
SEV-F	200	269	338	409	456	444	409	333	235	88.5	34.7	18.1	20.7	24.7	34.7		
SEV-G	181	261	312	420	475	494	443	343	213	98.6	39.8	14.6	12.1	15.4	18.6		
SEV-H	436	540	617.6	660	660	609.3	505.2	324.8	141.6	43	13.6	5.54	6.6	8.7			
SEV-I	185	179	126	80	38.1	20.8	21.5	27.4									
SEV-J	456	598	784	922	1107	1330	1384	1441.5	1481	1501	1311	947	614	368	240		
SEV-K	488	648	850	1041	1209	1366	1461	1543	1512	1432	1329	1130	862	631	415	2204	111
SEV-L	60	83.2	102	109	104	92.2	67.9	39.4	24.4	12.5	8.79	9.26	13.6				
SEV-M	578	585	623	522	374	214	136	54	24								
SEV-N	720	873	1030	1230	1386	1485	1438	1290	1147	1044	902	745	539	410	294	123	
SEV-Ñ	73.9	78.	74	58	43.9	29.9	17.8	10.1	7.21								
SEV-O	1095	2224	2107	2052	1633	1072	450	128	56.9	23.5	17	18.4	23.4	30.3			
SEV-P	435	629	897	1019	1211	1279	1190	1202	1167	997	761	553	395	192			
SEV-Q	73.9	78	74	58	48	30	17.8	10.1	7.21								
SEV-R	284	357	425	454	466	371	259	134	43.4	12.4	6.97	7.25	10.6				
SEV-S	330	245	218	238	293	378	536										
SEV-T	850	1041	1201	1386	1565	1630	1699	1734	1473	1153	1000	752	601	392	217	94	34

Tabla 1: Sondeos eléctricos verticales.



Figura 8: a) Se puede observar el pozo P-6, el cual fue abandonado debido a que no se logró dar con el acuífero. El pozo llegó a una profundidad de excavación de 60 metros sobre conglomerados grueso con bloques de hasta 1 m de diámetro. b) Imagen correspondiente al pozo P-3 con nivel freático a 4 metros. c) Se puede observar el nivel freático del pozo P-2 a una profundidad de 5 metros.

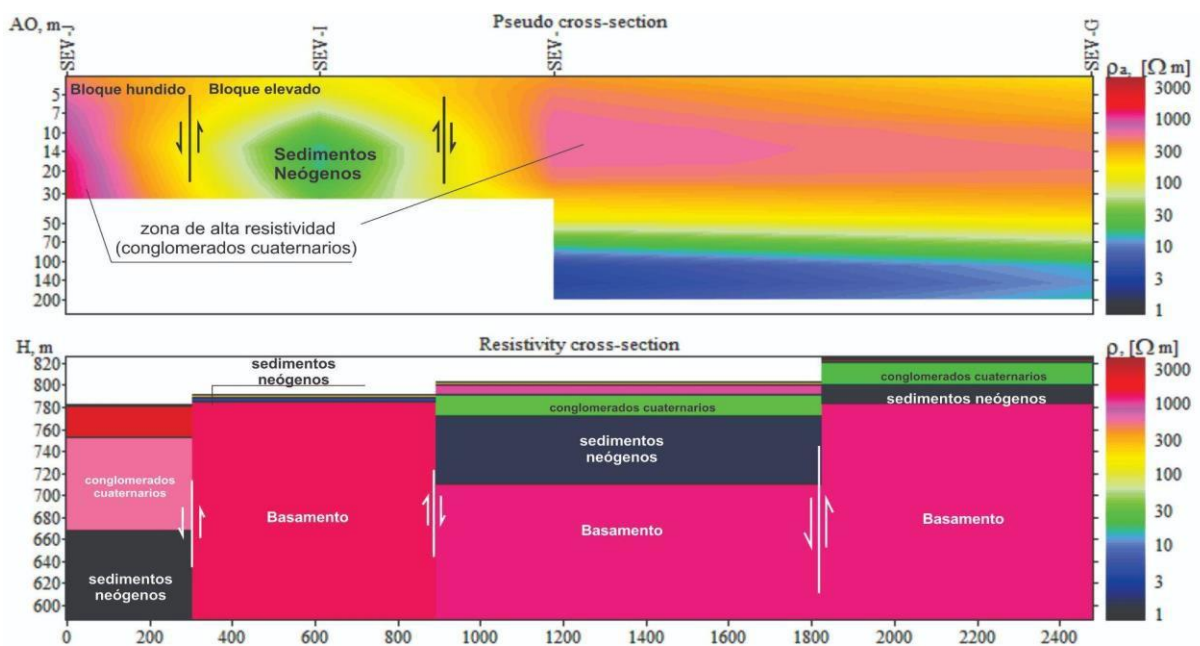
RESULTADOS

Construcción de pseudosecciones y perfiles de correlación

Se obtuvieron 4 perfiles de correlación sobre transectas de rumbo E-O. Estos modelos de correlación del sitio de estudio se realizaron a partir del software de inversión bidimensional PI2Win para obtener una imagen 2D de las resistividades verdaderas para cada sitio de medición, a partir de pseudosecciones de resistividad aparente distribidas de norte a sur.

En el extremo norte del área de estudio, se realizó la pseudosección y perfil de correlación A (**Figura 9**) que integra a los SEVs J, I, H y G. En este se puede observar, de arriba hacia abajo, resistividades muy altas para los sedimentos cuaternarios; resistividades bajas, para el acuífero libre de la zona, resistividades muy bajas (color negro) para las sedimentitas neógenas del sustrato hidrogeológico y, por debajo, nuevamente resistividades muy altas interpretadas como pertenecientes al basamento cristalino subyacente. Se puede observar

una mala correlación de resistividades aparentes del SEV-J, respecto a los SEV-I, SEV-H y SEV-G, esto podría explicarse debido a que la zona de estudio está afectada por un sistema de fallas que generan saltos del subsuelo irrumpiendo así la correlación horizontal de resistividades aparentes observadas. También se observa un resalto importante en los horizontes geoelectricos entre el SEV-J y el SEV-I, ya que en este último los estratos precuaternarios se encuentran en superficie y el basamento cristalino a escasa profundidad. Asimismo, se puede observar un contraste en los valores de resistividad del SEV-I respecto al SEV-H, donde las sedimentitas precuaternarias y el basamento ígneo-metamórfico se encuentran más profundos, cubiertos por los sedimentos cuaternarios, además de la presencia del acuífero libre del área de estudio. El SEV-G, si bien expresa una buena correlación de las resistividades respecto al SEV-H, es notoria una somerización del basamento ígneo-metamórfico y el consiguiente adelgazamiento de los estratos sedimentarios. Estos cambios en las correlaciones de resistividad, indican un rechazo vertical aparente de 120 m aproximadamente, que asociamos a una falla de tipo inversa entre el SEV-I y el SEV-J. Además, la correlación entre los SEV-I y SEV-H muestra un resalto vertical aparente de 60 m que podría asociarse a una falla normal de rumbo NO,



donde el SEV-H estaría ubicado el labio bajo. Por último, debido a un resalto vertical aparente entre el SEV-H y SEV-G de aproximadamente 50 m, se infiere la existencia de una segunda falla de tipo inversa con rumbo NO, siendo el bloque elevado el sector del SEV-G.

Figura 9: Pseudosección A de resistividad aparente (imagen superior) y perfil de correlación de resistividades verdaderas obtenidas mediante la inversión de las curvas de campo (imagen inferior).

La pseudosección B, constituida por los SEVs J, T, L, F, R, E y S, permiten, debido a su distribución, hacer un perfil de correlación de resistividades en el sector central de la localidad de Nogolí.

En este perfil de correlación (**Figura 10**) se pueden observar, de manera descendente, resistividades muy altas para los sedimentos cuaternarios, resistividades bajas que corresponden al acuífero libre, resistividades muy bajas para los sedimentos precuaternarios y resistividades muy altas para el basamento cristalino. Se observa un marcado contraste en las resistividades aparentes del subsuelo en distintos sectores de la pseudosección que permiten inferir una mayor profundidad y espesor sedimentario al oeste del SEV-L (donde se ubican SEV-J y SEV-T). Asimismo, desde el SEV-L hacia el este, el espesor sedimentario se va adelgazando y el basamento ígneo-metamórfico se encuentra cada vez más cerca de superficie; hasta culminar con el marcado contraste en las resistividades entre SEV-E y SEV-S, donde el basamento cristalino es prácticamente aflorante. Esto tiene sentido, ya que el SEV-S se encuentra muy próximo al frente serrano. Por otra parte, es notorio el contraste de resistividades en la columna de correlación de horizontes geoelectricos, al este y al oeste de SEV-J. Como se menciona previamente, las bajas resistividades del segundo horizonte entre los SEV-J y SEV-E indican claramente la presencia del acuífero libre; mientras que las altas resistividades (colores amarillo-anaranjados) de los primeros horizontes que representan a sedimentos cuaternarios en el sector oeste (SEV-J y SEV-T) permiten descartar el desarrollo de un acuífero para ese sector. Los contrastes de resistividades a lo largo del perfil de correlación dado por la inversión del perfil de la pseudosección, expresan un rechazo vertical aparente de 150 m aproximadamente, vinculados a una falla inversa de rumbo NO entre SEV-T y SEV-L, siendo el sector oriental el correspondiente al bloque elevado. También se puede inferir un resalto vertical aparente de 30 m aproximadamente entre los SEV-R y SEV-E, indicando la presencia de una segunda falla de tipo inversa, cuya traza tendría un rumbo NO, siendo el sector del SEV-E el perteneciente al bloque alto. En el sector oriental del perfil, se infiere otro rechazo vertical aparente de aproximadamente 60 m, entre los SEV-E y SEV-S, asociándose a una posible falla de tipo inversa con un rumbo NE, donde el labio elevado corresponde el sector donde se ubica el SEV-S, que podría corresponderse a un plano secundario ubicado a escasos metros al oeste de la traza principal de Falla de San Luis ilustrada en la **Figura 5**.

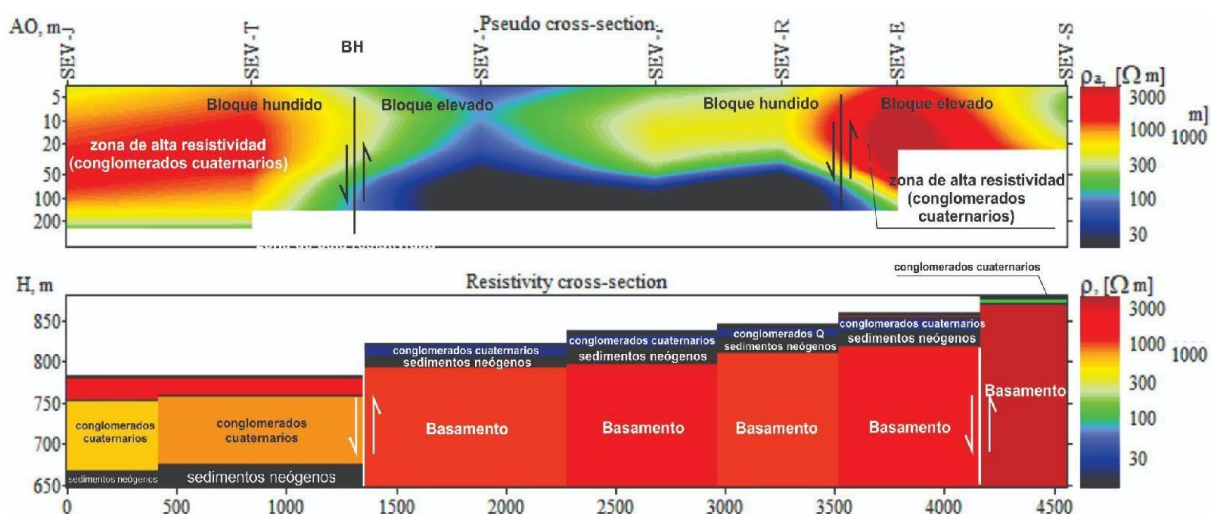


Figura 10: Pseudosección B de resistividad aparente (imagen superior) y perfil de correlación de resistividades verdaderas obtenidas mediante la inversión de las curvas de campo (imagen inferior).

En la pseudosección C, se eligieron los SEVs N, Ñ, O y P, con una distribución en sentido suroeste-noreste. En este corte geoelectrico (**Figura 11**), se ve que las resistividades de los sedimentos cuaternarios son muy altas cuando éstos son someros (color rosado), pero disminuyen a mayor profundidad (color amarillo). Esto es notorio en el sector oriental, donde se asume la presencia del acuífero libre de la localidad; mientras que los conglomerados al oeste del SEV-M (no representado en la pseudosección debido a su reducida profundidad de investigación), muestran siempre altas resistividades que no permiten ser relacionadas con el desarrollo de acuíferos. Asimismo, las resistividades de las sedimentitas precuaternarias son muy bajas, mientras que las resistividades del basamento

crystalino son altas y solamente se observan en el sector oriental del perfil de correlación debajo del SEV-O. Hay un punto marcado resalto en las cotas de todos los horizontes geoelectricos entre el SEV-O y el respecto a los SEV del perfil. Este resalto tiene 120 m aproximadamente, lo que permite inferir la existencia y continuación de la falla de tipo inversa más occidental del área, detectada también al norte y sur, que en este sector presenta una traza de rumbo N-S. Esta falla resuelve el acortamiento que produce la dinámica compresiva en el área y probablemente representa los últimos eventos de deformación del sector.

Además, este rechazo vertical daría lugar a un mayor espesor de sedimentos cuaternarios en el sector oeste.

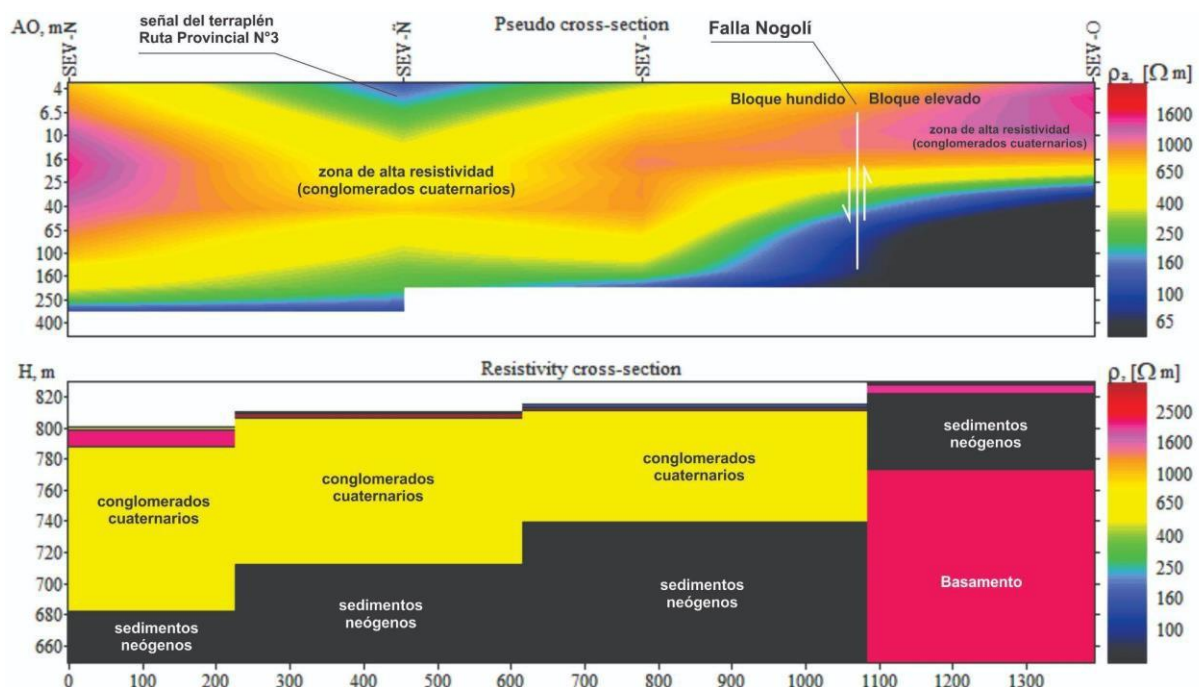


Figura 11: Pseudosección C de resistividad aparente (imagen superior) y perfil de correlación de resistividades verdaderas obtenidas mediante la inversión de curvas de campo (imagen inferior).

Para la pseudosección D (**Figura 12**), se utilizaron los SEVs K, D y A. La misma manifiesta resistividades muy altas para los sedimentos cuaternarios más próximos a la superficie y resistividades más bajas en profundidad. Asimismo, en los SEVs D y A se observan resistividades muy bajas que corresponden a las sedimentitas precuaternarias como así también resistividades altas en la parte inferior asociadas a la presencia del basamento cristalino a profundidades no muy grandes. Cabe mencionar que existe un marcado contraste en las resistividades aparentes del SEV- K respecto a los SEV-D y SEV-A, que tienen una buena correlación horizontal entre sí. Este contraste y el modelo de inversión permiten reconocer una columna sedimentaria potente hacia el oeste y una mucho más delgada, con un basamento cercano a superficie hacia el este. El rechazo vertical aparente es de 200 m aproximadamente, y representa la continuación hacia el sur de la traza de falla inversa mencionada repetidamente, con un rumbo NNO para este sector.

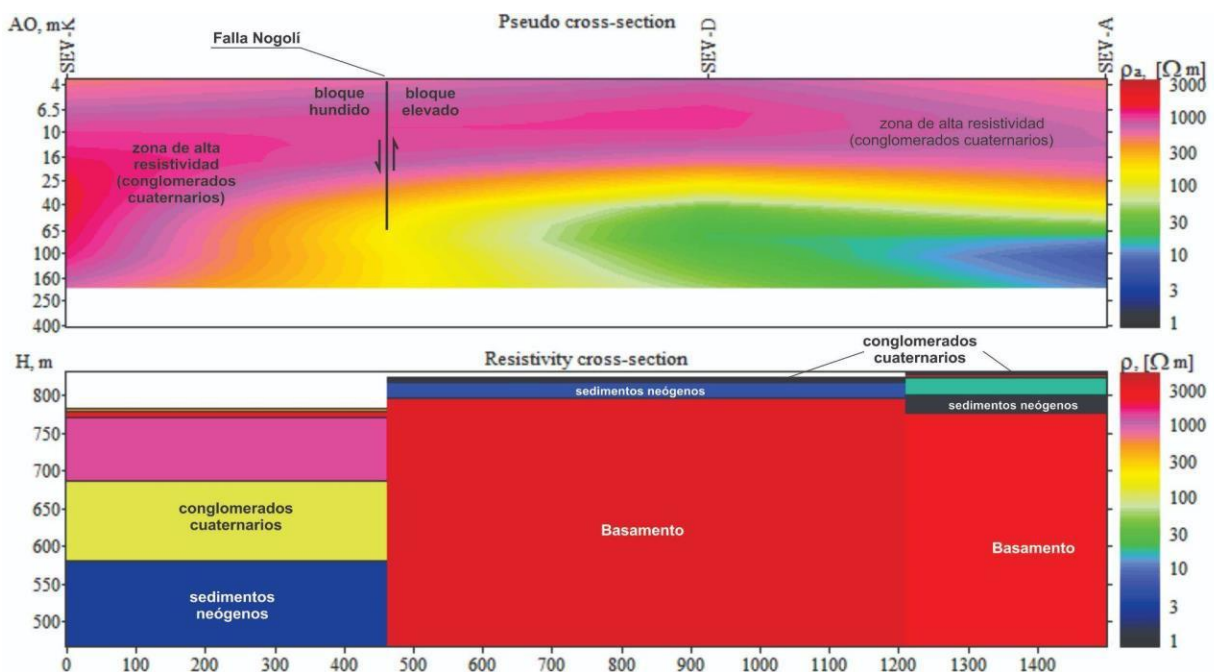


Figura 12: Pseudosección D de resistividad aparente (imagen superior) y perfil de correlación de resistividades verdaderas obtenidas mediante la inversión de las curvas de campo (imagen inferior).

Construcción y representación en mapas temáticos

Con los datos obtenidos de cada sondeo eléctrico vertical, se hizo una integración y posterior representación en mapas de isovalores de acuerdo al fin requerido. Con los valores obtenidos de los espesores sedimentarios cuaternarios de la **Tabla 1**, se realizó un mapa isopáquico de los sedimentos cuaternarios respecto a la superficie topográfica (**Figura 13**). En tonos rojos se pueden observar los mayores espesores sedimentarios cuaternarios (en el orden de los 70 a 97 m), que en el sector este del área sería atribuido al primer nivel aluvial pedemontano conglomerádico, mientras que para el sector oeste se vincularían a la sumatoria del segundo y tercer nivel agradacional, con espesores

mayores a los 100 m. Asimismo, el segundo nivel agradacional se observa en el mapa con tonos violáceos a verdosos, ya que su potencia es menor, entre los 5 y 40 m de espesor. En color blanco se pueden observar los trazos de las fallas inversas inferidas en el terreno a partir de la interpretación de las pseudosecciones y el análisis morfoestructural del sector. Estas fallas se estiman que son de bajo ángulo (menor a 45°) ya que al ser de naturaleza inversa sus trazos exhiben un desarrollo sinuoso e irregular en la superficie del paisaje. El primer nivel depositacional adosado al knick serrano estaría afectado por la falla San Felipe de naturaleza inversa que expone morfologías de abanicos colgados. Para la falla normal inferida, se puede observar un desarrollo más recto posiblemente debido a su mayor ángulo de buzamiento. Es importante mencionar que este bloque hundido daría lugar a la depositación del tercer nivel agradacional por encima del segundo nivel agradacional de conglomerados en el norte del área de estudio, no así para el sector sur de dicho nivel, afectado por un levantamiento tectónico que dejó una morfología de abanico aluvial colgado que expone a los conglomerados el segundo nivel agradacional. Y posteriormente, otro impulso contraccional habría dado lugar al tercer nivel agradacional conglomerádico cuaternario hacia el lado oeste de la falla Nogolí.

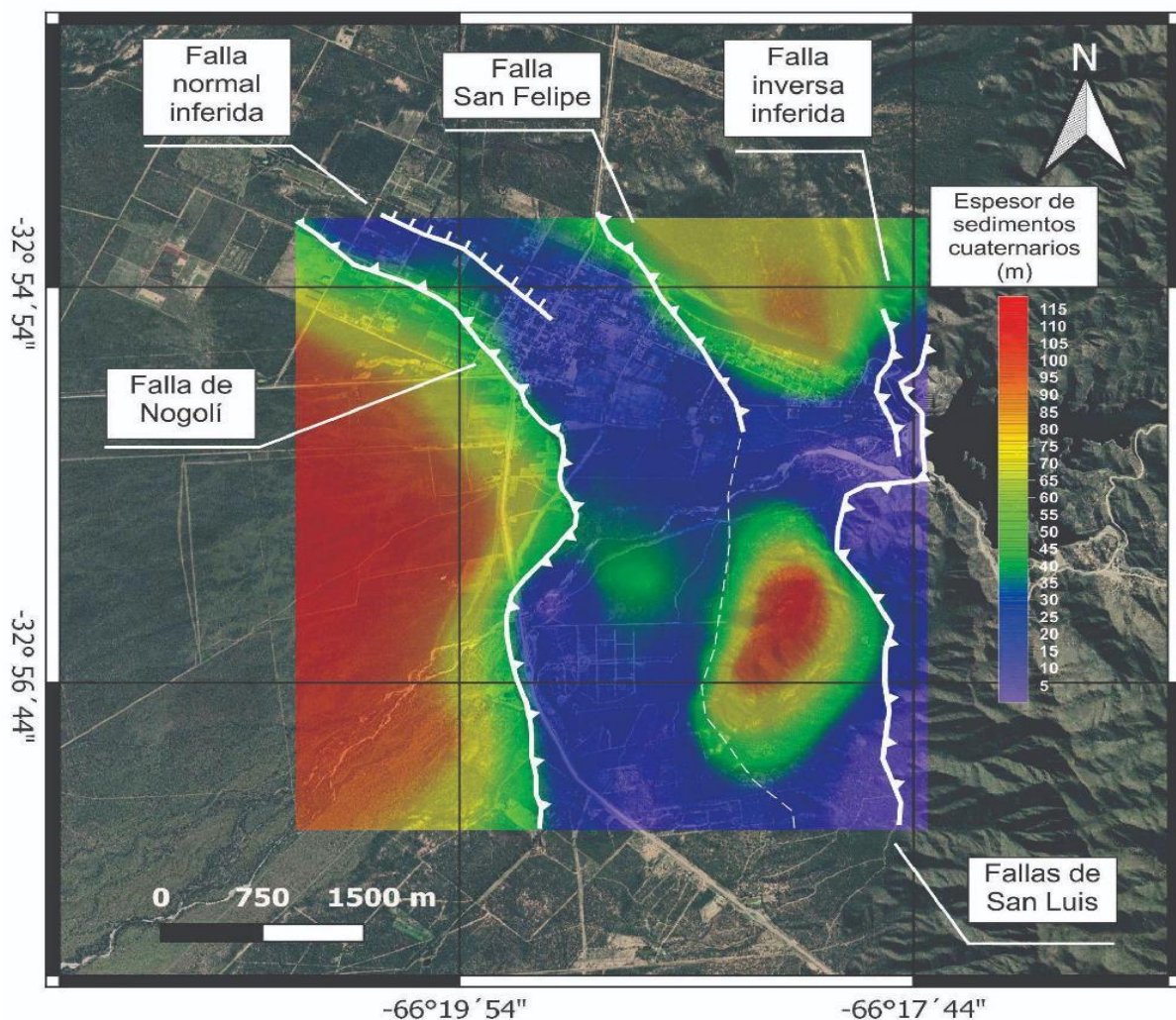


Figura 13: Mapa isopáquico de sedimentos cuaternarios.

En el mapa equipotencial, que representa las cotas del nivel freático del acuífero presente en el sector (**Figura 14**), se observa una profundización del mismo hacia el oeste, mientras que en el sector oriental la cota se encuentra más cercana a la superficie topográfica. Se puede observar que existe una bifurcación de flujo del acuífero libre en una dirección noroeste acompañado de un incremento del gradiente en el sector norte; mientras que para el sector centro y sur del área el acuífero experimenta un flujo en dirección oeste acompañado de un gradiente uniforme hasta el sector de la falla de Nogolí. A partir de esta falla, hacia el oeste, no habría desarrollo de acuífero, producto de un gradiente extremo que imposibilitaría el desarrollo del mismo. Es importante mencionar que las evidencias que muestran las construcciones de pozos de agua del lado oeste de la falla no han sido prósperas para la explotación de estas aguas, además, existen relatos de hogareños de la localidad en la que alegan que no se ha detectado agua en pozos que superaron los 100 m de profundidad.

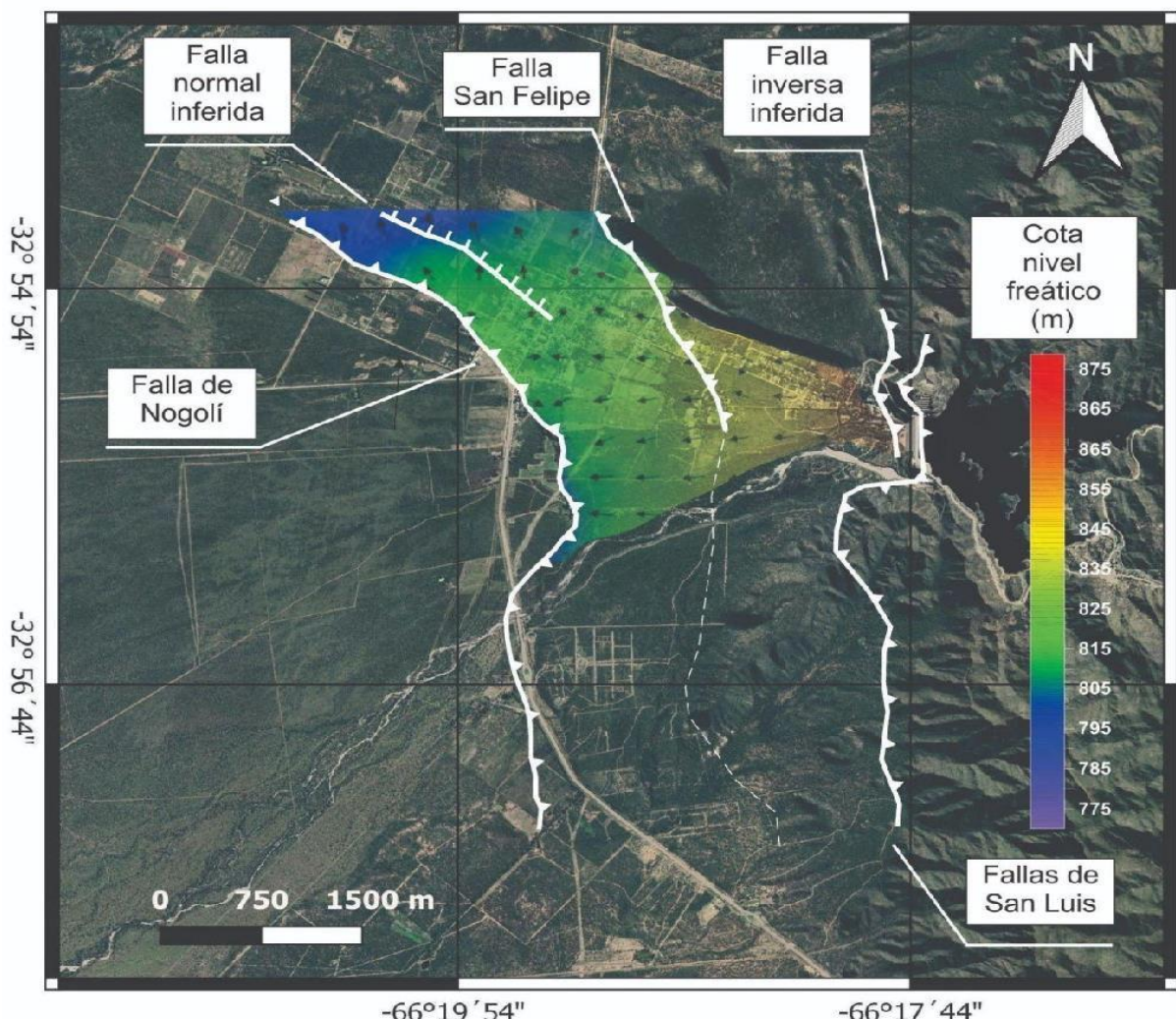


Figura 14: Mapa de cota del nivel freático y gradiente de flujo subterráneo (equipotencial).

El mapa de isobatas del techo de las sedimentitas precuaternarias (**Figura 15**) muestra que en el sector oriental éstas afloran o subafloran, mientras que, para el sector oeste, las mismas sufren una profundización a partir de las fallas inversas reconocidas que afectan el sector. Las flechas de color negro indican las pendientes que exhibe el paleorelieve labrado sobre los depósitos precuaternarios, que, además, presenta una buena correlación con el gradiente del acuífero del sector analizado. Este horizonte geológico oficia de sustrato hidrogeológico, es por esto que el paleorelieve controla el comportamiento (flujo y reservorio) de las aguas subterráneas en el lugar.

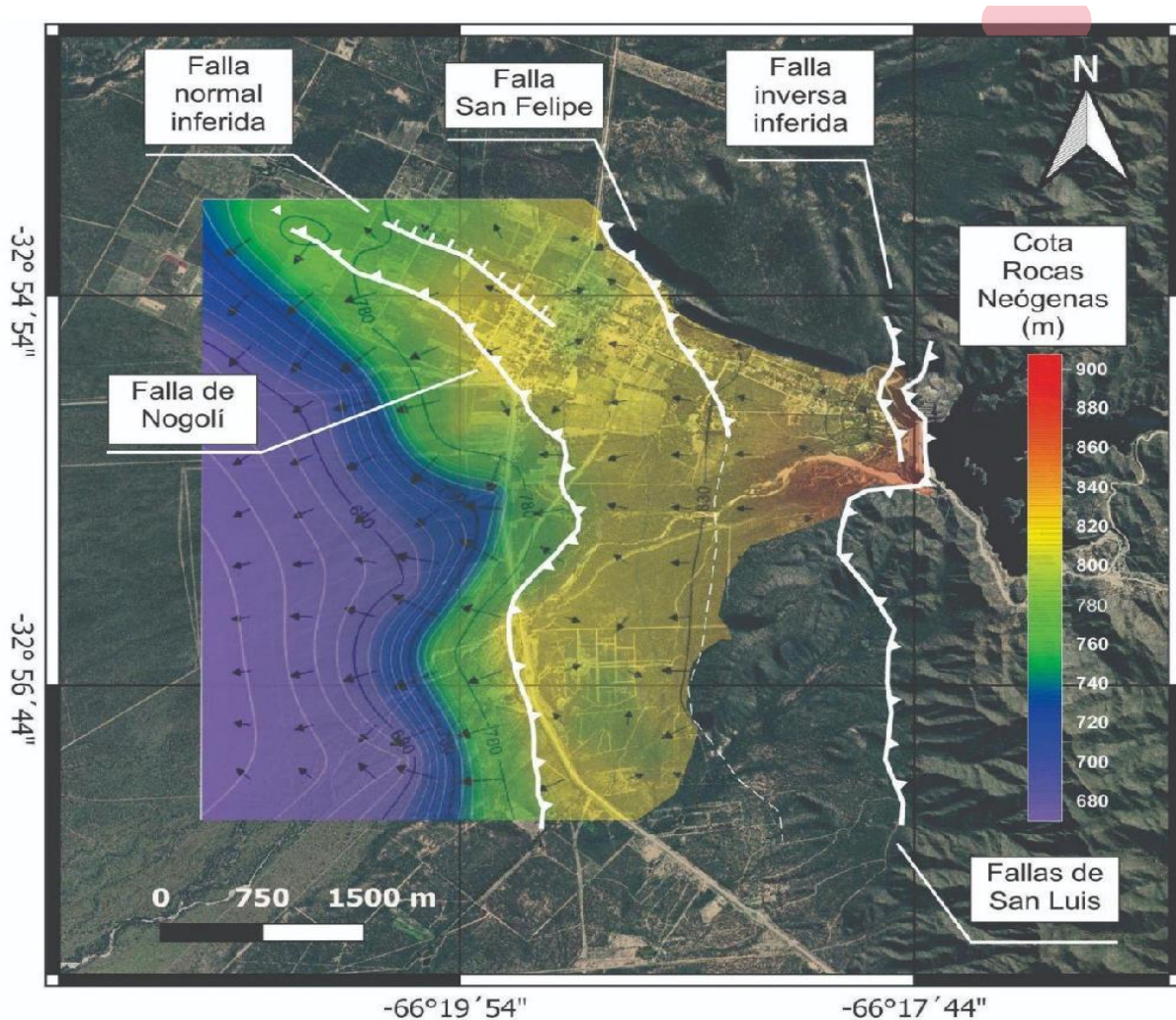


Figura 15: Mapa de isobatas de las sedimentitas precuaternarias. Las flechas indican la dirección de la pendiente de la superficie labrada sobre las mismas. Nótese como el tamaño de las flechas aumentan inmediatamente al oeste del trazo de la falla de Nogolí, indicando un fuerte gradiente de la pendiente debido al gran resalto estructural.

En el mapa de profundidad al basamento ígneo-metamórfico (**Figura 16**) se puede observar que éste se encuentra aflorante a subaflorante en el sector este y sureste, mientras que hacia el oeste y noroeste se puede observar un aumento de su profundidad. Esta configuración del basamento estaría dada por el sistema de fallas inversas propagantes hacia el borde de cuenca. Al oeste de la falla de Nogolí no se pudo detectar el basamento ígneo-metamórfico en los SEVs, por lo tanto, esto es una prueba a favor de las interpretaciones esbozadas, indicando

que en el bloque hundido se produjo una espesa cubierta de depósitos aluviales sin-tectónicos de edad cuaternaria.

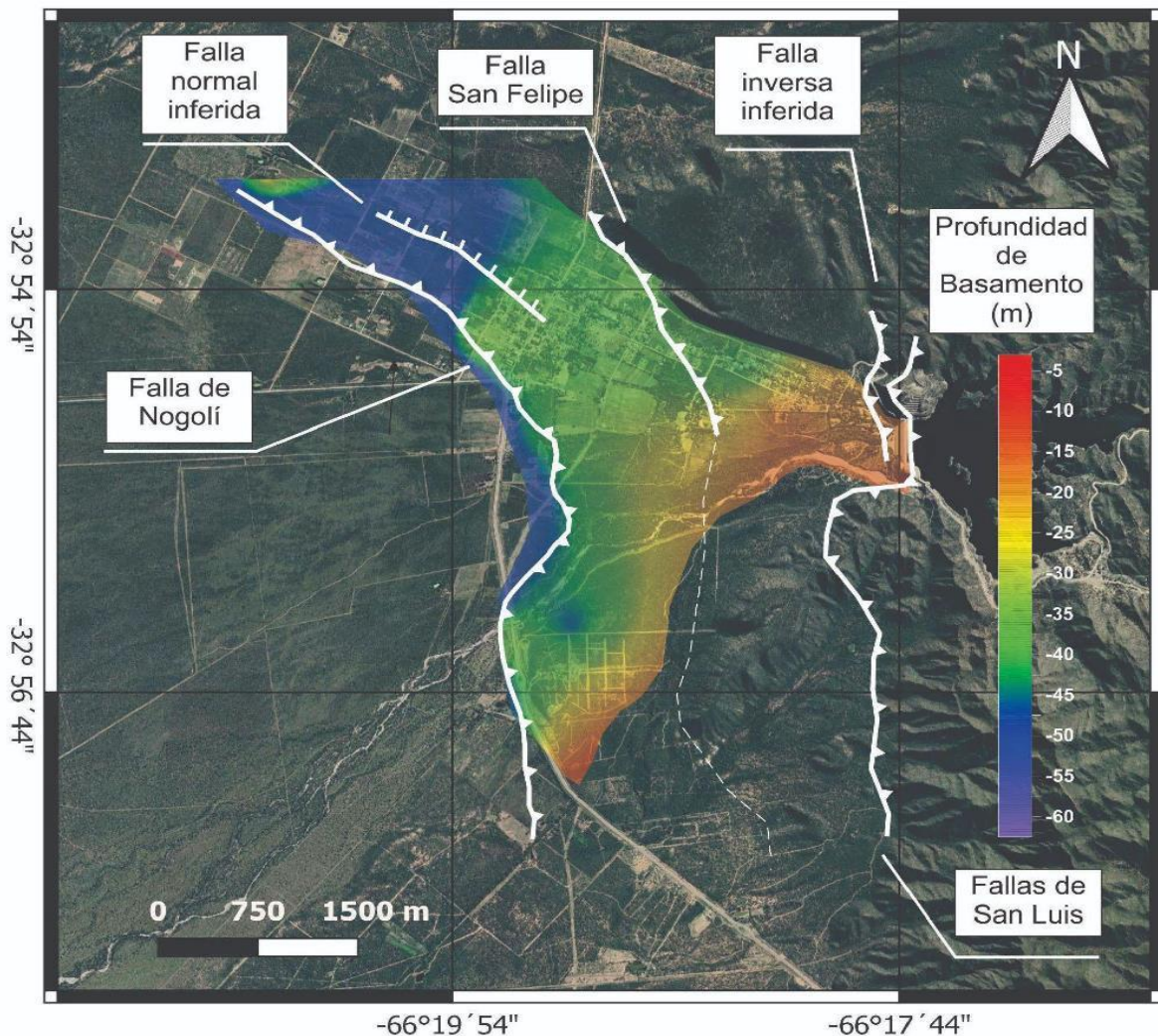


Figura 16: Mapa de profundidad al basamento ígneo-metamórfico.

Por último, se presenta un mapa de la profundidad del nivel freático del acuífero de la localidad de Nogolí (**Figura 17**). Hacia el este del área el acuífero está próximo a la superficie, e inclusive, aflora como vertiente (por ejemplo, en el sitio del SEV-L), o bien se encuentra a escasos 1,2 m (pozo P1). Asimismo, se puede observar una profundización del nivel freático hacia el oeste siguiendo la cota del sustrato hidrogeológico (sedimentitas precuaternarias).

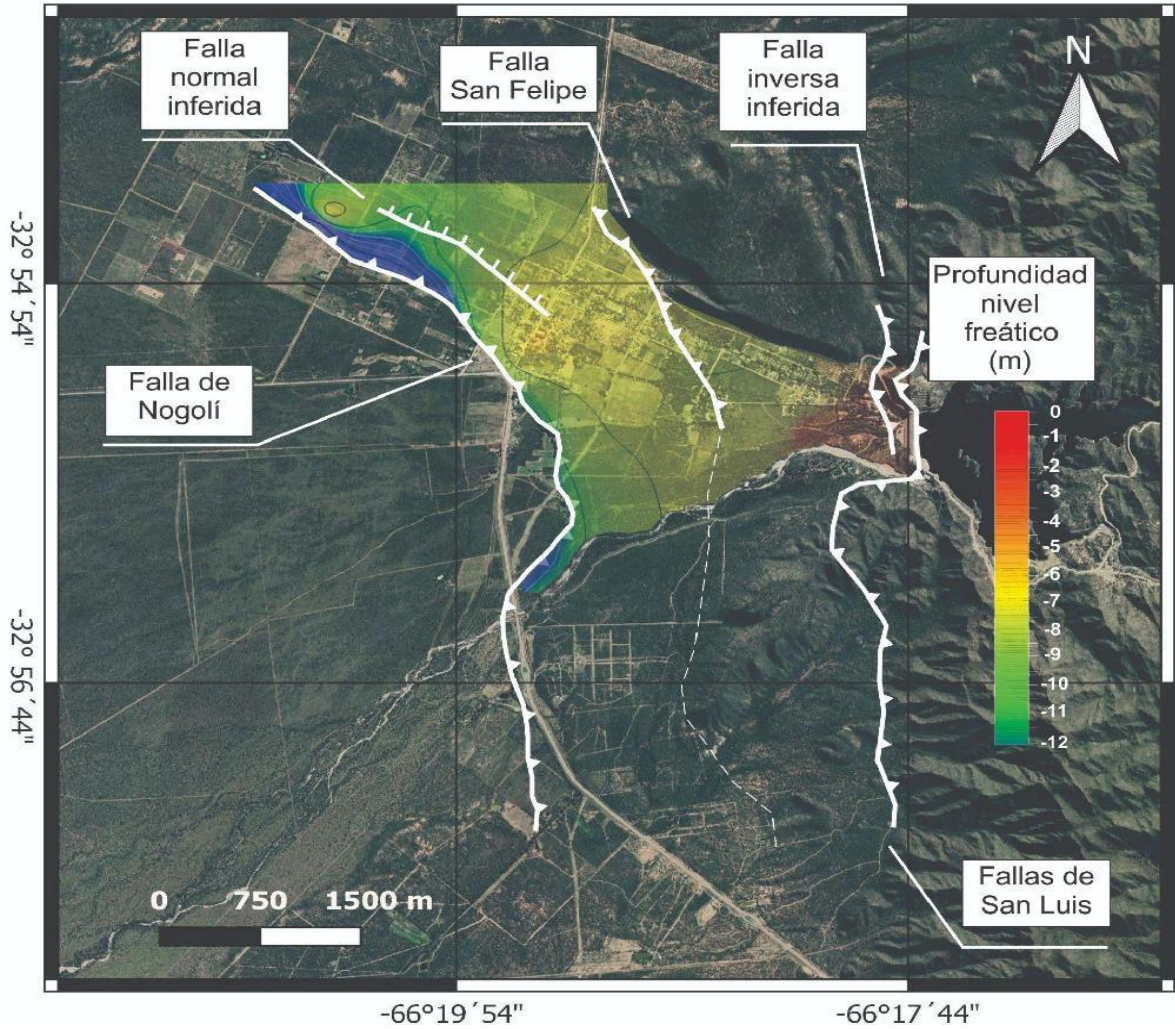


Figura 17: En mapa de la profundidad del nivel freático.

Con la información recopilada de los sondeos eléctricos verticales, pseudosecciones y mapas bosquejados, se realizaron 3 perfiles E-O en los sectores norte, centro y sur del área de estudio para una interpretación geológica y estructural (**Figura 18**).

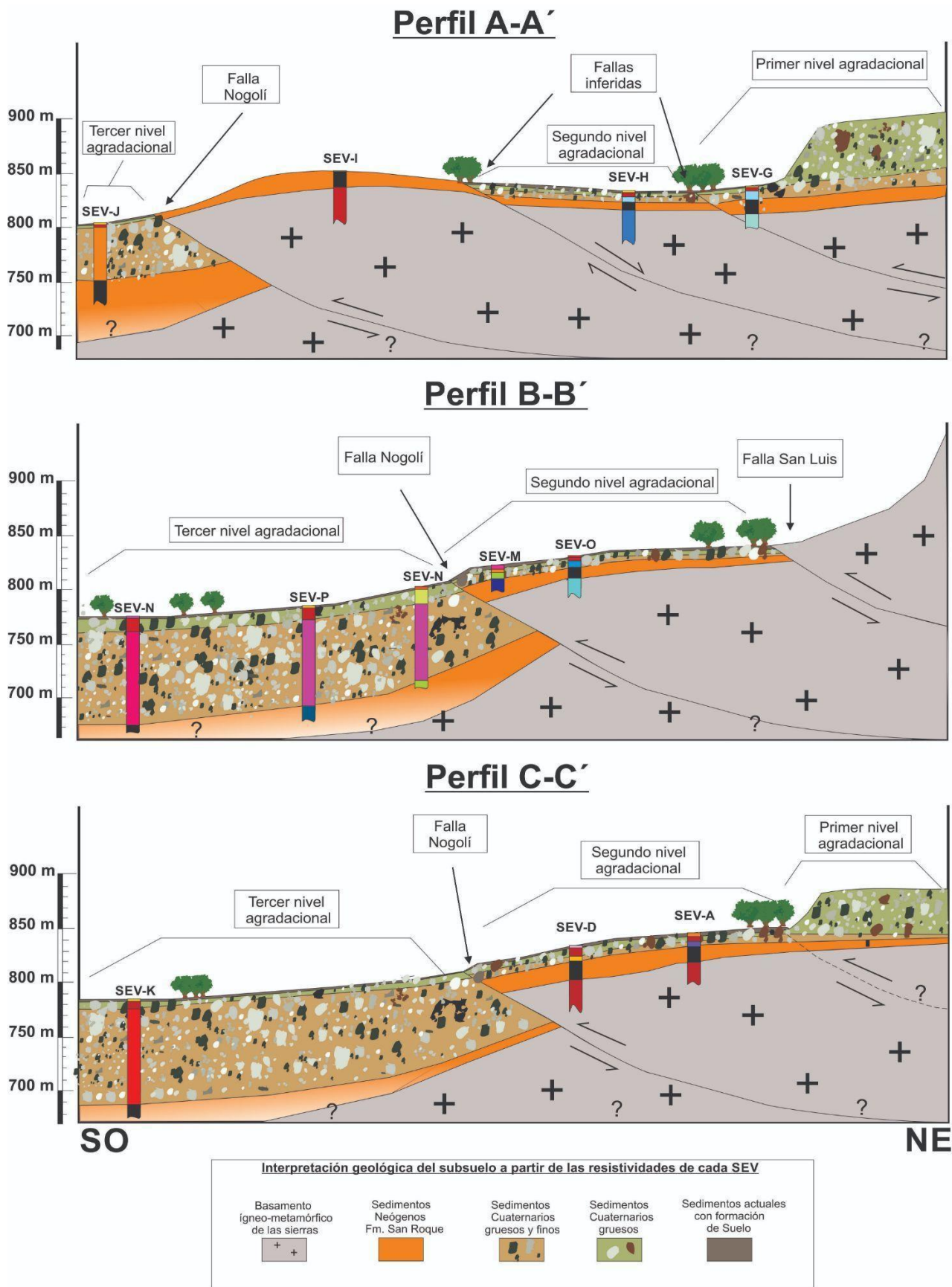


Figura 18: Perfiles interpretativos del sector analizado. La ubicación de los mismos se encuentra en la Figura 7

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en los Sondeos Eléctricos Verticales y las observaciones geológicas, estructurales e hidrogeológicas del sector se extraen las siguientes conclusiones:

En el sector suroeste del área de estudio se localiza una falla inversa con rumbo aproximado N-S denominada falla de Nogolí, que por su trazo irregular y sinuoso se infiere que corresponde a una falla de tipo inversa de bajo ángulo.

En el subsuelo se produce un escalonamiento debido a la presencia de otras 2 fallas con trazas inferidas, que habrían actuado con antelación a la falla de Nogolí durante la propagación y migración de la deformación desde el frente de levantamiento principal de la sierra de San Luis (falla de San Luis) hacia el centro de la cuenca, dando lugar a un morfoestructura de *piedmont foreland* escalonado.

El primer nivel agradacional conglomerádico estaría afectado por la falla San Felipe la cual, se infiere que su propagación seguiría hacia el sur de la localidad. Al este de la falla Nogolí y al norte de la faja fluvial del Río Nogolí los resultados expresan la presencia de un acuífero libre a escasa profundidad; cuya morfología está controlada por la posición de las sedimentitas precuaternarias, que, en este sector, se encuentran a escasos metros de profundidad e inclusive aflorando. Esta unidad controla la morfología y distribución del acuífero, ya que oficia de sustrato hidrogeológico impermeable. La recarga de este acuífero libre estaría supeditada a la permanente liberación de agua del embalse Nogolí hacia la zona más urbanizada de la localidad, más el reducido aporte de las infiltraciones en periodos de lluvia.

La recarga hacia el río Nogolí depende de las condiciones pluviométricas, ya que solo en periodos de importantes precipitaciones se hace posible que el vertedero del embalse permita la circulación de agua por el cauce del río. En periodos de bajas precipitaciones el embalse retiene el agua y la cota del mismo no permite el trasvase por el vertedero.

En el sector norte del área, la propagación de la deformación del frente de las sierras de San Luis genera un bloque hundido delimitado por 2 fallas inferidas. Esto genera una divisoria de las aguas subterráneas, que separaría el acuífero en un sector norte y un sector sur.

En el sector centro y sur del área se observa el resalto del sustrato hidrogeológico de aproximadamente 100 m desde la falla de Nogolí hacia el oeste dando como resultado una elevada pendiente del ~20%. Esta situación genera un escenario sumamente desfavorable para la acumulación y contención de agua subterránea en dicho sector, ya que se produce un efecto de cascada con rápida infiltración y dispersión dentro de los sedimentos cuaternarios, que se traduce en un gradiente hidráulico extremo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aranda, J., Ojeda, G., Chiesa, J., 2016.** Los depósitos del Cuaternario Tardío en le Piedemonte occidental de la Sierra de San Luis. San Luis, Argentina. XV Reunión Argentina de Sedimentología. Actas de resúmenes: 15, Santa Rosa.
- Aranda, J. 2020** Geomorfología cuaternaria del piedemonte suroccidental de la sierra de San Luis. Tesis doctoral en Ciencias Geológicas. Inédita. Universidad Nacional de San Luis. Departamento de Geología. San Luis, Argentina, 258 pp: 48-72.
- Aranda, J. y Ojeda, G, 2022.** Influencia de una estructura de piedmont foreland en el desarrollo y configuración de los depósitos aluviales del piedemonte occidental de la sierra de San Luis. San Luis, Argentina. VIII Congreso de Cuaternario y Geomorfología. San Juan.
- Bobachev, A., I. Modin, and V. Shevnin., 2000.** IPI2WIN Software. Moscow State University. Moscow.
- CAAAS, 1973.** Recursos de agua subterránea y su aprovechamiento en la Llanura Pampeana y en el Valle del Conlara, Provincias de Córdoba, Santa Fe y San Luis, República Argentina. Convenio Argentino Alemán de Aguas Subterráneas, Unpublished technical report. Pp 32-55.
- Costa, C., 1992.** Geotectónica del sur de la sierra de San Luis. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de San Luis (inédita), 390 p., San Luis.
- Costa, C., 1996.** Análisis neotectónico en las Sierras de San Luis y Comechingones: Problemas y métodos. 13° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 285-300, Buenos Aires.
- Costa C. 2019.** La migración del frente de corrimiento neotectónico de las sierras pampeanas y su impronta morfológica. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Departamento de geología de la Universidad Nacional de San Luis. Pp 1-11.
- Costa, C. y Cortés, J., 1993.** Tectónica extensional en el extremo sur de la sierra de San Luis. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 3:113-119.
- Costa C., Gardini C., Ortiz Suarez A., Chiesa J., Ojeda G., Rivarola D., Strasser E., Morla P., Ulaco H., Tognelli G., Carugno Durán A., Vinciguerra H. y Salas D. 2001.** Hoja Geológica 3366-I, San Francisco del Monte de Oro. Provincias de San Luis, Mendoza y San Juan. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 278, p. Buenos Aires.
- Criado Roque, P., Mombrú, C. y Ramos, V. 1981.** Estructura e interpretación tectónica. En: M. Yrigoyen (Ed.). Geología y recursos naturales de la Provincia de San Luis, Relatorio 8° Congreso Geológico Argentino: Pp: 155-192.
- Echeverría, J.C., d'Hiriart, A. 2006.** Variabilidad especial del régimen pluviométrico del centro oeste de Argentina. XIV Jornadas cuidemos nuestro mundo (CNM) para contribuir a la implementación de un modelo ambiental para San Luis. UNSL. San: Pp 69-73.
- Flores, M. 1969.** El bolsón de Las Salinas de la provincia de San Luis. 4° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 1: 311-327.
- Herrero Ducloux, J. 1980.** Correlación entre perforaciones y cortes geoelectricos en la cuenca del Río V, Provincia de San Luis. INCYTH, internal report. Pp: 87.
- Hungerford, N., Sims, J., Stuart-Smith, P. 1996.** Interpretación geofísica (magnética) Sierras de San Luis y Comechingones. Mapeo Geofísico de las

Sierras Pampeanas. Proyecto Cooperativo Argentino – Australiano. SEGEMAR, Serie Contribuciones Técnicas. Geofísica 2: 21 p

Indelicato, N. 2020. Trabajo final de licenciatura en ciencias Geológicas. Análisis morfodinámico de la faja fluvial del río Nogolí. Universidad Nacional de San Luis. Departamento de Geología. San Luis, Argentina. 20-69 p.

Ivkovic K.I., Kingham R., Lawrence C., Chartres C.J., Mullen I., Johnston R., Please P., Pestov I. 2000. Proyecto de Recursos Hidrológicos subterráneos de San Luis. Proyecto de Cooperación técnica Australiano-argentino. En: Evaluación de posibilidades físicas y económicas de riego con aguas subterráneas en la provincia de San Luis. Bureau of Rural Sciences-Agriculture, Fisheries and Forestry Australia, Technical Report Phase 1.239 p.

Kostadinoff, J., Bjerg, E., Delpino, S., Dimieri, L., Raniolo, L.A., Mogessie, A., Hoinkes, G., Hauzenberger, C. y Felfernig, A. 1998. Anomalías geofísicas en rocas máficas y ultramáficas de las Sierras Grandes de San Luis, Argentina. 4º Reunión de Mineralogía y Metalogénesis, 2º Jornadas de Mineralogía y Petrografía, Metalogénesis de rocas máficas y ultramáficas, Universidad Nacional del Sur, Actas 139-146, Bahía Blanca. 116 pp.

Kostadinoff, J., Bjerg, E., Gregori, D., Delpino, S., Dimieri, L., Mogessie, A., Hoinkes, G., Hauzenberger, C. y Felfernig, A. 2001. Geo-physical anomalies in the Sierra del Padre and Sierra del Tala, San Luis province, Argentina: evidence of buried mafic- ultramafic rocks. Journal of South American Earth Sciences 14(3): 271-276.

Kostadinoff, J., Gregori, D., Bjerg, E. y Raniolo, L.A. 2002. La prolongación austral de la sierra de San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina 57(4): 359- 364.

Latrubesse, E. y Ramonell, C. 1990. Unidades litoestratigráficas del Cuaternario de la Provincia de San Luis, Argentina. 11º Congreso Geológico Argentino. 2: 109-112. San Juan.

Marnetti, H., 1995. Geología y estructura subsuperficial del sector “Puesto Lorenzillo”, borde occidental de la sierra de San Luis. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Luis (inérita), 52 p., San Luis.

Ojeda, G., 1991. Estudio geológico-sedimentológico del piedemonte serrano al Nortedel río Nogolí, Provincia de San Luis. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad Nacional de San Luis (Inédita), 152 p.

Orellana, E. 1972. Prospección geoelectrica en corriente continua. Ed. Parainfo 1972. Capítulo 5. Práctica del sondeo eléctrico vertical. Madrid, España, Pp 243-300.

Orta, J.O. 2006. Aplicación del Modelo CERES-Maize como Herramienta para Evaluar Estrategias de Manejo del Cultivo de Maíz Bajo Riego y seco, en el Área de Villa Mercedes (San Luis). Tesis para optar al grado académico de Magíster en Ciencias agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 66-81 pp.

Pascual, R. y Bondesio P. 1981. Sedimentitas cenozoicas. En: M. Yrigoyen (Ed.). Geología y Recursos Naturales de la provincia de San Luis. Relatorio 8º Congreso Geológico Argentino: 117-154 p.

Ramonell, C., Iriondo, M. y Krömer, R. 1992. Quinta Reunión de Campo CADINQUA. Dpto. de Geología y Minería. Universidad Nacional de San Luis.

Rivarola, D. 1990. Sedimentología de la Cuenca Potrero de los Funes. Trabajo Final de Licenciatura Inédito. Universidad Nacional de San Luis. 23 p.

Rivarola, D., Camina, S. y Perón Orrillo, J.M. 2017. La Formación Potrero de los Funes (Cretácico tardío - Paleógeno). Una nueva unidad estratigráfica en el sur de la Sierra de San Luis. Actas del XX Congreso Geológico Argentino ST1: 115-119. San Miguel de Tucumán.

Sozzi, H., 1991. Estudio Geológico - Sedimentológico del piedemonte serrano de la zona de Nogolí (sector sur), Provincia de San Luis. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad Nacional de San Luis (Inédito), 174 p.

Sozzi, H., Ojeda G. y Di Paola, E., 1995. Estratigrafía y sedimentología de abanicos aluviales cenozoicos en el área de Nogolí, San Luis. Revista Asociación Geológica Argentina, 50: 165-174.

Traverso, D., 2018. Geomorfología del piedemonte distal del frente occidental de la Sierra de San Luis, en el ámbito de la falla de Villa General Roca. San Luis, Argentina. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Luis (Inédita), 52 p.

Traverso, D., Aranda, J. y Ojeda, G, 2022. Características geomorfológicas de las Serranías de Villa General Roca, un sistema asociado a un piedmont foreland en el ambiente pampeano. San Luis, Argentina. XXI Congreso Geológico Argentino. Puerto Madryn, Actas de Resúmenes: 1069-1070. ISBN 978-987-48319-9-6, Puerto Madryn.