

Características hidrogeológicas de la zona costera entre Pehuén-co y Punta Alta, Provincia de Buenos Aires



Trabajo Final de Licenciatura

Autor: Santiago P. Valdes

Director: Adrián Silva Busso

2016

“El día que venga la liberación (...), esas generaciones estarán preparadas para hacer una cosa distinta y lo estarán no solamente porque son grandes científicos, sino porque son el tipo de persona que se queda en el país a pesar de lo que ocurre, el tipo de persona que está dispuesta a poner su ciencia al servicio del país y no reclamar al país que se ponga al servicio de su ciencia.”

Rolando García, Revista Ciencia Nueva N° 12, Septiembre 1971.

Índice

<u>Resumen</u>	Página 4
-----------------------------	-----------------

<u>Capítulo 1 - Introducción</u>	Página 6
---	-----------------

1.1 Objetivo

1.2 Ubicación y vías de acceso

1.3 Metodología

<u>Capítulo 2 – Características del área de estudio</u>	Página 11
--	------------------

2.1 Clima

2.2 Suelos

2.3 Flora y fauna

<u>Capítulo 3 – Antecedentes geológicos e hidrogeológicos</u>	Página 15
--	------------------

3.1 La cuenca del Colorado

3.2 Neógeno y Cuaternario del área del estudio

3.3 Antecedentes geomorfológicos

3.4 Antecedentes hidrogeológicos

<u>Capítulo 4 –Geología y geomorfología del acuífero Punta Médanos</u>	Página 32
---	------------------

4.1 Geomorfología

4.2 Perfil estratigráfico general

4.3 Variaciones laterales del postpampeano

4.4 Geometría superficial de la cuenca

<u>Capítulo 5 – Hidrogeología del acuífero Punta Médanos</u>	Página 59
---	------------------

5.1 Balance hídrico

5.2 Prospección geoelectrica

5.3 Hidrodinámica del acuífero

5.4 Cálculo de parámetros hidráulicos

5.5 Hidráulica de captaciones

Capítulo 6 - Hidroquímica del acuífero Punta Médanos.....Página 95

6.1 Clasificación

6.2 Hidroquímica somera

6.3 Hidroquímica profunda

Capítulo 7 –Cálculo de reservas y recargas.....Página 99

Capítulo 8 – Modelo hidrogeológico local.....Página 105

Capítulo 9–Aspectos geotécnicos y captaciones.....Página 109

Capítulo 10 –Conclusiones.....Página 112

Agradecimientos.....Página 114

Bibliografía.....Página 115

Anexo I: Análisis textural de sedimentos

Anexo II: Prospección geoelectrica

Anexo III: Láminas

Anexo IV: Mapas

Resumen y motivación del trabajo

En el extremo oeste de la Provincia de Buenos Aires se halla la ciudad militar de Punta Alta, donde se encuentra estratégicamente emplazada la Base Naval Puerto Belgrano (BNPB) fundada el 2 de Julio de 1898. Su construcción se debió a la necesidad del Estado Nacional de establecer un puerto militar que permitiera la defensa de nuestras costas frente a un eventual ataque de la armada Brasileira.

Luego de varias discusiones se eligió Bahía Blanca, al sur de la Provincia de Buenos Aires, como sitio de emplazamiento, dado que se encuentra al reparo de los fuertes vientos del oeste y permite un acceso rápido tanto a la costa del Plata como a la costa patagónica.

Independientemente de estas consideraciones, el clima semiárido y la ausencia de ríos caudalosos convirtieron a la provisión de agua potable para la armada en un problema de primer orden a resolver para que el proyecto resultara exitoso.

Frente a este panorama el acuífero costero alojado en la barrera de médanos se presentó en principio como una opción viable para abastecer de agua a la armada y fue el ingeniero italiano Luigi Luiggi, encargado de la construcción de la base, quién resolvió el problema apelando a un antiguo sistema de captación de agua freática.

La obra consistió en un sistema de galerías filtrantes subterráneas, destinadas a la captación y conducción del agua hacia unos sumideros, desde donde podía extraerse de forma mecánica y en cantidades suficientes para satisfacer la demanda de la base.

Con el paso del tiempo esta obra, que resultó tan valiosa en los primeros tiempos de vida de la base, fue cediendo lugar a métodos de captación más modernos, como pozos con bombas eléctricas y hasta perforaciones profundas que alumbraron un acuífero termal surgente.

Sin embargo, por circunstancias producto de la propia dinámica logística de la Armada, se han presentado nuevos problemas que afectan el abastecimiento de la base. El mantenimiento de las obras ha sido escaso y la pérdida de las memorias técnicas por impericias administrativas durante los cambios de mando ha conducido una situación un tanto anárquica respecto del uso del recurso.

Es en este marco cuando, a partir de 1993, surgen los convenios de colaboración entre la Base Naval Puerto Belgrano (BNPB) y el Instituto Nacional del Agua (INA) mediante los cuales se fueron atendiendo las demandas puntuales de la base. Sin embargo, al día de hoy, no se

cuenta con un estudio integrador de toda la información generada. Es por este motivo que el presente trabajo realiza un estudio hidrogeológico del territorio de la base y alrededores, integrando la información existente en un único marco conceptual que sirva de herramienta para el correcto manejo del recurso hídrico en esta región semiárida de la provincia, donde la provisión de agua potable siempre ha resultado problemática.

Para alcanzar el objetivo se realizó un relevamiento geológico e hidrogeológico del área, que incluyó una descripción de la geología y la geomorfología del área, estudios texturales y mineralógicos de sedimento, censo de pozos, ensayos de bombeo, análisis químicos de muestras de agua subterránea y la reinterpretación de datos de bombeo, geoelectrónicos y de química de aguas.

El resultado fue la detección de un acuífero con aguas de buena calidad alojado en la barrera de médanos costeros. Desde el punto de vista hidráulico su permeabilidad media (K) de 11,18 m/día y transmisividad media (T) de 1326,12 m²/día indican que se trata de un buen acuífero capaz de brindar caudales de entre 50 y 100 L/seg con 10 m de depresión teórica (Villanueva & Iglesias, 1984), lo suficiente para cubrir el abastecimiento y demanda de la base.

Sus aguas son en general dulce o de baja salinidad aunque presenta variaciones más atribuibles al estado de las obras y su falta de gestión que al acuífero. Los valores medios de conductividad de 968,80 µS/cm y TDS de 693,60 mg/l indican que, a priori, sus aguas serían potables según los requerimientos del Código Alimentario Argentino (CAA).

El acuífero responde a un esquema hidrogeológico de recarga local por precipitaciones y alóctona por el aporte que recibe de flujos subterráneos de agua provenientes de la llanura pampeana. Sus reservas totales se establecieron en 2437,07 Hm³ y su reserva efectiva en 23,83 Hm³.

Capítulo 1

Introducción

1.1 –Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es cumplimentar con los requisitos formales que exige el Dpto. de Geología de la FCEN de la Universidad de Buenos Aires para el otorgamiento del título de grado en Cs. Geológicas. Este estudio representa, además de una sencilla investigación geológica, un Trabajo Final de Licenciatura.

Los esfuerzos se orientaron a establecer un marco hidrogeológico que permita la correcta explotación del acuífero costero, garantizando su sustentabilidad en el tiempo y que sirva de referencia en caso de que surja la necesidad de efectuar nuevas obras de captación o geotécnicas.

Para ello se realizaron tareas de campo, reconocimiento geológico de unidades, análisis fisicoquímicos de muestras, ensayos de bombeo para obtener parámetros hidráulicos y una comparación entre los métodos de captación de las aguas subterráneas.

1.2 - Ubicación y vías de acceso

La zona de estudio corresponde a una faja costera elongada de orientación ONO-ESE. La forma responde aproximadamente a un rectángulo cuyo lado mayor es de 50 km, distancia medida entre Punta Alta y Pehuén-có, y su lado menor es de 8 km medido entre el Mar y el límite de la faja de médanos en el sector más ancho.

Su límite este coincide con la longitud de la ciudad de Pehuén-Co y el oeste, con la ciudad de Punta Alta. El límite sur es el Mar Argentino mientras que el límite norte coincide con la cota topográfica de 20 m al oeste de la bahía y con la cota de 30 m al este de la misma. Desde el punto de vista geológico el límite norte coincide con el contacto entre la faja de médanos y los Sedimentos Pampeanos como se verá más adelante.

Se accede por la Ruta Nacional N°3 y luego empalmando con las Rutas Provinciales N° 229 o 249, por el flanco de Punta Alta, o con la Ruta Provincial N° 113 para ingresar por la ciudad de Pehuén-Có (Figura 1). La movilidad interna en el territorio de la base se realiza por caminos

rurales construidos en los médanos cuya huella es muy profunda y requiere de vehículos 4x4 con carrocería elevada. Esta circunstancia dificultó el reconocimiento de la faja de médanos.

Por tratarse de una base militar existe un área donde se realizan pruebas de artillería y la circulación dentro de su perímetro resulta peligrosa ya que los proyectiles no detonados constituyen una suerte de campo minado informal. Por cuestiones estratégicas de defensa no se brindan precisiones sobre esta área pero se hace mención a ella ya que resultó un límite para el muestreo.

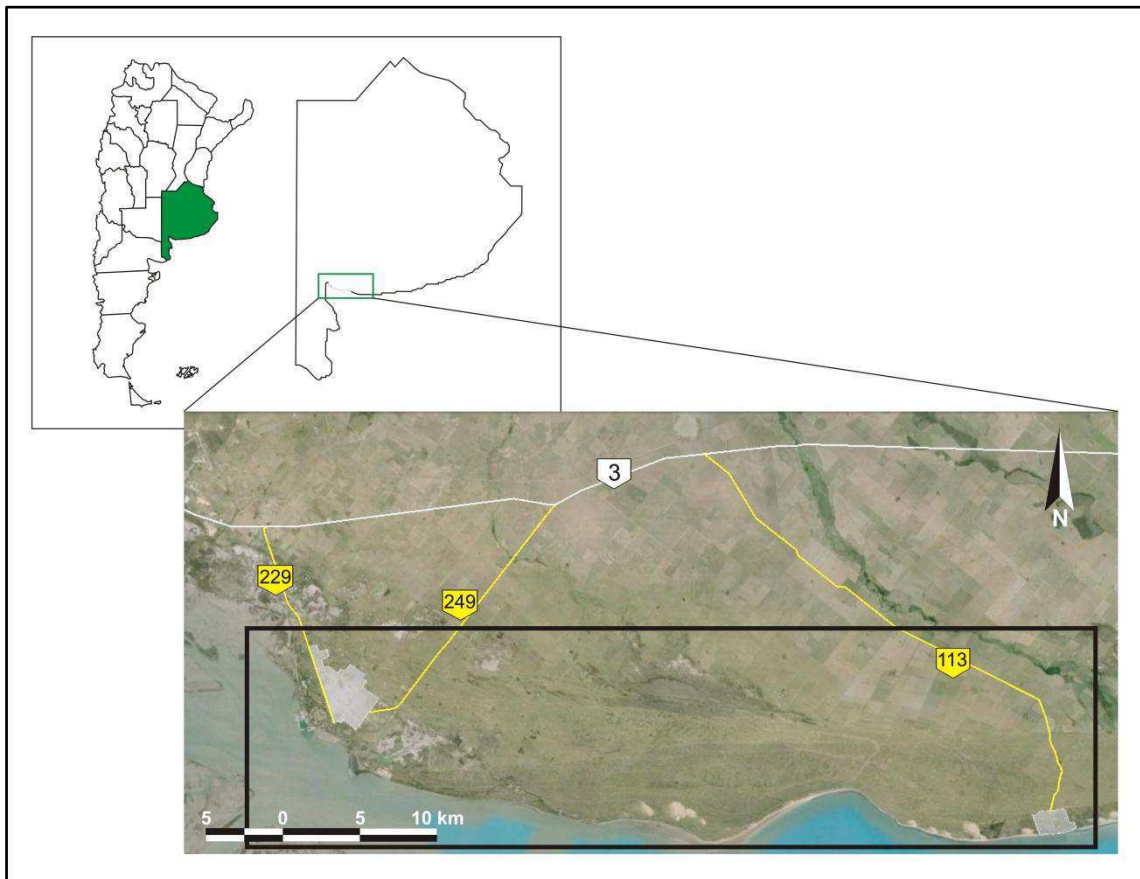


Figura 1: Ubicación y accesos al área de estudio (rectángulo negro). Latitud aproximada: desde los 38°50'00" hasta los 39°00'00" Sur. Longitud aproximada: desde los 62°05'00" hasta los 61°30'00" de longitud Oeste.

1.3 –Metodología

En las etapas iniciales se realizaron tareas de gabinete que incluyeron la búsqueda de antecedentes bibliográficos, recopilación de información inédita producto de las campañas que el Instituto Nacional del Agua (INA) realizó en el área y la elaboración del mapa topográfico de base.

La búsqueda bibliográfica dio con una variedad de trabajos e informes técnicos que investigan alguna particularidad del área, principalmente bajo la guía de una necesidad práctica específica, pero no tienen mayor procesamiento que el requerido para la resolución del problema que los motiva. En algunos casos incluso se han generalizado estas informaciones construyendo “modelos” que aparentemente son representativos pero adolecen de falta de estudios complementarios, información cruzada o alguna discusión o contralor que los valide de forma más concreta.

Se realizó también una revisión de antecedentes científicos publicados sobre el área pero no se halló ninguno con una visión integradora. En lo que respecta al acuífero freático costero de Punta Médanos –y a la región en general- no se ha encontrado, al día de hoy, un trabajo que compile e integre toda la información existente bajo un único modelo hidrogeológico. La tesis doctoral de Bonorino (1988) es la única investigación que cumple con este propósito aunque está focalizada en el Sistema Hidrotermal Profundo de Bahía Blanca (SHP) y deja de lado el acuífero libre alojado en la barrera de médanos costeros.

Los antecedentes técnicos más importantes fueron las perforaciones profundas de la región sudoeste de la Provincia de Buenos Aires realizadas por la ex Secretaría de Minería de la Nación (DNGM, 1965) y datos de geoelectrica provenientes de dos campañas de prospección del INA, una somera hasta 50m y otra profunda, hasta 1000 m aproximadamente, durante la cual se intentó alumbrar el Sistema Hidrotermal Profundo (SHP). En total se contó con alrededor de 50 perforaciones y 35 sondeos eléctricos verticales (SEV) que permitieron definir satisfactoriamente la geometría superficial de la cuenca y sus relaciones hidrogeológicas.

El mapa topográfico de base se elaboró digitalizando las hojas topográficas escala 1:50000 N° 3963 – 17 – 4 “Punta Alta”, N° 3963 – 18 – 3 “Punta Tejada”, y N° 3963 – 18 – 4 “Balneario Pehuén-Co” editadas por el ex - Instituto Geográfico Militar (IGM), hoy Instituto Geográfico Nacional (IGN), en el año 1967. Esta cartografía de base se usó junto con información proveniente de imágenes satelitales GoogleEarth, para orientar el trabajo de campo que tuvo por finalidad, por un lado, obtener información geológica de las unidades acuíferas de interés y, por otro, realizar un censo de las obras de captación para determinar los parámetros hidráulicos que caracterizan al acuífero.

El relevamiento geológico consistió en una recorrida por la barrera de médanos durante la cual se realizó un análisis geomorfológico general de reconocimiento y luego se procedió al levantamiento de un perfil sedimentario ubicado en el acantilado de la bahía al oeste de la ciudad de Pehuén-có (Figura 2). En este sector fue posible observar una secuencia

sedimentaria continua de 14m representativa de la estratigrafía del área. Se efectuaron mediciones utilizando un metro, telémetro láser, piqueta, GPS, cámara de fotos y, por último, se tomaron muestras de cada estrato identificado para efectuar análisis granulométricos y mineralógicos en el laboratorio.



Figura 2. Acantilado de la bahía de Pehuén-co visto desde el este.

Las obras de captación encontradas en el área fueron predominantemente molinos, pozos surgentes y pozos con electrobomba. En los puntos donde fue posible se midieron niveles estáticos, utilizando una sonda piezométrica y parámetros fisicoquímicos in situ con un medidor multiparamétrico de temperatura (T°), Conductividad (C), Sólidos Totales Disueltos (TDS), Salinidad del Sodio (Sal. Na), pH y Eh. También se remitieron muestras de agua al laboratorio para obtención de las especies químicas mayoritarias.

Del total de 13 puntos visitados, sólo fue posible realizar ensayos hidráulicos en dos pozos, sin embargo, los resultados obtenidos fueron de utilidad para la caracterización del acuífero (Figura 3). Esto ocurrió porque los molinos no extraían un caudal significativo para realizar

ensayos de bombeo y muchos de los pozos visitados no se encontraban operativos (no contaban con bomba, el tablero estaba en reparación, etc.).



Figura 3. Imagen satelital con la ubicación de los puntos visitados durante la campaña.

Se estudió también una obra de captación antigua –la primera existente en la base- que consiste en galerías subterráneas que captan el agua de los médanos y las vierten en un sumidero de donde son bombeadas a la red. Esta obra fue diseñada por el Ing. Luigi Luiggi y posibilitó la construcción de la Base Naval de Puerto Belgrano ya que el principal problema para su instalación consistía en la provisión de agua. Sobre la base de datos de un informe técnico del INA del año 1995 fue posible extraer parámetros hidráulicos del acuífero. Es importante señalar que tanto la información antecedente dispersa como la generada durante la campaña resultaron coherentes entre sí dando valores variables de cada parámetro pero siempre dentro de un rango aceptable, situación que tiende a validar y reforzar las conclusiones del trabajo.

Retomado el estudio en el gabinete se reinterpretó la información antecedente a la luz de los datos obtenidos durante la campaña. El resultado final fue la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual del acuífero de Punta Médanos junto a la cartografía temática correspondiente que se adjunta en esta tesis en el Anexo IV:

- Mapa topográfico.
- Mapa geológico.
- Mapa geomorfológico.
- Mapa piezométrico.
- Mapa hidroquímico.

Capítulo 2

Características del área de estudio

2.1 - Clima: temperatura, viento y mareas.

Según los datos de la de la estación meteorológica del Aeropuerto de Bahía Blanca pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), para la serie que abarca desde el año 2004 al año 2014, la temperatura media anual de la región fue de 15,4 °C, con una temperatura máxima media de 24 °C registrada en el mes de enero y una mínima media de 7,6°C en el mes de julio.

La precipitación media anual es de aproximadamente 602,38 mm con picos en los meses de febrero y marzo de alrededor de 75 mm. Los valores más bajos de precipitación corresponden a los del mes de Junio con 15,6 mm. (Cuadro 1).

Mes	T media (°C)	PPT media (mm)
Enero	23,95	51,29
Febrero	22,14	84,11
Marzo	19,33	70,44
Abril	15,12	54,76
Mayo	10,93	20,57
Junio	8,33	15,62
Julio	7,58	46,01
Agosto	9,15	22,26
Septiembre	11,96	44,84
Octubre	15,15	70,54
Noviembre	18,93	54,08
Diciembre	22,13	67,86
Anual	15,40	602,38

Cuadro 1. Valores de precipitación y temperaturas obtenidos en la estación meteorológica Bahía Blanca Aero del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (Serie 2004-2014).

De acuerdo a los datos del Servicio de Hidrografía Naval para el período 2015 en la estación de Monte Hermoso, el régimen de mareas es semidiurno.

En el Cuadro 2 se pueden observar las alturas de marea, referidas al plano de reducción que pasa 1,94 m por debajo del nivel medio del mar. Según la clasificación de Hayes (1979) el régimen de mareas es mesomareal.

Alturas en metros sobre el plano de reducción, correspondientes a la predicción 2015				Amplitud (m)	
Pleamar		Bajamar			
Máxima	Media	Más baja	Media	Máxima	Media
3,65	3,17	0,01	0,71	3,59	2,46

Cuadro 2. Tabla de mareas del Servicio de Hidrografía Naval para el año 2012.

2.2 - Suelos

En esta región es posible encontrar tres órdenes dominantes de suelos: Molisoles, Entisoles y Aridisoles.

Los Molisoles se caracterizan por la presencia de horizontes edáficos bien desarrollados y el desarrollo de un horizonte fértil. Es el orden que tiene mayor desarrollo en la provincia de Buenos Aires. Su material parental es mayormente loess que, gracias a las condiciones favorables de temperatura y humedad, ha logrado desarrollar un epipedon mólico de gran extensión. Dentro de esta variedad se han informado los siguientes subgrupos de suelos: *Haplustol éntico*, *Haplustol típico* y *Ustipsament típico* (INTA, 1989).

El orden de Entisoles comprende suelos muy escasamente desarrollados. Es común en el oeste de la provincia en ambientes de dunas costeras y planicies anegables. Se caracterizan por la textura del material parental que suele ser areno-franca. En la región se han informado los subgrupos de suelos *Udipsament típico*, *Cuarcipsament típico*, *Hapludol éntico* y *Ustifluente acuico* (INTA, 1989).

Los Aridisoles se encuentran en la porción austral de la provincia, donde predomina el régimen árido. Son suelos de colores claros donde se asienta vegetación de arbustos xéricos y gramíneas que se utilizan para pastoreo. Los subórdenes que se pueden encontrar en el área son *Salortides acuólico* y *Natrusol típico*.

El mapa de la Figura 4 se confeccionó como simplificación del mapa de suelos del INTA delimitando las regiones donde predomina cada tipo de suelo. El sector con predominancia de Molisoles se muestra en violeta, la zona de Entisoles es verde claro y los sectores en castaño indican la presencia de Aridisoles.

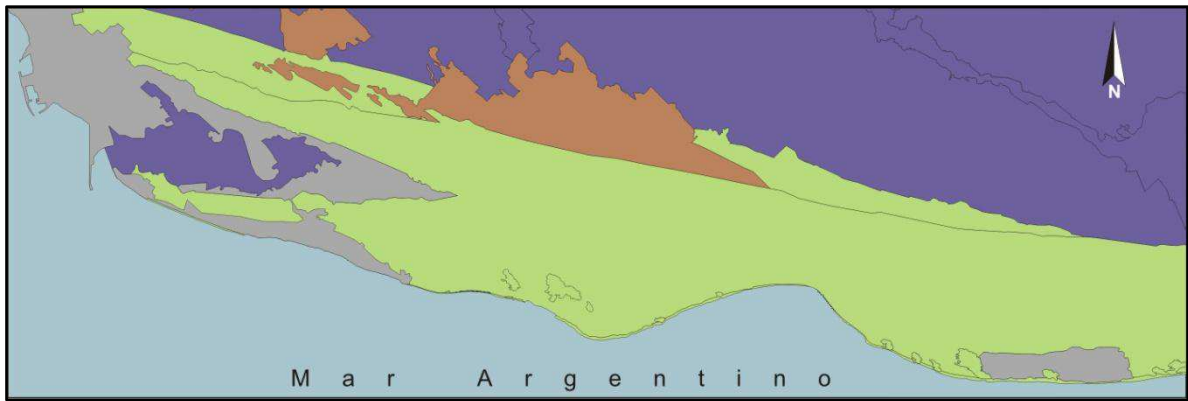


Figura 4. Mapa de suelos de la región. Elaboración propia en base a hoja de suelos 1:50000 INTA.

2.3 - Flora y Fauna.

El área de estudio se encuentra en el límite entre las ecorregiones Espinal y Pampa (Burkart, 1999), por tanto, es esperable que presente características comunes a ambas regiones aunque se manifiestan con mayor preponderancia los caracteres de la ecorregión Espinal.

La ecorregión Espinal abarca una superficie de 297.400 km² y bordea a la ecorregión Pampa que posee una superficie de 391.900 km².

La ecorregión Pampa se caracteriza por los pastizales templados donde predominan géneros de gramíneas como *Stipa*, *Piptochaetium*, *Bromus*, *Aristida*, *Briza*, *Setaria*, *Melica*, *Poa*, *Paspalum* y *Eragrostis*. Las limitantes edáficas y geomorfológicas más locales pueden dar lugar a otras comunidades vegetales como pastizales halófilos con pasto salado y espartillo; pajonales diversos, pastizales de médanos y comunidades boscosas como los talaes.

La fauna característica está integrada por grandes herbívoros como ciervo de las pampas y guanaco (hoy casi desaparecidos); carnívoros como puma, gato montés, zorro gris pampeano, zorrino y hurón y otros mamíferos pequeños como vizcacha, cuises, coipo, armadillos y comadrejas. Las aves presentes son el ñandú, chajá, perdices, martinetas.

La ecorregión Espinal tiene un paisaje dominante de llanura plana a suavemente ondulada ocupada por bosques bajos, sabanas y pastizales hoy día con fuerte presencia de agricultura.

La formación vegetal característica son los bosques bajos de especies leñosas xerófilas y las sabanas alternando con los pastizales en los cuales las plantas herbáceas más comunes son pampeanas con predominancia de gramíneas de pastizales templados y chaqueños. Esta ecorregión no posee taxones endémicos que la distingan aunque sí ocurre que ciertas especies

presentan mayor desarrollo que en otras zonas. El área de estudio, por ejemplo, se encuentra en el sector sur del Espinal en una subregión denominada del Caldén ya que se caracteriza por el desarrollo de bosques de caldenales (*Prosopis caldenia*), un tipo de algarrobo. La existencia de estos bosques característicos es un rasgo más bien pasado del terreno ya que debido al incremento de la agricultura hoy en día sólo es posible encontrar algunos parches aislados. Específicamente en el área de estudio se destaca la presencia del tamarisco como especie invasora.

La fauna del Espinal cuenta con las especies propias de la Pampa más algunas particulares como el caserote común, el cardenal amarillo, el chinchero, coludito copetón y curutié blanco. Durante la campaña fue posible observar gran abundancia de ñandúes y ofidios peligrosos como la yarárá.

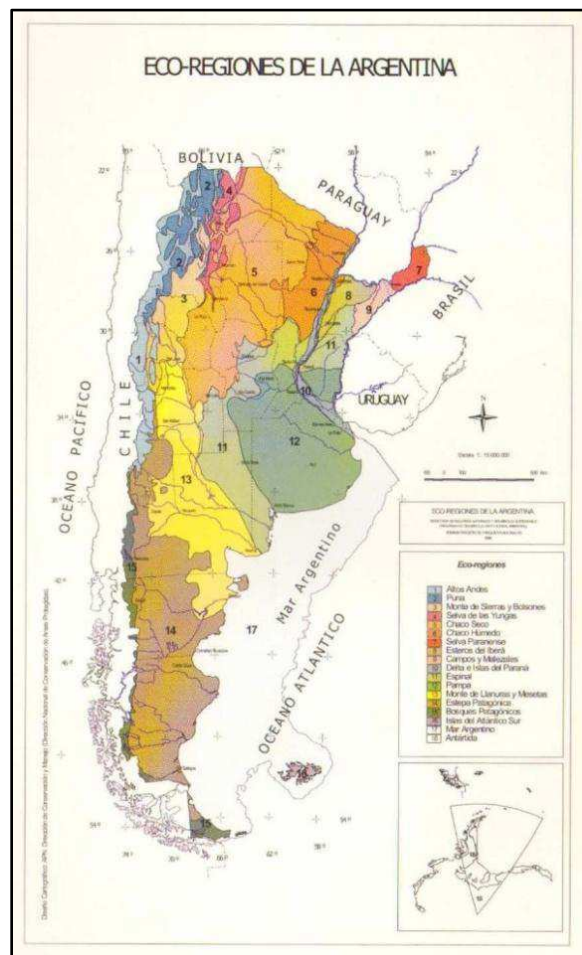


Figura 5. Mapa de ecorregiones de la Argentina en base a Burkart (1999). En verde se observan la ecorregión Pampa (N° 12) y la ecorregión Espinal (N° 11) que la rodea.

Capítulo 3

Antecedentes geológicos e hidrogeológicos de la región

3.1 - La cuenca del Colorado

La cuenca del Colorado abarca una superficie de 126.000 km² de los cuales 90.000 km² se encuentran en la plataforma continental (Figura 6).

Está limitada al Norte por las Sierras Australes de la *Provincia* de Buenos Aires y hacia el Sur por el Macizo Nordpatagónico. Hacia el Este la cuenca se extiende hasta el límite del talud continental mientras que al Oeste se produce un progresivo acuñamiento de las secuencias sedimentarias (Zambrano, 1980).

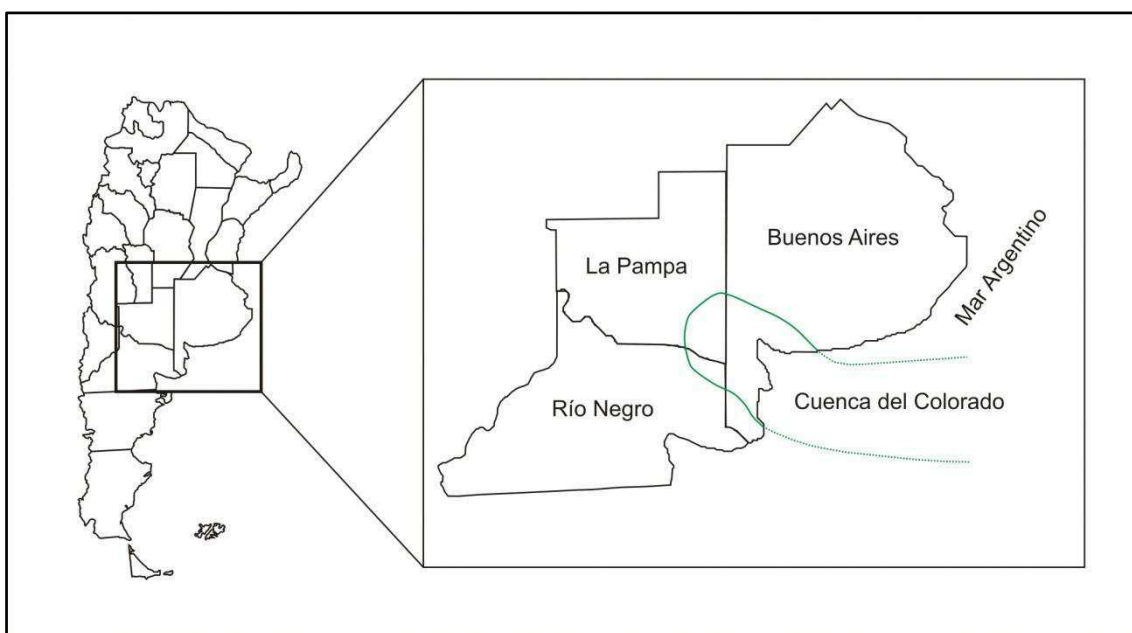


Figura 6. Cuenca cretácica del Colorado.

Los límites de la cuenca quedan definidos por fallas de rumbo este-oeste que además permiten caracterizarla como una cuenca de rift cretácica asociada a la apertura del Océano Atlántico Sur producto de la separación de América del Sur y África. Por su geometría con respecto al margen pasivo del Atlántico se la puede calificar como un aulacógeno ya que su eje central se haya perpendicular a la línea de costa (Zambrano, 1980, Bonorino, 1988).

Según Zambrano (1980), en términos generales, es posible definir la estratigrafía de la cuenca en tres secciones. El basamento premesozoico compuesto por rocas ígneas y metamórficas pertenecientes al Macizo Nordpatagónico y a las Sierras Australes; el relleno sedimentario mesozoico que abarca las etapas de rift y deriva y, por último, el relleno sedimentario cenozoico con secuencias típicas de margen pasivo.

Los sedimentos cenozoicos transgreden a las secuencias cretácicas, por tanto, la cuenca cretácica no cuenta con afloramientos en la región y sólo es conocida mediante perforaciones y datos geofísicos. Las perforaciones sólo alcanzan el basamento en el sector norte de la cuenca, hacia el sur aumenta el espesor sedimentario y no es posible detectarlo (Zambrano, 1980).

El cuadro estratigráfico detallado la cuenca (Figura 7) fue elaborado en base a Zambrano (1980) y Lesta *et al.* (1980):

EDADES		CUENCA DEL COLORADO
CENOZOICO	Pleistoceno	Sed. Pampeanos
	Plioceno	Fm. Chasicó Fm. Belén
	Mioceno	Fm. Barranca Final
	Oligoceno	Fm. Ombucta Fm. Elvira
	Eoceno	
	Paleoceno	Fm. Pedro Luro
	Maastrichtiano	
MESOZOICO	Senoniano	Fm. Colorado
	Turoniano	
	Cenomaniano	Fm. Fortín
PALEOZOICO		Basamento

Figura 7. Estratigrafía de la Cuenca del Colorado tomada de Zambrano (1980) y Lesta *et al.* (1980).

Basamento:

El basamento de la cuenca está integrado por rocas ígneas y metamórficas que se asignan tanto al Macizo Nordpatagónico como a las Sierras Australes de Buenos Aires.

El basamento perteneciente al Macizo Nordpatagónico está compuesto por rocas metamórficas aflorantes en la región de Valcheta que incluyen pizarras y cuarcitas esquistosas de color verde a gris oscuro. En la región de Sierra Grande es posible hallar sedimentitas marinas de una cuenca Siluro-Devónica (Zambrano 1980).

Por otra parte, el basamento de la cuenca asociado a las Sierras Australes está integrado por rocas ácidas intrusivas que abarcan un rango temporal amplio desde el Cámbrico hasta el Triásico inclusive (Zambrano, 1980) y rocas ácidas efusivas (riolitas) de edad Devónica.

Las secuencias sedimentarias características de las Sierras Australes integran también el basamento de la cuenca del Colorado y están compuestas por dos cuencas paleozoicas, una cambro-ordovícica y otra eodevónica-pérmica (Kilmurray, 1975).

Relleno sedimentario:

El relleno sedimentario de la cuenca alcanza un espesor de más de 7500 m en la parte más profunda ubicada en la plataforma continental. Los depósitos se inician en el Jurásico y llegan hasta el Neógeno cubriendo áreas cada vez más extensas a medida que se modernizan (Zambrano, 1980). El esquema estratigráfico de la cuenca fue definido por Kaasschieter (1965) quien empleó información geofísica y de perforaciones producto de una campaña de exploración llevada adelante en conjunto por YPF y Shell Production Co. Argentina (SPA) a partir del año 1958.

Formación Fortín (Turoniano - Coniaciano):

Definida por Kaasschieter (1965) en el intervalo entre los 2781 y 3257 m por debajo del nivel del mar en el pozo de YPF Pedro Luro – 1. La descripción original indica que se trata de “(...) areniscas (grises a gris rojizas, a menudo ligeramente cuarcíticas), en parte grauvacas con lutitas intercaladas (gris parduscas a grises, principalmente arenosas y en parte silíceas) y algunas cuarcitas. Desde 3080 a 3210 m por debajo de la plataforma de perforación se hallan preferentemente areniscas conglomerádicas rojas y lutitas arenosas”.

Apoya discordantemente sobre el basamento y su techo se interpreta como una superficie de erosión sobre la cual se apoya la Formación Colorado (Zambrano, 1980).

Esta formación se interpreta como depósitos de llanura aluvial madura con intervalos de ambientes reductores lacustres y se le ha asignado una edad turoniana-coniaciana en base a determinaciones palinológicas (Zambrano, 1980).

Formación Colorado (Senoniano ó Campaniano):

La sección tipo fue definida por Kaasschieter (1965) entre los 1508 y 2802 m por debajo de la plataforma de perforación en el pozo de YPF Pedro Luro – 1. Consiste en “(...) arenas-areniscas y gravas-conglomerados con algunas arcillas bentoníticas intercaladas. Predominan los colores rojo y púrpura; los sedimentos son principalmente tobáceos y feldespáticos”.

Yace sobre la Formación Fortín separada por una superficie de erosión y pasa transicionalmente o de forma neta según el sector a la Formación Pedro Luro; no se registran superficies de erosión en su techo (Zambrano, 1980).

Se han encontrado fósiles de plantas indeterminables y palinomorfos asignados al cretácico medio-superior pero la edad se establece fundamentalmente en función de sus relaciones estratigráficas (Zambrano, 1980).

Formación Pedro Luro (Maastrichtiano):

Fue definida en el pozo de YPF Pedro Luro – 1 entre los 1339 a 1487 m por debajo del nivel del mar y fue descripta originalmente por Kaasschieter (1965) como “(...) arcilitas grises poco a muy calcáreas. Los 3 m más inferiores son calizas grises, arcillosas y arenosas con restos de algas y briozoarios. (...) se observaron delgadas arcilitas yesíferas en parte ligeramente calcáreas y a veces ligeramente carbonosas que han sido atribuidas también a esta formación”.

Su base es transicional con la Formación Colorado mientras que su techo se interpreta como una discordancia erosiva regional. En los bordes de la cuenca esta formación yace directamente sobre el basamento ya que las formaciones anteriores se acuñan. Posee gran cantidad de fósiles de foraminíferos y ostrácodos que permitieron asignarle una edad Maastrichtiana (Zambrano, 1980).

Formación El Fuerte (Daniano - Maastrichtiano):

Se encuentra fuera de la cuenca cretácica pero es importante para comprender su evolución ya que se ubica en la periferia de la misma. Fue definida por Kaasschieter (1965) en la parte basal de un acantilado marino ubicado en la localidad El Fuerte al sur de San Antonio Oeste. La descripción indica que se trata de “calizas (blancas, ligeramente arenosas, en parte dolomíticas, con abundante contenido de algas y briozoarios). Aflora en una angosta faja a lo largo de la costa sur de San Antonio Oeste, pasando a veces a una arenisca muy calcárea. La parte basal es a menudo conglomerádica (...)”.

Es considerada como continuación lateral de las calizas de la Formación Pedro Luro y posee abundantes fósiles que incluyen briozoarios, algas y fragmentos de valvas que permitieron asignarle una edad Maastrichtiana (Zambrano, 1980).

Formación Ombucta (Eoceno- Oligoceno inferior):

Kaasschieter (1965) la define en el pozo de YPF Ombucta – 1 en el tramo entre los 600 y 900 m por debajo del nivel del mar. En su descripción señala “arcillas yesíferas y tobas con algunas intercalaciones arenosas; la secuencia es de color gris rosada a rojo ladrillo. Hacia el sur no se han encontrado mayores variaciones litológicas, excepto la disminución del contenido de yeso”. En Bahía Blanca se sucede con bancos arenosos más espesos y de litología más gruesa que se traduce en niveles de sábulos y gravilla. Hacia el sur no se han encontrado mayores variaciones litológicas, excepto la disminución del contenido de yeso.

Esta formación se apoya sobre la Formación Pedro Luro con excepción del sector noroeste donde apoya directamente sobre la Formación Colorado. Su techo es concordante y pasa de forma transicional a la Formación Barranca Final. Hacia el sureste pasa lateralmente a la Formación Elvira (Zambrano, 1980).

La edad se establece en función de sus relaciones estratigráficas con la Formación Elvira a la cual se le asignó una edad eocena – oligocena inferior en base a estudios micropaleontológicos (Zambrano, 1980).

Formación Elvira (Eoceno-Mioceno inferior):

La descripción original pertenece a Kaasschieter (1965) quien definió la sección tipo en el pozo SPA Elvira – 1 en el tramo comprendido entre los 682 a 818 m por debajo del nivel del mar: “(...) En la sección tipo esta secuencia consiste principalmente en arenas más o menos glauconíticas con intercalaciones de gravas, de color verde-gris. Las gravas está caracterizadas por rodados de cuarcitas negro-verdoso oscuras”. En superficie esta unidad presenta areniscas gris verdosas, casi siempre glauconíticas, a veces con arcillas y arcilitas verdosas intercaladas. En subsuelo las arenas y areniscas alternan con bancos calcáreos blanquecinos, gris claros, pardos amarillentos o verdosos, en parte fosilíferos. También se encuentran intercalaciones de lutitas y arcilitas gris verdosas (Zambrano, 1972; 1979).

Yace sobre la Formación Pedro Luro en casi toda la cuenca. Hacia el S y el O de la región, la Formación Elvira suprayace en discordancia angular sobre el basamento. Se la encuentra en el subsuelo de la cuenca, excepto en la parte noroeste de la misma. Contiene restos de equinoideos, briozoarios y valvas de moluscos. Localmente se han hallado foraminíferos, Ostrácodos, palinomorfos y microplancton que ubican a esta unidad intervalo Eoceno-Mioceno inferior (Zambrano, 1972, 1979). Se la interpreta como representante de un ambiente marino epinerítico progradante hacia una plataforma media.

Formación Barranca Final (Oligoceno – Mioceno superior):

Aflora en la zona marginal de la cuenca en los acantilados del Golfo de San Matías, donde fue definida por Kaasschieter (1965), y al este de la provincia de Río Negro. En el subsuelo se observa en todos los pozos perforados de la cuenca del Colorado con continuidad en la cuenca de Macachín (Zambrano, 1972).

Fue originalmente descrita como “(...) arcillas y arcillas arenosas con algunas intercalaciones tobáceas; el color predominante es grisáceo. En los pozos la parte inferior se distingue por su alto contenido de tobas y por ser a menudo de grano más grueso que la parte superior, que es generalmente arcillosa.” (Kaasschieter, 1965). Trabajos posteriores de Zambrano (1980) ampliaron el marco de la descripción quedando definida como una “espesa sucesión de arcilitas y lutitas gris verdosas que pueden contener yeso, restos carbonosos, intercalaciones tobáceas o areno-glauconíticas y abundantes fósiles” (Zambrano, 1980).

En la zona de los acantilados su espesor aflorante sólo alcanza unos 15 m de potencia (Zambrano, 1972), sin embargo la información proveniente de perforaciones profundas en la cuenca indican espesores importantes que varían entre 253 m (Pozo Lagunas dulces-1) y 792 m (Pozo Colorado-1) (Kaasschieter, 1965; García & García, 1964).

Contiene restos de moluscos, equinoideos y briozoarios. Foraminíferos y ostrácodos abundan en la parte media de la formación y tiende a disminuir hacia el oeste hasta tornarse escasos (Zambrano, 1972). La datación micropaleontológica le asigna una edad Oligoceno-Plioceno.

El ambiente de sedimentación es netamente marino con una alta tasa de progradación (Zambrano, 1972, 1980; Lesta *et al.*, 1978). La asociación exclusiva de formas bentónicas sugiere un ambiente marginal somero y desconectado con el mar abierto (Malumián *et al.*, 1998).

La Formación Barranca Final es correlacionable con la Formación Paraná dado que ambas habrían formado parte del evento conocido como “Mar Paraneano” que cubrió casi la totalidad de la cuenca Chacoparanense durante el Mioceno.

Según Aceñolaza (2000) la Formación Paraná está compuesta por: “Niveles de arcillas y arenas arcillosas de color gris verdoso estratificadas en bancos de variable espesor, entre los que se intercalan delgados niveles de arenas blanquecinas, bien seleccionadas, algunas de ellas cementadas por carbonatos. La secuencia es coronada por bancos de caliza arrecifal gris blanquecina, estratificada en bancos de hasta 1 m de potencia”.

Formación Arroyo Chasicó (Mioceno superior):

Fue definida por Salso (1966) en la Cuenca de Macachín, Localidad Arroyo Chasicó, Partido de Villarino, *Provincia* de La Pampa. Aflora en el sector continental norte de la Cuenca del Colorado hasta el borde occidental de las Sierras Australes y se conocen asomos en el sur y oeste de la provincia de La Pampa. En el subsuelo está restringida a la parte norte de la cuenca (Zambrano, 1972). Originalmente descripta como “limos arenosos castaño rosados, con clastos de arcillitas rojizas” (Russo *et al.*, 1979) aunque otros autores indican la presencia de más elementos ampliando la descripción a “limos arcillosos y/o arenosos color pardo rojizo, calcáreos y yesíferos con intercalaciones de arena y conglomerados finos (...)” (Bonorino, 1988).

Posee un espesor que varía entre los 120 m y los 200 m (García & García, 1964). En la cuenca del Colorado yace sobre la Formación Barranca Final y se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios correspondientes a Sedimentos Pampeanos o Sedimentación Postpampeana (Zambrano, 1972). En el oeste está cubierta por la Formación Belén (o Río Negro) con la que hay en parte una transición lateral.

El inicio de su depositación se ubicaría alrededor de los 11 o 12 Ma. junto con el retiro del mar paranaense (Zárate, 2005) y se extendería hasta los 9 Ma. según indican los análisis radimétricos de escorias en su techo (Schultz *et al.*, 2004).

Formación Belén (Mioceno superior):

Definida por Kaasschiter (1965) en los acantilados del Golfo San Matías cerca de la localidad de Punta Belén, *Provincia* de Río Negro. La descripción original reza que: “(...) la sección tipo consiste en arenas gris azuladas con algunas arcillas tobáceas intercaladas, ambas caracterizadas por el alto contenido de fragmentos de roca y minerales pesados (principalmente augita) (...)”.

Un trabajo posterior amplió la descripción señalando la presencia de dos unidades (inferior y superior). Esta última constituye la litología típica de la unidad constituida por un paquete de arcillas arenosas y calcáreas, que hacia arriba pasa gradualmente a areniscas grisáceas continentales (Franchi *et al.*, 1984).

Sucede transicionalmente a las capas de la Formación Barranca Final y constituye un equivalente de las capas de la Formación Chasicó, del área Salinas Chicas-Chasicó (Fidalgo *et al.*, 1975). En el perfil del pozo Pedro Luro-1 esta unidad alcanza unos 480 m de potencia (Franchi *et al.*, 1984; Zambrano, 1980).

La edad de esta formación se estableció en base a sus relaciones estratigráficas correlacionando la unidad inferior con la Formación Chasicó y la unidad superior con la Formación Río Negro, señalándose entonces, que la sección marina ubicada en la base del tramo superior debiera haberse acumulado en algún momento del lapso que media entre los 9 y 5 Ma (Franchi *et al.*, 1984).

Depósitos Cuaternarios:

La sedimentación cuaternaria en el área está compuesta principalmente por los denominados Sedimentos Pampeanos, que agrupan varias formaciones definidas en diferentes sectores de la provincia, y lo que denominaremos de forma general sedimentación Post-Pampeana. Esta última incluye una amplia variedad de depósitos, producto de diferentes procesos y geografías, que dificultan su caracterización bajo un único nombre formacional. Debido, además, a su importancia hidrogeológica como portadores del acuífero de Punta Médanos se realizó una investigación más profunda y localizada en este estudio.

Desde las primeras descripciones de los afloramientos litorales aportadas por Darwin (1832), y Ameghino (1889) en el siglo XIX muchos han sido los autores que trabajaron en el área describiendo e interpretando la geología costera de la provincia

Entre los investigadores que han informado e interpretado la geología del área se destacan Ameghino (1889), Vignati (1925), Frenguelli (1928), Leanza (1948), Bonaparte (1960), Fidalgo (1975); Fidalgo y Tonni (1982) y Zavala (1993) a quien corresponde además un trabajo de archivo sobre los autores anteriores a él (Figura 8).

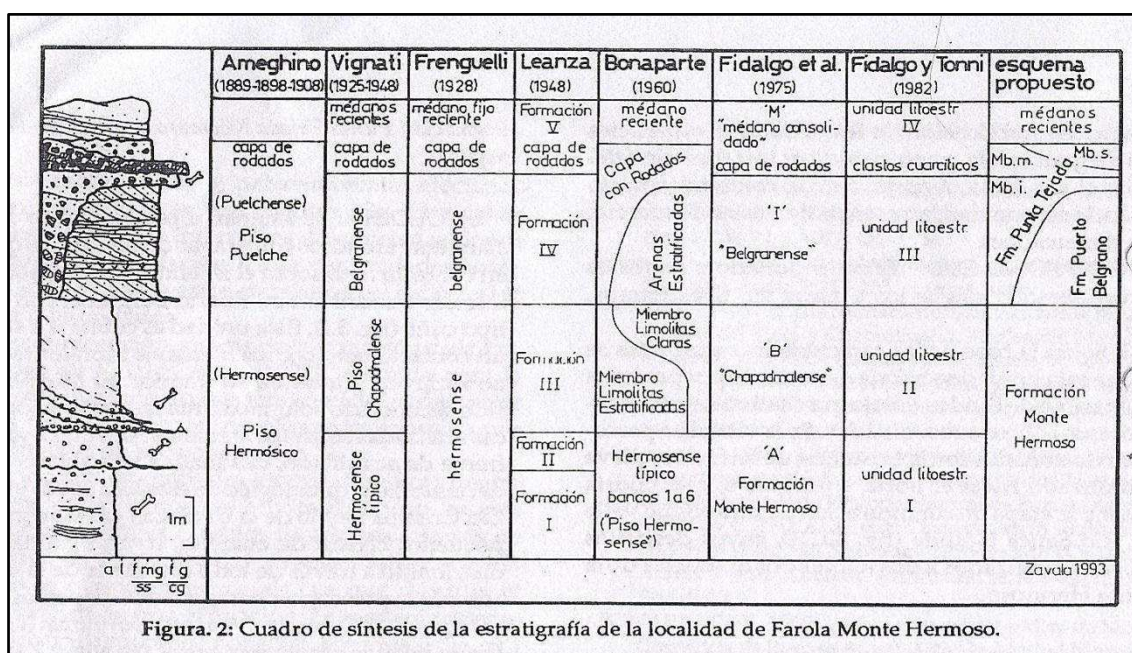


Figura 8. Esquema estratigráfico del área propuesto por Zavala (1993). El último recuadro corresponde a la interpretación propuesta por el autor.

En este estudio la información generada se analiza a la luz del marco geológico propuesto por Schnack *et al.* (2005) quienes a su vez retoman la propuesta de Tonni y Fidalgo (1978). La

propuesta de Schnack *et al.* (2005) es la interpretación más moderna e integradora de la geología existente sobre la costa atlántica de la Provincia de Buenos Aires y constituye una base sólida para la interpretación hidrogeológica.

Según estos autores es posible discriminar tres ambientes diferentes donde se desarrolla la sedimentación pampeana y postpampeana: las divisorias, donde la presencia del mar es casi nula; los valles, donde existe influencia tanto del continente como del mar, y la costa donde el ambiente dominante es mixto. Las formaciones geológicas involucradas en cada ambiente pueden verse en la figura 9; las descripciones de cada una se detallan más abajo:

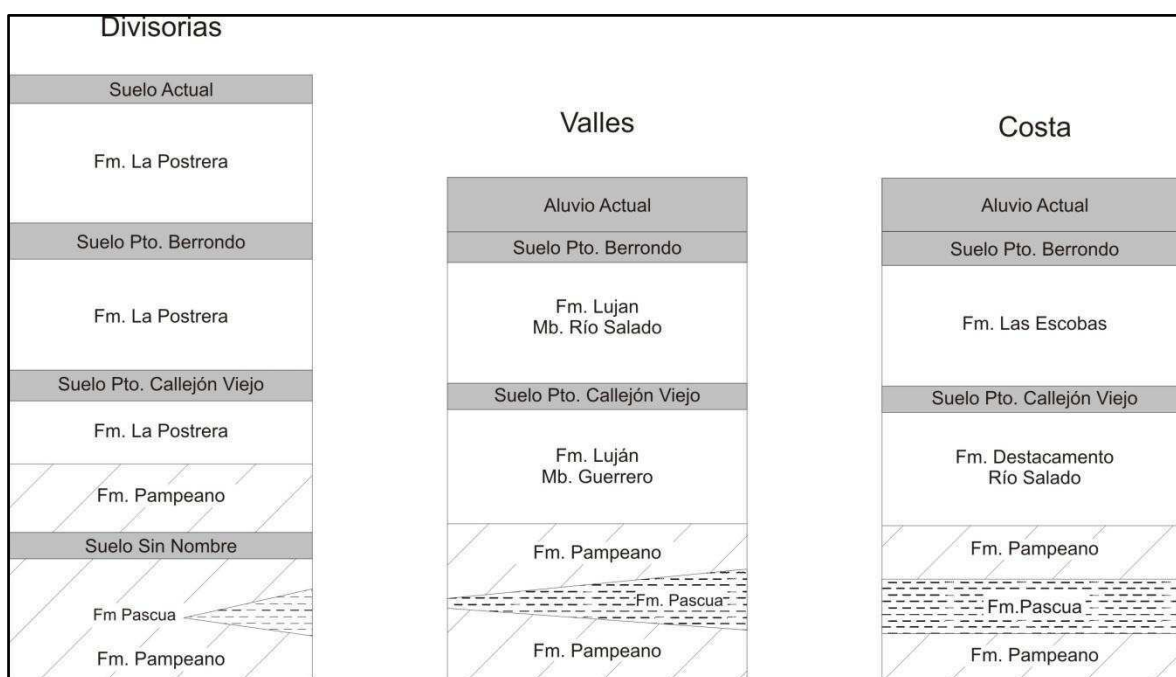


Figura 9. Sedimentación Plio-Pleistocena tomado de Schnack *et al.* (2005) que a su vez lo tomó de Tonni y Fidalgo (1978).

Sedimentos Pampeanos (Pleistoceno): Son depósitos de limos loessoides a limos arenosos con intercalaciones calcáreas concrecionales o tipo mantiformes (tosca) que abarcan gran parte de la llanura Chaco-Pampeana. El color dominante es el castaño con tonalidades amarillentas a rojizas. De variable espesor en la región pampeana entre decenas hasta incluso cientos de metros y edad Plio-pleistocena (Bonorino, 1965).

Es importante recalcar que bajo la denominación genérica de Sedimentos Pampeanos se agrupa un gran número de formaciones geológicas de características litológicas y genéticas similares aunque con sutiles diferencias.

Formación La Postrera (3 pulsos): Los sedimentos que integran esta unidad son limos arenosos y arenas limosas inconsolidadas, muy homogéneas, de color castaño amarillento. Son carentes de estratificación aunque pueden contener lentes de algunos centímetros de longitud. (Fidalgo y Tonni, 1981).

Representa Sedimentos Postpampeanos continentales de ambiente eólico en la Provincia de Buenos Aires. Ocupa divisorias y parte de planicies de inundación. Sus espesores varían entre los 0,3 y 2 m aunque puede llegar a los 8 o 10 m de potencia en el sector de Sierras Septentrionales.

Formación Pascua (Pleistoceno): Los depósitos marino marginales del Pleistoceno son discontinuos a lo largo de toda la costa bonaerense, desde el sur de la Provincia de Entre Ríos hasta la desembocadura del Río Negro. Su posición estratigráfica es intercalada o suprayacente a los Sedimentos Pampeanos, generalmente en cotas que oscilan entre los 6 y los 8 metros y se encuentran representados por diferentes facies.

Hacia el sector Norte esta unidad está representada por arcillas plásticas con contenido fosilífero y coquinas que ponen directamente de manifiesto la presencia del cuerpo de agua.

En el sector sur, a partir del Faro de Punta Mogotes en Mar del Plata y hasta Bahía Blanca, se han conservado las facies eólicas de esta unidad indicando ambientes más transicionales. (Fidalgo *et al.* 1973). Es equivalente al denominado Belgranense de Ameghino (1889) y se corresponde con las litofacies B y C de lo que Fucks *et al.* (2010) denominan Formación Puente de Pascua.

Formación Luján (Pleistoceno): Fue definida originalmente por Fidalgo *et al.* (1973). Está compuesta por dos miembros, el Miembro Guerrero en su parte inferior y el Miembro Río Salado en la superior. Son los equivalentes del Lujanense y Platense de Ameghino (1889), Frenguelli (1957) y Tricart (1973). Esta formación representa valles fluviales y lagunas de la llanura pampeana.

El Miembro Guerrero está compuesto por arenas y limos con algo de arcilla y se apoya en discordancia sobre los Sedimentos Pampeanos; representa un ambiente fluvial. El Miembro

Río Salado está integrado por limos arenosos a arcillosos color gris blanquecino a gris oscuro con presencia de estructuras sedimentarias y materia orgánica; corresponde a ambientes palustres y lacustres.

No se observa en el área de estudio pero se incorpora su descripción por encontrarse en la bibliografía citada.

Formación Destacamento Río Salado (Pleistoceno): Fue definida originalmente por Fidalgo *et al.* (1973) y está compuesta por arenas y limos color negro a gris oscuro con un alto contenido de materia orgánica. Corresponde a un ambiente de lagunas costeras o albuferas. Esta unidad descansa sobre los Sedimentos Pampeanos y se considera contemporánea del Miembro Guerrero de la Formación Luján.

No se observa en el área de estudio pero se incorpora su descripción por encontrarse en la bibliografía citada.

Formación Punta Médanos (Holoceno superior): Definida por Parker (1979) como arenas cuarzosas de colores amarillentos de granulometría media a fina que forman el cordón arenoso costanero y faja medanosa de la Provincia de Buenos Aires. Se distribuye en alrededor de 600 Km de costa Atlántica con un ancho variable de 3 km de promedio.

Arenas medianas a finas castaño-amarillentas. Presentan estructura entrecruzada eólica. Las arenas de playa son de granulometría similar aunque con alta concentración de conchillas y estructuras propias de este ambiente.

Corresponde a la cadena de médanos y a la playa adyacente que se desarrolla a lo largo de la costa atlántica durante 600 km y 3,5 km de espesor medio.

Formación Las Escobas (Holoceno): Fue definida originalmente por Fidalgo *et al.* (1973). Integrada por los miembros Miembro Cerro de la Gloria y Miembro Canal 18. El primero está compuesto por depósitos conchiles con matriz arenosa y corresponde a barras costeras paralelas a la línea de costa mientras que el segundo consiste en lentes de arena y estratos limosos a arcillosos. Esta formación corresponde a una ingresión marina.

No se observa en el área de estudio pero se incorpora su descripción por encontrarse en la bibliografía citada.

3.2 - Antecedentes geomorfológicos

Los trabajos sobre la geomorfología de la región poseen un carácter amplio y regional. García & García (1964), Fidalgo *et al.* (1975) y González Uriarte (1984) tratan las generalidades del área realizando una distinción gruesa entre la región serrana y la llanura que se extiende hacia el sur.

Más recientemente algunos autores han tratado problemas geomorfológicos en concreto como Torrero y Campo (2008) que describen la geomorfología del río Sauce Chico y Marcomini y López (2005; 2009b) que centran su atención en la geomorfología costera para conservación del ambiente.

El área de tesis se emplaza entre dos ambientes geomorfológicos distintos: la llanura surcada por los ríos Sauce Grande y Napostá Chico y la barrera de médanos costeros que separa la llanura del mar. La escala de trabajo pequeña de los autores clásicos dificulta la correcta descripción de este cambio geomorfológico, razón por la cual el antecedente que más importa este estudio es el de Marcomini y López (2005; 2009b), ya que plantea un modelo de funcionamiento para la región medanosa a una escala suficientemente grande.

La franja medanosa comprendida en el área de estudio forma parte de la denominada Barrera Medanosa Austral (Isla, 1989, 1997). Esta unidad constituye un campo de dunas transgresivo que ha avanzado sobre una costa acantilada y que en la actualidad, debido al aumento de la humedad, se encuentra vegetado e inactivo.

En la zona de Pehuén-co Marcomini *et al.* (2007, 2009) analizan los médanos estabilizados y describen un campo de dunas parabólicas cuyos cuernos apuntan al oeste indicando la dirección predominante de los vientos. Sobre este campo se desarrollan pequeños y escasos parches de dunas activas tipo barján cuyas crestas indican una dirección dominante de vientos en sentido O – NO.

La dinámica de la barrera medanosa es producto de la actividad eólica en la playa, la migración de arena se produce a través de rampas eólicas que actúan como dunas trepadoras sobre la costa acantilada. La existencia de estas rampas es lo que permite la invasión de arena sobre el continente (Marcomini *et al.*, 2007; 2009).

3.3 - Antecedentes hidrogeológicos

Según la clasificación propuesta por Santa Cruz & Silva Busso (1999), el área estudiada se encuentra en un punto de confluencia de tres Subregiones hidrogeológicas: la subregión III o Pampeana, la subregión IV o de Médanos Costeros y la subregión V o Sistema Termal de Bahía Blanca (Figura 9).

La división propuesta por Santa Cruz & Silva Busso (1999) es retomada posteriormente por otros autores como Auge (2004), sin embargo, la propuesta original posee mayor definición para los acuíferos inscriptos en la Región Pampeana y Mesopotamia, por tanto se adopta como criterio general de clasificación.

La hidroestratigrafía profunda del área de estudio corresponde con la de la Subregión V o Sistema Hidrotermal Profundo de Bahía Blanca (SHP de aquí en adelante) estudiado por Bonorino (1988). Tanto los límites como la estratigrafía de esta Subregión son aquellos mismos de la Cuenca del Colorado que se describen en los antecedentes geológicos y cuyo resumen junto a sus características hidrogeológicas se muestran en el cuadro 2.

Subregión V o Sistema Termal de Bahía Blanca		
Estratigrafía	Hidroestratigrafía	Principales acuíferos
Sedimentos Pampeanos	Epiparaneano	Acuífero Pampeano
Formación Arroyo Chasicó/Belén		Acuitardo
Formación Barranca Final	Paraneano	Acuícludo/Acuífero
Formación Ombucta/Elvira	Hipoparaneano	Acuífero
Formación Pedro Luro		Acuitardo
Formación Colorado		Acuífero (Mb. Superior)
Formación Fortín		Acuífugo
Basamento Cristalino o Metamórfico Pz	Basamento Hidrogeológico	Acuífugo

Cuadro 2. Subregión Hidrogeológica V tomada de Santa Cruz & Silva Busso (1999).

Sin embargo los acuíferos más profundos no son materia de estudio en este trabajo. El alcance de esta investigación son los acuíferos superficiales libres a semilibres que están representados por los estratos superiores de las Subregiones Hidrogeológicas III y IV.

La Subregión hidrogeológica III o Pampeana se extiende desde la Cuenca del Río Salado hasta la costa Sur y al oeste hasta el meridiano de 63°30' aproximadamente. Comprende una región

muy extensa que incluye a todas aquellas localidades donde afloran los Sedimentos Pampeanos. Las propiedades hidráulicas e hidroquímicas son altamente variables de una localidad a otra (Cuadro 3).

La Subregión hidrogeológica IV o de Médanos Costeros se extiende por las costas de la *Provincia* de Buenos Aires desde San Clemente del Tuyú hasta Monte Hermoso con interrupciones en la franja donde afloran las ortocuarcitas precámbricas de la formación La Tinta (Sistema de Tandilia). El rasgo característica es la presencia de un acuífero libre alojado en la faja de médanos que suprayace a los Sedimentos Pampeanos (Cuadro 4).

La estratigrafía de las Subregiones hidrogeológicas III y IV es esencialmente la misma, la única diferencia consiste en la barrera de médanos que se encuentra presente en la Subregión IV y ausente en la subregión III donde afloran directamente los Sedimentos Pampeanos. El límite de la llanura de los ríos Sauce Grande y Napostá Chico con la barrera de médanos costeros que se observa en el mapa geomorfológico (Anexo IV) representa el límite de estas dos Subregiones.

Subregión hidrogeológica III		
Estratigrafía	Hidroestratigrafía	Principales acuíferos
Sedimentos Pampeanos	Epiparaneano	Acuífero Pampeano
Sedimentos Pampeanos (Araucano)		Acuitardo
Formación Paraná	Paraneano	Acuífero Paraná
Formación Olivos?	Hipoparaneano	Acuitardo/Acuífugo
Basamento Cristalino	Basamento Hidrogeológico	Acuífugo

Cuadro 3. Subregión hidrogeológica III tomada de Santa Cruz & Silva Busso (1999).

Subregión hidrogeológica IV		
Estratigrafía	Hidroestratigrafía	Principales acuíferos
Formación Punta Médanos	Epiparaneano	Acuífero Libre Costero
Sedimentos Pampeanos		Acuífero Pampeano
Sedimentos Pampeanos		Acuitardo
Formación Paraná	Paraneano	Acuífero Paraná
Formación Olivos?	Hipoparaneano	Acuitardo/Acuífugo
Basamento Cristalino	Basamento Hidrogeológico	Acuífugo

Cuadro 4. Subregión hidrogeológica IV tomada de Santa Cruz & Silva Busso (1999).

Cabe señalar que los estratos infrapampeanos de estas estratigrafías fueron definidos en otras regiones y mantienen sus denominaciones originales, no obstante, son correlacionables con la estratigrafía presentada para la Cuenca del Colorado. A continuación se describen las principales secciones acuíferas de la cuenca (Santa Cruz & Silva Busso, 1999):

Basamento Hidrogeológico: Constituido por rocas ígneas y metamórficas de edad paleozoica que corresponden a las unidades acuífugas basales de los sistemas acuíferos que se desarrollan por encima de los mismos.

Sección Hipoparaneana: Se reconoce una sucesión sedimentaria de origen mayoritariamente continental que alberga al denominado Sistema Hidrotermal Profundo de Bahía Blanca con una extensión aproximada de 3000 km² (Bonorino, 1988). La sección acuífera más representativa corresponde al tramo superior de la Formación Colorado.

Sección Paraneana: de origen marino, está constituida por la Formación Barranca Final (correlacionable con la Formación Paraná en el resto de la cuenca Chaco-Paranense), Predominan los sedimentos acuícludos aunque existen algunas intercalaciones acuíferas de muy buen rendimiento. Se extiende ampliamente en la región a excepción de las zonas donde a la altura relativa del basamento ha controlado la transgresión miocena.

Sección Epiparaneana: Se desarrolla en toda el área de estudio a excepción de las áreas donde aflora el basamento de roca dura. Está compuesta por los denominados Sedimentos Pampeanos, que además de la capa freática o libre, presenta otros niveles productivos de carácter semiconfinado a semilibre.

Por encima de los Sedimentos Pampeanos se desarrolla la variable sedimentación Postpampeana que, en la zona de estudio, se encuentra representada por la Formación Punta Médanos, continente del acuífero libre costero.

La recarga del sistema se produce a partir de las precipitaciones, especialmente en las áreas interfluviales y la descarga principal se produce en los cursos de aguas principales.



Figura 9. Subregiones hidrogeológicas tomadas de Silva Busso & Santa Cruz (1999).

Capítulo 4

Geología y geomorfología del área de estudio

4.1 - Geomorfología

El reconocimiento geomorfológico se realizó en base a imágenes satelitales y a las cartas topográficas del IGN y se constataron en el campo las conclusiones obtenidas. Para atender el objetivo hidrogeológico de este estudio fue necesario analizar con detalle los elementos geomorfológicos producto de la acción fluvial que se manifiestan en el área.

El paisaje está compuesto y modelado por tres procesos: marino, eólico y fluvial. De norte a sur es posible observar un cambio abrupto de procesos que da paso de un sector dominado por geoformas fluviales, que se agruparon bajo las Unidades I, II y III siguiendo a Olivares (1999) y Gatti (2003), hacia otro sector donde prevalecen las geoformas marinas y eólicas agrupadas en las Unidades IV, V y VI siguiendo a Marcomini *et al.* (2007, 2009). La figura 10 permite ver una versión reducida del mapa geomorfológico que se encuentra en el Anexo IV.

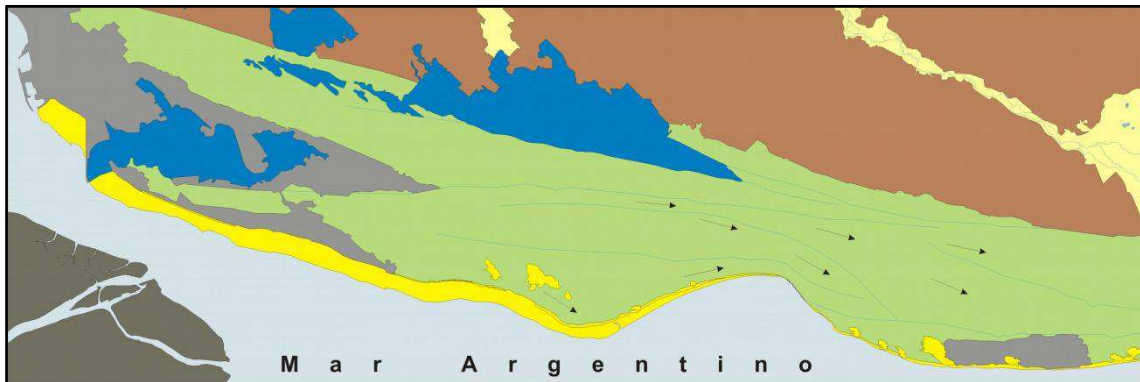


Figura 10. Versión reducida y simplificada del mapa geomorfológico (ver Anexo IV).

Las Unidades Geomorfológicas reconocidas fueron:

- Unidad I: Llanura ondulada
- Unidad II: Llanura de escorrentía
- Unidad III: Llanura de inundación

- Unidad IV: Campo de dunas inactivas
- Unidad V: Costa de acumulación actual
- Unidad VI: Costa de erosión actual

Unidad I: Llanura ondulada (Olivares, 1999; Gatti, 2003)

Esta unidad se desarrolla en el sector norte del mapa (color castaño), por encima de la cota de 20 msnm, y tiene como límite sur la barrera de dunas inactivas correspondientes a la Formación Punta Médanos.

Se caracteriza por un relieve plano, con pendientes que van desde 0,2 % hasta 2% las más pronunciadas, y ondulaciones de larga longitud de onda (en el orden de los kilómetros) producto de las lomadas o interfluvios y de los valles por donde el agua circula encauzada.

La llanura ondulada ha sido labrada sobre los Sedimentos Pampeanos y se encuentra cubierta por superficies de cultivo en el sector de lomadas que enmascaran los rasgos geomorfológicos más finos del terreno.

Las precipitaciones que caen sobre esta unidad se movilizan por infiltración, de forma laminar en las lomadas y de forma encauzada en los valles que, al no ofrecer buenas condiciones para el cultivo, no se hallan parcelados.

Unidad II: Llanura de esorrentía (Olivares, 1999; Gatti, 2003)

La llanura de esorrentía (amarillo pálido) se desarrolla principalmente en los valles de los ríos Napostá Chico y Sauce Grande localizados en el sector centro-norte y noreste del mapa respectivamente. Ambos ríos nacen en las Sierras Australes y discurren con un rumbo aproximado N – S hasta que adoptan una dirección NO-SE en concordancia con la pendiente regional del área.

El límite con la unidad anterior aparece bien definido tanto en la imagen satelital como en el mapa topográfico donde es posible estimar pendientes que van del 1% hasta casi un 4% e inclinan hacia el interior del valle fluvial.

Los cauces meandriformes por donde circulan las aguas a lo largo de todo el año representan la principal geoforma de erosión.

Unidad III: Llanura de inundación (Olivares, 1999; Gatti, 2003)

Ha sido posible distinguir dos tipos de llanuras de inundación identificadas con color azul en el mapa geomorfológico. Por una parte existe en la zona una planicie de inundación “colgada” (Unidad III.a) que se desarrolla por debajo de la cota de 20 msnm y está limitada por la barrera de dunas inactivas. Esta llanura de inundación corresponde a un drenaje impedido de los ríos causado por la presencia de las dunas que representan un obstáculo para la escurriencia y, al ralentizar la infiltración, producen la acumulación de agua. De hecho, por sectores, la llanura de inundación se encuentra permanentemente anegada y pasa a formar verdaderos cuerpos lacustres como la laguna asociada al río Napostá Chico que se observa en el sector central del mapa o la Laguna Sauce Grande más hacia el este (fuera del área de trabajo).

Una segunda llanura de inundación (Unidad III.b) tiene lugar en el sector oeste del mapa por debajo de la cota de 5 msnm y al sur de la ciudad de Punta Alta. En este caso podemos hablar de una llanura de inundación sensu stricto correspondiente al Arroyo Parejas. Posee canales de marea y una gradación progresiva hacia facies de llanura de mareas.

Las pendientes observadas no superan el 0,2% constituyendo áreas prácticamente planas donde el agua se acumula con facilidad. Es posible distinguir pequeños cauces por donde el agua circula aunque la principal movilidad se da de forma difusa e hipodérmica. Es posible distinguir pequeñas lagunas y regiones donde las sales se han acumulado formando costras blanquecinas sobre la tierra que desarrollan grietas de desecación durante los períodos secos.

Unidad IV: Campo de dunas inactivas (Marcomini *et al.* 2007, 2009)

Esta unidad, representada con color verde claro, se extiende de noroeste a sudeste cubriendo el sector centro sur del mapa y tiene un ancho medio de 12 kilómetros. Está compuesta por dunas parabólicas y dunas longitudinales por ruptura de parabólica vegetadas.

La dirección dominante de los vientos que formaron las dunas, inferida en base a los brazos, es ONO – ESE aunque se observan otras direcciones más locales que podrían estar asociadas a leves modificaciones de los vientos por rasgos del terreno. Al oeste del acantilado de Pehuénco, existe un corredor de viento de dirección OSO – ENE que podría explicarse por la forma y la orientación que adopta la costa en esta área.

Las dunas se hayan completamente vegetadas a excepción de algunos sectores muy localizados al sur (Unidad V) y no se distinguen rasgos de escorrentía superficial de ningún tipo, por lo tanto, resulta seguro inferir que esta unidad posee una buena percolación.



Figura 11. Campo de dunas inactivas vegetadas. Se observa el relieve de crestas e interdunas.

Unidad V: Costa de acumulación actual (Marcomini *et al.* 2007, 2009)

Esta unidad está compuesta por tres subunidades agrupadas bajo el color amarillo: las dunas costeras activas (V.a), los depósitos de playa trasera (V.b) y playa delantera (V.c).

La subunidad V.a corresponde a pequeños bolsones saltuarios de dunas costeras activas, tipo barján, que se desplazan de oeste a este a favor de los principales vientos. Se hallan en el sector sur del mapa pegados a la línea de costa y poseen muy poca extensión areal llegando a ocupar, los más grandes de ellos, una superficie aproximada de 1 km².

Los depósitos actuales de playa (subunidad V.b) conforman una franja delgada, continua, de entre 100 y 120 m, que se extiende a lo largo de toda la línea de costa, con excepción en la

zona del acantilado, y se interrumpe hacia el oeste cuando comienza el territorio de la Base de Infantería de Marina Baterías.

Por último la subunidad V.c corresponde a la playa delantera que se encuentra a lo largo de toda la costa y tiene por límite inferior la cota de la marea baja y por límite superior la cota de marea alta. Durante la marea baja fue posible observar la barra de la anteplaya (Foto D.1.2).

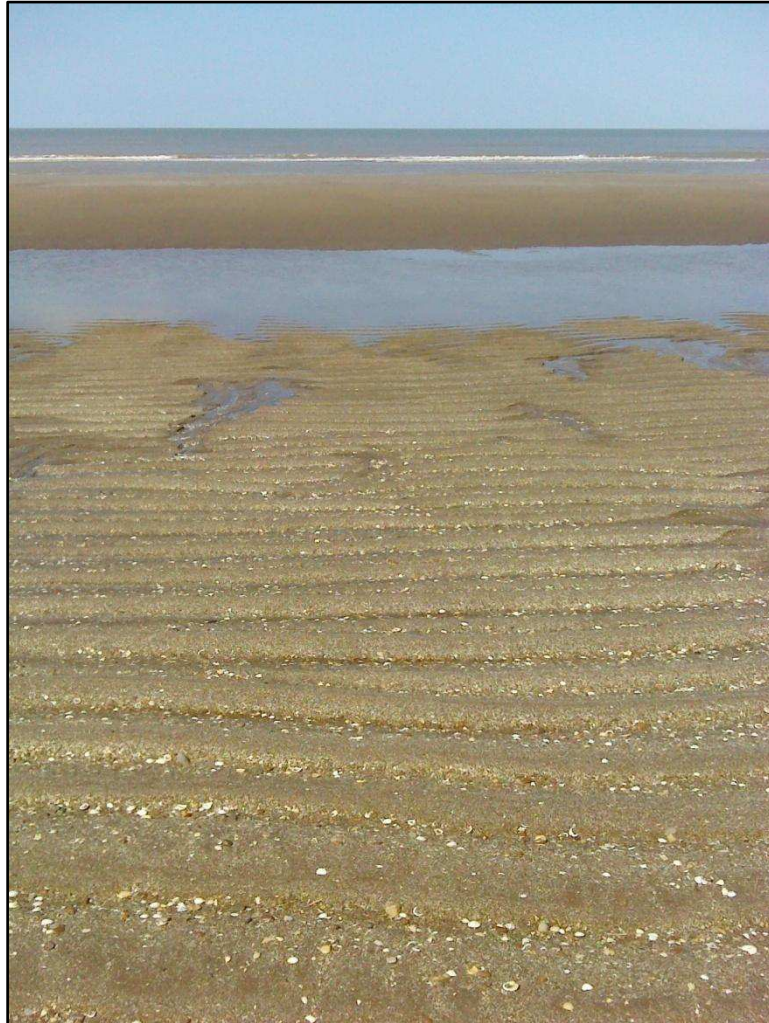


Figura 12. Vista de la anteplaya con la barra correspondiente al fondo de la imagen.

Unidad VI: Costa de erosión actual (Marcomini *et al.* 2007, 2009)

Está representada en la bahía ubicada al oeste de la ciudad de Pehuén-co por un acantilado marino activo de orientación NO – SE y tres kilómetros de extensión. En el mapa

geomorfológico es apenas perceptible como unidad ya que se trata de una línea y no una superficie, por tanto queda indicada con una rastra particular y señalada con el número correspondiente.

Posee una altura de 14 m y está labrado sobre Sedimentos Pampeanos y Post Pampeanos. En su base fue posible observar una plataforma de abrasión marina desarrollada sobre Formación Arroyo Chasicó (Figura 13). Los bloques sueltos hallados de forma abundante en su frente indican que el acantilado se encuentra activo, aunque también la existencia de una incipiente playa sobre la plataforma de abrasión podría estar indicando un período de acumulación.



Figura 13. Plataforma de abrasión marina en la región del acantilado.

4.2 - Geología del área de estudio

Toda la región se encuentra cubierta por sedimentos cuaternarios. Los únicos lugares donde es posible acceder a un afloramiento son el valle del Río Sauce Grande y el acantilado marino al oeste de Pehuén-co que corresponde a la Unidad Geomorfológica VI ya descrita en la sección anterior.

El acantilado está ubicado sobre la línea de costa y expone 14 metros de secuencia sedimentaria. Se accedió al afloramiento con marea baja para poder levantar la máxima cantidad de metros posible. Se recorrió aproximadamente 1 km de afloramiento a medida que se tomaban muestras y se realizaban mediciones y descripciones.

En base a las observaciones de campo fue posible identificar 6 bancos bien delimitados, con características litológicas distintivas y considerable continuidad lateral. De cada uno de ellos se tomó una muestra de sedimento para su posterior procesamiento en el laboratorio. A su vez fue posible ordenar los 6 bancos en dos paquetes sedimentarios: uno inferior con dominancia de las fracciones granulométricas limo-arcillosas y otro superior compuesto principalmente por arenas.

Las muestras PM1, PM2 y PM3, integrantes del paquete inferior compuesto por los bancos N° 1, 2 y 3, fueron analizadas con sedígrafo. Por otra parte las muestras PM4, PM5 y PM6, correspondientes paquete superior y representantes de los bancos N° 4, 5 y 6, se les realizó un tamizado común y su granulometría mayor permitió el análisis mineralógico con microscopio petrográfico.

La ubicación de las muestras en el perfil puede buscarse en el Anexo III.

4.2.1 - Granulometría y características texturales de las muestras

Dado que el objetivo de este estudio es proponer un modelo de funcionamiento hidrogeológico de la costa, el análisis del sedimento se realizó considerando sólo aquellos aspectos que permiten calcular parámetros que sirvan a la interpretación hidrogeológica. Esta forma de clasificar el sedimento es empelada como técnica de laboratorio del Instituto Nacional del Agua (INCyTH, 1974) ya que resulta práctica para el trabajo en acuíferos cuaternarios donde el grado de diagénesis de las rocas es de bajo a nulo.

La clasificación de las muestras se realizó en base a la escala Udden-Wentworth. Se consideró la fracción porcentual mayoritaria (primera moda) como la clasificación de la muestra y, para

más precisión, se incorporó la segunda moda al nombre. Los resultados del análisis granulométrico de cada muestra con su respectiva curva de frecuencia acumulada se pueden ver en el Anexo I y la Cuadro 5 resume los parámetros granulométricos calculados.

Previo a su ingreso al sedígrafo, las muestras fueron tratadas con ácido clorhídrico 10% (HCl) y agua oxigenada (H₂O₂) para eliminar los rastros de carbonatos y materia orgánica que pudieran estar presentes y alterar el análisis granulométrico.

Fueron también tamizadas por debajo de los 0,5 mm por requerimiento del equipo. En ninguno de los casos se halló una fracción granulométrica significativa que supere los 0,5 mm. Cabe destacar también que las muestras PM2 y PM3 poseen granos aciculares de magnetita.

Una vez clasificadas se procedió a construir las curvas granulométricas normales y de frecuencia acumulada. Los valores de D₁₀, D₃₀, D₅₀ y D₆₀ (abertura en mm del tamiz que retiene el x % de la muestra) se utilizaron para calcular, para cada muestra, el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura de Hazen (Cc) siendo:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

Estos dos parámetros geotécnicos dan cuenta del grado de uniformidad y gradación de la muestra. Forman parte de la clasificación granulométrica IRAM 10509 que se utiliza para suelos granulares y se consideran un indicativo de la similitud de los bancos en cuanto a sus propiedades mecánicas y, fundamentalmente, hidrodinámicas.

Para los bancos arenosos se calculó además el coeficiente de selección (σ_1) utilizando los parámetros D₅, D₁₆, D₈₄ y D₉₅. Una arena bien seleccionada posee mejores propiedades como acuífero que una mal seleccionada (Scasso *et al.* 1997).

$$\sigma_1 = \frac{D_{84} - D_{16}}{4} + \frac{D_{95} - D_5}{6,6}$$

Banco N° 1 (Muestra PM1):

En afloramiento se lo identifica como un limo masivo de color rosa pálido. Intercala pequeños lentes del mismo material con laminación paralela fina y niveles de calcretes. Moderadamente consolidado. No es posible delimitar su espesor ya que su base se encuentra por debajo del nivel del mar. La altura del techo es de 1 msnm.

La muestra clasifica como un limo grueso a medio. Posee una curva granulométrica unimodal con moda en 0,037 mm. El análisis de Cu, Cc indica que se trata de una muestra poco uniforme y mal gradada (IRAM 10509).

Banco N° 2 (Muestra PM2)

Se desarrolla entre las cotas de 1 y 3,8 msnm. Corresponde a un limo castaño oscuro masivo poco consolidado con concreciones carbonáticas y escasos calcretes. Posee intraclastos arcillosos. Intercala escasos bancos lenticulares del mismo material con laminación paralela fina.

La muestra clasifica como un limo arenoso fino. Posee una curva de acumulación bimodal con moda principal en 0,043 mm y moda secundaria en 0,17 mm. El análisis de Cu y Cc indica que se trata de una muestra poco uniforme y bien gradada (IRAM 10509).

Banco N° 3 (Muestra PM3)

Corresponde a una arena muy fina a limosa, castaño clara a grisácea. Posee laminación paralela fina y en partes se muestra masiva. Este banco se encuentra entre las cotas 3,8 y 4,6 msnm.

La muestra clasifica como una arena muy fina a limo grueso. Posee una curva de acumulación marcadamente unimodal con moda en 0,073 mm. El análisis de Cu y Cc indica que se trata de una muestra poco uniforme y mal gradada (IRAM 10509).

Banco N° 4 (Muestra PM4)

Este banco tiene una potencia de 6,5 m y se desarrolla entre las cotas de 4,6 y 11,0 msnm. Consiste en una arena fina a muy fina castaña grisácea con estratificación paralela de bajo ángulo ($<7/8^\circ$). Clasifica como una arena muy fina a limo grueso.

El análisis de C_u , C_c y σ_1 indica que se trata de una muestra uniforme, mal gradada y extremadamente bien seleccionada (Scasso *et al.* 1997; McManus, 1991).

Banco N° 5 (Muestra PM5)

Este banco corresponde a un pequeño nivel gravoso, masivo y matriz-sostén, de 0,7 m de espesor con continuidad lateral. La matriz es arenosa fina de color castaño y los clastos son de origen silíceo y lítico, poco consolidada. Se encuentra entre las cotas 11,0 y 11,7 msnm.

La muestra clasifica como una grava arenosa con una matriz de arenosa fina a media. En el Anexo I puede verse un histograma correspondiente a PM5, que incluye la totalidad de la muestra, y otro a PM5bis que considera sólo la matriz arenosa. El motivo de esta distinción es la dificultad de cálculo que existe para estimar parámetros en grava y la suposición de que pueden considerarse los parámetros de la matriz como una estimación de mínima para el banco gravoso. El análisis de C_u , C_c y σ_1 para la matriz indica que se trata de una muestra bien graduada y con una excelente selección.

Banco N° 6 (Muestra PM6)

Este banco corresponde a la barrera de médanos inactivos moderna que se encuentra coronando el perfil del acantilado. El material es una arena fina a media, gris clara a castaña, sin consolidar. Por sectores es posible observar estratificación paralela aunque el bajo grado de consolidación la desarma fácilmente. En el perfil se desarrolla entre las cotas de 1,7 y 13,7 msnm.

La clasificación granulométrica indica que se trata de una arena fina a media y el análisis de C_u , C_c y σ_1 indica que la muestra es uniforme y posee una excelente selección.

Muestra	Clasificación	D ₁₀ (mm)	Cu	Cc	Selección
PM1	Limo grueso a medio	0,003	8,689	1,226	-
PM2	Limo arenoso fino	0,003	11,593	1,030	-
PM3	Arena muy fina a limo grueso	0,005	11,086	1,713	0,0385
PM4	Arena fina a muy fina	0,090	1,822	1,253	0,0466
PM5	Grava arenosa	0,117	29,231	0,121	-
PM5bis	Arena fina a media	0,084	2,845	1,076	0,2731
PM6	Arena fina a media	0,123	2,033	0,940	0,1595

Cuadro 5. Resumen de propiedades granulométricas de los bancos N° 1 a N° 6 del acantilado de Pehuén-co.

4.2.2 - Análisis mineralógico

Los componentes más abundantes presentes en las muestras fueron fragmentos líticos, feldespatos y cuarzo. Los minerales se presentan más o menos de la misma forma en cada corte.

Componentes livianos

Fragmentos Líticos:

Representan entre el 50% y el 40% de los componentes en las muestras. Los granos se presentan subredondeados, y la mayoría son equigranulares. Proviene, en orden de importancia, de rocas volcánicas y metamórficas.

Los líticos volcánicos representan desde el 30% la muestra y porcentajes superiores, su textura es mayoritariamente pilotáctica afieltrada y fluidal aunque se han encontrado ejemplares con textura porfírica con fenocristales de plagioclasa y pasta de textura pilotáctica. En algunos casos se observó la presencia (escasa) de texturas esferulíticas, rasgo frecuente en rocas de composición básica a intermedia. Se presentan frescos y oxidados de modo que en muchos casos resulta difícil distinguirlos de los minerales opacos.

La fracción de líticos metamórficos está compuesta predominantemente por cuarzo policristalino y representa entre el 15% y el 5% de los granos que componen la muestra. Es posible distinguir

clastos de cuarcita, con textura granoblástica, donde los individuos de cuarzo que los componen presentan extinción relámpago y ondulosa, son xenomórficos.

Plagioclasa:

Representan entre el 10% y el 15% de las muestras. Son individuos subangulosos, de hábito tabular. Son incoloras, con relieve bajo, y birrefringencia débil. Se encuentran frescas en todas las muestras.

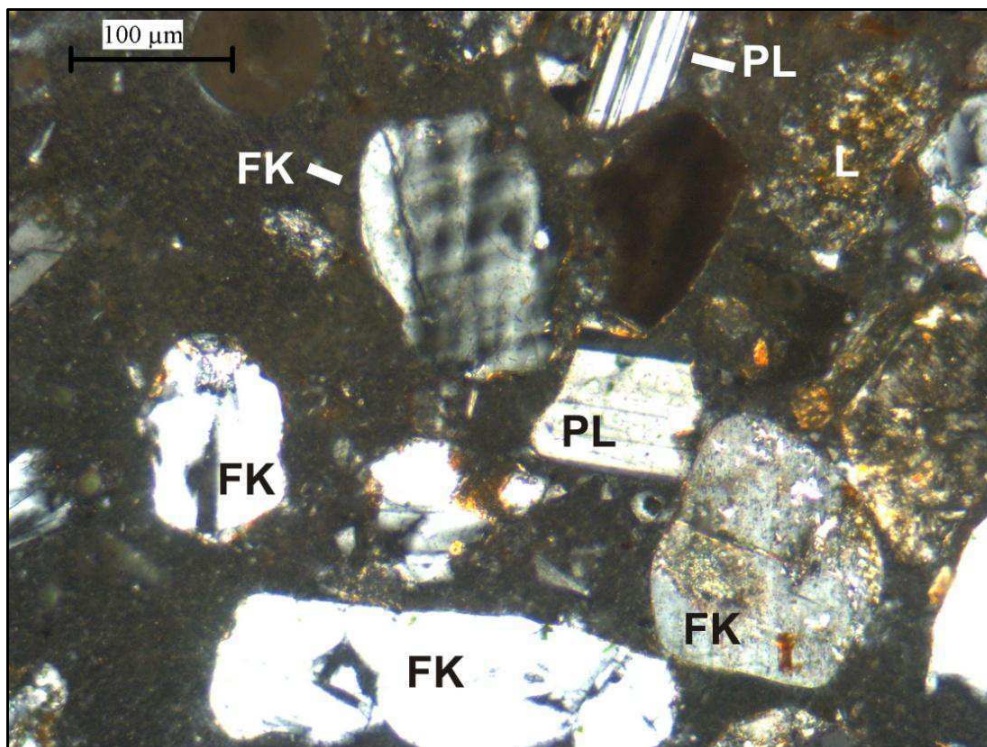


Foto 14. Corte petrográfico correspondiente a la muestra PM6 (Formación Punta Médanos). Se observan clastos de plagioclasa (PL), feldespato potásico (FK) y fragmentos líticos (L).

Feldespato potásico:

Es poco abundante, representando entre el 10% y el 5% de las muestras. Los individuos son tabulares a equigranulares y subredondeados. Presentan bajo relieve, birrefringencia débil, es posible observar el clivaje en algunos casos y se identificó también individuos con macla en arpillera. Se presentan frescos o con una leve alteración a arcillas.

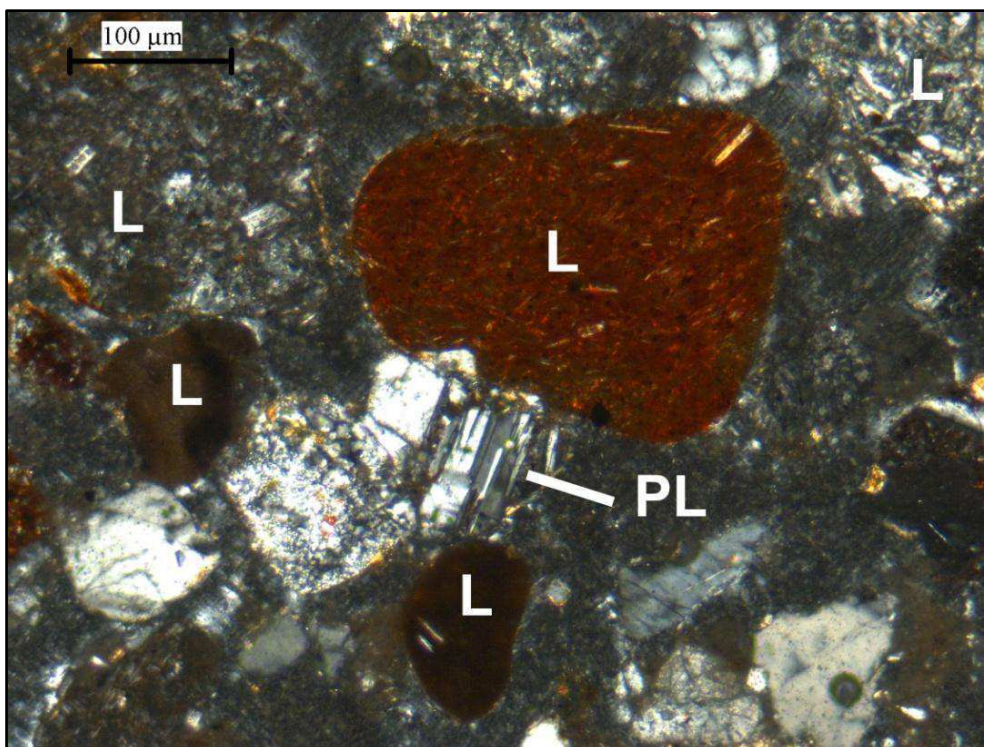


Figura 15. Corte petrográfico correspondiente a la muestra PM6 (Formación Punta Médanos). Se observan clastos de plagioclasa (PL) y fragmentos líticos volcánicos frescos y oxidados (L).

Cuarzo:

El cuarzo monocristalino representa entre el 10% y el 25% de las muestras. Los individuos se encuentran subredondeados a subangulosos. Los clastos son incoloros con bajo relieve y débil birrefringencia. Se observa extinción relámpago, paralela y ondulosa. En algunos clastos se observan inclusiones.

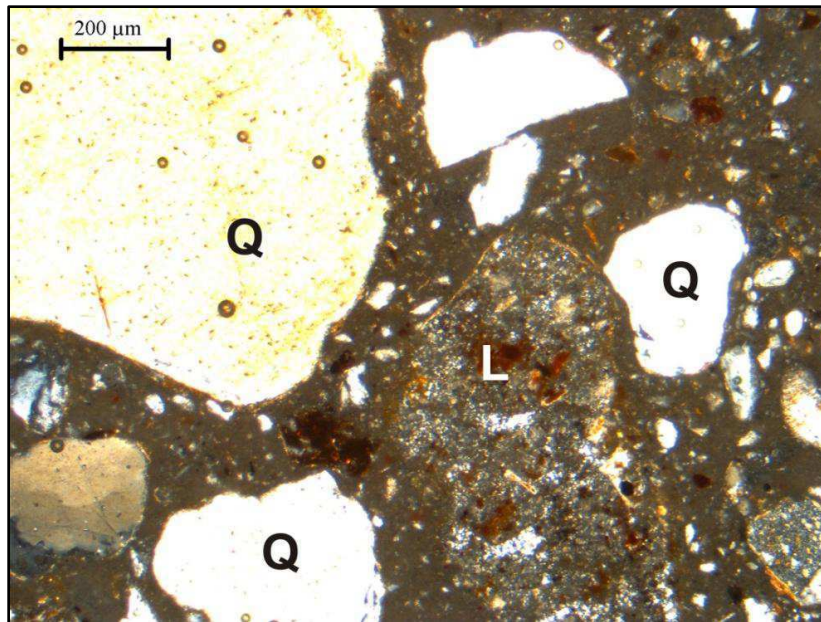


Figura 16. Corte petrográfico correspondiente a la muestra PM5 (Matriz del nivel gravoso). Se observan clastos de cuarzo (Q) y fragmentos líticos (L).

Componentes pesados

Piroxenos:

Conforman menos del 5% de los individuos presentes en las muestras y pertenecen a la variedad de clinopiroxenos (Augita). Los clastos son redondeados a subredondeados, con forma, habitualmente, ovoidal. Se presentan transparentes o levemente verdosos, con relieve muy alto y birrefringencia moderada a alta.

Anfíboles:

Se encuentran en una proporción muy baja, 1% de las muestras. La especie dominante es la hornblenda que presenta granos angulosos en colores verdes y castaños con pleocroísmo. Fue posible observar secciones basales.

Minerales Opacos:

Se presentan en proporciones inferiores al 10%. Los clastos son redondeados. La separación con imán del sedimento indica que existe una presencia importante de magnetitas.

Clasificación microscópica

Se presenta la composición mineralógica porcentual de las muestras obtenidas (Cuadro 6) y empleando la clasificación de Folk *et al.* (1970) corresponden a litoarenitas y litoarenitas feldespáticas (Figura 17).

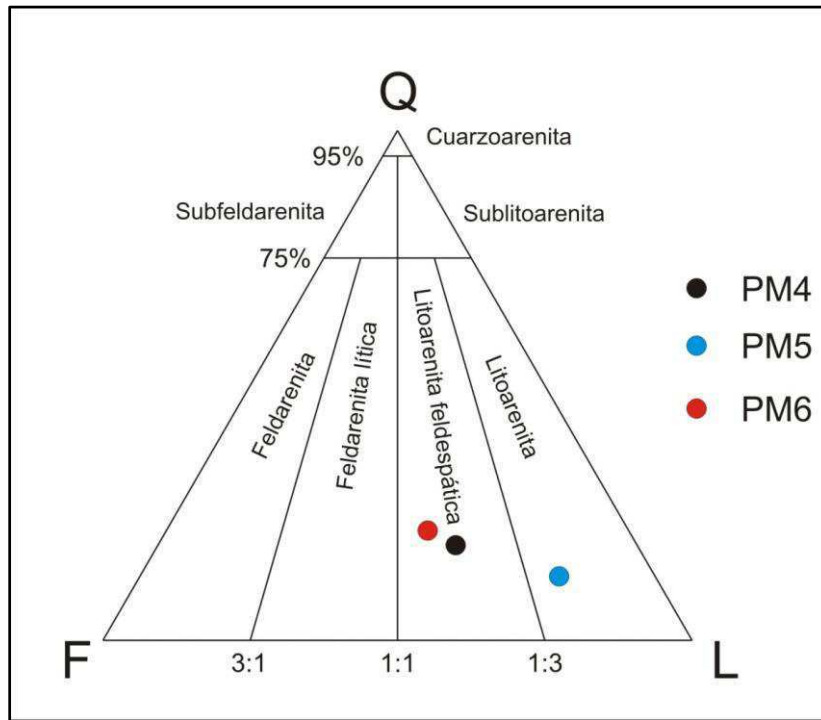


Figura 17. Clasificación de las muestras obtenidas utilizando el diagrama de Folk *et al.* (1970).
Q = cuarzo monocrystalino; F = feldespatos; L = líticos + cuarzo policristalino.

Muestra	PM4	PM5	PM6
Líticos volcánicos (%)	40	42	29
Líticos metamórficos (%)	8	14	13
Cuarzo (%)	21	14	23
Feldespato K (%)	8	6	10
Plagioclasa (%)	14	11	17
Piroxeno (%)	4	4	4
Anfíbol (%)	1	1	1
Opacos (%)	5	8	4
TOTAL	100	100	100

Cuadro 6. Composición mineralógica porcentual de las muestras.

Los análisis texturales de sedimento revelan la existencia de dos paquetes sedimentarios bien definidos que marcan un progresivo aumento de la energía eólica y, en menor medida fluvial,

en el ambiente. El paquete inferior está compuesto por bancos donde predomina la fracción limosa mientras que el paquete superior lo integran arenas finas con baja participación de limos y arcillas. Cabe remarcar que esta división en dos paquetes texturales responde a un criterio hidrogeológico ya que, como se verá más adelante, tiene influencia en la permeabilidad de los sedimentos.

Partiendo de los antecedentes estratigráficos expuestos en el capítulo 3 se asignó un nombre formacional a cada unidad geológica descrita en el perfil. El criterio empleado fue el de Schnack *et al.* (2005) por considerarse el más moderno e integrador además de que genera continuidad con los nombres formacionales de los afloramientos de la costa sur de provincia de Buenos Aires (Figura 18). Cabe señalar que, al carecer de dataciones precisas por fósiles u otros métodos, se utilizó la geología general del área y las relaciones estratigráficas entre los bancos para asignar los nombres formacionales.

Los Sedimentos Pampeanos, una vez determinados, constituyeron una excelente guía para la interpretación del resto del perfil. Inmediatamente por debajo de estos, siguiendo la estratigrafía general de la cuenca del Colorado, se identificó al Banco N° 1 con la Formación Arroyo Chasicó. La descripción macroscópica en afloramiento es coincidente con la presentada por Bonorino (1988) y, por la información proveniente de perforaciones, es conocido el amplio desarrollo que esta formación posee en el área.

Dentro del paquete inferior se consideró que los bancos N° 2 y N° 3 corresponden a los Sedimentos Pampeanos. Su descripción en afloramiento, características texturales, posición y relaciones estratigráficas (Bonorino, 1965; Schnack *et al.*, 2005) resultaron elementos diagnósticos.

Sin embargo existen diferencias entre el Banco N°2 y el Banco N° 3 como la ausencia de material carbonático en el Banco N° 3 y distribuciones granulométricas diferentes, bimodal y más fina para el Banco N° 2 (limo) y unimodal y más gruesa para el Banco N° 3 (arena muy fina). Estas diferencias, si bien señalan cambios en las condiciones ambientales de sedimentación, principalmente dominadas por un aumento de la energía eólica, no se consideran suficientes –al menos con la información disponible- como para suponer que se trata de dos formaciones distintas y, por tanto, se optó por considerar al paquete como Sedimentos Pampeanos.

El paquete sedimentario superior está compuesto predominantemente por arenas finas a medias con una composición mineralógica casi homogénea. Resulta muy sencillo suponer que el área

de aporte del sedimento fue siempre la misma y se mantuvo estable a lo largo del tiempo o que existió un proceso selectivo anterior (el mar) que trajo el material preseleccionado a la zona y luego éste fue re TRABAJADO por otros agentes.

El Banco N° 4 se interpretó como las facies eólicas de la Formación Pascua. Esta asignación está en coincidencia con lo propuesto por Schnack *et al.* (2005) para el área y coincide con las descripciones de Fidalgo *et al.* (1973). La Formación Pascua, siguiendo los esquemas de Schnack *et al.* (2005), puede estar intercalada o suprayacente a los Sedimentos Pampeanos – para el caso sería válida la segunda opción- con lo cual resulta coherente la relación estratigráfica entre estas formaciones.

Por último se consideró a los Bancos N° 5 y N° 6 como integrantes de la Formación Punta Médanos. El motivo principal para esta asociación fue la gran similitud textural y mineralógica que existe entre la matriz arenosa del Banco N° 5 y las arenas del Banco N° 6 que, de forma exclusiva, texturalmente posee una cola de gruesos. El nivel gravoso se encuentra en la base de las arenas y es considerado como una facie de interduna dentro de la formación. Probablemente un evento fluvial de cierto porte logró atravesar la barrera medanosa y dejó los depósitos gravosos que se ven pero no sería razón suficiente como para considerarlo parte de un ciclo sedimentario distinto ya que no parece mostrar una continuidad ni extensión areal considerables.

En resumen, el perfil comienza con los sedimentos continentales eólicos de tipo loess característicos del Mioceno superior de la cuenca del Colorado y luego se observa un progresivo cambio, quizás mediado por algún breve período erosivo o de hiato sedimentario, hacia un ambiente de mayor energía y características transicionales entre el continente y el mar. Lo más probable es que esto se deba a una variación en la línea de costa que fue migrando progresivamente hacia el interior del continente.

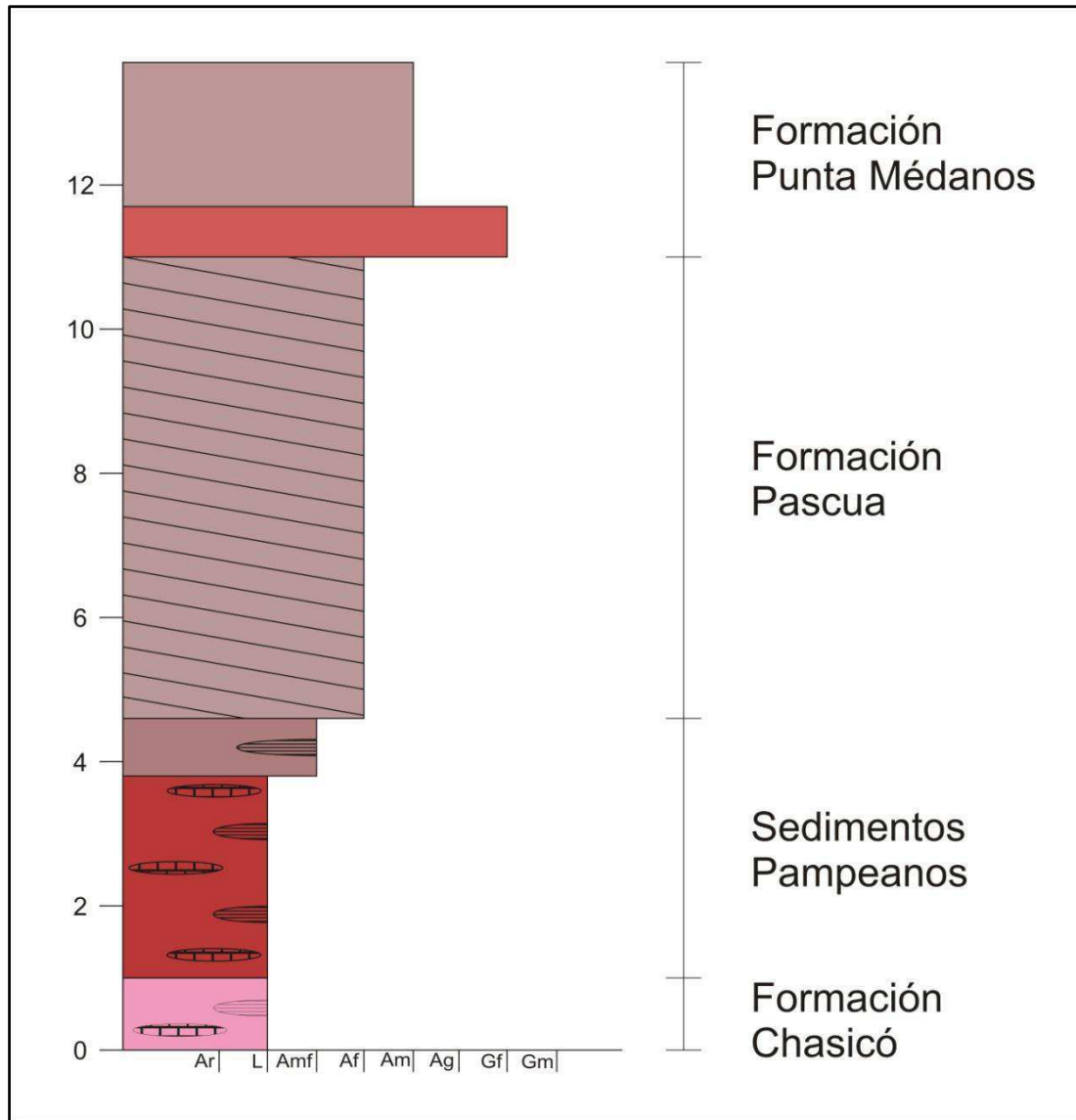


Figura 18. Esquema estratigráfico simplificado de la región interpretado siguiendo a Schnack *et al.* (2005); ver Anexo III.

4.3 - Variaciones laterales de los Sedimentos Postpampeanos

4.3.1 - Granulometría y características texturales de las muestras

De todo el paquete sedimentario son las arenas Postpampeanas (Formación Pascua y Formación Punta Médanos) las que poseen la mayor importancia hidrogeológica debido a su buena permeabilidad (ver capítulo 5) de modo que, en la medida que la logística de la campaña lo permitió, se procuró analizar la continuidad lateral de sus propiedades texturales y mineralógicas.

La misma secuencia postpampeana descrita en el perfil del acantilado fue observada en otros cortes de terreno aunque con notables variaciones en la potencia de los bancos. Los mismos mostraron mayores espesores que los informados en el acantilado, hecho que permite suponer una profundización de la cuenca.

Se tomaron dos muestras, la PM7 y la PM8, que pueden considerarse, en base a sus relaciones estratigráficas, como equivalentes laterales del Banco N° 4 del acantilado (Formación Pascua) ya que se encontraban inmediatamente por debajo del Banco N° 5, es decir, el nivel gravoso o la facie de interduna de la Formación Punta Médanos (Figura 19).

La muestra PM 7 fue obtenida en el destape de una obra vial a pocos kilómetros de la costa y la muestra PM8 se recolectó en otro destape más hacia el interior del continente. Los destapes de la ruta no llegaron a exponer los niveles del pampeano.



Figura 19. Destape de donde se tomó la muestra PM7. Se observa el nivel gravoso y por debajo las arenas de a Formación Pascua.



Figura 20. Ubicación geográfica de las muestras PM7 y PM8.

Muestra PM7

Consiste en una arena fina a muy fina castaña clara con un bajo grado de consolidación. Por sectores presenta una tenue estratificación paralela. Clasifica como una arena fina.

Muestra PM8

Macroscópicamente se presenta como una arena fina a muy fina castaña clara con presencia de clastos de grava. El tamizado permitió clasificarla como una arena media a fina con una cola de gruesos.

Muestra	Clasificación	D₁₀ (mm)	Cu	Cc	Selección
PM7	Arena fina	0,090	1,944	1,262	0,0655
PM8	Arena media a fina	0,119	3,866	1,293	0,5546

Cuadro 7. Resumen de propiedades granulométrica de las muestras PM7 y PM8 provenientes de variaciones laterales de la Formación Pascua.

4.3.2 - Análisis mineralógico

Los componentes más abundantes presentes en las muestras PM7 y PM8 fueron nuevamente los fragmentos líticos, los feldespatos y el cuarzo. Sin embargo estas muestras mostraron dos características que las diferencian del paquete anterior: por un lado la casi ausencia de minerales pesados y por otro la presencia de arcillas de iluviación rodeando a los clastos, elemento diagnóstico de los horizontes edáficos.

Componentes livianos

Fragmentos Líticos:

Representan entre el 60% y el 40% de los componentes en las muestras. Los granos se presentan subredondeados, y la mayoría son equigranulares. Proviene, en orden de importancia, de rocas volcánicas y metamórficas.

Los líticos volcánicos representan desde el 30% la muestra y porcentajes superiores, su textura es pilotáctica afieltrada y pilotáctica fluidal.

La fracción de líticos metamórficos está compuesta predominantemente por cuarzo policristalino y representa entre el 15% y el 5% de los granos que componen la muestra.

Plagioclasas:

Son individuos redondeados a subredondeados, de hábito tabular. Son incoloras, con relieve bajo, y birrefringencia débil. Se encuentran frescas en todas las muestras.

Feldespato potásico:

Los individuos son tabulares, redondeados a subredondeados, y pertenecen a la variedad Microclino y, en menor medida, Ortosa. Presentan bajo relieve, birrefringencia débil, es posible observar el clivaje en algunos casos y se identificó también individuos con macla en arpillera. En las muestras PM7 presentan un grado de alteración a arcillas más avanzado y en la muestra PM8 la alteración es muy avanzada y apenas se distingue la forma original del cristal.

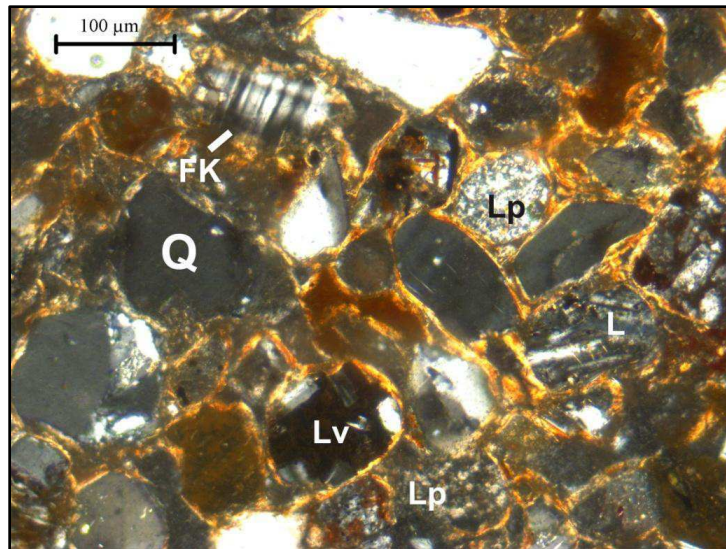


Figura 21. Corte petrográfico correspondiente a la muestra PM7 (Formación Pascua). Se observan clastos de cuarzo (Q), líticos volcánicos (Lv) y líticos metamórficos (Lp). Los granos se encuentran recubiertos de arcillas de iluviación.

Cuarzo:

El cuarzo monocristalino representa entre el 20% y el 30% de las muestras. Los individuos se encuentran subredondeados a subangulosos. Los clastos son incoloros con bajo relieve y débil birrefringencia. Se observa extinción relámpago, paralela y ondulosa. En algunos clastos se observan inclusiones.

Componentes pesados

Piroxenos:

Pertenecen a la variedad de clinopiroxenos. Los clastos son redondeados a subredondeados, con forma, habitualmente, ovoidal. Se presentan incoloros o levemente verdosos, con relieve muy alto y birrefringencia moderada a alta. Ausentes en muestra PM8.

Anfíboles:

La especie dominante es la hornblenda que presenta granos angulosos en colores verdes y castaños con pleocroísmo. Fue posible observar secciones basales con clivaje típico de bajo ángulo. Ausentes en muestra PM8.

Opacos:

Se presentan en proporciones inferiores al 5%. Los clastos son redondeados. La separación con imán del sedimento indica que existe una presencia importante de magnetitas.

Clasificación microscópica

Se presenta la composición mineralógica porcentual de las muestras obtenidas (Cuadro 8) y empleando la clasificación de Folk *et al.* (1970) corresponden a litoarenitas y litoarenitas feldespáticas (figura 22).

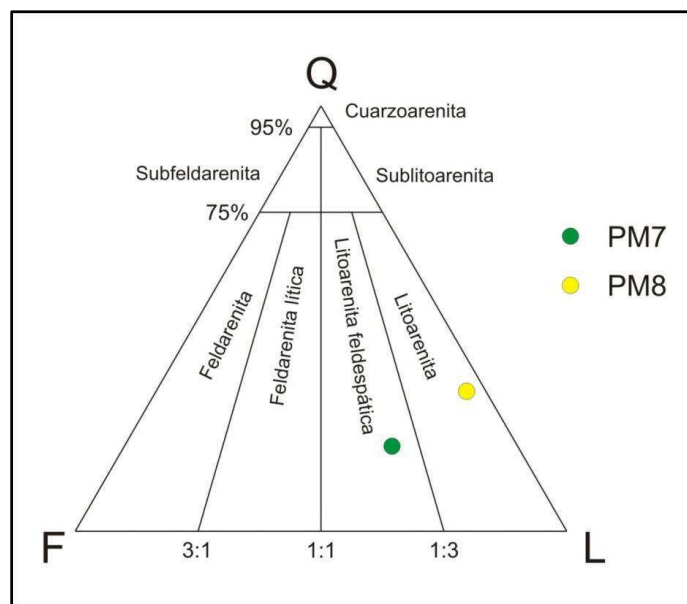


Figura 22. Clasificación de las muestras obtenidas utilizando el diagrama de Folk *et al.* (1970).
Q = cuarzo monocrystalino; F = feldespatos; L = líticos + cuarzo policristalino.

Muestra	PM7	PM8
Líticos volcánicos (%)	31	31
Líticos metamórficos (%)	17	29
Cuarzo (%)	22	33
Feldespato K (%)	7	2
Plagioclasea (%)	15	2
Píroxeno (%)	4	-
Anfíbol (%)	1	-
Opacos (%)	4	2
TOTAL	100	100

Cuadro 8. Composición mineralógica porcentual de las muestras.

Tanto los análisis texturales de sedimento como el análisis mineralógico indican una fuerte correspondencia entre las muestras obtenidas en destape de obra y las recolectadas en el acantilado. Las diferencias halladas se explican como producto de procesos locales de edafización que alteran los minerales y, en menor medida, su textura aunque sin llegar a enmascarar completamente su composición original y por espacio de pocos metros.

El diámetro de Hazen (D_{10}), que es el parámetro utilizado para estimar propiedades hidráulicas, posee menos de un 15% de dispersión entre las muestras y la composición de todas ellas supera el 95% de arena. La única excepción la constituye la muestra PM8 tomada en un destape de ruta, sin embargo, al pertenecer a un horizonte edafizado puede considerarse relativamente excepcional en cuanto que su granulometría original se ve afectada por procesos de pedogénesis. Es posible afirmar que las arenas de Formación Pascua poseen continuidad lateral de sus propiedades mecánicas hacia el interior del continente.

Respecto de la continuidad textural y mineralógica de la Formación Punta Médanos los trabajos de Mauriño (1956) y Teruggi (1959) resultan esclarecedores. El muestreo realizado abarca la totalidad de la costa sur bonaerense, desde Bahía Blanca hasta San Clemente del Tuyú, a intervalos aproximados de 5 km y tomando muestras de sedimento de la playa y la barrera de médanos.

Según Teruggi (1959) las arenas del litoral están compuestas por una asociación uniforme y poco variable de minerales que se mantiene incluso en los ciclos sedimentarios anteriores al actual. La composición dominante incluye fragmentos líticos volcánicos, cuarzo, plagioclasas y feldespatos potásicos en menor medida.

Desde el punto de vista textural los porcentajes de las diferentes fracciones granulométricas muestran una dispersión inferior al 30% y en particular el diámetro de Hazen (D_{10}) posee una dispersión inferior al 15% respecto del valor medio de 0,15 mm.

La homogeneidad mineralógica y textural de las arenas permite inferir la existencia de procesos sedimentarios de escala regional (grandes extensiones de la costa atlántica) y constantes a lo largo del tiempo. Esta conclusión sustenta la hipótesis de una continuidad espacial de las propiedades del sedimento como portador de agua. Es esperable que parámetros como la porosidad efectiva y la permeabilidad, dependientes de la textura, no muestren gran variación en el acuífero y que la composición química de las aguas, al menos en lo que a la relación agua-roca se refiere, permanezca también invariante.

4.4 - Geometría de la cuenca

Con el objetivo de determinar la geometría de las unidades que albergan el acuífero libre o semilibre, se incorporó a la información obtenida en el campo una batería de 11 perforaciones, algunas de archivo y otras inéditas, que permitieron generar una visión global de la cuenca.

Es importante señalar que estas perforaciones provienen de fuentes muy dispares que, en algunos casos, presentan descripciones imprecisas de modo que el modelo geométrico propuesto contiene algún margen de error. Aun así se considera válido en términos generales ya que fue refrendado de manera independiente por la información geoeléctrica.

El archivo de perforaciones cuenta con:

- 6 pozos profundos realizados por la DNGM (1965).
- 1 perforación de 200m producto de la actividad comercial en Bahía Blanca.
- 1 pozo de 65 m realizado por el SPARR en la ciudad de Pehuén-co.
- 2 pozos de explotación en la BIM Baterías realizados por el INA.
- 1 perforación exploratoria somera (6 m) realizada por el INA.

Las características generales de las perforaciones se pueden ver en el Cuadro 9:

Nombre	Latitud	Longitud	Perforista	Profundidad final (mbbp)
Baterías 2	38° 56' 17,88" S	61° 57' 38,88" O	DNGM (1965)	1274
Col. Doble 20	38° 51' 39,60" S	62° 05' 50,28" O	DNGM (1965)	1008
Doufourq 23	38° 53' 37,32" S	62° 04' 23,88" O	DNGM (1965)	977
Esc. Tel. 21	38° 53' 13,92" S	62° 05' 47,04" O	DNGM (1965)	1012
P. Belgrano	38° 53' 22,92" S	62° 05' 51,00" O	DNGM (1965)	815
Polvorín 24	38° 50' 36,60" S	62° 06' 09,72" O	DNGM (1965)	870
CCP-1	38° 44' 50,30" S	62° 12' 23,00" O	CCDrill	212
Ruta	38° 56' 56,20" S	61° 56' 02,30" O	INA	20
Jardín	38° 57' 01,10" S	61° 55' 59,90" O	INA	18
Galerías	38° 51' 45,36" S	62° 05' 45,29" O	INA	6
Pehuén - co	38° 59' 25,00" S	61° 33' 20,10" O	SPARR	65

Cuadro 9. Resumen de perforaciones en el área de estudio.

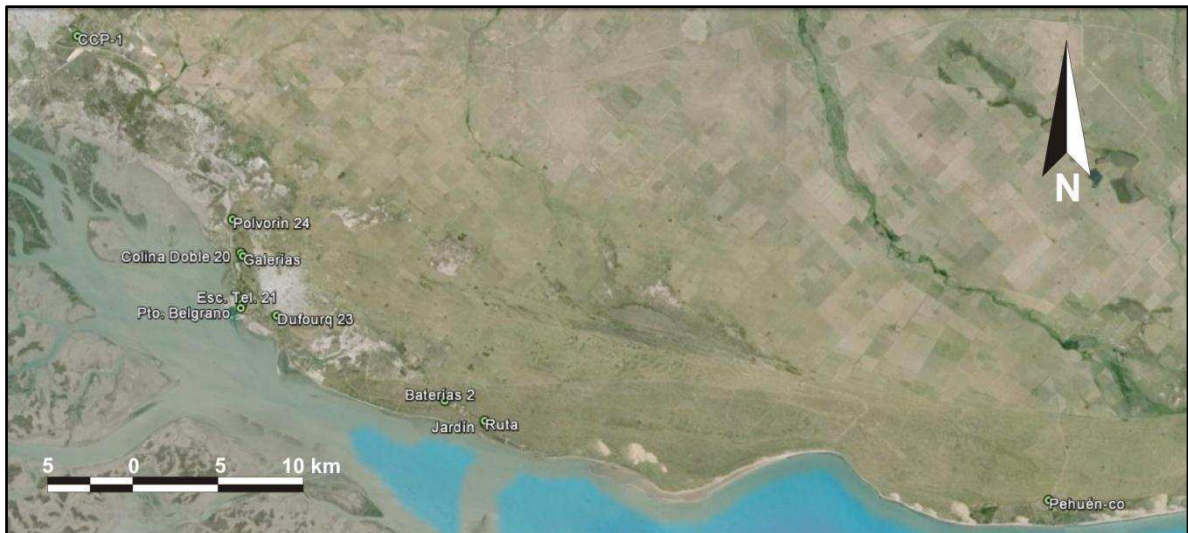


Figura 23. Ubicación de las perforaciones.

Las observaciones realizadas en el acantilado de Pehuén-co permitieron definir un esquema estratigráfico general para la cuenca que luego pudo ser ampliado en base a la información de los pozos. En el acantilado fue posible definir con claridad un contacto entre lo que podría ser la Formación Arroyo Chasicó y los Sedimentos Pampeanos y, por encima de estos, el desarrollo de una secuencia Postpampeana predominantemente arenosa que contiene al acuífero libre de Punta Médanos (Formación Pascua y Formación Punta Médanos principalmente).

Hacia el oeste las perforaciones “Ruta” y “Jardín” realizadas por el INA atraviesan secuencias arenosas de granulometría variable sin alcanzar nunca un contacto con los sedimentos pampeanos. En virtud de las diferencias granulométricas observadas entre la arenas se estableció un “contacto” entre la Formación Pascua y la Formación Punta Médanos que debe considerarse como una mera sugerencia ya que no se cuenta con suficiente información como para establecer una diferencia tan sutil.

El pozo Baterías 2 de la DNGM alcanza, a los 30,00 mbbp, un contacto entre las arenas postpampeanas y sedimentos limosos asignables al loess pampeano y, por último, las perforaciones realizadas desde la ciudad de Punta Alta hacia el oeste indican, desde los primeros metros, que los bancos arenosos postpampeanos y la propia Formación Punta Médanos se encuentran ausentes. El esquema sedimentario de las perforaciones fue referido a cota y se confeccionó una sección transversal de la cuenca que puede verse en el Anexo III y, en versión reducida, en la figura 24.

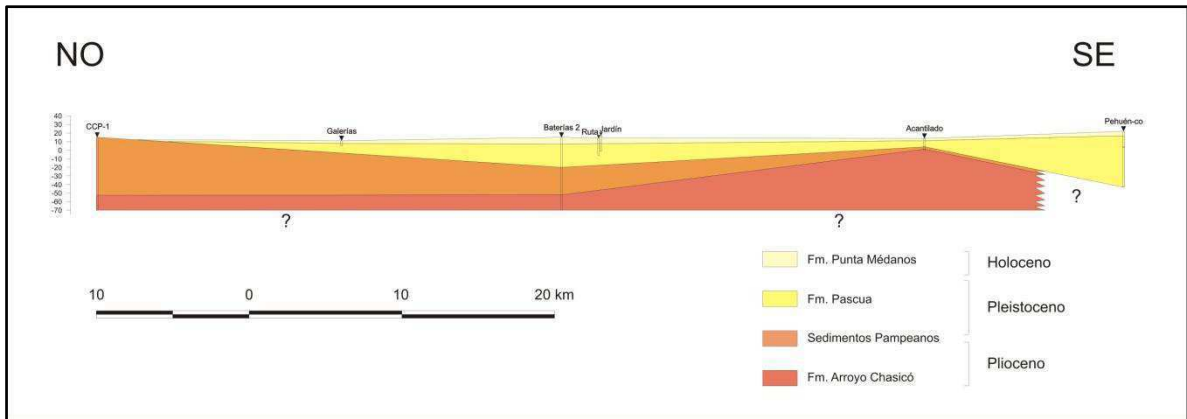


Figura 24. Sección de la cuenca en base a información de pozos (ver Anexo III).

La disposición de los perfiles a modo de transecta NO-SE y las relaciones señaladas entre unidades geológicas permiten inferir un aumento en la potencia de las arenas postpampeanas hacia el sector central de la cuenca.

Parece factible pensar que los altos de sedimentación pampeana observados a oriente y occidente representan relictos de erosión de un paleorelieve fluvial previo a la existencia de la barrera de médanos costeros cuando los ríos drenaban libremente en el mar. La dirección de escurrimiento del Río Napostá Chico, en sentido Norte – Sur y ubicado al oeste del acantilado podría soportar esta conclusión.

Una vez finalizado este hiato sedimentario probablemente un aumento del nivel del mar haya sido responsable de la depositación de las arenas postpampeanas que, en la actualidad, impiden el drenaje de los ríos y dan lugar a planicies de inundación colgadas y cuerpos lagunares.

Capítulo 5

Hidrogeología del área de estudio

5.1 - Balance hídrico

5.1.1 - Balance hídrico por método de Thornthwaite

Para realizar el balance hídrico se tomaron datos de la estación Bahía Blanca del Servicio meteorológico Nacional (SMN) pertenecientes a la serie 2004 – 2014.

La evapotranspiración potencial (ETP) y real (ETR) se calcularon con el método de Thornthwaite (1948) que parte de la temperatura diaria media mensual (t) y calcula un índice de calor anual (I) con la sumatoria de los índices de calor mensuales:

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{t_i}{5} \right)^{1,514}$$

La ETP diaria (ε) se calcula con la expresión:

$$\varepsilon = 16 \cdot \left(\frac{10t}{I} \right)^a$$

Donde

$$a = 0,49239 + (1,792 \cdot 10^{-2})I - (7,71 \cdot 10^{-5})I^2 + (6,751 \cdot 10^{-7})I^3$$

Por último, para obtener la ETP mensual se aplica una corrección a la ETP diaria (ε) teniendo en cuenta la cantidad de días de sol al mes y las horas de insolación:

$$ETP = K \cdot \varepsilon$$

Siendo

$$K = \frac{N}{12} \cdot \frac{d}{30}$$

Donde

- N = número máximo de horas de sol según la latitud
- d = días del mes

Se consideró una reserva superficial o capacidad de campo equivalente a 24 mm en base al trabajo del U.S. Geological Survey Water Supply (1967).

La ETR se calculó por método de balance hídrico directo propuesto por Thornthwaite (1948) y en base a ella se estimaron los excedentes (*e*) y déficits (*d*) hídricos del ambiente.

Los resultados obtenidos para la región se vuelcan en la Cuadro 10:

	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio
T Media (°C)	7,6	9,2	12,0	15,1	18,9	22,1	24,0	22,1	19,3	15,1	10,9	8,3
PPT (mm)	46,0	22,3	44,8	70,5	54,1	67,9	51,3	84,1	70,4	54,8	20,6	15,6
ETP (mm)	12,9	19,7	35,9	48,1	79,9	107,2	123,6	92,2	69,6	43,9	24,6	15,7
Reserva (mm)	24,0	24,0	24,0	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	11,7	7,6	7,6
ETR (mm/mes)	12,9	19,7	35,9	48,1	78,1	67,9	51,3	84,1	69,6	43,9	24,6	15,7
Déficit	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	39,4	72,3	8,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Excedente	16,7	2,6	8,9	22,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Cuadro 10. Balance hídrico del Acuífero Punta Médanos por método de Thornthwaite (1948).

La obtención de parámetros anuales permitió calcular los índices de humedad (I_h), aridez (I_a) y el índice de humedad característico del área (I_m) sobre el cual se realiza la clasificación climática:

$$I_h = \frac{100 \cdot e}{ETP}$$

$$I_a = \frac{100 \cdot d}{ETP}$$

$$I_m = I_h - 0,6 \cdot I_a$$

Donde:

- e = Excedente anual
- d = Déficit anual

Los resultados se encuentran en la Cuadro 11:

Parámetro	Valor
T Media (°C)	15,4
PPT anual media (mm)	602,4
ETP anual media (mm)	673,2
ETR anual media (mm)	551,7
Déficit anual (mm)	121,5
Excedente anual (mm)	50,6
I_h	7,5
I_a	18,0
I_m	-3,3

Cuadro 11. Parámetros anuales del Acuífero Punta Médanos según Thornthwaite (1948).

Siendo $-20 < I_m < 0$, la región queda clasificada, siguiendo a Thornthwaite (1948), como subhúmeda seca (Categoría C.1).

En la Figura 25 se pueden apreciar los meses de déficit y excedente observando la curva verde ETR. El mes de Noviembre muestra una pequeña resiliencia del sistema debido al consumo total de la capacidad de campo.

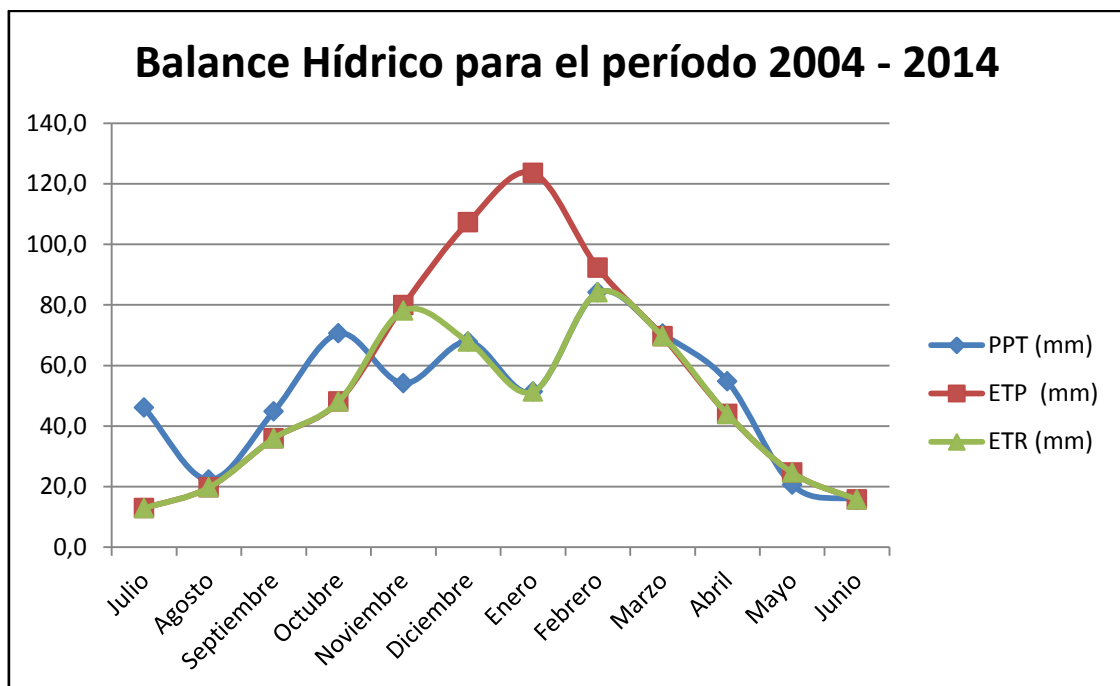


Figura 25. Balance hídrico con PPT, ETP y ETR.

5.1.2 - Cálculo de ETR e infiltración anual por Turc

Otra forma de calcular al ETR anual es por medio de la expresión de Turc-Coutagne (1961) que resulta útil cuando sólo se dispone de datos de precipitación y temperatura como es el caso:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Siendo:

$$L = 300 + 25t + 0,05t^3$$

Donde:

- $P = \text{precipitación anual}$
- $t = \text{temperatura media anual}$

Se realizó el cálculo de ETR anual para la serie que va de 2004 a 2014, luego se obtuvo el parámetro de infiltración anual para cada año con la expresión:

$$\frac{PPT_{\text{anual}} - ETR_{\text{anual}}}{PPT_{\text{Anual}}} \cdot 100 = I$$

Cabe señalar que la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración anuales no son indicativas de la infiltración sino del excedente hídrico. Sin embargo dado que las imágenes satelitales y la carta topográfica del IGN no señalan la presencia de ningún curso de agua, ni permanente ni temporario, dentro de la barrera de médanos y teniendo en cuenta la alta permeabilidad de las arenas de la Formación Punta Médanos se asume, para este caso, que la escorrentía superficial, ya sea laminar o encauzada, es despreciable. Por lo tanto, es acertado asumir que el excedente hídrico dentro de la barrera de médanos se transforma en infiltración directa.

Esta presunción suele ser cierta para ambientes áridos a semiáridos con suelo permeable ya que las lluvias intensas se concentran en breves períodos de tiempo (horas o pocos días), el suelo se satura rápidamente y se produce la infiltración.

Los resultados se muestran en la Cuadro 12:

Año	T Media anual (°C)	PPT anual (mm)	ETR anual (mm)	Infiltración anual (%PPT)
2004	15,5	946,9	656,8	30,6
2005	15,0	535,4	468,8	12,4
2006	15,5	553	484,9	12,3
2007	14,4	666	530,0	20,4
2008	15,9	375,4	362,3	3,5
2009	16,1	470,5	435,4	7,5
2010	15,1	562,4	485,9	13,6
2011	15,4	593,8	507,4	14,5
2012	15,6	526,8	469,4	10,9
2013	15,6	547,9	483,2	11,8
2014	15,3	848,1	619,8	26,9
Promedio para la serie 2004 - 2014	15,4	602,4	500,4	15,0

Cuadro 12. ETR e Infiltración anuales calculadas por método de Turc.

5.1.3 - Cálculo de infiltración por Goldschmidt

Se calculó también la infiltración potencial por método de Goldschmidt (1958) según el cual:

$$I = \alpha(Ppa - Ppc)$$

Donde:

I: Infiltración en mm/año

α : Coeficiente adimensional de la región entre 0,78-0,87

Ppa: Precipitación media anual en mm

Ppc: Precipitación característica de la región (Promedio de todas las series en mm).

La Cuadro 13 muestra los resultados para la serie temporal de 10 años 2004 – 2014 considerando un coeficiente de cuenca $\alpha = 0,87$.

La infiltración media anual, considerando sólo los años positivos (con precipitaciones superiores a la característica) da un valor de 51,7 mm/año lo que representa un 8,6 % de la precipitación anual.

Los valores de infiltración obtenidos por los métodos de Thornthwaite, Goldschmidt y Turcse hallan resumidos en la Cuadro 14. La correlación entre los dos primeros es casi perfecta,

rondando el 8% de la precipitación anual, mientras que el método de Turc sugiere una infiltración sensiblemente superior del 15%.

Año	PPT anual (mm)	Infiltración (mm)	I media año+ (mm)
2004	946,9	299,7	299,7
2005	535,4	-58,3	0,0
2006	553	-43,0	0,0
2007	666	55,3	55,3
2008	375,4	-197,5	0,0
2009	470,5	-114,7	0,0
2010	562,4	-34,8	0,0
2011	593,8	-7,5	0,0
2012	526,8	-65,8	0,0
2013	547,9	-47,4	0,0
2014	848,1	213,8	213,8
Media	602,4	-	51,7

Cuadro 13. Infiltración por método de Goldschmidt (1958).

Esta diferencia es producto del promedio de la serie anual considerada donde se registraron precipitaciones excepcionales muy superiores a la media de la región. Es correcto suponer entonces que al aumentar la serie temporal la infiltración por Turc tenderá a disminuir aproximándose a la infiltración obtenida por los otros dos métodos.

En todo caso también es válido considerar la variación de la infiltración dentro de un rango de valores según el período considerado sea de mayores o menores lluvias; así la infiltración rondaría el 8% para períodos más secos (cálculo conservador) y estaría más cerca del 15% para períodos húmedos.

Infiltración Thornthwaite (%PPT)	8,4
Infiltración Goldschmidt (%PPT)	8,6
Infiltración Turc (%PPT)	15,0

Cuadro 14. Valores de infiltración anual en %PPT según diferentes métodos.

Según la bibliografía se han registrado valores de infiltración de entre el 6 y 11% para la región sudeste y centro de la *Provincia* de Buenos Aires sobre suelos pampeanos (Santa Cruz & Silva Busso, 1996; Weinzettel & Usunoff, 2000; Silva Busso *et al.*, 2004), por tanto la infiltración

calculada para este sector resulta coherente con las observaciones de otros autores en zonas aledañas.

5.2 - Prospección geoeléctrica

El Instituto Nacional del Agua (INA) realizó dos campañas de prospección geoeléctrica de aguas en el marco del Convenio INA-BNPB; la primera se llevó a cabo en el año 2008 y tuvo por finalidad orientar dos perforaciones de abastecimiento para la base de infantería de marina Baterías mientras que la segunda campaña, en el 2011, con una motivación más científica, tuvo una escala más regional y buscó dar con el techo del Sistema Hidrotermal Profundo de Bahía Blanca (SHP; Bonorino, 1988).

Para ambas campañas se utilizó el método de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) con tendido Schlumberger simétrico. En este estudio se reinterpretó la totalidad de los datos de la campaña 2008 y los niveles superficiales de la campaña 2011 dado que el objetivo es el acuífero costero.

La prospección somera del año 2008 constó de un total de 16 SEV ordenados en dos transectas aproximadamente perpendiculares a la línea de costa. El objetivo principal fue determinar el límite entre el agua dulce continental y el agua salada producto de la cuña marina. La ubicación de los SEV se muestra en la Figura 26 y el Cuadro 15 resume las coordenadas y cotas:

SEV N°	Latitud	Longitud	Cota (msnm)
3	38° 56' 16,77" S	61° 55' 54,93" O	9
4	38° 56' 30,99" S	61° 55' 54,90" O	9
5	38° 56' 43,88" S	61° 55' 57,52" O	10
6	38° 57' 04,09" S	61° 56' 10,21" O	7
7	38° 57' 09,05" S	61° 56' 15,61" O	7
8	38° 57' 14,95" S	61° 56' 17,19" O	4
9	38° 55' 31,32" S	61° 57' 10,28" O	8
10	38° 56' 54,20" S	61° 57' 37,59" O	4
11	38° 56' 37,36" S	61° 57' 41,72" O	7
12	38° 56' 23,98" S	61° 57' 41,41" O	10
13	38° 56' 15,10" S	61° 57' 35,39" O	9
14	38° 56' 03,51" S	61° 57' 29,40" O	10
15	38° 55' 51,45" S	61° 57' 22,71" O	15
16	38° 55' 39,84" S	61° 57' 16,30" O	9

Cuadro 15. Coordenadas y cota de los SEV de la campaña 2008.

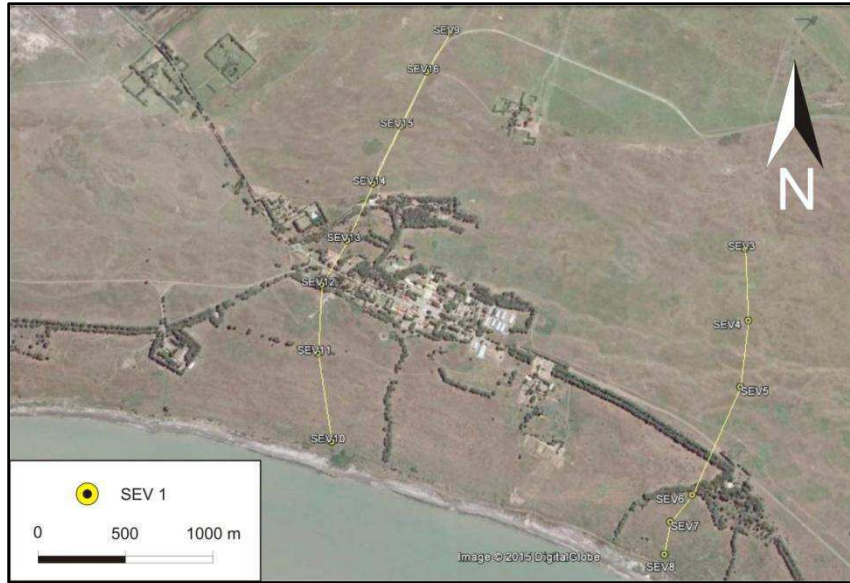


Figura 26. Cortes geoeléctricos de terreno

Por otra parte, la campaña de prospección profunda del año 2011 tuvo como objetivo alumbrar los niveles acuíferos más profundos y dar con el techo del SHP de Bahía Blanca. Se realizaron en total 21 SEV organizados en 5 transectas, dos de ellas paralelas a la línea de costa y otras tres perpendiculares que trascendieron el límite norte de la faja de médanos y se adentraron en los sedimentos pampeanos. La ubicación de los SEV se muestra en la Figura 27 y el Cuadro 16 resume las coordenadas y cotas:

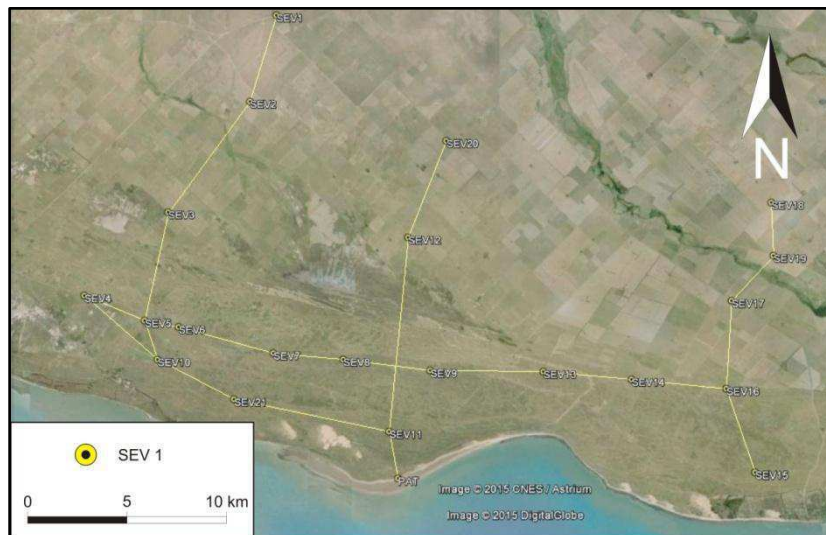


Figura 27. Cortes geoeléctricos de terreno. Campaña de prospección profunda 2011.

SEV N°	Latitud	Longitud	Cota (msnm)
1	38° 46' 19,79" S	61° 51' 54,65" O	79
2	38° 48' 45,36" S	61° 52' 48,70" O	63
3	38° 51' 50,06" S	61° 55' 39,30" O	28
4	38° 54' 07,56" S	61° 58' 33,79" O	12
5	38° 54' 48,87" S	61° 56' 24,98" O	9
6	38° 54' 59,49" S	61° 55' 13,01" O	10
7	38° 55' 42,36" S	61° 51' 52,00" O	12
8	38° 55' 52,96" S	61° 49' 24,34" O	15
9	38° 56' 10,96" S	61° 46' 21,16" O	19
10	38° 55' 52,82" S	61° 55' 56,06" O	12
11	38° 57' 50,17" S	61° 47' 46,76" O	9
12	38° 52' 32,36" S	61° 47' 09,23" O	40
13	38° 56' 12,82" S	61° 42' 23,11" O	34
14	38° 56' 25,33" S	61° 39' 17,31" O	35
15	38° 58' 55,65" S	61° 34' 59,53" O	18
16	38° 56' 40,13" S	61° 35' 58,22" O	31
17	38° 54' 16,39" S	61° 35' 45,18" O	32
18	38° 51' 34,08" S	61° 34' 18,60" O	45
19	38° 53' 02,09" S	61° 34' 15,34" O	38
20	38° 49' 51,84" S	61° 45' 49,16" O	63
21	38° 56' 57,66" S	61° 53' 13,60" O	8

Cuadro 16. Coordenadas y cota de los SEV de la campaña 2011.

La información generada por ambas campañas fue incluida en un único modelo interpretativo. Se estableció una división entre los datos referidos a los primeros 50 m y aquellos que alcanzan los 1000 m de profundidad para poder distinguir, eliminando los problemas de visualización que genera la escala, el acuífero freático de los niveles más profundos.

5.2.1 - Interpretación de la geoelectrica somera

Los datos geoelectricos crudos obtenidos por el INA fueron completamente reinterpretados en este trabajo a los fines de investigar el acuífero de Punta Médanos.

El primer nivel de análisis de los datos geoelectricos se hizo en función a los ciclos logarítmicos a los que pertenecen las resistividades verdaderas calculadas y fue posible distinguir cuatro horizontes resistivos en función de su orden de magnitud.

- Horizonte resistivo A: Es el horizonte resistivo más superficial. Sus resistividades son mayores a los 1000 Ω .m con una resistividad media de 1798 Ω .m. Posee muy poca potencia, en general inferior al metro, y no siempre está presente.
- Horizonte resistivo B: Las resistividades de este horizonte están entre 1000 y 100 Ω .m con una resistividad media de 392 Ω .m. Está presente en todos los SEV y tiene espesores más importantes que el horizonte A que rondan los 4 m.
- Horizonte resistivo C: Este horizonte tiene un desarrollo muy variable con espesores mínimos del orden del metro y espesores máximos de 20 m. La resistividad se encuentra entre los 100 y los 30 Ω .m con un valor promedio de 62 Ω .m. Presente en todos los SEVs.
- Horizonte resistivo D: Este horizonte aparece en los SEV N° 1, 2, 3, 12, 13, 14, 18 y 21, siempre por debajo del horizonte C. Tiene un desarrollo variable con espesores de un metro y espesores máximos de 20 m. La resistividad se encuentra entre los 20 y los 10 Ω .m con una media de 16 Ω .m.
- Horizonte resistivo E: Corresponde a la capa más profunda con resistividades inferiores a los 10 Ω .m. Se extiende hacia el subsuelo a grandes profundidades como se puede ver en la campaña 2011. A partir de este horizonte los contrastes geoelectrónicos más profundos disminuyen considerablemente y se pierde definición del subsuelo.

Luego se incorporó la información geológica previamente mencionada en este trabajo y se hizo un estudio más detallado teniendo en cuenta las resistividades medias de cada horizonte. El resultado final fueron seis grupos resistivos que representan una unidad de situación hidrogeológica; su descripción se encuentra resumida en el Cuadro 17:

- Grupo I: Está compuesto por los horizontes resistivos A y B y representa a la Zona No Saturada del acuífero (ZNS). El horizonte A puede asociarse, debido a sus altos valores de resistividad, a los suelos con escasa humedad. El horizonte B por otra parte estaría más asociado a las arenas de formación Punta Médanos. El espesor medio de este grupo ronda los 4 m pudiendo alcanzar, en algunos SEV, profundidades mayores a los 8 m.

- Grupo II: Lo integran los horizontes resistivos C y E en algunos casos. Este grupo representa al acuífero alojado en las arenas de la barrera de médanos costeros y se caracteriza por tener una resistividad media de 62 $\Omega.m$. El horizonte C es indicativo de agua dulce alojada en las arenas (Grupo II.a) mientras que las resistividades típicas del horizonte E, menores a 10 $\Omega.m$, indican la presencia de la interfase salina en el acuífero (Grupo II.b) y se ubican preferencialmente cercanas a la costa. El Grupo II.a recibió especial atención y se confeccionaron los mapas de iso-resistividad, isopacas e isoprofundidad de su base por tratarse del principal acuífero.
- Grupo III: Es coincidente con el horizonte resistivo D y representa estratos limo-arcillosos saturados con importante presencia de carbonatos. El horizonte D presenta una caída de la resistividad que no alcanza los valores bajos del horizonte E. Esta disminución se explica por la presencia de estratos limo-arcillosos saturados con presencia de carbonatos que limitan la caída de la resistividad y la mantienen por encima de los 10 $\Omega.m$. Esta interpretación es compatible con los datos presentados en la geometría de la cuenca.
- Grupo IV: Compuesto por el horizonte E, representa estratos limo-arcillosos saturados que resultan ser más conductores, generalmente en áreas más continentales o donde algún rasgo geomorfológico justifica la interpretación.

Grupo	Horizontes resistivos involucrados	Resistividad media ($\Omega.m$)	Interpretación
I	A	1798	Suelo vegetal ZNS.
	B	392	Arenas ZNS.
II. a	C	62	Arenas saturadas con agua dulce (acuífero).
II. b	E	4	Interfase salina en arenas.
III	D	16	Estratos limo-arcillosos saturados con tosca ($CaCO_3$).
IV	E	4	Estratos limo-arcillosos saturados.

Cuadro 17. Resumen de los grupos resistivos interpretados.

Con la información geoelectrica interpretada se elaboraron dos perfiles representativos del área; uno de orientación Este – Oeste, basado en corte 1 de la campaña geoelectrica del 2011, que atraviesa la totalidad de la faja de médanos y otro basado en el corte 5, de dirección Norte

– Sur que comienza en la planicie ondulada y llega casi hasta la línea de costa (Figura 28 y Figura 29).

En el corte 1 se observa, de oeste a este, un área con presencia de sedimentación pampeana hasta aproximadamente la longitud del SEV 7, luego éste se acuña o está erosionado y los médanos pasan a tener mayor potencia. Por último, a la longitud del SEV 13 y del acantilado de Pehuén-Co, comienzan a reaparecer nuevamente los sedimentos pampeanos, con mayor presencia de tosca según la interpretación geoelectrica propuesta. Esta interpretación del corte coincide fuertemente con las evidencias de campo y sugiere que el mayor desarrollo de la faja de médanos está vinculado al acuñamiento o erosión del pampeano. Probablemente los sectores más carbonáticos hayan resultado más competentes a la erosión fluvial y lograron conservarse en el tiempo. Hoy se ven cubiertos por las arenas de los médanos trepadores (Marcomini *et al.*; 2007, 2009).

El corte 2 muestra una situación levemente diferente. Los sedimentos pampeanos aflorantes en la planicie ondulada se acuñan progresivamente hacia el sur al adentrarse en la faja de médanos, lo que provoca un aumento en la resistividad. Las arenas postpampeanas tienen un buen desarrollo y muestran resistividades coincidentes con la presencia de agua dulce, sin embargo, a medida que los SEV se aproximan a la costa, se observa una brusca caída de la resistividad que está asociada a la presencia de una cuña salina marina que ingresa en el acuífero continental.

Los cortes de terreno restantes (Anexo III) muestran situaciones levemente diferentes pero en un análisis general la propuesta de acuñamiento de sedimentos pampeanos, profundización de la cuenca y mayor desarrollo de las arenas postpampeanas estaría justificada.

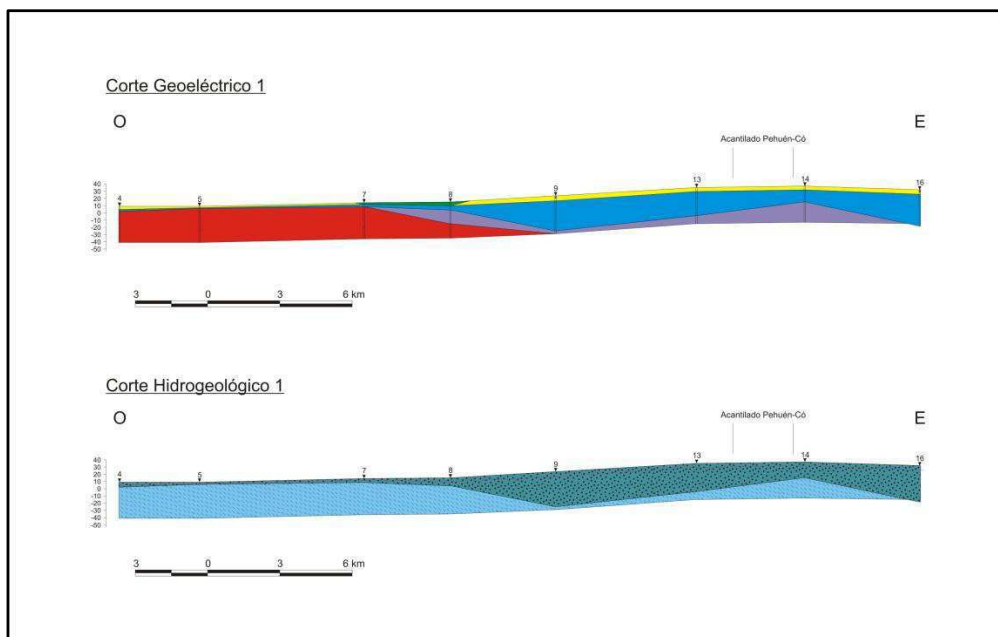


Figura 28. Corte geoelectrico e hidrogeológico tipo Este – Oeste (ver Anexo III).

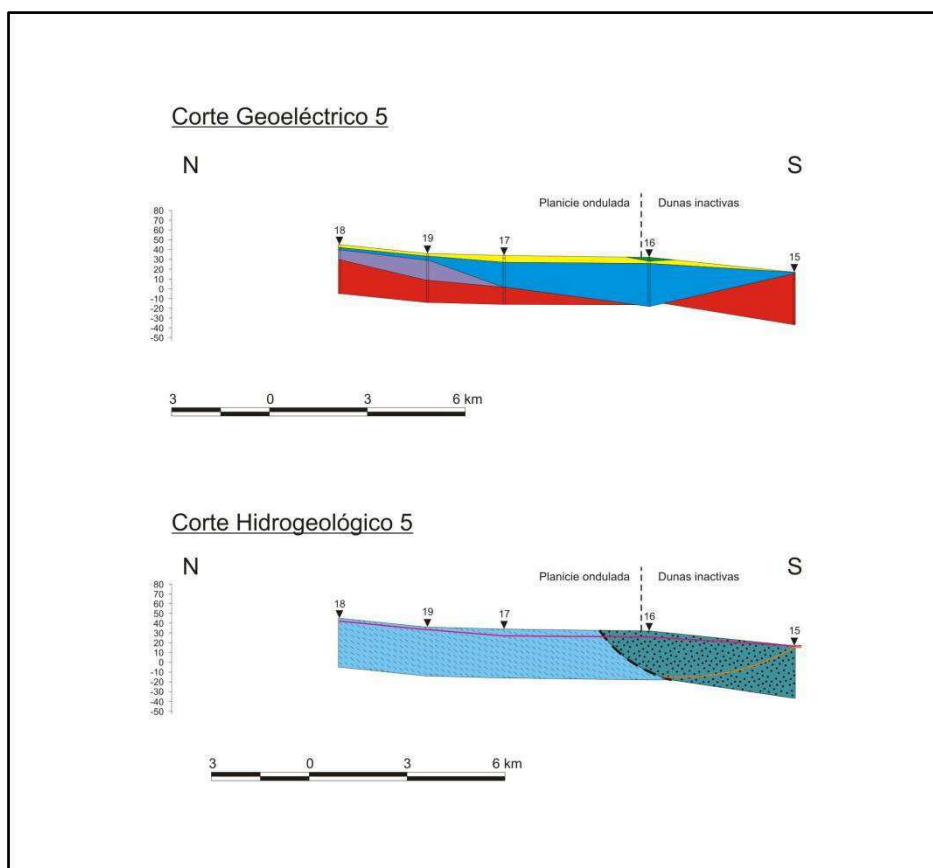


Figura 29. Corte geoelectrico e hidrogeológico tipo Norte – Sur (ver Anexo III).

En los cortes el color azul profundo asignado a las arenas de Formación Punta Médanos y Formación Pascua indica que se trata de buenos acuíferos mientras que el color celeste claro de los sedimentos pampeanos muestra que se trata de un acuífero de inferior calidad en cuanto a sus propiedades hidráulicas.

5.2.2 - Cartografía temática

Con los resultados de la geoelectrónica se elaboraron tres mapas temáticos de apoyo para el horizonte acuífero: isoresistividad (Figura 30), isoprofundidad (Figura 31) de la base e isopacas (Figura 32). La base cartográfica utilizada es la del mapa hidrogeológico presentado en el Anexo IV y es necesario señalar que la información posee validez para la barrera de médanos costeros; los datos de la llanura al norte de la barrera son escasos y, por tanto, no pueden extenderse el análisis.

El arreglo de curvas de isoresistividad resultó coherente con un rango muy acotado que oscila entre los 50 y los 20 $\Omega.m$ y se observan algunas anomalías leves probablemente producto de recargas locales. No se infieren cambios litológicos o salinos importantes.

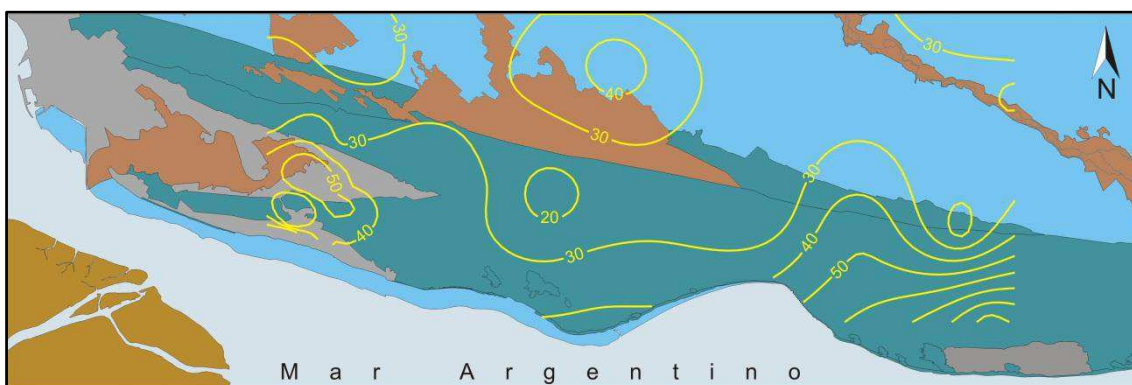


Figura 30. Mapa de isoresistividades del acuífero Punta Médanos.

El mapa de isoprofundidades de la base indica que el acuífero posee una profundización progresiva en dirección a la costa coincidentemente con lo observado en la sección transversal construida a partir de las perforaciones. La divisoria de aguas subterránea del este puede distinguirse con claridad observando la profundización del acuífero a un lado y otro de la misma.

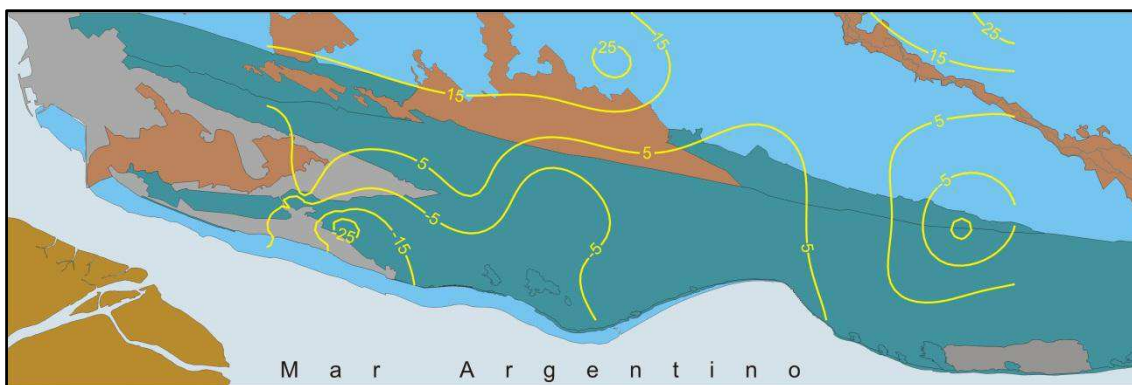


Figura 31. Mapa de isopropundidad de la base del acuífero Punta Médanos.

El mapa de isopacas indica que los espesores oscilan entre 10 y 30 m con una media calculada de 16 m; no existen variaciones importantes con excepción de algunas anomalías muy locales de aumento de espesor. Una vez más en la zona del afloramiento es posible observar el acuñaamiento del acuífero y existe también una tendencia de reducción de espesores hacia el oeste donde, por evidencias de campo y perforaciones, se sabe que adelgaza la barrera de médanos. El aumento de espesor en la llanura se debe probablemente a la presencia de aguas dulces en los sedimentos pampeanos que producen una asimilación en la respuesta resistiva.

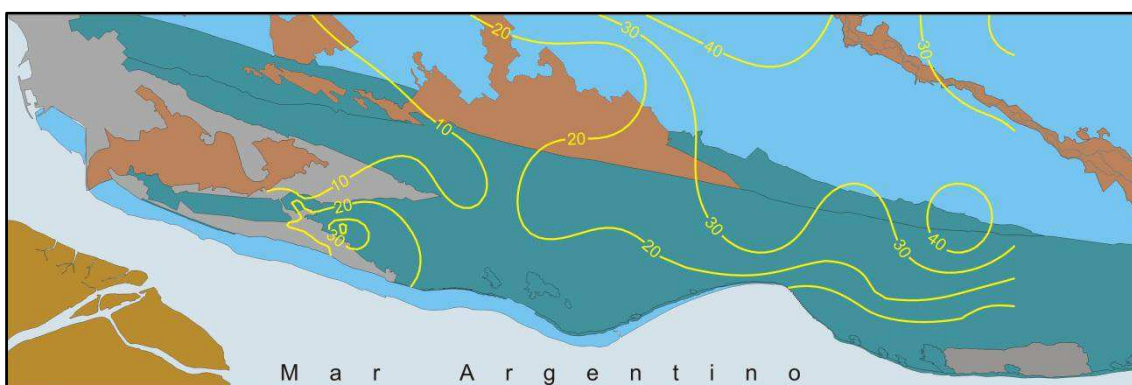


Figura 32. Mapa de isopacas del acuífero Punta Médanos.

5.2.3 - Interpretación de la geoelectrónica profunda

La campaña geoelectrónica del año 2011 intentó alumbrar los niveles acuíferos más profundos de la cuenca y contó con algunos SEV que alcanzaron los 1000 m de profundidad. La interpretación de estos resultados escapa al alcance de este estudio pero merece la pena la mención por tratarse de un recurso importante.

Los SEV fueron sucintamente revisados considerando que sin contar con un pozo paramétrico de la zona resulta imposible interpretar los resultados con la misma precisión que la geoelectrica somera. Por debajo de los 70 m aproximadamente las resistividades toman valores entre 1 y 10 $\Omega.m$ y los horizontes empiezan a mostrar contrastes resistivos muy leves. Sin embargo, dentro de este conjunto de bajas resistividades se observaron horizontes profundos con valores anómalos de entre 10 y 100 $\Omega.m$ que oportunamente fueron interpretados como manifestaciones del Sistema Hidrotermal Profundo de Bahía Blanca (Bonorino, 1988). Esta interpretación no es errónea y puede considerarse para una primera aproximación al problema; sin dudas una campaña ulterior requeriría una adecuación del método a las particularidades del área.

5.3 - Hidrodinámica

Durante la campaña se observó un total de 13 puntos entre molinos, pozos con electrobomba, pozos surgentes y ojos de agua (Cuadro 18). En cada punto muestreado donde las características de la captación lo permitieron se introdujo la sonda piezométrica para obtener una medida directa de la superficie freática.

Pozo	Descripción	Latitud	Longitud
S1	Surgente "Cornago"	38°55'42,70" S	61°52'41,50" O
S2	Surgente "Pto. Charlie"	38°55'02,00" S	61°58'47,90" O
OA1	Ojo de agua	38°55'39,60" S	61°55'08,90" O
OA2	Ojo de agua	38°55'43,40" S	61°52'50,60" O
OA3	Ojo de agua	38°55'41,10" S	61°50'51,10" O
P1	Pozo c/electrobomba "Pileta Suboficiales"	38°56'09,10" S	61°57'43,80" O
P2	Pozo circular	38°56'09,40" S	61°57'30,30" O
P3	Pozo c/electrobomba "Ruta"	38°56'56,20" S	61°56'02,30" O
P4	Pozo c/electrobomba "Jardín"	38°57'01,10" S	61°55'59,90" O
P5	Pozo c/electrobomba "Cigüeña"	38°57'01,40" S	61°55'56,60" O
P6	Molino	38°56'19,10" S	61°47'30,10" O
P7	Molino "Pto. San Ignacio"	38°55'51,00" S	61°43'24,50" O
P8	Molino "Pto. Los Alamitos"	38°56'50,47" S	61°41'26,93" O

Cuadro 18. Localización de puntos muestreados.

La cantidad de puntos, sin embargo, resultó insuficiente para reconstruir una piezometría de una zona tan grande pero, apelando a diferentes metodologías que se detallan a continuación,

fue posible densificar la red de modo de obtener resultados coherentes que se muestran en el mapa piezométrico. Los recursos empleados fueron los siguientes:

1) **Establecimiento de puntos de control para las condiciones de contorno:** se le asignó un valor piezométrico de 0 m a la línea de costa por considerarse el área de descarga natural del acuífero y se le asignó un valor de 20 m a la planicie de inundación colgada del río Napostá Chico, dado que esta laguna permanente funciona como límite de carga constante a lo largo de todo el año.

2) **Incorporación de ojos de agua mediante la observación de imágenes satelitales GoogleEarth:** Los llamados ojos de agua constituyen un fenómeno común en ambientes de dunas. Se desarrollan preferentemente en las áreas de interduna o bajos topográficos y consisten en afloramientos de la superficie freática que conforman pequeñas lagunas u oasis dentro de la barrea medanosa (Figura 33). Una vez corroborada en el campo la relación directa entre la capa freática y los ojos de agua se procedió a mapear todos aquellos que podían observarse en las imágenes satelitales de GoogleEarth. En cada ojo el valor piezométrico es igual a la cota altimétrica ya que, por definición, la existencia del ojo de agua se produce por el contacto entre la superficie topográfica y la piezométrica.

Fue posible observar en el terreno que las áreas aledañas a los ojos de agua poseen una vegetación freatófita distintiva del resto de la barrera medanosa donde abundan los tamariscos y otras especies arbustivas. Esto puede considerarse un indicativo de la escasa oscilación estacional de la freática ya que de no estar presentes los ojos de agua, se encuentran inmediatamente por debajo de la topografía como indica la vegetación característica, por lo tanto el error inducido al incorporarlos como dato piezométrico no superaría el metro de profundidad.



Figura 33. Ojo de agua en barrera de médanos costeros.

- 3) **Datos geoeléctricos:** como se explicó en el apartado E.4 de cada SEV realizado es posible extraer un valor de profundidad de la freática e incorporarlo a la red. Un dato importante para señalar consiste en que habiendo realizado una piezometría sin datos geoeléctricos y comparándola luego con otra que incorpora los datos tomados de los SEV, lejos de manifestar grandes variaciones o interferir aleatoriamente, la disposición de las curvas se mantuvo prácticamente igual en ambos casos y ciertos rasgos que se manifestaban sutiles al principio, la piezometría con información geoeléctrica los remarcó aún más. Los datos de nivel estático fueron tomados del Grupo II.a geoeléctrico.

Es importante remarcar que la piezometría se reconstruyó incorporando información indirecta y dispersa en el tiempo, a los datos directos medidos durante la campaña de Marzo - Abril del 2015, sin embargo, la evaluación hidráulica de las galerías filtrantes realizada en el año 1994 por el INCyTH permitió salvar este problema (para más detalles ver la sección 5.5).

Durante esa campaña se realizó un monitoreo estacional de la freática utilizando al red de 27 piezómetros. Los niveles estáticos fueron medidos en el mes de Marzo y en el mes de Julio, al

final e inicio del año hidrológico respectivamente, y no se detectó una variación muy marcada en los niveles estáticos de los freáticos.

De hecho, con un simple análisis estadístico, se demostró que la variación estacional de niveles, cuando no fue nula, no llegó a superar el 2% (Cuadro 19). Es correcto suponer entonces que los niveles del acuífero resultan estables a lo largo del año, no estando sujetos a fuertes cambios estacionales, y válida la integración de información obtenida en diferentes momentos y circunstancias.

Freatímetro N°	N.E. Marzo '95 (mbbp)	N.E. Julio '95 (mbbp)	Media	Desv. Est.	Coef. (%)
1	2,6	2,39	2,495	0,0525	2
2	2,54	-	2,54	-	-
3	2,55	2,36	2,455	0,0475	2
4	2,45	2,23	2,34	0,055	2
5	2,35	-	2,35	-	-
6	2,45	2,24	2,345	0,0525	2
7	2,9	2,64	2,77	0,065	2
8	2,15	2,13	2,14	0,005	0
9	2,21	2,2	2,205	0,0025	0
10	2,39	2,22	2,305	0,0425	2
11	2,49	2,47	2,48	0,005	0
12	2,9	2,97	2,935	0,0175	1
13	3,16	2,98	3,07	0,045	1
14	3,1	2,91	3,005	0,0475	2
15	3,1	2,93	3,015	0,0425	1
16	3,2	2,92	3,06	0,07	2
17	3,26	3,15	3,205	0,0275	1
18	3,16	2,97	3,065	0,0475	2
19	3,06	2,865	2,9625	0,04875	2
20	3,13	3,01	3,07	0,03	1
21	-	3,03	3,03	-	-
22	2,4	2,55	2,475	0,0375	2
23	2,8	2,615	2,7075	0,04625	2
24	2,71	2,52	2,615	0,0475	2
25	2,6	2,435	2,5175	0,04125	2
26	2,6	2,425	2,5125	0,04375	2
27	-	2,76	2,76	-	-

Cuadro 19. Variación estacional en los niveles estáticos.

Este método puede considerarse como una propuesta original para suplir la falta de datos producto de las dificultades materiales que se presentan en el terreno. Las mayores imprecisiones podrían manifestarse en el valor absoluto de las isopiezas y rasgos que pueden estar más resaltados o no dependiendo la época, sin embargo, en lo que al funcionamiento hidrogeológico del área se refiere, es posible afirmar que la piezometría presentada en la Figura 34 posee coherencia interna y aporta información confiable.

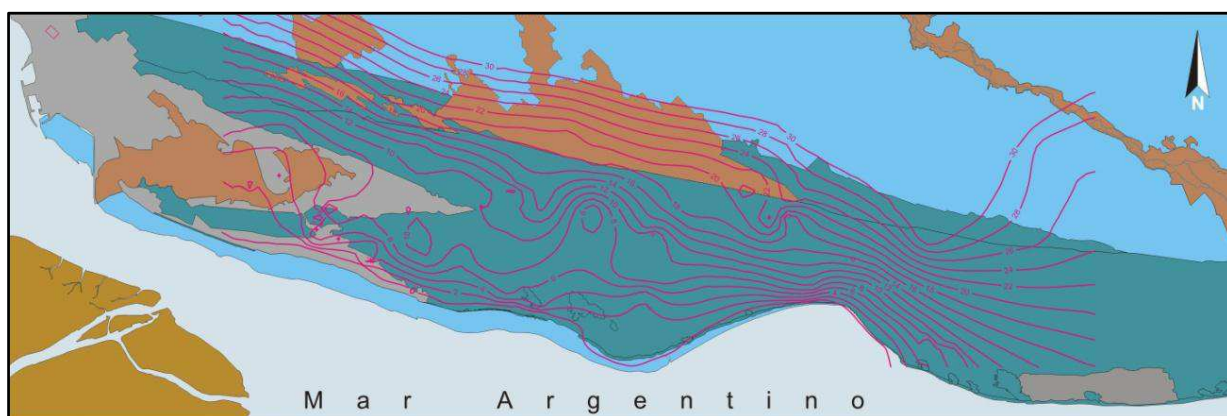


Figura 34. Versión simplificada del mapa piezométrico (ver Anexo IV).

La piezometría de la faja de médanos costeros se muestra como bien integrada. El acuífero recibe la descarga de los flujos subterráneos que vienen de la planicie ondulada y presenta una zona de recarga local, más o menos definida, en el sector Norte y Noreste de la faja de médanos coincidente con una la topografía es más alta y la planicie de inundación colgada del río. El flujo principal es mantiforme aunque presenta pequeñas irregularidades locales que se traducen en líneas de flujo opuestas o transidas a la dirección general. Probablemente esto se deba a la topografía irregular de la faja de médanos que genera zonas de recarga de pequeña escala en las crestas y consecuentes flujos radiales pequeños superpuestos al flujo general.

Las isopiezas indican un gradiente muy asociado a la topografía, siendo éste mayor donde aumentan los desniveles y disminuyendo en las áreas más tendidas. Basta detenerse en el sector del acantilado marino, donde se manifiestan las mayores alturas locales de la faja y el flujo de agua subterránea se celera, y compararlo con el área topográficamente plana que se encuentra al oeste donde las isopiezas divergen más acentuadamente, el flujo regional se muestra disminuido y resultan más prominentes los flujos radiales locales.

También resulta posible identificar los cambios en la permeabilidad del medio con la apertura de las isopiezas. En el sector Noreste el ingreso de las curvas piezométricas al pampeano viene acompañado de una disminución en el gradiente y lo mismo ocurre en el sector Sudoeste, en la planicie de inundación del Arroyo Parejas, donde el flujo se detiene al ingresar en sedimentos más finos y, por ende, menos permeables.

En síntesis, la zona posee una piezometría bien integrada de rumbo aproximado N-S que refleja el flujo regional. Los flujos locales no pueden ser representados por falta de puntos de observación.

5.4 - Cálculo de porosidad total, permeabilidad y transmisividad de la sección

Tomando como base el análisis granulométrico de las muestras obtenidas en el acantilado se calculó la porosidad total y la permeabilidad con el fin de obtener parámetros hidráulicos que permitan caracterizar la sección acuífera.

Para la estimación de parámetros se recurrió a un método que toma como base la distribución granulométrica de la muestra en cuestión. La elección del método se funda en dos premisas: la imposibilidad de realizar ensayos de bombeo en esta zona por ausencia de pozos y la necesidad de contar con una sección acuífera de referencia que permita estimar el comportamiento del terreno hacia el interior del continente donde se encuentran las áreas habitadas. Este perfil y los parámetros en él calculados corresponden al nexo entre la geología del terreno y la hidrogeología que condiciona la construcción y el funcionamiento de las obras de captación.

5.4.1 - Cálculo de porosidad total por método de Johnson

Siguiendo a Johnson (1967) la porosidad total es igual a la porosidad eficaz más la retención específica:

$$Porosidad\ total\ (m) = Porosidad\ eficaz + Retención\ específica\ (m_r)$$

Donde la retención específica se calcula utilizando la fórmula de Briggs y Schantz (Johnson, 1967):

$$m_r = 0,03 \cdot (\% arena) + 0,35 \cdot (\% limo) + 1,65 \cdot (\% arcilla)$$

Y la porosidad eficaz se obtiene del ábaco de Johnson (1960) ingresando los porcentajes de cada fracción granulométrica:

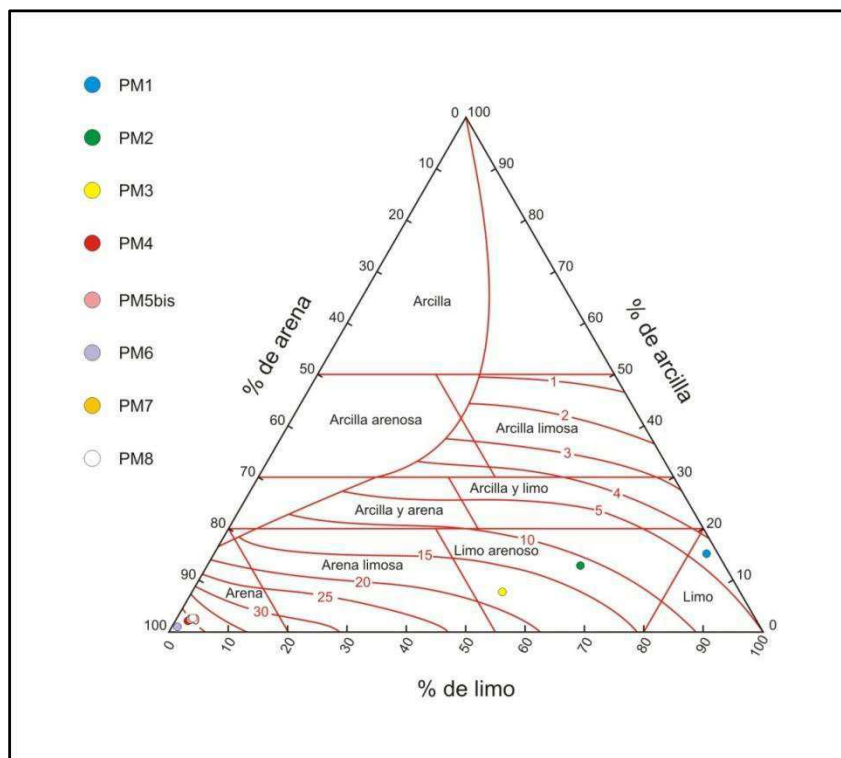


Figura 35. Ábaco para obtener porosidad eficaz en función de la granulometría (Johnson, 1967).

Por tratarse de sedimentos poco consolidados donde la fracción arenosa ronda el 95% de la muestra se obtuvieron elevados valores de porosidad total, los resultados se vuelcan en el Cuadro 20 a continuación:

Muestra	Clasificación	Porosidad total (%)
PM 1	Limo grueso a medio	58,32
PM2	Limo arenoso fino	54,63
PM3	Arena muy fina a limo grueso	48,00
PM4	Arena fina muy fina	44,22
PM5bis	Arena fina a media	44,42
PM6	Arena fina a media	43,34

Cuadro 20. No fue posible estimar una porosidad total para el nivel gravoso ya que el método sólo se refiere a sedimentos con mezcla de arena, limo y arcilla. En su lugar se estimó la porosidad de la matriz.

Una segunda determinación de la porosidad total se realizó en el laboratorio utilizando un pequeño cubo de acrílico de volumen conocido y midiendo el peso de la muestra de sedimento húmeda y seca.

Se pesó el sedimento saturado de agua en el interior del cubo, luego se desecó el sedimento en una mufla a 120 °C durante 40 minutos y se volvió a pesar estando ya seco.

La diferencia entre el peso saturado y el peso seco de la muestra corresponde al agua que ocupa el espacio poral dentro del cubo. Tomando como valor de densidad del agua 1 g/cm³, el peso del agua es equivalente al volumen que ocupa dentro del cubo y la porosidad se puede calcular con la expresión:

$$m = 100 \cdot \frac{V_{agua}}{V_{cubo}}$$

Los resultados se muestran en el Cuadro 21:

Muestra	Peso Saturado (g)	Peso seco (g)	Volumen cubo (cm ³)	Volumen agua (cm ³)	Porosidad (%)
PM4	14,64	11,31	6,859	3,33	48,55
PM5bis	15,17	12,15	6,859	3,02	44,03
PM6	15,55	12,69	6,859	2,86	41,70

Cuadro 21. Valores de porosidad de laboratorio.

Los valores obtenidos son muy similares a los calculados por el método de Johnson (1967) por tanto se considera que los métodos son coherentes entre si y ambos pueden asumirse válidos a la hora de establecer valores de referencia para orientar los resultados.

5.4.2 - Cálculo de la permeabilidad

Para obtener la permeabilidad de las muestras se recurrió al método experimental de Hazen tomado del Custodio y Llamas (1983). La fórmula de Hazen utiliza como valor de entrada el llamado diámetro equivalente que se corresponde con el D₁₀ de la curva granulométrica acumulada:

$$k_o = c \cdot d_e$$

Donde d_e es el diámetro equivalente y c es una constante a la cual se atribuyen diversos valores según el autor. En este caso se tomó la propuesta de Schoeller (1962) que utiliza como valor de entrada la porosidad total (m):

$$c = 150 \left(\frac{m}{0,45} \right)^6$$

Los valores de permeabilidad obtenidos se muestran en el Cuadro 22:

Muestra	Clasificación	Porosidad total (%)	Permeabilidad (cm/s)	Permeabilidad (m/día)
PM1	Limo grueso a medio	58,32	$5,57 \cdot 10^{-5}$	$4,82 \cdot 10^{-3}$
PM2	Limo arenoso fino	54,63	$4,67 \cdot 10^{-5}$	$4,04 \cdot 10^{-3}$
PM3	Arena muy fina a limo grueso	48,00	$6,28 \cdot 10^{-5}$	$5,43 \cdot 10^{-3}$
PM4	Arena fina muy fina	44,22	0,011	9,45
PM5bis	Arena fina a media	44,42	0,010	8,46
PM6	Arena fina a media	43,34	0,018	15,64

Cuadro 22. Permeabilidad en cm/s convertida a m/día.

Las muestras correspondientes al paquete sedimentario inferior (PM1, PM2 y PM3) arrojaron valores de permeabilidad que según Custodio y Llamas (1983) clasifican como provenientes de un acuífero pobre con mal drenaje, situación característica de las arenas finas con participación significativa de las fracciones limo-arcillosas.

Por otra parte los valores de permeabilidad del orden de 10^1 m/día, que arrojaron las muestras PM4, PM5bis y PM6; son típicos de acuíferos emplazados en arenas limpias o mezclas de gravas y arenas. El dato resulta coherente ya que se está trabajando con sedimento que ronda el 95% de arena y, por tanto, podemos asumir el método como una aproximación válida a los parámetros reales del acuífero.

5.4.3 - Transmisividad de referencia de la sección aflorante.

Partiendo de los valores de permeabilidad (k) obtenidos se calculó la transmisividad (T) de cada estrato y la transmisividad total de la sección aflorante. La intención fue contar con un valor de referencia que sirviese para vincular los parámetros hidráulicos del perfil estratigráfico representativo del área con aquellos obtenidos en obras de captación en otras zonas donde no

se puede acceder a un perfil geológico ni se cuenta con información fidedigna de las perforaciones.

$$T_x = k_x \cdot z_x$$

Donde k_x es la permeabilidad del estrato “x” y z_x es su potencia. La transmisividad total de la sección es la sumatoria de la transmisividad de cada estrato que la compone:

$$T_{total} = \sum_{i=1}^x T_i$$

Los resultados obtenidos se vuelcan en el Cuadro 23:

Muestra	Clasificación	Espesor (m)	Permeabilidad (m/día)	Transmisividad (m ² /día)
PM1	Limo grueso a medio	1,0	$4,82 \cdot 10^{-3}$	$4,82 \cdot 10^{-3}$
PM2	Limo arenoso fino	2,8	$4,04 \cdot 10^{-3}$	$1,13 \cdot 10^{-2}$
PM3	Arena muy fina a limo grueso	0,8	$5,43 \cdot 10^{-3}$	$4,34 \cdot 10^{-3}$
PM4	Arena fina muy fina	6,4	9,45	60,48
PM5bis	Arena fina a media	0,7	8,46	5,92
PM6	Arena fina a media	2,0	15,64	31,28

Cuadro 23. Al igual que con la permeabilidad, se consideró la Transmisividad de la matriz arenosa del banco 5 como representativa de ese estrato.

$$T_{total} = 97,68 \text{ m}^2/\text{día}$$

Apoyándonos en los análisis granulométricos, las estimaciones porosidad total y los cálculos de permeabilidad realizados es posible afirmar que el paquete sedimentario compuesto por los bancos N° 4, 5 y 6 que se encuentra suprayacente a los sedimentos pampeanos puede considerarse, desde el punto de vista hidrogeológico, como una sola unidad coherente que puede tener pequeñas variaciones verticales y horizontales, pero que no resultan significativas a la hora de evaluar el comportamiento hidráulico de la sección y realizar obras de captación.

Este paquete postpampeano corresponde a un mismo ambiente sedimentario, pudiéndose explicar sus variaciones, tanto verticales como laterales, mediante cambios de facies o de subambiente.

La sedimentación se desarrolló en un ambiente costero de playa trasera donde el sedimento era aportado por el mar y re trabajado posteriormente por el viento formando fajas de dunas costeras similares a las actuales.

5.5 - Hidráulica de captaciones

Dentro de la región de estudio fue posible identificar tres tipos distintos de captaciones del acuífero freático: pozos con electrobomba, pozos surgentes, molinos de viento y un sistema de galerías filtrantes ubicado frente a la ciudad de Punta Alta, en el extremo NO del mapa.

Los molinos no son abundantes en la región y es difícil realizar ensayos hidráulicos sobre estos dejando como única posibilidad los pozos con bombas eléctricas sumergibles que se encuentran dentro del perímetro de la Base de Infantería de Marina Baterías (BIM Baterías).

La ubicación de los pozos se muestra en la Figura 36:

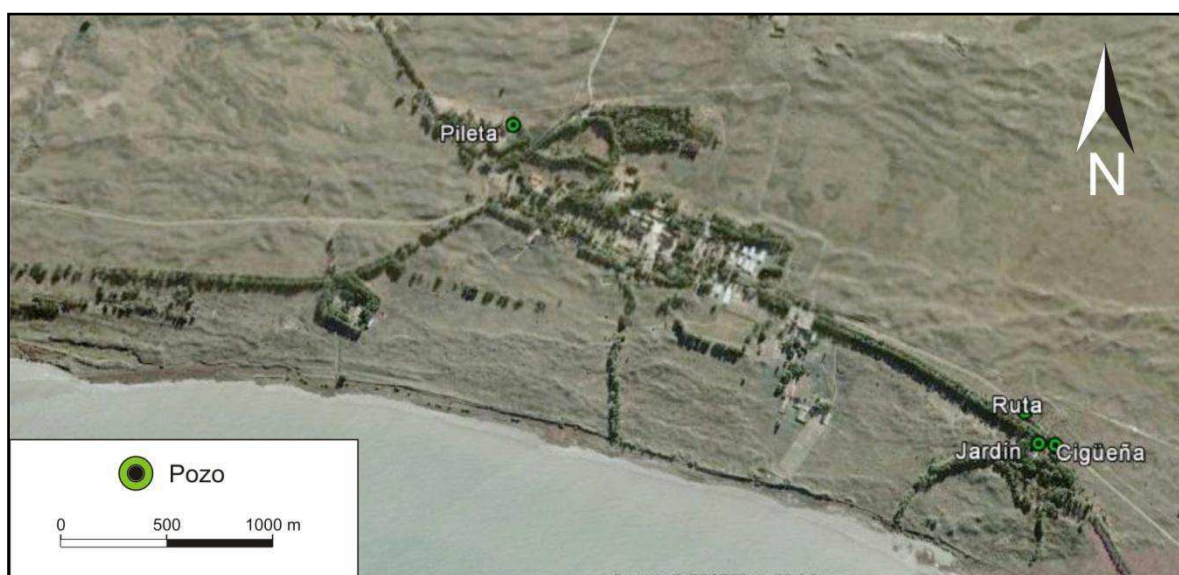


Figura 36. Detalle de BIM Baterías. Pozos donde fue posible realizar bombeo.

Los pozos “Ruta”, “Jardín” y “Cigüeña” proveen de agua potable a la base y se utilizan para cargar camiones cisterna. El pozo “Pileta” se encuentra en el Casino de Suboficiales de Infantería de Marina. El agua que extrae no es para consumo humano, se utiliza para llenar una pileta de natación.

5.5.1 - Ensayo de bombeo en pozos “Ruta” y “Jardín”

Dentro del área de abastecimiento de la base el único pozo que pudo ensayarse fue el pozo “Ruta”. El pozo “Cigüeña” tenía bomba sumergible y estaba en buenas condiciones pero no contaba con un tablero para operarla y el pozo “Jardín” que tenía bomba y tablero no podía tomarse registro por dificultades para bajar la sonda por la captación.

Esta captación no cuenta con un piezómetro o pozo de observación, por lo tanto las únicas opciones viables para obtener parámetros hidráulicos resultaron ser los ensayos de Aforo y Recuperación que pueden efectuarse sobre la propia captación. Algún defecto en el caño conductor del pozo (probablemente pérdidas) impidió realizar el ensayo de Aforo ya que la sonda se encendía no estando en contacto con el agua freática, de modo que el ensayo de Recuperación (Villanueva & Iglesias, 1984) fue el único que se pudo realizar correctamente.

Este método consiste en bombear el pozo durante un tiempo “t” extrayendo un caudal conocido “Q”. Luego se detiene el bombeo y se mide la recuperación de niveles hasta alcanzar (o aproximarse) al nivel estático original del pozo.

Con los datos de niveles y tiempo se confecciona el gráfico semilogarítmico de recuperación en cuyo eje de ordenadas se disponen los descensos residuales (D_r) y en el eje de abscisas, los tiempos de recuperación según la expresión:

$$\frac{(t + t')}{t'}$$

Donde

t = tiempo de bombeo antes del corte

t' = tiempo de bombeo después del corte

Luego se obtiene la transmisividad utilizando la pendiente de la curva de recuperación:

$$T = 0,183 \cdot \frac{Q}{m}$$

En donde

T = transmisividad en $m^2/\text{día}$

Q = caudal en $m^3/\text{día}$

$$m = \text{pendiente del gráfico de recuperación}$$

Es necesario señalar que para que este ensayo devuelva valores razonables de transmisividad deben cumplirse las condiciones generales para la resolución de la ecuación en medios porosos permeables:

- Régimen permanente de bombeo.
- Caudal constante.
- No existen recargas exteriores.
- El acuífero es infinito, homogéneo e isótropo.
- El pozo de bombeo es de diámetro cero y atraviesa completamente la formación permeable.
- El agua bombeada produce un descenso inmediato en el pozo y no vuelve a ingresar al acuífero.
- El flujo de agua hacia el pozo es radial y no tiene componentes verticales

Para el pozo "Ruta" se calculó el caudal de extracción de 9,82 m³/haforando cronométricamente en un recipiente de 20 L. El nivel dinámico del pozo se estabilizó en 6,89 mbbp luego de 30 minutos de bombeo continuo. Una vez establecidas estas condiciones iniciales se detuvo la bomba y se dio comienzo a la recuperación, los resultados pueden verse en la Cuadro 24 y la Figura 37:

Ensayo de recuperación pozo "Ruta"			
t' (min)	ND (mbbp)	Dr (m)	(t + t')/t'
0	6,89	3,69	0
0,4167	5,04	1,84	73,0
1	4,5	1,3	31,0
2	3,55	0,35	16,0
3	3,48	0,28	11,0
4	3,47	0,27	8,5
5	3,46	0,26	7,0
10	3,43	0,23	4,0

Cuadro 24. Ensayo de recuperación según método de Villanueva & Iglesias (1984).

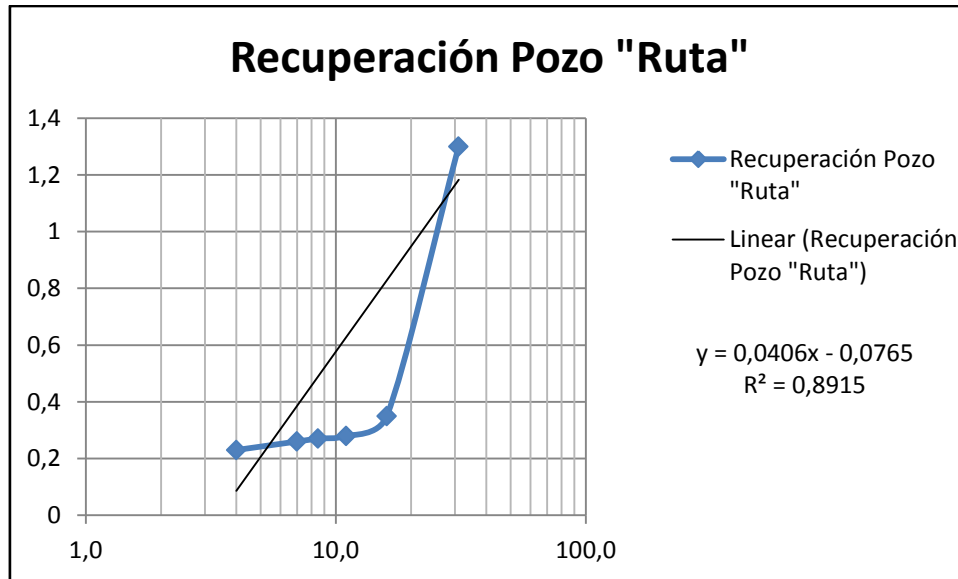


Figura 37. Gráfico de descensos residuales (Dr) Vs. $\frac{(t+t')}{t'}$.

El mismo procedimiento fue empleado en el pozo "Pileta" que se encontraba en buenas condiciones aunque carecía también de pozo de observación cerrando, una vez más, la posibilidad de realizar ensayos a régimen variable.

En este caso se asumió un caudal de extracción de $3 \text{ m}^3/\text{h}$ y el nivel dinámico se estabilizó luego de 15 minutos y 30 segundos de bombeo en 7,54 mbbp, acto seguido se procedió a cortar la bomba para realizar el ensayo de recuperación que arrojó los siguientes resultados:

Ensayo de recuperación pozo "Pileta"			
t' (min)	ND (mbbp)	Dr (m)	$(t + t')/t'$
0	7,54	2,74	0
0.13	6,5	1,7	117,2
1.08	5,17	0,37	15,3
2.25	4,89	0,09	7,9
3.05	4,82	0,02	6,1
4.08	4,82	0,02	4,8
5.25	4,82	0,02	4,0

Cuadro 25. Ensayo de recuperación según método de Villanueva & Iglesias (1984).

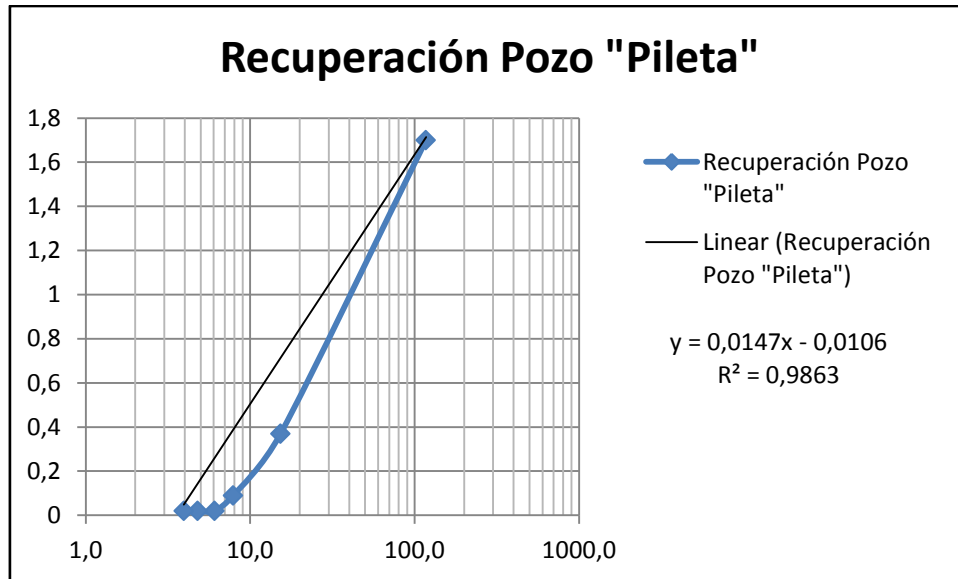


Figura 38. Gráfico de descensos residuales (D_r) Vs. $\frac{(t+t')}{t'}$.

Los resultados de transmisividad para cada pozo se vuelcan en el siguiente cuadro:

	Transmisividad ($m^2/día$)
Pozo "Ruta"	1062,30
Pozo "Pileta"	896,33

Cuadro 26. Valores de T para cada pozo.

Al no contar con una memoria técnica precisa sobre el diseño de las captaciones las conclusiones que se pueden extraer son algo limitadas, sin embargo, resulta auspicioso que ambos valores de T se encuentren cercanos, aproximadamente dentro del mismo orden de magnitud. Siguiendo a Villanueva & Iglesias (1984) estaríamos ante valores altos de transmisividad que resultan coherentes con los valores de permeabilidad calculados para la sección acuífera (Cuadro 23).

Es posible afirmar entonces que estamos en presencia de un buen acuífero, compuesto por arenas limpias, que tiene una buena capacidad para ceder agua.

5.5.2 - Ensayo de bombeo en galerías filtrantes

Las galerías filtrantes son un sistema de captación de aguas subterráneas que consiste en una bóveda horizontal subterránea que colecta el agua del acuífero libre y la conduce a una cámara o sumidero de donde luego se extrae por algún método de bombeo. Se trata de una técnica muy antigua ya que existen registros de su uso desde hace más de 3000 años; estas construcciones se ubicaban preferentemente en los laterales de los ríos acompañando su cauce (OMS-CEPIS, 2002).

El principal problema que presentó la fundación de la Base Naval Puerto Belgrano fue el aprovisionamiento de agua para los integrantes de la armada ya que, como se señaló oportunamente, la región de la Bahía Blanca es una zona semiárida cuyas precipitaciones se encuentran en el límite de los 500 mm anuales y no existen grandes ríos cercanos que permitan el abastecimiento.

Sin embargo, fue el ingeniero italiano Luigi Luigi quien hizo posible la construcción de la base gracias al sistema de captación por galerías filtrantes que instaló en el límite de la barrera medanosa donde hoy se emplaza la ciudad de Punta Alta (Figura 39).

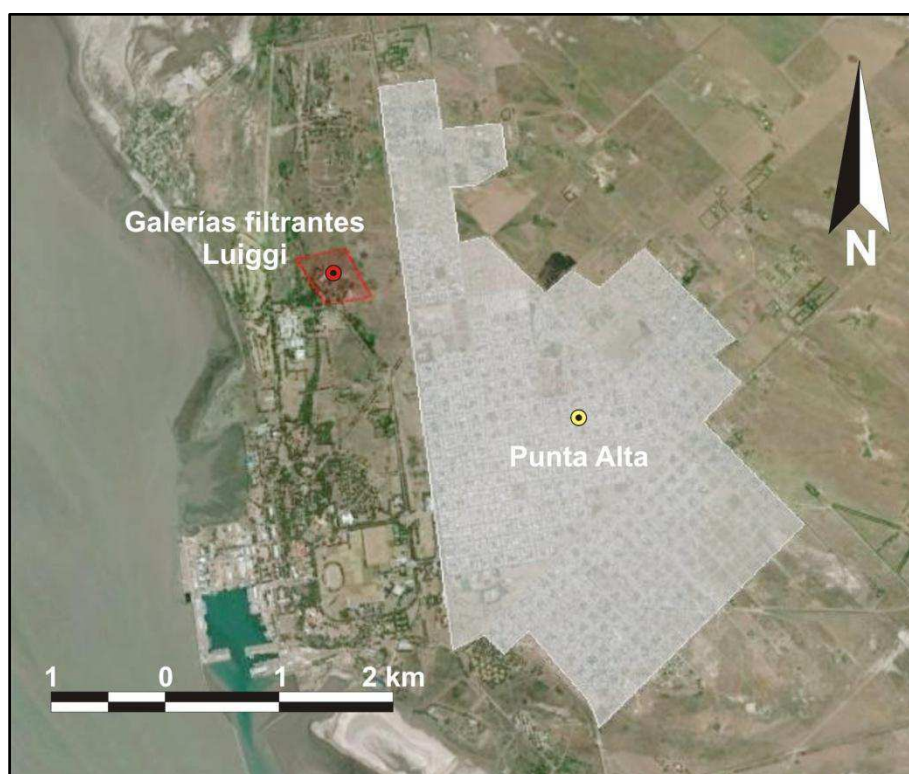


Figura 39. Ubicación geográfica de las Galerías filtrantes Luigi.

Esta obra ya no se encuentra operativa debido a que, a más de un siglo de la fundación de la BNPB, tanto la ciudad como la base han incorporado métodos de captación más modernos. Aún así, a pesar del desuso, un estudio del INCyTH realizado en el año 1994 con el objetivo de investigar alternativas para satisfacer de modo más eficiente la demanda de agua de la base, demostró que las galerías filtrantes del Ing. Luiggi se encuentran en buen estado y pueden ser recicladas para su uso.

Las tareas de recuperación incluyeron una inspección y limpieza general de las bocas de registro y sumideros y la puesta a punto del sistema de bombeo para poder realizar ensayos y evaluar la operatividad de la captación. También se efectuaron análisis químicos sobre las aguas que, salvo una excepción, determinaron su potabilidad. La disposición de la obra en plano topográfico se muestra en el Figura 40:

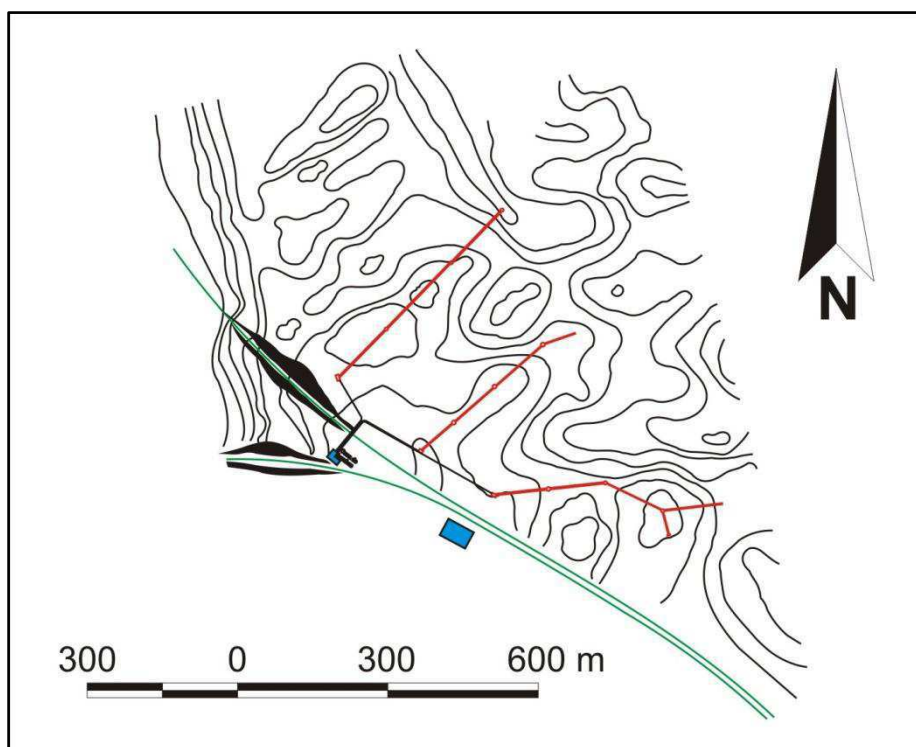


Figura 40. Galerías filtrantes en rojo. De NO a SE se hallan las galerías “A”, “B” y “D”. En verde las antiguas vías férreas.

Los ensayos de bombeo se realizaron sobre la galería “A”. Para poder medir la depresión de niveles en el acuífero durante los bombeos fue necesario construir una red de monitoreo alrededor de la galería; en total se construyeron 27 piezómetros dispuestos mayoritariamente de modo transversal a la galería para formar “secciones” (Figura 41).

Durante el bombeo desde la cámara el caudal de extracción fue de $145 \text{ m}^3/\text{h}$. A medida que la galería se va vaciando se produce el descenso del pelo de agua en su interior e inmediatamente se genera un gradiente hidráulico hacia las galerías que moviliza al agua del acuífero y produce los descensos observados en los piezómetros.

Es claro que no se trata de un ensayo de bombeo en una captación convencional; esto es debido a la geometría horizontal, la recarga por acción de la gravedad y la hidráulica particular de las galerías, pero, a pesar de estas circunstancias, se eligió para interpretar los datos del bombeo el método de Thiem (1906), dado que la estabilidad de los niveles indica que el acuífero ha alcanzado el régimen permanente.

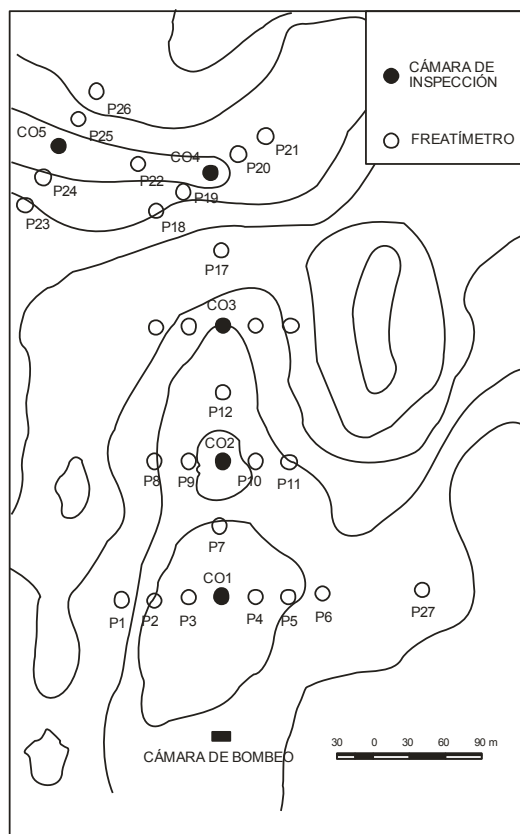


Figura 41. Detalle de la Galería A y los piezómetros. La sección 1 está compuesta por los freáticos 1 a 6 y 27; La sección 2 por los freáticos 8 a 11 y así sucesivamente.

Este método permite calcular la transmisividad (T) del acuífero midiendo las depresiones en dos piezómetros consecutivos ubicados de forma colineal con el pozo de bombeo y las distancias ente cada punto. Con excepción del pozo de bombeo vertical, la geometría del problema de las galerías se aproxima bastante a aquella requerida por el método de Thiem

(1906) para el cálculo de T: los piezómetros colineales son aquellos que conforman una “sección” y el pozo de bombeo estaría ubicado en el eje mismo de la galería.

Deben considerarse también una serie de premisas sobre el acuífero, inherentes al método, cuyo cumplimiento permite resolver la ecuación fundamental de Darcy para medios porosos permeables:

- Régimen permanente de bombeo.
- Caudal constante.
- No existen recargas exteriores.
- El acuífero es infinito, homogéneo e isótropo.
- El pozo de bombeo es de diámetro cero y atraviesa completamente la formación permeable.
- El agua bombeada produce un descenso inmediato en el pozo y no vuelve a ingresar al acuífero.
- El flujo de agua hacia el pozo es radial y no tiene componentes verticales.

Asumiendo estas condiciones de contorno la fórmula de Thiem resulta:

$$d_1 - d_2 = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Donde

d_1 = depresión medida en el piezómetro N° 1

d_2 = depresión medida en el piezómetro N° 2

Q = caudal de bombeo constante

T = transmisividad

r_1 = distancia del piezómetro N° 1 al pozo de bombeo

r_2 = distancia del piezómetro N° 2 al pozo de bombeo

A pesar de que el problema que se intenta analizar no cumple estrictamente algunas de las condiciones de contorno exigidas para la resolución de la ecuación de Thiem (las últimas tres

mencionadas), se considera que es una buena aproximación. La Tabla 5.5.2.1 resume los resultados obtenidos para cada par de piezómetros en diferentes “secciones” transversales de la galería.

La transmisividad media obtenida fue de 2019,73 m²/día, valor algo mayor que aquellas medidas en los pozos “Ruta” y “Pileta” pero que conserva el orden de magnitud. En cualquier caso estamos en presencia de un acuífero con transmisividades altas.

Evaluación en	Sección	Tiempo (min)	Transmisividad (m ² /h)
P1 y P3	1	1440	2389,04
P4, P6 y P27	1	1440	1045,84
P6 y P27	1	2160	862,91
P8 y P9	2	1440	2548,48
P10 y P11	2	1440	1626,91
P10 y P11	2	2160	1711,94
P8 y P9	2	2160	1291,44
P23 y P24	6	1440	3468,58
P25 y P26	6	1440	3232,46

Tabla 27. Transmisividades obtenidas por método de Thiem (1906) ordenadas según pozos en los que se evaluó el método y tiempo transcurrido hasta ingreso en régimen permanente de bombeo.

Además de la transmisividad se calculó el caudal de extracción de la galería por influencia de la gravedad. La figura 5.5.2.4, construida a escala con los datos de la campaña INA 1994, ilustra esta situación: puede verse la superficie freática acompañando suavemente el perfil topográfico y, en la zona próxima a las galerías, se observa una caída del gradiente.

Para estimar el caudal obtenido por gravedad se empleó la expresión propuesta por OMS-CEPIS (2002):

$$Q = \frac{b \cdot T \cdot s}{L}$$

Donde

b = Longitud de la galería

S = Carga hidráulica

$T = \text{Transmisividad}$

$L = \text{Distancia entre la galería}$

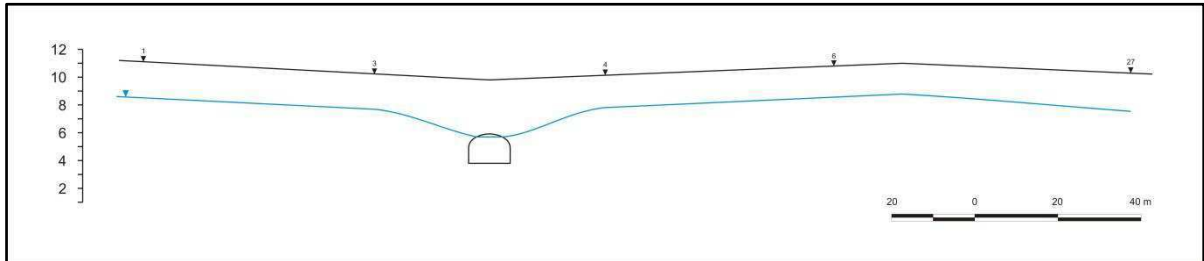


Figura 42. Sección transversal de las galerías filtrantes Luiggi.

El parámetro más impreciso a definir es el valor de transmisividad del acuífero; para este cálculo se adoptó el valor de T evaluado en los piezómetros N° 6 y 27 con un tiempo de bombeo de 2160 minutos (36 horas). El motivo principal es que este número es el mínimo valor calculado por bombeo en las galerías, al tiempo que reúne las mejores condiciones para el cálculo (mayor tiempo de estabilización y más distancia entre puntos de medición) y está próximo a los valores de T obtenidos en los ensayos de recuperación de pozos verticales. En todo caso el caudal obtenido para esta transmisividad puede considerarse como una estimación de mínima.

Entonces, considerando un valor de $T = 862,91 \text{ m}^2/\text{día}$ se obtuvo que el caudal de extracción por gravedad (sin aporte externo de energía) de las galerías es de $517.6 \text{ m}^3/\text{h}$.

Capítulo 6

Cálculo de reservas, recargas, tránsito y descargas

La Formación Punta Médanos continúa a lo largo de toda la costa bonaerense y sería esperable, a priori, por lo señalado en trabajos como el de Mauriño (1956), Teruggi (1954) y Santa Cruz & Silva Busso (1999), que las propiedades hidrodinámicas permanezcan relativamente constantes en toda su extensión. Sin embargo ocurre que, a pesar de la continuidad que haría suponer que nos encontramos frente a un solo acuífero, el estudio arrojó que existen elementos geológicos locales que justifican la creación de subdivisiones. Los límites del acuífero Punta Médanos en la región estudiada pueden establecerse de la siguiente forma:

- Los límites norte y sur corresponden al afloramiento del Pampeano y al Mar Argentino respectivamente.
- El límite oeste se encuentra próximo a la ciudad de Punta Alta donde, según las figuras 4.2.2 y 5.2.1.1, el espesor de Punta Médanos disminuye y da paso a los Sedimentos Pampeanos.
- El límite este se ubica en la ciudad de Pehuén-có donde, apelando a las mismas figuras, se observa una suerte de divisoria de aguas subterránea coincidente con el acantilado. Los Sedimentos Pampeanos, de menor permeabilidad que las arenas, se encuentran más superficiales y el espesor de la Formación Punta Médanos y Formación Pascua es menor.

Por esta razón el cálculo de reservas y parámetros hidrodinámicos se realizó sólo para el área indicada en la Figura 43 que considera los límites propuestos anteriormente y, en algunos pocos casos, el límite de la información disponible.

Siguiendo a Custodio y Llamas (1983) se utilizaron las expresiones que se detallan más abajo para el cálculo de las reservas reguladoras, efectivas y totales (Cuadro 28) y se asumió como superficie del acuífero el área limitada por los elementos hidrodinámicos y geológicos antes descriptos (Figura 43) obteniéndose un valor de 372,28 km².



Figura 43. El área considerada se encuentra entre las isopiezas de 0 y 30 msnm.

6.1 - Cálculo de reservas

La reserva reguladora (1) es aquella que se produce solamente por infiltración directa de las precipitaciones, los parámetros para su estimación se obtuvieron del balance hídrico presentado anteriormente. En el caso de la infiltración se estableció un valor medio entre la obtenida de mínima (Goldschmidt, 1958; Thornthwaite, 1948) y máxima (Turc, 1961).

La reserva efectiva (2) pondera la fluctuación estacional del nivel freático que se tomó del Cuadro 19 (INCyTH inédito, 1994); el valor considerado fue el promedio de las fluctuaciones medidas en todos los piezómetros. Para la porosidad eficaz se utilizó el valor promediocalculado según Johnson (1967) para las formaciones Punta Médanos y Pascua que son las que albergan el acuífero (Figura 24).

Por último, la reserva total se estima utilizando el espesor saturado del acuífero para cuyo cálculo se realizó un promedio del mapa de isopacas presentado en la sección 5.2.2.

$$\text{Reservas Reguladoras} = \text{Área (m}^2\text{)} \cdot \text{Altura Lámina Infiltrada (m)}(1)$$

$$\text{Reservas Efectivas} = \text{Área (m}^2\text{)} \cdot \Delta \text{Nivel. Freático (m)} \cdot \text{Poros. Efect. (adim.)}(2)$$

$$\text{Reservas totales} = \text{Área (m}^2\text{)} \cdot \text{Espesor sat. medio (m)} \cdot \text{Poros. Efect. (adim.)}(3)$$

PPT media anual (mm)	602,40
Infiltración media (%PPT)	11,70
Altura lámina de infiltración (mm)	70,00
Porosidad eficaz	0,40
Fluctuación estacional freática (m)	0,16
Espesor Sat. medio (m)	16,40
Reservas reguladoras (Hm³)	26,24
Reservas efectivas (Hm³)	23,83
Reservas totales (Hm³)	2437,07

Cuadro 28. Reservas del acuífero Punta Médanos en el área de estudio.

La similitud entre las reservas reguladoras y las reservas efectivas es notable (apenas un 10% de diferencia entre ambas) y refuerza la idea antes presentada de que la gran mayoría del agua excedente se transforma en infiltración ya que la reserva obtenida por lámina infiltrada es casi igual a la reserva estimada por oscilación de freática.

La reserva total representa la cantidad de agua que puede extraerse de forma mecánica, su valor es considerablemente superior a las reservas reguladoras y efectivas. Esta cantidad es indicativa del tamaño y extensión del acuífero.

6.2 - Cálculo de recargas tránsito y descargas

Los caudales de recarga, descarga y tránsito se calcularon empleando la Ley de Darcy:

$$Q = K \cdot A \cdot \nabla i$$

Donde:

$$Q = \text{caudal } m^3/\text{día}$$

$$K = \text{permeabilidad de Darcy en } m/\text{día}$$

$$A = \text{área de la sección en } m^2$$

$$\nabla i = \text{gradiente hidráulico}$$

La zona de recarga se identificó con la isopieza de 30 msnm que se encuentra en el límite norte del acuífero (Mapa piezométrico) y para la altura de la sección se realizó un promedio de los espesores saturados del acuífero para ese sector. Del mismo modo la isopieza de 0 msnm

funcionó como guía de la zona de descarga del acuífero y se utilizó el mismo método que en la zona de recarga para estimar la altura de la sección.

Para la permeabilidad se utilizó un valor promedio entre la permeabilidad de las dos unidades acuíferas involucradas: la suprayacente Formación Punta Médanos y la infrayacente Formación Pascua. Por último el gradiente considerado en ambos cálculos fue aquel existente entre la isopieza de 30 msnm y la de 0 msnm en el área próxima a la bahía donde éste es más homogéneo.

Los resultados se encuentran en el Cuadro 29:

Espesor Sat. medio Recarga (m)	26,0
Espesor Sat. medio Descarga (m)	14,1
Permeabilidad media (m/día)	11,18
Gradiente	0,0031
Q Recarga (Hm³/año)	14,74
Q Descarga (Hm³/año)	8,13
Q Tránsito (Hm³/año)	6,60

Cuadro 29. Caudales de recarga, descarga y tránsito del acuífero Punta Médanos.

Los cálculos de reservas y caudales deben considerarse como magnitudes orientativas que caracterizan al acuífero y no como parámetros absolutos de funcionamiento. Esto se debe a que, como se puede extraer del texto anterior, existen muchas formas de establecer los valores de entrada para las ecuaciones lo que tiñe los resultados de cierta subjetividad.

En este caso se trabajó con estimaciones gruesas tendientes a ser conservadoras. La intención fue contar con parámetros que den una idea general de las características del acuífero, dada la falta de información de la que se parte. Una vez establecido el orden de magnitud es posible pensar qué usos puede sustentar el acuífero y de qué forma debe ser explotado para preservarlo en el tiempo.

Capítulo 7

Hidroquímica

La información hidroquímica provino de dos fuentes principales: el muestreo de aguas que se realizó durante la campaña 2015 y la información antecedente recopilada por el INA y la BNPB.

De los 13 puntos visitados durante la campaña 2015 (cuya ubicación geográfica se encuentra en el Cuadro 18 y Figura 3) sólo se muestreó un total de 10 puntos de donde fue posible extraer agua; los parámetros de temperatura, conductividad, TDS, salinidad, pH y ORP fueron medidos in situ con instrumental de campo y luego se remitieron las muestras al laboratorio para el análisis de elementos químicos mayoritarios; el Cuadro 30 resume los resultados obtenidos:

Pozo	P1	P3	P6	P7	P8	S1	S2
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1816	758	1072	730	468	942	849
T ($^{\circ}\text{C}$)	22,5	19,9	22,7	23,8	-	26,5	32,2
pH	8,2	8,48	8,87	7,8	8,35	-	-
ORP (mV)	-16	232	148	187	184	-	-
TDS (mg/l)	1290	540	773	530	335	380	330
Sal Na (mg/l)	906	368	531	359	227	-	-
HCO_3^-	219,6	-	107,36	123,22	75,03	189,71	142,74
$\text{SO}_4^{=}$	470,4	-	144	53,28	26,88	624	570,72
Cl^-	408,25	-	159,75	138,805	72,775	618,41	550,25
Na^+	229,54	-	185,84	172,5	86,94	529	496,8
K^+	7,41	-	34,32	8,97	7,8	55,38	53,43
Ca^{2+}	56,8	-	44,6	37	22,2	138,6	138
Mg^{2+}	11,52	-	18	9,36	7,32	38,4	38,88

Cuadro 30. Parámetros fisicoquímicos y especies mayoritarias.

El muestreo de 10 puntos resultó insuficiente para cubrir la superficie del acuífero –el problema es similar al presentado por la piezometría- de modo que fue necesario incorporar mayor información para poder extraer mínimas conclusiones confiables.

La información complementaria fue obtenida en base a informes de archivo y presentó algunos problemas dado que, por la época en la que fueron realizados y los diversos objetivos que motivaron su análisis, algunas especies químicas no fueron registradas. Otra complicación

que se presentó fue la dificultad para asignar un análisis a un pozo en particular dado que las memorias técnicas se encontraban incompletas y dispersas. De toda la información existente se seleccionó sólo aquella que fue posible salvar por presentar problemas menores de compatibilidad.

La baja densidad de información impidió la confección de mapas isoquímicos, por tanto, se optó por presentar la información utilizando diagramas de Stiff de especies químicas mayoritarias. Esta modalidad permite contextualizar espacialmente cada dato químico local y distinguir, a grandes rasgos, sectores o características particulares.

Los resultados de los análisis físico-químicos realizados en el laboratorio se introdujeron en el programa INAQUAS (Merino y Almudeno de la Losa, IGME, 2009) para clasificar las aguas y obtener los diagramas de Piper-Hill-Langelier (Figura 44) y permite clasificar las facies hidroquímicas o familias de aguas facilitando su interpretación.

El diagrama de Piper tiene por principio el cruzamiento de las cantidades porcentuales de los tenores en meq/g de los cationes y aniones principales. Permite la presentación de varios parámetros en una combinación de dos diagramas triangulares, para aniones y cationes por separado, y uno en forma de rombo para mostrar la relación entre ambos grupos de aniones y cationes, donde las muestras son proyectadas como un punto en cada diagrama.

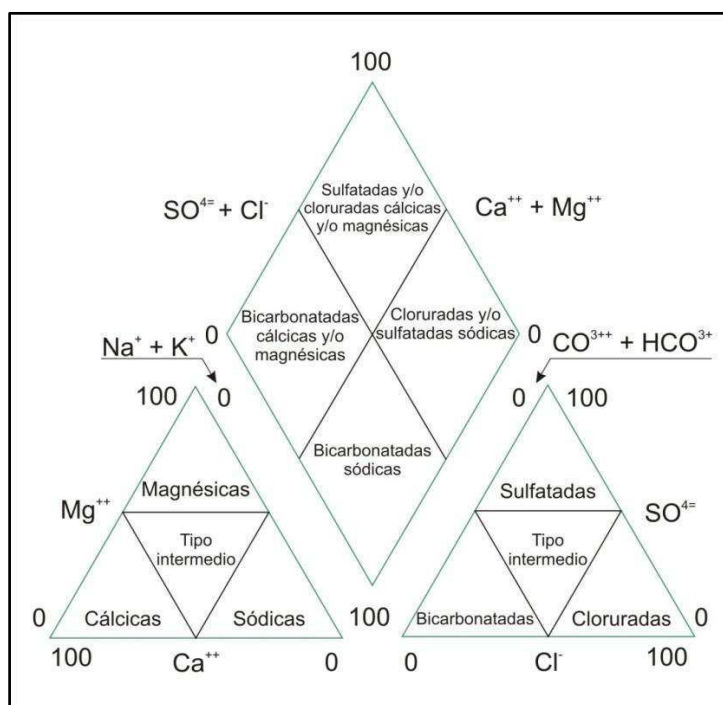


Figura 44. Diagrama de Piper-Hill-Langelier.

7.1 - Hidroquímica de galerías

La clasificación química del agua de galerías es clorurada y/o sulfatada sódica. Estas aguas muestran muy baja dispersión y podrían considerarse estrictamente dentro de un mismo grupo sin subdivisiones. La única diferencia entre ellas radica en un leve corrimiento hacia aguas de contenido más sódico particularmente en las galerías B y D aunque no es posible determinar si esto se debe a alguna causa particular o es simplemente producto de la variabilidad del método de análisis.

El agua de las galerías proviene de una captación emplazada en la barrera de médanos a muy poca profundidad, menos de 6 m. Se encuentran en zona de oscilación de la freática y responden a un esquema de recarga puramente local basada en las precipitaciones, por tanto, quedan sometidas a los procesos más superficiales que pueden afectar su composición química. La influencia de la bruma marina mezclada con las precipitaciones sumada al proceso de evapotranspiración y concentración de sales pueden ser los responsables de la alta concentración de cloro y sulfatos que las caracteriza.

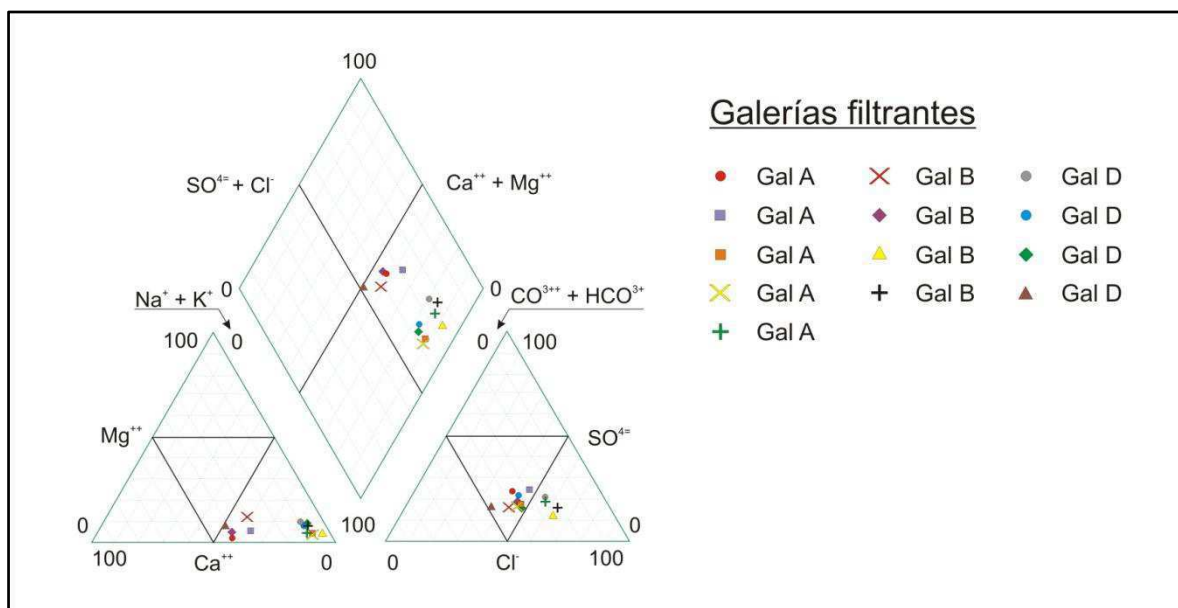


Figura 45. Diagrama de Piper-Hill-Langelier para muestras provenientes de las galerías filtrantes.

7.2 - Hidroquímica de captaciones someras

Los pozos someros fueron divididos en dos grupos: los relevados durante la campaña 2015 y los análisis en los pozos "Ruta" y "Jardín".

Los molinos relevados durante la campaña, con excepción del Pozo “Pileta” (P1), se encuentran ubicados al este de la Base Baterías y distribuidos a lo largo de la faja de médanos. Este sector es el más prístino ya que no existen actividades económicas intensivas de ningún tipo, sólo hay un pequeño desarrollo ganadero. Estas aguas clasifican como cloruradas y/o sulfatadas sódicas con una clara tendencia a aumentar la proporción de bicarbonato a medida que se corren más al este.

Las muestras de los pozos “Ruta” y “Jardín” se encuentran en el territorio de la Base Baterías y son cercanos a la costa. Estas aguas clasifican como bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas con tendencia a ser sódicas. La principal diferencia con el grupo anterior es la mayor proporción de bicarbonatos.

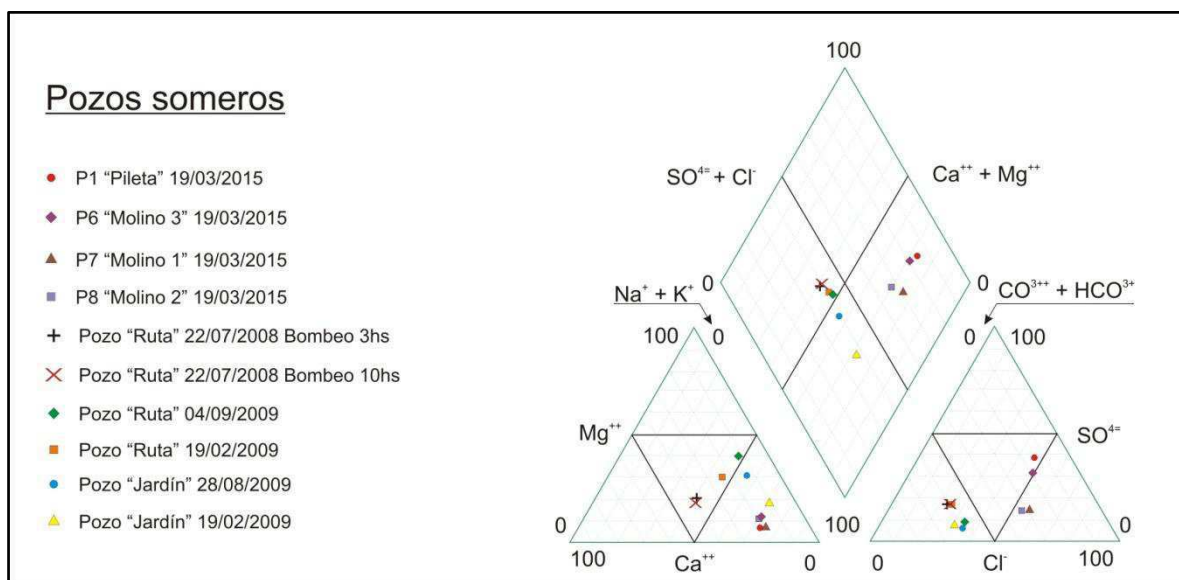


Figura 46. Diagrama de Piper-Hill-Langelier para pozos someros.

En este caso pueden definirse con claridad dos familias de aguas: los molinos y el pozo “Pileta” clasifican como cloruradas y/o sulfatadas sódicas al igual que el agua proveniente de las galerías filtrantes, mientras que los pozos “Ruta” y “Jardín” clasifican como bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas con tendencia a ser bicarbonatadas sódicas.

La diferencia puede ser indicativa de un aporte producto de diferentes flujos subterráneos de aguas. Los molinos, como captaciones someras, pueden estar captando agua proveniente de flujos locales de interduna con lo cual la presencia de sulfatos y cloruros se hace más importante como consecuencia de la bruma marina y la concentración de sales por evapotranspiración y oscilación de la freática. Es un caso similar a lo que ocurre con las galerías filtrantes.

Los pozos “Ruta” y “Jardín”, por otra parte, muestran características típicas de zona de recarga con alto contenido de bicarbonatos (Custodio, 1983). Sabiendo que estos pozos poseen una profundidad de 20 m no es extraño suponer que sus aguas provienen de flujos subterráneos de recarga más regionales y están alejadas de la influencia freática. Es muy probable que estas aguas provengan de la recarga ubicada en la llanura pampeana al norte de la barrera de médanos y presenta un tiempo de tránsito relativamente corto en las arenas como para no perder completamente su carga carbonática.

7.3 - Hidroquímica de captaciones profundas

Las aguas provenientes de pozos surgentes clasifican todas dentro del campo cloruradas y/o sulfatadas sódicas aunque dentro de este campo pueden verse dos subgrupos muy bien diferenciados.

Los pozos llamados surgentes se encuentran en la órbita de la Base Baterías y provienen de las perforaciones profundas que se denominan Baterías 1 y Baterías 2. Su contenido catiónico es fuertemente sódico, rasgo característico de las aguas profundas con tiempos de tránsito muy prolongados (Custodio, 1983).

Por otra parte, los pozos “Cornago” y “Pto. Charlie” tienen un contenido catiónico más cálcico magnésico. Estos dos pozos fueron hallados en las proximidades de la base y no cuentan con memoria técnica de ningún tipo. Es posible, dado que no existen surgencias naturales en el área –al menos no han sido informadas hasta ahora-, que se trate de antiguas obras mal cegadas u olvidadas que hoy fueron recuperadas de manera informal y abastecen a los pobladores del área.

El tipo hidroquímico de estos dos pozos indica o bien una fuente más somera o una importante mezcla entre aguas profundas y superficiales. Los datos históricos de temperaturas sustentan esta hipótesis ya que la temperatura en boca de pozo para los surgentes profundos ronda los 70 °C mientras que la medida en los pozos “Cornago” y “Pto. Charlie” es de 30 °C.

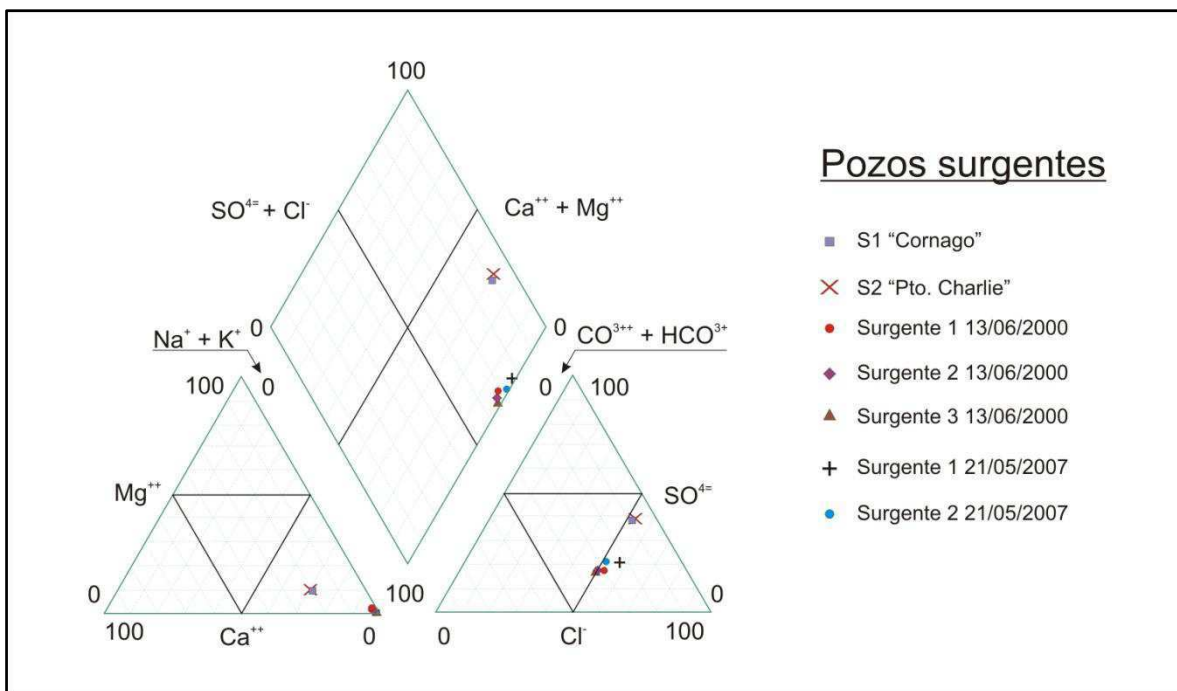


Figura 47. Diagrama de Piper-Hill-Langellier para pozos surgentes.

Capítulo 8

Modelo hidrogeológico del área de estudio

El acuífero Punta Médanos –llamado así en virtud de su principal unidad continente y conforme a criterios de nomenclatura de la AIH- se encuentra alojado en una barrera de dunas costeras elongada en dirección NO – SE. Esta barrera se extiende de forma más o menos continua a lo largo de toda la costa sur de la provincia de Buenos Aires, sin embargo, en función de las condiciones hidrogeológicas del área, se estableció un límite este para el acuífero correspondiente con la ciudad de Pehuén-co.

Desde el punto de vista estratigráfico el acuífero está contenido en las arenas de la Formación Pascua y la Formación Punta Médanos que, a efectos hidrogeológicos, pueden considerarse prácticamente iguales. Su límite inferior, es decir, la base del acuífero, se estableció en el contacto entre las arenas y los sedimentos pampeanos. La diferencia entre una sección y otra radica en el cambio de propiedades hidráulicas como la permeabilidad que pasa de un valor medio de 11,18 m/día en las arenas (acuífero; Custodio, 1983) a 0,0048 m/día en los limos pampeanos (acuitardo; Custodio, 1983).

Las transmisividades obtenidas por ensayos de bombeo (con las limitaciones de cada caso) osciló entre los 800 m²/día y los 2000 m²/día de modo que se estableció una transmisividad media de referencia de 1326 m²/día; cualquiera sea el caso nos encontramos en presencia de un acuífero bueno capaz de entregar caudales de entre 50 y 100 L/seg con 10 m de depresión teórica (Villanueva & Iglesias, 1984).

El flujo de aguas subterráneas más importante tiene su recarga en la planicie ondulada al norte de la barrera de médanos y la descarga en el mar, donde, por algunas evidencias indirectas, se infiere la existencia de una interfase salina al interior del continente. Los aportes de agua se deben a las precipitaciones (que tienen además influencia en la recarga local en los otros sectores de dunas) y a las lagunas producto del drenaje impedido la norte de la barrera.

El tránsito a través de la barrera genera modificaciones en el flujo al punto de poder distinguir dos situaciones diferentes: el sector norte y este de la barrera presentan las mayores velocidades de flujo y líneas equipotenciales más o menos paralelas en dirección a las áreas de

descarga; por otra parte el sector centro sur oeste de la barrera muestra flujos más lentos y anárquicos con influencias locales más marcadas.

Las recargas y descargas locales son consecuencia directa del relieve ondulado producto de las dunas parabólicas y longitudinales. Cada cresta constituye un área de recarga local y cada interduna su descarga asociada que se pone de manifiesto, por ejemplo, en la abundancia de ojos de agua existentes. Estos pequeños flujos locales se desarrollan por encima del flujo principal subterráneo y se les atribuyen la variabilidad en las observaciones de campo.

La situación general indica que la piezometría y el flujo acompañan a la topografía, lo cual es una circunstancia común en los acuíferos libres.

La calidad química de las captaciones registradas en el área resultó variable aunque permanece dentro de valores aceptables para consumo humano. Al no contar con información detallada sobre el diseño de las obras se hace difícil establecer parámetros generales que resulten verdaderamente representativos, pero, a pesar de todo, los datos pudieron integrarse al modelo sin mayores dudas.

El caso más general, que se verifica en las captaciones someras, consiste en aguas cloruradas y/o sulfatadas sódicas según el diagrama de Piper-Hill. Esta característica se justifica por factores ambientales propios de la costa como la bruma marina que saliniza las precipitaciones y las oscilaciones de la freática es una zona semiárida que induce a la precipitación y concentración de sales. Este sello hidroquímico se atribuye fundamentalmente a los flujos superficiales de las dunas donde los factores ambientales antes mencionados tienen mayor influencia.

Los pozos que captan aguas de mayor profundidad muestran diferencias en cuanto a su composición química, principalmente con un contenido mayor de carbonatos al punto de llegar, en algunos pocos casos, a clasificar como aguas bicarbonatadas sódicas y/o magnésicas. Esta característica, propia de las zonas de recarga, se debe a la captación de aguas profundas que ya no se ven afectadas por los flujos someros y los procesos más superficiales y están influenciadas por el flujo regional de recarga que viene desde la planicie ondulada.

Las aguas superficiales poseen una conductividad media de 968 $\mu\text{S}/\text{cm}$, son alcalinas, con un pH medio de 8,4 y oxidantes. El TDS medio es de 693 mg/l lo que las ubica por debajo de los requerimientos del CAA y, a priori, indicaría que se trata de agua potable. Para establecer definitivamente su aptitud para consumo humano sería necesario realizar un análisis químico

detallado de metales pesados, bacteriológico y otras especies y compuestos (como F y As) pero ninguna evidencia geológica parece indicar que pudiera existir un problema en este sentido.

La geometría del acuífero y los parámetros para el cálculo de sus reservas se obtuvieron mediante el estudio de perforaciones y geoeléctrica que permitieron desentrañar las relaciones estratigráficas entre las unidades contenedoras. Se definió una divisoria de aguas subterránea coincidente con un alto de los limos pampeanos a la altura del acantilado de Pehuén-co. Este rasgo relíctico del pleistoceno constituye el límite este del acuífero que adquiere mayor profundidad hacia el oeste hasta aproximadamente alcanzar la latitud de la BIM Baterías donde se encontraría el sector de mayor desarrollo. A partir de ahí las formaciones postpampeanas se acuñan progresivamente contra otro alto de limos pampeanos. De lo dicho anteriormente se deduce que el acuífero tiene una geometría cóncava cuyo sector más profundo se encuentra en la zona central ubicada entre las ciudades de Punta Alta y Pehuén-co.

En la dirección norte sur fue posible determinar una profundización progresiva hacia el mar en armonía con la tendencia general de la Cuenca del Colorado y es factible suponer que las arenas de la Formación Pascua continúen mar adentro ya que constituyen el primer relleno de arenas costeras que tuvo el relieve pleistoceno cuando el mar comenzó su ascenso hasta la línea de costa actual.

Los cálculos de reservas se efectuaron para la superficie que fue posible cubrir con datos hidrodinámicos y se consideran una buena aproximación a pesar de que el área cubierta resulta un poco menor el área total del acuífero.

La reserva total calculada para un espesor saturado medio de 16,4 m resultó de 2437,07 Hm³ y la reserva efectiva, capaz de ser utilizada sin alterar la dinámica del acuífero, se estimó en 23,83 Hm³.

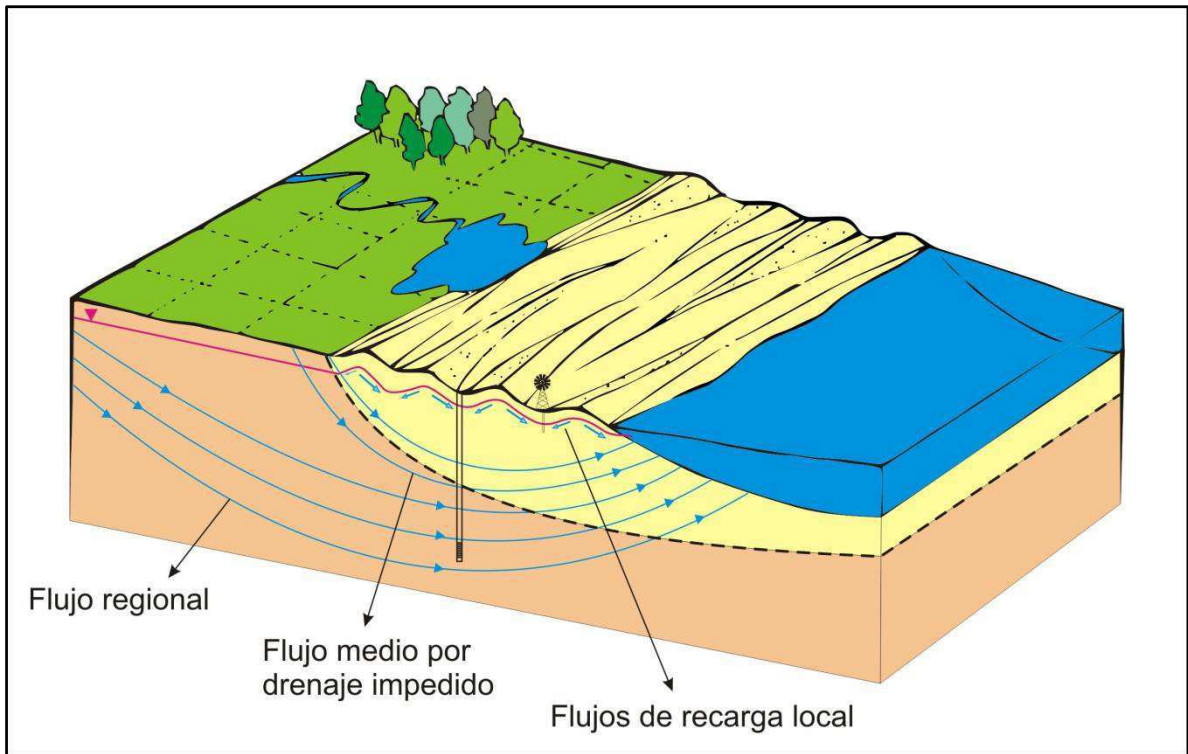


Figura 48. Modelo hidrogeológico de flujo de aguas subterráneas.

Capítulo 9

Aspectos geotécnicos y captaciones

La BNPB cuenta con un personal de 16800 agentes entre marinos y civiles los cuales se dividen entre el personal temporario de 8925 y personal permanente de 7875. Considerando un consumo de 80 L/día por persona para el personal temporario y otro de 250 L/día para el personal permanente se calculó un consumo anual de la BNPB de 979203,75 m³/año o, para simplificar, 0,98 Hm³/año (DSH-INA, 2009).

Este valor representa apenas un 4% de la reserva efectiva del acuífero, por tanto, en las condiciones actuales, su explotación es perfectamente sostenible. En esta misma línea de análisis la instalación del futuro centro de lanzamiento de satélites, con su consecuente presión de demanda sobre el acuífero, resultaría perfectamente viable sin afectar de forma perniciosa la dinámica del acuífero siempre y cuando la demanda sea para consumo humano, dado que no supondría más que un ligero aumento de la demanda en función del personal empleado permanentemente. En caso de requerir agua para alimentar alguna actividad tecnológica propia del centro resultaría necesario realizar un estudio específico del tema.

Respecto del uso de Hidracina (N₂H₂), principal combustible de cohete y sustancia manipulable en cantidades importantes en la futura base, es conveniente destacar que más allá de su alto grado de toxicidad éstas no poseen un prolongado tiempo de permanencia en el medio ambiente y son degradadas con facilidad. En el aire su persistencia es de minutos u horas ya que son degradadas velozmente por moléculas reactivas del aire y su permanencia en el agua y el suelo es un poco más prolongada aunque no supera las pocas semanas (ATSDR, 1997). Aún así, por cuestiones preventivas, sería importante contar con un estudio particular para el área y tomar las precauciones necesarios que de allí se desprendieren (no captar agua cercana a la zona de lanzamiento, por ejemplo).

Dado que el acuífero se encuentra en condiciones relativamente prístinas y puede abastecer sobradamente la demanda de actividades presentes y futuras un asunto interesante de analizar pasa a ser el método de captación de las aguas subterráneas.

Dentro del área es posible hallar diversas formas de captación del agua subterránea que, en términos generales, responden a la necesidad que se busca atender. Existen molinos de viento para abreviar ganado, pozos con electrobomba para demandas puntuales y las galerías

filtrantes que en su momento constituyeron una solución a las dificultades de abastecimiento de la base.

El volumen de agua requerido, el período de tiempo, ubicación geográfica de la demanda, los costos de construcción y mantenimiento son sólo algunos de los factores que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar un sistema de explotación, por tanto, determinar a ciencia cierta cuál es el mejor método de captación requiere de un estudio específico para el caso. Más allá de todo esto, sí resulta posible establecer a priori las ventajas y desventajas de cada método.

En la actualidad el método de captación más difundido es, sin lugar a dudas, el pozo vertical con electrobomba; sin embargo las características del área introducen la posibilidad de reimplementar un sistema de drenes horizontales como las galerías filtrantes que dieran origen al abastecimiento de la base. La principal ventaja de las galerías frente a los pozos consiste en el gran caudal de agua que pueden obtener de los médanos sin utilizar energía, sólo por acción de la gravedad. La superficie de captación a lo largo de los 400 m de la galería constituye una ventaja importante frente a la profundidad máxima de alrededor de 30 m que puede tener un pozo antes de alcanzar los sedimentos pampeanos. El caudal de extracción por gravedad calculado para una galería de 500 m³/h cubre fácilmente y a bajo costo la demanda diaria de 2682 m³ de la BNPB volumen que requeriría de una batería de pozos someros y un gasto energético de bombeo mucho mayor.

La construcción casi superficial (menor a los 6 m) de las galerías también presenta una ventaja en cuanto al acceso a la obra para tareas de mantenimiento como se demostró durante la campaña DSH-INA 1994: luego de casi 100 años de vida las galerías continuaban operativas con una sencilla limpieza. Además, se han desarrollado recientemente técnicas de perforación horizontal dirigida empleada frecuentemente para realizar drenajes subterráneos que pueden utilizarse para la construcción de drenes horizontales.

Quizás la única desventaja de este método frente a los pozos convencionales sea que, por el emplazamiento somero, resultan extremadamente vulnerables a cualquier tipo de acción antrópica que sea potencialmente contaminante. Esto se manifestó en la galería “D” que, por hallarse próxima a un repositorio de residuos urbanos sin diseño ni control, presentó niveles muy elevados de nitritos y otras sustancias tóxicas (INCyTH, 1994). Esto demuestra que el emplazamiento y la planificación de este tipo de obra resultan vitales para su óptimo aprovechamiento. En los pozos esta complicación se encuentra atenuada por la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos, ya que al menos la profundidad del agua, espesor de la zona

saturada, litología y tipo acuífero retrasa el acceso de contaminantes (Foster *et al.*, 1987) en muchos casos previniendo al contaminación.

En suma la disyuntiva está entre la obtención de un gran volumen de agua a bajo costo pero con alto riesgo de contaminación a no ser que se aplique un manejo controlado y planificado de la obra (situación que no siempre resulta sencilla); o la instalación de una batería de pozos que en sí requieren menos atención pero implican un costo energético más elevado.

Capítulo 10

Conclusiones

El sudoeste de la provincia de Buenos Aires es una región semiárida cuyas precipitaciones medias apenas superan los 500 mm anuales y se caracteriza por la escasez de ríos de gran porte. En la llanura pampeana, al sur de las Sierras Australes, el río Sauce Grande es el único curso significativo de agua superficial. La llanura se encuentra interrumpida por una barrera de médanos de aproximadamente 8 km de ancho que bloquea el drenaje de los ríos y no posee escorrentía superficial de ningún tipo con lo cual la situación de escasez hídrica se vuelve mucho más crítica.

Frente a este panorama el desarrollo de cualquier actividad humana presenta una complicación fundamental: la provisión de agua potable. Tal es así que desde la fundación de la Base Naval Puerto Belgrano en 1898 se han intentado muy variadas estrategias de aprovisionamiento pero, a pesar de todo, al día de hoy, el problema permanece no del todo resuelto.

La razón principal de este aspecto de la explotación sea quizás la ausencia de una estrategia integrada que contemple tanto las características geológicas e hidrogeológicas del área como las posibilidades y limitaciones del sistema humano que allí se desarrolla. De hecho, durante el transcurso de este estudio fue posible constatar que la información disponible sobre el recurso agua en la zona es escasa, dispersa, muchas veces incompleta y no existen trabajos integradores que permitan crear un panorama claro de las posibilidades del acuífero.

La superficie cubierta en este estudio fue de 370 km² del acuífero y permitió determinar que se trata de un acuífero de tipo libre contenido en sedimentos arenosos muy poco consolidados.

Desde el punto de vista estratigráfico el acuífero Punta Médanos está contenido por la Formación Pascua (Pleistoceno) y la Formación Punta Médanos (Holoceno), ambas asignadas al ciclo de sedimentación Postpampeano. Los sedimentos pampeanos constituyen un acuitardo y representan el piso del acuífero de Punta Médanos en la región.

La recarga es mixta, en parte alóctona por aportes de la llanura pampeana y en parte local por precipitaciones y por el agua acumulada en la zona del drenaje impedido. Las reservas totales fueron estimadas en 2437 Hm³ y las reservas efectivas en 23,83 Hm³, valores que se

encuentran muy por encima de la demanda actual e incluso de la proyección futura por adición de nuevas actividades en la zona.

Esta circunstancia convierte al acuífero Punta Médanos en una excelente opción para la provisión de agua, ya que puede abastecer sobradamente las demandas actual y futura de corto y mediano plazo y además resulta accesible dado que con el nivel tecnológico actual las obras de captación someras no requieren de grandes inversiones de construcción y mantenimiento.

Sin embargo, la realidad muestra que las potencialidades del área no han podido aprovecharse en plenitud y las actividades que allí se desarrollan presentan más de un problema vinculado al agua, con los costos financieros y operativos que esto implica. Las dificultades se han presentado tanto en la planificación de las obras como en el mantenimiento posterior y sin considerar la proliferación de respuestas improvisadas o “parches”, que sólo añaden más confusión al cuadro general.

Para concluir, aunque se trate de una región semiárida con dificultades para abastecer de agua a las actividades humanas, una buena investigación del medio ambiente físico realizada por un profesional competente demuestra, en primera instancia, que existe una variedad de alternativas para la solución de los problemas de abastecimiento. El paso siguiente, el aprovechamiento y explotación de ese recurso, debe realizarse de forma planificada teniendo en cuenta todas las alternativas posibles y sobretodo, manteniendo las acciones en el tiempo para evitar dificultades futuras producto del caos logístico y administrativo al que conduce la improvisación.

Agradecimientos

Como no creo en los éxitos individuales quiero agradecer en primer lugar a mi familia, amigos y compañeros que estuvieron conmigo durante estos años de carrera haciendo la vida agradable y colaborando activamente para que pudiera alcanzar esta meta.

En segundo lugar a la Universidad de Buenos Aires que brinda, merced al esfuerzo de todo el Pueblo Argentino, una educación de calidad y gratuita. Quiero hacer mención de aquellos profesores que contribuyeron especialmente a mi formación en estos años, ellos son Haroldo Vizán, Renata Tomezzoli, Francisco Vilas, Augusto Rapallini y en general a la gente del Instituto de Geofísica Daniel A. Valencio. Destaco también la valiosa ayuda prestada por Silvia Marcomini y Rita Tófalo para realizar este trabajo.

Quiero agradecer también al Instituto Nacional del Agua, a mis compañeros de trabajo de la Dirección de Servicios Hidrológicos, y en particular a su director el Lic. Oscar Coriale, por la experiencia, los consejos y por brindarme la posibilidad de trabajar.

Al SPARR por la información brindada y a la Armada Argentina que se ocupó de la logística para que este trabajo pudiera realizarse.

Por último quiero agradecer el aporte de tres personas fundamentales que contribuyeron de manera especial a mi formación científica y sobretodo humana, ellos son mis maestros y amigos Guillermo Colino, Jerónimo Milo y Adrián Silva Busso.

Bibliografía

ATSDR, 1997. Resumen de salud pública Hidracinas. Agencia para sustancia tóxicas y registro de enfermedades (ATSDR), CAS#: 302-01-2, 57-14-7, 540-73-8.

Auge, M., 2004. Regiones hidrogeológicas. República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe. La Plata. Pág. 38 – 39.

Bonorino, F. G., 1965. Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del pampeano en el área de la Ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. Revista de la Asociación Geológica Argentina Tomo XX N° 1: 67 – 148.

CEPIS-OMS, 2002. Manual de galerías filtrantes. Lima 2002.

Código Alimentario Argentino. Capítulo XII, Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Agua Potable. Artículo 982.

CRAS-INA, 2011. Relevamiento geoelectrico en las inmediaciones de la Base Naval Puerto Gral. Belgrano. Inédito.

Custodio, E. y Llamas M.R., 1983. Hidrología subterránea Tomos I y II. Ediciones Omega. Barcelona, España.

DSH-INA, 1998. Factibilidad de aprovechamiento del pozo surgente N° 23, Barrio Doufourq – Quiroga, Base Naval Puerto Belgrano. Inédito.

DSH-INA, 2015. Modelo conceptual para la provisión de agua subterránea en ambientes de dunas costeras, el caso de la ciudad balnearia de Villa Gesell. Inédito

DSH-INA, Agosto 2009. Estudio de fuentes de agua subterránea para proveer de agua potable a la Base Naval de Infantería de Marina “Baterías”. Inédito.

Fidalgo, F. *et al.*, 1991. Los “Sedimentos Postpampeanos” continentales en el ámbito sur bonaerense. Revista de la Asociación Geológica Argentina XLVI (3 – 4): 239-256.

Foster S.S.D., 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In Vulnerability of soil and groundwater to pollutants, TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, Proceedings and Information N°38, p. 69-86.

Fucks, E. E. *et al.*, 2010. Nuevo ordenamiento estratigráfico de las secuencias marinas del sector continental de la Bahía de Samborombón, Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 67 (1): 27 – 39.

García, J y García, O. M. E., 1964. Hidrogeología de la región de Bahía Blanca (Provincias de Buenos Aires y La Pampa). Boletín N° 96, Dirección Nacional de Geología y Minería, Ministerio de Economía de la Nación.

Gatti, D., 2003. Elementos hidroestratigráficos para la protección de acuíferos en el área del Conurbano Bonaerense y Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Inédito, Beca de Iniciación del Instituto Nacional del Agua.

González, N., M.A. Hernández y C. R. Vilela, 1986. Léxico Hidrogeológico. Comisión de Investigaciones Científicas de la prov. de Buenos Aires. Publicación Especial, La Plata, Argentina.

INCyTH, 1974. Manual de Análisis Granulométrico. Ezeiza, Buenos Aires. Inédito. pag.: 7

INCyTH, 1978. Ejecución de 1 pozo de explotación en la Base de Infantería de Marina “Baterías”. Informe Inédito.

INCyTH, 1992. Captación y provisión de agua subterránea Base Naval Puerto Belgrano: diagnóstico y recomendaciones. Inédito.

INCyTH, 1994. Estudio hidrogeológico en ambiente de dunas costeras Etapa I: Evaluación del funcionamiento actual. Inédito.

INCyTH, 1995. Estudio hidrogeológico en ambiente de dunas costeras Etapa II: Propuesta para el manejo del sistema. Inédito.

INTA, 2008. Atlas de Suelos de la República Argentina. Versión digital, 1:500000.

Kaasschieter, J.P., 1965. Geología de la Cuenca del Colorado. II Jornadas Geológicas Argentinas, Actas III: 251-269, Buenos Aires.

Lesta, P. *et al.*, 1980. Plataforma continental Argentina. 2° Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba.

Marcomini, S. C. *et al.*, 2009. Manejo costero en la costa de dunas de Pehuén-co. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente N° 23: 75 – 83.

Marcomini, S. C. y López, R. A., 2013. Erosion and management in coastal dunes. Coastal research Library 6, Coastal Hazards.

Marcomini, S. C. y López, R. A., 2014. Las costas de dunas de la Provincia de Buenos Aires. Nuevas miradas a la problemática de los ambientes costeros, Cap. 15.

Mauriño, V. E., 1956. Los sedimentos psammíticos actuales de la región costera comprendida entre Faro Recalada y Faro Monte Hermoso. Boletín N° 61, Serie II, Laboratorio de ensayo de materiales e investigaciones tecnológicas, Ministerio de Obras Públicas, *Provincia* de Buenos Aires.

Norma IRAM 10509, Octubre de 1982.

Olivares, O., 1999. "Geoinformática aplicada a estudios ambientales de acuíferos en el Conurbano Bonaerense." Informe de avance correspondiente a Beca de estudio de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Inédito. La Plata.

Santa Cruz, J.N., Silva Busso, A, 1999. Escenario hidrogeológico General de los Principales Acuíferos de la Llanura Pampeana y Mesopotamia Septentrional Argentina. II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea, Actas Tomo I, pag 461-473, Tucumán, Argentina.

- Scasso, R. A. y Limarino, C. O., 1997. Petrología y diagénesis de rocas clásticas. Publicación especial N° 1 de la Asociación Argentina de Sedimentología.
- Schnack, E. J. *et al.*, 2005. Estratigrafía del cuaternario marino tardío en la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, Cap X: 159 -182.
- Struckmeier, W. y Margat, J., 1995. Hydrogeological maps, a guide and a standard legend. AIH, Vol. 17.
- Teruggi M. E. *et al.*, 1959. Las arenas de la costa de la Provincia de Buenos Aires entre Cabo San Antonio y Bahía Blanca. Boletín N° 77, Serie II, Laboratorio de ensayo de materiales e investigaciones tecnológicas, Ministerio de Obras Públicas, *Provincia* de Buenos Aires.
- Teruggi, M. E., 1982. Diccionario Sedimentológico Vol. I y II. Ediciones Científicas Argentinas Librart (ECAL).
- Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographic Review 38: 55-94.
- Torrero, M. P. y Campo, A. M., 2008. Hidrogeomorfología de la cuenca en el Río Sauce Chico. Revista geográfica Valpso N° 41: 1 – 13.
- USGS, 1967. Summary of Hydrologic and Physical Properties of rock and Soil Materials, as analyzed by the Hydrologic laboratory of the J.S. Geological Survey. United States Geological Survey.
- Villanueva, M. e Iglesias, A, 1984. Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. Instituto geológico y minero de España. Madrid, España.
- Zambrano, J.J., 1980. Comarca de la cuenca cretácica del Colorado. 2° Simposio de Geología Regional Argentina 2: 1033-1070. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba.
- Zavala, C y Quattrocchio, M., 2001. Estratigrafía y evolución geológica del río Sauce Grande (Cuaternario), Provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 56 (1): 25 – 37.

Zavala, C. 1993. Estratigrafía de la localidad de la Farola de Monte Hermoso (Plioceno - Reciente). Provincia de Buenos Aires. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos Actas Tomo II: 228 – 235.

Zavala, C. y Navarro, E., 1993. Depósitos fluviales en la Formación Monte Hermoso. Provincia de Buenos Aires. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos Actas Tomo II: 236 – 244.

Anexo I: Análisis textural de sedimentos

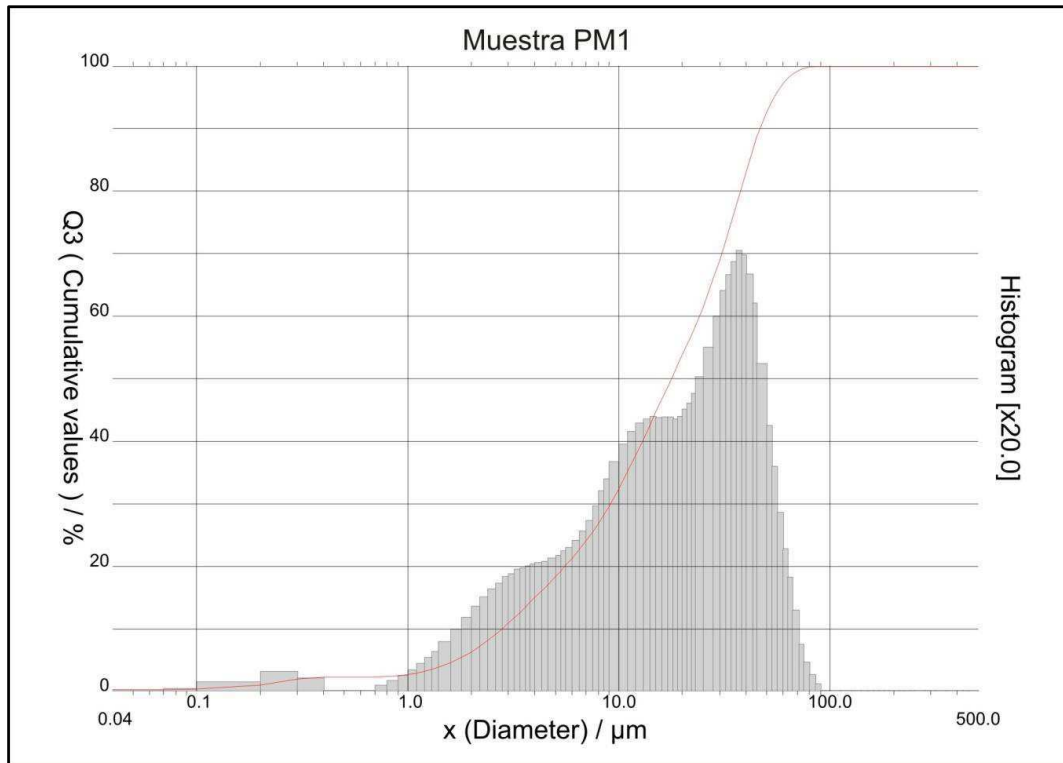


Figura 1. Histograma de Frecuencia Vs. Φ y Frecuencia Acumulada Vs. Φ (línea roja) para la Muestra PM1.

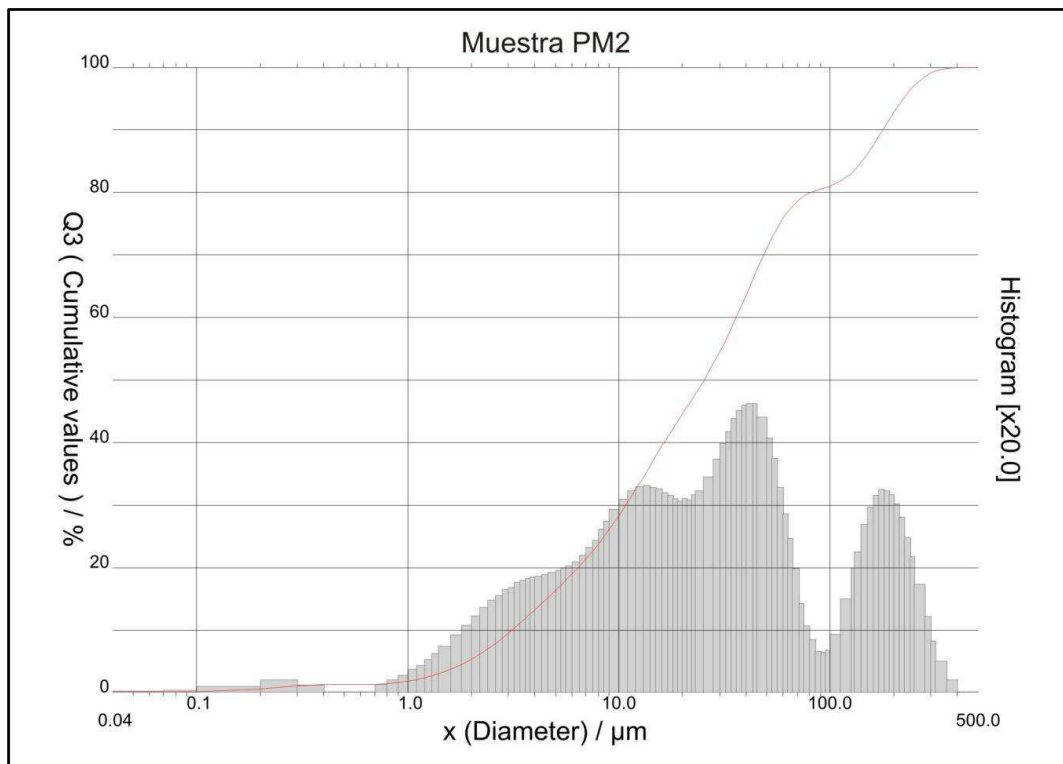


Figura 2. Histograma de Frecuencia Vs. Φ y Frecuencia Acumulada Vs. Φ (línea roja) para la Muestra PM2.

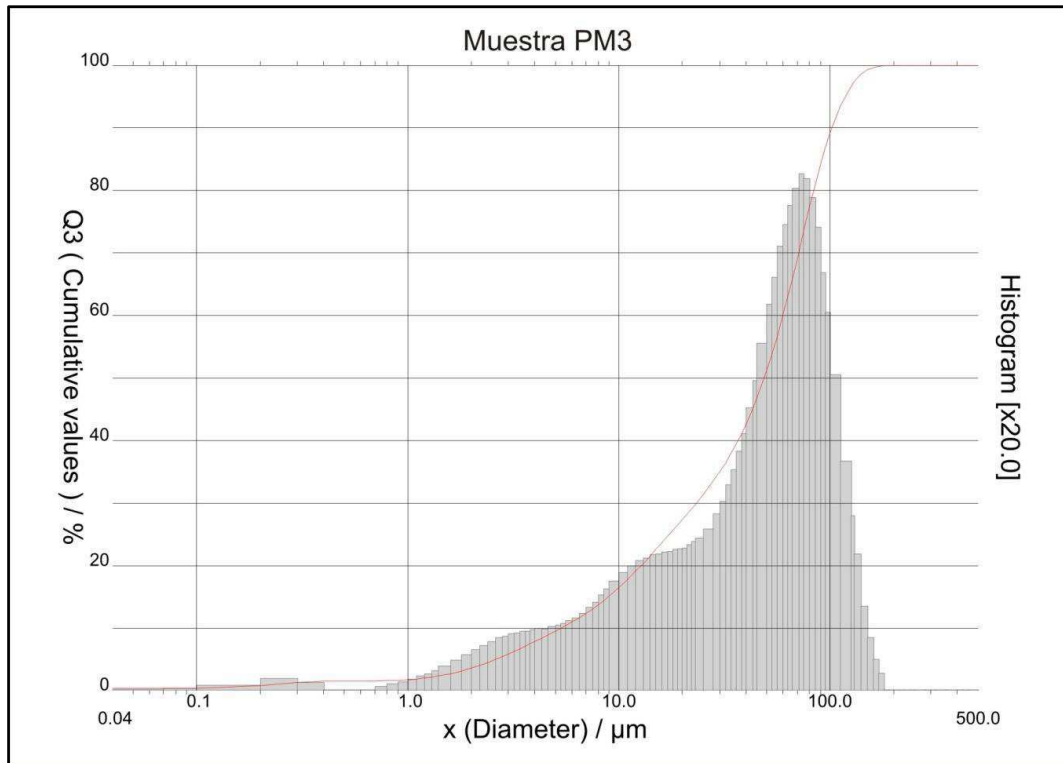


Figura 3. Histograma de Frecuencia Vs. Φ y Frecuencia Acumulada Vs. Φ (línea roja) para la Muestra PM3.

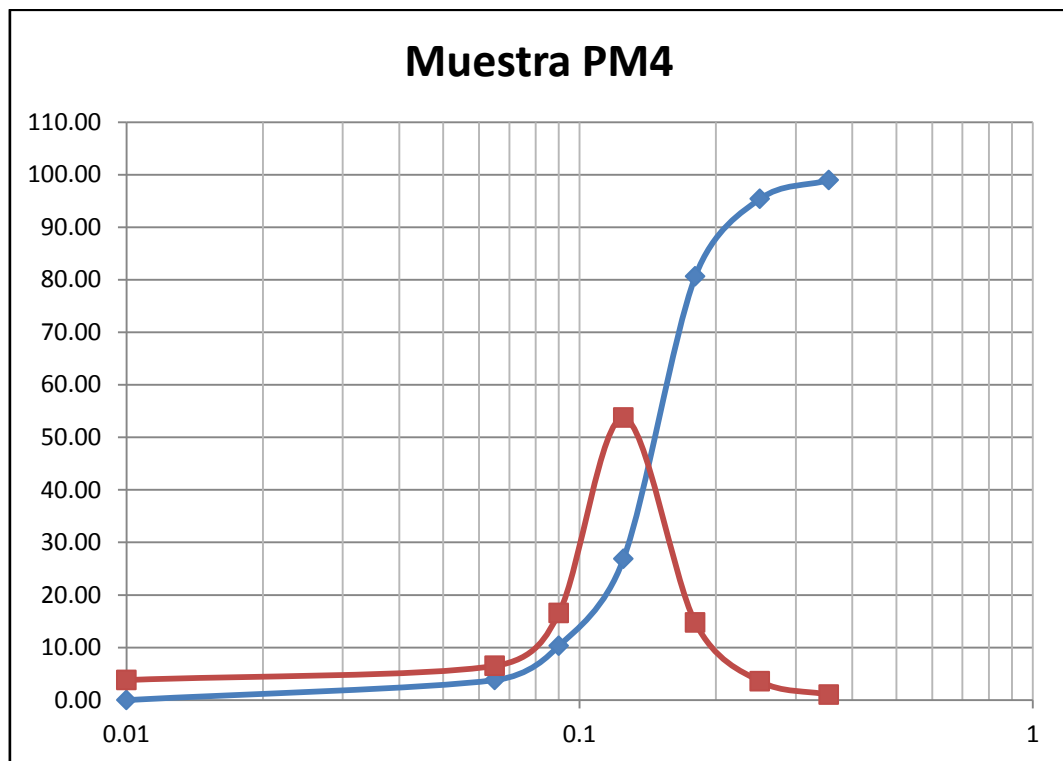


Figura 4. Histograma de Frecuencia Vs. Φ (línea roja) y Frecuencia Acumulada Vs. Φ (línea azul) para la Muestra PM4.

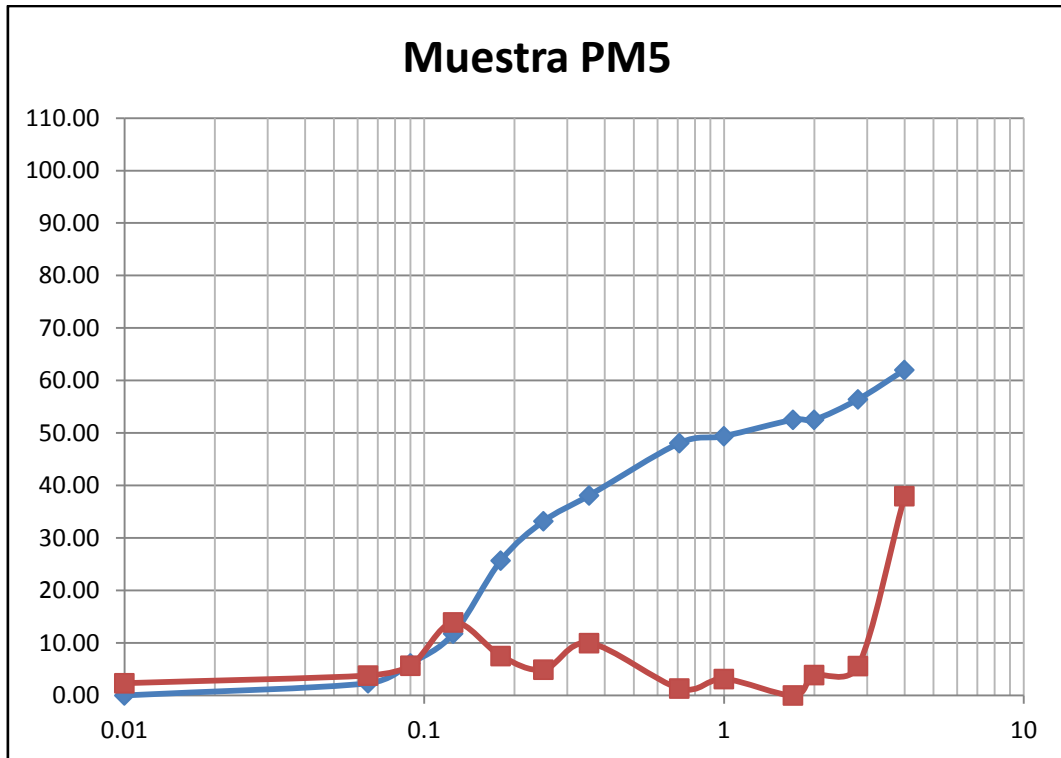


Figura 5. Histograma de Frecuencia Vs. Φ (línea roja) y Frecuencia Acumulada Vs. Φ (línea azul) para la Muestra PM5.

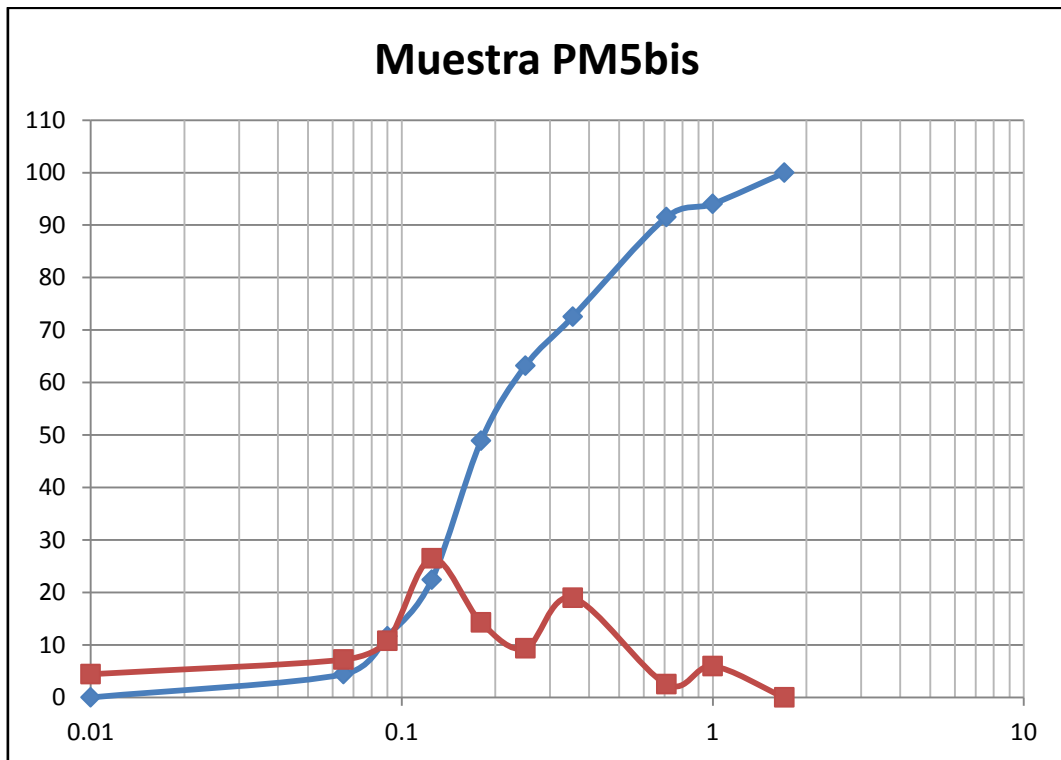


Figura 6. Histograma de Frecuencia Vs. Φ (línea roja) y Frecuencia Acumulada Vs. Φ (línea azul) para la Muestra PM5bis.

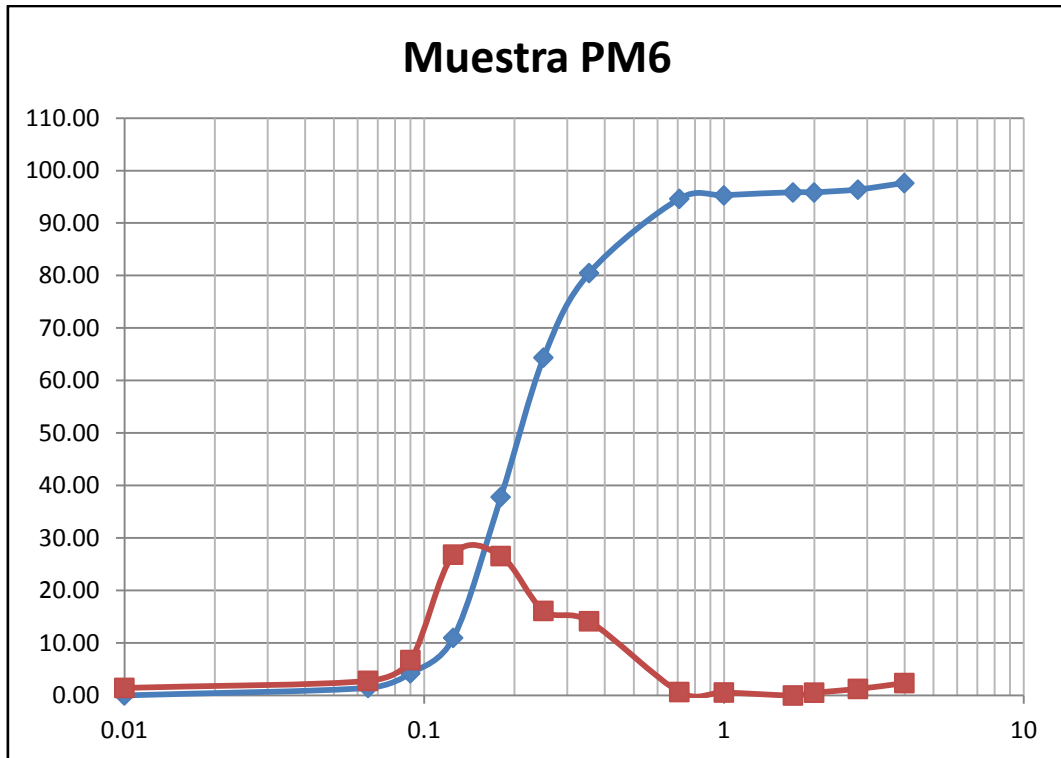


Figura 7. Histograma de Frecuencia Vs. Φ (línea roja) y Frecuencia Acumulada Vs. Φ (línea azul) para la Muestra PM6.

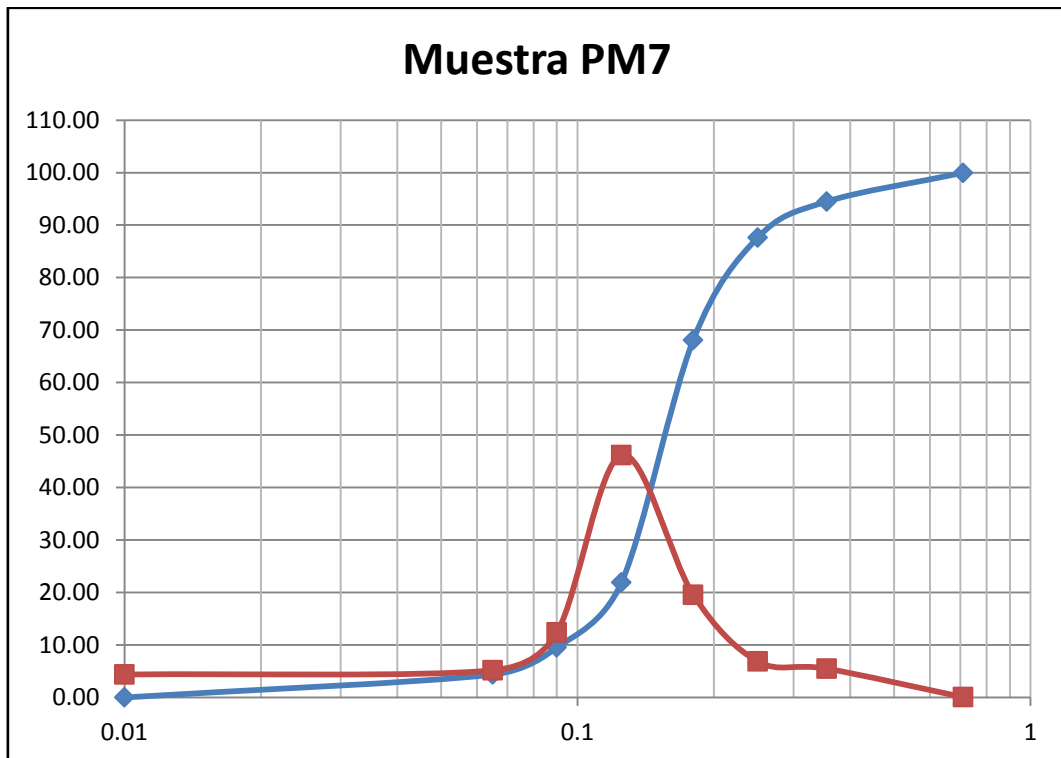


Figura 8. Histograma de Frecuencia Vs. Φ (línea roja) y Frecuencia Acumulada Vs. Φ (línea azul) para la Muestra PM7.

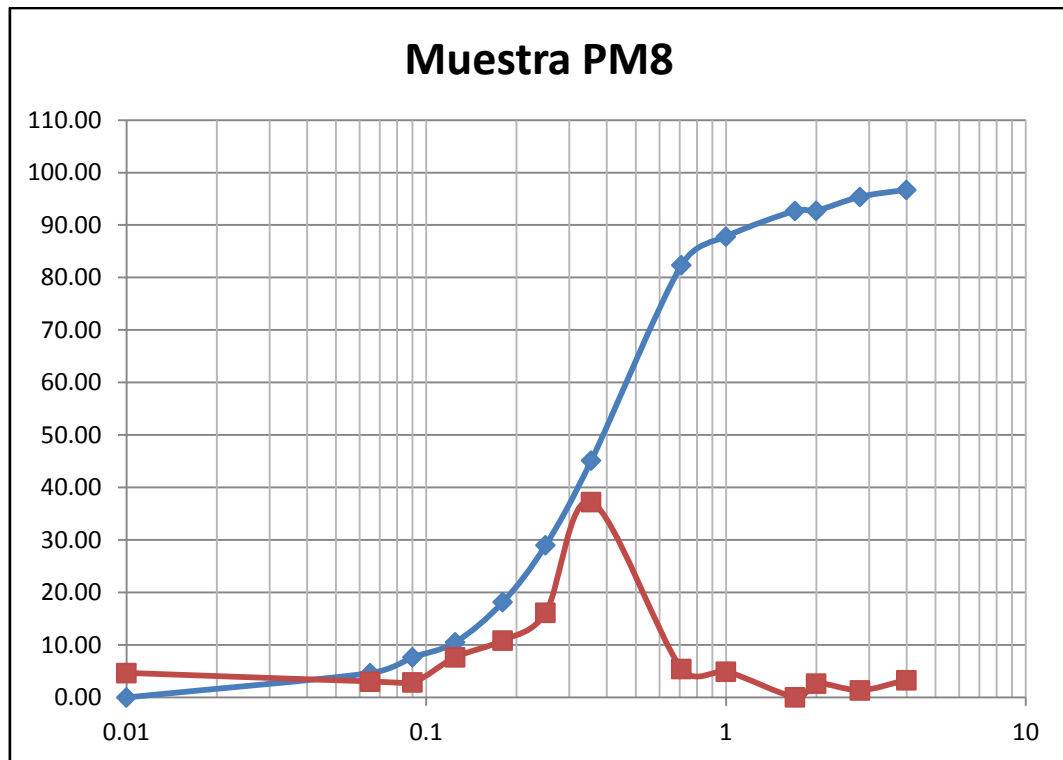
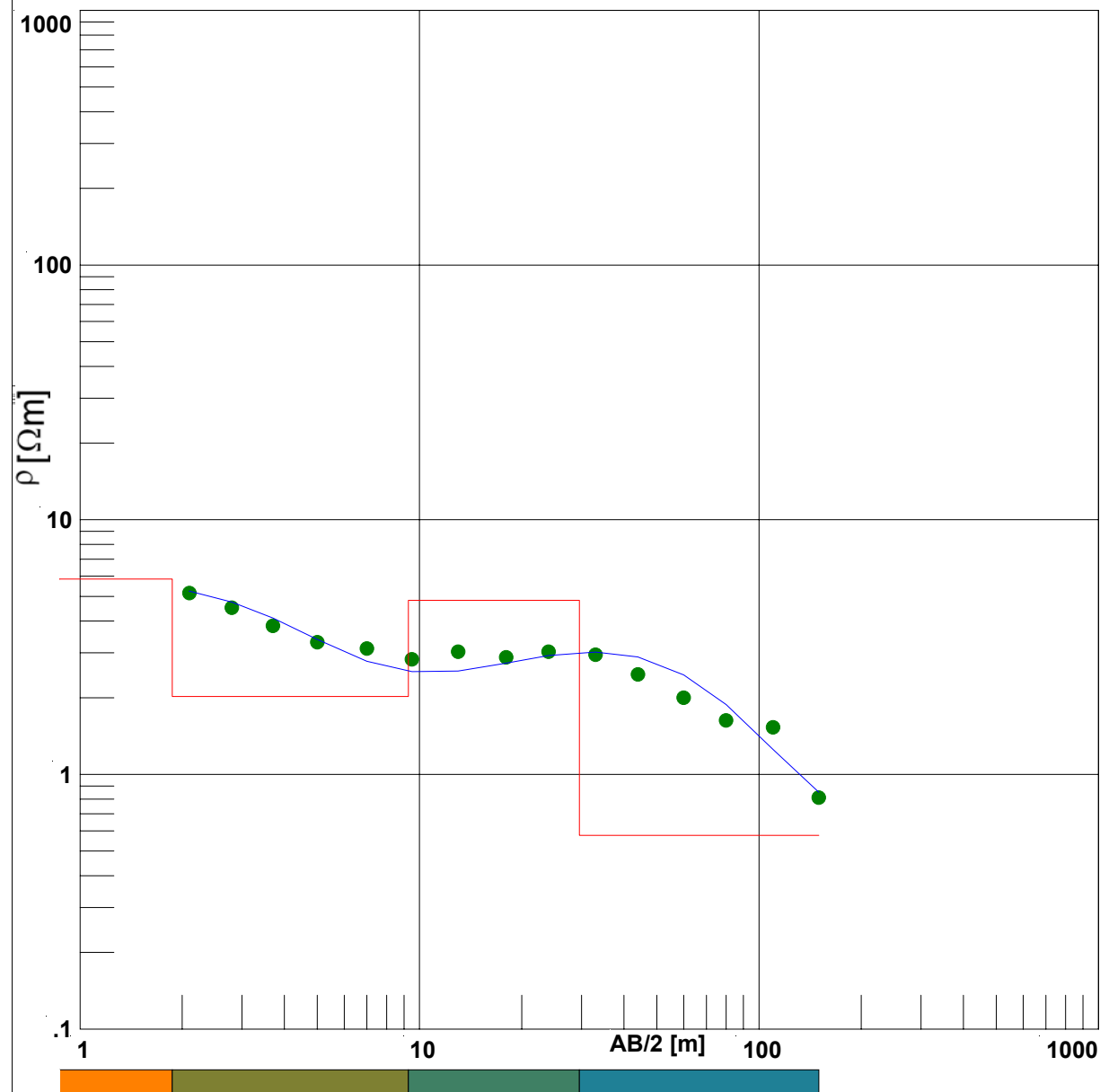


Figura 9. Histograma de Frecuencia Vs. Φ (línea roja) y Frecuencia Acumulada Vs. Φ (línea azul) para la Muestra PM8.

Anexo II: Prospección geoeléctrica

Anexo II.a: Campaña de prospección somera 2008

BIM - S.E.V. 1



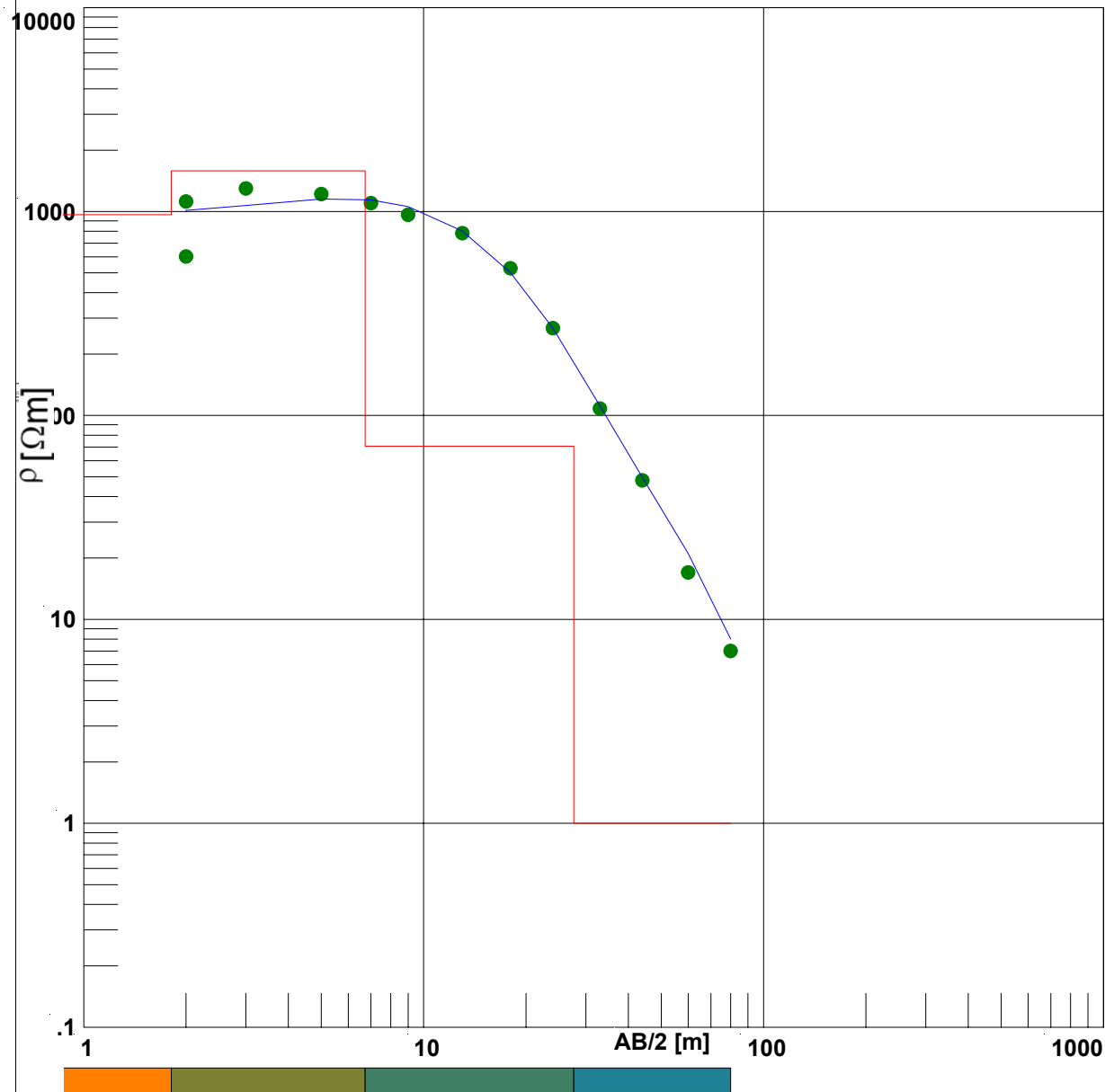
AB/2 [m]	$\rho_{Campo} [\Omega m]$	$\rho_{Teor.} [\Omega m]$
2.10	5.15	5.24
2.80	4.51	4.75
3.70	3.83	4.11
5.00	3.30	3.39
7.00	3.12	2.78
9.50	2.83	2.53
13.00	3.03	2.55
18.00	2.88	2.73
24.00	3.03	2.93
33.00	2.95	3.02
44.00	2.47	2.89
60.00	2.00	2.46
80.00	1.63	1.88
110.00	1.53	1.25
150.00	0.81	0.85

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{Verd.} [\Omega m]$
1	1.87	1.87	5.85
2	7.40	9.27	2.02
3	20.29	29.56	4.82
4			0.58

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{Teórico}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 2



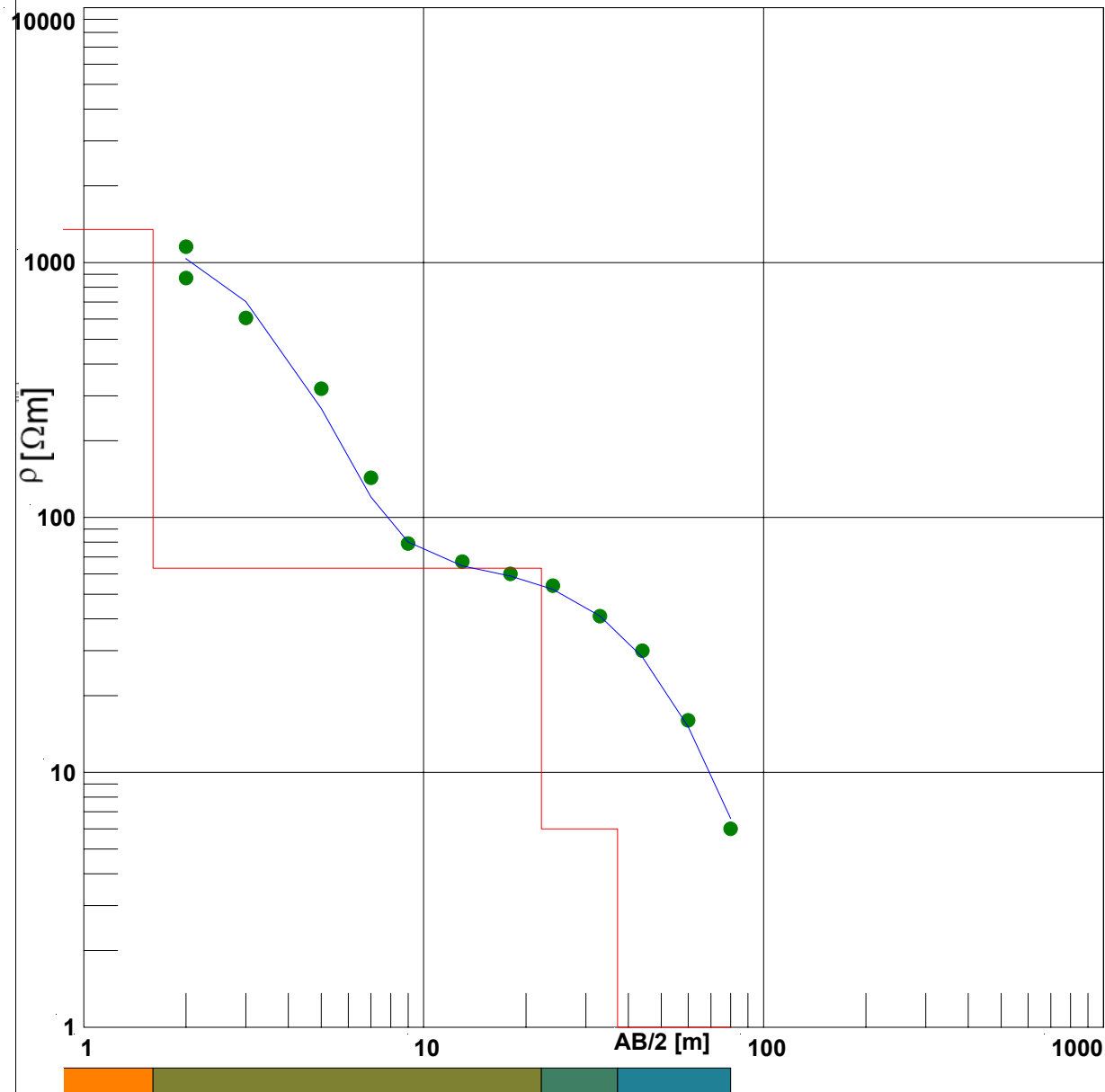
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
2.00	602.00	1012.81
2.00	1120.00	1012.81
3.00	1297.00	1071.45
5.00	1219.00	1151.73
7.00	1100.00	1140.46
9.00	965.00	1058.48
13.00	783.00	804.01
18.00	527.00	501.60
24.00	268.00	267.68
33.00	108.00	111.62
44.00	48.00	49.73
60.00	17.00	21.02
80.00	7.00	8.02

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]	
1	1.81	1.81	964.76	Orange
2	4.92	6.73	1584.00	Olive
3	20.92	27.65	70.67	Green
4			1.00	Blue

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 3



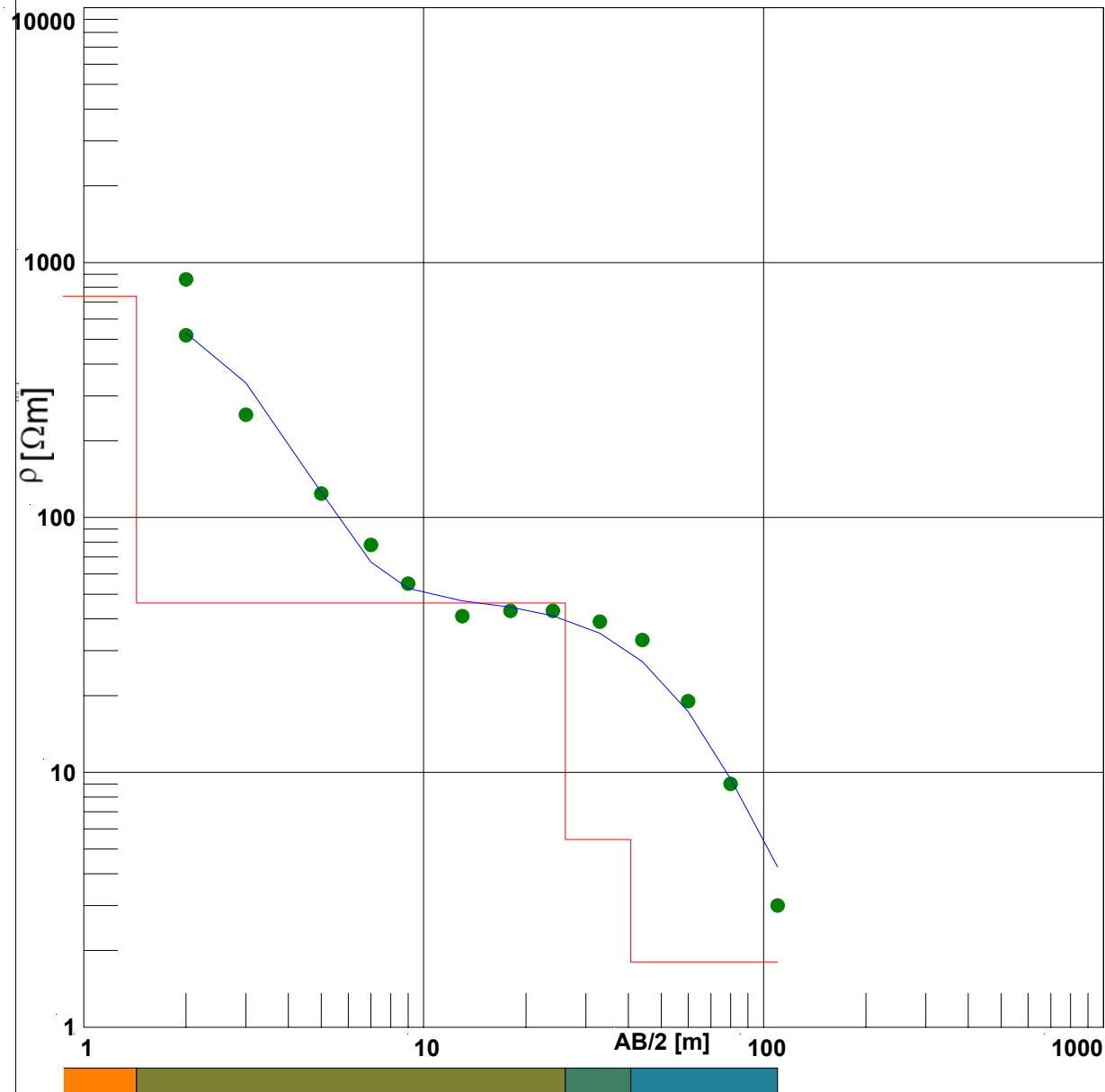
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
2.00	1153.00	1035.39
2.00	869.00	1035.39
3.00	606.00	702.95
5.00	320.00	267.64
7.00	143.00	120.29
9.00	79.00	80.04
13.00	67.00	64.52
18.00	60.00	58.84
24.00	54.00	52.18
33.00	41.00	41.08
44.00	30.00	28.35
60.00	16.00	15.09
80.00	6.00	6.59

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	1.60	1.60	1348.64
2	20.59	22.19	63.21
3	15.00	37.19	6.00
4			1.00

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 4



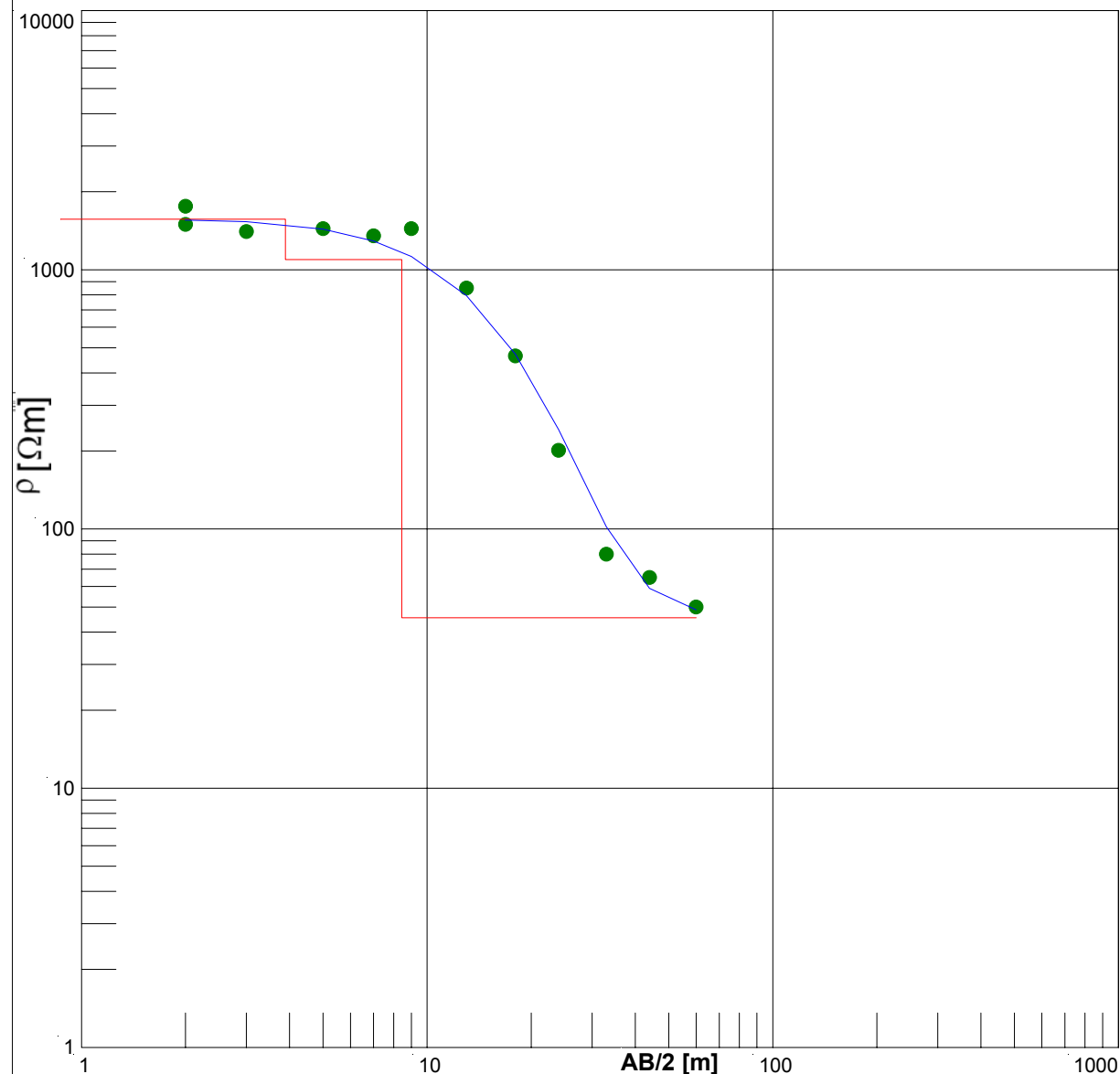
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ωm]	$\rho_{Teor.}$ [Ωm]
2.00	859.00	528.71
2.00	518.00	528.71
3.00	253.00	337.11
5.00	124.00	125.47
7.00	78.00	66.80
9.00	55.00	52.72
13.00	41.00	47.11
18.00	43.00	44.45
24.00	43.00	41.14
33.00	39.00	35.13
44.00	33.00	27.19
60.00	19.00	17.29
80.00	9.00	9.41
110.00	3.00	4.26

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{Verd.}$ [Ωm]
1	1.43	1.43	737.58
2	24.68	26.11	46.19
3	14.57	40.68	5.45
4			1.80

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{Teórico}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 5



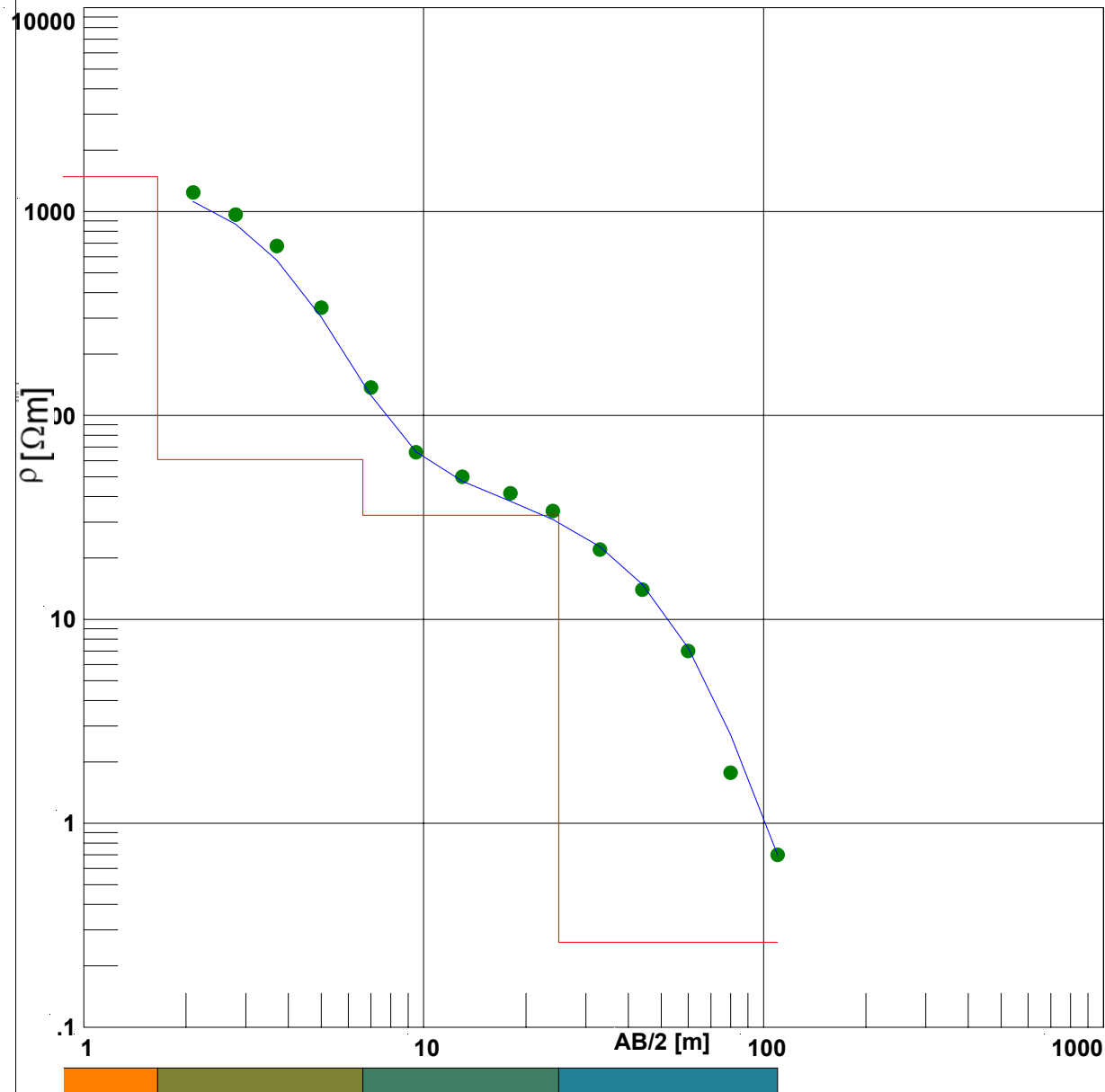
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
2.00	1757.00	1555.69
2.00	1496.00	1555.69
3.00	1404.00	1531.10
5.00	1442.00	1434.55
7.00	1352.00	1290.85
9.00	1440.00	1124.94
13.00	850.00	795.37
18.00	465.00	472.07
24.00	201.00	241.69
33.00	80.00	101.98
44.00	65.00	58.98
60.00	50.00	48.75

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	3.89	3.89	1567.48
2	4.55	8.44	1094.54
3			45.42

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 6



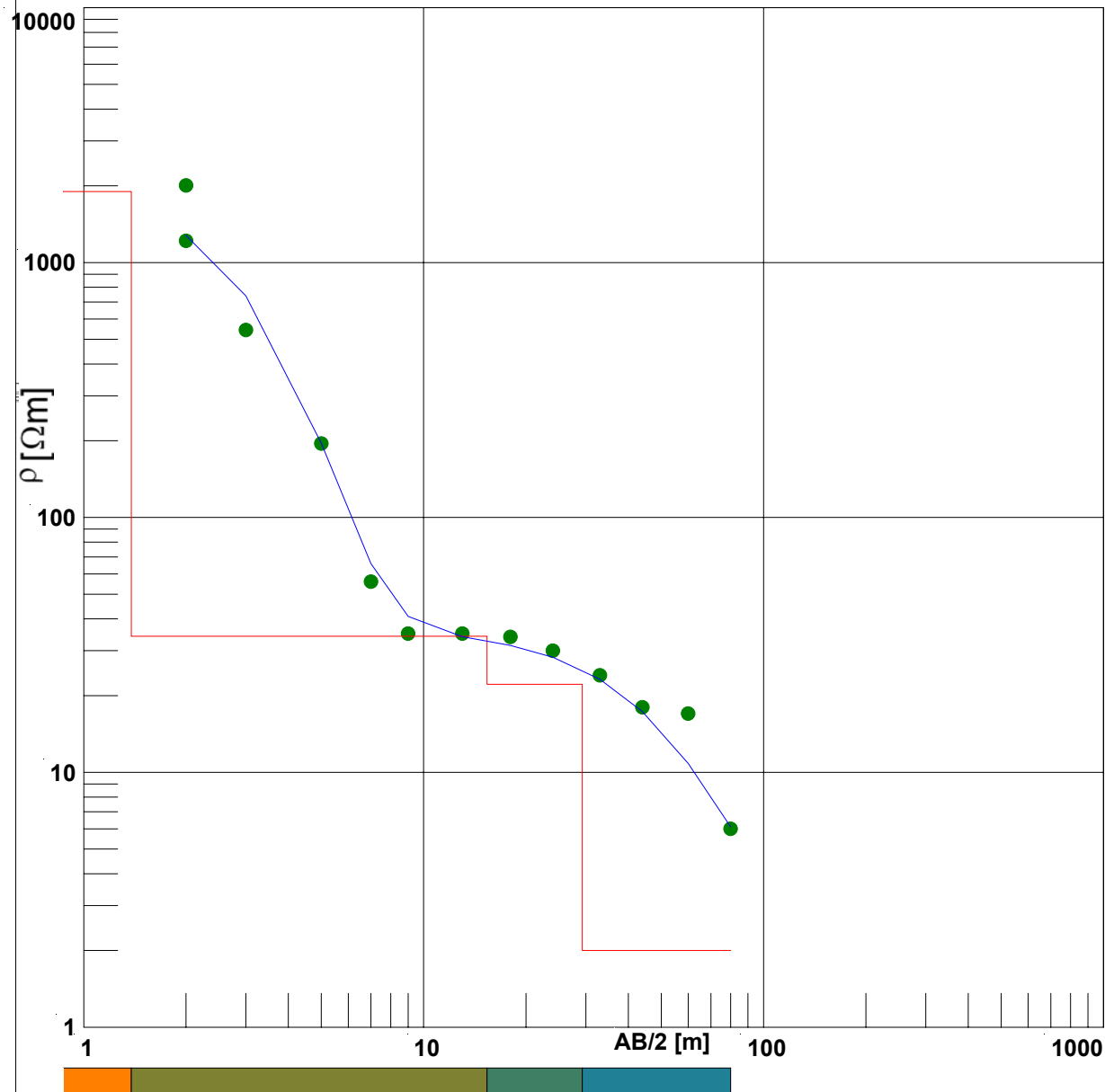
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
2.10	1241.00	1120.39
2.80	966.00	866.46
3.70	678.00	577.66
5.00	338.00	303.46
7.00	137.00	125.38
9.50	66.00	66.39
13.00	50.00	47.67
18.00	41.50	37.96
24.00	34.00	30.84
33.00	22.00	22.73
44.00	14.00	14.87
60.00	7.00	7.25
80.00	1.77	2.71
110.00	0.70	0.70

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	1.65	1.65	1481.57
2	4.97	6.62	60.77
3	18.36	24.98	32.43
4			0.26

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 7



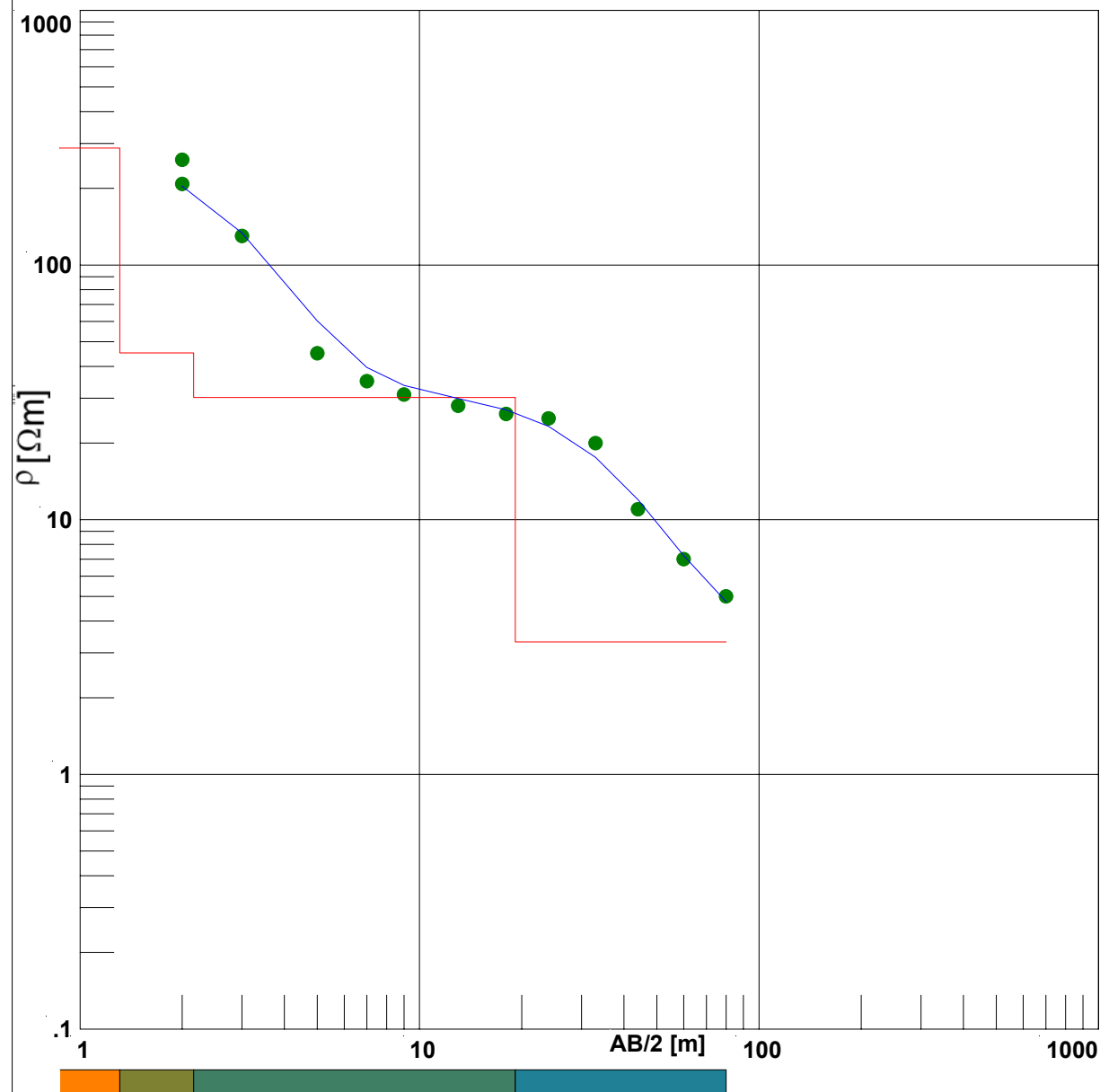
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [$\Omega \cdot m$]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [$\Omega \cdot m$]
2.00	2007.00	1277.50
2.00	1218.00	1277.50
3.00	544.00	740.46
5.00	195.00	195.64
7.00	56.00	65.87
9.00	35.00	40.90
13.00	35.00	34.08
18.00	34.00	31.47
24.00	30.00	28.26
33.00	24.00	23.16
44.00	18.00	17.33
60.00	17.00	10.83
80.00	6.00	6.11

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [$\Omega \cdot m$]
1	1.38	1.38	1899.84
2	13.98	15.36	34.17
3	13.93	29.29	22.17
4			2.00

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 8



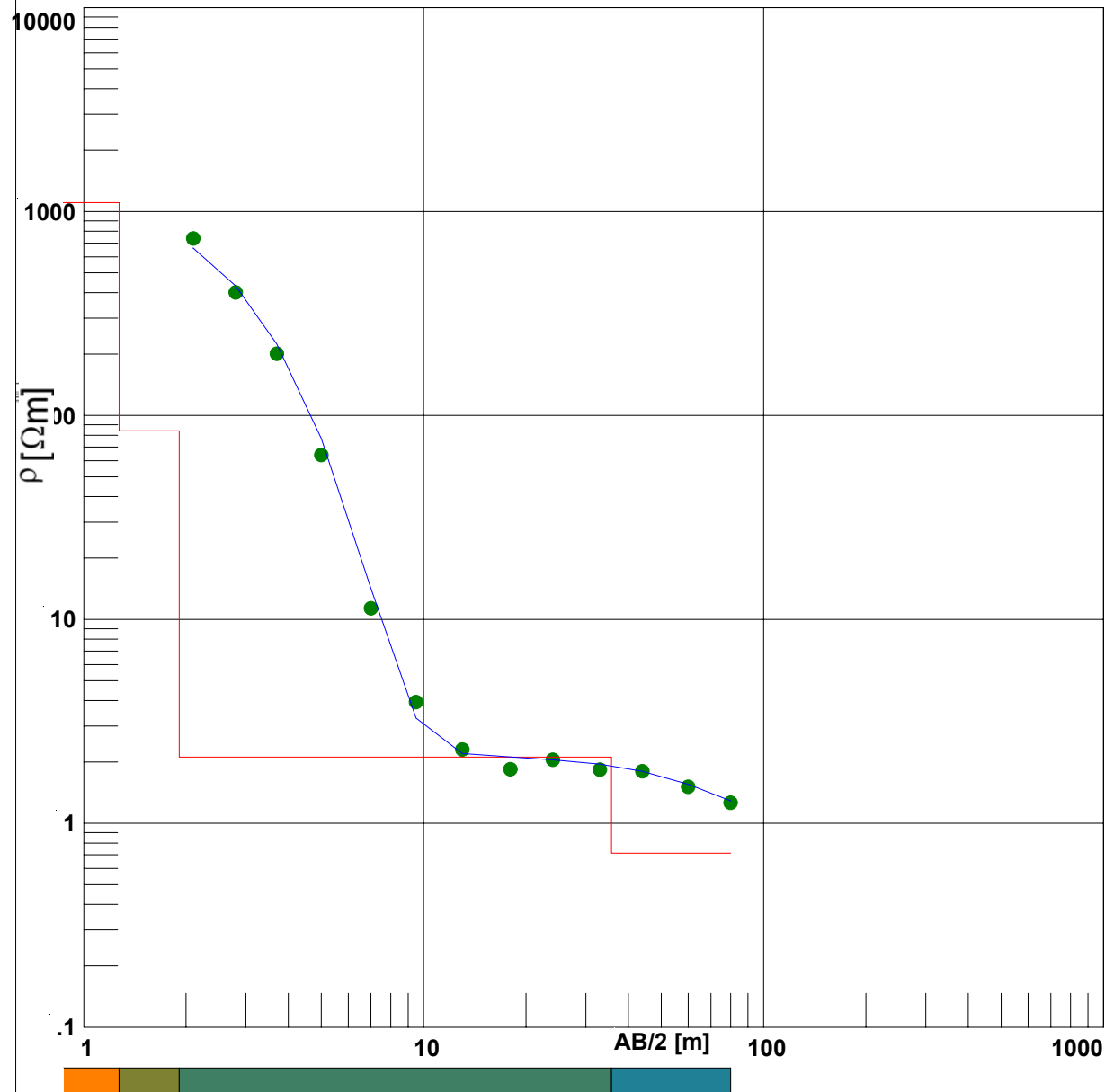
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
2.00	259.00	203.96
2.00	208.00	203.96
3.00	130.00	133.71
5.00	45.00	60.38
7.00	35.00	39.58
9.00	31.00	33.65
13.00	28.00	29.93
18.00	26.00	26.98
24.00	25.00	23.24
33.00	20.00	17.58
44.00	11.00	12.00
60.00	7.00	7.22
80.00	5.00	4.77

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	1.31	1.31	287.67
2	0.85	2.16	45.12
3	16.99	19.15	30.20
4			3.31

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 9



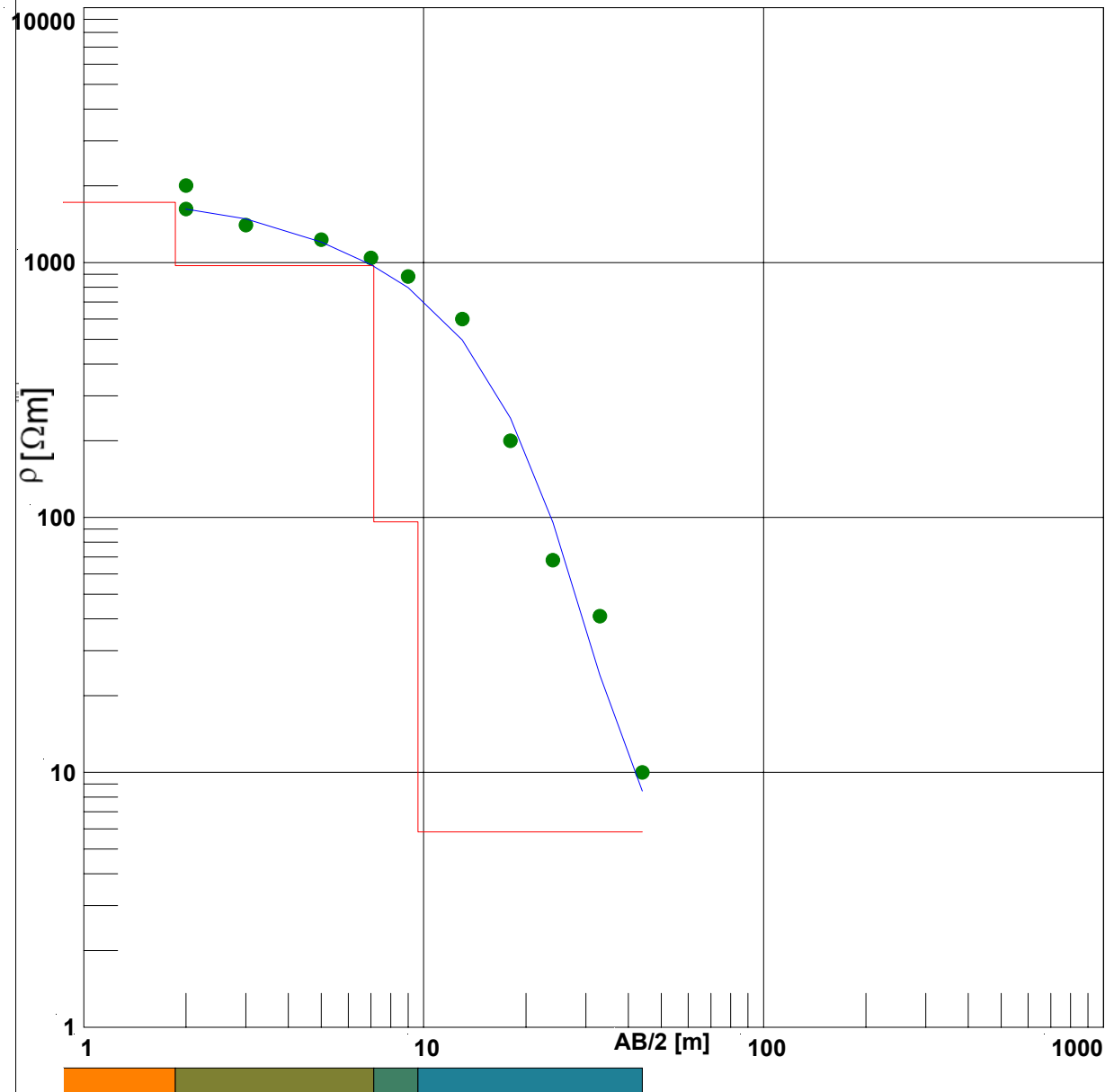
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
2.10	738.00	661.96
2.80	401.00	431.51
3.70	201.00	223.95
5.00	64.00	77.13
7.00	11.35	14.19
9.50	3.93	3.28
13.00	2.30	2.20
18.00	1.84	2.11
24.00	2.05	2.05
33.00	1.83	1.95
44.00	1.80	1.80
60.00	1.51	1.55
80.00	1.26	1.29

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	1.27	1.27	1105.61
2	0.64	1.91	84.13
3	33.78	35.69	2.11
4			0.71

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 10



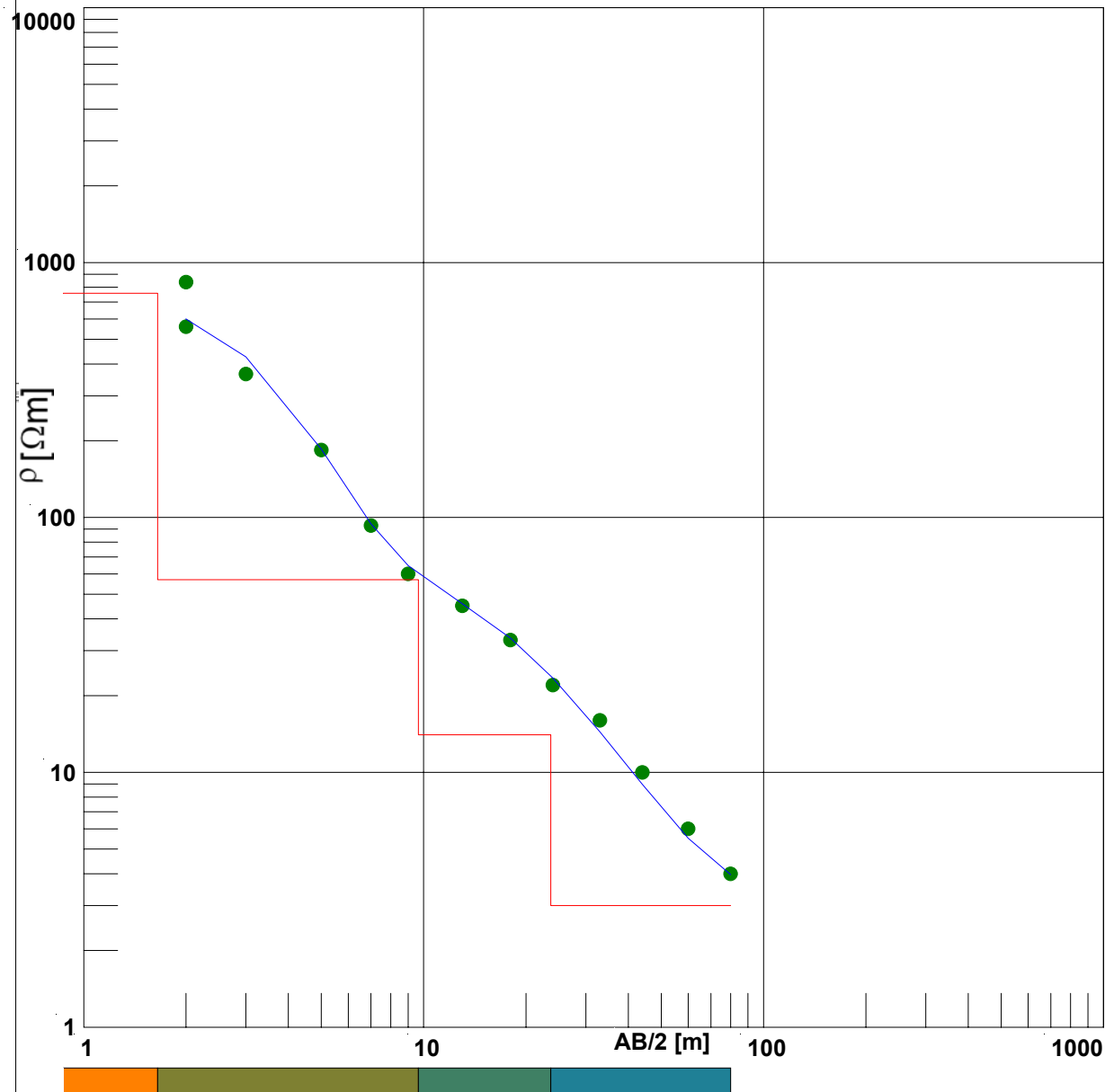
AB/2 [m]	ρ _{Campo} [Ω m]	ρ _{Teor.} [Ω m]
2.00	2003.00	1621.17
2.00	1622.00	1621.17
3.00	1402.00	1484.13
5.00	1230.00	1203.50
7.00	1043.00	981.05
9.00	882.00	796.96
13.00	600.00	496.46
18.00	200.00	245.38
24.00	68.00	95.66
33.00	41.00	24.05
44.00	10.00	8.44

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	ρ _{Verd.} [Ω m]
1	1.86	1.86	1722.00
2	5.27	7.13	971.97
3	2.49	9.62	96.03
4			5.84

Referencias
● ρ _{Campo}
— ρ _{Teórico}
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 11



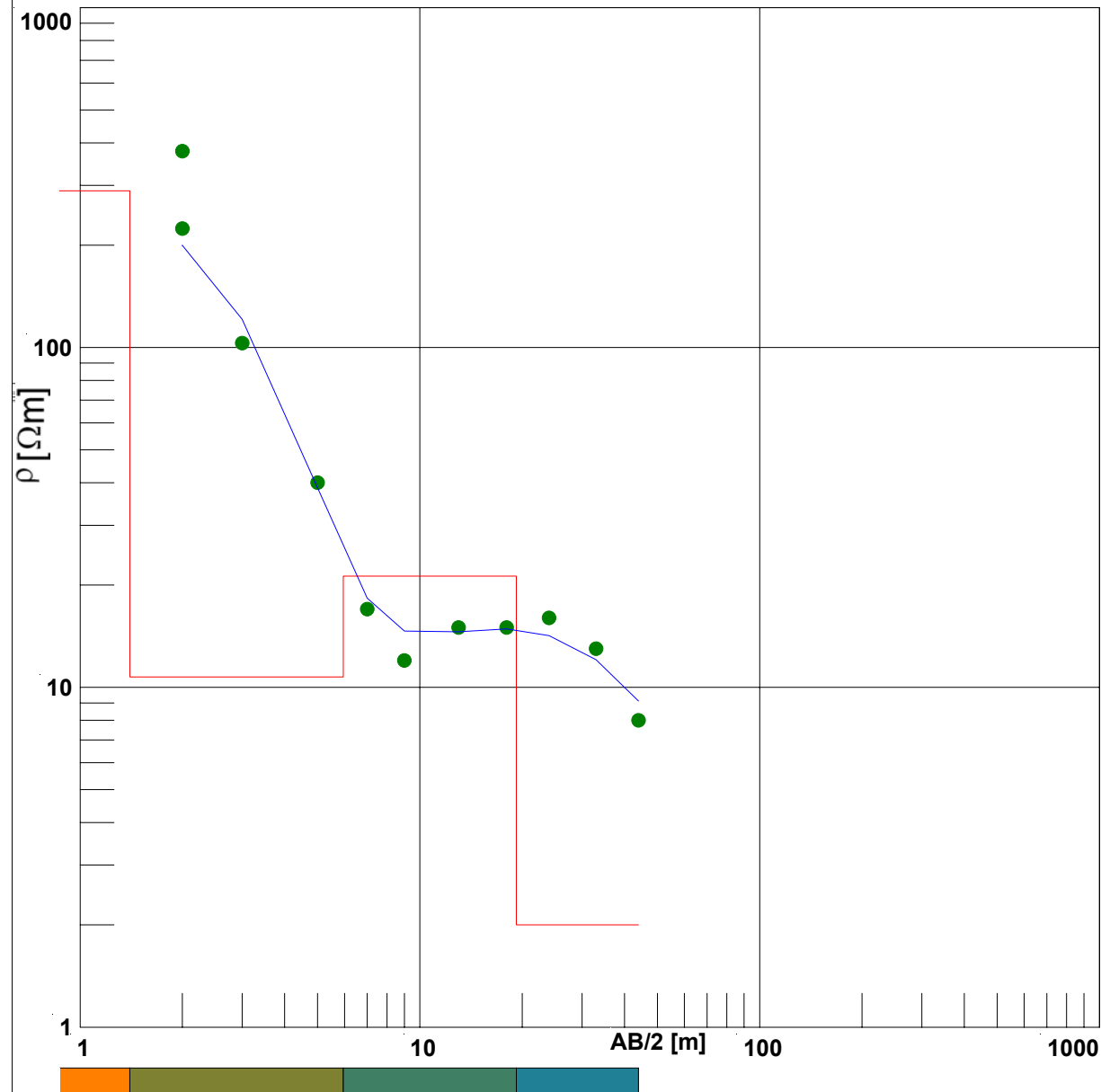
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ωm]	$\rho_{Teor.}$ [Ωm]
2.00	838.00	600.45
2.00	560.00	600.45
3.00	365.00	426.88
5.00	184.00	185.34
7.00	93.00	94.46
9.00	60.00	64.70
13.00	45.00	45.89
18.00	33.00	33.61
24.00	22.00	23.41
33.00	16.00	14.43
44.00	10.00	8.98
60.00	6.00	5.51
80.00	4.00	3.97

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{Verd.}$ [Ωm]
1	1.65	1.65	757.24
2	8.00	9.65	57.00
3	14.00	23.65	14.03
4			3.00

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{Teórico}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 12



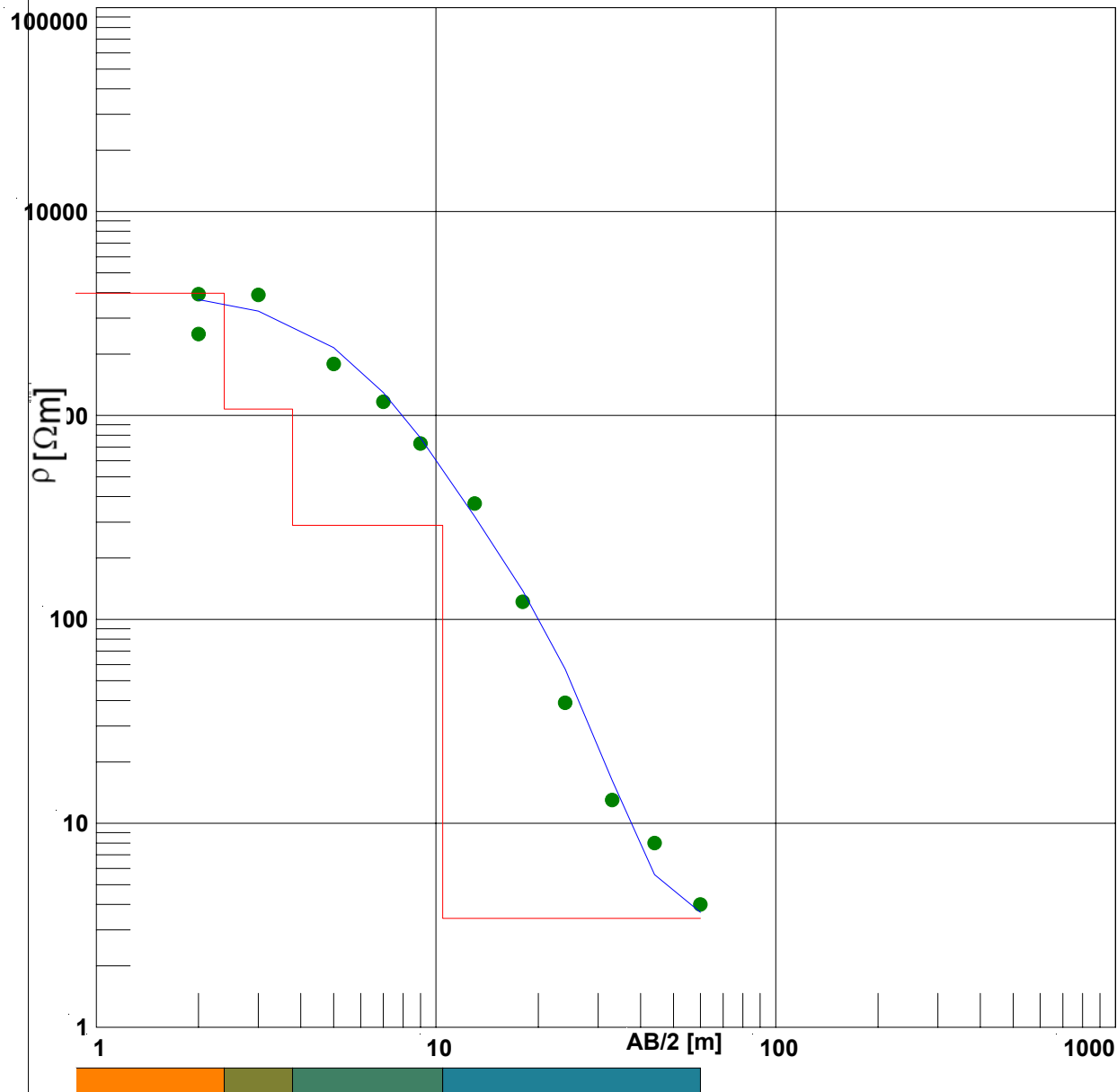
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
2.00	378.00	199.86
2.00	224.00	199.86
3.00	103.00	121.12
5.00	40.00	38.67
7.00	17.00	18.31
9.00	12.00	14.64
13.00	15.00	14.56
18.00	15.00	14.85
24.00	16.00	14.20
33.00	13.00	12.06
44.00	8.00	9.11

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	1.40	1.40	288.90
2	4.55	5.95	10.73
3	13.27	19.22	21.26
4			2.00

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 13



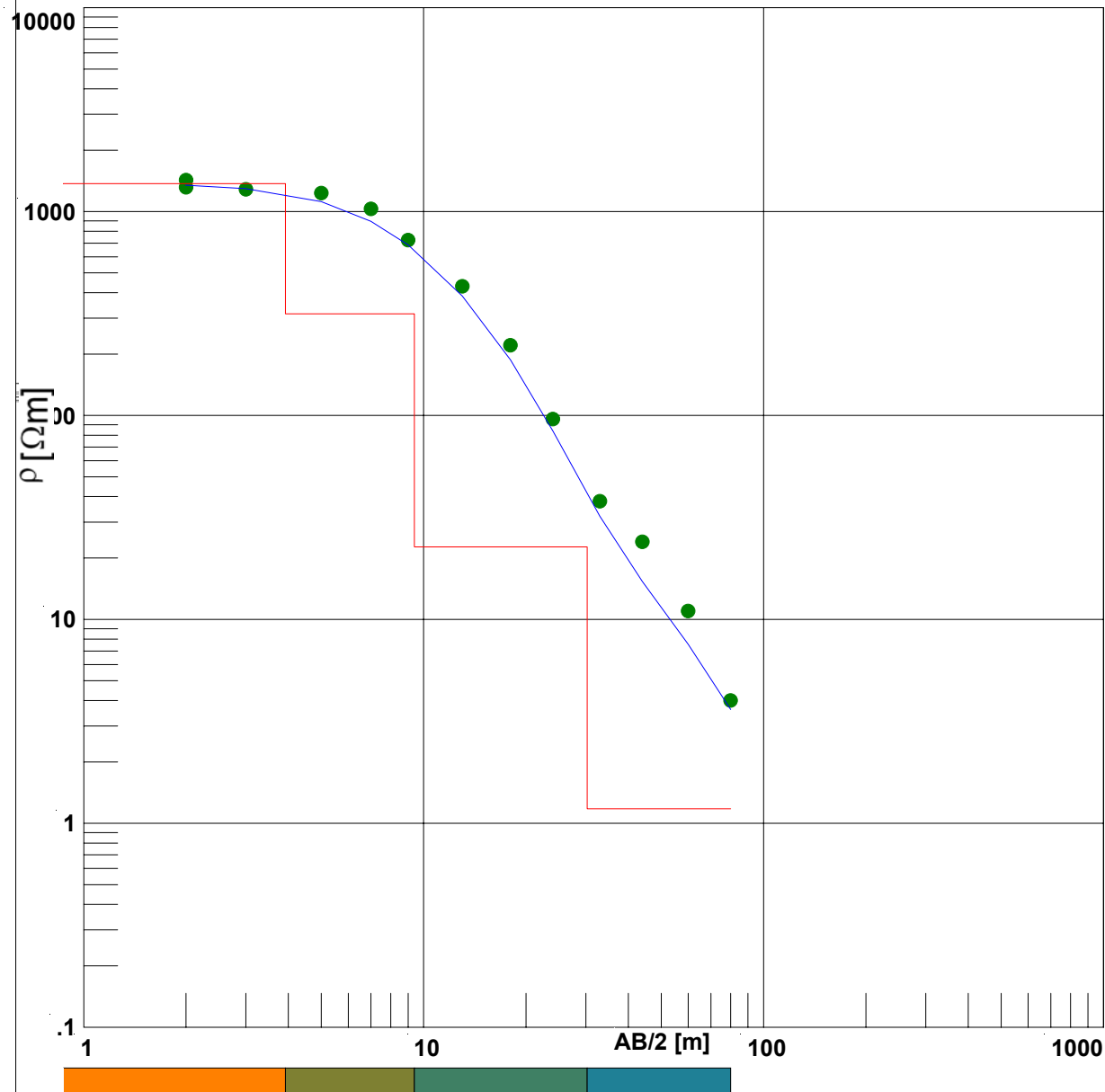
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ωm]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ωm]
2.00	2510.00	3697.27
2.00	3931.00	3697.27
3.00	3900.00	3250.05
5.00	1787.00	2153.77
7.00	1167.00	1296.29
9.00	729.00	775.28
13.00	370.00	320.08
18.00	122.00	138.05
24.00	39.00	56.96
33.00	13.00	16.25
44.00	8.00	5.60
60.00	4.00	3.66

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ωm]
1	2.38	2.38	3972.89
2	1.40	3.78	1074.32
3	6.68	10.46	288.88
4			3.42

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 14



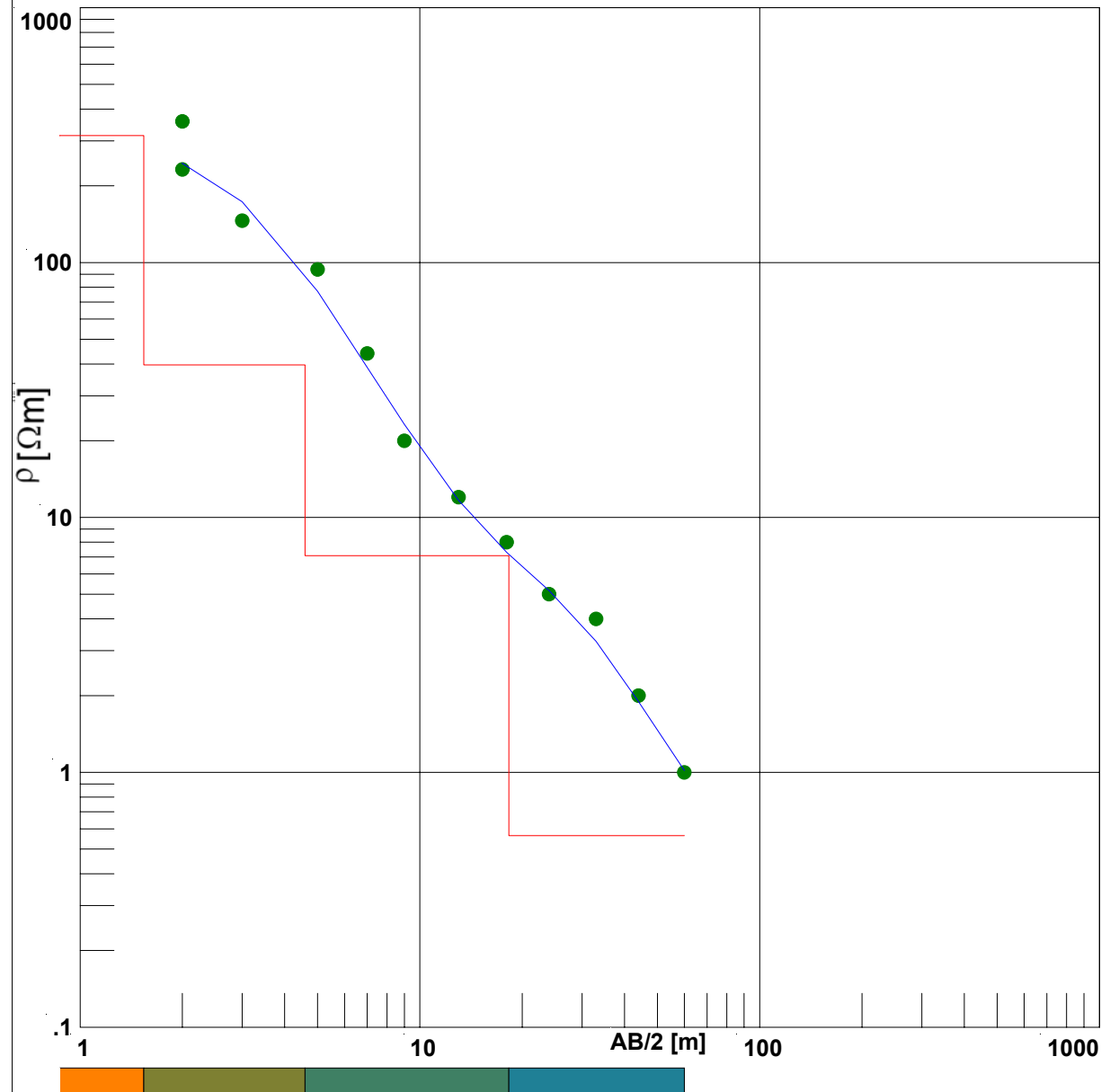
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
2.00	1427.00	1345.46
2.00	1316.00	1345.46
3.00	1285.00	1295.98
5.00	1233.00	1118.70
7.00	1031.00	895.12
9.00	725.00	685.99
13.00	430.00	385.29
18.00	221.00	187.50
24.00	96.00	83.89
33.00	38.00	32.05
44.00	24.00	15.36
60.00	11.00	7.55
80.00	4.00	3.61

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]	
1	3.92	3.92	1370.00	Orange
2	5.47	9.39	314.97	Olive
3	20.88	30.27	22.70	Green
4			1.18	Blue

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 15



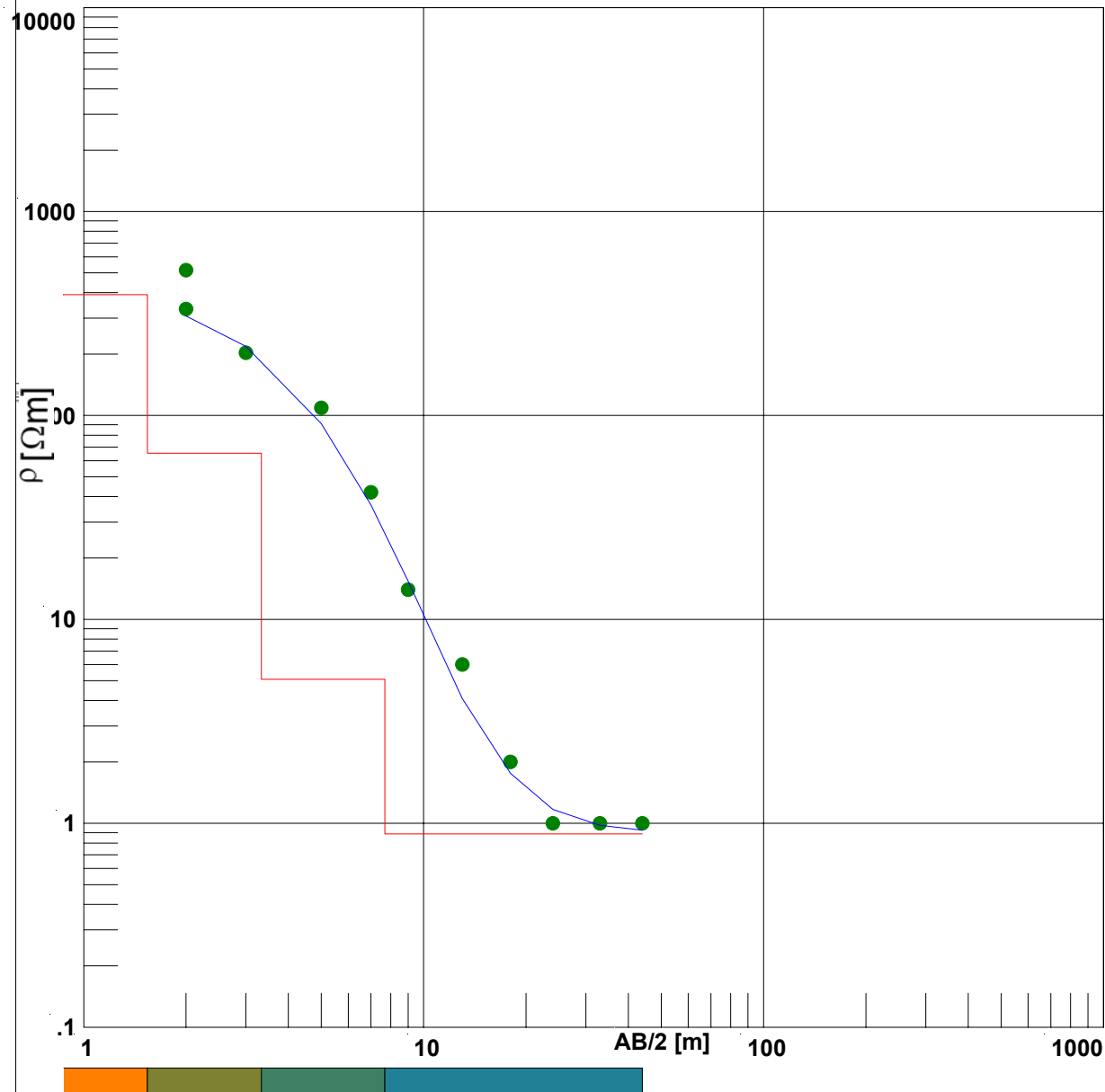
$AB/2$ [m]	ρ_{Campo} [Ωm]	$\rho_{Teor.}$ [Ωm]
2.00	358.00	245.13
2.00	232.00	245.13
3.00	146.00	173.09
5.00	94.00	77.15
7.00	44.00	38.78
9.00	20.00	23.16
13.00	12.00	11.67
18.00	8.00	7.30
24.00	5.00	5.16
33.00	4.00	3.27
44.00	2.00	1.89
60.00	1.00	1.02

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{Verd.}$ [Ωm]	
1	1.54	1.54	314.64	
2	3.05	4.59	39.62	
3	13.68	18.27	7.08	
4			0.56	

Referencias
\bullet ρ_{Campo}
--- $\rho_{Teórico}$
--- Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 16



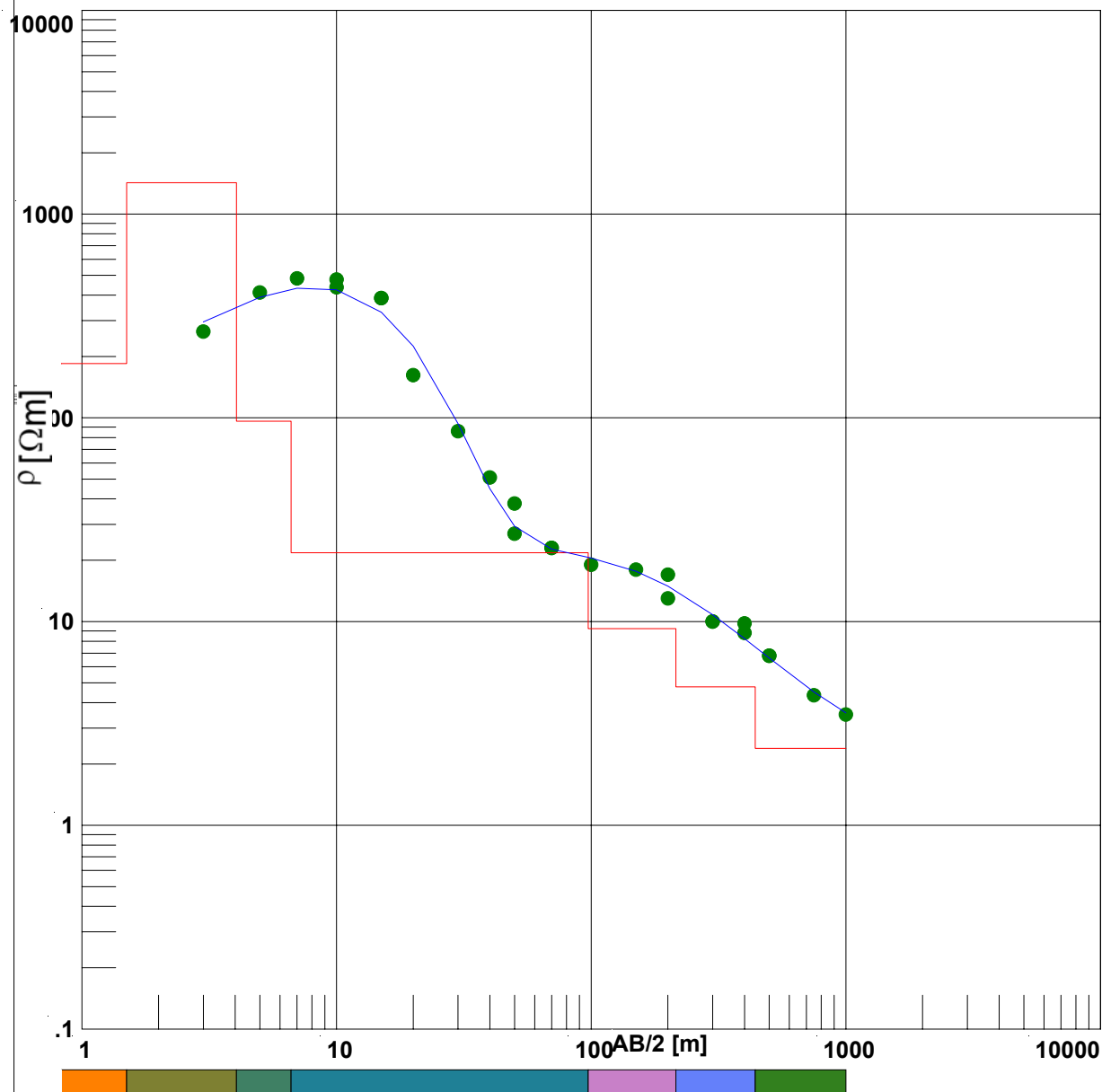
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ωm]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ωm]
2.00	516.00	307.39
2.00	333.00	307.39
3.00	203.00	218.11
5.00	109.00	91.20
7.00	42.00	36.43
9.00	14.00	15.38
13.00	6.00	4.09
18.00	2.00	1.76
24.00	1.00	1.17
33.00	1.00	0.98
44.00	1.00	0.92

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ωm]
1	1.54	1.54	390.84
2	1.79	3.33	65.29
3	4.36	7.69	5.08
4			0.89

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2008	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Dora Sosa	Santiago Valdes




Anexo II.b: Campaña de prospección profunda 2011



AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
3.00	265.00	296.04
5.00	412.00	390.32
7.00	484.00	432.31
10.00	477.00	424.66
10.00	437.00	424.66
15.00	387.00	329.72
15.00	387.00	329.72
20.00	162.00	224.66
30.00	86.00	93.75
40.00	51.00	44.90
50.00	38.00	29.34
50.00	27.00	29.34
70.00	23.00	22.65
70.00	23.00	22.65
100.00	19.00	20.50

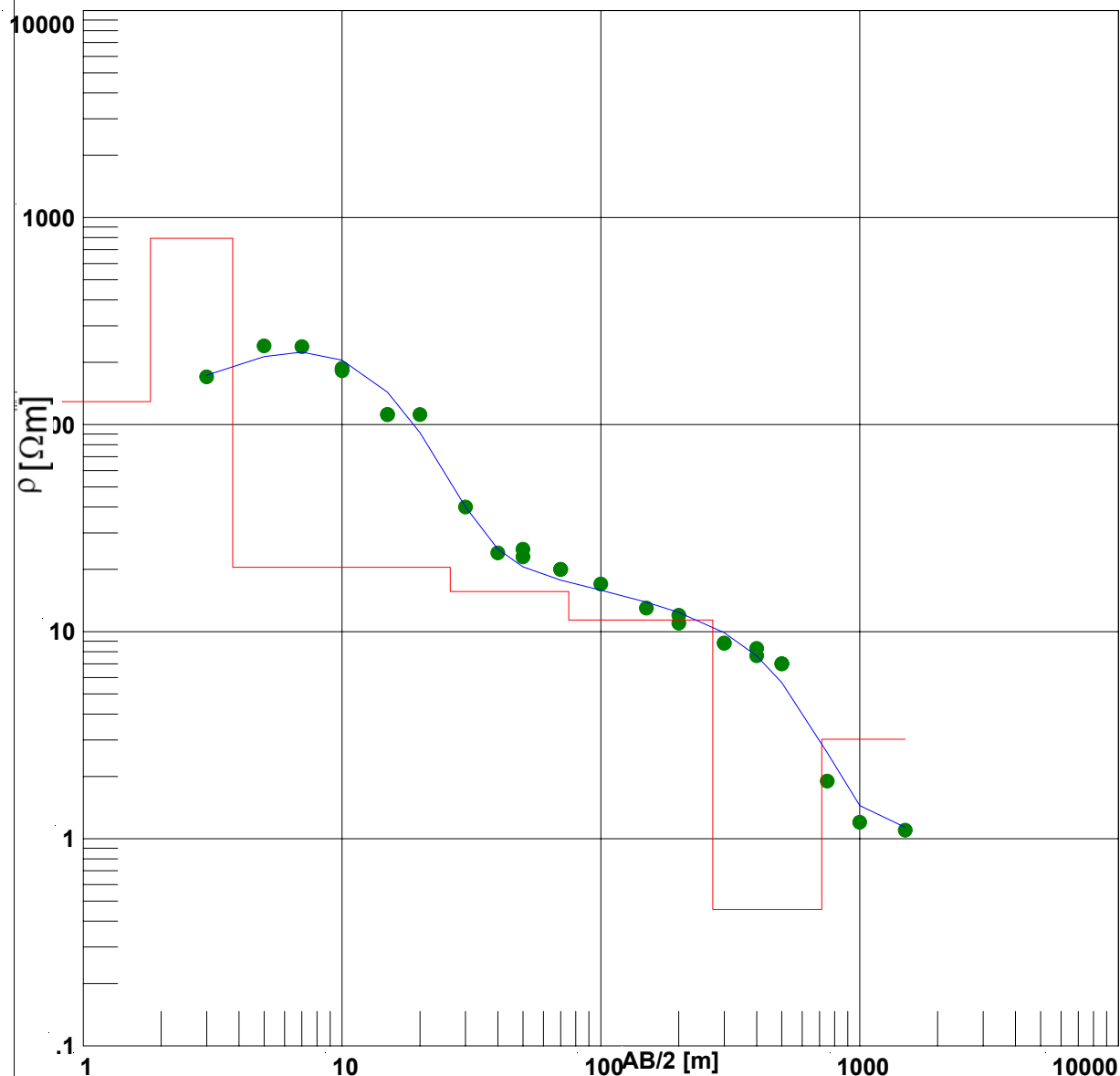
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
150.00	18.00	17.65
200.00	17.00	14.93
200.00	13.00	14.93
300.00	10.00	10.81
300.00	10.00	10.81
400.00	9.80	8.24
400.00	8.80	8.24
500.00	6.80	6.63
500.00	6.80	6.63
750.00	4.35	4.51
1000.00	3.50	3.56

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	1.50	1.50	184.83
2	2.55	4.05	1424.86
3	2.58	6.63	96.21
4	90.73	97.36	21.80
5	117.79	215.15	9.24
6	225.63	440.78	4.78
7			2.39

Referencias	
	ρ_{Campo}
	$\rho_{\text{Teórico}}$
	Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	R. Gianni	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 2



AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
3.00	170.00	173.39
5.00	240.00	213.04
7.00	238.00	224.30
10.00	187.00	205.00
10.00	182.00	205.00
15.00	112.00	143.39
15.00	112.00	143.39
20.00	112.00	91.34
30.00	40.00	40.09
40.00	24.00	25.05
50.00	23.00	20.56
50.00	25.00	20.56
70.00	20.00	17.74
70.00	20.00	17.74
100.00	17.00	15.86

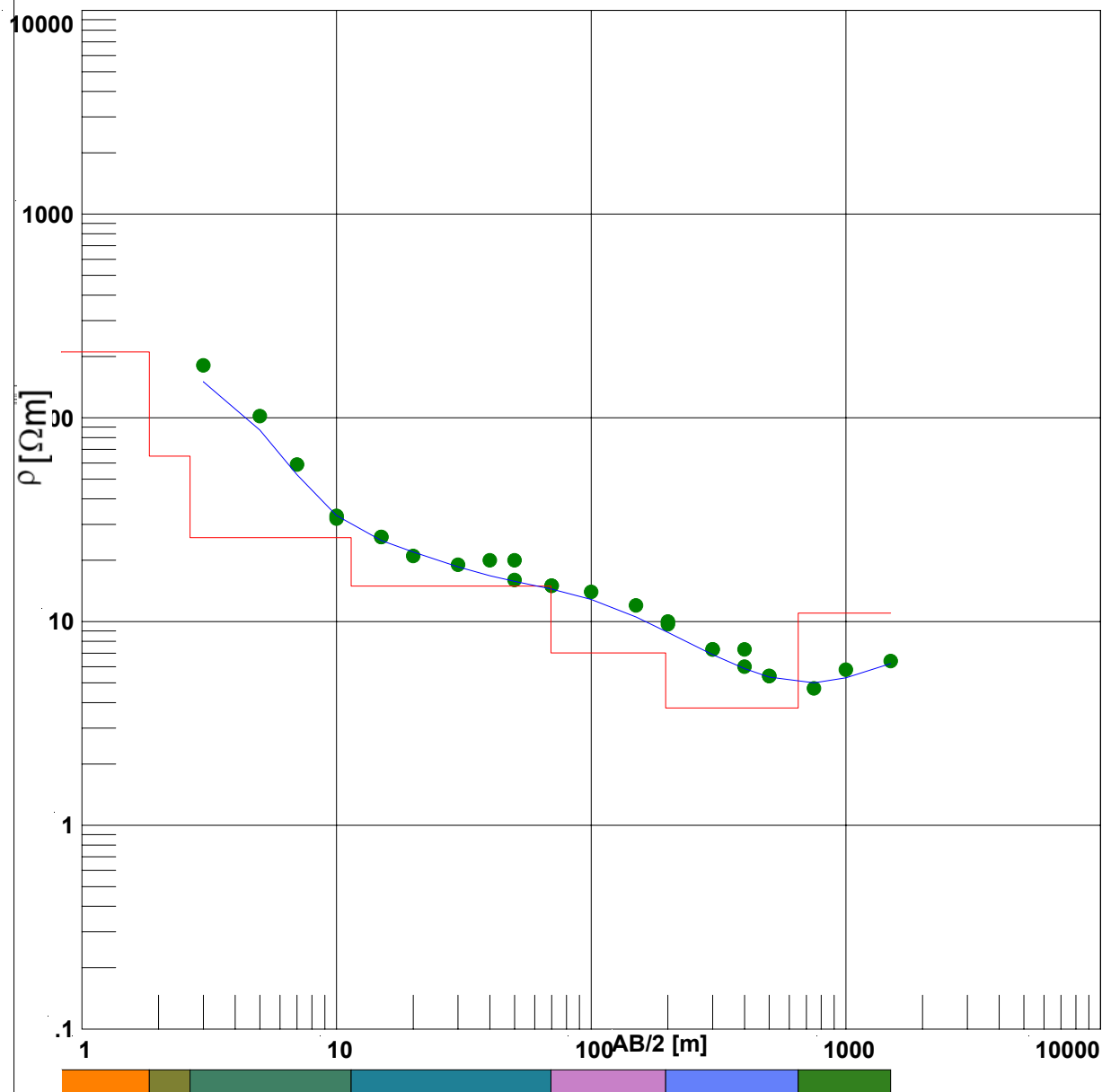
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
150.00	13.00	13.88
200.00	12.00	12.39
200.00	11.00	12.39
300.00	8.80	9.88
300.00	8.80	9.88
400.00	7.65	7.63
400.00	8.30	7.63
500.00	7.00	5.68
500.00	7.00	5.68
750.00	1.90	2.60
1000.00	1.20	1.45
1500.00	1.10	1.14

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	1.82	1.82	129.24
2	1.96	3.78	793.48
3	22.43	26.21	20.48
4	48.95	75.16	15.63
5	195.53	270.69	11.39
6	443.46	714.15	0.46
7			3.02

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 3



AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
3.00	181.00	150.07
5.00	102.00	87.06
7.00	59.00	52.59
10.00	32.00	33.16
10.00	33.00	33.16
15.00	26.00	25.02
15.00	26.00	25.02
20.00	21.00	21.97
30.00	19.00	18.56
40.00	20.00	16.80
50.00	20.00	15.77
50.00	16.00	15.77
70.00	15.00	14.44
70.00	15.00	14.44
100.00	14.00	12.83

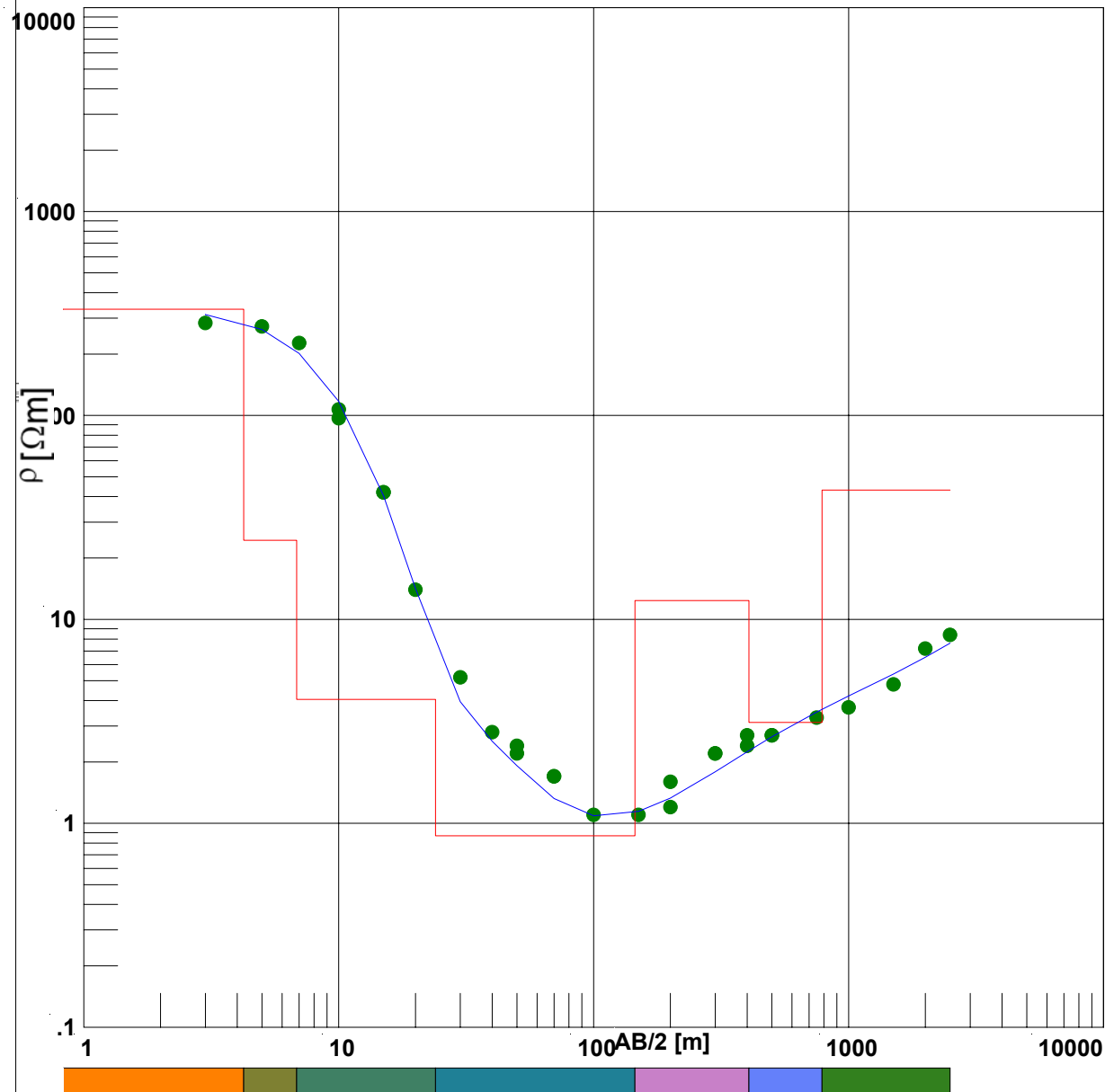
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
150.00	12.00	10.53
200.00	10.00	8.85
200.00	9.70	8.85
300.00	7.30	6.89
300.00	7.30	6.89
400.00	6.00	5.87
400.00	7.30	5.87
500.00	5.40	5.33
500.00	5.40	5.33
750.00	4.70	5.01
1000.00	5.80	5.30
1500.00	6.40	6.22

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	1.84	1.84	210.51
2	0.82	2.66	64.86
3	8.75	11.41	25.80
4	58.13	69.54	14.94
5	126.66	196.20	7.01
6	453.63	649.83	3.76
7			11.00

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 4



AB/2 [m]	$\rho_{\text{Campo}} [\Omega m]$	$\rho_{\text{Teor.}} [\Omega m]$
3.00	284.00	312.49
5.00	273.00	264.26
7.00	227.00	201.49
10.00	97.00	117.40
10.00	107.00	117.40
15.00	42.00	40.41
15.00	42.00	40.41
20.00	14.00	14.16
30.00	5.20	3.94
40.00	2.80	2.52
50.00	2.40	1.91
50.00	2.20	1.91
70.00	1.70	1.32
70.00	1.70	1.32
100.00	1.10	1.09

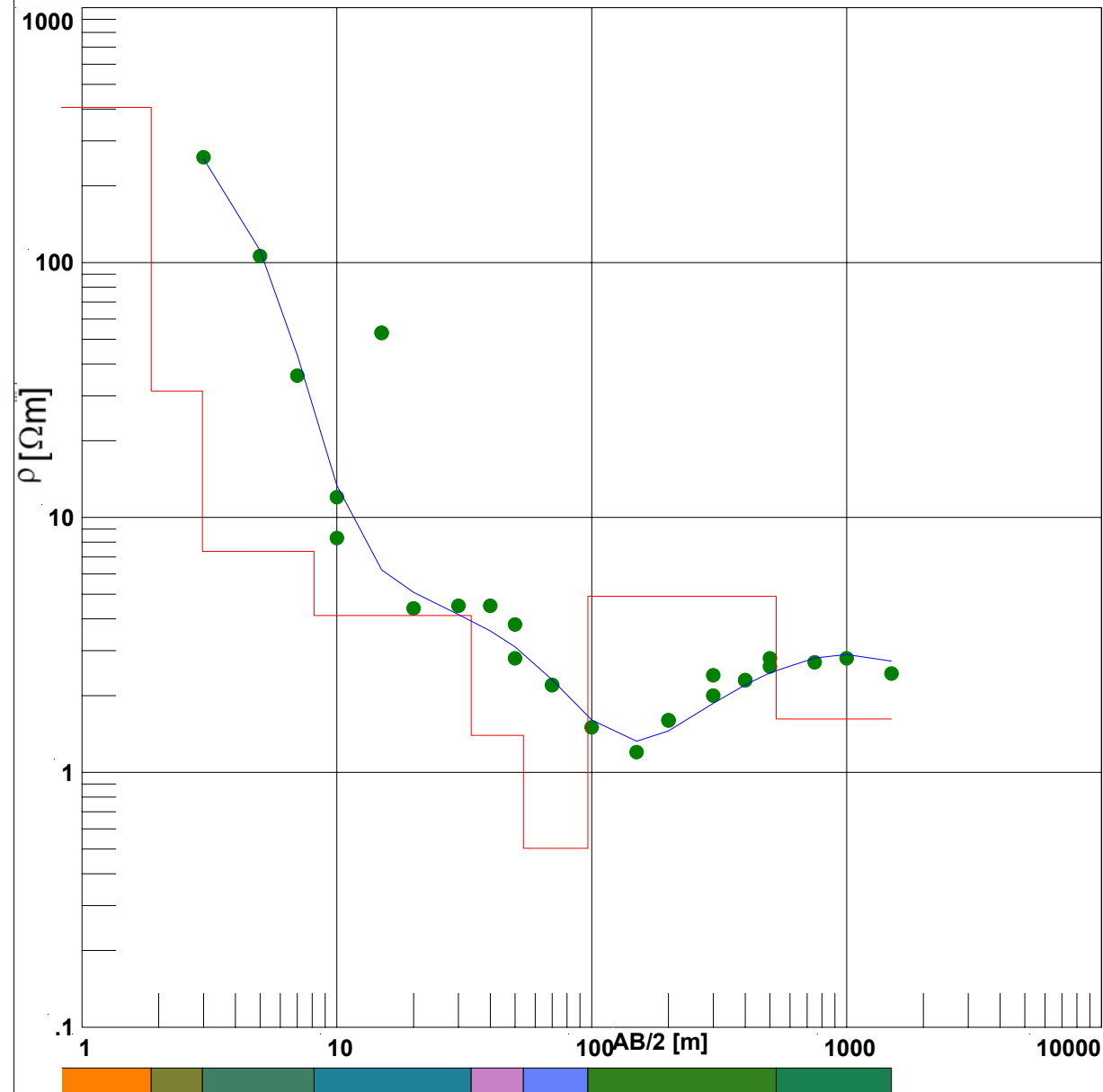
AB/2 [m]	$\rho_{\text{Campo}} [\Omega m]$	$\rho_{\text{Teor.}} [\Omega m]$
150.00	1.10	1.14
200.00	1.20	1.33
200.00	1.60	1.33
300.00	2.20	1.79
300.00	2.20	1.79
400.00	2.70	2.24
400.00	2.40	2.24
500.00	2.70	2.66
500.00	2.70	2.66
750.00	3.30	3.51
1000.00	3.70	4.21
1500.00	4.80	5.39
2000.00	7.20	6.52
2500.00	8.40	7.65

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}} [\Omega m]$
1	4.24	4.24	331.90
2	2.60	6.84	24.45
3	17.13	23.97	4.05
4	121.23	145.20	0.87
5	261.36	406.56	12.37
6	380.98	787.54	3.13
7			43.10

Referencias
\bullet ρ_{Campo}
--- $\rho_{\text{Teórico}}$
--- Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Valdes Santiago

BIM - S.E.V. 5



AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ωm]	$\rho_{Teor.}$ [Ωm]
3.00	259.00	255.29
5.00	106.00	111.51
7.00	36.00	43.46
10.00	12.00	13.36
10.00	8.30	13.36
15.00	53.00	6.22
15.00	53.00	6.22
20.00	4.40	5.08
30.00	4.50	4.16
40.00	4.50	3.59
50.00	3.80	3.10
50.00	2.80	3.10
70.00	2.20	2.31
70.00	2.20	2.31
100.00	1.50	1.61

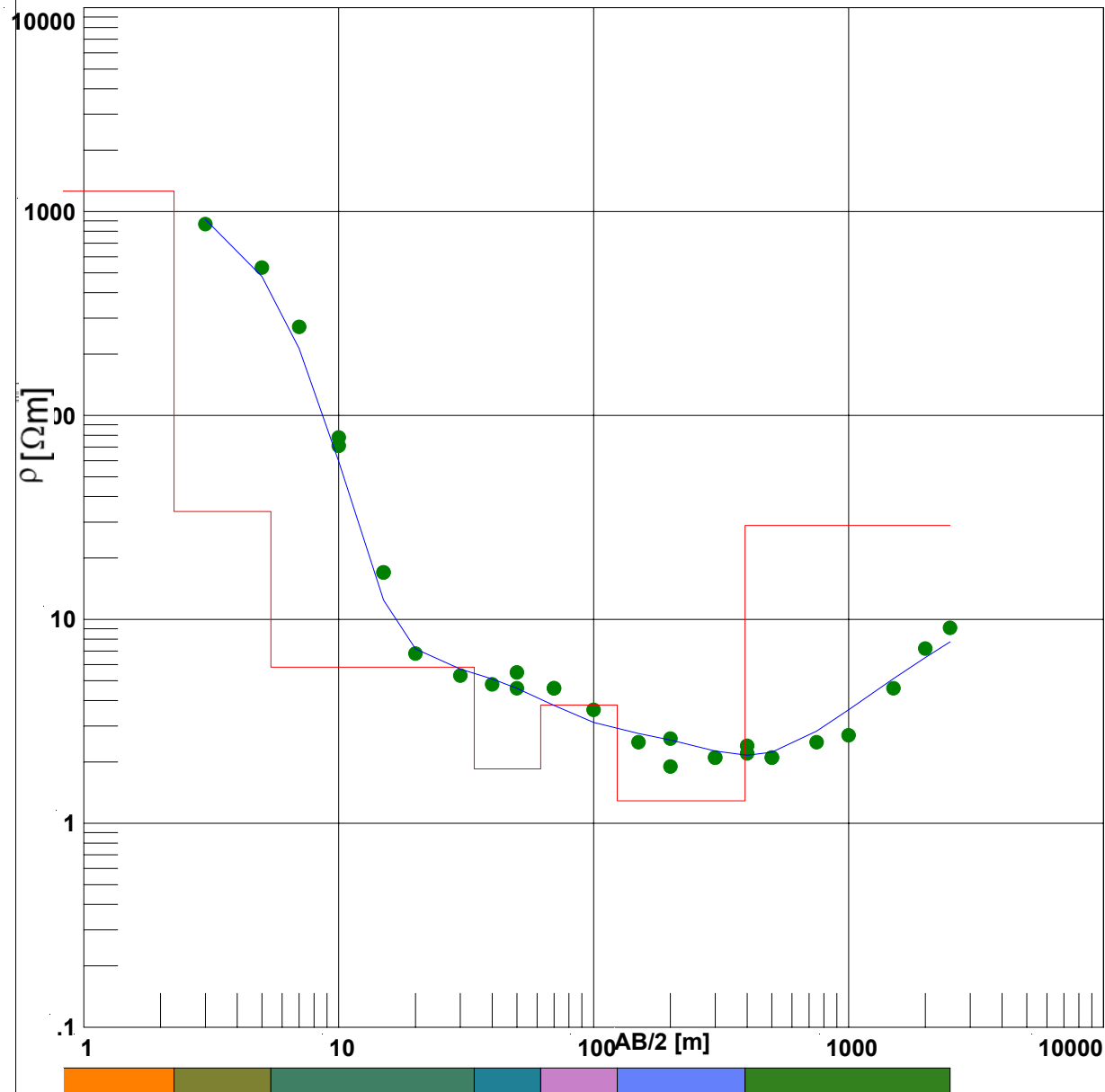
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ωm]	$\rho_{Teor.}$ [Ωm]
150.00	1.20	1.32
200.00	1.60	1.45
200.00	1.60	1.45
300.00	2.00	1.87
300.00	2.40	1.87
400.00	2.30	2.20
400.00	2.30	2.20
500.00	2.60	2.46
500.00	2.80	2.46
750.00	2.70	2.81
1000.00	2.80	2.90
1500.00	2.44	2.73

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{Verd.}$ [Ωm]
1	1.87	1.87	406.05
2	1.10	2.97	31.30
3	5.17	8.14	7.36
4	25.54	33.68	4.12
5	20.26	53.94	1.40
6	42.72	96.66	0.50
7	432.75	529.41	4.91
8			1.62

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{Teórico}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Valdes Santiago

BIM - S.E.V. 7



AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
3.00	868.00	914.92
5.00	531.00	479.98
7.00	272.00	212.91
10.00	71.00	59.54
10.00	78.00	59.54
15.00	17.00	12.43
15.00	17.00	12.43
20.00	6.80	7.17
30.00	5.30	5.71
40.00	4.80	5.10
50.00	5.50	4.59
50.00	4.60	4.59
70.00	4.60	3.78
70.00	4.60	3.78
100.00	3.60	3.13

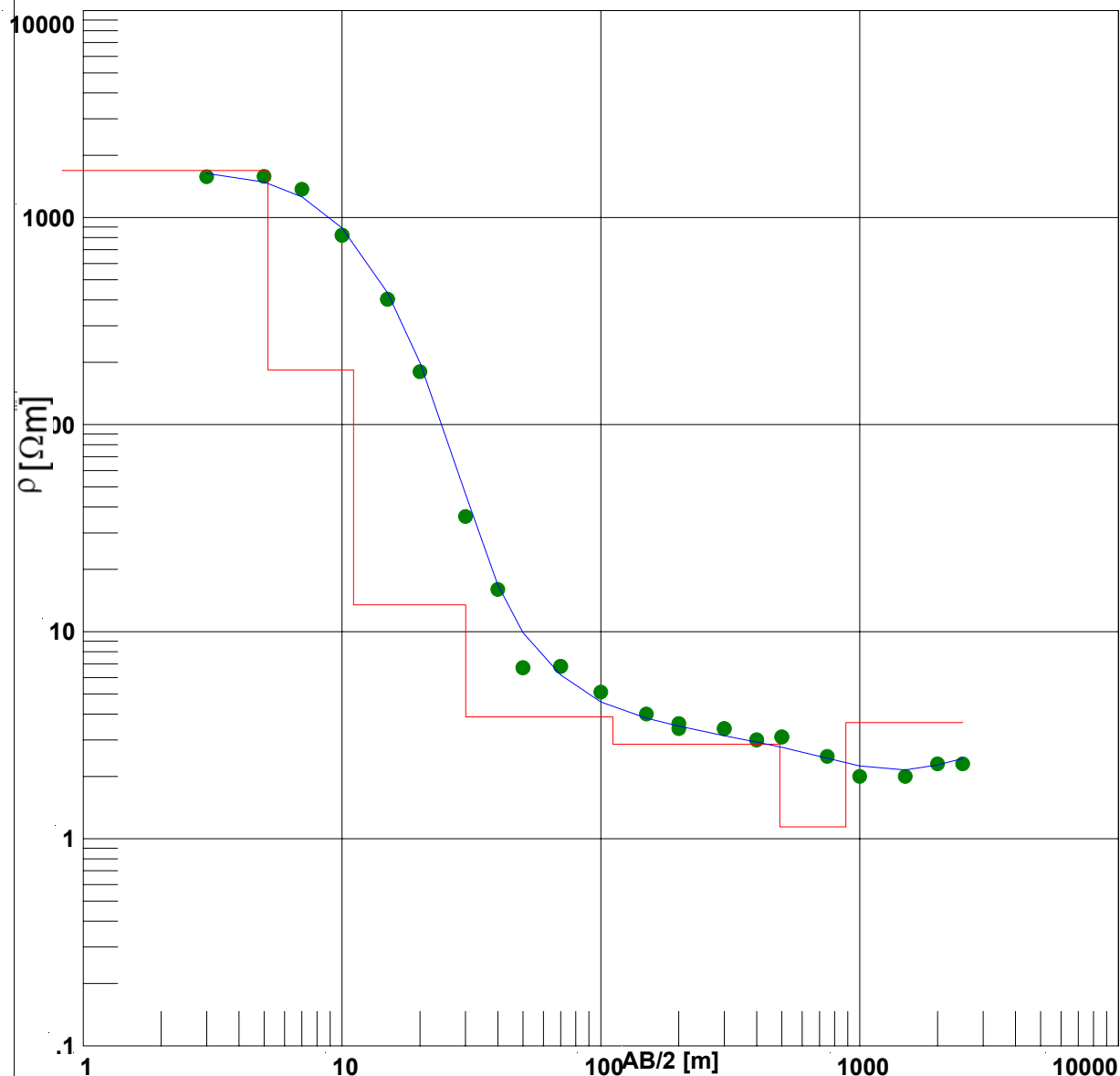
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
150.00	2.50	2.76
200.00	2.60	2.56
200.00	1.90	2.56
300.00	2.10	2.26
300.00	2.10	2.26
400.00	2.40	2.16
400.00	2.20	2.16
500.00	2.10	2.23
500.00	2.10	2.23
750.00	2.50	2.83
1000.00	2.70	3.60
1500.00	4.60	5.12
2000.00	7.20	6.50
2500.00	9.10	7.76

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	2.26	2.26	1259.22
2	3.16	5.42	33.84
3	28.61	34.03	5.83
4	27.94	61.97	1.85
5	61.88	123.85	3.80
6	268.42	392.27	1.29
7			28.88

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Valdes Santiago

BIM - S.E.V. 8



AB/2 [m]	ρCampo [Ω m]	ρTeor. [Ω m]
3.00	1575.00	1633.82
5.00	1581.00	1484.67
7.00	1370.00	1259.44
10.00	822.00	891.14
10.00	820.00	891.14
15.00	403.00	433.67
15.00	403.00	433.67
20.00	180.00	199.01
30.00	36.00	46.39
40.00	16.00	16.77
50.00	6.70	9.88
50.00	6.70	9.88
70.00	6.80	6.18
70.00	6.80	6.18
100.00	5.10	4.57

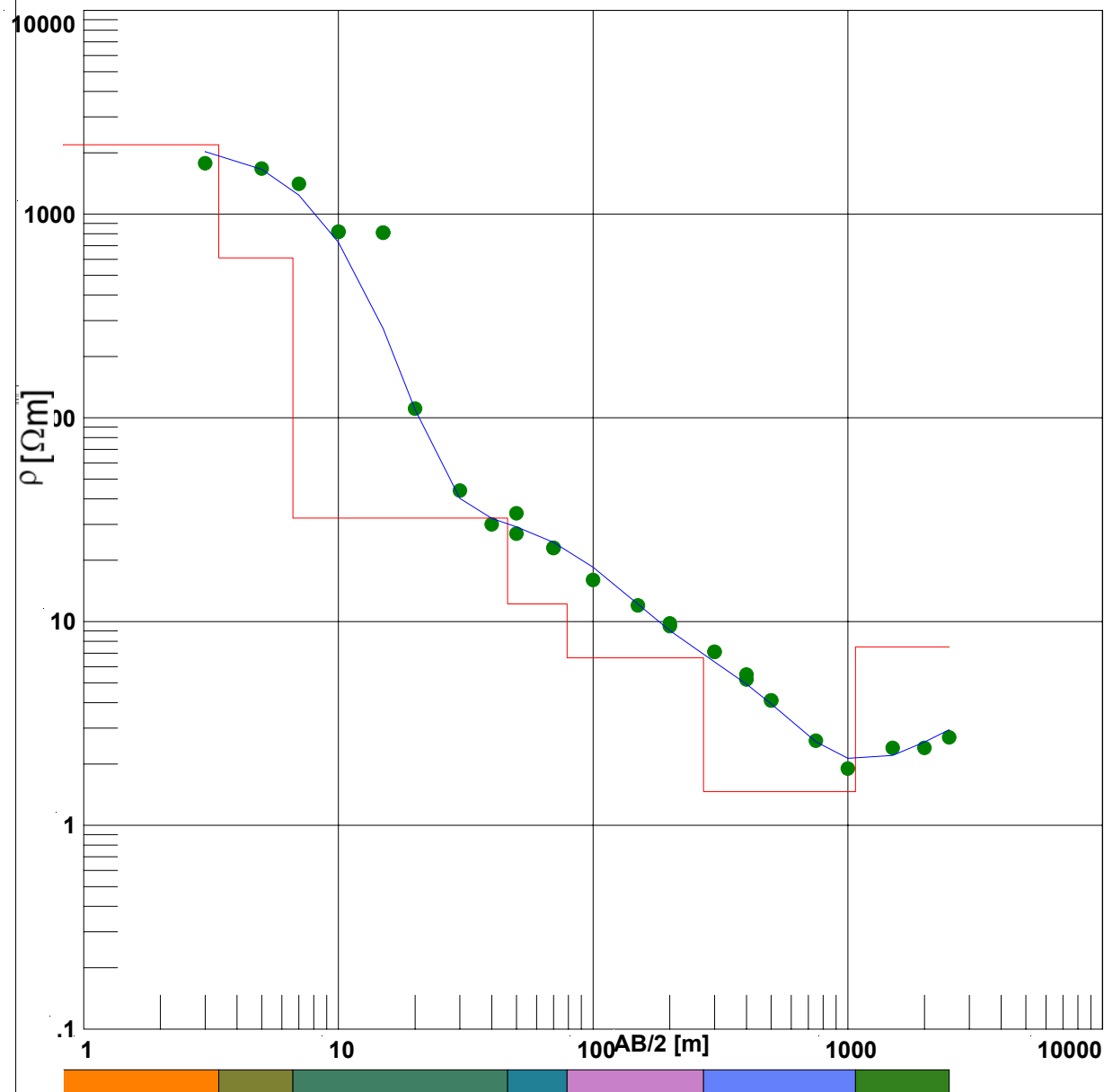
AB/2 [m]	ρCampo [Ω m]	ρTeor. [Ω m]
150.00	4.00	3.82
200.00	3.40	3.50
200.00	3.60	3.50
300.00	3.40	3.14
300.00	3.40	3.14
400.00	3.00	2.92
400.00	3.00	2.92
500.00	3.10	2.76
500.00	3.10	2.76
750.00	2.50	2.45
1000.00	2.00	2.25
1500.00	2.00	2.15
2000.00	2.30	2.27
2500.00	2.30	2.44

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	ρVerd. [Ω m]
1	5.17	5.17	1687.40
2	5.91	11.08	183.63
3	18.99	30.07	13.48
4	81.28	111.35	3.88
5	380.01	491.36	2.86
6	393.17	884.53	1.14
7			3.64

Referencias
● ρCampo
— ρTeórico
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 9



AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ωm]	$\rho_{Teor.}$ [Ωm]
3.00	1776.00	2022.51
5.00	1673.00	1658.18
7.00	1408.00	1239.04
10.00	820.00	727.91
10.00	817.00	727.91
15.00	810.00	273.62
15.00	810.00	273.62
20.00	111.00	109.56
30.00	44.00	40.24
40.00	30.00	32.07
50.00	34.00	29.16
50.00	27.00	29.16
70.00	23.00	24.47
70.00	23.00	24.47
100.00	16.00	18.47

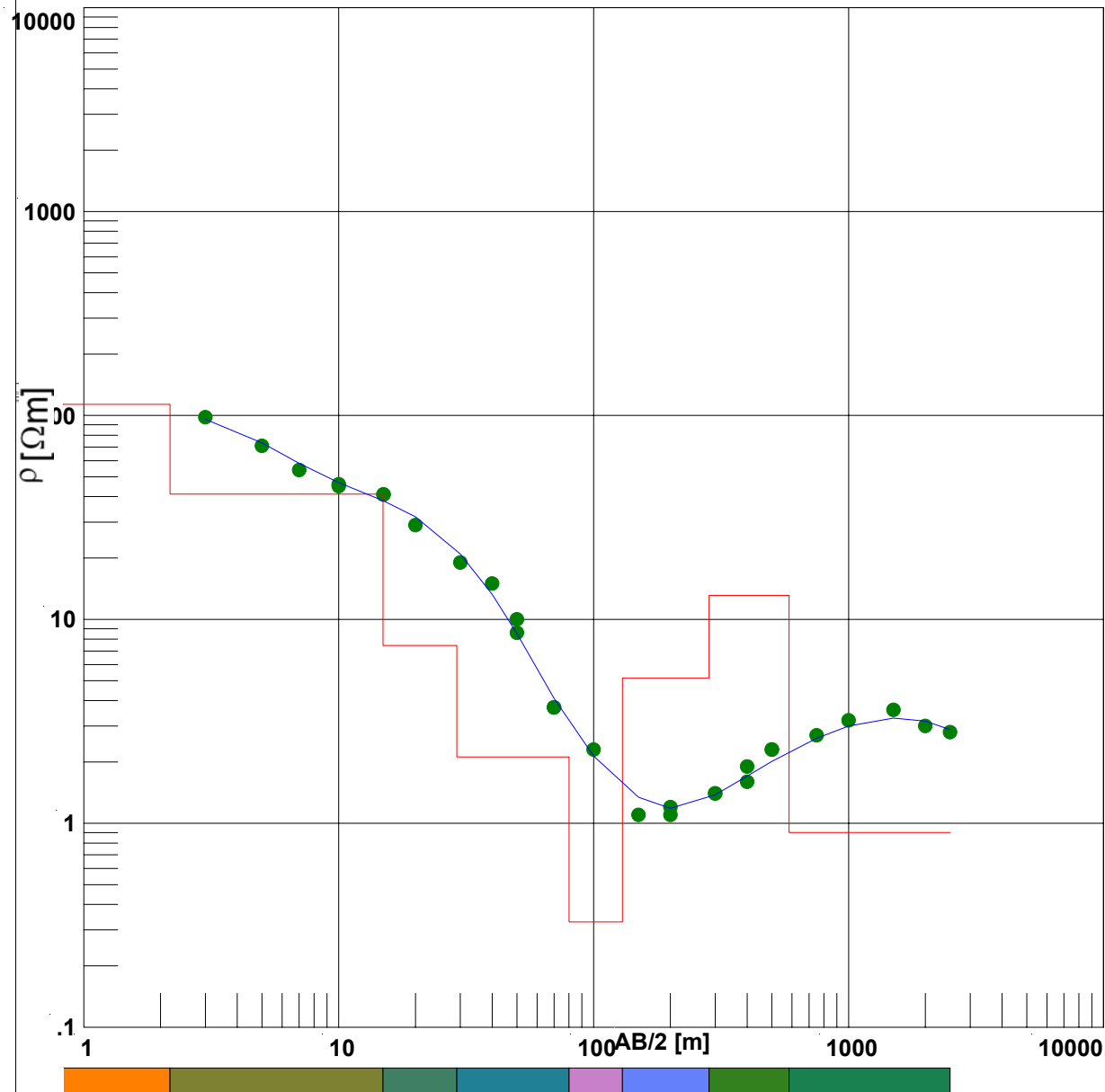
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ωm]	$\rho_{Teor.}$ [Ωm]
150.00	12.00	12.18
200.00	9.50	9.04
200.00	9.80	9.04
300.00	7.10	6.33
300.00	7.10	6.33
400.00	5.20	4.93
400.00	5.50	4.93
500.00	4.10	3.94
500.00	4.10	3.94
750.00	2.60	2.57
1000.00	1.90	2.13
1500.00	2.40	2.20
2000.00	2.40	2.56
2500.00	2.70	2.95

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{Verd.}$ [Ωm]
1	3.39	3.39	2188.84
2	3.24	6.63	609.46
3	39.55	46.18	32.20
4	32.88	79.06	12.20
5	192.52	271.58	6.64
6	800.80	1072.38	1.46
7			7.51

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{Teórico}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 10



AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
3.00	98.00	95.86
5.00	71.00	73.35
7.00	54.00	58.25
10.00	46.00	46.86
10.00	45.00	46.86
15.00	41.00	38.16
15.00	41.00	38.16
20.00	29.00	31.84
30.00	19.00	20.95
40.00	15.00	13.26
50.00	8.60	8.51
50.00	10.00	8.51
70.00	3.70	4.10
70.00	3.70	4.10
100.00	2.30	2.14

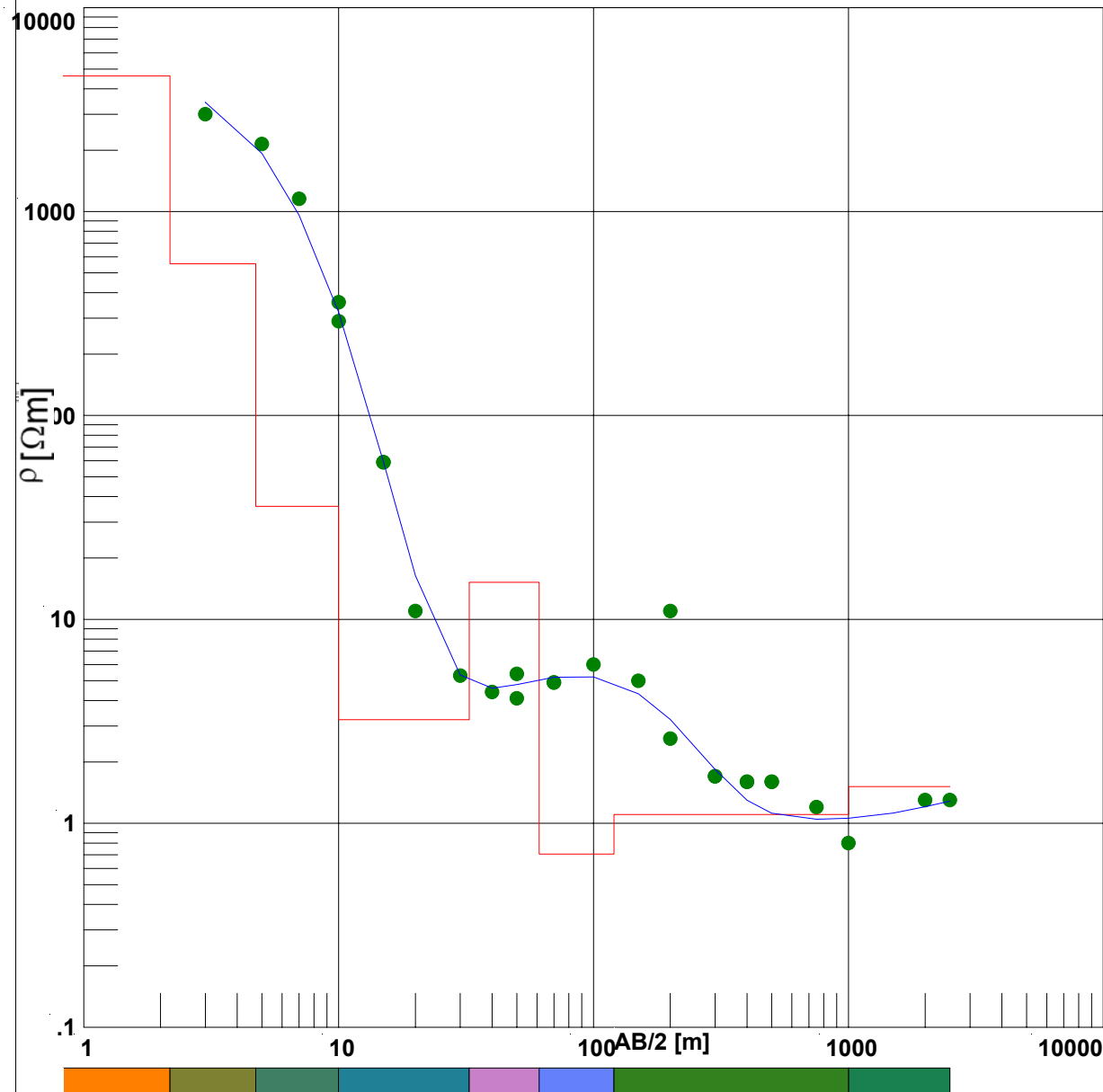
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
150.00	1.10	1.34
200.00	1.10	1.18
200.00	1.20	1.18
300.00	1.40	1.38
300.00	1.40	1.38
400.00	1.60	1.71
400.00	1.90	1.71
500.00	2.30	2.01
500.00	2.30	2.01
750.00	2.70	2.61
1000.00	3.20	3.00
1500.00	3.60	3.28
2000.00	3.00	3.17
2500.00	2.80	2.88

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	2.18	2.18	113.48
2	12.74	14.92	41.14
3	14.14	29.06	7.46
4	51.02	80.08	2.12
5	49.67	129.75	0.33
6	154.20	283.95	5.16
7	300.71	584.66	13.11
8			0.90

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 11



AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
3.00	3000.00	3432.93
5.00	2144.00	1930.62
7.00	1155.00	960.41
10.00	290.00	321.50
10.00	359.00	321.50
15.00	59.00	59.08
15.00	59.00	59.08
20.00	11.00	16.37
30.00	5.30	5.34
40.00	4.40	4.60
50.00	4.10	4.79
50.00	5.40	4.79
70.00	4.90	5.20
70.00	4.90	5.20
100.00	6.00	5.22

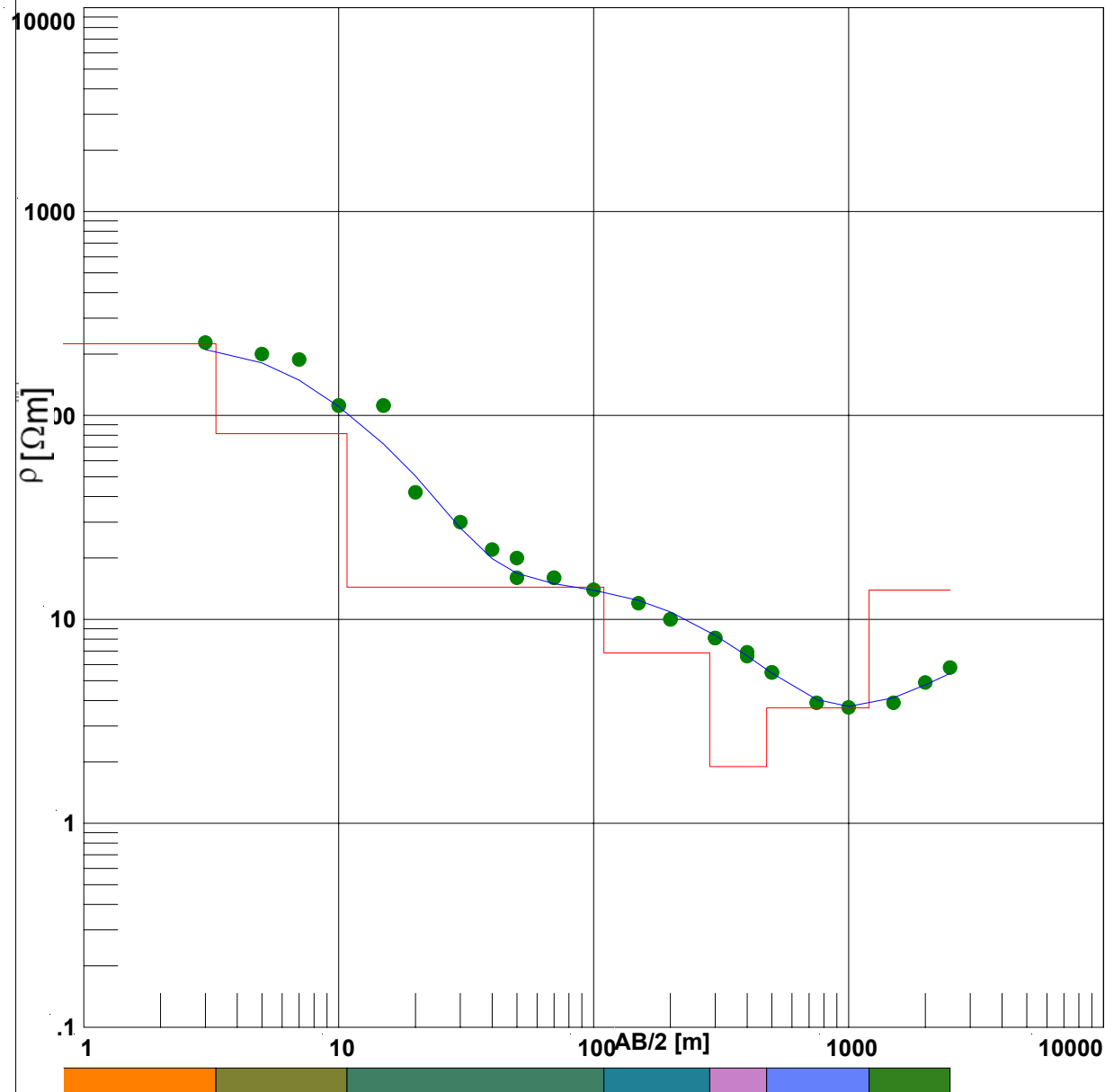
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
150.00	5.00	4.31
200.00	11.00	3.23
200.00	2.60	3.23
300.00	1.70	1.84
300.00	1.70	1.84
400.00	1.60	1.30
400.00	1.60	1.30
500.00	1.60	1.12
500.00	1.60	1.12
750.00	1.20	1.05
1000.00	0.80	1.06
1500.00	0.01	1.12
2000.00	1.30	1.20
2500.00	1.30	1.28

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	2.18	2.18	4624.57
2	2.55	4.73	554.84
3	5.25	9.98	35.85
4	22.57	32.55	3.22
5	28.64	61.19	15.19
6	59.08	120.27	0.71
7	881.92	1002.19	1.10
8			1.51

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	

BIM - S.E.V. 12



AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
3.00	228.00	210.59
5.00	200.00	181.11
7.00	188.00	148.86
10.00	112.00	110.69
10.00	112.00	110.69
15.00	112.00	72.49
15.00	112.00	72.49
20.00	42.00	50.41
30.00	30.00	28.09
40.00	22.00	19.84
50.00	16.00	16.83
50.00	20.00	16.83
70.00	16.00	14.96
70.00	16.00	14.96
100.00	14.00	13.89

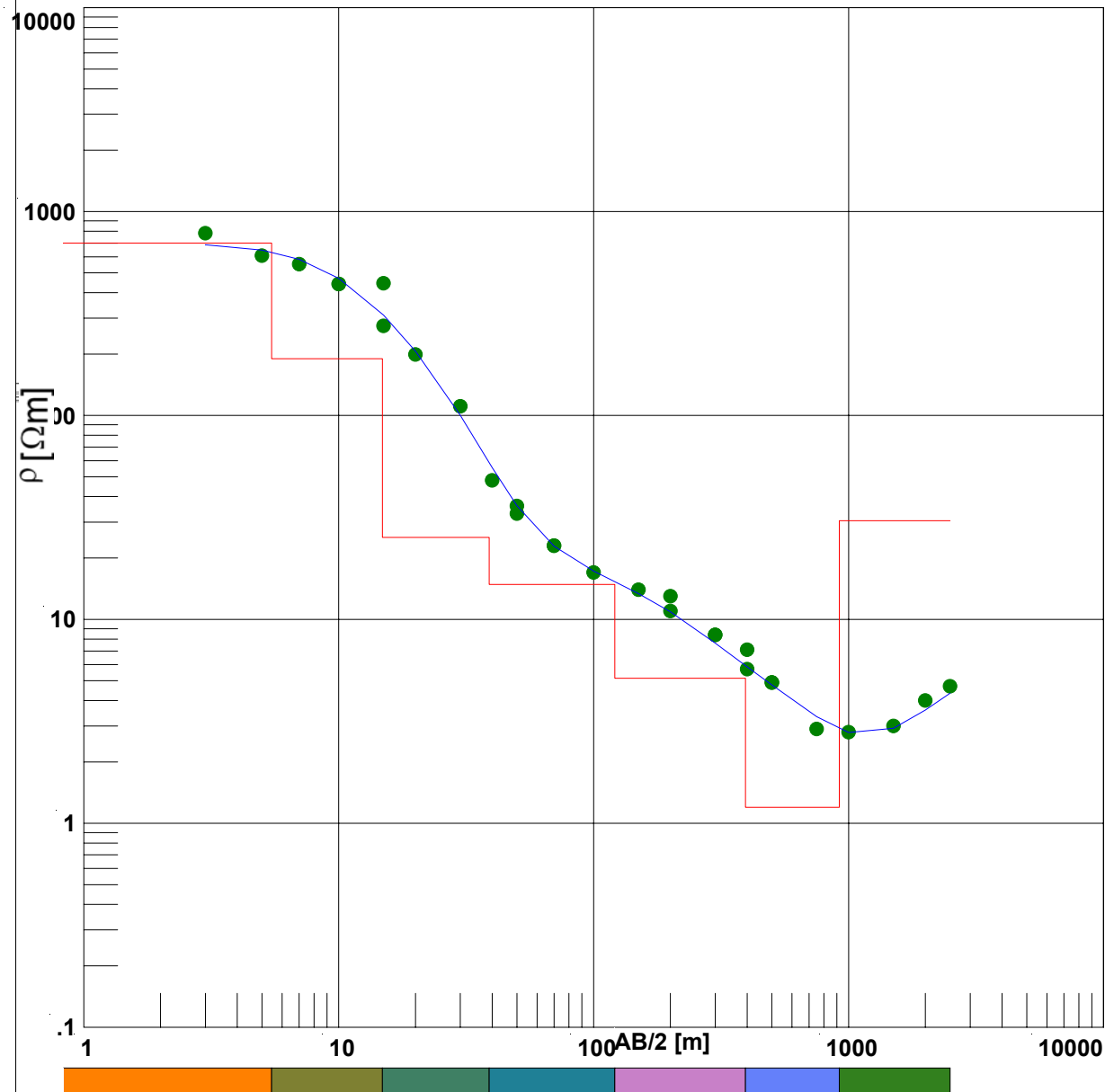
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
150.00	12.00	12.38
200.00	10.00	10.87
200.00	10.00	10.87
300.00	8.10	8.36
300.00	8.10	8.36
400.00	6.60	6.62
400.00	6.90	6.62
500.00	5.50	5.45
500.00	5.50	5.45
750.00	3.90	4.04
1000.00	3.70	3.74
1500.00	3.90	4.13
2000.00	4.90	4.77
2500.00	5.80	5.44

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	3.30	3.30	224.65
2	7.48	10.78	81.44
3	98.85	109.63	14.38
4	176.13	285.76	6.84
5	191.09	476.85	1.90
6	726.73	1203.58	3.68
7			13.93

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 13



AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
3.00	783.00	687.14
5.00	608.00	646.68
7.00	552.00	582.77
10.00	442.00	470.63
10.00	442.00	470.63
15.00	445.00	310.83
15.00	275.00	310.83
20.00	199.00	206.75
30.00	111.00	100.26
40.00	48.00	55.53
50.00	33.00	36.11
50.00	36.00	36.11
70.00	23.00	22.83
70.00	23.00	22.83
100.00	17.00	17.25

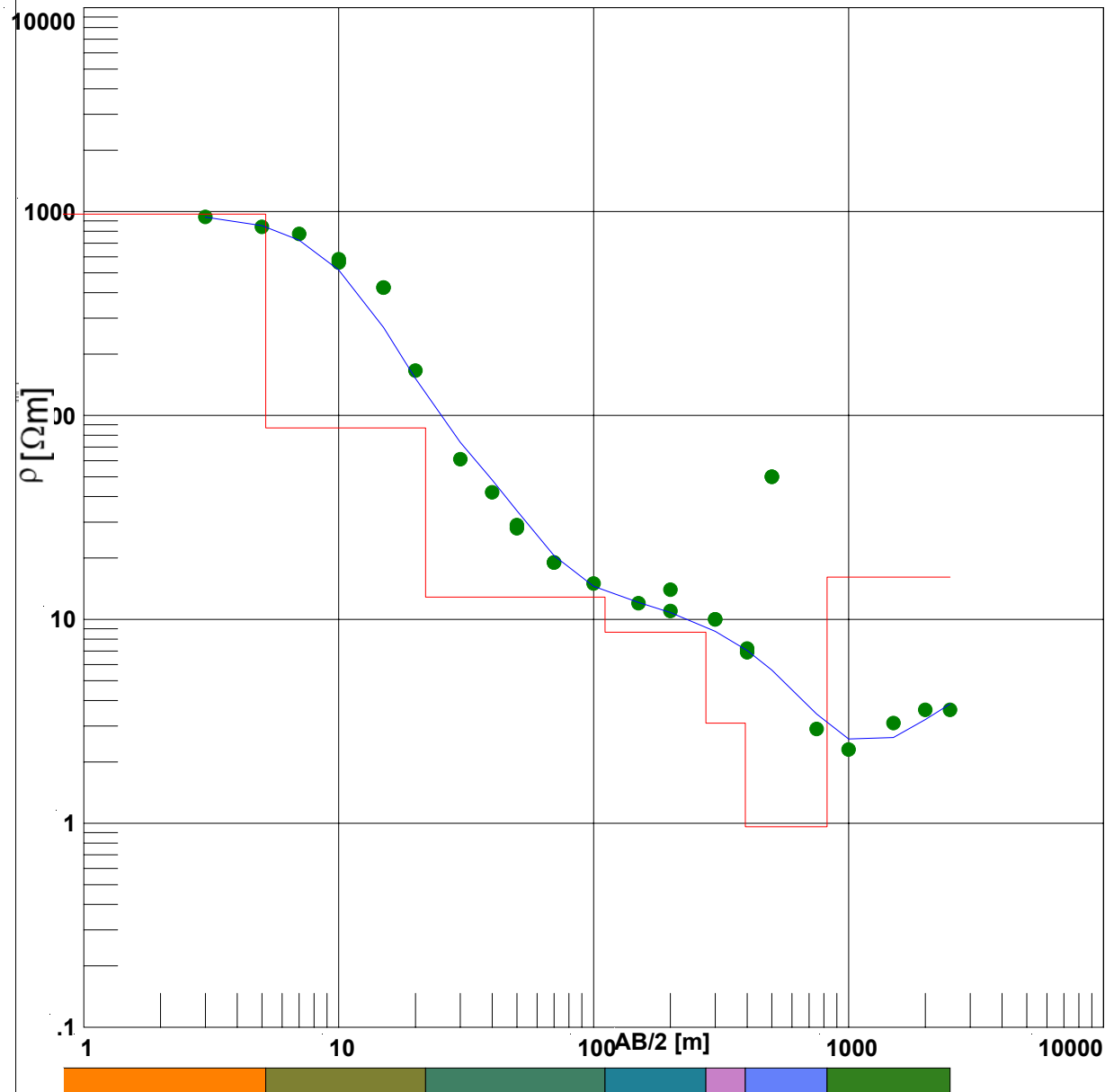
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
150.00	14.00	13.38
200.00	13.00	10.89
200.00	11.00	10.89
300.00	8.40	7.65
300.00	8.40	7.65
400.00	5.70	5.85
400.00	7.10	5.85
500.00	4.90	4.77
500.00	4.90	4.77
750.00	2.90	3.34
1000.00	2.80	2.79
1500.00	3.00	2.92
2000.00	4.00	3.59
2500.00	4.70	4.34

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	5.46	5.46	701.23
2	9.38	14.84	189.70
3	24.11	38.95	25.23
4	82.16	121.11	14.84
5	272.93	394.04	5.14
6	526.63	920.67	1.20
7			30.49

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 14



AB/2 [m]	$\rho_{\text{Campo}} [\Omega m]$	$\rho_{\text{Teor.}} [\Omega m]$
3.00	941.00	939.56
5.00	842.00	853.21
7.00	777.00	724.05
10.00	584.00	516.78
10.00	562.00	516.78
15.00	424.00	270.27
15.00	424.00	270.27
20.00	166.00	151.86
30.00	61.00	73.90
40.00	42.00	48.23
50.00	28.00	34.12
50.00	29.00	34.12
70.00	19.00	20.52
70.00	19.00	20.52
100.00	15.00	14.53

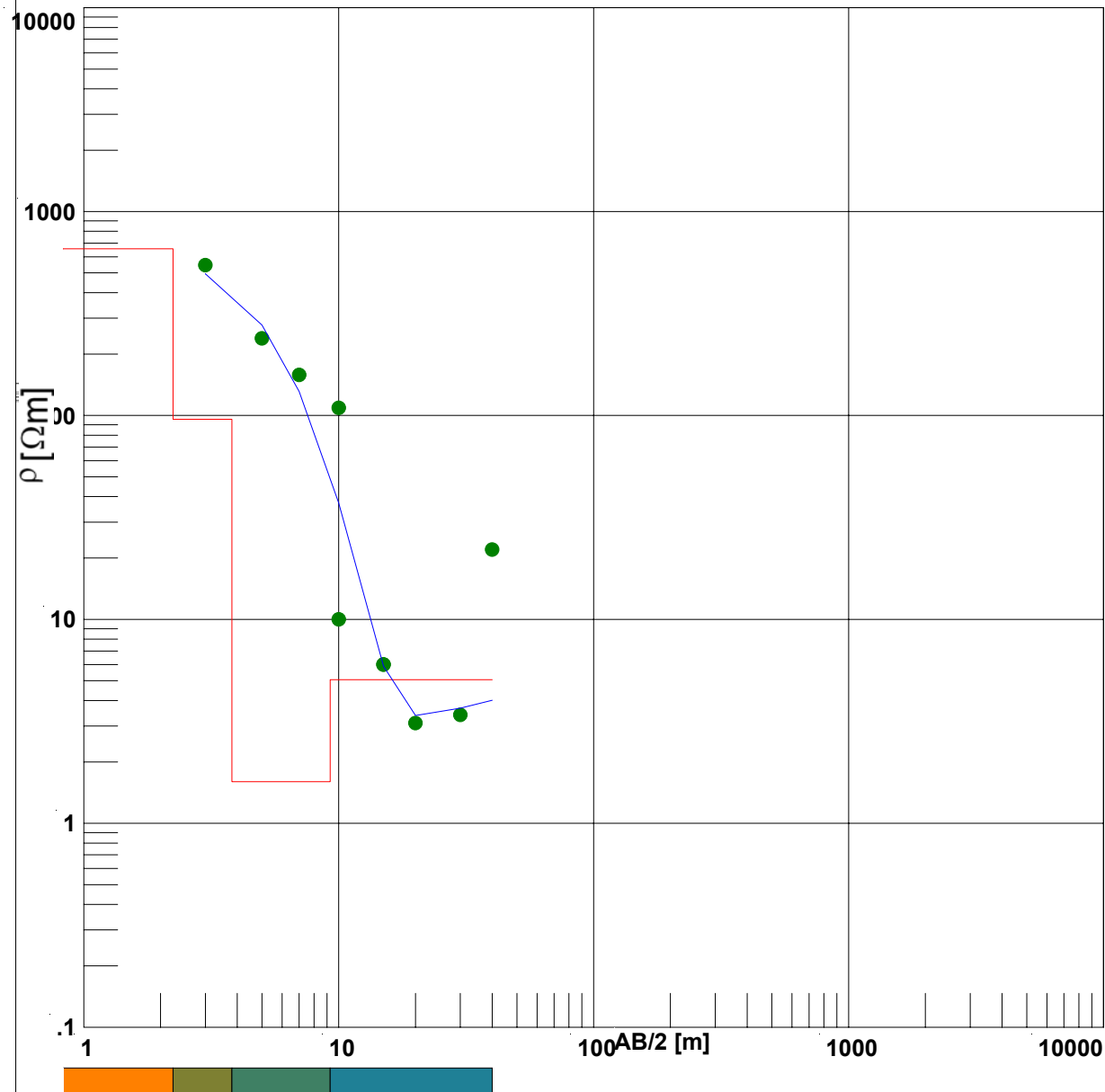
AB/2 [m]	$\rho_{\text{Campo}} [\Omega m]$	$\rho_{\text{Teor.}} [\Omega m]$
150.00	12.00	12.10
200.00	11.00	10.80
200.00	14.00	10.80
300.00	10.00	8.73
300.00	10.00	8.73
400.00	6.90	7.03
400.00	7.20	7.03
500.00	50.00	5.64
500.00	50.00	5.64
750.00	2.90	3.43
1000.00	2.30	2.59
1500.00	3.10	2.63
2000.00	3.60	3.22
2500.00	3.60	3.85

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}} [\Omega m]$
1	5.17	5.17	970.75
2	16.75	21.92	86.91
3	88.95	110.87	12.86
4	164.78	275.65	8.65
5	118.10	393.75	3.10
6	429.68	823.43	0.96
7			16.11

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 15



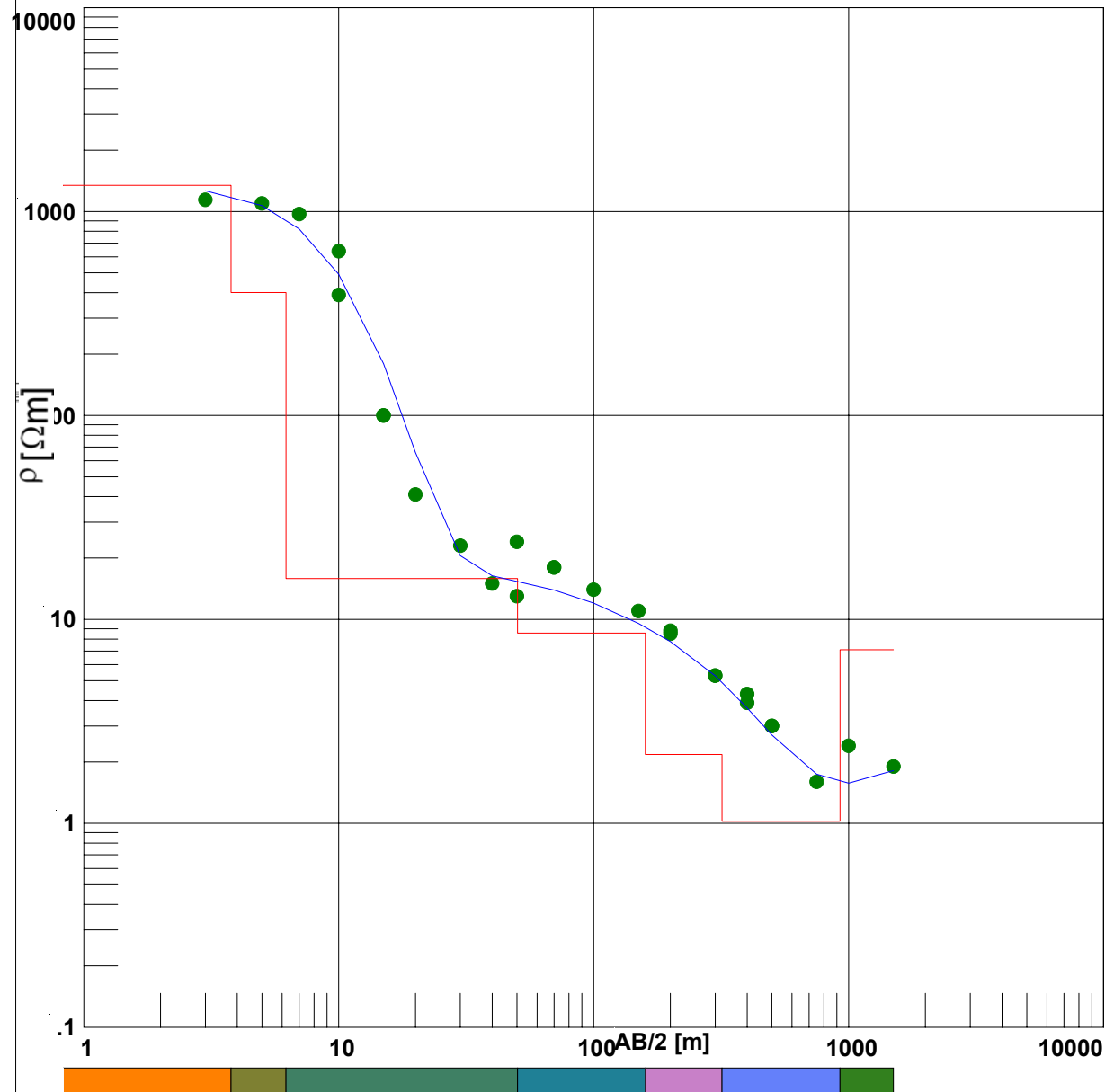
AB/2 [m]	ρ _{Campo} [Ω m]	ρ _{Teor.} [Ω m]
3.00	546.00	494.88
5.00	239.00	277.59
7.00	158.00	131.34
10.00	109.00	37.27
10.00	10.00	37.27
15.00	6.00	5.89
15.00	6.00	5.89
20.00	3.10	3.38
30.00	3.40	3.67
40.00	22.00	4.01

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	ρ _{Verd.} [Ω m]
1	2.24	2.24	657.07
2	1.57	3.81	95.82
3	5.45	9.26	1.60
4			5.06

Referencias
● ρ _{Campo}
— ρ _{Teórico}
□ Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 16



AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
3.00	1143.00	1262.99
5.00	1096.00	1068.69
7.00	972.00	821.90
10.00	639.00	492.06
10.00	390.00	492.06
15.00	100.00	179.21
15.00	100.00	179.21
20.00	41.00	65.71
30.00	23.00	20.53
40.00	15.00	16.34
50.00	13.00	15.34
50.00	24.00	15.34
70.00	18.00	13.92
70.00	18.00	13.92
100.00	14.00	12.00

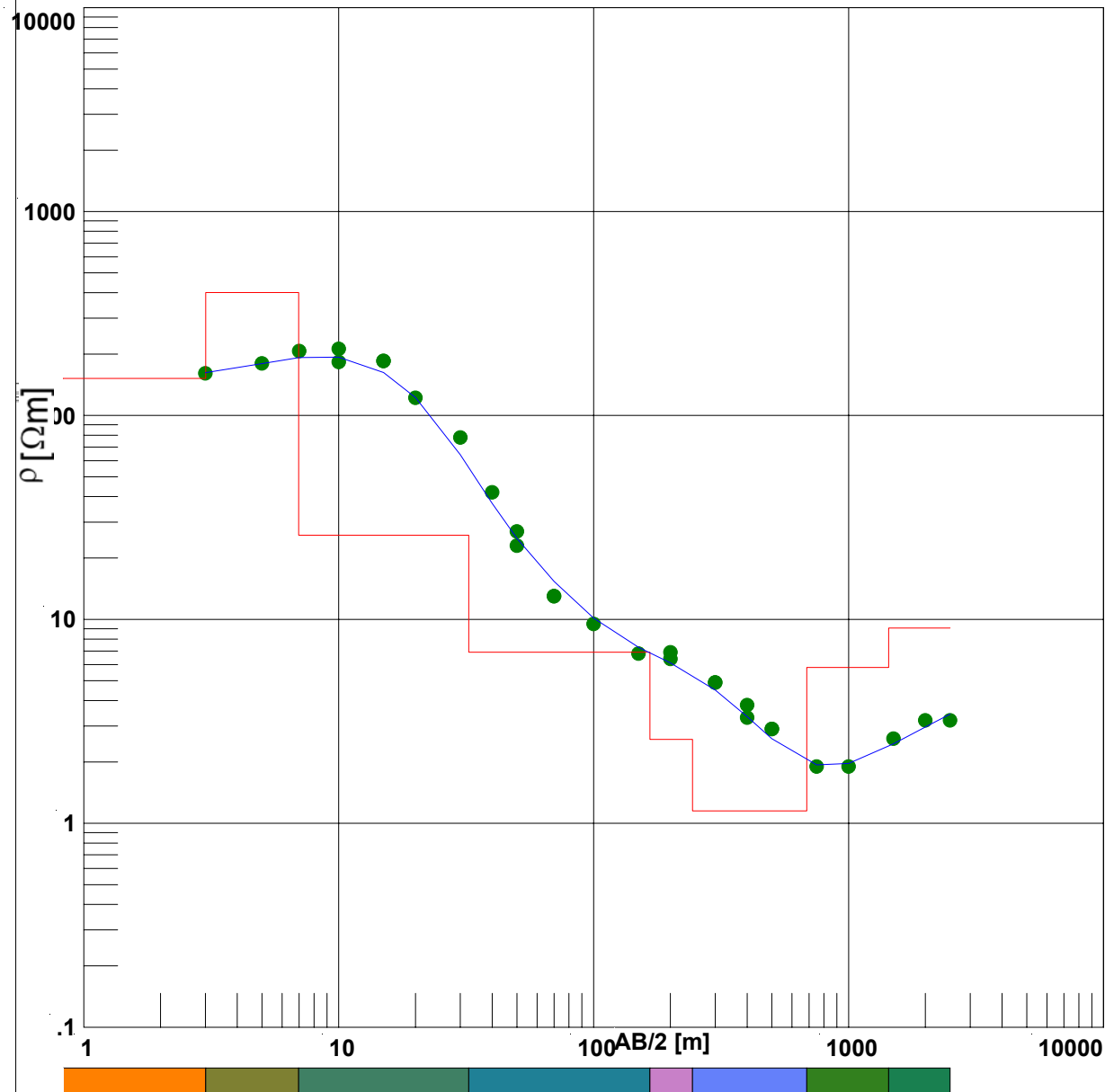
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
150.00	11.00	9.56
200.00	8.50	7.79
200.00	8.80	7.79
300.00	5.30	5.29
300.00	5.30	5.29
400.00	3.90	3.68
400.00	4.30	3.68
500.00	3.00	2.71
500.00	3.00	2.71
750.00	1.60	1.74
1000.00	2.40	1.57
1500.00	1.90	1.81

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	3.78	3.78	1343.84
2	2.43	6.21	400.80
3	44.09	50.30	15.88
4	109.26	159.56	8.58
5	159.67	319.23	2.18
6	606.52	925.75	1.02
7			7.09

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 17



AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
3.00	161.00	162.18
5.00	180.00	179.61
7.00	207.00	192.32
10.00	212.00	193.17
10.00	183.00	193.17
15.00	185.00	162.52
15.00	185.00	162.52
20.00	122.00	122.34
30.00	78.00	64.26
40.00	42.00	37.01
50.00	23.00	24.94
50.00	27.00	24.94
70.00	13.00	15.36
70.00	13.00	15.36
100.00	9.50	10.14

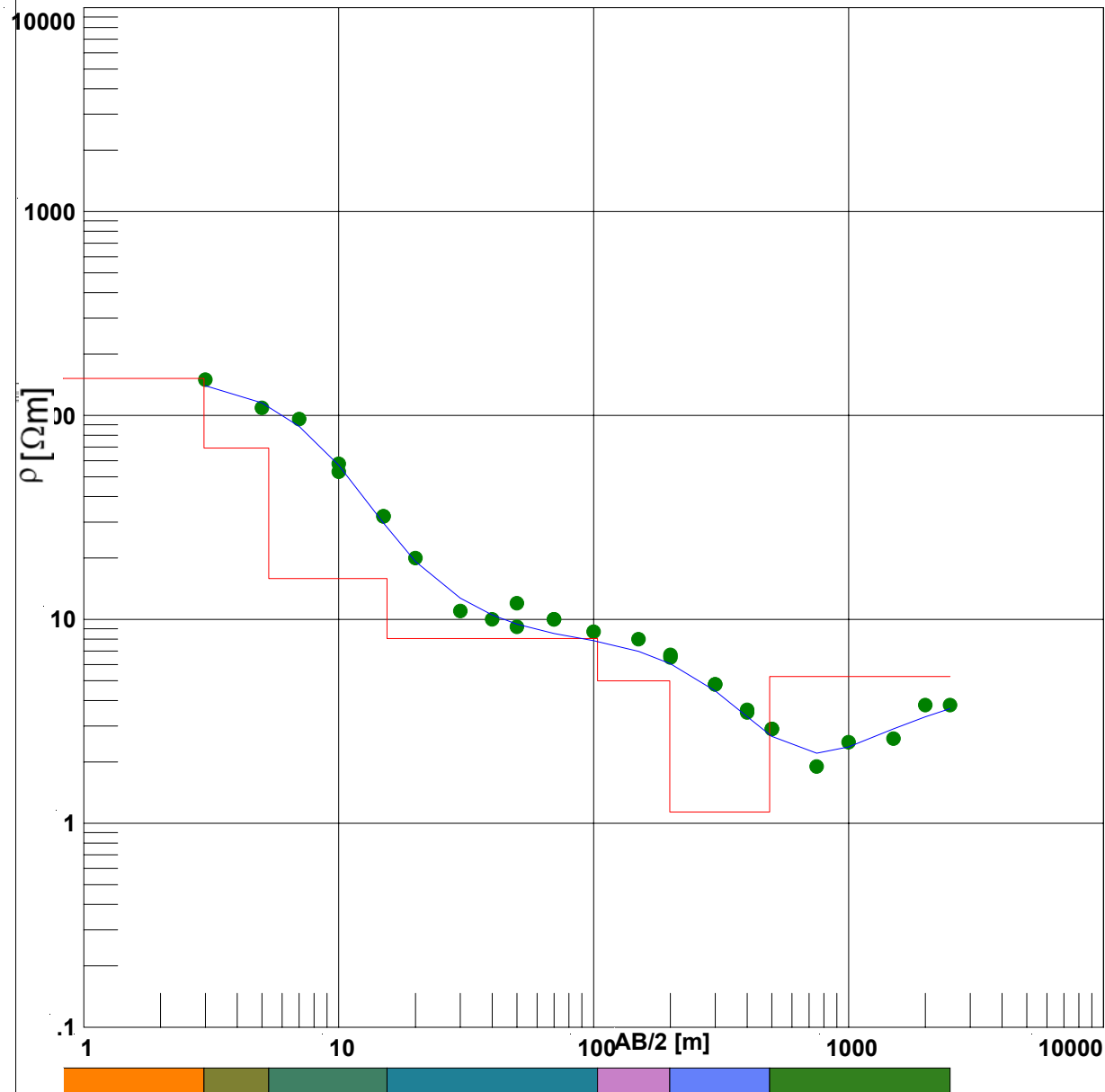
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
150.00	6.80	7.30
200.00	6.40	6.12
200.00	6.90	6.12
300.00	4.90	4.50
300.00	4.90	4.50
400.00	3.30	3.34
400.00	3.80	3.34
500.00	2.90	2.60
500.00	2.90	2.60
750.00	1.90	1.93
1000.00	1.90	1.97
1500.00	2.60	2.45
2000.00	3.20	2.97
2500.00	3.20	3.43

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	3.01	3.01	152.06
2	3.96	6.97	400.80
3	25.41	32.38	25.86
4	133.89	166.27	6.90
5	78.13	244.40	2.58
6	441.18	685.58	1.15
7	750.38	1435.96	5.81
8			9.07

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 18



AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
3.00	150.00	139.94
5.00	109.00	115.26
7.00	96.00	88.47
10.00	53.00	57.02
10.00	58.00	57.02
15.00	32.00	29.68
15.00	32.00	29.68
20.00	20.00	19.22
30.00	11.00	12.70
40.00	10.00	10.52
50.00	9.20	9.47
50.00	12.00	9.47
70.00	10.00	8.53
70.00	10.00	8.53
100.00	8.70	7.86

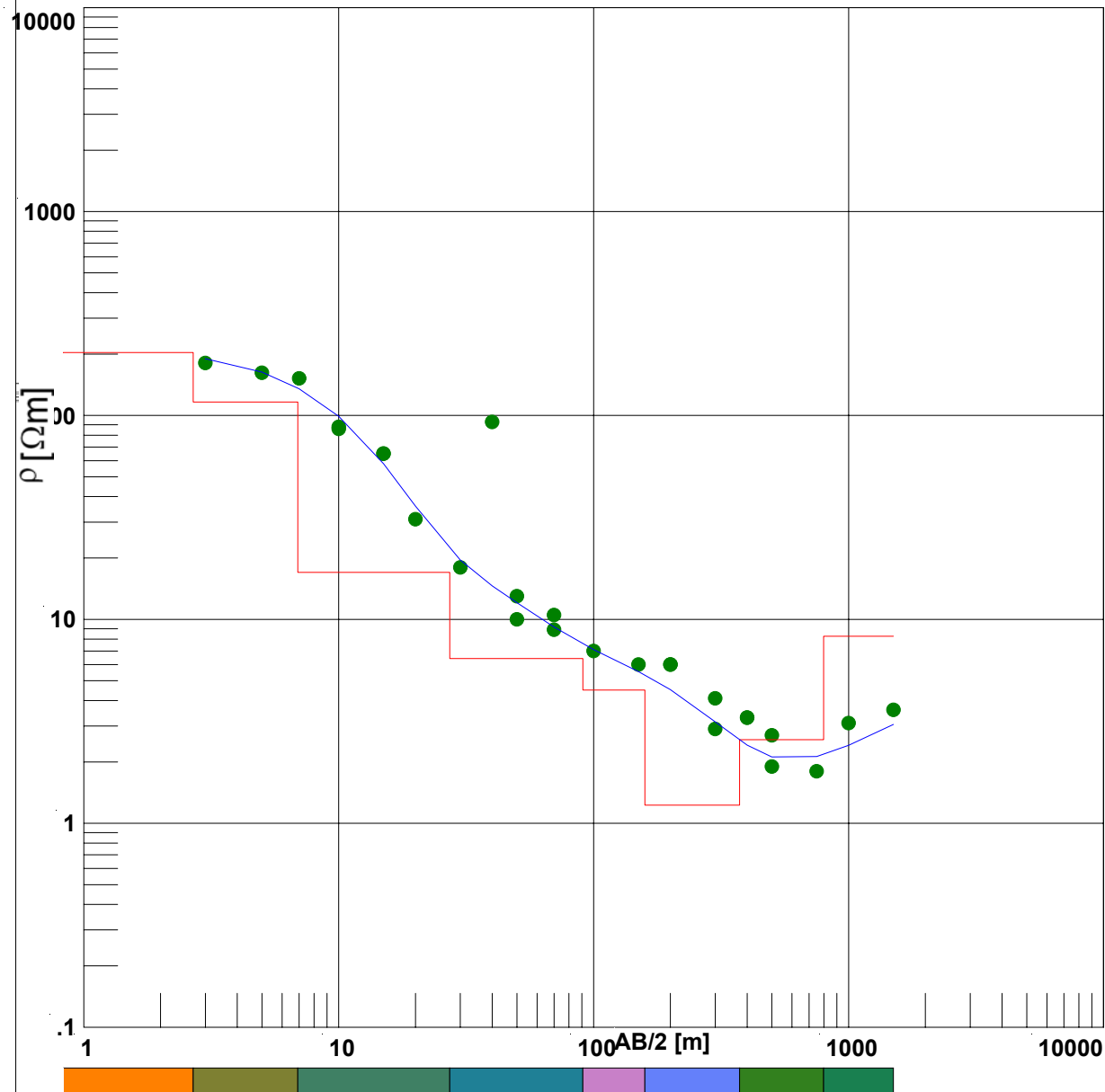
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
150.00	8.00	6.97
200.00	6.50	6.06
200.00	6.70	6.06
300.00	4.80	4.46
300.00	4.80	4.46
400.00	3.50	3.33
400.00	3.60	3.33
500.00	2.90	2.67
500.00	2.90	2.67
750.00	1.90	2.21
1000.00	2.50	2.37
1500.00	2.60	2.90
2000.00	3.80	3.33
2500.00	3.80	3.65

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	2.96	2.96	152.06
2	2.36	5.32	69.22
3	10.16	15.48	15.86
4	88.20	103.68	8.05
5	95.27	198.95	5.00
6	291.69	490.64	1.14
7			5.25

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 19



AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
3.00	181.00	189.76
5.00	162.00	163.31
7.00	152.00	135.20
10.00	88.00	99.11
10.00	86.00	99.11
15.00	65.00	58.01
15.00	65.00	58.01
20.00	31.00	35.90
30.00	18.00	19.54
40.00	93.00	14.60
50.00	10.00	12.08
50.00	13.00	12.08
70.00	10.50	9.17
70.00	8.90	9.17
100.00	7.00	7.11

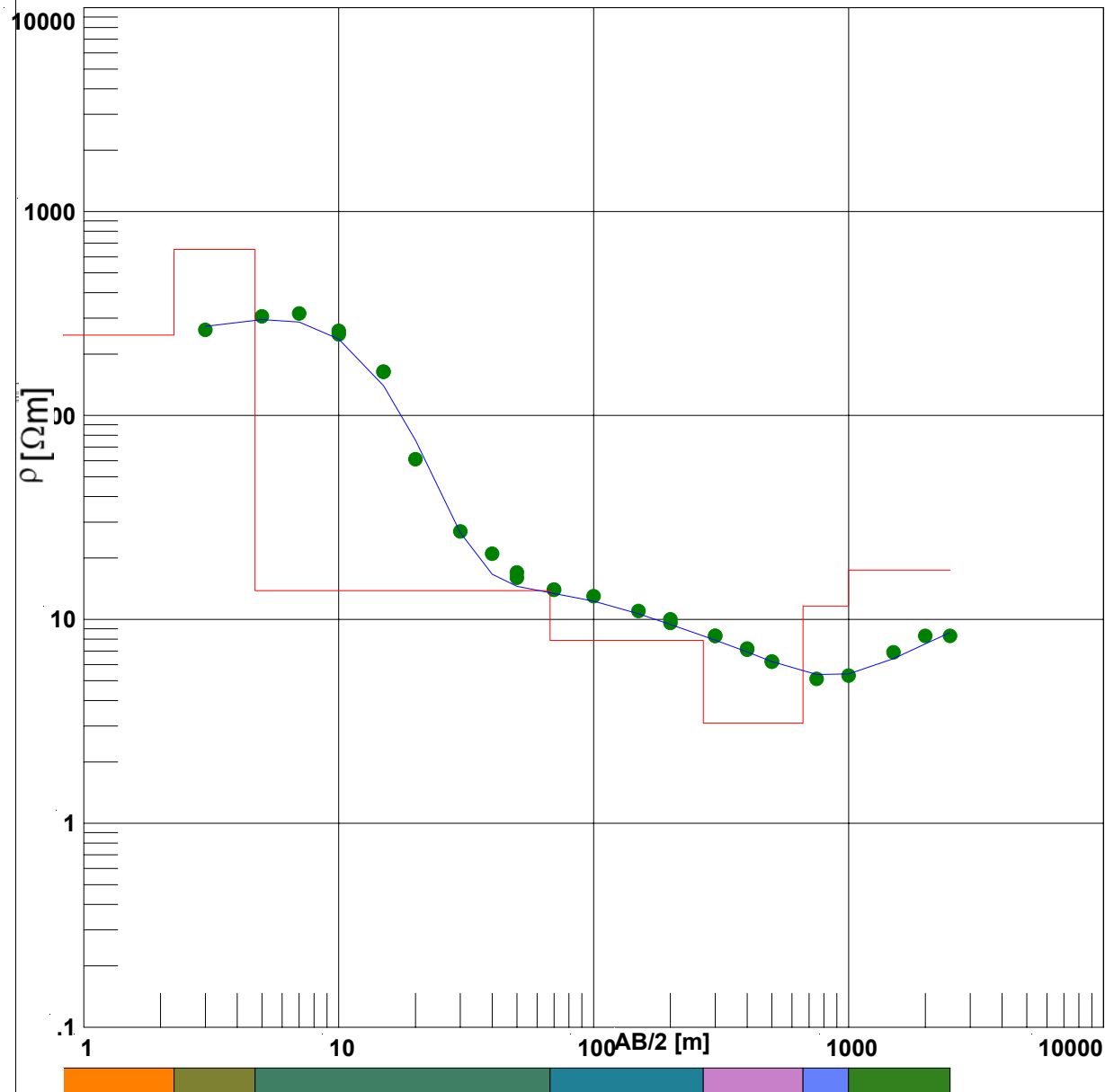
AB/2 [m]	ρ_{Campo} [Ω m]	$\rho_{\text{Teor.}}$ [Ω m]
150.00	6.00	5.54
200.00	6.00	4.52
200.00	6.00	4.52
300.00	4.10	3.14
300.00	2.90	3.14
400.00	3.30	2.42
400.00	3.30	2.42
500.00	2.70	2.12
500.00	1.90	2.12
750.00	1.80	2.12
1000.00	3.10	2.41
1500.00	3.60	3.05

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	$\rho_{\text{Verd.}}$ [Ω m]
1	2.69	2.69	203.77
2	4.22	6.91	116.47
3	20.35	27.26	17.01
4	63.43	90.69	6.42
5	68.21	158.90	4.50
6	214.95	373.85	1.23
7	424.98	798.83	2.57
8			8.26

Referencias
● ρ_{Campo}
— $\rho_{\text{Teórico}}$
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 20



AB/2 [m]	ρCampo [Ω m]	ρTeor. [Ω m]
3.00	263.00	273.68
5.00	306.00	295.25
7.00	316.00	287.19
10.00	260.00	237.03
10.00	250.00	237.03
15.00	164.00	139.94
15.00	164.00	139.94
20.00	61.00	75.59
30.00	27.00	26.61
40.00	21.00	16.64
50.00	17.00	14.54
50.00	16.00	14.54
70.00	14.00	13.40
70.00	14.00	13.40
100.00	13.00	12.28

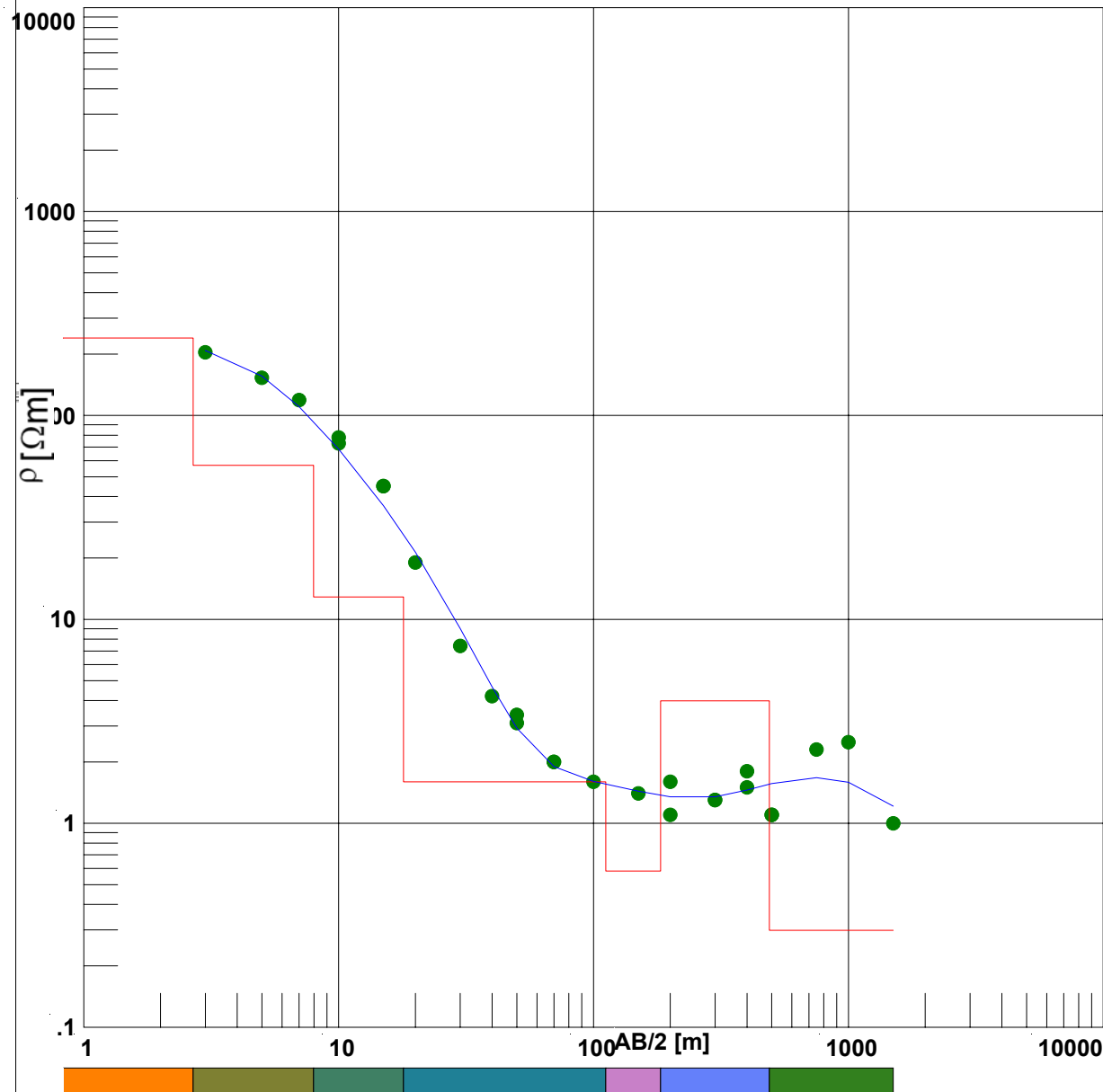
AB/2 [m]	ρCampo [Ω m]	ρTeor. [Ω m]
150.00	11.00	10.65
200.00	9.60	9.44
200.00	10.00	9.44
300.00	8.30	7.91
300.00	8.30	7.91
400.00	7.10	6.92
400.00	7.20	6.92
500.00	6.20	6.21
500.00	6.20	6.21
750.00	5.10	5.36
1000.00	5.30	5.40
1500.00	6.90	6.42
2000.00	8.30	7.59
2500.00	8.30	8.62

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	ρVerd. [Ω m]
1	2.26	2.26	247.68
2	2.44	4.70	652.81
3	62.83	67.53	13.84
4	201.93	269.46	7.88
5	393.04	662.50	3.10
6	336.97	999.47	11.63
7			17.44

Referencias
● ρCampo
— ρTeórico
□ Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	Santiago Valdes

BIM - S.E.V. 21



AB/2 [m]	ρ Campo [Ω m]	ρ Teor. [Ω m]
3.00	204.00	208.49
5.00	153.00	156.01
7.00	119.00	110.62
10.00	73.00	68.45
10.00	78.00	68.45
15.00	45.00	36.08
15.00	45.00	36.08
20.00	19.00	21.34
30.00	7.40	9.03
40.00	4.20	4.67
50.00	3.10	2.93
50.00	3.40	2.93
70.00	2.00	1.90
70.00	2.00	1.90
100.00	1.60	1.60

AB/2 [m]	ρ Campo [Ω m]	ρ Teor. [Ω m]
150.00	1.40	1.44
200.00	1.60	1.35
200.00	1.10	1.35
300.00	1.30	1.35
300.00	1.30	1.35
400.00	1.50	1.46
400.00	1.80	1.46
500.00	1.10	1.57
500.00	1.10	1.57
750.00	2.30	1.68
1000.00	2.50	1.59
1500.00	1.00	1.21

Nº Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	ρ Verd. [Ω m]
1	2.69	2.69	239.75
2	5.29	7.98	56.95
3	9.99	17.97	12.89
4	93.75	111.72	1.60
5	71.47	183.19	0.58
6	306.24	489.43	3.99
7			0.30

Referencias
● ρ Campo
— ρ Teórico
— Corte Eléctrico

Perfil	Fecha	Comitente
N	2011	INA
Lat - Long	Operador	Intérprete
	Gianni	

Anexo III: Láminas

Lámina A: Geometría de la cuenca por geología de pozos

NO

SE

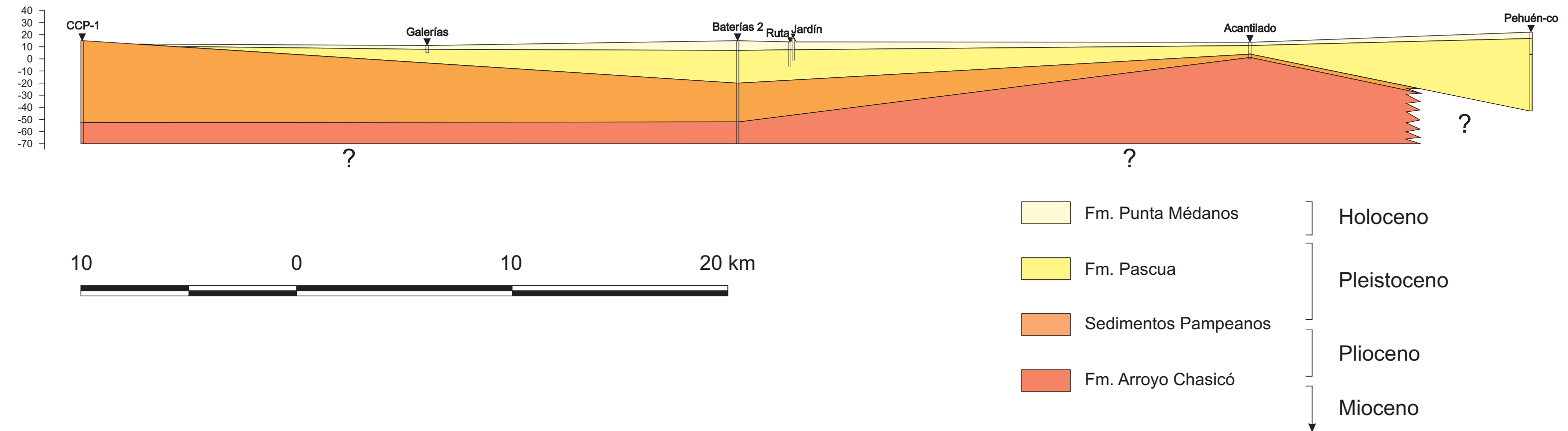
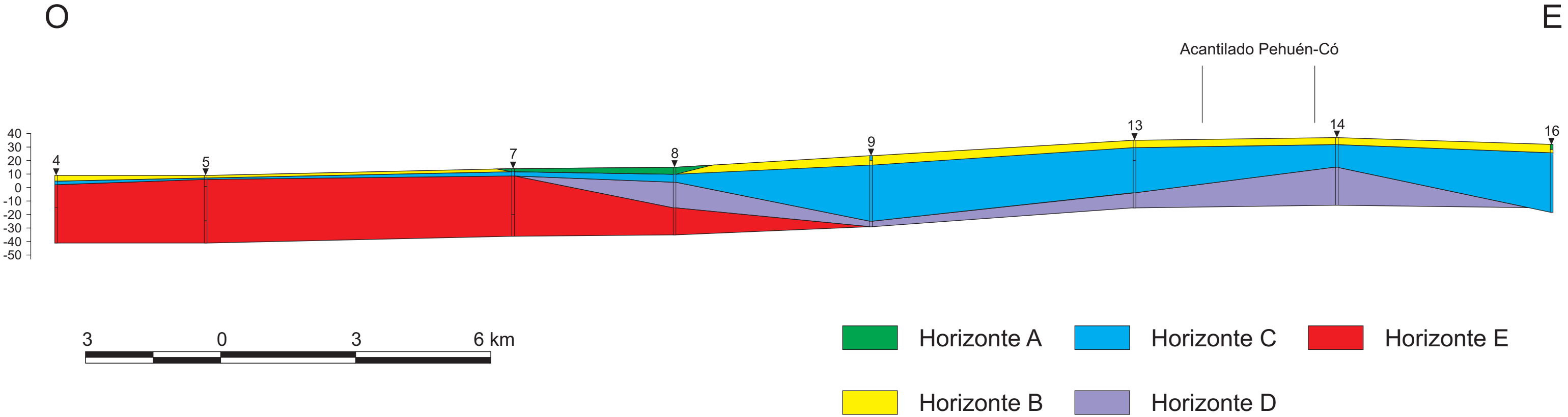


Lámina B: Corte Geoelectrico 1 O - E



Corte Hidrogeológico 1

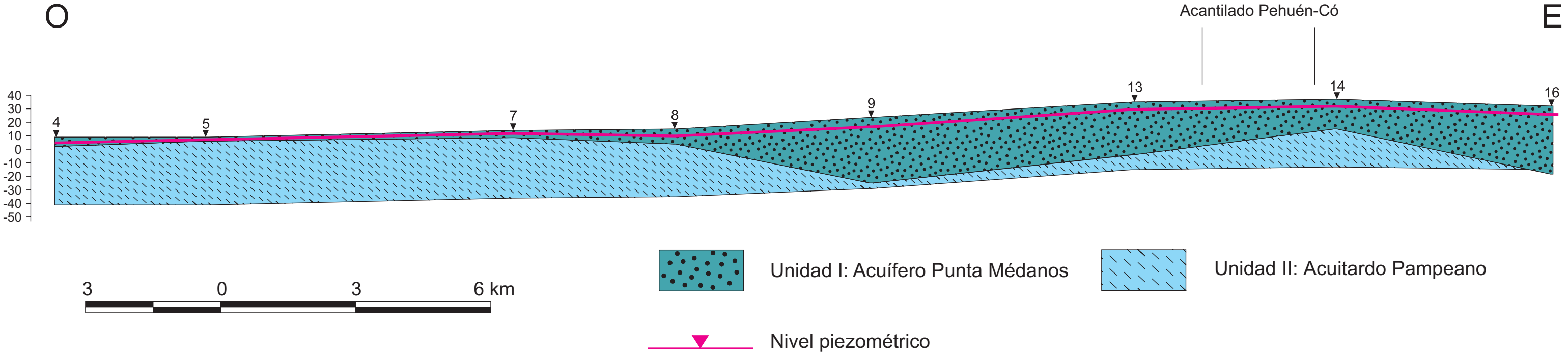
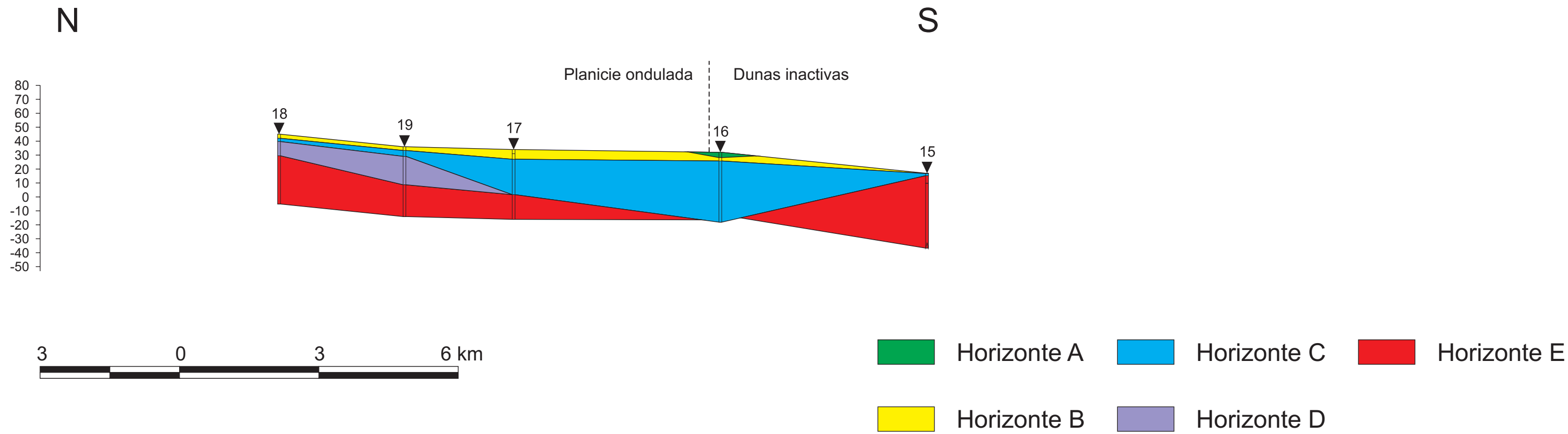


Lámina C: Corte Geoelectrico 5 N - S



Corte Hidrogeológico 5

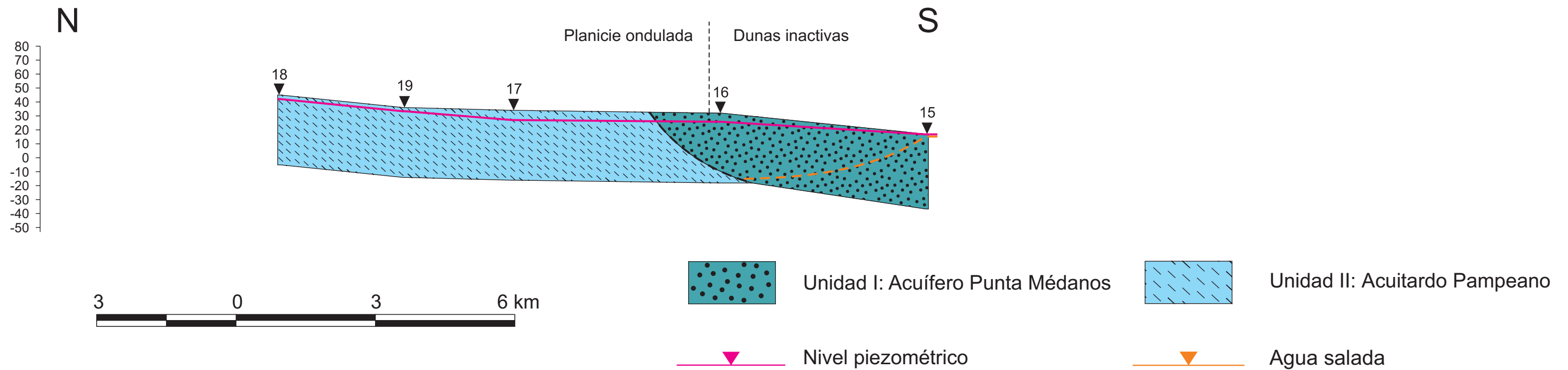
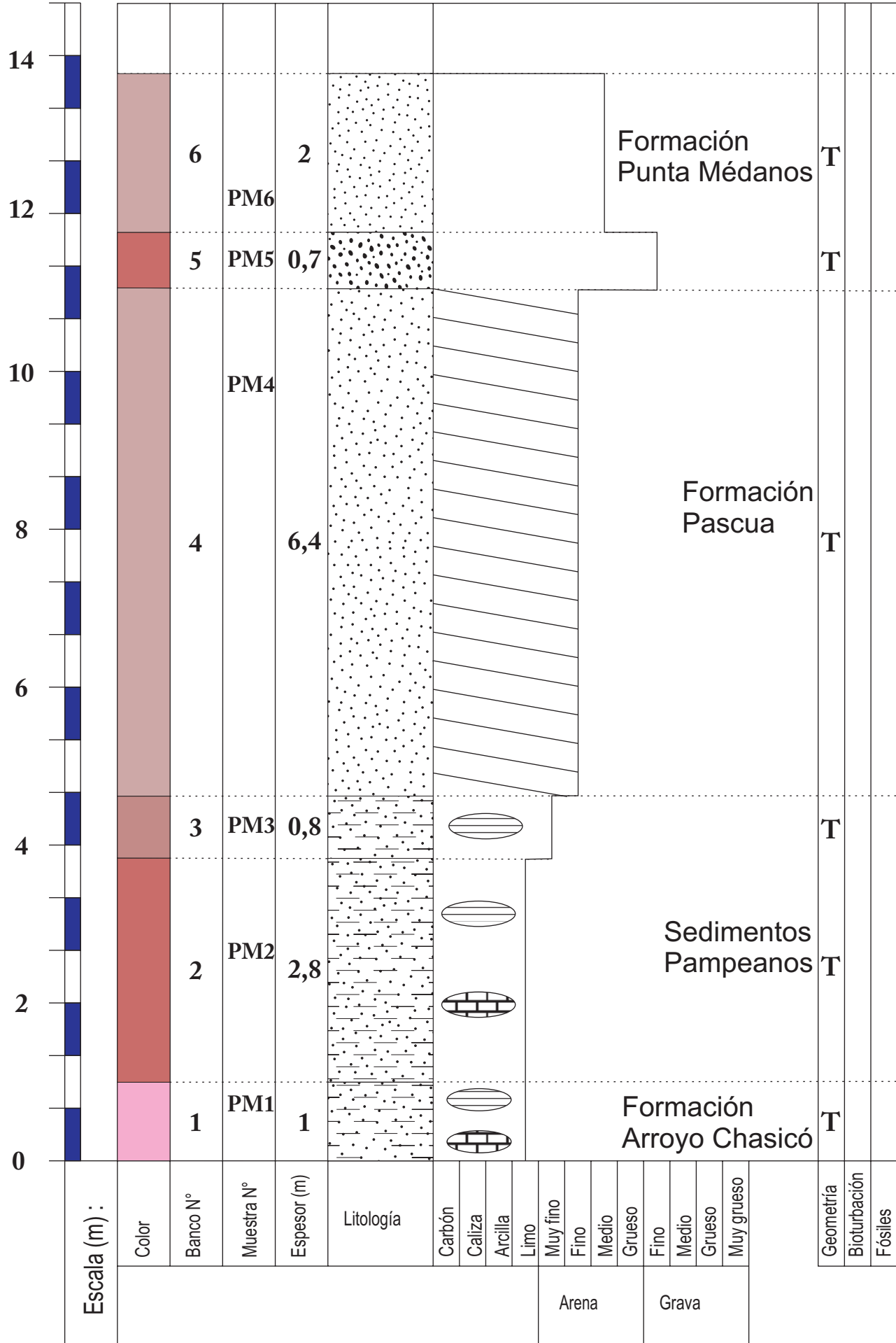
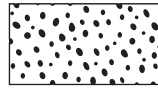


Lámina D: Perfil geológico del acantilado de Pehuén-co

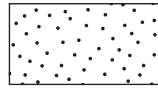


Referencias

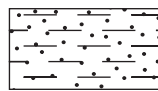
Litología



Grava

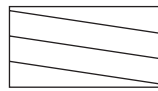


Arena

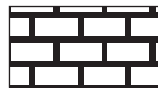


Limo

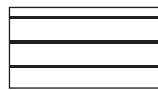
Estructuras sedimentarias



Estratificación plana de bajo ángulo



Calcretes



Laminación horizontal

Provincia: Buenos Aires

Lat: 38° 58' 07,00" S

Fecha: 19/03/2015

Partido: Cnel. Rosales

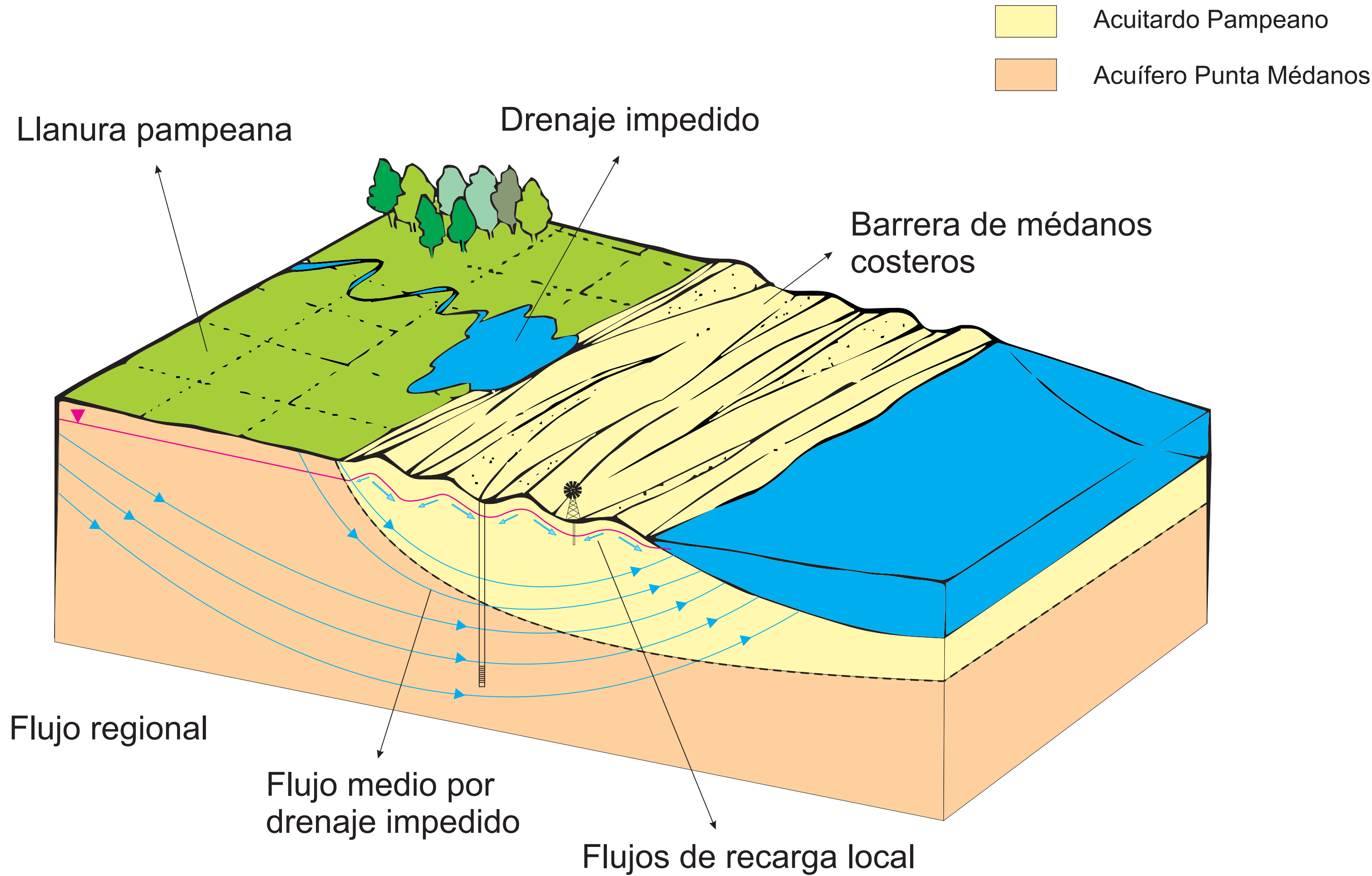
Long: 61° 41' 37,44" O

Geólogo: Santiago P. Valdes

Lugar: Acantilado Pehuén-co

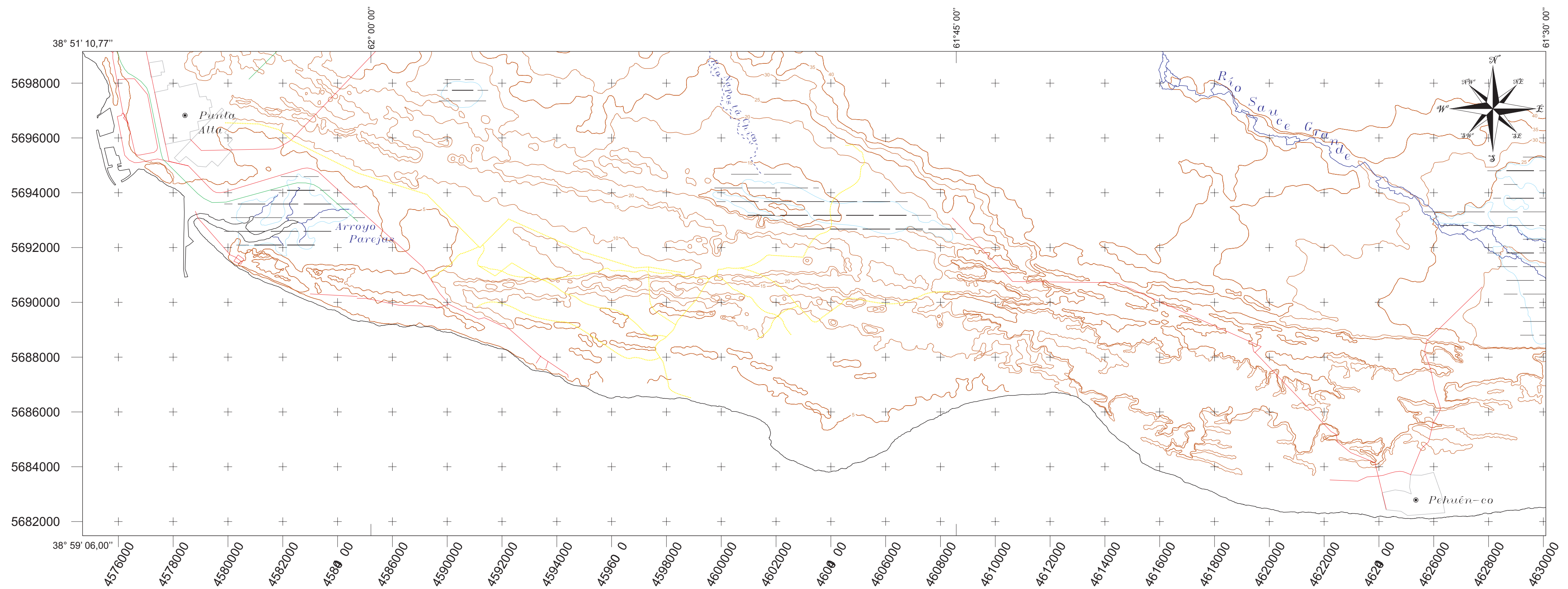
Cota: 0 msnm

Lámina E: Modelo hidrogeológico del área de estudio

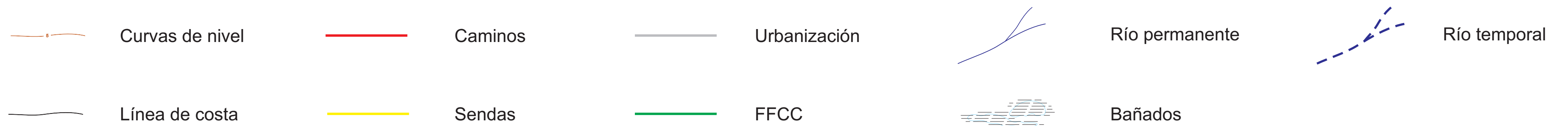




Mapa topográfico de la costa entre Punta Alta y Pehuén-co



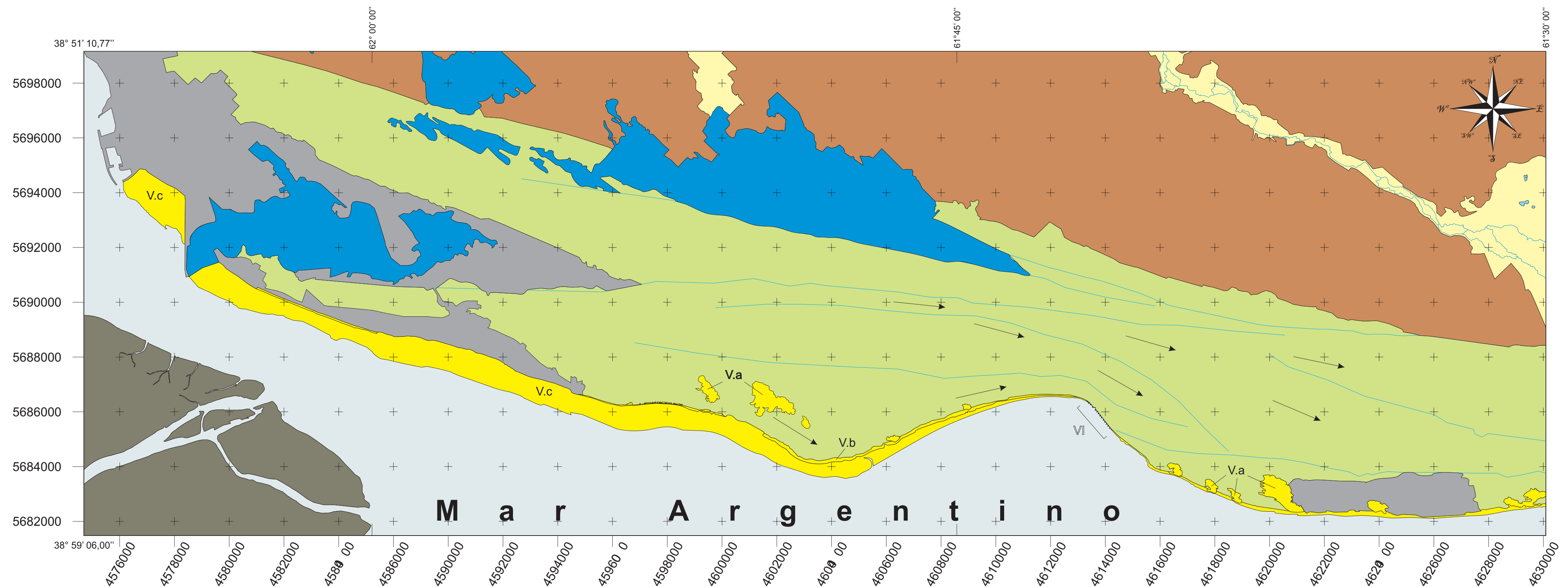
Referencias



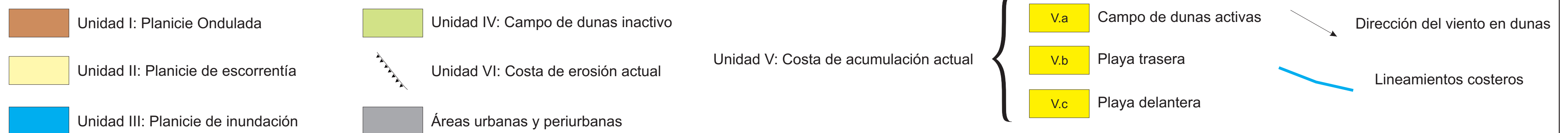
Base Topográfica IGM conforme proyección Gauss Krugger (Faja IV)
Datum Geodésico: WGS84 corregido sobre imágenes satelitales TerraMetrics 2016
Autor: Santiago P. Valdés - Buenos Aires, Argentina 2016



Mapa geomorfológico de la costa entre Punta Alta y Pehuén-co



Referencias

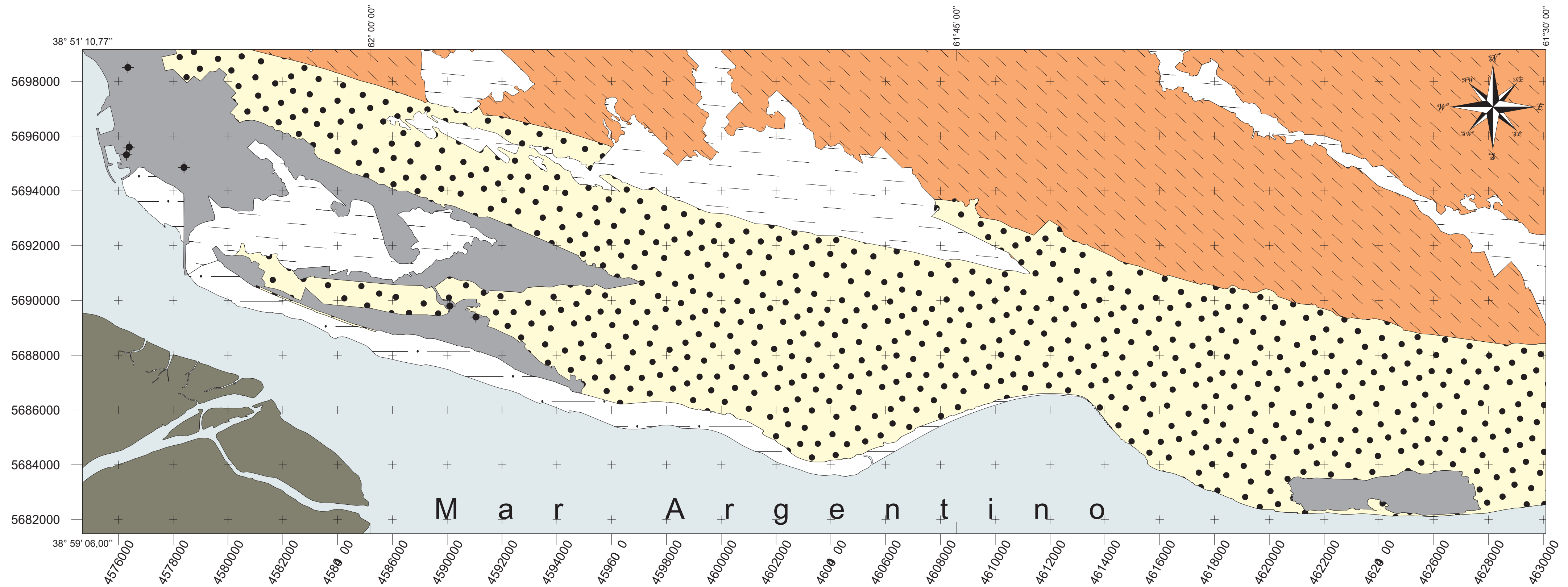


20 0 20 40 Kilómetros

Base Topográfica IGM conforme proyección Gauss Krugger (Faja IV)
Datum Geodésico: WGS84 corregido sobre imágenes satelitales TerraMetrics 2016
Autor: Santiago P. Valdés - Buenos Aires, Argentina 2016



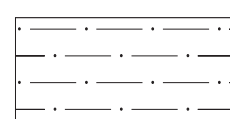
Mapa geológico de la costa entre Punta Alta y Pehuén-co



Referencias



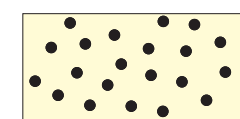
Sedimentos Pampeanos



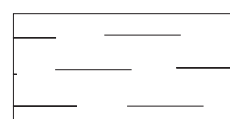
Sedimentación marina moderna



Región urbana y periurbana



Fm. Punta Médanos



Sedimentación fluviolacustre moderna



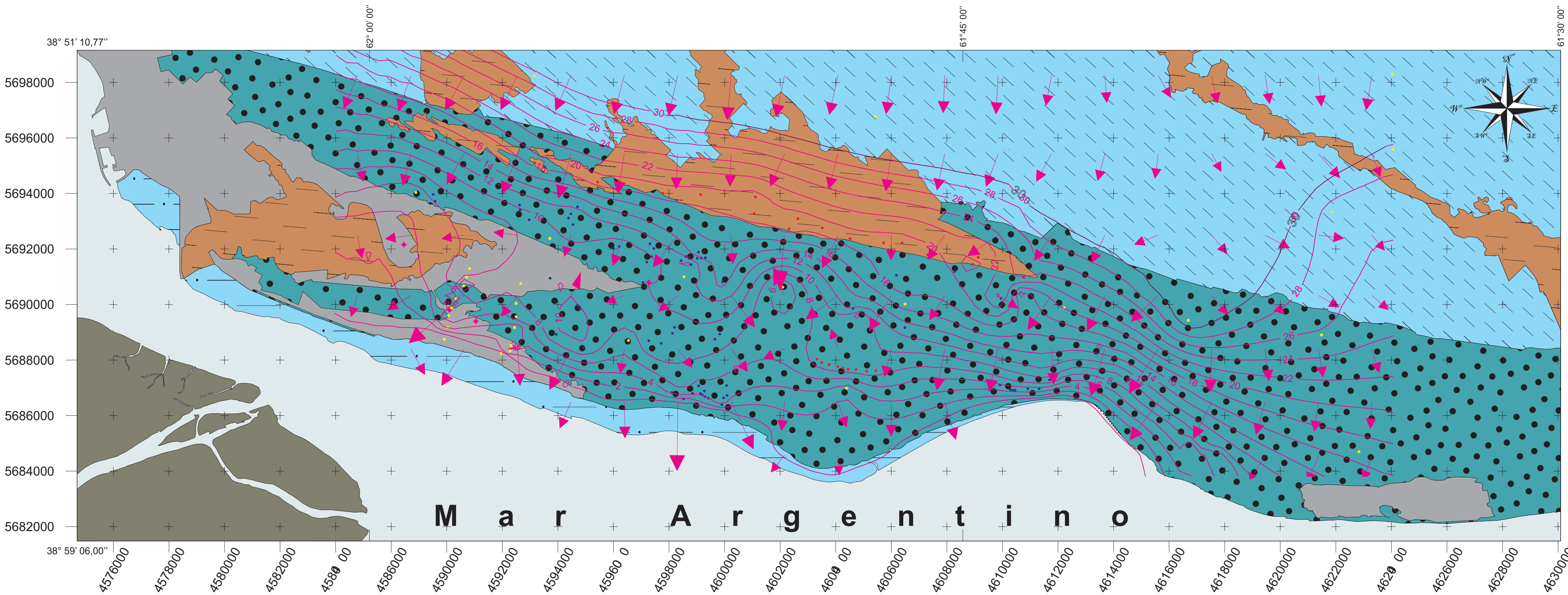
Perforaciones

20 0 20 40 Kilómetros

Base Topográfica IGM conforme proyección Gauss Krugger (Faja IV)
Datum Geodésico: WGS84 corregido sobre imágenes satelitales TerraMetrics 2016
Autor: Santiago P. Valdés - Buenos Aires, Argentina 2016



Mapa Hidrogeológico del Acuífero Punta Médanos



Referencias

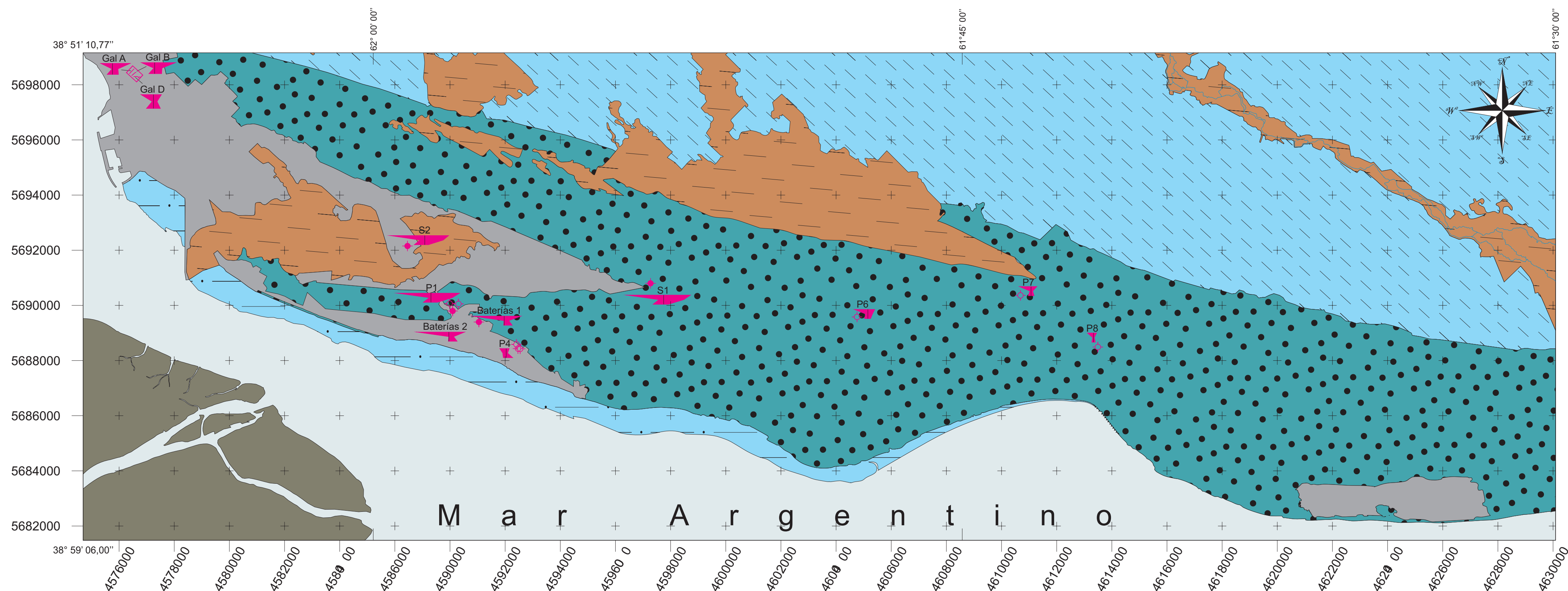
- | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------|--|--------------------------|--|-----------------------------|--|--------------------------------|--|---------------------------------|
| | Acuífero Punta Médanos | | Acuífero/Acuitardo | | Zona de galerías filtrantes | | Captación profunda | | Sondeo eléctrico vertical (SEV) |
| | Acuífero/Acuitardo Pampeano | | Área urbana y periurbana | | Flujo | | Puntos de control piezométrico | | |
| | Acuitardo | | Piezometría | | Captación somera | | Ojos de agua | | |

20 0 20 40 Kilómetros

Base Topográfica IGM conforme proyección Gauss Krugger (Faja IV)
Datum Geodésico: WGS84 corregido sobre imágenes satelitales TerraMetrics 2016
Autor: Santiago P. Valdés - Buenos Aires, Argentina 2016



Mapa hidroquímico del Acuífero Punta Médanos



Referencias



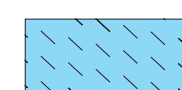
Acuífero Punta Médanos



Acuífero/Acuitardo



Captación somera



Acuífero/Acuitardo Pampeano



Área urbana y periurbana



Captación profunda



Acuitardo

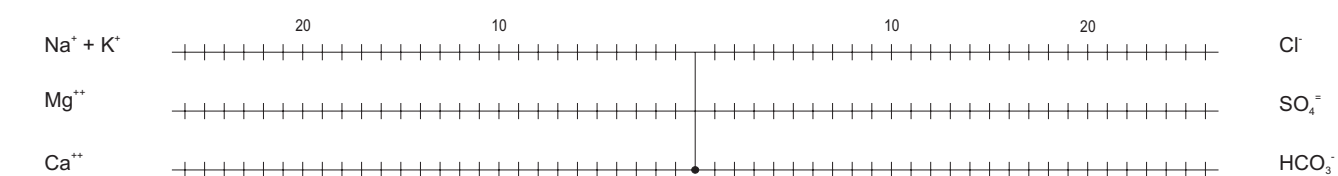


Zona de galerías filtrantes



Diagrama de Stiff

Diagrama Stiff



Base Topográfica IGM conforme proyección Gauss Krugger (Faja IV)
Datum Geodésico: WGS84 corregido sobre imágenes satelitales TerraMetrics 2016
Autor: Santiago P. Valdés - Buenos Aires, Argentina 2016