

**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA
LOCALIDAD DE COMALLO**

PROVINCIA DE RÍO NEGRO

CFI - DPA

INFORME FINAL

Junio 2023

GEOAUSTRAL
SERVICIOS GEOLÓGICOS

Item	TEMAS	Página
	RESUMEN EJECUTIVO	4
1	INTRODUCCIÓN	6
2	OBJETIVO	6
3	UBICACIÓN Y AREA DE ESTUDIO	7
4	IMPORTANCIA SOCIODEMOGRAFICA	11
5	CLIMA	12
6	BALANCE HÍDRICO	14
7	HIDROGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA	21
8	GEOMORFOLOGÍA	23
9	GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA	25
10	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL	26
11	GEOELECTRICA (TOMOGRAFIA MULTIELECTRODICA)	27
12	RELEVAMIENTO HIDROGEOLOGICO	44
13	HIDRODINAMICA	46
14	ENSAYOS DE BOMBEO	51
15	CALCULO DE RESERVAS	55
16	SISTEMA ACTUAL DE ABASTECIMIENTO	60
17	HIDROQUIMICA	62
18	DIAGNOSTICO DEL SISTEMA ACTUAL	69
19	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
20	ANEXOS Y FUENTES CONSULTADAS	73

	TABLAS	
1	ESTACIONES METEOROLÓGICAS	12
2	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL	15
3	PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL	16
4	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	17
5	VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	18
6	LISTA DE POZOS RELEVADOS	45
7	UBICACIÓN DE POZOS	48
8	UBICACIÓN POZOS TRAILACAHUE	49
9	ENSAYOS HIDRÁULICOS PE	53
10	ENSAYOS HIDRÁULICOS PO	56
11	PERMEABILIDADES	56
12	VOLUMENES DE EXPLOTACION	62
13	UBICACIÓN DE POZOS RELEVADOS Y AGUA DE CALIDAD	65

	FIGURAS	
1	ZONA RELEVADA	10
2	SITIO RELEVADO ACOTADO	11
3	UBICACIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS	13
4	CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA Koppen-Geiger	14
5,6	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL Y MENSUAL	16

7	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	17
8	VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	18
9	EVT DIARIA Y MENSUAL	19
10	EVT POTENCIAL	20
11	SECCIONES TOMOGRAFÍAS	31
12	UBICACIÓN TOMOGRAFÍAS EN SECUENCIAS	33
13	SECCIÓN TOMOGRAFÍA 1 DE VALLE SW	33
14,15,16	SECCIÓN TOMOGRAFIA 2, 3 Y 5 DE VALLE SW	35
17, 18, 19	SECCIÓN TOMOGRAFÍA 6, 7 Y 8 DE VALLE SW	36
20	SECCIONES TOMOGRAFÍA EN SECUENCIA VALLE COMALLO (SW)	37
21	SECCIONES TOMOGRAFÍA EN SECUENCIA VALLE TRAILACAHUE	38
22	SECCIÓN TOMOGRAFÍA 1 DE VALLE TRAILACAHUE	38
23,24,25	SECCIÓN TOMOGRAFIA 2, 3 Y 4 DE VALLE TRAILACAHUE	39
26	SECCIONES TOMOGRAFÍA EN SECUENCIA VALLE TRAILACAHUE	40
27,28,29	SECCION TOMOGRAFÍA BASALTO 1, 2 Y 3	41
30,31,32	SECCION TOMOGRAFIA PREDIO INTA 1 Y2 Y VIVERO MUNICIPAL	42
33,34, 35	SECCION TOMOGRAFIA VIVERO CENTRO Y VIVERO 2	43
36,37,38	SECCIONES TOMOGRAFIA SECTOR SW DEL VALLE	42
39	UBICACION POZOS RELEVADOS	46
40	PERFIL P22-P16	47
41	MAPA EQUIPOTENCIAL Y VECTORES DE FLUJO	47
42	PERFIL P11-P21	49
43	MAPA EQUIPOTENCIAL DE VECTORES DE FLUJO	50
44	POZOS ENSAYADOS HIDRAULICAMENTE	52
45	AREA EXPLOTACION ACTUAL	59
46	POZOS MUESTREADOS	64
47,48,49	DIAGRAMA DE PIPER	67,68
50	AREA FAVORABLE PARA CAMPOO DE BOMBEO	70

	MAPAS	
1, 2	CARTOGRAFICO	8, 9
3	POLITICO	12
4	SECCIONES DE TOMOGRAFIA	22
5	AMBIENTES GEOLÓGICOS DEL SECTOR COMALLO	24
6	MAPA GEOLOGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO	25

	FOTOS	
1	TRABAJOS DE TOMOGRAFIA	28
2	ESTRATIGRAFÍA RELLENO DEL VALLE	34
3	ENSAYOS DE BOMBEO	54
4	TOMA DE MUESTRAS DE AGUA	65
5	MEDICION IN SITU	66

RESUMEN EJECUTIVO

Se planteó para el presente estudio de caracterización hidrogeológica, un abordaje con diferentes escalas de dimensión, y de naturaleza de datos. Buscando una integración de los mismos que permitiera como objetivo final entender la dinámica de comportamiento de los reservorios locales, de manera de optimizar su explotación para la comunidad local de la localidad de Comallo. Se revisaron estudios previos llevados a cabo por colegas y afines, que tuvieron un enfoque más teórico y más regional, y que sirvieron de base de entendimiento para identificar la hidrogeología regional. Sobre este entendimiento se plantearon los estudios indirectos utilizados en la zona para identificar los reservorios, sus niveles de saturación, y geología asociada.

Considerando las dimensiones del abordaje de estudio se pueden identificar tres ejes planteados. El primero y más abarcativo fue la investigación sobre sectores que pudieran representar potenciales reservorios como medio fisurado de roca. Se llevaron a cabo secciones de tomografía para intentar identificar valores que se asociaran a zonas con saturación de agua, y se revisaron estudios de esta temática. El segundo eje fue la caracterización de la Fm. Collon Cura como reservorio, la cual ya tiene dos perforaciones en el centro de la localidad que son productivas desde hace mas de 30 años. Para su estudio se realizó la sección de tomografía más profunda, intentando alcanzar los niveles productivos de las perforaciones mencionadas, y buscando identificar en dicha sección valores resistivos que pudieran asociarse a los datos de descripción litológica del cutting obtenido durante la ejecución de las perforaciones. Para este segundo eje también, se contó con la colaboración de un becario doctoral del CONICET, quién se encuentra estudiando en su tesis a la Fm. Collon Cura, esto se sumó a la información teórica recopilada al respecto. Finalmente como 3er eje y principal, ya que representa el de más inmediata aplicación, se abordó el estudio de los rellenos modernos del cauce del arroyo Comallo, en donde se realizaron la mayor cantidad de estudios. Estos consistieron en la adquisición de secciones 2D de tomografía eléctrica, que se plantearon a modo de grilla sobre los rellenos del cauce, equidistantes desde aguas arriba hasta el centro de la localidad. La idea fue parametrizar los valores de resistividad adquiridos, que se asociaran a niveles de saturación de agua, y también identificar los niveles totales de relleno moderno del cauce.

Al lograr esta calibración del dato indirecto en esta zona, se permite abordar desde el dato puntual, donde se realizaron ensayos de bombeo y recuperación, y se calcularon

los parámetros hidráulicos de reservorio. La posibilidad de obtener en secuencia los niveles de saturación de agua a lo largo de todo el sector del cauce estudiado, sumado a la caracterización del reservorio obtenida mediante los ensayos hidráulicos de manera puntual en varios puntos de control, permitió la estimación de reservas como dato más importante logrado. Esto reviste una importancia no solo teórica como método de estudio, integrado con diferentes escalas de observación y diferentes naturaleza del dato, si no también de aplicación directa, ya que cualquier perforación que se realice en la zona de estudio en el futuro, a partir del presente estudio tendrá como orientación qué profundidades serían las más apropiadas, qué potencia de bomba aplicar, qué distanciamiento entre perforaciones debería haber, qué caudales óptimos para mantener la sustentabilidad de la explotación del recurso, como también, las áreas donde sería más apropiado preservar sin urbanizar para garantizar la provisión del recurso hídrico subterráneo. Sobre todo considerando el posible crecimiento que tendrá la localidad a partir de la finalización del tramo asfaltado de la ruta 23 que conectará con la localidad de San Carlos de Bariloche.

Conclusión 1: para poder entender mejor las variables estacionales hay q realizar seguimiento y monitoreo desde los puntos de control en escalas de tiempos regulares.

Conclusión 2: hay q continuar indagando con otros métodos las posibilidades de explotación de otros reservorios mas allá del acuífero libre, como lo es el caso de la Fm. Collon Cura.

Conclusión 3: Este modelo de estudio de abordaje en diferentes escalas y diferente naturaleza de datos, en donde se integra la teoría como primera instancia, dato indirecto como segunda instancia, y dato directo como instancia final, para obtener un modelo de comportamiento hidrogeológico que sirva a los fines de la optimización en la explotación del recurso hídrico subterráneo, es muy extrapolable a otras localidades de la región. Más que nada por presentar en ellas también un tipo de reservorio similar a lo que se muestra en la localidad de Comallo.

Conclusión 4: la geofísica utilizada fue un eje de estudio muy importante para la caracterización hidrogeológica mas allá de los límites de la zona estudiada en Comallo, como por ejemplo los predios de INTA, donde se realizaron pruebas para identificar los rellenos modernos de cauces donde existen pozos de explotación.

1. INTRODUCCIÓN

Con el presente informe se cumple con lo establecido en el cronograma del convenio CFI – DPA – Geoaustral, el cual debe ser presentado al finalizar su ejecución.

Desarrolla principalmente los resultados de las campañas al sitio de estudio, permitiendo obtener así un robustecimiento de los datos adquiridos y ampliación de los mismos.

A lo largo del documento se describen las distintas tareas llevadas a cabo en las campañas, tanto en el campo como en gabinete. Se describen a continuación los procedimientos de adquisición (de datos geofísicos y muestreos de agua), junto con los ensayos hidráulicos realizados en los sitios de estudio.

Continuando con el enfoque planteado inicialmente para el desarrollo de este proyecto de estudio, basado en la identificación y caracterización de los acuíferos presentes en el valle del A°. Comallo, se abordaron las tareas de campo con el fin de obtener los datos que permitan la generación de modelos de caracterización hidrogeológica, del sector planteado como eje principal del proyecto.

Referido a las sedimentitas de la Fm. Collon Cura se realizaron también adquisiciones de datos para ampliar el conocimiento de este reservorio, al igual que la investigación sobre los medios fisurados (basaltos) de la zona, sobre los cuales también se continuó con las adquisiciones para indagar este medio como potencial reservorio.

El censo geomorfológico e hidrogeológico de campo, estuvo a cargo de los geólogos Ignacio Borsani y Martin Silvestri. En la campaña, también participó el técnico Guillermo Aguirrezabala.

En las campañas se sumaron ayudantes de campo del último año de la carrera de licenciatura en geología de UNLP; Manuel Creimer, Guillermina Benz, Alan Herrera. También participó un becario posdoctoral del centro de investigaciones geológicas (CIG), quien tiene como tema de investigación a la Formación Collón Cura, y que sumó al conocimiento científico de uno de los medios evaluados en el presente proyecto.

2. OBJETIVO

- Detallar las tareas realizadas tanto en campo como en gabinete.
- Presentar un modelado del principal reservorio explotado en la zona de la localidad de Comallo a partir de los resultados obtenidos en las campañas.

- Proponer áreas alternativas para las futuras perforaciones de explotación.
- Contribuir al conocimiento de la hidrogeología a nivel local.

3. UBICACIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO

La localidad de Comallo se ubica en el sector centro sudoeste del territorio argentino, hacia el NO de la región Patagónica, en la provincia de Río Negro.

Si bien se encuentra próxima a la zona andina, aproximadamente 130 km al Este de Bariloche sobre la Ruta Nacional 23, se trata de una ciudad no turística emplazada en la zona de la Patagonia extra andina, la cual se caracteriza predominantemente por biomas de meseta, cañadones y estepa en detrimento de bosques y cordones montañosos.

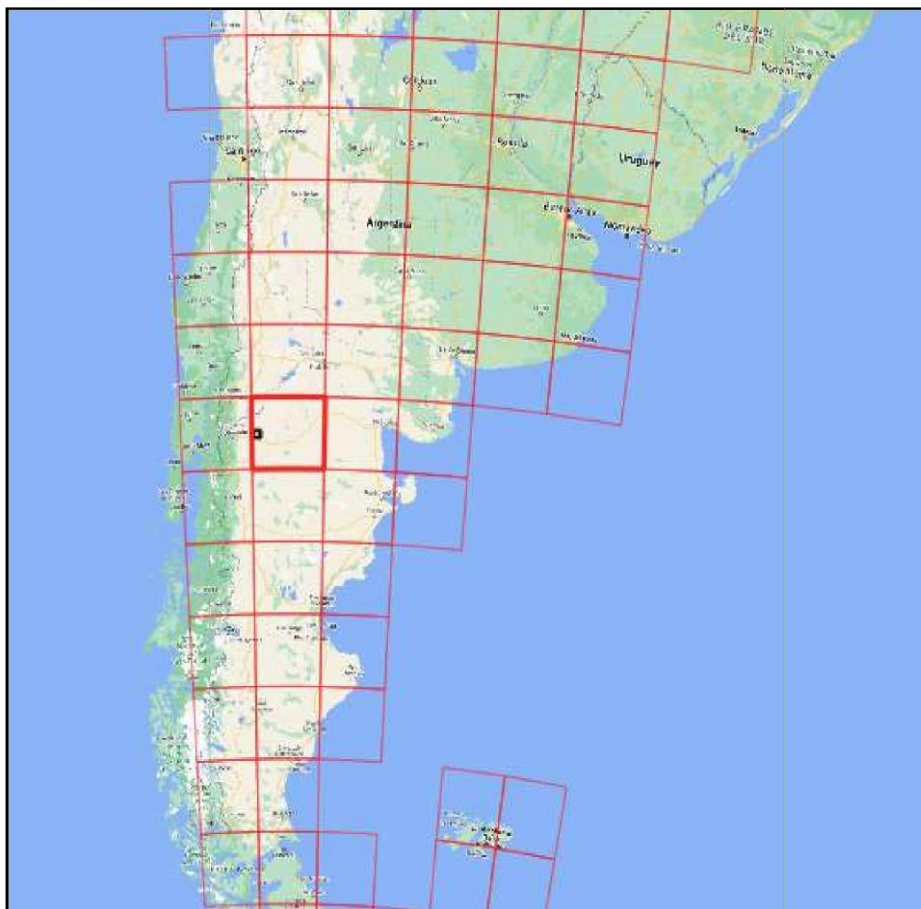
Las coordenadas geográficas rondan los valores de 41° latitud Sur (X) y 69° longitud Oeste (Y) en cuanto al posicionamiento planimétrico referido a sistemas globales (WGS84).

En cuanto al sistema de posicionamiento de proyección local que utiliza la Argentina, la hoja de carta topográfica oficial correspondiente se identifica por la característica 4169 a escala 1:500000, nombre Ingeniero Jacobacci, año levantamiento 1968, sistema de proyección Gauss Kruger faja 2 (-69°), sistema de referencia Campo Inchauspe, organismo responsable Instituto Geográfico Nacional.

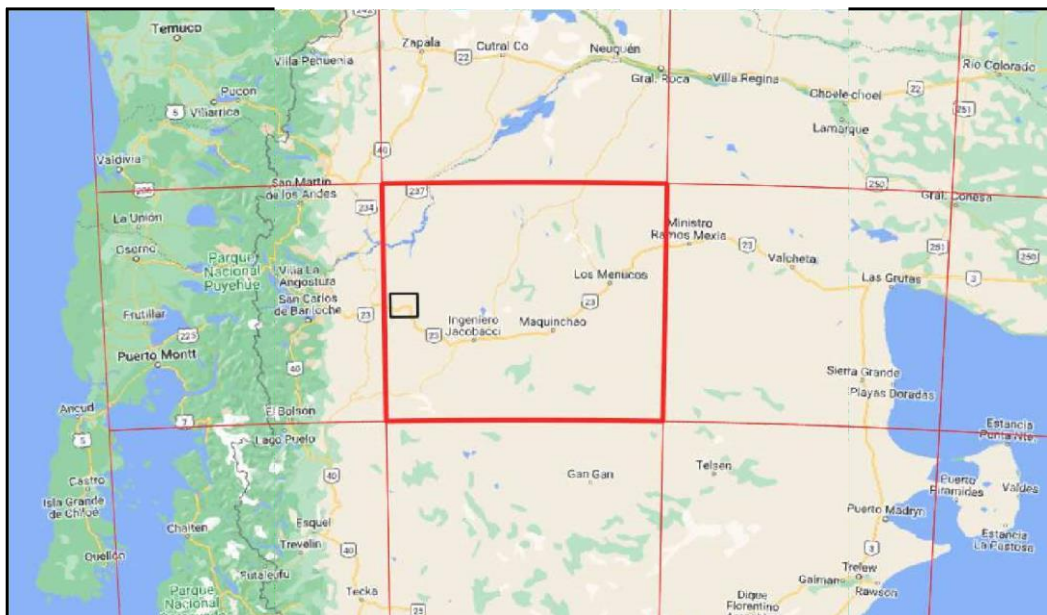
Por ende las coordenadas cartesianas o planas rondan los valores de 5450000 para el falso norte (X) y 2380000 para el falso este (Y), ya que Comallo se encuentra al Oeste del meridiano central de faja.

Para llevar a cabo la caracterización territorial a partir de los datos geográficos en soporte digital se trabajó tanto en coordenadas geográficas referidas a WGS84, como en coordenadas planas Gauss Kruger Faja 2 referidas a POSGAR 2007 (WGS84). Todo dato sometido a tareas de procesamiento y tratamiento para su posterior análisis fue previamente reproyectado a este sistema de salida de coordenadas planas definiéndose como el sistema de georreferenciación del proyecto SIG.

Mediante uso de herramientas SIG se continuó con el abordaje en gabinete de la localidad de Comallo. Se incluyeron en esta instancia, los puntos desde los cuales se adquirieron los datos de campo, que luego fueron utilizados para procesar e interpretar, conteniendo también las principales características geográficas, geomorfológicas y topográficas, ya consideradas en el abordaje inicial.



Mapa 1: Ubicación de la carta correspondiente a Comallo según los límites oficiales de cartas topográficas argentinas a escala 1:500000.



Mapa 2: Ubicación de la zona bajo estudio en la hoja de carta topográfica cuya característica es 4169 a escala 1:500000.

El área preliminar quedó definida a partir de considerar una zona buffer (área de influencia) de 1,5 km de distancia respecto a los cursos de aguas principales; de manera que la localidad de Comallo, el ejido urbano característico, gran parte de caminos transitables y accesibles y los valles de varios cauces principales que atraviesan el área, quedan cubiertos como el resto de las zonas de menor elevación del terreno.

Para realizar dicho abordaje y reconocimiento del terreno se utilizó cartografía oficial provista por el portal web abierto del Instituto Geográfico Nacional (IGN), como las redes de drenaje correspondientes a cursos de aguas continentales perennes, límites de cartas topográficas y el mosaico de imágenes satelitales misión espacial Sentinel 2 a nivel provincial de Río Negro en color natural, de 10 m de tamaño de pixel y formato .ecw imágenes satelitales combinación de bandas color natural de la misión espacial Landsat 8, sensor OLI, fecha Diciembre 2021, cobertura nubes<1%, tamaño de pixel 30m y formato .tif provistas por el portal web abierto del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

Asimismo se utilizaron herramientas de visualización como Google Earth y mapas bases online de imágenes satelitales y callejeros de ubicación que brindan las herramientas SIG.

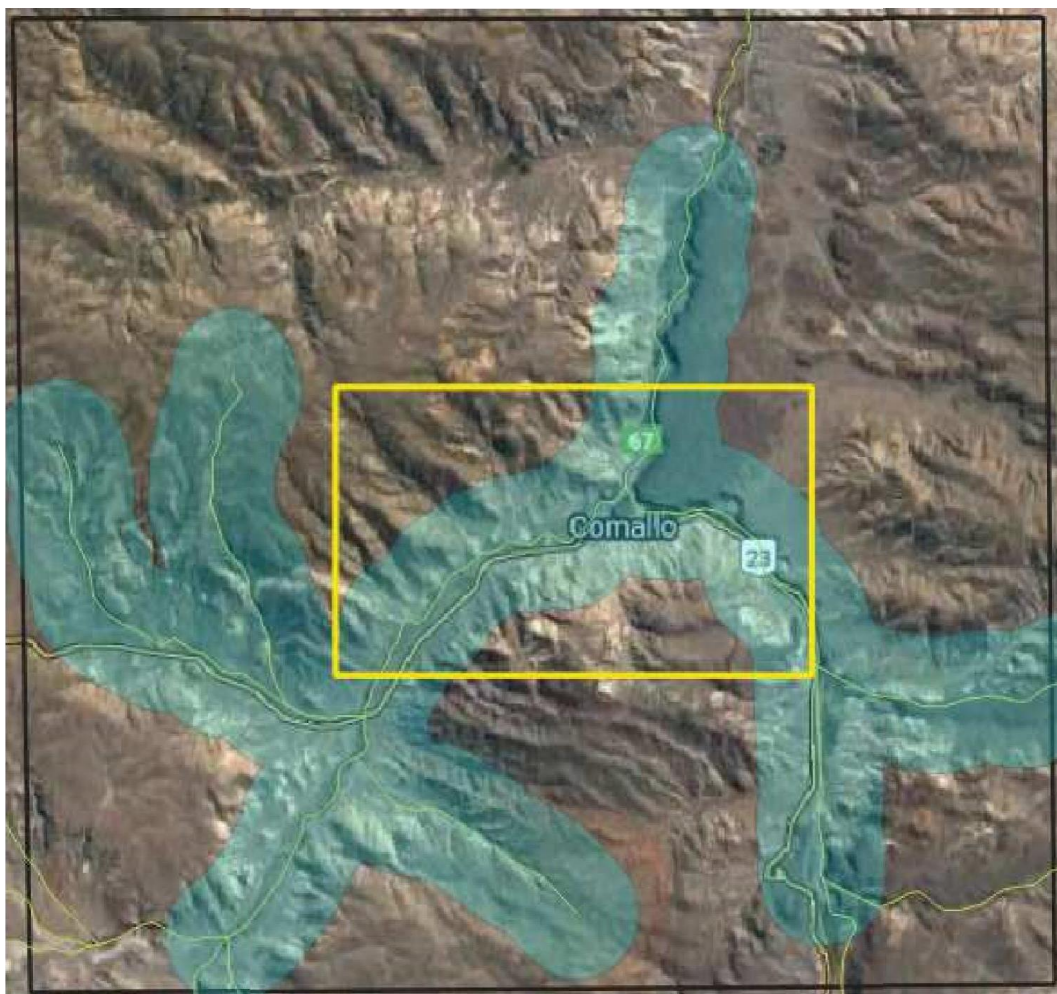


Figura 1: Ubicación del sector donde se realizaron relevamientos durante la primera campaña de campo (color amarillo).

Las zonas de relevamiento, donde específicamente se tomaron datos en campo, acompañan en gran parte la orografía bien definida de los 2 valles fluviales, el proveniente del Arroyo Comallo, que discurre de SO a N y el proveniente del Arroyo Trailacahue, que discurre de SE a N, que atraviesan la localidad. Estas zonas quedan comprendidas dentro de un área de aproximadamente 74 km², extendiéndose unos 6,5 km entre 41° 03' 41.2" y 41° 00' 10.6" latitud Sur, y unos 11 km entre 70° 20' 43.5" y 70° 12' 32.1" longitud Oeste.

Del área inicialmente proyectada para su evaluación geomorfológica-hidrogeológica, se redujo a un sector específico que contempla un radio más acotado respecto a la proximidad a la localidad de Comallo, entendiendo que con los datos relevados durante estas dos campañas, el sector de interés para el objetivo planteado no escapa de tales límites redefinidos.

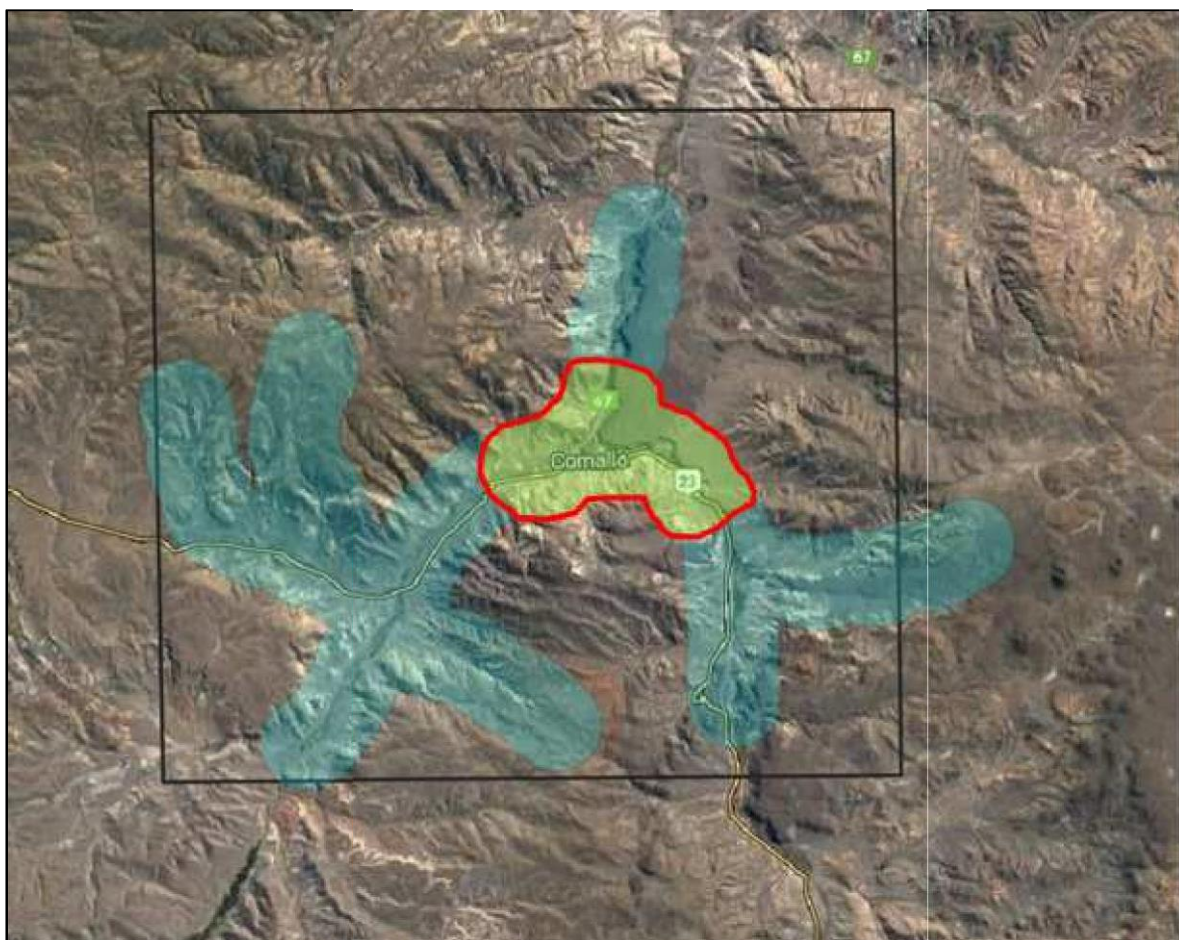


Figura 2: Sitio acotado final de la zona de influencia considerada para la toma de datos.

4. IMPORTANCIA SOCIODEMOGRÁFICA

El departamento de Pilcaniyeu tiene una extensión de 10.545 kilómetros cuadrados y limita al norte con la provincia de Neuquén, al este con los departamentos El Cuy y 25 de Mayo, al sur con el departamento Ñorquinco y al oeste con el departamento Bariloche. Según el Censo 2010, vivían en el departamento 7356 personas. Ese número lo convierte en el 8º departamento más poblado de la provincia.

Comallo es el segundo pueblo con más habitantes de Pilcaniyeu, posicionándose por detrás de Dina Huapi; y ocupa el quinto lugar de la Línea Sur (pueblos lindantes a la Ruta Nacional 23).



Mapa 3. Ubicación departamental del área de estudio

5. CLIMA

Es el que caracteriza a la mayor parte de la Patagonia Extra-Andina o Meseta Patagónica, con vientos fuertes y secos del Oeste, escasa precipitación y muy alta evapotranspiración, lo que deriva en un marcado déficit en el balance hídrico y, por ende, escasa disponibilidad de agua. Para la caracterización climática del área de estudio se utilizaron los datos meteorológicos de las estaciones ubicadas en la localidad de Ing. Jacobacci, distante de la localidad de Comallo a unos 145 km de distancia hacia el este.

Estacion Meteorologica	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Fuente
Ing. Jacobacci (Aeropuerto)	41°19'12" S	69°34'12" W	886	INTA
Ing. Jacobacci	41°19'48" S	69°34'12" W	872	INTA
Ing. Jacobacci (Vivero)	41°21'36" S	69°33'36" W	866	INTA

Tabla 1 Estaciones meteorológicas consultadas.

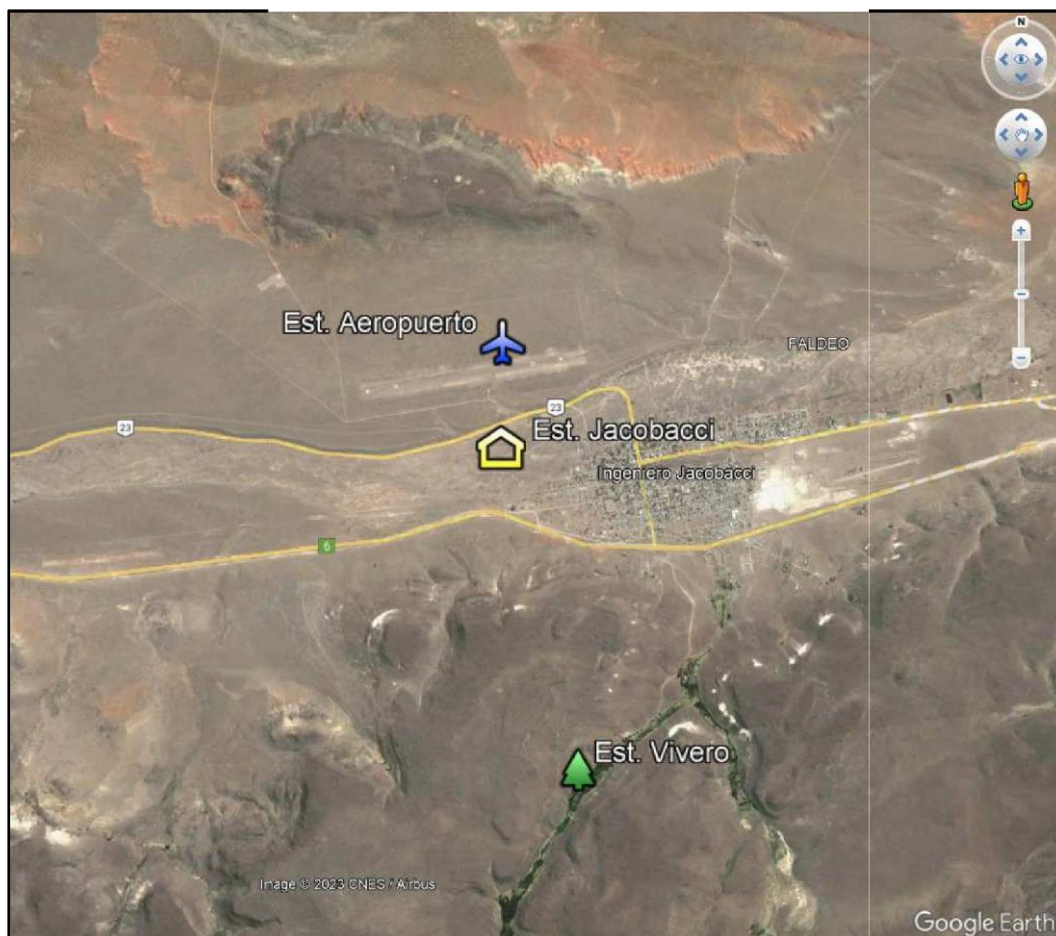


Figura 3: Ubicación Estaciones Meteorológicas consultadas para el estudio.

Caracterización climática regional

Para el análisis climático de la zona de estudio se seleccionó el período de los últimos 40 años (1980 – 2020) intentando incorporar mediciones simultáneas en las estaciones, a pesar de la discontinuidad y/o desfase de los datos recopilados. Para el caso de la estación de Ing. Jacobacci se conjugaron los datos de las tres estaciones (Tabla 1) para poder abarcar el período completo.

A partir de los datos obtenidos, se realizó un control de calidad de la información para hacer la valoración y verificar la consistencia de los datos previamente recopilados, incluyendo la identificación de faltantes en registros y elección de estaciones más representativas para los análisis climáticos a realizar. Posteriormente, se llevó a cabo el análisis estadístico descriptivo de cada variable en las estaciones, dando mayor importancia a las precipitaciones.

Según la clasificación de Koppen-Geiger, el clima de la zona en estudio corresponde al tipo árido, desértico frío, BWk (Figura 4).

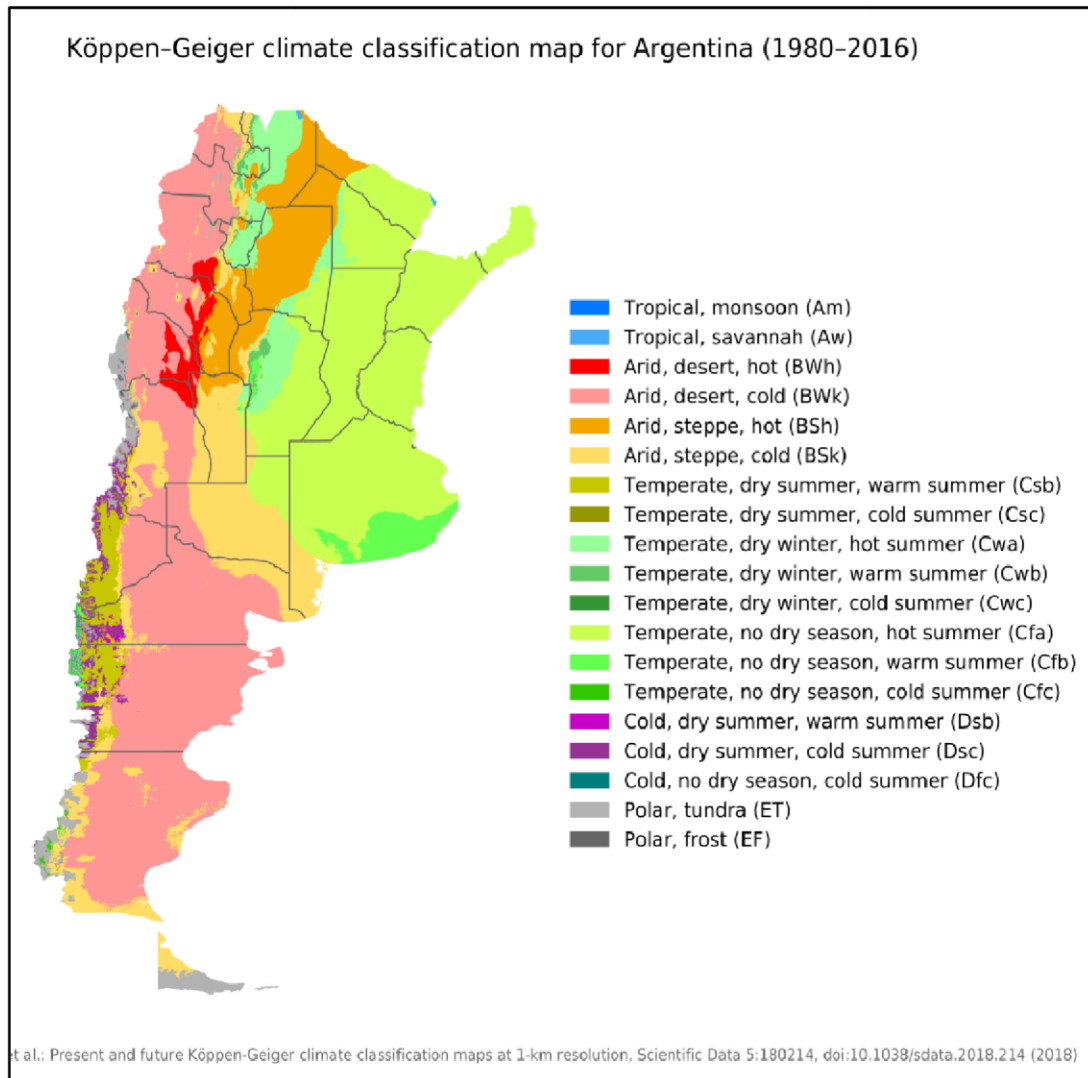


Figura 4: Clasificación climática según Köppen-Geiger para el área de estudio.

6. BALANCE HÍDRICO

El área de estudio de este trabajo se encuentra ubicada pasando el fuerte gradiente de precipitación que caracteriza la región de la Cordillera de los Andes. La cordillera bloquea las perturbaciones embebidas en el flujo del oeste produciendo fuertes precipitaciones sobre esa región (Insel et al., 2009), el ascenso de las masas de aire al oeste de la Cordillera genera condiciones híper-húmedas, a medida que las masas de aire descienden, se secan y generan condiciones áridas y altamente evaporativas (Garreaud et al., 2013). Por este motivo la parte media y mayoritaria de las provincias de Río Negro y Chubut es seca, con una precipitación media anual aproximada de 200 milímetros. En esta zona, la meseta central, la humedad relativa es baja y promedia 50%.

Los datos que se consideraron para la elaboración del balance hídrico representativo de la zona de estudio, fueron tomados de la estación meteorológica de Ing. Jacobacci, siendo esta la más próxima, y que por sus características fisiográficas resultaron comparables a las condiciones climáticas de la localidad de Comallo.

Precipitación

Como se puede apreciar en la Tabla 2, el año en que se registraron valores más elevados fue en 1987, con una precipitación de 356 mm en la estación de Jacobacci. La precipitación media anual para los últimos 40 años analizados se encuentra en el orden de los 175 mm/año. En los últimos años, con datos provenientes de las estaciones Maquinchao y Jacobacci, se evidenciaban precipitaciones por debajo de la media, a excepción de los años 2014, 2016 y 2018 que fueron más húmedos.

Estacion Ing. Jacobacci		Estacion Ing. Jacobacci	
Año	Precipitacion anual	Año	Precipitacion anual
1980	158.0	2001	211.5
1981	138.0	2002	139.5
1982	165.0	2003	128.5
1983	59.0	2004	238.5
1984	286.0	2005	172.5
1985	156.0	2006	112.0
1986	160.0	2007	97.0
1987	356.0	2008	146.0
1988	129.0	2009	88.1
1989	19.0	2010	105.5
1990	161.0	2011	40.0
1991	164.5	2012	197.0
1992	250.0	2013	98.8
1993	276.0	2014	295.2
1994	137.0	2015	123.2
1995	198.5	2016	328.8
1996	124.5	2017	165.4
1997	264.5	2018	294.1
1998	128.5	2019	112.0
1999	241.5	2020	137.3
2000	203.0		

Tabla 2: Precipitación media anual (período 1980 – 2020).

En la Figura 5 se representan las precipitaciones anuales registradas durante los años 1980 – 2020. Como se observa la precipitación media anual en la región suele ser inferior a los 300 mm al año, a excepción de los años 1987 y 2016.

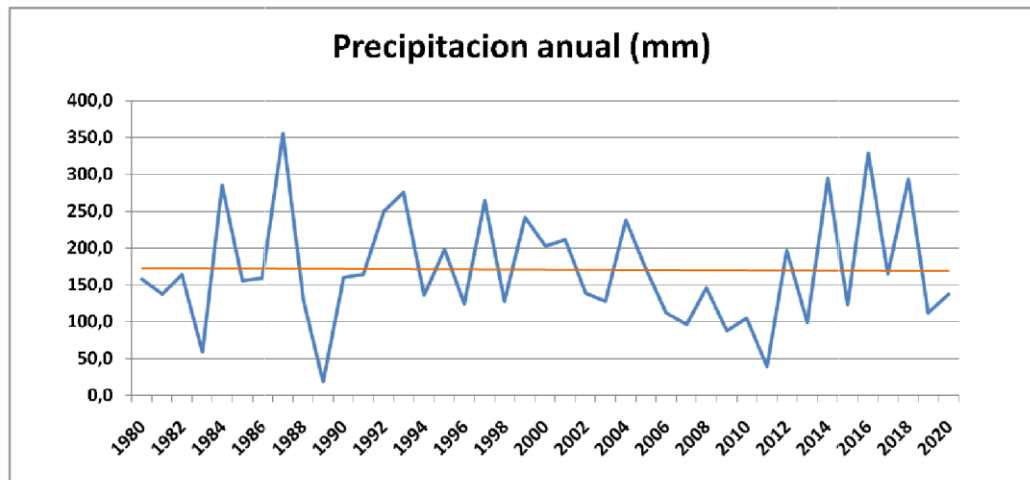


Figura 5: Precipitaciones medias anuales - período 1980 – 2020.

Analizando la variación mensual de la precipitación (Tabla 3) se puede apreciar que los meses más lluviosos son entre abril y julio (época otoño – invierno), mientras que las precipitaciones mínimas ocurren en el período estival. En particular, para el registro obtenido en la estación de Ing. Jacobacci, los meses con mayor precipitación fueron abril y octubre.

Estacion Meteorologica Ing. Jacobacci (precipitacion en mm)													
Periodo / Mes	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1980 - 2020	8.2	15.1	17.2	17.8	21.6	18.1	13.9	12.4	15.2	20.2	9.2	6.2	175.1

Tabla 3: Precipitación media mensual para los períodos considerados en cada caso.

En la Figura 6 se presentan las precipitaciones medias mensuales para el período de los últimos 40 años. Como se puede observar, las precipitaciones medias mensuales resultan siempre inferiores a los 30 mm/mes (Est. Jacobacci).

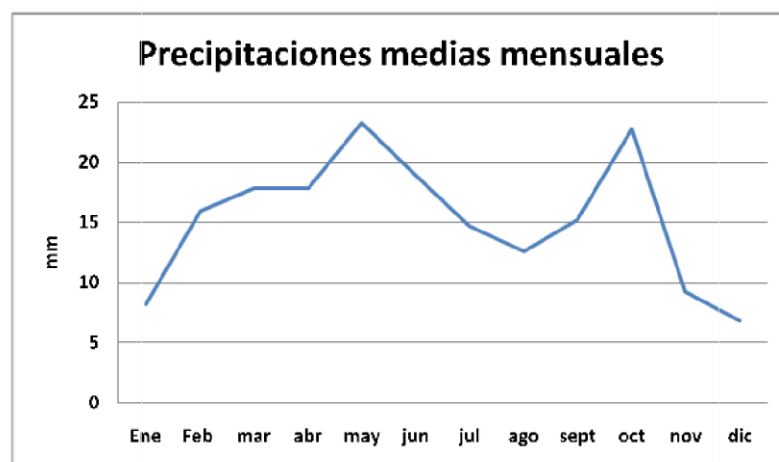


Figura 6: Precipitación media mensual para el período 1980-2020.

Temperatura

Para el área de estudio propiamente dicha no se cuenta con datos de temperatura, ya que como se mencionó previamente no existe en el sitio una estación meteorológica, por lo cual se utilizarán los registros de las estaciones más cercanas, ubicadas en Ing. Jacobacci y Maquinchao.

La temperatura, dentro del período considerado en cada estación, varía entre los 13,5°C y 22,6°C en la época estival y entre 2°C y 8°C en invierno. Como se puede observar en la Figura 5.6, la temperatura resulta muy similar en casi toda el área, si bien en Maquinchao se registran las temperaturas más bajas durante la época invernal.

Asimismo, se debe tener en cuenta en estas observaciones que el período evaluado solo es completo en la estación de Maquinchao, mientras que en la de Jacobacci se cuenta con datos recién a partir del 2012, razón por la cual la temperatura media resulta mayor. Adicionalmente, la Tabla 4 indica las temperaturas medias mensuales para el período disponible en cada caso.

Periodo / Mes	Estacion Ing. Jacobacci (T°)												Anual
	Ene	Feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic	
2012 - 2020	22.6	20.6	16.7	13.1	8	5.7	5.3	8.1	11	13.8	17.8	21	13.64

Tabla 4: Temperatura media mensual (°C) período 2012 – 2020.

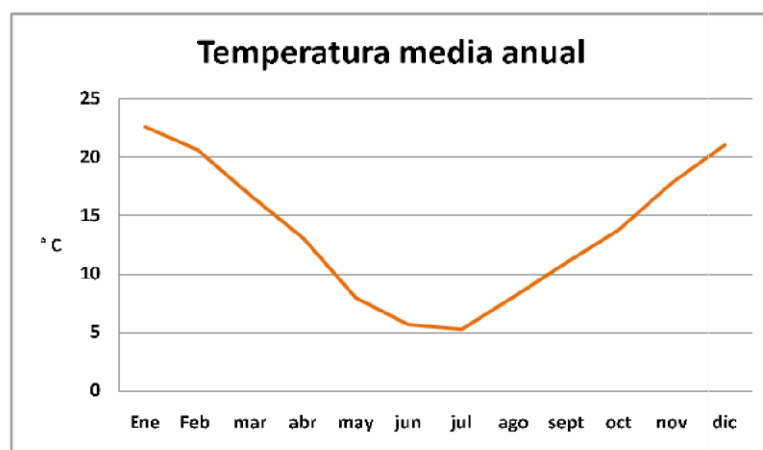


Figura 7: Temperatura media mensual para el período 2012-2020

Vientos

Las estaciones meteorológicas disponibles, cuentan con registros de velocidades de viento, pero no de dirección del mismo, si bien se conoce que la dirección predominante en la zona proviene mayormente desde el oeste y sudoeste. En la

Tabla 5 y la Figura 8 se presentan las velocidades medias del viento para los períodos con datos disponibles en la estación Jacobacci.

Como puede apreciarse, las velocidades del viento presentan poca variación en el año, con diferencias de 5 km/h aproximadamente. Más allá de esto, las máximas velocidades se dan en los meses de verano, y en la estación de Jacobacci es donde se observan las menores velocidades, si bien se debe tener en cuenta que el período analizado es solo de seis años.

Estacion Ing. Jacobacci (km/h)													
Periodo / Mes	Ene	Feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic	Anual
2012 - 2018	4.57	4	3.71	3.71	3.14	5	4.71	5.86	6.14	5.14	5.57	6.29	4.83

Tabla 5: Velocidad media mensual del viento (Km/h).

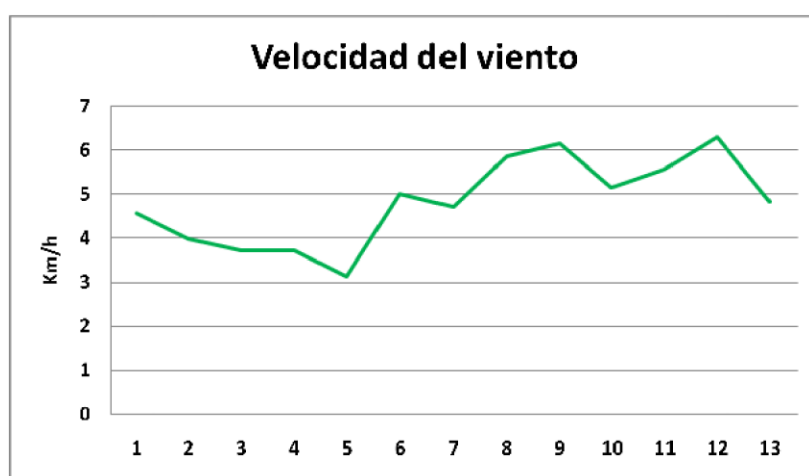


Figura 8: Velocidad media del viento en el período 2012-2018

Evapotranspiración

La evapotranspiración es el proceso por el cual se pierde agua de una cuenca hacia la atmósfera a partir de la evaporación, generada por el calor de la energía solar sobre cuerpos y cursos de agua, y por la transpiración por parte de la vegetación, la cual es mínima en zonas de clima árido como el sector de estudio.

Se han desarrollado los cálculos de Evapotranspiración (ET), potencial y real, aplicando el método de Thornwaite-Mather (TM), para dos estaciones meteorológicas (Jacobacci y Maquinchao). A continuación, se desarrollan los conceptos de esta variable a determinar:

Evapotranspiración Potencial: posteriormente llamada evapotranspiración de referencia (ET_o): según Thornwaite, es aquella que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas para un cultivo específico, estándar o de referencia, habitualmente gramíneas o alfalfa, de 8 a 15 cm de altura uniforme, de crecimiento activo, que cubre totalmente el suelo y que no se ve sometido a déficit hídrico.

Evapotranspiración Real: es la que se produce realmente en las condiciones existentes en cada caso particular. Consecuentemente, la evapotranspiración potencial será siempre mayor o igual a la real.

Al no contar con datos meteorológicos en la localidad de Comallo, se ha utilizado el análisis realizado en el Estudio hidrogeológico del acuífero Huahuel Niyeu (2022). Con los datos correspondientes a la temperatura media registrados en la estación de Maquinchao, durante el período 2010-2020 donde se calculó mediante el método de Thornwaite la evapotranspiración real de paso diario y mensual (Figura 9).

Dicho método, para el cálculo de la evapotranspiración diaria, no tiene resolución posible cuando la temperatura media diaria se encuentra por debajo de los 0°C, puesto que supone que no existe evapotranspiración en tan bajas temperaturas. Por esto, las temperaturas negativas fueron adoptadas como 0°C para posibilitar el cálculo.

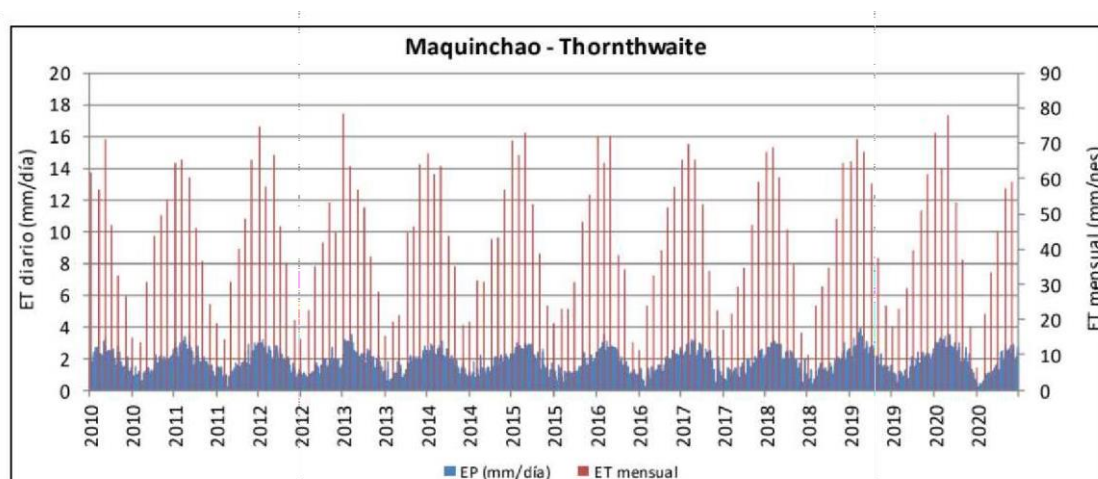


Figura 9: Evapotranspiración real diaria y mensual – Est. Maquinchao, período 2010-2020.

Por otro lado, se obtuvo la evapotranspiración potencial con datos de la estación ubicada en Ing. Jacobacci (Figura 10) para tres escenarios climáticos diferentes,

donde se consideró según el valor de precipitación anual un año seco, uno medio y uno húmedo. Lógicamente, se puede apreciar que la evapotranspiración es mayor en los meses de verano, coincidiendo con las mayores temperaturas. Por otro lado, en los meses de invierno-primavera, la ETo es mayor en los años más húmedos, acorde a la mayor disponibilidad de agua proveniente del deshielo y las precipitaciones.

Los años seleccionados para la representación de escenarios extremos son diferentes en ambas estaciones, siendo para Jacobacci 2017 el año seco, 2016 el húmedo y 2012 el intermedio.

Para la estación de Jacobacci se puede ver que el máximo valor es de 145 mm/mes (enero) y el mínimo 8,5 mm/mes (junio). Se debe tener en cuenta que estos valores corresponden a la evapotranspiración potencial, estimada mediante un método que considera diversas variables teóricas y que la evapotranspiración real en zonas áridas es siempre considerablemente inferior.

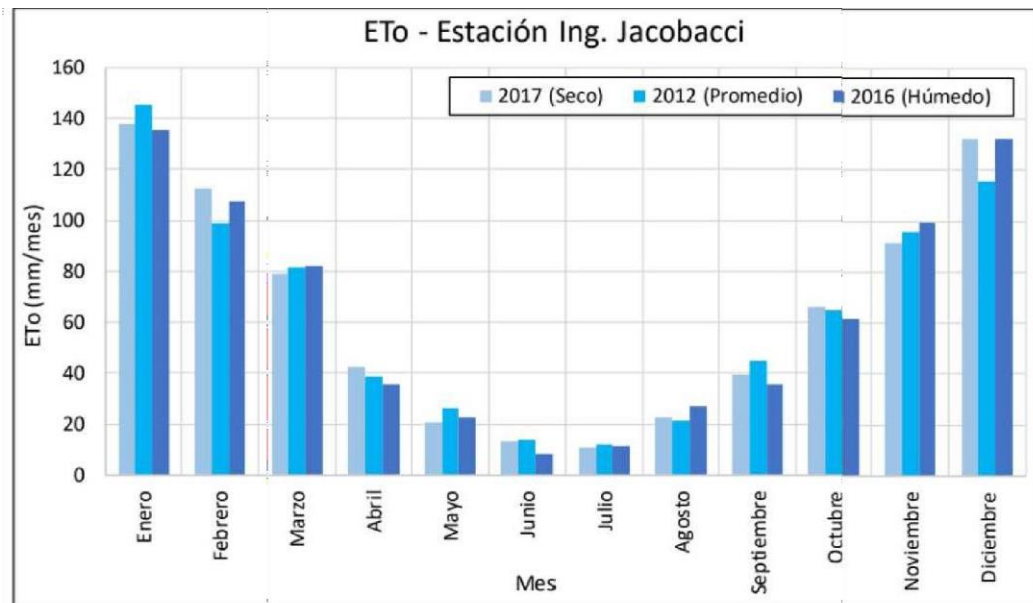


Figura 10: Evapotranspiración potencial en tres escenarios climáticos distintos – Est. Jacobacci.

La evapotranspiración potencial media anual (Etp) fue de 725 mm, lo que deriva en una deficiencia potencial de agua de 514 mm respecto a la lluvia media (P) que fue de 175 mm/año. Considerando valores medios mensuales, sólo Junio y Julio, registran excesos ($P > Etp$), pero que sólo alcanzan a 9 mm cada uno.

7. HIDROGRAFÍA y TOPOGRAFÍA

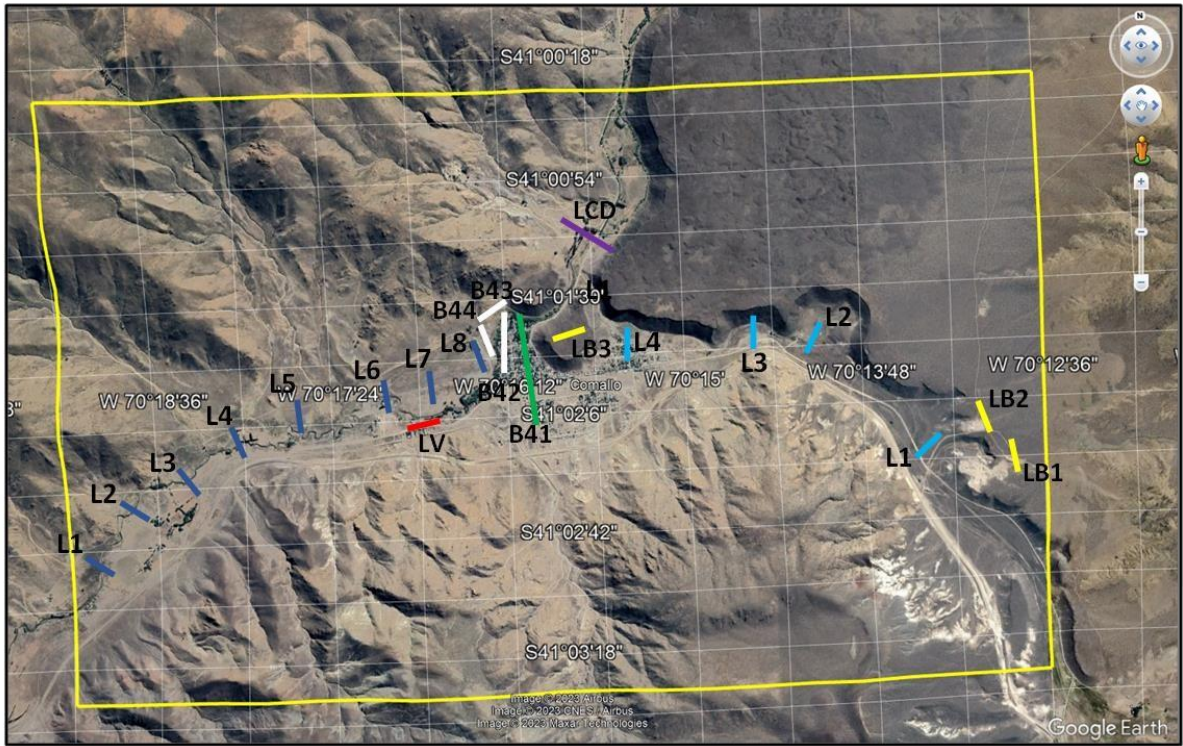
Contemplando la hidrografía del sitio de estudio, se puede describir una conducción de cursos de agua mediante cañadones y valles secos, que representan geoformas asociadas a períodos antiguos de mayor humedad, y que hoy en día transmiten agua durante períodos efímeros en los que existen precipitaciones. Estos valles y cañadones formados por erosión desde cuenca arriba, tienen hoy en día una significancia en el aporte superficial del recurso hídrico. Los más representativos y con influencia sobre la zona de estudio son: Cuenca del arroyo Comallo, el cual corre en sentido sur-norte desde sus nacientes en la ladera del cerro Anecón hasta su desembocadura en el río Limay, recorre 120 km. La cuenca abarca unos 1123 km², y es surcada por dos cursos principales que se unen a la altura de la garganta de Neneo Ruca. Resumiendo, los cursos que confluyen en este último, son de características bastantes diferenciadas, pues el arroyo Comallo nace en la ladera occidental del cerro Anecón Grande, en su recorrido atraviesa varios mallines y recibe el aporte de distintos cañadones y arroyos menores, no presentando síntomas de haber sufrido gran erosión.

Contrariamente a éste el arroyo Anecón grande que nace en la ladera oriental del cerro que le da su nombre, recorre una subcuenca donde se visualizan síntomas claros de erosión, y sus aguas corren en general por un cauce muy profundizado y ancho, que denota el paso de grandes caudales pluviales.

Aguas abajo de la garganta de Neneo Ruca, el arroyo Comallo escurre por un cauce ancho y profundo, que mantiene estas condiciones hasta atravesar la población del mismo nombre, luego de la cual el arroyo se divide en varios brazos poco profundos, y recorre de esta forma unos 8 km, para luego volver a profundizarse. Aguas abajo de la localidad homónima, y sobre el flanco noreste del límite del pueblo, el arroyo Comallo recibe otro afluente, el Arroyo Trailacahue. Cabe destacar que hoy en día, ambos cursos se encuentran secos, es decir no transportan agua, al menos sobre el cauce superficial.

Sobre la zona de estudio se continuaron realizando secciones topográficas transversales a los valles en los que transcurren los arroyos Comallo y Trailacahue, orientadas sobre los puntos de adquisición de datos de geofísica, de manera de poder analizar su gradiente, extensión e influencia en los procesos de infiltración y escorrentía superficial durante el transporte de agua en sus cauces (hoy secos).

Las secciones más recientes quedaron definidas dentro del área nueva que se acotó, según se indicó más arriba por las adquisiciones de campo realizadas. A continuación se muestra el área con la totalidad de transectas generadas.



Mapa 4. Secciones de tomografía adquiridas durante las campañas llevadas a cabo.

	L1 a L8	Secciones A°. Comallo
	L1 a L4	Secciones A°. Trailacahue
	LB1 a LB3	Secciones Basaltos
	LCD	Seccion Campo Doma
	B41	Seccion Profunda Centro
	B42 a B44	Secciones W
	LV	Seccion Vivero

A partir de la explotación de los MDT se realizaron en esta nueva etapa 6 perfiles topográficos en función de las secciones de corte, todas ellas definidas de manera transversal a los valles fluviales, al igual que las secciones de tomografía.

Un perfil topográfico es un recurso de caracterización territorial tridimensional, ya que permite conocer la curva de comportamiento de la altura o elevación del terreno en función de una distancia horizontal dada. Luego de modelizar en 3D (Figura 5), las secciones mencionadas, se construyeron los perfiles como se muestra en las imágenes siguientes.

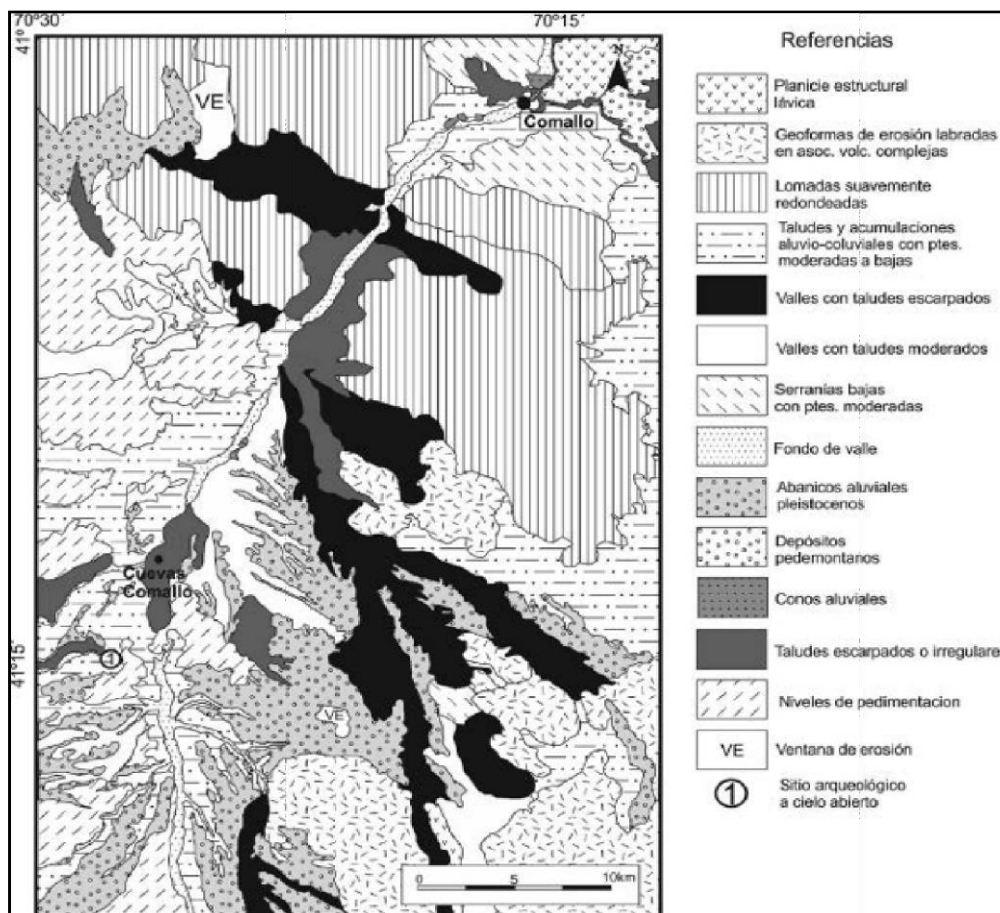
8. GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio, se encuentra ubicada en la Patagonia Extra-andina y forma parte del Ambiente de Mesetas y Planicies

El Valle del arroyo Comallo, cuyo arrumbamiento general es Norte-Sur se comporta como nivel de base local. Las laderas del valle muestran pendientes de inclinación variable reguladas por la competencia de las rocas aflorantes. Los límites de cuenca están establecidos por serranías de diferentes alturas encontrándose las mayores fuera del área de estudio. Las mayores cotas en el área se encuentran en el Cerro Anecón, al Sur de la misma y hacia el que asciende gradualmente el relieve.

El valle se presenta desajustado y encajonado cuando corta afloramientos de rocas competentes y con anchas llanuras de inundación (terrazas de reducido desnivel topográfico en relación al curso del valle actual) cuando el curso se expande lateralmente.

Los taludes occidentales del valle principal presentan pendientes más suaves en general, al corresponder a una zona de erosión en rocas más friables. Cabe acotar que si bien la bibliografía en general hace referencia a las planicies de inundación como geoformas vinculadas a los sectores distales de los ríos considerando sus perfiles longitudinales, existen arroyos serranos con niveles de base transitorios o marcadas disminuciones de pendiente por condicionantes litológicos que habilitan el desarrollo de valles de fondo plano.



Mapa 5. Mapa de rasgos geomorfológicos de la zona de la localidad de Comallo

Valles: El valle principal corresponde al del arroyo Comallo, que surca el área en sentido S-N, y pudo haberse implantado en el mioceno medio, hecho fundamentado en que la Fm. Collón Curá se depositó en un paleorelieve, que luego por acción erosiva de los cursos contemporáneos fue disectada, dejando como evidencia relictos de la misma. B.2 De acumulación

Depósitos de fondo de valle: Son depósitos actuales en sectores de angosturas del valle, los cuales presentan secuencias de barras y pequeños canales con alternancia de gravas y arenas. Las llanuras aluviales son predominantemente arenosas.

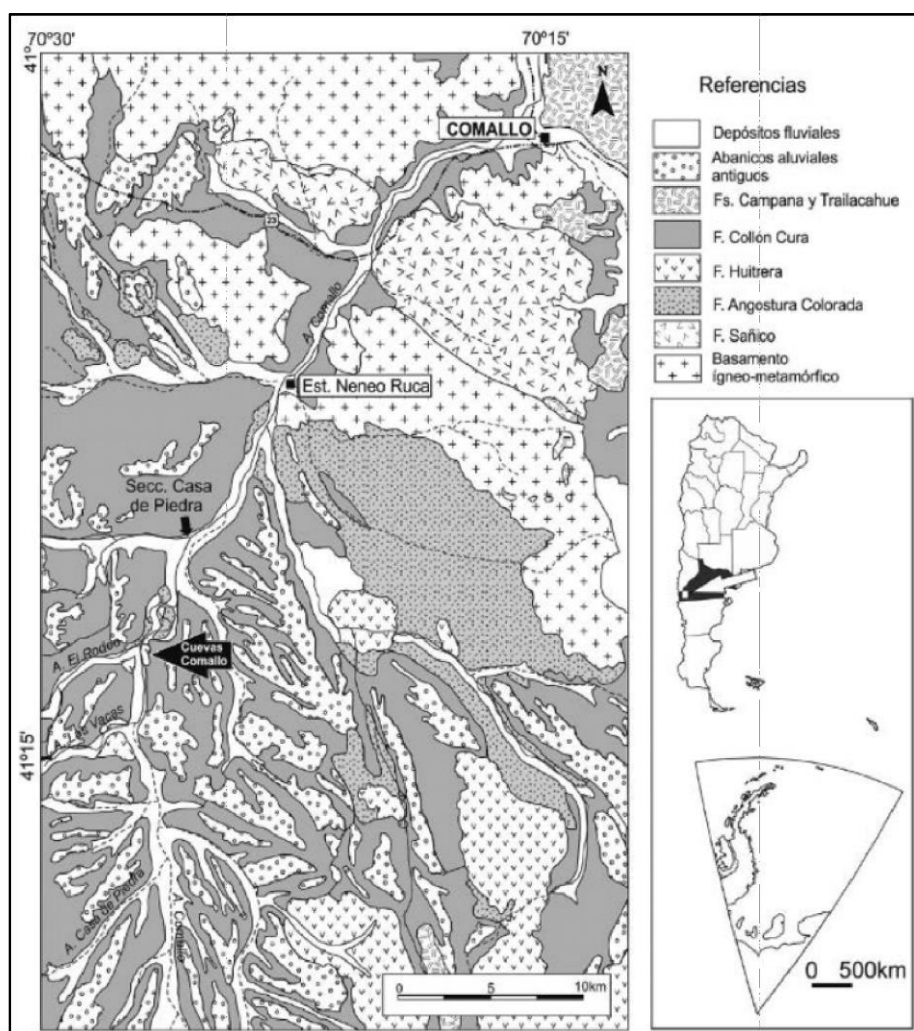
Abanicos aluviales: Se pueden reconocer en todo el área de trabajo, asignados al pleistoceno. Tienen pendientes variables entre 0.5 y 2%. Se encuentran disectados por las escorrentías actuales. Se encuentran fosilizados, y presentan una cubierta protectora de gravas.

Depósitos pedemontanos: Corresponden a abanicos aluviales individuales o coalescentes, que determinan bajadas de reducidas dimensiones.

En conclusión, se puede afirmar que la geomorfología actual es la resultante de varios ciclos que combinan pulsos de ascenso del orógeno andino, y sus consecuentes procesos de erosión

9. GEOLOGÍA e HIDROGEOLOGÍA

Considerando la geología asociada al área de estudio y sus unidades vinculadas, se pueden observar las más antiguas compuestas por esquistos, gneiss, granitos y pegmatitas. Apoyado sobre el basamento se encuentra de manera discordante la Fm. Collón Cura, de edad mioceno medio-superior. A continuación ocurren las efusiones de coladas de basaltos olivinicos-alcalinos de edad Plio-Pleistoceno (Fm. Campana y Fm. Trailacahue). Finalmente en el Pleistoceno se depositaron los sedimentos fluviales que rellenan las depresiones del valle.



Mapa 6. Mapa geológico de la zona de estudio

Se describen a continuación las características geológicas y el comportamiento hidrogeológico general de las unidades mencionadas previamente.

9.1 Sedimentos continentales modernos (SCM). Incluyen a una delgada y dispersa cobertura de rodados y gravas y a los depósitos aluviales, eólicos y coluviales, del Holoceno y Reciente. Están integrados por arenas, gravas, gravillas, limos, arcillas, aglomerados y conglomerados. A estos sedimentos continentales modernos, se los aprovecha para la captación de agua freática mediante pozos someros, principalmente en los depósitos aluviales que rellenan los valles en donde se implanta la localidad de Comallo. Esto puede observarse tanto aguas arriba como aguas abajo de la localidad, y también en otras perforaciones presentes en los rellenos del valle del arroyo Trailacahue.

9.2 Basaltos. Las manifestaciones de coladas basálticas más próximas a la localidad de Comallo, se ubican sobre el margen derecho del arroyo Comallo, muestran una disposición alargada con aproximadamente 11km de largo y 4km de ancho, con una potencia aproximada entre 15 y 20 metros, y con arrumbamiento general N-S. Son referenciadas como Fm. Campana y Fm. Trailacahue, de edad pliocena.

Por otro lado, el interés en este tipo de unidad litológica radica en que puede representar una fuente de almacenamiento para la explotación de agua potable. No se dispone de datos sobre pozos terminados en el basalto dentro del área estudiada, pero es de suponer que el agua subterránea asociada, tenga bajos tenores salinos.

9.3 Sedimentitas continentales terciarias y cuaternarias. Dentro de esta categoría, la formación próxima a la zona de estudio es la Fm. Collón Cura. Está compuesta principalmente por material tobáceo, areniscas y tufitas, de aspecto terroso, poco consolidado a friable. Son de tonalidad castaño amarillentas, y gris blanquecinas. Tienen una potencia de hasta 70 metros, y su edad documentada es de Mioceno medio a superior.

10. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

En función de la información disponible hasta el presente, se postula para el modelo hidrogeológico conceptual, al menos 2 tipos de acuíferos, sobre la base de los componentes geológicos y topográficos que caracterizan a la región, las variaciones en los niveles piezométricos y en la profundidad del agua, las características del flujo y las propiedades hidroquímicas subterráneas.

Un acuífero somero, que es del tipo libre o freático, generado por la infiltración de la lluvia, que actúa como factor principal de recarga y también de la infiltración en la vecindad y en los cauces de los cañadones, luego de avenidas derivadas de precipitaciones intensas. En general se caracteriza por salinidades de bajas a medias (menores a 2.000 mg/L) y se emplaza en las unidades hidrogeológicas descritas (Sedimentos continentales modernos, Basaltos, Sedimentitas continentales Plio-pleistocenas). Se aprovecha mediante pozos cavados de poca profundidad (jagüeles), y en pozos convencionales de hasta 20m de profundidad, ubicados fundamentalmente en los sectores del valle con rellenos modernos.

Otro más profundo, de carácter semiconfinado, está contenido en las Sedimentitas continentales de la Fm. Collón Cura, de edad miocena. Existen dos perforaciones, las cuales estarían evidenciando esta situación de semiconfinamiento, a partir de un cambio litológico dentro de la formación Collón Cura. Las mismas se encuentran ubicadas en el centro de la localidad de Comallo, en el predio que corresponde a las oficinas de Aguas Rionegrinas. Estas perforaciones datan del año 1977 y 1985, y durante su ejecución tuvieron registros escritos del logueo realizado en boca de pozo, los mismos arrojaron datos de depósitos conglomerádicos en diversos intervalos de profundidad (17-18 m, 58-64 m, 80-90m y 128-131m). Según los planos revisados, los filtros colocados en dichas perforaciones, alumbran los intervalos conglomerádicos profundos. Las mediciones iniciales sobre estas perforaciones, arrojaron datos de nivel piezométrico entre los 66 m y 70 mbnt, y una conductividad eléctrica de 645 $\mu\text{S/cm}$. Sin embargo, son muy pocas las perforaciones identificadas en el sector como para precisar el comportamiento del acuífero semiconfinado multiunitario.

11. GEOELÉCTRICA (TOMOGRFÍA MULTI ELECTRÓDICA)

Objetivo de la aplicación de este método

El método de tomografía eléctrica tiene como principio físico la utilización de corriente continua, la cual se inyecta en el subsuelo y se la hace correr por este medio, de manera de poder leer el voltaje de salida luego del recorrido. Basándose en la ley de Ohm (Voltaje = corriente x resistencia), la medición de potencial de salida por parte de los electrodos, nos brinda información sobre las resistencias al paso de la corriente que el subsuelo ofreció en una sección 2D, conteniendo cientos

de puntos de información en diferentes profundidades. Así, se logra identificar sectores que por sus propiedades eléctricas (conductividad-resistividad), se corresponden con diferentes litologías, saturación con agua subterránea, entre otras características. La aplicación del método de tomografía en este estudio tiene como principal objetivo parametrizar los valores de resistividad asociados a las zonas saturadas en el subsuelo, y de esta manera poder ubicar las profundidades más apropiadas en las perforaciones, junto con la posibilidad de identificar las extensiones de los reservorios, para generar un modelo de volumen, y proyectar capacidades productivas futuras. Lo que se busca es poder brindar a la localidad de Comallo información valiosa para su desarrollo en extensión a nuevas zonas para urbanizar.

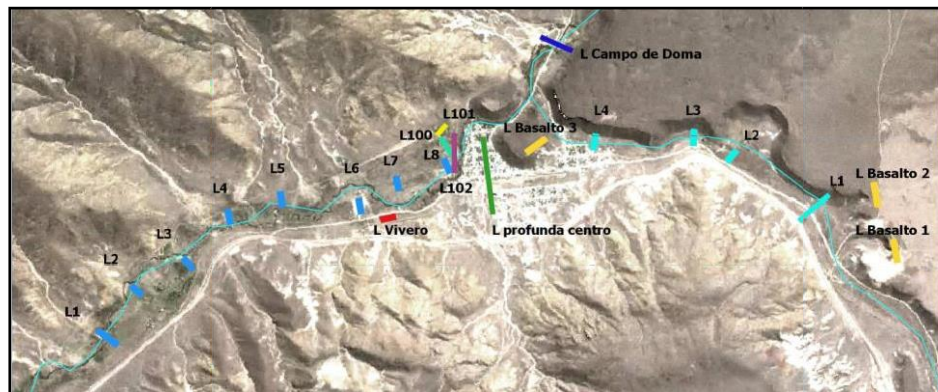


Foto 1. Tendido de cables y estacas para adquisición de datos. Imagen del Tomógrafo

Descripción de la aplicación del método en el sitio de estudio

El método de tomografía no difiere conceptualmente del método tradicional SEV (sondeo eléctrico vertical), ya que consiste también en la inyección de corriente continua en el subsuelo mediante electrodos de acero enterrados de manera equidistante, la cual es transmitida mediante cables tendidos en superficie (ver foto 1).

El paso de la corriente en el subsuelo cierra el circuito y mediante los mismos electrodos se mide la resistencia que ofrece el suelo al paso de dicha corriente (resistividad).

La unidad en la que se mide la resistividad es denominada Ohmio (Ohm), y con los valores arrojados se puede inferir cambios en la litología, como también cambios en la saturación de medios porosos. La diferencia principal con el SEV, es la dimensión de los datos entregados. En el método SEV se genera una columna con un número de entre 25-30 puntos a distintas profundidades, mientras que en la tomografía la dimensión ya es un plano 2D, con cerca de 1000 puntos, lo cual permite una caracterización del medio mucho más precisa.

Las extensiones de los tendidos de cables para tomografía que se realizaron, fueron desde los 100m de inicio a fin, hasta los 400m. La extensión del tendido tiene una implicancia directa en la profundidad de penetración del estudio, ya que los arcos de recorrido de la corriente se agrandan. Es por tal motivo que la planificación de los tendidos en el campo se vuelve un factor crítico, ya que al llegar a una mayor profundidad se pierde resolución. Entonces se debe contemplar la relación profundidad de estudio necesaria vs resolución vertical lograda.

En el caso de la adquisición de secciones en el sector SW del valle del arroyo Comallo, se utilizaron en secuencia tendidos de 100m, ya que con los mismos se alcanzó la profundidad del relleno moderno del valle, que representa el reservorio a caracterizar, y logrando de esta manera una muy buena resolución vertical. En otros casos, se realizaron extensiones mayores de los tendidos, con fines de investigación, tanto en el valle del arroyo Comallo, como en el centro de la ciudad, y también en medios fisurados como los basaltos presentes en la zona.

Metodología de aplicación del método

Considerando la geología regional y los potenciales reservorios hidrogeológicos, se optó por aplicar una metodología de caracterización mediante adquisición de secciones en secuencia en los sitios con reservorios conocidos, y se sumaron adquisiciones de secciones individuales en otros sitios, en los que se buscó sumar conocimiento o investigar escenarios totalmente desconocidos en cuanto a la posibilidad de comportarse como reservorios.

El objetivo de la aplicación de estos métodos de manera diferenciada fue por un lado poder definir con mayor precisión las condiciones de reservorio de los rellenos modernos del valle del arroyo Comallo y Trailacahue, sobre todo el primero ya que es el más explotado actualmente. Por otro lado, el objetivo de las secciones individuales fue abrir nuevas posibilidades que permitan sumar sitios en el futuro como potenciales puntos de explotación del recurso.

La ventaja que otorga realizar adquisiciones secuenciales con la misma configuraciones y arreglos de electrodos, es que permite parametrizar el subsuelo, e ir observando sus variaciones (litología, zonas saturadas, otros) a lo largo de la grilla de adquisición (figura 20). Con una grilla lo suficientemente densa se conforman modelos integrados, de resistividades en este caso, y sobre éste se integran datos puntuales como parámetros hidráulicos, valores bacteriológicos y fisico-químicos, quedando así un modelo de reservorio hidrogeológico sobre el que se puede evaluar su explotación de forma sustentable.

Sitios donde se realizaron las adquisiciones

Durante las tres campañas llevadas a cabo entre Agosto 2022-Enero 2023, se realizaron las adquisiciones en grilla sobre el valle del arroyo Comallo y sobre el arroyo Trailacahue, como también aquellas individuales en sitios de interés previamente definidos. Las realizadas sobre el sector SW del valle del arroyo Comallo, fueron correlacionadas con datos puntuales de perforaciones existentes, y se dispusieron según el esquema mostrado en la figura a continuación.

A continuación se muestran las secciones adquiridas durante la primer campaña, y sus interpretaciones.

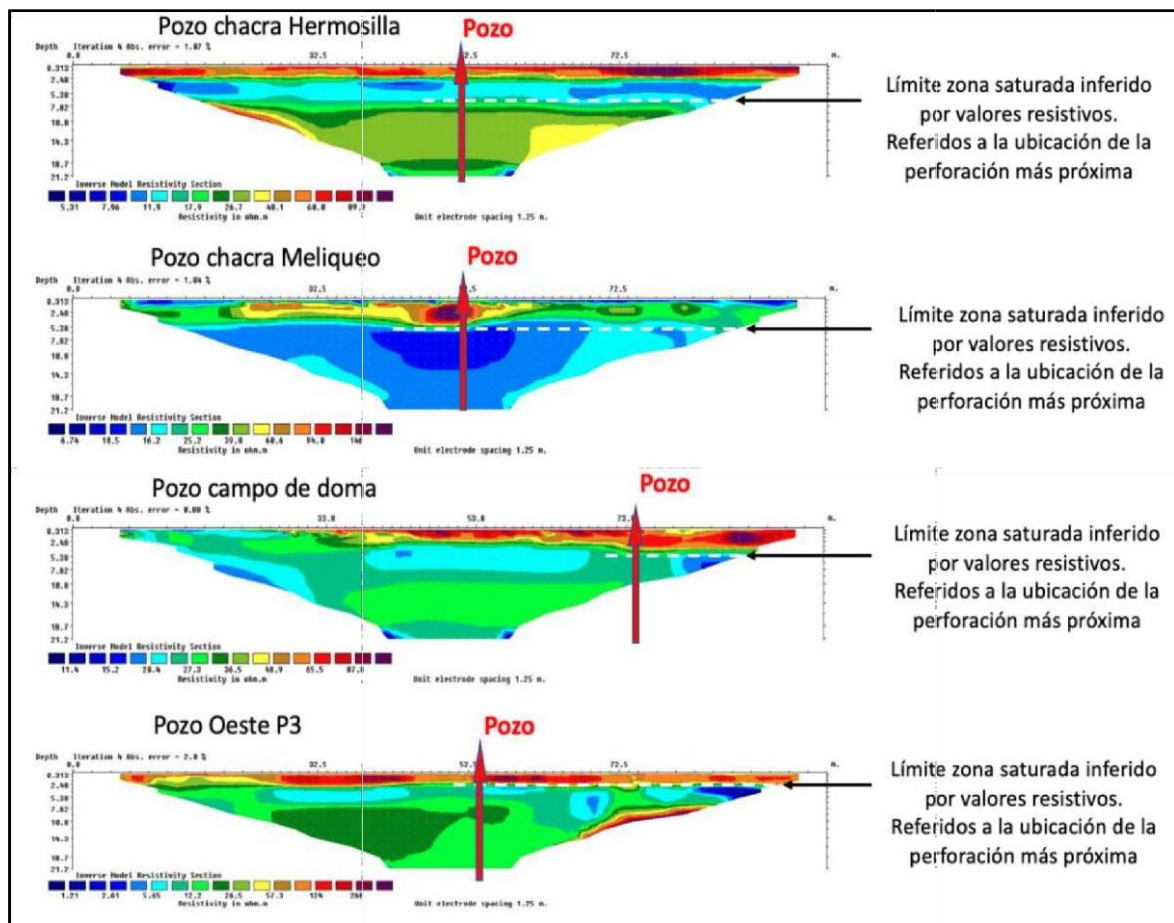


Figura 11. Detalle de las secciones adquiridas en la primer campaña de reconocimiento y su referenciación con los datos puntuales disponibles de los pozos cercanos.

Inicialmente, las ubicaciones de las tomografías se definieron a partir de la posición de los pozos presentes en el sector, con el propósito de buscar reflejar con los datos indirectos, lo que se sabe mediante dato puntual (espesor de relleno, zona saturada). Dentro de las primeras tomografías adquiridas, se encuentran dos que luego formarían parte de la secuencia del relleno del sector SW del arroyo Comallo ("pozo Chacra Hermosilla" y "pozo Oeste P3"). También, en las primeras tomografías se encuentra otra que luego sería parte de la secuencia llevada a cabo sobre el relleno del arroyo Trailacahue ("pozo Chacra Meliqueo"). Aunque luego formarían parte de una secuencia de adquisiciones, inicialmente se definieron por su proximidad a los datos puntuales que ofrecen los pozos, de manera de poder parametrizar.

Como puede observarse en la imagen, la correlación entre las profundidades de las zonas saturadas definidas por valores resistivos en las secciones de tomografía, son muy coherentes con los datos medidos con sonda de nivel en los pozos de referencia.

A- Secuencias de adquisición para integración de modelos de resistividades

A.1 Arroyo Comallo



Figura 12. Ubicación de las secciones de adquisición de tomografías en secuencia que luego fueron integradas a un modelo único de resistividades para definir espesores y zonas saturadas.

Considerando entonces la importancia como principal reservorio explotable en la zona, las adquisiciones geofísicas se planificaron en las siguientes campañas para densificar la población de datos, sobre todo en el sector del relleno del valle del arroyo Comallo hacia el SW, aunque también se hizo lo propio sobre el relleno del arroyo Trailacahue. Sobre el arroyo Comallo se planificaron adquisiciones cada 600m de distancia entre ellas, tomando como punto de partida la sección número 1 mostrada en la figura arriba, en donde se había podido constatar y correlacionar el nivel estático registrado en un pozo cercano, con los valores de resistividad arrojados en la tomografía. A partir de este punto se continuaron con las adquisiciones aguas abajo aproximándose a la localidad de Comallo.

El objetivo de esta densificación de la información fue identificar las profundidades de los niveles saturados, y eventualmente del fondo del relleno moderno del valle, para

poder aproximar datos estimativos de reservas hidrogeológicas desde el primer punto hasta el pueblo. La secuencia de adquisición siempre respetó el largo del tendido de 100m, con lo cual la profundidad de penetración lograda en cada una se aproximaba a los 20m. Sumándose luego los parámetros hidráulicos de reservorio calculados en las perforaciones disponibles, el objetivo final será dimensionar la capacidad de reserva y explotación que posee este sector del valle, el cual es hoy día el más utilizado para tal fin, y que permita de esta manera una integración en la planificación ante un eventual desarrollo urbanístico futuro.

El análisis de las secciones de tomografía adquiridas que forman parte de la secuencia integrada del arroyo Comallo se muestran a continuación:

Sección 1:

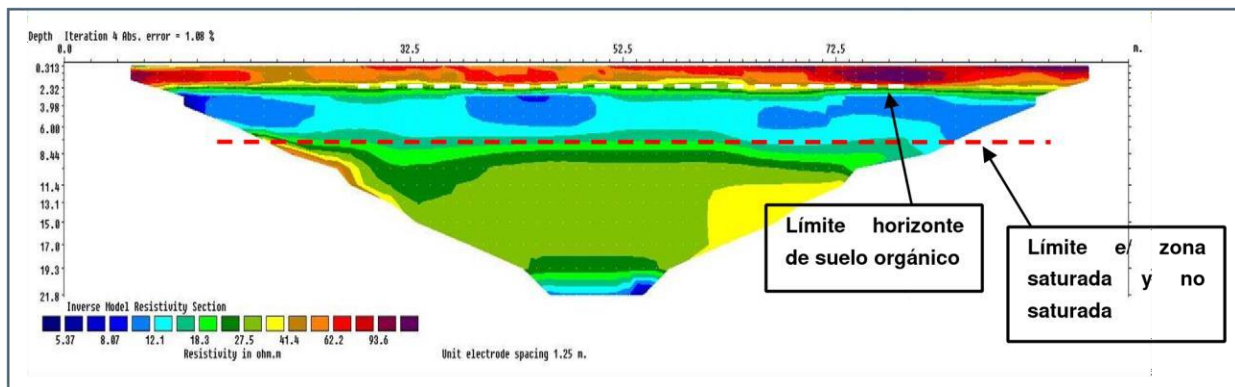


Figura 13. Sección número 1, con sus límites de zonas interpretadas

Como se indica en las referencias de la sección arriba mostrada, existen patrones de interpretación, los cuales se repiten sistemáticamente en las secciones adquiridas en secuencia desde aguas arriba hasta la localidad de Comallo. No solo la reiteración de patrones, sino también la posibilidad de observación de manera directa de estos, es que permitió la generación de un modelo que puede seguirse a lo largo de la zona objetivo.

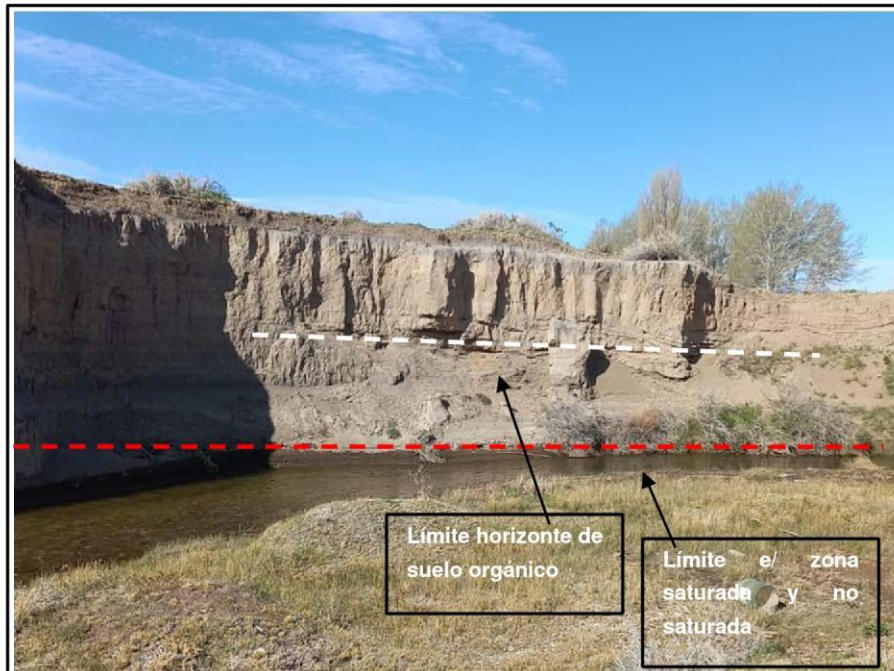


Foto 2. Perfil de observación próximo a la zona de adquisición geofísica

Los puntos de observación directa se basaron en los perfiles que ofrecían el cauce del arroyo, y además, se pudo contar con perforaciones desde las cuales se pudo tomar el dato de nivel estático, que permitió identificar dentro de la sección de tomografía a qué valores de resistividad del suelo correspondía la zona saturada. Los rangos de valores asociados a los límites litológicos y de zona saturada fueron, para el primero entre 3-5m, y para el segundo entre 6-8m.

A su vez, en cada una de las secciones analizadas se pudo constatar que los valores de resistividad asociados a este sector, rondaron siempre en los 30 ohm, lo que lo convierte en otro factor de diagnóstico.

Considerando entonces los factores de correlación entre las secciones de tomografía adquirida que permiten calibrar el modelo de resistividades, se muestran a continuación la secuencia de secciones aguas abajo adquiridas en el valle del arroyo, con sus respectivos límites en cada una identificados.

Sección 2:

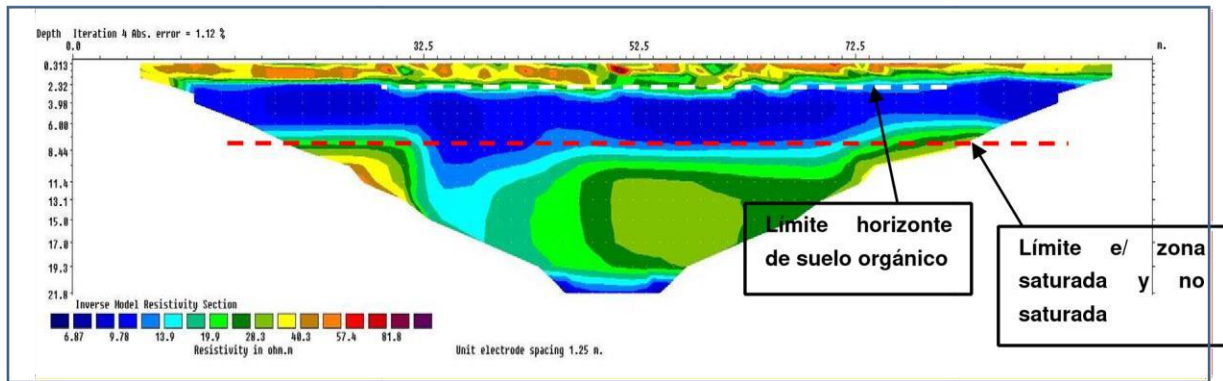


Fig. 14: sección 2, con sus límites de zonas interpretadas

Sección 3:

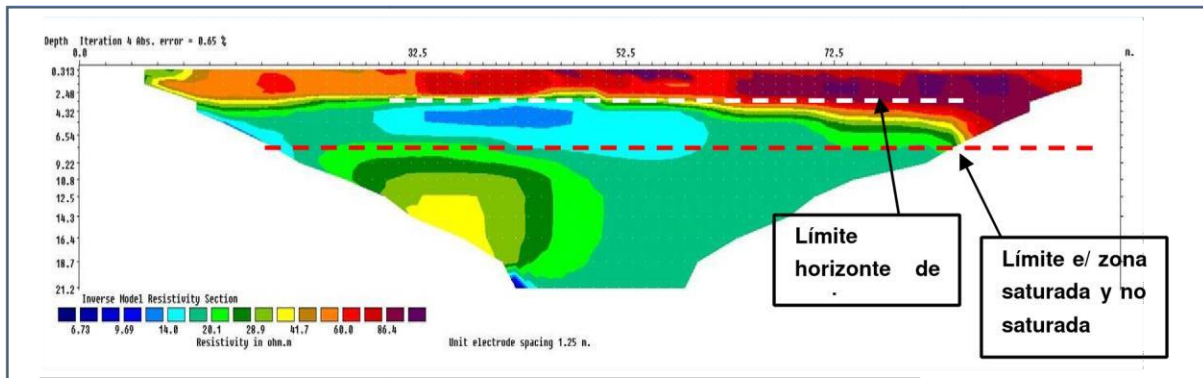


Figura 15. Sección número 3, con sus límites de zonas interpretadas

La sección 8 en su interpretación no mostró valores congruentes con el modelo obtenido, por lo tanto se decidió no contemplarla para el presente informe descriptivo.

Sección 5:

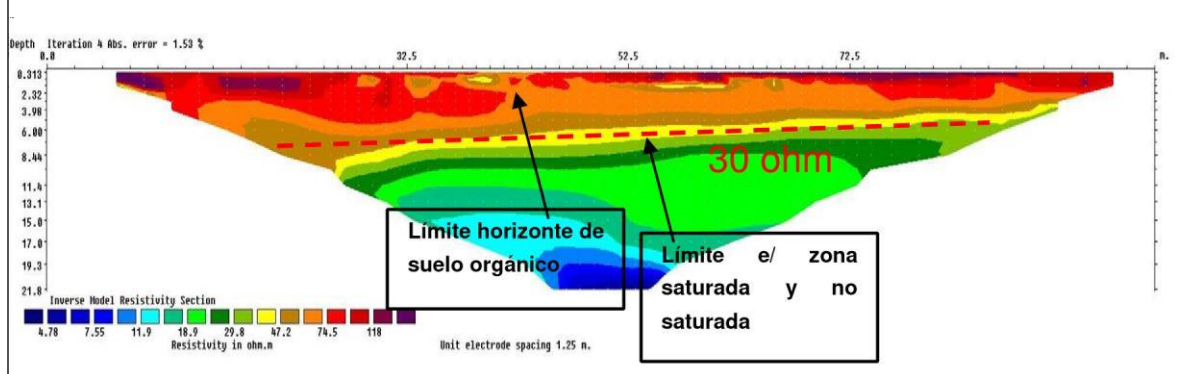
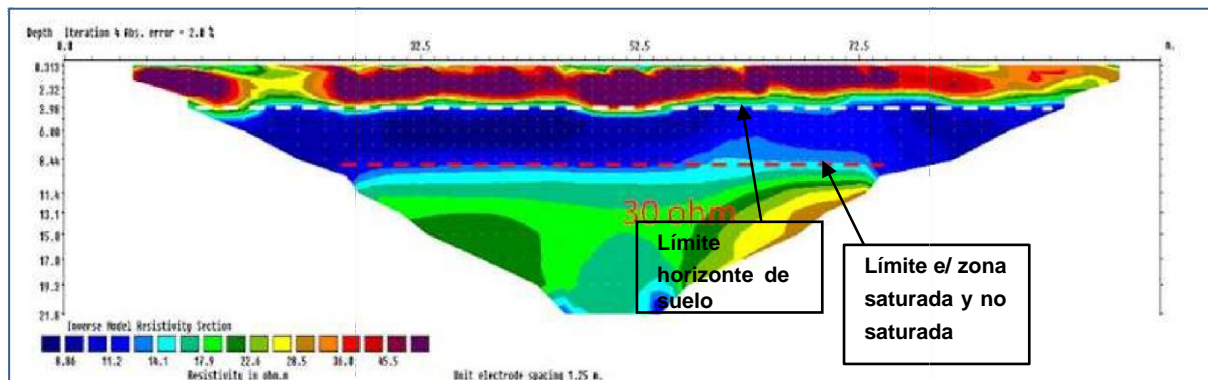


Figura 16. Sección número 5, con sus límites de zonas interpretadas

Sección 6

Figura 17. Sección número 6, con sus límites de zonas interpretadas



Sección 7

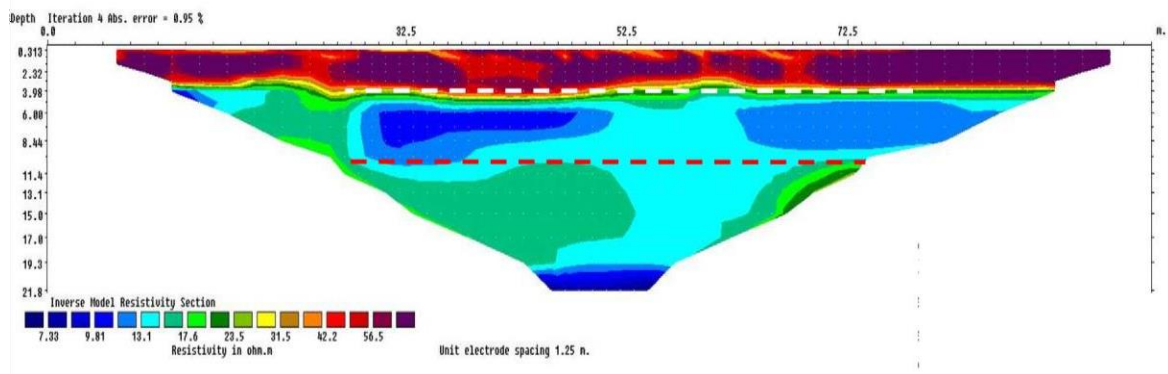


Figura 18. Sección número 7 con sus límites de zonas interpretadas

Sección 8:

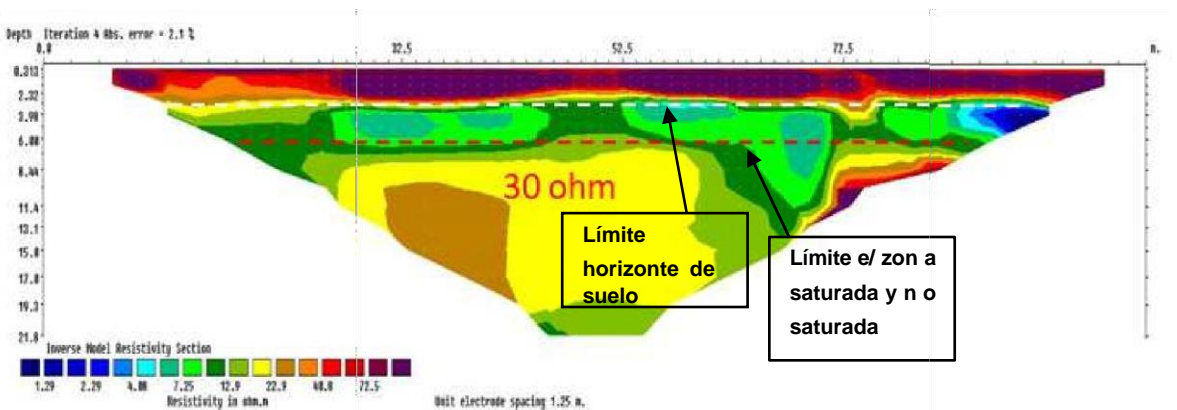


Figura 19. Sección número 8 con sus límites de zonas interpretadas

A partir de las secciones mostradas arriba, se integró el modelo unificado, en el cual por una cuestión de gap de información entre secciones (600m), se decidió no

realizar interpolación, evitando así errores en el procesamiento. Pero sí se muestran a continuación en conjunto con perspectiva para su interpretación.

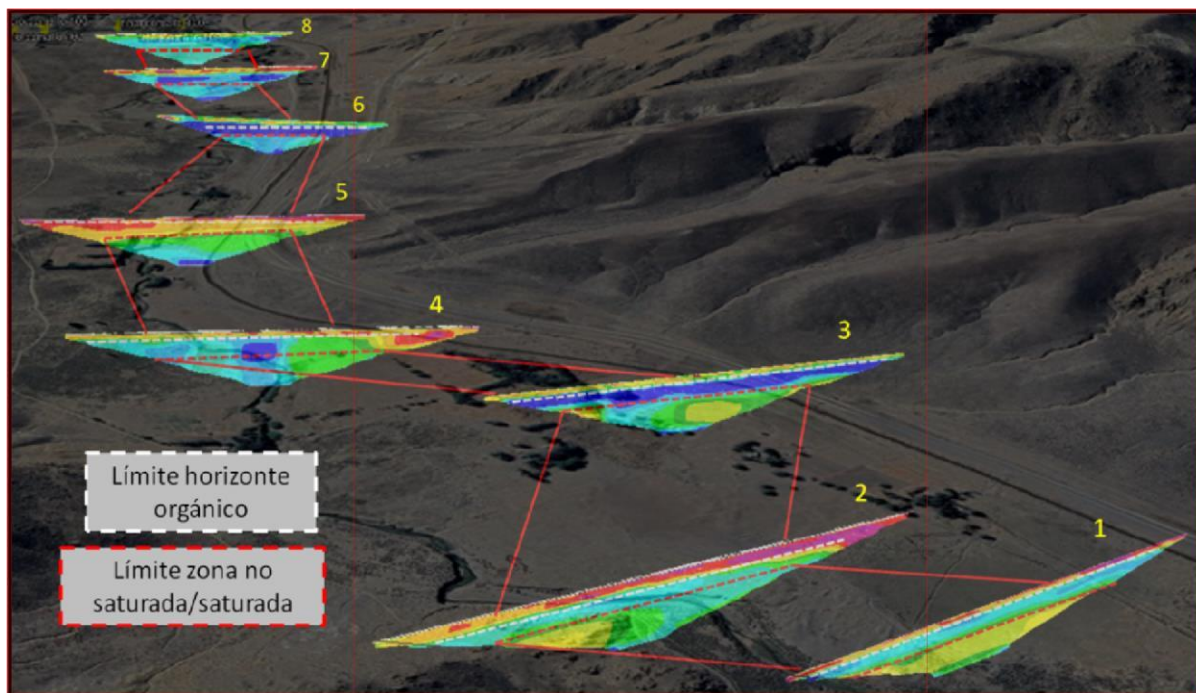


Figura 20. Valle del Comallo. Ubicación relativa de las secciones de adquisición de tomografías en secuencia e integradas en donde se puede seguir con líneas rojas el límite en profundidad de la zona saturada identificada en cada sección.

A.2 Arroyo Trailacahue



Figura 21. Ubicación de las secciones de adquisición de tomografías en secuencia que luego fueron integradas a un modelo único de resistividades para definir espesores y zonas saturadas.

Para el caso del valle del arroyo Trailacahue, no se contaba con una erosión marcada del cauce para poder obtener el perfil y correlacionar los datos de cambios litológicos con los valores de los perfiles de tomografía. Sin embargo sí se contaba con datos de una perforación, la cual definió la ubicación de la primera tomografía de la secuencia de este arroyo, ubicada al lado del “pozo Chacra Meliqueo”. La misma se muestra en la figura arriba junto con las otras secciones que formaron parte luego de la secuencia del arroyo Comallo. El análisis de las secciones de tomografía adquiridas que forman parte de la secuencia integrada del arroyo Trailacahue se muestran a continuación:

Sección 1:

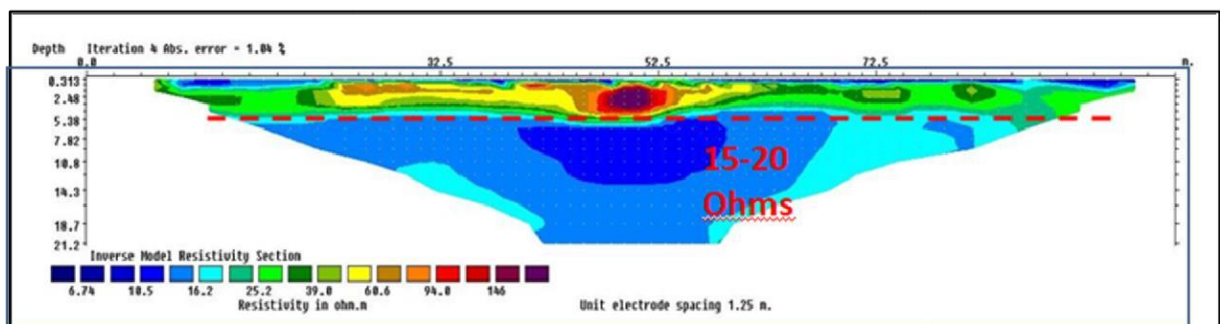


Fig. 22 Sección número 1, con sus límites de zonas interpretadas

Sección 2:

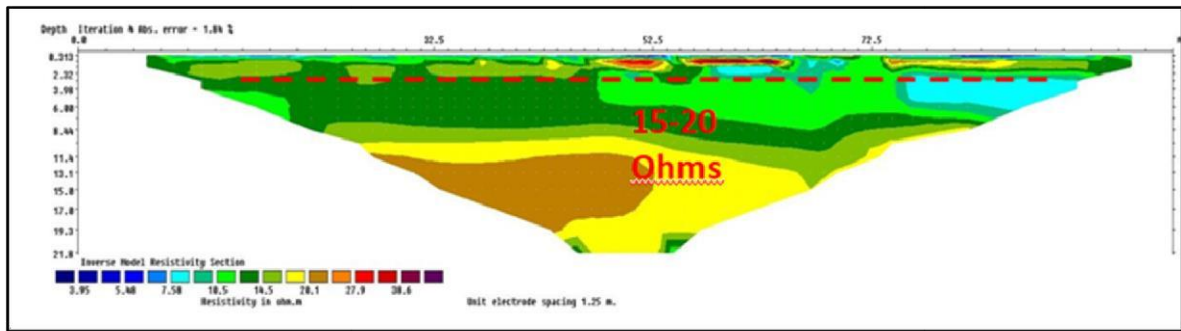


Figura 23. Sección número 2, con sus límites de zonas interpretadas

Sección 3:

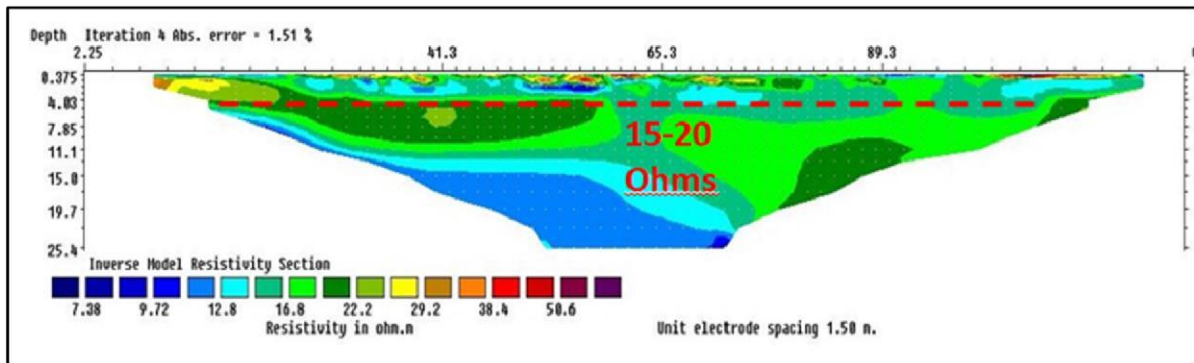


Figura 24. Sección número 3, con sus límites de zonas interpretadas

Sección 4:

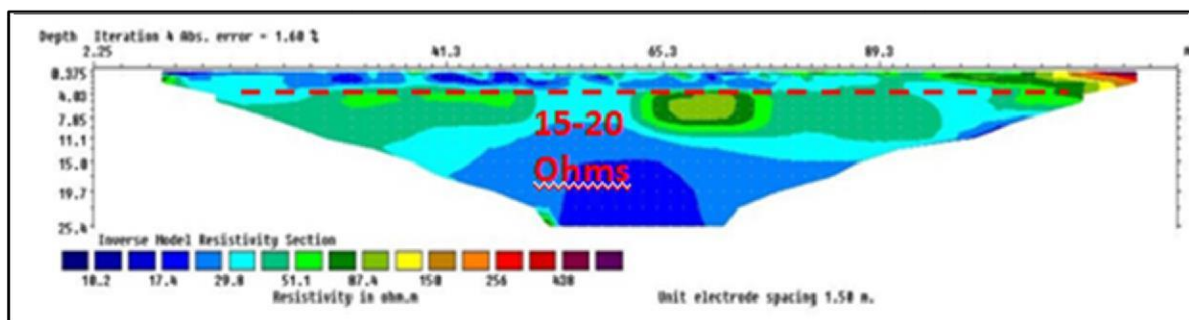


Figura 25. Sección número 4, con sus límites de zonas interpretadas

Si bien no presenta la cantidad de perforaciones que tiene el relleno del arroyo Comallo, la naturaleza de los rellenos del Trailacahue responden de manera similar, presentando el agua valores físico-químicos similares, y con sedimentos modernos, saturados a una profundidad de entre 4-6m. Es por este motivo que se decidió realizar adquisiciones en secuencia también para este sector, y definir

estimativamente valores de reservas, que permitan en el futuro ser utilizadas para eventuales planificaciones urbanas o de otra índole que se vean beneficiadas de contar con esta información. A diferencia de la secuencia del arroyo Comallo, en la interpretación de las secciones del Trailacahue, solo se marca el límite de profundidad en la que los valores de resistividad son asociables a la zona saturada (20 ohms a partir de la calibración con la perforación en “pozo chacra Meliqueo”), ya que no se observó una cobertura interpretable de suelo orgánico en las tomografías.

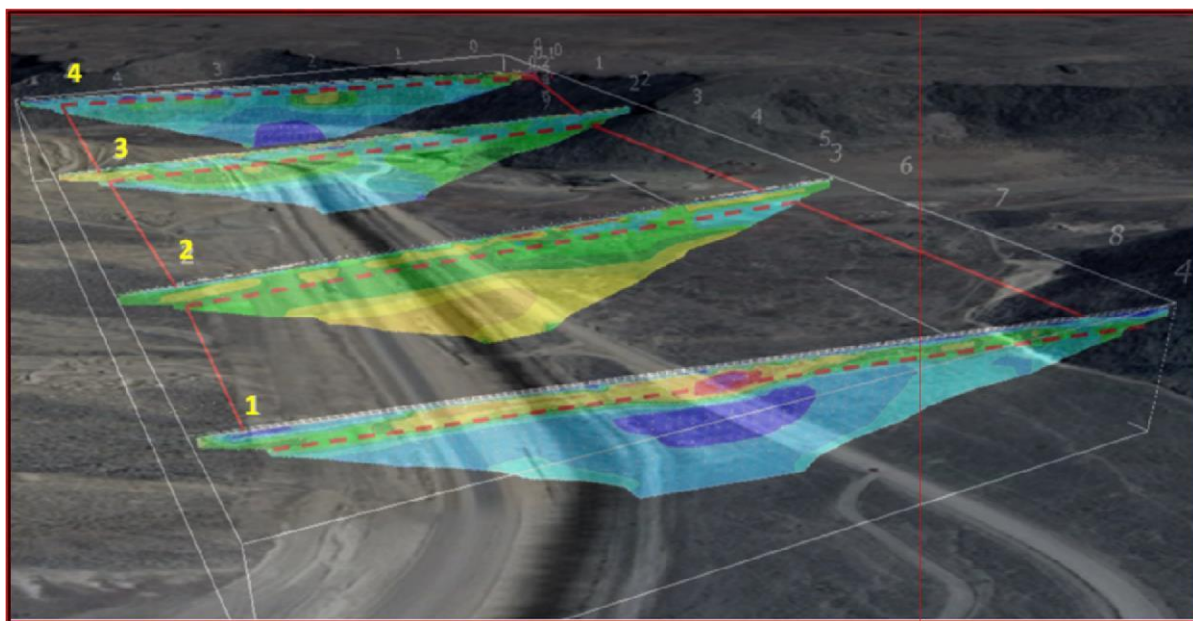


Figura 26. Ubicación relativa de las secciones de adquisición de tomografías en secuencia e integradas en donde se puede seguir con líneas rojas el límite en profundidad de la zona saturada identificada en cada sección

B- Secuencias de adquisición individual

B.1 Basaltos

Las secciones adquiridas en los basaltos fue con fines de investigación, ya que entendiendo este reservorio como medio fisurado, lo que se buscó fue identificar patrones en las secciones de tomografía que mostraran evidencias de zonas saturadas dentro del medio. El escenario representa una complejidad elevada, ya que los medios rocosos a diferencia del sedimento, suelen mostrar valores muy elevados de resistividad, lo cual hace muy difícil identificar dentro de una sección de tomografía, qué valores se asocian a zonas saturadas, ya que quedan enmascarados. Si bien los resultados no mostraron inicialmente conclusiones sobre la posibilidad de identificar reservorios en este medio con el método de tomografía, eventuales procesamientos y adquisiciones en mayor cantidad que permitan obtener una mayor población de datos para su análisis, darían un mejor escenario para tener

definiciones respecto a esta alternativa. A continuación se muestran las secciones individuales realizadas sobre los basaltos próximos a la localidad de Comallo.

B.1.1

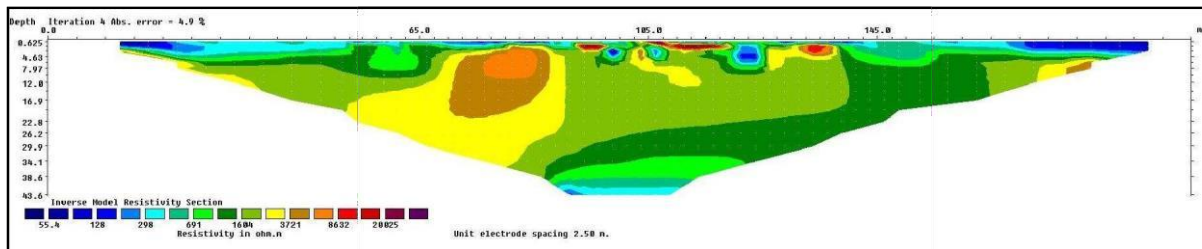


Figura 27: seccion sobre basaltos

B.1.2

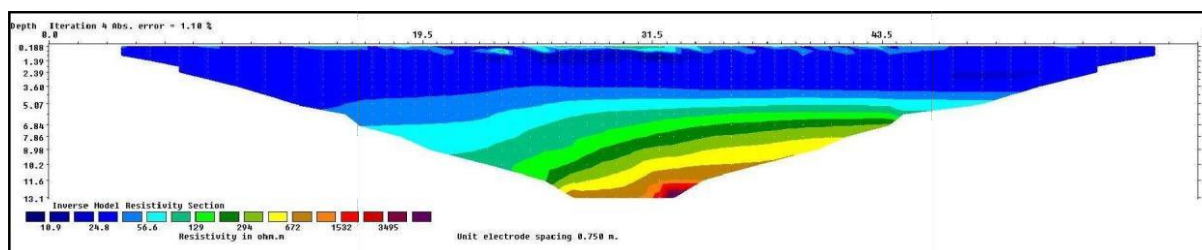


Figura 28: seccion sobre basaltos

B.1.3

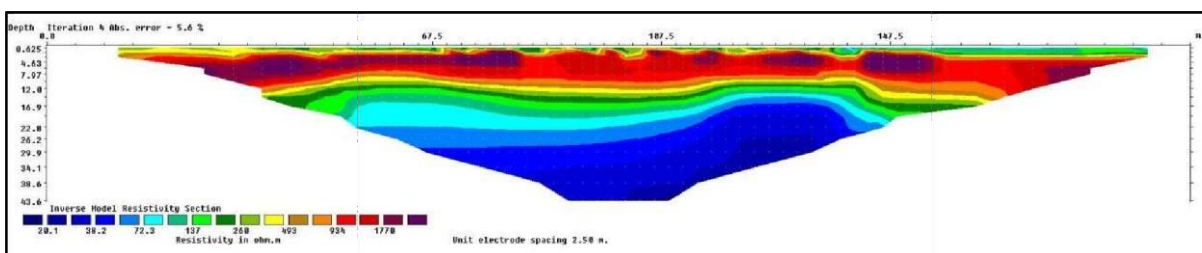


Figura 29: seccion sobre basaltos

B.2 Predio INTA

Las secciones adquiridas para el INTA fueron una contribución a la zona para entender mejor los niveles de reservorio de los que estaba tomando los filtros de pozos cercanos a la chacra que poseen cerca de la localidad de Pilcaniyeu. Estuvieron presente dos ingenieros agrónomos, y además de las tomografías realizadas, se tuvo un interesante intercambio de información con ellos sobre temáticas vinculadas al abastecimiento de agua para riego en la zona.

B.2.1

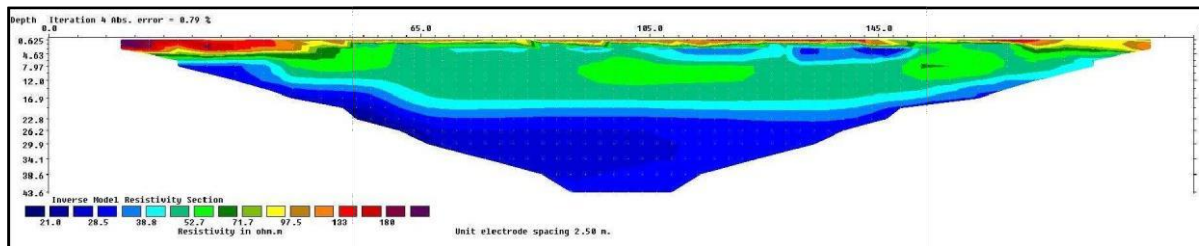


Fig 30: Sección sobre valle en predio INTA

B.2.2

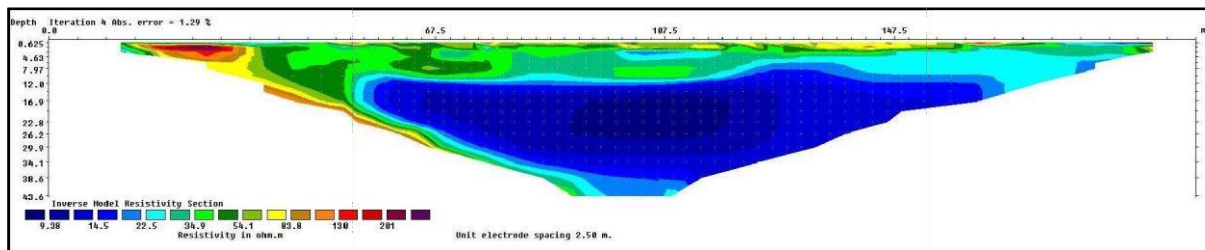


Fig 31: Sección sobre valle en predio INTA

B.3 Vivero

Las secciones vinculadas a los viveros fueron adquiridas también para intentar asociar los valores de tomografía con las profundidades de los pozos en el sitio y los intervalos desde lo que toman los filtros.

B.3.1

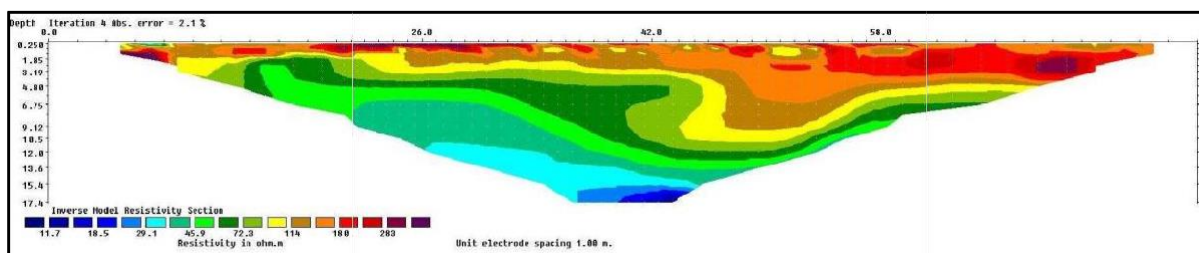


Figura 32. Sección sobre Vivero Municipal

B.3.2

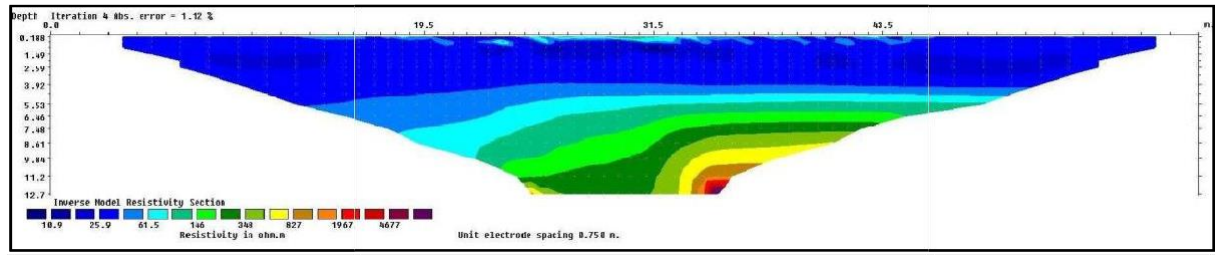


Fig. 33 Sección sobre vivero Experimental Ruta 23

B.4 Centro

Las adquisiciones consideradas como parte del centro del pueblo tuvieron que ver fundamentalmente con la identificación de la Fm. Collón Cura, sobre la que se apoyan los rellenos modernos que tapizan el valle por el que escurre el arroyo Comallo. La caracterización de Collón Cura tiene implicancias en la identificación de los espesores del relleno suprayacente. Por lo tanto se buscó asociar valores en las tomografías que pudieran relacionarse con las tobas de Fm. Collón Cura

B.4.1 (profunda)

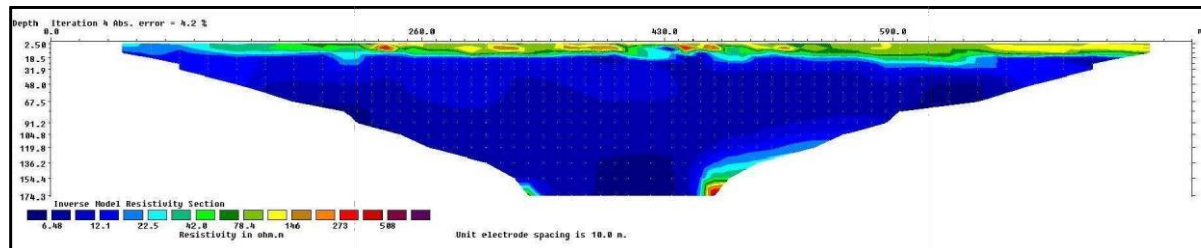


Fig. 34: sección profunda sobre el centro del pueblo

B.4.2

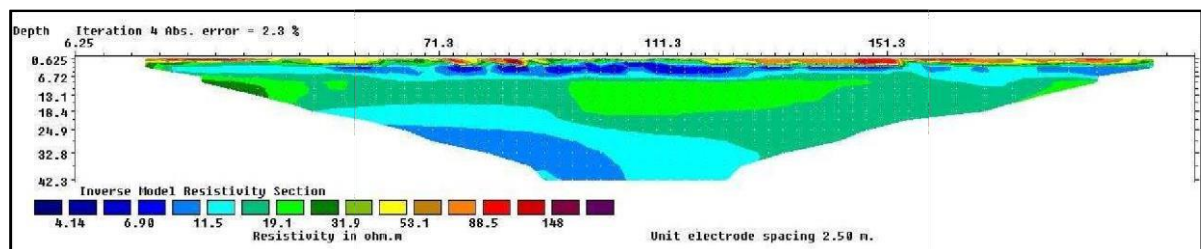


Fig. 35: Sección sobre sector SW del pueblo

B.4.3

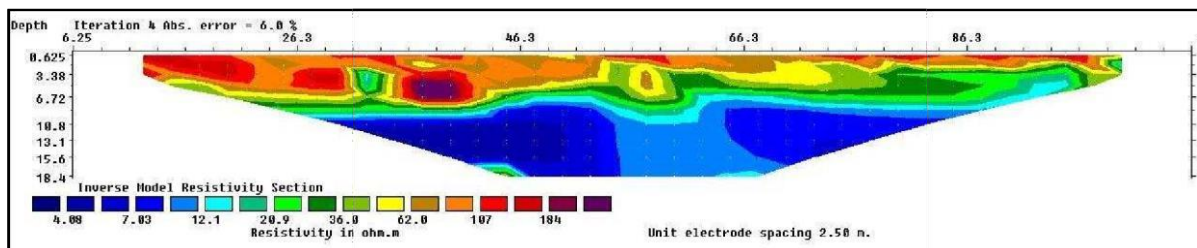


Fig. 36 Sección sobre sector SW del pueblo

B.4.4

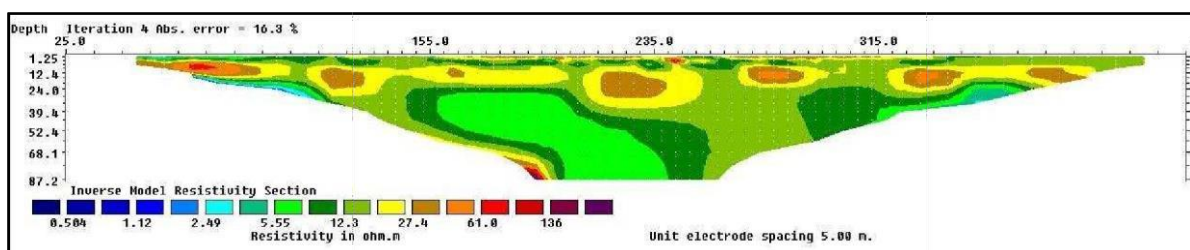


Fig. 37: Sección sobre sector SW del pueblo

B.5 Campo de doma

Se realizó una sola sección de tomografía en el campo de doma del pueblo, que representa el sector N del valle del arroyo Comallo. Lo que se buscó fue identificar si este sector posee las características de espesor de relleno que tiene el sector SW que es el más explotado, de manera de en el futuro intensificar estudios sobre este sector si se requiriera una explotación más intensiva sobre el mismo.

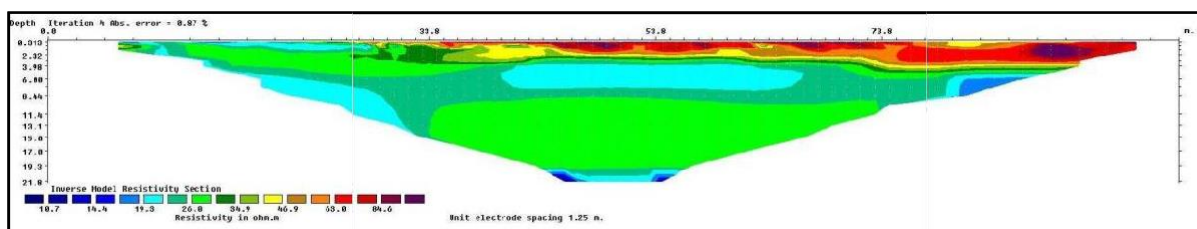


Figura 38. Sección sobre Sector Campo de Doma

12. RELEVAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

La metodología de relevamiento consistió en la recorrida de toda la zona de estudio manteniendo comunicación con los pobladores y autoridades de manera tal de alcanzar la mayor cantidad de captaciones de agua posibles.

En cada punto se tomó el nombre del sitio, fecha y coordenadas geográficas y se realizó una primera clasificación estableciendo la fuente del agua de la captación censada, estableciendo si se trata del acuífero libre o semiconfinado.

Durante la primera campaña (agosto 2022) se relevaron 13 perforaciones, en la segunda campaña (octubre 2022) se relevaron otras 11 perforaciones y durante la tercera campaña (enero 2023) se volvieron a las mismas para continuar con el monitoreo de datos in situ de niveles estáticos, conductividad eléctrica y temperatura. Como parte de las tareas de campo se realizaron ensayos de bombeo de corta duración para obtener y corroborar parámetros hidráulicos con pruebas antecedentes, de los acuíferos existentes en la zona y también se relevaron datos complementarios como potencia de bomba, caudales de extracción, profundidad de pozo, etc. El detalle de la misma se expone más adelante en el capítulo correspondiente a parámetros hidráulicos. Adicionalmente se tomaron muestras de agua para realizarles análisis fisicoquímicos.

ID Mapa	Pozo	Coordenadas	
1	Perf. 2 ARSA abandonada	41°01'52.5" S	70°16'06.5" W
2	Pozo Hanzel FF CC	41°01'59.2" S	70°15'39.7" W
3	Pozo 3 ARSA	41°01'51.1" S	70°16'21.9" W
4	Pozo 3C ARSA	41°01'51.0" S	70°16'21.3" W
5	Pozo 1 ARSA (union arroyos)	41°01'24.1" S	70°15'42.0" W
6	Pozo 2 ARSA	41°01'17.1" S	70°15'41.2" W
7	Pozo Tripode ARSA	41°01'10.3" S	70°15'30.7" W
8	Pozo Campo Doma Regador	41°01'09.7" S	70°15'26.6" W
9	Pozo Campo Doma ARSA	41°01'10.3" S	70°15'27.5" W
10	Pozo Campo Doma Buffet	41°01'07.9" S	70°15'28.1" W
11	Pozo Chacra Meliqueo	41°02'11.1" S	70°13'36.3" W
12	Pozo Chacra Hermosilla	41°02'52.8" S	70°18'57.5" W
13	Pozo Plaza Eva Peron	41°01'38.6" S	70°16'02.8" W
14	Pozo Najul	41°02'23.5" S	70°18'30.3" W
15	Pozo Andres	41°02'07.7" S	70°18'04.2" W
16	Pozo Abuela Guille	41°01'43.7" S	70°16'15.2" W
17	Pozo Paseo 30 de Marzo	41°01'56.4" S	70°16'0.95" W
18	Pozo Tulipanes	41°01'44.2" S	70°16'25.4" W
19	Pozo Fabrica Bloques	41° 02'4.13" S	70°17'04.54" W
20	Pozo Vivero Municipal	41°02'09.1" S	70°16'48.2" W
21	Pozo Roxana Narambuena	41° 1'45.73" S	70°14'14.68" W
22	Pozo Llanos	41° 3'0.90" S	70°19'16.31" W
23	Pozo Plaza la Amistad	41° 1'44.00" S	70°15'21.60" W
24	Pozo Dina	41° 1'52.20" S	70°15'25.41" W

Tabla 6. Totalidad de los pozos que fueron relevados durante el estudio



Figura 39. Ubicación de los pozos que fueron relevados durante el estudio

13. HIDRODINÁMICA

Para la interpretación de la dirección del flujo subterráneo en la microcuenca de estudio se utilizaron los niveles de agua medidos durante los relevamientos de campo realizados durante el mes de enero de 2023 que se presentan en la Tabla 7 (Perfil P22-P16 para el valle del Ao. Comallo) y Tabla 8 (Perfil P11-P21 para el valle del Ao. Trailacahue). En las campañas se recolectaron datos de niveles estáticos, dinámicos, fondo de pozo y parámetros físico- químicos del agua en 24 puntos relevados, de los cuales la mayoría corresponden a perforaciones de particulares. Con estos datos se construyeron las curvas equipotenciales, que aunque no con la exactitud que pretendíamos, nos permiten entender como concepto general el funcionamiento hidrodinámico del sistema de agua subterránea. Se elaboraron las curvas equipotenciales a escala local que representa la situación observada puntualmente en la localidad de Comallo. Las curvas equipotenciales interpretadas son el resultado de la interpolación de puntos con igual valor de altura potenciométrica, calculada por la diferencia entre la cota topográfica y la medición hidrométrica del nivel de agua. Para el caso de la elaboración de los dos mapas locales la equidistancia utilizada entre las curvas equipotenciales fue de 2 metros.

Valle del Ao. Comallo

El gradiente hidráulico máximo (6 m) se observa en el sector central de la cuenca (entre los pozos P14 y P15) con una pendiente entre curvas equipotenciales de $0,048 = 4.8\%$, mientras que el mínimo gradiente hidráulico se ha calculado en la zona NE de la cuenca (entre los pozos P14 y P15) con una pendiente entre curvas equipotenciales de $0,0038 = 0.38\%$).

Para calcular las líneas equipotenciales, se tomó como medida patrón de fondo de los pozos, la profundidad promedio del relleno de los depósitos limo arenosos modernos que rellenan los dos valles estudiados que se estimó en 16 m.

Cabe mencionar que la zona de estudio considerada para los cálculos de reserva, para el sector de la cuenca del Ao. Comallo (polígono con borde color celeste) posee una área aproximada de 2.68 km².



Figura 40 Perfil P22-P16. Valle Arroyo Comallo

Ubicación Pozos Perfil P22-P16 (Ao. Comallo)						
Pozo	Lat. S	Long. W	Prof. Pozo (m)	Nivel Agua (m)	Cota (msnm)	Isopieza (m)
P22	41° 3'0.90"S	70°19'16.31"W	16.00	4.56	783	778.4
P12	41°02'52.8" S	70°18'57.5" W	16.00	6.87	780	773.1
P14	41°02'23.5" S	70°18'30.3" W	16.00	7.05	778	771.0
P15	41°02'07.7" S	70°18'04.2" W	16.00	8.10	774	765.9
P19	41° 02'4.13" S	70°17'04.54"W	16.00	5.51	769	763.5
P20	41°02'09.1" S	70°16'48.2" W	16.00	9.03	768	759.0
P3	41°01'51.1" S	70°16'21.9" W	16.00	6.11	768	761.9
P4	41°01'51.0" S	70°16'21.3" W	16.00	6.01	767	761.0
P16	41°01'43.7" S	70°16'15.2" W	16.00	5.06	767	761.9
P13	41°01'38.6" S	70°16'02.8" W	16.00	3.37	766	762.6

Tabla 7. Ubicación pozos valle del Ao. Comallo



Fig. 41 Mapa equipotencial y líneas de flujo subterráneo. Ao. Comallo

Valle del Ao. Trailacahue

El gradiente hidráulico máximo (5 m) se observa en el sector central de la cuenca, (entre los pozos P11 y P21) con una pendiente entre curvas equipotenciales de $0,02 = 2.08\%$.

Para calcular las líneas equipotenciales, se tomó como medida patrón de fondo de los pozos, la profundidad promedio del relleno de los depósitos limo arenosos modernos que rellenan los dos valles estudiados que se estimó en 16 m.

Cabe mencionar que la zona adquirida para los cálculos de reservas sobre el sector del valle del Ao. Trailacahue (polígono con borde color naranja) posee un área aproximada de 0.70 km².

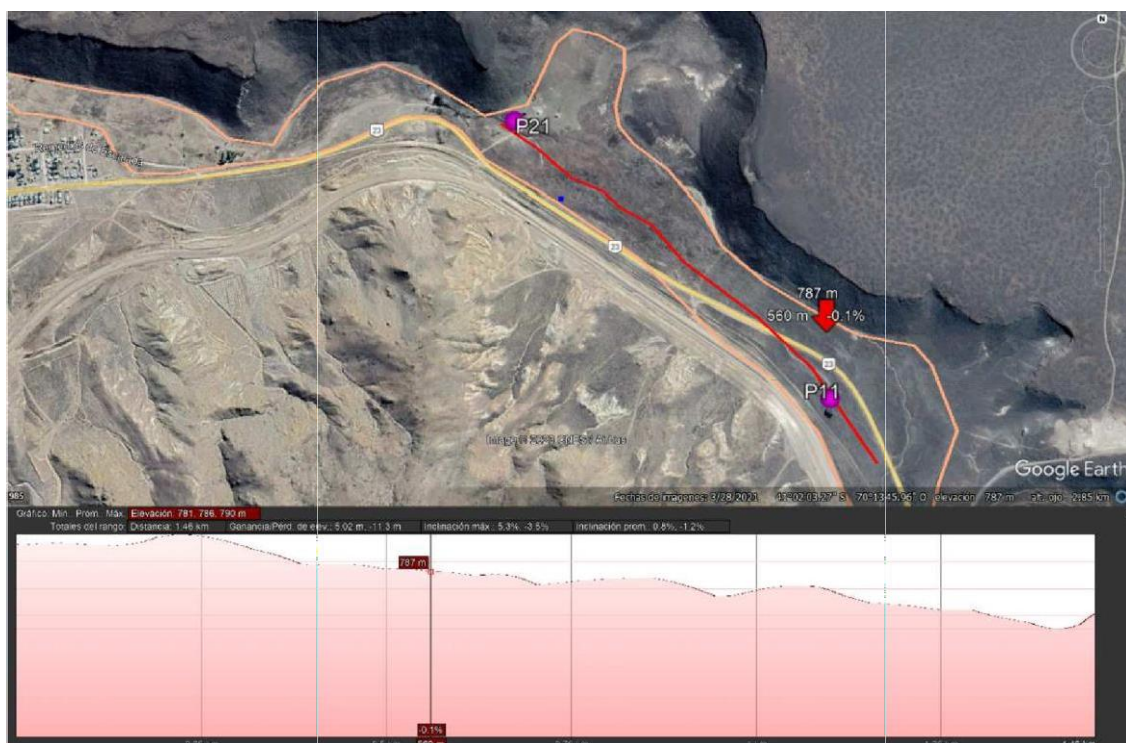


Figura 42. Perfil P11-P21. Valle Arroyo Trailacahue

Ubicación Pozos Perfil P22-P16 (Ao. Trailacahue)						
Pozo	Lat. S	Long. W	Prof. Pozo (m)	Nivel Agua (m)	Cota (msnm)	Isopieza (m)
P11	41°02'11.1" S	70°13'36.3" W	16.00	6.87	787	780.1
P21	41° 1'45.73"S	70°14'14.68"W	16.00	6.65	782	775.4

Tabla 8. Ubicación pozos valle Trailacahue

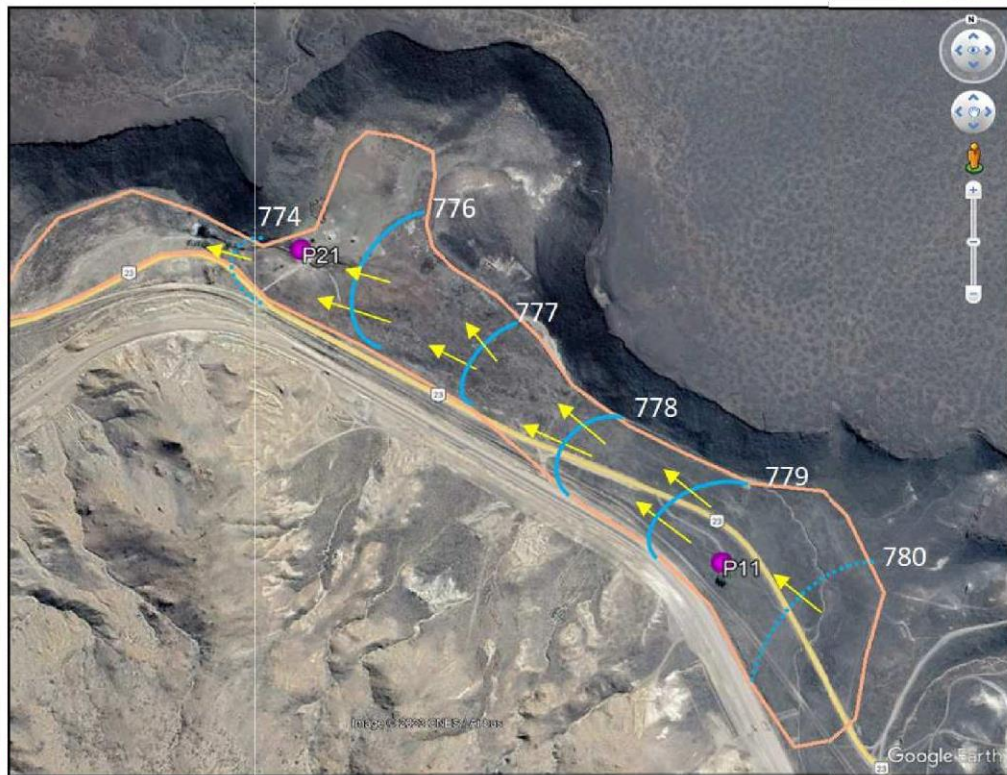


Fig. 43 Mapa equipotencial y líneas de flujo subterráneo. Valle Ao. Trailacahue

Como se puede observar en las figuras anteriores, el sentido de flujo subterráneo regional es SW-NE, coincidiendo en líneas generales con la dirección de escurrimiento del flujo superficial del valle del Ao. Comallo, y sentido SE-NW para el Ao. Trailacahue, mostrando buena correlación de las curvas topográficas y equipotenciales. Las mismas presentan una morfología de tipo radial moderada, siempre dentro de los límites físicos del valle, provistos en la parte inferior por los depósitos tobáceos de la Fm Collón Cura y en otros sectores por el basamento ígneo-metamórfico y coladas basálticas más modernas. En parte, esta morfología de las curvas podría explicar el rol de recarga local a partir del aporte de la cuenca alta del Ao. Comallo, donde el agua se infiltra y continúa descendiendo verticalmente hasta toparse con una capa de menor permeabilidad para fluir sub horizontalmente hasta interceptar la topografía (generando algunos pocos y pequeños mallines y vertientes observados en las márgenes de los valles) o el subálveo de los valles. Como se ha mencionado anteriormente en el capítulo de Hidrología, no existen cursos de agua bien definidos y perennes, pero las corrientes de drenaje superficial temporales y que llevan agua mayormente en cortos intervalos posteriores a la

ocurrencia de precipitaciones, serían de tipo influente o perdedor, permitiendo la infiltración completa hacia el acuífero aluvial.

14 ENSAYOS DE BOMBEO

Si bien no se contaba con numerosos datos sobre los parámetros hidráulicos en el área de estudio, los antecedentes indican la existencia de un acuífero freático y de un semiconfinado subyacente. De estos dos, el primero sería de mayor interés por presentar un mayor volumen explotado debido a que la mayoría de las perforaciones relevadas son de escasos metros de profundidad, solo captando al acuífero libre. No obstante, aquellas que conforman la red de abastecimiento urbano y de riego captan ambos acuíferos, esto se encuentra evidenciado en los pocos legajos de pozo o memorias técnicas antecedentes consultadas.

De las 24 perforaciones relevadas, en esta campaña se realizaron ensayos hidráulicos en 12 de ellas, 10 distribuidas a lo largo del valle del Ao. Comallo y una sobre el valle del Ao. Trailacahue. Dos de ellos fueron realizados en los pozos de abastecimiento de ARSA, el primero en el Pozo 1 abandonado (ubicado dentro del predio donde está el tanque elevado) y otro en el Pozo 3 ARSA, ubicado en las inmediaciones del Estadio Municipal. También se efectuó un ensayo de bombeo a caudal constante en el Pozo del Vivero Municipal. Cabe destacar que no se pudo realizar una prueba hidráulica en el pozo profundo activo de ARSA debido a que para ello era necesario el corte del suministro de agua a la población, lo cual no era posible por la demanda existente.

El resto de las pruebas hidráulicas fueron efectuadas en perforaciones de particulares, practicadas al acuífero libre, aclarando que los resultados tal vez no serían del todo concluyentes, ya que entre ellas se encontró una gran variedad de diámetros, diseños, profundidades y potencia de las bombas instaladas.

Solo en cuatro perforaciones (P4, P11, P16 y P19) se pudieron medir los descensos y recuperación de los niveles en los pozos de observación, que fueron construidos por Geoaustral para tal fin, permitiendo obtener valores de T, K y S.

En general pudo constataarse que los períodos de bombeo en los pozos de ARSA afectados al servicio de distribución de agua potable por red, suelen ser prolongados, llegando incluso algunos pozos a bombear las 24 hs.

Mientras que para los pertenecientes a la red de riego municipal los turnos de regadío se extienden por 3 a 5 horas de duración, según la captación y época del año, siendo más pronunciada durante los meses de verano para ambos sistemas. Por otra parte, los abatimientos observados suelen alcanzar valores del orden de 2 a 5 metros, sin comprometer a los equipos de bombeo instalados, y cuyos pozos presentan una profundidad desde los 10 metros en el más somero, hasta 26 metros sobre el más profundo, denominado Pozo Hanzel FFCC, sin contar con la perforación profunda de ARSA que está en el orden de los 120 m. Los resultados de los ensayos realizados en las perforaciones se muestran en la tabla adjunta. Las planillas y gráficos con las curvas de los descensos y recuperación, se pueden observar en los anexos 4 y 5 respectivamente.

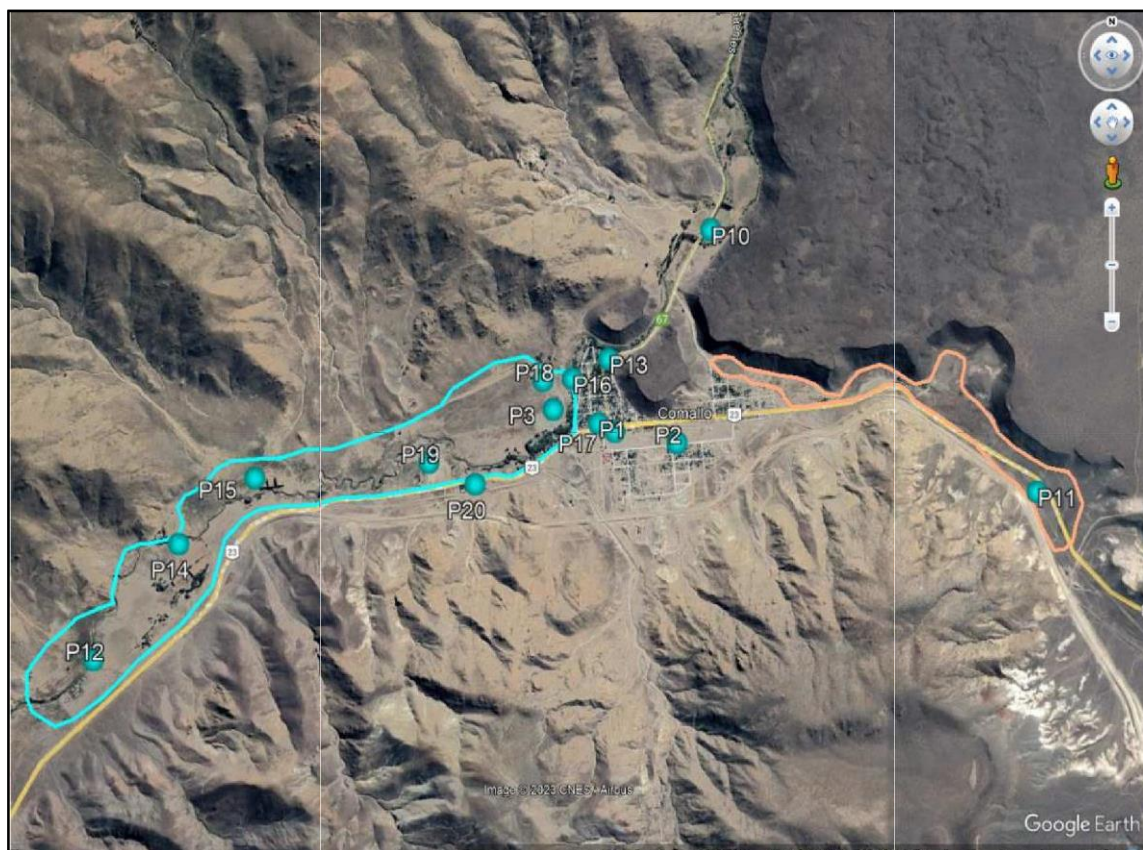


Fig. 44. Ubicación de los pozos ensayados hidráulicamente

ID Mapa	Pozo	Coordenadas		Datos Hidráulicos						
		Latitud	Longitud	Nivel Estático (mbbp)	Nivel Dinámico (mbbp)	Depresión	Q ensayo (m ³ /h)	Q específico (m ³ /h/m)	T (m ³ /d)	K (m/d)
1	Perf. 2 ARSA abandonada	41°01'54.5" S	70°16'6.5" W	72.95	82.95	10	2.60	0.26	2.25E+00	1.12E-01
2	Pozo Hanzel FF CC	41°01'59.2" S	70°15'39.7" W	15.05	17.87	2.82	3.09	1.10	9.64E+00	4.82E-01
10	Pozo Campo Doma Buffet	41°01'07.9" S	70°15'28.1" W	4.30	4.89	0.59	4.09	6.93	3.58E+02	1.79E+01
11	Pozo Chacra Meliqueo	41°02'11.1" S	70°13'36.3" W	6.41	8.58	2.17	5.31	2.45	1.90E+02	9.52E+00
12	Pozo Chacra Hermosilla	41°02'51.6" S	70°18'59.5" W	6.87	7.70	0.83	3.64	4.39	4.82E+02	2.41E+01
13	Pozo Plaza Eva Peron	41°01'38.6" S	70°16'2.8" W	3.37	5.38	2.01	4.31	2.14	3.41E+01	1.13E+00
14	Pozo Najul	41°02'23.5" S	70°18'30.3" W	7.05	7.47	0.42	4.10	9.76	6.37E+01	3.16E+00
15	Pozo Andres	41°02'07.7" S	70°18'04.2" W	8.10	9.36	1.26	7.20	5.71	9.05E+01	4.52E+00
16	Pozo Abuela Guille	41°01'43.7" S	70°16'15.2" W	5.06	5.90	0.84	4.90	5.83	3.30E+02	1.65E+01
18	Pozo Tulipanes	41°01'44.2" S	70°16'25.4" W	5.05	8.09	3.04	3.87	1.27	1.74E+01	8.73E-01
19	Pozo Fabrica Bloques	41° 02'4.13" S	70°17'04.54" W	5.51	7.38	1.87	1.48	0.79	3.11E+01	1.53E+00
20	Pozo Vivero Municipal	41°02'09.1" S	70°16'48.2" W	9.03	9.85	0.82	11.90	14.51	6.41E+02	3.20E+01

Tabla 9. Ensayos hidráulicos efectuados en los pozos de explotación

Los ensayos de bombeo fueron efectuados a caudal constante registrando las variaciones de nivel en una planilla tabulada, durante un tiempo determinado o bien hasta cuándo se observaba que se repetían los valores de las últimas tres mediciones en forma consecutiva y se asume que el pozo está en equilibrio. Por su parte, los valores de recuperación también fueron registrados durante el tiempo necesario hasta que retomara el nivel estático original. Con los datos obtenidos en campo, se calcularon los parámetros hidráulicos del acuífero con el software *Aquifer Test*.

De acuerdo a los datos recopilados con los técnicos de ARSA, con personal municipal y a través del relevamiento de campo, podemos inferir que los pozos P1, P2 y P20 estarían ejecutados al segundo acuífero (del tipo semiconfinado) con características litológicas de composición tobácea atribuible a la Fm. Collon Cura.

El resto de las perforaciones ensayadas son pozos que alumbran el acuífero libre de composición limo arenosa, típica de relleno moderno del valle del Ao. Comallo.

Se pueden apreciar los valores de T, K y S típicos de este tipo de acuíferos, que si bien su lenta recarga depende de las precipitaciones pluviales y nivales (factores que francamente están en valores casi negativos) aún son capaces de soportar una extracción controlada con buen rendimiento a bajos caudales, de manera de no estresar su dinámica ni alterar la calidad fisicoquímica.

En base a los resultados obtenidos, se puede inferir a priori que las perforaciones relevadas y ensayadas, representan una buena fuente de aprovisionamiento de agua

subterránea, aunque el espesor del acuífero portador tiene un promedio de 14 a 24 mts. (dato obtenido a través de las tomografías realizadas en el sitio, de observaciones de perfiles en la barranca del Ao. Comallo y del análisis de las muestras de mano recogidas durante las tareas de perforación de los pozos de monitoreo).



Foto 3. Ensayo de bombeo en Pozo M2, M4, y M6

Los resultados de caudales obtenidos, junto con los valores promedio de T y K y el poco abatimiento de los niveles de la superficie freática observados durante las pruebas, indican que este sector del valle, ubicado al SW de la localidad de Comallo, representa un buen escenario a futuro donde se podrían efectuar nuevas perforaciones para abastecimiento, siempre que se realicen de manera planificada para lograr una explotación sustentable en el tiempo.

La secuencia de niveles registrada en las tomografías, indican que, en general y dependiendo de la topografía, la profundidad de la napa freática dentro del ambiente

de relleno moderno del valle, estaría entre los 3.50 y los 7.50 mbnt, y que la zona saturada se extiende hasta los 18 - 20 mbnt, profundidad a partir de la cual se observa un cambio en las condiciones resistivas del suelo, que son atribuibles a las características litológicas de la Fm. Collon Cura.

15 CALCULO DE RESERVAS

En general fuera de los valles por los cuales discurre el A° Comallo y el A° Trailacahue, el flujo subterráneo en la zona es, la gran mayoría de los días del año, hacia las depresiones cerradas (lagunas, salinas) que actúan fundamentalmente como ámbitos de descarga preferencial para el agua subterránea. En el primer caso por evaporación y en el segundo, al proceso de evaporación, se le agrega el aporte de agua freática que contribuye al escurrimiento superficial, como sucede en los sectores en los que los cursos superficiales presentan regímenes permanentes.

Secundariamente, las depresiones cerradas y lineales pueden funcionar como ámbitos de recarga subterránea, cuando permiten la infiltración de los excedentes de la lluvia o de la fusión de la nieve que se concentran en los bajos topográficos. Esto sucede cuando los lechos son permeables y la superficie freática se emplaza por debajo de unos 2 m de profundidad.

El agua captada por las vulcanitas con porosidad fisural (principalmente basaltos) aflorantes en gran parte de la zona de estudio, se descarga a través de manantiales o vertientes allí donde la superficie freática intersecta a la superficie del terreno.

En cuanto a los parámetros hidráulicos de los sedimentos modernos, en este caso particular se cuenta con los ensayos realizados in situ para determinar la permeabilidad y que sirva de sustento para asignarle un valor de referencia aplicable a todo el sitio.

Los sedimentos presentes en ámbitos deprimidos se corresponden con acumulaciones aluviales de variado tamaño (grava, arena, limo) emplazados en los cauces y terrazas de las vías fluviales; se estiman extremos permeabilidad de 25 m/día (grava) y 0,05 m/d (limo), mientras que la porosidad efectiva variaría entre 0,25 a 0,02.

En las depresiones cerradas se emplazan sedimentos modernos de granulometría fina (limo-arcilla) en las márgenes y fondos de lagunas y salinas.

Estos son menos permeables y tienen menor porosidad efectiva que los anteriores. Sobre la base granulométrica se estima una permeabilidad entre 0,05 y $5 \cdot 10^{-3}$ m/d y porosidad efectiva entre 0,02 y $2 \cdot 10^{-3}$.

En los ámbitos de posición intermedia en el relieve (piedemontes serranos, abanicos aluviales y bajadas), también se presentan sedimentos modernos (cobertura detrítica) pero de mayor tamaño que los existentes en los deprimidos.

Como dato para corroborar y dar respaldo a los cálculos, también nos basamos en la permeabilidad ($k = m/d$) obtenida en los ensayos de bombeo realizados en los cuatro pozos (que se exponen en la tabla siguiente) y en general, se observa que presentan similitud con los valores promedio consultados en la bibliografía.

ID Mapa	Coordenadas		Datos Hidraulicos						
	Latitud	Longitud	Nivel Est. (mbbp)	Nivel Din. (mbbp)	Dep.	Q ensayo (m ³ /h)	T (m ³ /d)	K (m/d)	S
16	41°01'43.7" S	70°16'15.2" W	5.06	5.90	0.84	4.90	1.82E+02	1.30E+01	2.53E-03
19	41° 02'4.13" S	70°17'04.54"W	5.51	7.38	1.87	1.48	7.05E+01	5.04E+00	1.28E-03
11	41°02'11.1" S	70°13'36.3" W	6.41	8.58	2.17	5.31	4.50E+02	3.22E+01	5.24E-02
3	41°01'51.1" S	70°16'21.9" W	6.01	6.16	0.15	15.10	4.58E+02	3.27E+01	5.80E-03

Tabla 10. Ensayos hidráulicos registrados en los pozos de observación

Tipos de suelo	Grado relativo de permeabilidad	Coefficiente de permeabilidad K (cm./seg.)	Propiedades de drenajes
Grava limpia	Alto	1×10^{-1}	Buena
Arena limpia	Medio	1×10^{-3}	Buena
Grava arenosa	Medio	1×10^{-3}	Buena
Arena fina	Bajo	1×10^{-3} a 1×10^{-5}	Franca a pobre
Limos	Bajo	1×10^{-3} a 1×10^{-5}	Franca a pobre
Arena limo arcilloso	Muy bajo	1×10^{-4} a 1×10^{-7}	Pobre o prácticamente imperceptible
Arcilla homogénea	Muy bajo a prácticamente impermeable	$< 1 \times 10^{-7}$	Prácticamente imperceptible

Tabla 11: Permeabilidades tipo (Mecánica de Suelos, Juárez Badillo, 1967)

En base a los estudios realizados en las campañas y su análisis e interpretación en gabinete, se expresan a continuación los cálculos para estimar las reservas de agua

dulce actuales, disponibles para su explotación controlada, en los dos valles relevados.

El concepto de reserva, se define como el volumen de agua movilizable existente en un acuífero, que implica una variación dinámica en el tiempo. Existen varios tipos de reservas, según se trate de acuíferos libres o semiconfinados que interactúan dentro de la dinámica del ciclo hidrogeológico.

En base a los estudios realizados en las campañas y su análisis e interpretación en gabinete, se expresan a continuación los cálculos para estimar las reservas de aguadulce actuales, disponibles para su explotación controlada, en los dos valles relevados.

- Se adopta el valor de precipitación anual medio obtenido de los registros de la Estación Jacobacci en el periodo 1980 - 2020, que fue de 175 mm/año.
- Se considera espesor del acuífero el medido entre el nivel estático mínimo promedio obtenido en las mediciones de campo el piso de la formación sedimentaria registrado tanto por las perforaciones como por las tomografías efectuadas en el valle) portadora del acuífero sector se promedió en 20 m. En función de las granulometrías que componen el aluvión del valle del A° Comallo y A° Trailacahue (arenas y gravas), se toma una porosidad efectiva del 20%.
- De acuerdo a estudios anteriores, puede tomarse para el área en cuestión, como valor promedio de la recarga, el 5% de la precipitación anual, obtenido de los registros de la Estación Jacobacci en el periodo 1980 - 2020 (esto significan 8.75 mm/año).

Cálculos para el sector del valle del Ao. Comallo:

Reservas Reguladoras (RR)

$$RR = \text{Área (A)} \times \text{Valor de Recarga (VR)}$$

$$RR = 2.700.000 \text{ m}^2 \times 0.00875 \text{ m} = 23.625 \text{ m}^3 = \mathbf{0,023625 \text{ Hm}^3/\text{año}}.$$

Reservas Geológicas (RG)

$$RG = \text{Área (A)} \times \text{Espesor del acuífero (E)} \times \text{Porosidad eficaz (Pe)}$$

$$RG = 2.700.000 \text{ m}^2 \times 20 \text{ m} \times 0,20 = 10.800.000 \text{ m}^3 = \mathbf{10,80 \text{ Hm}^3}.$$

Cálculos para el sector del valle del Ao. Trailacahue:

Reservas Reguladoras (RR)

$$RR = \text{Área (A)} \times \text{Valor de Recarga (VR)}$$

$$RR = 700.000 \text{ m}^2 \times 0.00875 \text{ m} = 6.125 \text{ m}^3 = \mathbf{0.006125 \text{ Hm}^3/\text{año}}.$$

Reservas Geológicas (RG)

$RG = \text{Área (A)} \times \text{Espesor del acuífero (E)} \times \text{Porosidad efectiva (Pe)}$

$RG = 700.000 \text{ m}^2 \times 20 \text{ m} \times 0,20 = 2.8000.000 \text{ m}^3 = \mathbf{2,80 \text{ Hm}^3}.$

Cálculos para el sector del valle del Ao. Comallo sector “Campo de Doma”

(Área de explotación actual del acuífero libre)

Reservas Reguladoras (RR)

$RR = \text{Área (A)} \times \text{Valor de Recarga (VR)}$

$RR = 758.000 \text{ m}^2 \times 0.00875 \text{ m} = 6.632,5 \text{ m}^3 = \mathbf{0.0066325 \text{ Hm}^3/\text{año}}.$

Reservas Geológicas (RG)

$RG = \text{Área (A)} \times \text{Espesor del acuífero (E)} \times \text{Porosidad efectiva (Pe)}$

$RG = 758.000 \text{ m}^2 \times 20 \text{ m} \times 0,20 = 3.032.000 \text{ m}^3 = \mathbf{3,03 \text{ Hm}^3}.$

Nota: cabe mencionar que este volumen de reservas fue calculado teniendo en cuenta solamente, el área de influencia del emprendimiento, pero sabemos que el acuífero libre local posee una extensión mucho más grande, hacia las cabeceras de los arroyos Comallo y Trailacahue, por lo cual entendemos que las reservas serían mayores a las calculadas y que la explotación se puede desarrollar sin alterar su cantidad ni calidad química actual.

Usos y Consumos

Según datos aportados por personal de la empresa prestadora de servicio de agua potable de red, actualmente se le estaría proveyendo a la localidad de Comallo, un volumen aproximado de 22 m³/h. Este agua proviene de dos sitios y dos acuíferos bien diferenciados: a) del pozo profundo (P1) que alumbró el acuífero confinado de la Fm. Collon Cura, el cual eroga un Q aproximado de 12 m³/h, ubicado en el predio donde está el tanque elevado y b) de las 5 perforaciones menos profundas (explotando el acuífero libre) ubicadas al norte del pueblo, en el predio denominado “Campo de Doma Municipal”, y cada una eroga un Q nominal aproximado de 5 m³/h (pero a la vista de los resultados estimados por el personal de ARSA, debido a la pérdida de carga del sistema, (se encuentran a casi 2 km de distancia) solo estarían llegando al tanque elevado un Q aproximado de 10 m³/h del conjunto de estas cinco bombas.

Actualmente el caudal disponible y entregado por ARSA (22 m³/h) no alcanzaría a cubrir la demanda de la población durante las horas pico de consumo, los cálculos

esbozados por la prestataria indican que se necesitaría un caudal de 30 m³/h, y dada la conformación actual del sistema, esto es muy difícil de conseguir.

Para que el sistema de extracción y distribución de agua para consumo, posea un régimen de trabajo el cual permita suplir las necesidades de la población a futuro se estima que sería necesario contar con un caudal de al menos 40 m³/h, ya que hay varios factores que participan de la ecuación que da forma a la demanda: aumento de la población local, ingreso e incorporación temporaria y/o permanente de pobladores desde otros sitios, ya sea por razones laborales, de educación, de turismo, etc.

Por eso la necesidad de realizar este estudio hidrogeológico donde, luego del trabajo de campo, el análisis y la interpretación de los datos recolectados se brinda un diagnóstico que intenta dar cuenta de la situación actual del sistema y las posibilidades de mejorarlo, ya sea a través de nuevas perforaciones como también con la optimización del servicio existente.

Con los datos brindados por ARSA se hicieron los cálculos correspondientes, y se tiene que la demanda actual de agua de red en la localidad de Comallo es de 528 m³/día, o sea 192720 m³/año. De este último valor, un 47% es aportado el acuífero libre y el 53% restante por el acuífero confinado de la Fm. Collon Cura.



Fig. 45. Área de explotación actual del acuífero libre

16 SISTEMA ACTUAL DE ABASTECIMIENTO

Durante la segunda campaña se realizó un relevamiento de las instalaciones del sistema, donde se observaron algunas inconsistencias, que aunque no graves, si se subsanaran podrían no solo optimizar el funcionamiento, sino también facilitar la operación y el mantenimiento por parte del personal técnico.

En cuanto a la infraestructura externa de los pozos productores, algunos carecían del respectivo cerco perimetral, a otros les faltaban las tapas de cierre de boca de pozo, quedando expuestos a que ingresen animales o sustancias externas que podrían contaminar el agua del pozo.

Ninguno de los pozos poseían los orificios en la tapa superior ni el tubo de pvc o manguera correspondiente, que permite introducir la sonda de medición de nivel dentro del pozo sin riesgo de que se enganche con el caño de elevación y con el cable de energía.

En dos de los pozos ubicados en el “Campo de Doma” se escuchaba el sonido característico de que la bomba estaría trabajando fuera de las condiciones óptimas. Dado que las mismas funcionan las 24 hs, no se pudieron parar para desarmar el pozo, tarea que permitiría sacarlas para luego poder bajar el equipo de filmación y revisar internamente el estado de los filtros.

Una posibilidad es que estén succionando aire, por lo que se debería revisar y hacer los ajustes correspondientes antes de que ocurran daños más complejos.

Recomendaciones

A modo orientativo, se pueden enumerar una serie de acciones correctivas que se podrían aplicar en el futuro inmediato. Así se tendría datos reales y actuales de la capacidad de producción del sistema.

Realizar un relevamiento exhaustivo de cada perforación para subsanar las inconsistencias detectadas y descritas en el punto anterior.

Levantar cada una de las bombas de los pozos operativos y realizar una video-endoscopia para tener conocimiento del diseño de cada perforación (profundidad real, posición y longitud de los filtros, estado de los mismos, etc.).

Realizar ensayos hidráulicos para conocer nivel estático, nivel dinámico, depresión, caudal de explotación (teniendo la precaución de realizar el ensayo utilizando la presión de trabajo), rendimiento del pozo y parámetros hidráulicos del acuífero explotado.

Esto aplicaría de manera muy útil en el caso de las perforaciones ubicadas en el sector denominado “Campo de Doma Municipal” que posiblemente estarían enviando al tanque elevado menor caudal de lo que se requiere.

Realizar medición de niveles (NE y ND) de cada perforación de manera rutinaria (por ejemplo una vez al mes) para empezar a armar una base de datos estadísticos, ya que sería de mucha utilidad llevar un registro histórico para tomar acciones más acertadas a futuro.

Propuestas

Uno de los objetivos de este estudio no solo es conocer con detalle las características, dimensión y capacidad de extracción del acuífero libre, sino también para esbozar propuestas de nuevas fuentes de explotación. Todo esto sin descartar seguir profundizando la investigación del acuífero confinado profundo (Fm. Collon Cura) que hoy excede el alcance de este estudio.

Desde nuestro punto de vista, y en base a los estudios y cálculos realizados, de los dos valles estudiados (A° Comallo y A° Trailacahue) si bien las características del acuífero serían similares, el que mejor escenario a futuro tiene es el del primero, aguas arriba de la localidad homónima. La disponibilidad de agua de este sector cumpliría con la demanda del recurso que necesita la localidad a futuro.

Se llega a esta conclusión por varios motivos, a saber:

- 1- La óptima respuesta del acuífero observada durante los ensayos de bombeo en los pozos de estudio
- 2- La calidad química del agua subterránea extraída de esos pozos demostró tener menos concentración de sales que el resto
- 3- La amplia superficie disponible para proyectar y construir las nuevas perforaciones, que podrían hacerse en modo de “baterías”.

Este modo de construcción de perforaciones es una de las tendencias que se emplean en la actualidad para sacar un mismo volumen de agua determinado, por ejemplo la de hacer 10 pozos con un diseño de dimensiones reducidas en lugar de 4 pozos de grandes dimensiones. Con esto se lograría una explotación sustentable y sostenible en el tiempo, con un abatimiento controlado del acuífero; mientras que los costos constructivos y de operación serían iguales o incluso menores.

Estas perforaciones podrían ser realizadas en el acuífero libre, de poca profundidad (no más allá de los 20-25 mt.) con cañería camisa y filtros en diámetros de 4 pulgadas y con bombas sumergibles que eroguen no más de 5 m³/h.

Dotacion Actual					
Pozo	Acuifero	Q unitario	m3/h	m3/d	m3/a
(1) Pozo Profundo ARSA	Fm. Collon Cura	12	12	288	105120
(5) Pozos Campo Doma	Libre	2	10	240	87600
Total			22	528	192720

Dotacion Necesaria					
Pozo	Acuifero	Q unitario	m3/h	m3/d	m3/a
(1) Pozo Profundo ARSA	Fm. Collon Cura	12	12	288	105120
(5) Pozos Campo Doma	Libre	2	10	240	87600
(4) Pozos Valle Comallo	Libre	2.5	10	240	87600
Total			32	768	280320

Dotacion a Futuro					
Pozo	Acuifero	Q unitario	m3/h	m3/d	m3/a
(1) Pozo Profundo ARSA	Fm. Collon Cura	12	12	288	105120
(5) Pozos Campo Doma	Libre	2	10	240	87600
(8) Pozos Valle Comallo	Libre	2.5	20	480	175200
Total			42	1008	367920

Tabla 12: Volúmenes de explotación actuales y futuros

Respecto a las posibles nuevas perforaciones al acuífero profundo (Fm. Collon Cura) aún no se cuenta con datos suficientes que permitan conocer las características hidráulicas del acuífero, su dimensión y rendimiento, por lo que se sugiere realizar estudios directos para poder conocer el desempeño de este acuífero y definir su capacidad para utilizarlo como nueva fuente de aporte de agua.

17. HIDROQUÍMICA

La calidad y caracterización química del agua, tanto superficial como subterránea, es un aspecto muy importante para el estudio de una cuenca hidrológica y es de suma utilidad para el entendimiento del sistema hidrogeológico.

Por ello, en las campañas llevadas a cabo para el presente estudio, se relevaron sitios de interés, que incluyeron pozos de agua de particulares, municipales y de la empresa prestataria provincial (ARSA), sobre los cuales se tomaron parámetros in situ (conductividad eléctrica y temperatura), en ambas oportunidades.

A partir del procesamiento en gabinete de todas las captaciones relevadas durante las campañas realizadas, contabilizando 24 puntos, se definieron en base a sus características in-situ, uso destinado de la fuente, accesibilidad, geomorfología, ambiente geológico, etc., 20 sitios para incluirse en el muestreo de agua, las cuales

fueron enviadas al laboratorio GEMA, ubicado en la localidad de La Plata y al laboratorio “A. Villordo Asesoramiento”, ubicado en la localidad de Bariloche. A estas muestras se les realizó un análisis físico-químico. En el Anexo 1 se adjuntan los protocolos con los resultados de las muestras entregadas a los laboratorios. A continuación, se expone la caracterización química en base a los parámetros in-situ recopilados en ambas campañas, sobre la totalidad de los sitios relevados (24 puntos).

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica medida in-situ en el agua en la cuenca de interés demuestra que la misma es mayormente de tipo dulce, salvo algunas excepciones como lagunas expuestas a elevadas tasas de evaporación, lo que genera la concentración de iones en el agua aumentando la salinidad.

Los valores registrados en los sitios relevados, se encuentran en promedio en 1014 $\mu\text{S/cm}$, con un mínimo de 642 $\mu\text{S/cm}$ en el Pozo P12 (Chacra Hermosilla) uno de los pozos más alejados, en el sector SW de la cuenca y el valor máximo de 1732 $\mu\text{S/cm}$, corresponde al Pozo P5 (unión arroyos) ubicado al norte de Comallo, en la unión con el Ao. Trailacahue.

Según la clasificación extraída de Hidrogeología subterránea de Emilio Custodio (segunda edición), para los valores de conductividad, el agua se puede clasificar como dulce (hasta 3.000 $\mu\text{S/cm}$), agua salobre (entre 3.000 y 7.000 $\mu\text{S/cm}$) y agua salada (>7.000 $\mu\text{S/cm}$).

En el mapa que se muestra a continuación se indican las perforaciones muestreadas, y en la tabla vinculada sus características relevadas mencionadas anteriormente.



Figura 46. Ubicación de los pozos muestreados en la campaña de octubre y enero.

Como se describió anteriormente, en general, el agua analizada presenta valores de calidad que aunque con algunas salvedades, estarían en condiciones de ser aprovechadas para el consumo humano, sin requerir tratamiento previo, salvo el agregado de cloro para evitar la proliferación de bacterias.

Después de revisar los protocolos que se adjuntan en el anexo 1, se pueden hacer algunas observaciones en los siguientes pozos, que se ubican en la Fig. 45 precedente: el 50% de las muestras poseen muy altos valores de **sulfatos** que sobrepasan los 400 mg/l normado por el Código Alimentario Argentino (CAA) en el Cap. 12, Art. 982, siendo la muestra M13 (pozo Plaza Eva Perón) la que contiene el valor más alto: 1316 mg/l). Hay tres muestras que superan el valor límite de 250 mg/l para el contenido de **sodio**, con el máximo representado por la muestra M7 (pozo Trípode ARSA: 545 mg/l). En cuanto a los **nitratos**, cuyo límite es 45 mg/l: hay tres pozos que lo superan, siendo el máximo valor hallado en la muestra M16 (pozo Abuela Guille, con 1100 mg/l).

ID Mapa	Pozo	Coordenadas		Nivel Estático (mbbp)	Cond. Elect. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T° (°C)
1	Perf. 2 ARSA abandonada	41°01'52.5" S	70°16'06.5" W	66.70	645	16.1
2	Pozo Hanzel FF CC	41°01'59.2" S	70°15'39.7" W	15.05	1103	12.3
3	Pozo 3 ARSA	41°01'51.1" S	70°16'21.9" W	3.88	873	11.6
4	Pozo 3C ARSA	41°01'51.0" S	70°16'21.3" W	3.81	871	11.5
5	Pozo 1 ARSA (union arroyos)	41°01'24.1" S	70°15'42.0" W	4.57	1732	14.2
6	Pozo 2 ARSA	41°01'17.1" S	70°15'41.2" W	4.64	1541	13.6
7	Pozo Tripode ARSA	41°01'10.3" S	70°15'30.7" W	9.80	968	15.7
8	Pozo Campo Doma Regador	41°01'09.7" S	70°15'26.6" W	6.40	815	14.2
9	Pozo Campo Doma ARSA	41°01'10.3" S	70°15'27.5" W	6.68	862	13.3
10	Pozo Campo Doma Buffet	41°01'07.9" S	70°15'28.1" W	5.78	672	12.4
11	Pozo Chacra Meliqueo	41°02'11.1" S	70°13'36.3" W	6.41	1048	13.1
12	Pozo Chacra Hermosilla	41°02'52.8" S	70°18'57.5" W	6.00	642	11.2
13	Pozo Plaza Eva Peron	41°01'38.6" S	70°16'02.8" W	3.37	1246	17.4
14	Pozo Najul	41°02'23.5" S	70°18'30.3" W	7.05	1145	18.2
15	Pozo Andres	41°02'07.7" S	70°18'04.2" W	8.10	698	17.1
16	Pozo Abuela Guille	41°01'43.7" S	70°16'15.2" W	5.06	1257	16.8
17	Pozo Paseo 30 de Marzo	41°01'56.4" S	70°16'09.5" W	12.40	1265	19.1
18	Pozo Tulipanes	41°01'44.2" S	70°16'25.4" W	5.05	691	15.8
19	Pozo Fabrica Bloques	41° 02'4.13" S	70°17'04.54"W	5.51	720	16.7
20	Pozo Vivero Municipal	41°02'09.1" S	70°16'48.2" W	9.03	859	18.1
21	Pozo Roxana Narambuena	41° 1'45.73"S	70°14'14.68"W	5.65	1298	17.9
22	Pozo Llanos	41° 3'0.90"S	70°19'16.31"W	4.56	987	16.5
23	Pozo Plaza la Amistad	41° 1'44.00"S	70°15'21.60"W	4.84	1127	15.8
24	Pozo Dina	41° 1'52.20"S	70°15'25.41"W	5.95	1274	16.5

Tabla 13. Ubicación de pozos relevados y datos de calidad de agua recolectados in situ.



Foto 4. Toma de muestras de agua.



Foto 4. Toma de muestras de agua.



Foto 5. Toma de datos in situ del agua del arroyo Comallo y de pozos de particulares.

Representación de composición química en Diagramas de Stiff

Con los resultados obtenidos de los análisis de las muestras recolectadas en las dos campañas, se confeccionaron los gráficos de Stiff para observar la composición química. En el Anexo 2 adjunto se pueden observar los diagramas representativos de cada una de las muestras.

Representación de composición química en Diagramas de Piper

Con los datos recolectados en las campañas de octubre de 2022 y enero de 2023, se volcaron los valores en los diagramas de Piper. En el Anexo 3 adjunto se pueden observar los diagramas representativos de cada una de las muestras.

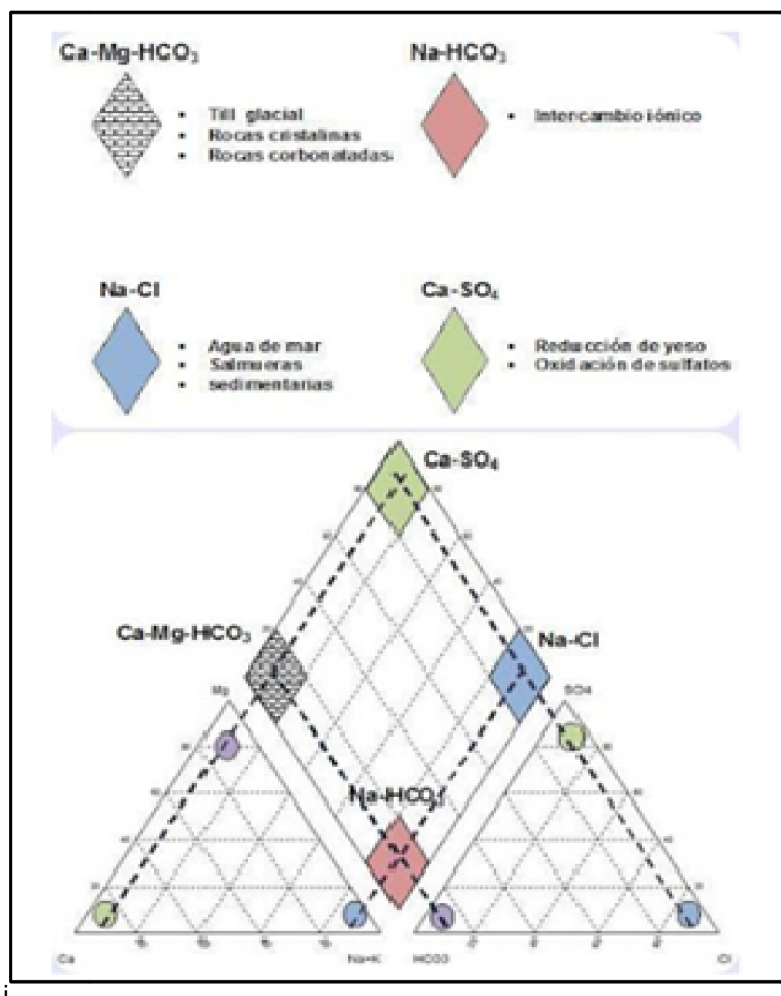


Fig. 47. Diagrama de Piper

Luego de volcar los resultados de los análisis de las 12 muestras en la primera campaña (M1 a M12) en los diagramas de Piper, podemos observar que la mayoría de las muestras corresponden a aguas Sulfatadas - Bicarbonatadas Cálcicas y/o Magnésicas. Teniendo en cuenta la clasificación y los procesos de interacción agua - roca se podría expresar el origen que caracteriza a estas aguas:

- Rocas cristalinas, rocas carbonatadas, depósitos de tipo glacial • Aguas de disolución de yeso / oxidación de sulfatos.

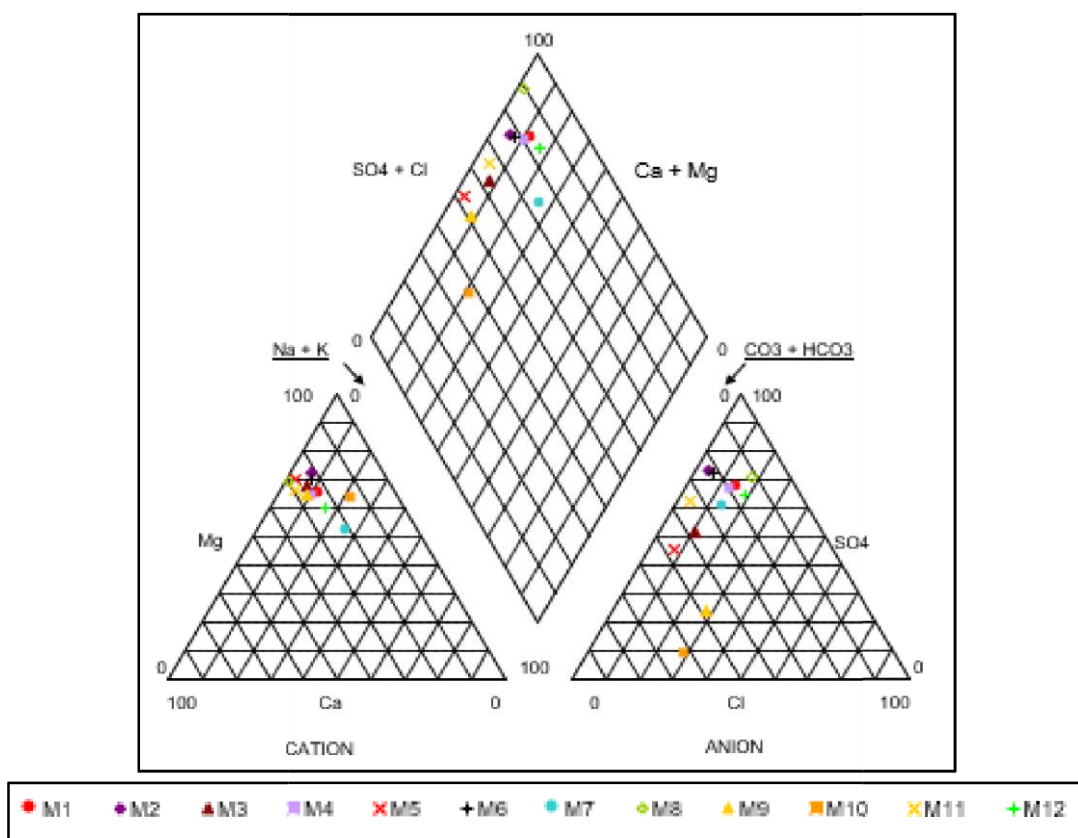


Figura 48. Diagrama de Piper para las 12 muestras recolectadas en octubre 2022

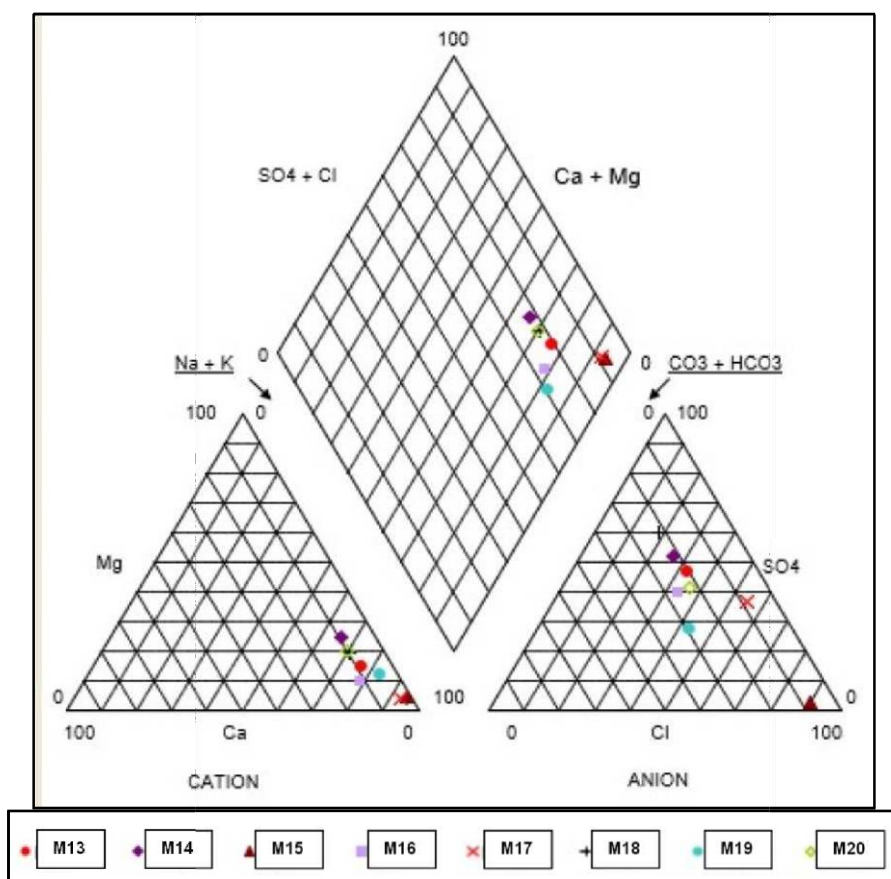


Figura 49. Diagrama de Piper para las 8 muestras analizadas en febrero 2023

Luego de volcar los resultados de los análisis de las 8 muestras recolectadas en la segunda campaña (M13 a M20) en los diagramas de Piper, podemos observar que en general, la mayoría de las muestras corresponden a aguas Cloruradas y/o Sulfatadas sódicas. Teniendo en cuenta la clasificación y los procesos de interacción agua - roca se podría expresar el origen que caracteriza a estas aguas:

- Rocas sedimentarias
- Aguas de disolución de yeso / oxidación de sulfatos.

18. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE ABASTECIMIENTO

Durante las campañas se realizaron los relevamientos vinculados al sistema de abastecimiento actual de agua subterránea, operado por la empresa ARSA. Los puntos considerados fueron los siguientes:

- a. Cantidad de perforaciones activas e inactivas
- b. Tipos de reservorios explotados
- c. Caudales de extracción de cada pozo
- d. Niveles estáticos
- e. Conductividad eléctrica
- f. Temperatura
- g. Coordenadas geográficas de cada perforación
- h. Consulta con la comunidad usuaria del recurso respecto a la calidad del servicio.

19. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

La intensificación en la toma de datos sobre el sector SW de los sedimentos continentales modernos, que incluyen a una delgada y dispersa cobertura de rodados y gravas y a los depósitos aluviales, eólicos y coluviales, del Holoceno y Reciente, y que ocupan casi toda la superficie del valle del Arroyo Comallo, son los que más relevancia adquirieron en este estudio. Estos consistieron fundamentalmente en las secciones en secuencia y equidistantes de tomografía, junto con los ensayos hidráulicos realizados en los pozos presentes en dicho sector.

Sumado a la geofísica y ensayos hidráulicos, se tomaron muestras para análisis de laboratorio. Estas muestras arrojaron valores de calidad que se encuentran dentro de parámetros normales y de esta manera se concluye que podrá utilizarse como base

para el cálculo de reservas, disponibilidad y calidad de agua con posibilidad de explotación de manera sustentable para consumo humano.

- En base al área delimitada dentro de la cual se efectuaron los estudios (tomografías, ensayos hidráulicos, y muestreos para laboratorio), es que se llegó a una estimación aproximada del volumen de reservas disponibles en el acuífero de tipo libre, existente en los sedimentos de relleno actuales del valle de los arroyos Comallo y Trailacahue.
- De los tres potenciales reservorios evaluados, tanto con bibliografía, como con datos obtenidos en el campo a partir del relevamiento geofísico, se puede concluir que el relleno moderno de los arroyos Comallo y Trailacahue, representa la alternativa más accesible, considerando la complejidad de la obra de captación, costos de la misma, y acceso a los sitios para realizarla. Incluso dentro de estos dos escenarios, el mejor sería el sector sobre el valle del Ao. Comallo, ubicado aguas arriba de la localidad, y que se puede observar en la fig. siguiente.



Fig. 50. Area favorable para realizar un campo de bombeo.

- La investigación sobre los medios fisurados arrojó interesantes resultados preliminares, en los que aunque no se pueda tener una población de datos suficientes para ser concluyentes en su significado, sí mostraron lógica y coherencia. La sugerencia en este punto es continuar indagando al respecto para

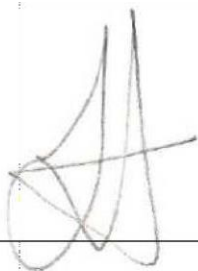
obtener más población de datos indirectos que pudieran eventualmente corroborarse con datos puntuales directos.

- La calidad química del agua, aunque con algunas variaciones zonales puntuales, no presenta limitaciones en cuanto a su calidad para ser considerada apta para consumo.
- En base a la caracterización del acuífero libre realizada sobre el sector SW del valle del arroyo Comallo, y su consecuente potencial para explotación del recurso hídrico subterráneo, se sugiere tenerlo en consideración, a la hora de planificar desarrollos urbanísticos, para evitar vulnerar o alterar las condiciones naturales del suelo y en consecuencia del acuífero subterráneo debajo de él.
- En el futuro a la hora de proyectar nuevas perforaciones de captación, se sugiere contemplar un diagrama de distanciamiento de las mismas, y diseño constructivo que garanticen la sustentabilidad en su explotación a lo largo del tiempo.
- En base a los datos obtenidos con relevamiento geofísico sobre la Fm. Collon Cura, y considerando que la perforación más profunda instalada capta de esta formación desde hace ya más de 30 años, aportando a caudal constante de manera sustentable, se sugiere intensificar los estudios, de manera de poder identificar la existencia de facies que representaran potenciales reservorios. Estos estudios implican; nuevas perforaciones profundas (hasta 130mbbp), análisis litológico de muestras durante la perforación para constitución de columna lito-estratigráfica, perfilaje eléctrico de pozo, ensayos hidráulicos.
- En base a los registros más próximos tenidos en cuenta para realizar las estimaciones vinculadas a datos meteorológicos, resulta imprescindible contar con datos más locales, que permitan un ajuste mejor de las condiciones climáticas. De esta manera permitirá un registro más confiable y por lo tanto un seguimiento estadístico de datos más precisos. Esto es de suma importancia para continuar con el seguimiento y conocimiento de los recursos naturales con los que cuenta la población de la localidad de Comallo.

- Se sugiere para cumplimentar el punto anterior la instalación de una estación meteorológica portátil (registrando los eventos de precipitaciones, vientos, y temperatura, entre otros). A estos datos se sugiere realizar monitoreos regulares, que consistan en la medición de los niveles freáticos dentro de las perforaciones utilizadas en el estudio, como así también las municipales y las provinciales que actualmente se utilizan para el suministro de agua de red de la población. El análisis de estos datos será para seguir la respuesta del acuífero a lo largo del año y la influencia sobre éste por parte del clima y de la explotación humana. Estos datos apuntan a lograr una gestión del recurso subterráneo de forma sustentable.
- Considerando la geología regional, y meteorología del resto de las localidades de la denominada “línea sur” de la provincia, es importante remarcar que el modelo hidrogeológico obtenido en la localidad de Comallo, sería replicable al resto de los pueblos, en donde a partir de ello se permita entender de manera específica las estimaciones de reservas con las que se cuentan, su calidad, posibilidad de explotación, diseño de obras de captación, distribución de los pozos, y todos los datos que constituyan una optimización de la explotación del recurso hídrico subterráneo, más allá de los estudios regionales con los que hoy día se cuentan.



Lic. MARTÍN SILVESTRI
GEÓLOGO
M.P. B-G 488



BORSANI IGNACIO
Lic. en Geología
M.P. B-G653

20. ANEXOS Y FUENTES CONSULTADAS

Anexos

- anexo 1 Protocolos de laboratorio
- anexo 2 Diagramas de Stiff
- anexo 3 Diagramas de Piper
- anexo 4 Planillas de registro de bombeos
- anexo 5 Gráficos de ensayos hidráulicos

Auge, M.P. Gebhard, J.A. y Zucchini, B. 2013 a. “Estudio hidrogeológico de la Región Sur de la Provincia de Río Negro con énfasis en acuíferos de medios fisurados. Etapa II”. Informe final. CFI-ARSE. Inéd.

González Díaz, E. y Malagnino, E. 1984. “Geomorfología”: 347-364. Relatorio del IX Congreso Geológico Argentino. Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Río Negro.

INDEC. 2012. “Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010”. Serie B, # 2, T 1:1-371 y Serie B, # 2, T 2:1-406.

Organización Mundial de la Salud. 2008. “Guías para la calidad del Agua Potable”. Vol. I. ISBN 92 4 154696 4.

Theis, C.V. 1935. “The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage”. Am. Geophys. Union Trans. 16: 519-524.

Thornthwaite, C.W. 1948. “An approach toward a rational classification of climate”. Rep. Geograph. Rev. V XXXVIII. # 1.

Thornthwaite, C.W. & Mather, J.R. 1955. “The water balance”. Climatology, Vol. 8, # 1. C.W. Thornthwaite & Associates. Centerton, New Jersey.

Thornthwaite, C.W. & Mather, J.R. 1957. “Instructions and tables for computing the potential evapotranspiration and the water balance”. Climate Drexel Inst. of Techn. # 10.

<https://mapa.ign.gob.ar/>

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

<https://www.argentina.gob.ar/inta>