ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO I

1 INTRODUCCIÓN ..... - 1 -

2 OBJETIVOS ..... - 3 -

2.1 Principales ..... - 3 -

2.2 Secundarios ..... - 3 -

3 ÁREA GENERAL DE ESTUDIO ..... - 4 -

4 METODOLOGIA ..... - 5 -

4.1 Recopilación de información antecedente ..... - 5 -

4.2 Elaboración de cartografía y procesamiento GIS ..... - 6 -

4.3 Relevamiento Geológico – Hidrogeológico ..... - 6 -

4.4 Prospección geoeléctrica ..... - 10 -

4.4.1 Metodología de campo ..... - 10 -

4.4.2 Instrumental ..... - 11 -

4.4.3 Señalización y nomenclatura de los SEVs. ..... - 12 -

4.4.4 Procesamiento e interpretación de SEV. ..... - 13 -

4.5 Muestreo y análisis de laboratorio ..... - 13 -

5 MEDIO FÍSICO ..... - 16 -

5.1 Hidrometeorología y Clima ..... - 16 -

5.1.1 Caracterización climática regional ..... - 17 -

5.1.2 Precipitación ..... - 18 -

5.1.2.1 Estaciones meteorológicas locales ..... - 22 -

5.1.3 Temperatura media ..... - 24 -

5.1.4 Humedad relativa ..... - 25 -

5.1.5 Viento ..... - 26 -

5.1.6 Evapotranspiración ..... - 27 -

5.1.7 Balance hidrológico ..... - 29 -

5.2 Geología y geomorfología ..... - 33 -

5.2.1 Geología ..... - 33 -

5.2.1.1 Contexto geológico regional ..... - 33 -

5.2.1.2 Contexto geológico local ..... - 35 -

5.2.2 Geomorfología ..... - 41 -

5.3 Hidrología Superficial ..... - 43 -

5.3.1 Aforos ..... - 45 -

5.4 Hidrogeología ..... - 50 -
5.4.1 Hidrogeología regional ..... *- 50 -*
5.4.2 Unidades hidrolitológicas locales ..... *- 51 -*
5.4.3 Parámetros hidráulicos ..... *- 54 -*
5.4.3.1 Ensayo a caudal constante en Pozo CFI-04 (COP-12) ..... - 55 -
5.4.3.2 Ensayo a caudal constante en Pozo Equimac (COP-08) ..... - 56 -
5.4.3.3 Ensayo a caudal constante en Pozo Cantera Molienda Tandilia (NYU-77) ..... - 57 -
5.4.3.4 Resumen de datos existentes ..... - 58 -
5.4.4 Hidrodinámica ..... *- 61 -*
5.5 Exploración geofísica y perfiles hidrogeológicos ..... - 64 -
5.5.1 Resultados ..... *- 66 -*
5.5.1.1 Modelo de resistividad verdadera. ..... - 67 -
5.5.1.2 Sector Aeropuerto ..... - 68 -
5.5.1.3 Sector Este Jacobacci ..... - 75 -
5.5.1.4 Sector Oeste Jacobacci ..... - 81 -
5.5.1.5 Sector Huanuluan ..... - 84 -
5.5.1.6 Sector Ojos de Agua ..... - 89 -
5.5.2 Conclusiones del estudio geofísico ..... *- 91 -*
5.6 Hidroquímica ..... - 92 -
5.6.1 Parámetros in situ ..... *- 92 -*
5.6.1.1 Conductividad eléctrica ..... - 92 -
5.6.1.1 pH ..... - 93 -
5.6.2 Caracterización química del agua ..... *- 93 -*
5.6.2.1 Diagramas hidroquímicos ..... - 94 -
5.6.2.1.1 Agua superficial ..... - 97 -
5.6.2.1.2 Agua subterránea (pozos y aguadas) ..... - 98 -
5.6.2.1.3 Agua subterránea (vertientes - mallines) ..... - 102 -
5.6.2.1.4 Diagramas de Stiff ..... - 105 -
5.6.2.2 Relaciones iónicas ..... - 105 -
5.6.2.2.1 Agua subterránea (pozos y aguadas) ..... - 105 -
A. Índice de intercambio de bases (icb) ..... - 105 -
B. Relación $rCl^-/rHCO_3^-$ ..... - 106 -
C. Relación rMg^{+2} / rCa^{+2} ..... - 107 -
5.6.2.2.2 Agua subterránea (vertientes - mallines) ..... - 108 -
A. Índice de intercambio de bases (icb) ..... - 108 -
B. Relación $rCl^-/rHCO_3^-$ ..... - 108 -
C. Relación rMg^{+2} / rCa^{+2} ..... - 109 -
5.6.3 Calidad de agua ..... *- 109 -*

5.6.3.1 Agua superficial ..... - 110 -
5.6.3.1.1 Físico – químico ..... - 110 -
5.6.3.2 Agua subterránea ..... - 111 -
5.6.3.2.1 Físico – químico ..... - 111 -
5.6.3.2.2 Microbiológico ..... - 114 -
6 USO Y GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO ..... - 116 -
6.1 Zona rural ..... - 116 -
6.2 Paraje Ojos de Agua ..... - 117 -
6.3 Localidad de Ingeniero Jacobacci ..... - 118 -
6.3.1 Sistema I ..... - 120 -
6.3.2 Sistema II ..... - 121 -
6.3.3 Sistema III ..... - 122 -
6.3.4 Válvulas de Retención ..... - 123 -
6.3.5 Cisternas ..... - 124 -
6.3.6 Sistema cloacal ..... - 126 -
6.3.7 Recomendaciones ..... - 127 -
6.4 Consumos en Ingeniero Jacobacci ..... - 130 -
7 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL PRELIMINAR ..... - 136 -
8 BALANCE HIDROLÓGICO PRELIMINAR ..... - 139 -
8.1 Cálculo de reservas ..... - 144 -
9 CAPACITACIÓN Y CONCIENTIZACIÓN CIUDADANA ..... - 146 -
9.1 Reunión inicial ..... - 146 -
9.2 Jornadas de capacitación ..... - 146 -
9.3 Taller final ..... - 149 -
10 CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES ..... - 150 -
10.1 Propuesta Etapa II ..... - 152 -
10.1.1 Propuesta de perforaciones de exploración hidrogeológica ..... - 153 -
10.1.1.1 Características constructivas ..... - 153 -
10.1.1.1 Dirección técnica / control geológico ..... - 156 -
10.1.1.2 Perfilaje eléctrico del sondeo ..... - 156 -
10.1.1.3 Entubado y engravado ..... - 156 -
10.1.1.4 Cloración y desarrollo ..... - 157 -
10.1.1.5 Terminación superficial y colocación de sello sanitario ..... - 157 -
10.1.1.6 Informe técnico de pozo ..... - 158 -
10.1.2 Pruebas hidráulicas ..... - 158 -
10.1.2.1 Ensayo a caudal escalonado ..... - 158 -

10.1.2.2 Ensayo a caudal constante ..... - 159 -
10.1.2.3 Ensayo de recuperación ..... - 159 -
10.1.2.4 Procesamiento de gabinete ..... - 159 -
10.1.3 Plan de Monitoreo ..... - 160 -
10.1.3.1 Muestreo y análisis de laboratorio ..... - 160 -
10.1.3.2 Censo de niveles y caudales en captaciones subterráneas ..... - 160 -
10.1.3.3 Aforos de cursos superficiales ..... - 161 -
10.1.4 Informe integrador ..... - 162 -
11 BIBLIOGRAFÍA ..... - 163 -

MAPAS

Mapa 1 – Área de Estudio

Mapa 2 – Imagen satelital Landsat 8 – Análisis de NDVI

Mapa 3 – Mosaico de imágenes satelitales Sentinel 2 (Agencia Espacial Europea)

Mapa 4a – Relevamiento de manifestaciones de agua

Mapa 4b – Relevamiento de manifestaciones de agua detalle localidad Ing. Jacobacci

Mapa 5 – Sitios de muestreo

Mapa 6 – Estaciones meteorológicas e isohietas

Mapa 7 – Geología

Mapa 8 – Geomorfología

Mapa 9 – Red hídrica, cuencas y topografía

Mapa 10 – Unidades Hidrolitológicas

Mapa 11 – Equipotencial regional y detalle (agosto – septiembre 2021)

Mapa 12 - Ubicación de Sondeos Eléctricos Verticales

Mapa 13 – Parámetros in situ - Conductividad eléctrica – Ago. y sep. 2021

Mapa 14 – Parámetros in situ - pH – Agosto y septiembre 2021

Mapa 15 – Diagramas de Stiff

Mapa 16 – Relaciones iónicas – icb

Mapa 17 – Concentración de iones mayoritarios (Cloruro)

Mapa 18 – Concentración de iones mayoritarios (Fluoruro)

Mapa 19 a – Sistema de abastecimiento de agua en Ingeniero Jacobacci – Imagen satelital

Mapa 19 b – Sistema de abastecimiento de agua en Ingeniero Jacobacci - Topográfico

Mapa 20 – Esquema de sistema de abastecimiento de agua a Ingeniero Jacobacci

Mapa 21 – Espesor del Paquete Resistivo Superior

Mapa 22 - Propuesta Etapa II

ANEXOS

Anexo I – Plataforma SIG

Anexo II - Registro fotográfico

Anexo III - Tabla final de Relevamiento Geológico - Hidrogeológico

Anexo IV - Planillas de campo de Relevamiento

Anexo V - Análisis de laboratorio

- Subanexo V a - Cadenas de custodia
- Subanexo V b - Protocolos de muestras
- Subanexo V c – Datos hidroquímicos antecedentes
- Subanexo V d - Calidad de agua

Anexo VI - Aforos

Anexo VII - Ensayos de bombeo

- Subanexo VII a - Planillas de bombeo
- Subanexo VII b - Interpretación de ensayos

Anexo VIII - Exploración geofísica

- Subanexo VIII a - Curvas de interpretación geofísica
- Subanexo VIII b – Secciones geofísicas

Anexo IX – Relevamiento de sistema de abastecimiento en Ing. Jacobacci

Anexo X – Taller de divulgación y capacitación

RESUMEN EJECUTIVO

El "**Estudio Hidrogeológico del Acuífero Huahuel Niyeu – Etapa I"** corresponde al contrato celebrado entre el Consejo Federal de Inversiones (CFI) e HIDROAR S.A. (Expte.: EX-2021-00012892- -CFI-GES#DCS) para la gestión técnica y financiera de la solicitud de asistencia técnica de la Provincia de Río Negro, a través del Departamento Provincial del Agua (DPA).

Se ha solicitado la realización de un estudio que permita conocer el o los acuíferos existentes en la cuenca del Arroyo Huahuel Niyeu, definiendo su Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC) para así evaluar la disponibilidad de agua, su calidad, los consumos y tipos de uso actuales, y, adicionalmente, concientizar a la población sobre la gestión responsable del recurso hídrico.

La Contraparte Técnica por parte de la provincia de Río Negro fue el Ing. Daniel Petri, Intendente General de Recursos Hídricos, con la colaboración del Lic. Gustavo Olivares, y por parte del CFI el Lic. Nicolás Jovic, del Área Recursos Naturales y Ambiente.

Para esto se han definido dos etapas principales de estudio, de las cuales el presente informe abarca la Etapa I, dentro de la cual se establecieron como objetivos principales la elaboración de un mapa hidrogeológico de la cuenca de estudio, la definición del MHC preliminar y definir acciones a realizarse dentro de la Etapa II de este estudio. Como objetivos secundarios pueden mencionarse la generación de una base de datos y la capacitación de las autoridades, personal y población en general de los estudios realizados y de las problemáticas asociadas a los recursos hídricos.

El área de estudio comprende la subcuenca del Arroyo Huahuel Niyeu y se ubica en la zona oeste de la Provincia de Río Negro, comprendiendo unos 2.055 km^2. La principal localidad del sector corresponde a Ingeniero Jacobacci, con una población estimada de 10.000 habitantes.

La zona de interés cuenta con estudios antecedentes, los cuales fueron analizados para contar la mayor información de base posible. Entre ellos pueden mencionarse el "Estudio hidrogeológico para la provisión de agua a Ingeniero Jacobacci", realizado por el CFI en 1991, los estudios "Relevamiento Sistema de Provisión de Agua de Ingeniero Jacobacci" y "Servicio de provisión de agua Ingeniero Jacobacci – Hidroquímica de las fuentes captadas", llevados a cabo por el Lic. Gustavo Olivares, del DPA, en 2018 y el "Informe estadístico de los consumos de agua (2010-2016)", realizado por Jorge García y el Lic. José Bassan en 2018.

Para determinar el clima de la zona de estudio se tomaron datos de los últimos 40 años (1980-2020) provenientes de nueve estaciones meteorológicas. Según la clasificación de Koppen-Geiger, el sector de estudio corresponde a una zona de transición entre desértico frío y estepario o semiárido templado y frío. Se

caracteriza por presentar precipitaciones en el orden de los 200 mm/año, si bien desde el 2017 los registros se encuentran por debajo de la media. En general la estación más lluviosa es otoño-invierno, observando precipitaciones pluviales y nivales. Las temperaturas medias varían entre 13,5 y 22,6ºC para la época estival y entre 2 y 8ºC para el período invernal. Por su parte, la humedad relativa suele encontrarse entre 40 y 70%, mientras que los vientos presentan una dirección predominante desde el oeste y sudoeste con velocidades medias para Ing. Jacobacci de 5 km/h.

La evapotranspiración potencial promedio se estimó en 634 mm/año. Al realizar el balance hidrológico con los datos disponibles, se observó que predomina el déficit hídrico en la región, pudiendo existir excedentes puntuales para los meses invernales a primaverales, dependiendo de la estación meteorológica analizada.

La geología de la zona se conforma por un basamento ígneo volcánico (Fm. Garamilla y Taquetrén) del Mesozoico, sobre el cual se disponen distintas sedimentitas (areniscas, arcilitas, conglomerados, tufitas, tobas) y vulcanitas (basaltos, andesitas, brechas volcánicas e ignimbritas) tanto del Cretácico como del Terciario. Por último, aparecen los depósitos cuaternarios constituidos por sedimentos sueltos y coladas basálticas recientes.

La geomorfología está dominada en primera instancia por las planicies estructurales lávicas, seguidas por valles y quebradas originados por la acción fluvial del A. Huahuel Niyeu y otros cursos menores. Las terrazas y planicies de inundación asociados a dichos cursos, suelen tener escaso desarrollo. También existen abanicos aluviales que se encuentran conformando bajadas antiguas disectadas por la acción fluvial actual. Para el proceso eólico se observan dunas y mantos de arena que se superponen a otras geoformas, producto de la deflación y acumulación eólica. Otra de las geoformas más presentes en la cuenca de estudio corresponde a los relieves erosivos de las formaciones rocosas, las cuales pueden observarse en toda la región.

La zona de estudio se encuentra enmarcada en la cuenca regional de las Lagunas Cari Laufquen. El Arroyo Huahuel Niyeu desemboca en el Arroyo Maquinchao, a partir del cual se conecta con las lagunas mencionadas, que actúan como nivel de base regional y le otorgan el nombre a la cuenca mayor.

El A. Huahuel Niyeu es de régimen en general transitorio, exceptuando su zona de nacientes donde corre de manera permanente. El único afluente de interés corresponde al Arroyo Yuquiche de tipo transitorio, con tramos perennes en su cuenca alta.

La subcuenca no presenta cuerpos de agua permanentes, pero si existen pequeñas vertientes perennes que escurren hasta infiltrarse. Hacia el Norte de Ingeniero Jacobacci se desarrolla una microcuenca centrípeta denominada Bajo del Colorado, la cual solo presenta escurrimientos efímeros. Esta microcuenca se conectaría con el A. Huahuel Niyeu ante eventos de crecientes.

De modo preliminar y para conocer el comportamiento del A. Huahuel Niyeu, se realizaron aforos expeditivos registrando caudales en la zona cercana a las nacientes de 254,8 m^3/h que van decreciendo hasta infiltrarse completamente a unos 15-20 km de Jacobacci. También se realizaron aforos de las vertientes de la subcuenca, con caudales variables entre <1 m^3/h hasta 25 m^3/h.

Las unidades hidrolitológicas definidas para la zona fueron, de más antigua a más reciente:

- Basamento Hidrogeológico Regional, compuesto por rocas volcánicas antiguas de comportamiento en general acuífugo, pero con posibles características acuíferas locales en medios fracturados.
- Sedimentitas Cretácico-Terciarias, compuestas por tobas, limolitas, areniscas y conglomerados, los cuales suelen tener comportamiento acuitardo e incluso acuífugo, si bien en otras regiones cercanas se detectaron acuíferos de interés, por lo que no debe descartarse esta posibilidad.
- Vulcanitas Cenozoicas, conformadas por basaltos, andesitas e ignimbritas principalmente, que serían unidades acuífugas pero que al estar fracturadas podrían contener acuíferos secundarios y/o actuar como zonas de recarga, especialmente las mesetas basálticas.
- Sedimentos Cuaternarios, que abarcan todos los depósitos aluviales, de remoción en masa, de abanicos, etc. y que se componen de gravas, arenas, limos y arcillas y que conforman la unidad de mayor interés, donde se aloja el acuífero primario con Transmisividades entre 80 y 300 m^2/d.

El flujo subterráneo de la subcuenca presenta una morfología radial convergente y coincidiría a grandes rasgos con el escurrimiento superficial, existiendo una relación dinámica entre la topografía y el flujo subterráneo, lo cual se refleja en los manantiales y mallines típicos de la zona.

Durante los trabajos de campo, se realizó una exploración geofísica con 60 SEV distribuidos principalmente sobre el valle actual del A. Huahuel Niyeu, observando una buena correlación con los estudios realizados por el CFI en 1991. De esta manera se obtuvieron secciones geofísicas que permitieron determinar sectores de interés para la exploración hidrogeológica de mayor detalle.

Los relevamientos de campo abarcaron un censo de 150 puntos que contemplaron cursos de agua, aguadas, vertientes, mallines y pozos de agua excavados y perforados. De estos puntos se seleccionaron 40 muestras de agua para realizar análisis físico-químicos y en 20 de ellos se adicionaron bacteriológicos. A partir de esto se observó que el agua de la zona de estudio es en general de características bicarbonatadas sódicas a sódico-cálcicas, tanto para las aguas subterráneas como para las superficiales. En general, presentan conductividades eléctricas típicas de aguas dulces, con un ligero aumento de los valores hacia aguas

abajo, pero siempre manteniéndose en el rango de agua dulce. Los pH medidos fueron neutros a ligeramente alcalinos en la mayoría de los casos.

El abastecimiento de agua en los puestos de la zona rural se realiza generalmente a partir de vertientes y pozos excavados. Por otro lado, la localidad de Ojos de Agua cuenta con un pozo de gran diámetro, mientras que la localidad de Ingeniero Jacobacci, que corresponde a la zona de mayor consumo, cuenta con un suministro abastecido por perforaciones, pozos de gran diámetro y captación de vertientes cercanas.

Se ha observado que parte de las captaciones del sistema de Jacobacci se encuentran deficientes en algún aspecto, con necesidad de mejoras específicas (sello sanitario, instalación de caudalímetros, reparaciones, etc.). Una falencia importante es la falta de caudalímetros y de sondas de nivel que permitan conocer los volúmenes extraídos y el seguimiento de los niveles de agua, respectivamente.

El consumo de agua registrado para el período 2010-2021 en Ingeniero Jacobacci varía entre 300.000 y 400.000 m^3/año, sin observarse aumentos marcados. Considerando que la población ha aumentado de 6.261 habitantes en 2010 a un estimado de al menos 10.000 habitantes para el 2021, y que los consumos no han aumentado, se desprende que existen incongruencias en los valores de consumo medidos. A esto se suma la falta de datos fiables de extracción de volúmenes de agua, por lo que es probable que los valores de consumo no sean representativos de la realidad.

A partir de todos los datos recabados en las tareas de campo y en la lectura de estudios antecedentes, se pudo desarrollar el Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC) preliminar de la zona de estudio, donde se determinó que la recarga de los acuíferos es autóctona, a través de las precipitaciones pluviales y nivales. El acuífero de mayor interés corresponde al acuífero primario alojado en los sedimentos Cuaternarios, especialmente en el valle principal del A. Huahuel Niyeu, donde el mismo conforma un sistema multiacuífero dado por un acuífero freático y al menos dos niveles semiconfinados. Por debajo de estos sedimentos, predominarían las unidades acuífugas o acuitardas, pero que al no haber sido muy estudiadas no deben descartarse como posibles unidades acuíferas.

Dentro del MHC es importante destacar el comportamiento de las mesetas basálticas, donde el agua que se infiltra por las fracturas típicas de estas litologías desciende verticalmente hasta toparse con una capa de menor permeabilidad, pasando a fluir de manera horizontal y acumulándose en el terreno o fluyendo hasta interceptarlo, generando mallines o vertientes.

El balance hidrológico preliminar reflejó que, del total precipitado, aproximadamente un 97% es evaporado y en menor proporción transpirado por la vegetación cuya predominancia es xerófita, mientras que el restante 3% se infiltra. Las reservas hidrogeológicas calculadas preliminarmente para la subcuenca de estudio representarían volúmenes disponibles de 22,5 Hm^3 para el aluvio del arroyo

Huahuel Niyeu, con un posible adicional de 17,6 Hm^3 que estaría en la zona de desembocadura de dicho curso de agua y en otros sectores de interés a explorar.

Con respecto a los objetivos de divulgación de este estudio, se llevaron a cabo durante las tareas de campo distintas jornadas de capacitación con estudiantes del Instituto Técnico Superior (ITS) de Jacobacci, en las cuales participaron de los relevamientos y de la exploración geofísica. Adicionalmente, se dieron charlas informativas para el personal de la cooperativa de aguas, se brindaron entrevistas a distintos medios y se realizaron charlas explicativas de la temática en la escuela primaria Nº134 y el jardín de infantes Nº37. Para finalizar las tareas, está previsto realizar un taller final en Ingeniero Jacobacci con participación de Hidroar S.A., CFI, DPA y otros actores como la cooperativa de aguas, estudiantes y docentes del ITS y público en general.

Por último, se presenta una serie de recomendaciones para mejorar el sistema de agua de la localidad de Jacobacci y se definen los pasos a seguir en la Etapa II, contemplando la propuesta de 8 perforaciones de exploración de entre 50 y 100 m de profundidad, pruebas hidráulicas en los nuevos pozos y en otros de interés, y la implementación de un plan de monitoreo que permita conocer la evolución del medio a lo largo de un ciclo hidrológico y que abarque la toma de muestras, la medición de niveles de agua y la realización de aforos en puntos estratégicos.

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO HUAHUEL NIYEU – ETAPA I
Informe Final

1 INTRODUCCIÓN

El presente estudio corresponde al contrato celebrado entre el Consejo Federal de Inversiones (CFI) e HIDROAR S.A. (Expte.: EX-2021-00012892- -CFI-GES#DCS) para la gestión técnica y financiera de la solicitud de asistencia técnica de la Provincia de Río Negro, a través del Departamento Provincial del Agua (DPA). A raíz de esto, este informe presenta el "**Estudio Hidrogeológico del Acuífero Huahuel Niyeu – Etapa I"**, el cual pretende realizar una caracterización preliminar de dicho acuífero y de su Modelo Hidrogeológico Conceptual, previendo y proponiendo acciones a implementar para favorecer el uso sustentable del recurso en la zona.

La Etapa I de este estudio abarca una primera caracterización a partir de la cual se podrá definir nuevos pasos a seguir durante la Etapa II, donde se continuará con los trabajos de exploración hidrogeológica, ampliando los conocimientos con trabajos tales como perforaciones, ensayos hidráulicos, aforos, etc.

Durante los trabajos realizados en este informe se realizaron relevamientos de campo durante los meses de agosto, septiembre y octubre de 2021 durante los cuales se realizaron tareas de exploración geofísica mediante SEV, censos de manifestaciones de agua, ensayos hidráulicos y aforos expeditivos, muestreo de aguas y entrevistas con los actores principales de la zona. El presente informe expone las tareas de campo realizadas y las temáticas analizadas en gabinete.

La dirección general del proyecto fue llevada a cabo por el Lic. Carlos Scatizza, las tareas de campo de relevamiento y muestreo fueron desarrolladas por los Lic. Geología Francisco Vargas Gonzalez, Rodrigo Massaro, Natalia Zanetti, y Ezequiel Sánchez; el mismo equipo participó también en las tareas de exploración geofísica junto con el Lic. Geofísica Carlos Albino y el ayudante de campo Gastón Flores. Finalizadas las tareas de campo, los profesionales involucrados participaron en las tareas de gabinete con el apoyo de la Lic. Geología Fernanda Dávila y del Dr. Geofísica Santiago Perdomo.

La Contraparte Técnica por parte de la provincia de Río Negro fue el Ing. Daniel Petri, Intendente General de Recursos Hídricos, con la colaboración del Lic. Gustavo Olivares, y por parte del CFI el Lic. Nicolás Jovic, del Área Recursos Naturales y Ambiente.

Se agradece adicionalmente la colaboración y acompañamiento del personal del Departamento Provincial de Agua, a la Cooperativa de Agua de Ingeniero

Jacobacci y todo su personal, autoridades del INTA Jacobacci por los aportes de datos climatológicos; al personal del Instituto Técnico Superior Nº 26; a los integrantes de la Cooperativa Ganadera Indígena; a los pobladores y a los representantes de las comunidades indígenas de la zona por su predisposición y colaboración con el personal de trabajo.

2 OBJETIVOS

Como se mencionó anteriormente, el objetivo principal de este estudio es obtener un diagnóstico del acuífero Huahuel Niyeu, definiendo de manera preliminar el Modelo Hidrogeológico Conceptual y la definición de ciertas acciones a implementar para favorecer el uso sustentable del recurso. A partir de esto, se han determinado los siguientes objetivos principales y secundarios:

2.1 Principales

- Elaboración de un mapa Hidrogeológico a escala 1:100.000 de la Cuenca del Arroyo Huahuel Niyeu.
- Comprender el modelo hidrogeológico conceptual preliminar “MHCP” del área de estudio, incluyendo un diagnóstico de situación actual del acuífero, el cual permita recomendar acciones a corto, mediano y largo plazo.
- Establecer con criterio hidrogeológico el alcance que debería tener la Etapa II del proyecto, el cual dependerá de las conclusiones arribadas del mismo. Entre algunas necesidades habituales se plantea; ubicación y diseño de pozos de exploración, realización de ensayos de bombeo de larga duración, evaluación de los parámetros hidrogeológicos de los acuíferos alumbrados (coeficiente de permeabilidad, transmisividad y almacenamiento, análisis de reservas de agua subterránea, balances hidrológicos, análisis hidroquímicos, entre otros).

2.2 Secundarios

- Generación de una base de datos a modo de cartografía temática, mediante la aplicación de la plataforma de un Sistema de Información Geográfica (SIG), herramienta altamente especializada que permite un manejo organizado y accesible a diferentes tipos de información espacial, y a distintos usuarios, además de la permanente actualización de los datos utilizados.
- Capacitar a autoridades provinciales, personal del municipio, de la Cooperativa de Agua de Ing. Jacobacci, alumnos del Instituto Técnico Superior (I.T.S) de Ingeniero Jacobacci y público en general sobre la investigación geohidrológica y sus tareas, así como concientizar sobre la problemática ambiental asociada a los recursos hídricos.

3 ÁREA GENERAL DE ESTUDIO

El área de estudio se centra hacia el oeste de la provincia de Río Negro, más específicamente en la subcuenca del Arroyo Huahuel Niyeu, comprendiendo la microcuenca homónima desde sus nacientes hasta su desembocadura en el Arroyo Maquinchao, y la microcuenca Bajo Colorado, ubicada hacia el Norte de la anterior y que se conectaría con el Huahuel Niyeu hacia el Este de Ing. Jacobacci. En total, esta subcuenca abarca aproximadamente 2.055 km^2. A nivel regional, la subcuenca de estudio se encuentra comprendida dentro de la cuenca de la Laguna Carri Laufquen. Desde el punto de vista político, la zona de estudio comprende los departamentos de 25 de Mayo y Ñorquincó.

Dentro del área de estudio se presenta como localidad principal a Ingeniero Jacobacci, ubicada hacia el este de la subcuenca de interés, y a la cual se puede acceder por la ruta nacional Nº 23 y la ruta provincial Nº 6, ver Figura 3.1 y Mapa 1.

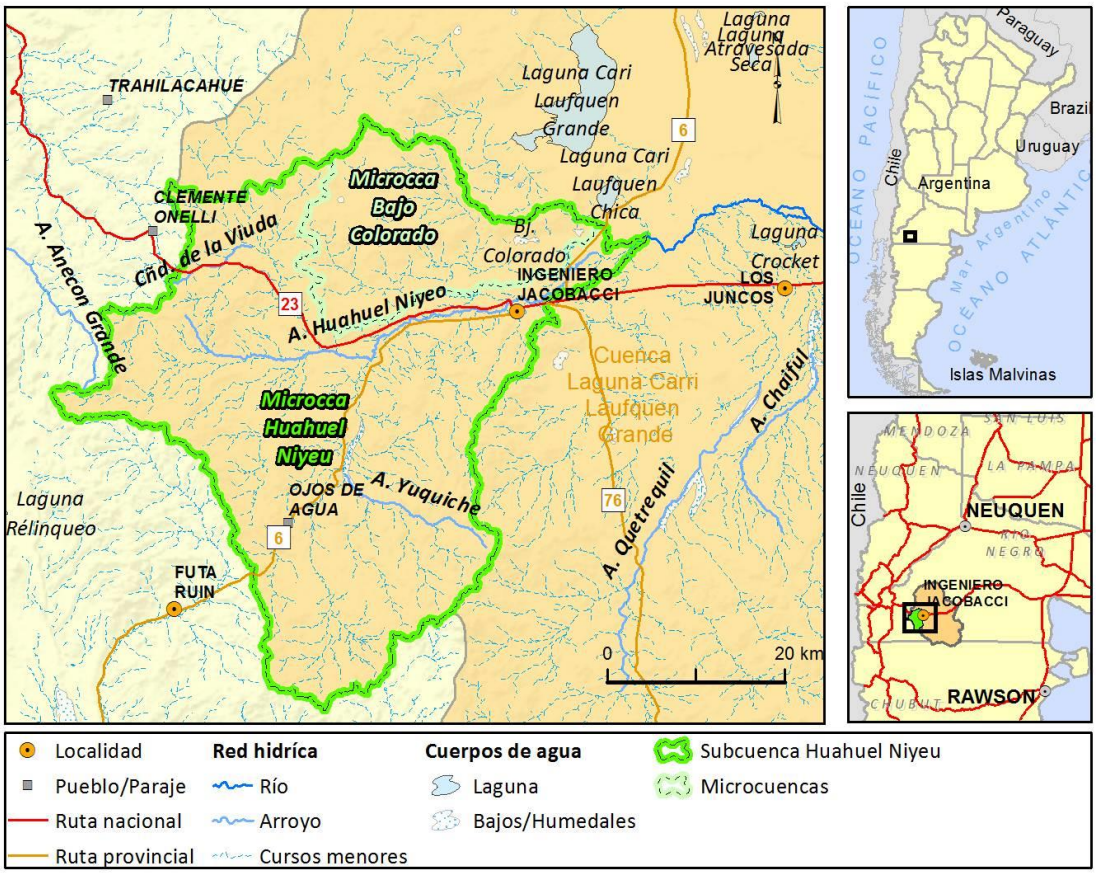


Figura 3.1: Área de estudio. Cuenca de la Laguna Carri Laufquen y subcuenca del A. Huahuel Niyeu.

4 METODOLOGIA

4.1 Recopilación de información antecedente

Para la elaboración del presente estudio se revisaron numerosos informes y documentos antecedentes que contaban con información de la zona de estudio y antecedentes. La Tabla 4.1 presenta los documentos revisados y un resumen de la información que contienen, los mismos se encuentran a su vez en el inciso de bibliografía.

Tabla 4.1: Información antecedente analizada.

Informe	Datos	Autor	Organismo solicitante	Año
Descripción Geológica de la Hoja 41d, Lipetrén	Geologia y geomorfologia.	SegemAR; Nullo, F. E.	-	1978
Descripción de la Hoja 40d, Ingeniero Jacobacci	Geologia y geomorfologia, caracteristicas de la formación Jacobacci.	SegemAR; Coira, B.	-	1979
Las Sedimentitas Terciarias - 9º Congreso Geológico Argentino	Sedimentitas Terciarias: edad,potencia, granulometria, fósiles, relación estratigráfica. Columnas estratigráficas del área y correlación.	Franchi M. R.; Nullo, F. E.; Sepúlveda, E. G., Uliana M. A.,	-	1984
Estudio hidrogeológico para la previsión de agua a Ingeniero Jacobacci	Diseño y caudales de pozos de producción. Ensayos de bombeo. Prospección geoeléctrica. Hidrodinámica. Hidroquímica.	DPA - CFI - ITMAS	CFI	1991
Hoja geológica 4169-III Ingeniero Jacobacci (Preliminar)	Geología y geomorfología.	SegemAR	-	2000
Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de Río Negro	Geologia, hidrogeologia, geomorfologia, suelos, clima, vegetacion y fauna.	INTA	-	2009
Estudio hidrogeológico de la región sur de la Provinica de Río Negro, con énfasis en acuíferos de medios fisurados. Etapas I a IV	Procesamiento de imágenes satelitáles. Modelo de Elevación Digital (DEM). Mapas (E: 1:250.000), Topográfico, geomorfológico, geológico e hidrogeológico. Perfiles geológicos. Zonas fuera del área de estudio.	Facultad de ciencias naturales y museo, UNLP - Auge et al - CFI	CFI	2010 - 2013
Informe Lagunas Carri - Laufquen	Ubicación. Caracterización hidrológica. Análisis de la evolución de las áreas de las lagunas en el tiempo. Estimación del volumen de la laguna Carri Laufquen Chica. Análisis de la relación de la variacion de volumen con la precipitación.	DPA	DPA	2012
Plan estratégico de desarrollo local-Ingeniero Jacobacci - RN	Planes urbano-territorial, económico-productivo y social. Programas de reutilización del material volcánico,zonificación urbana y mejoramiento de los accesos, reubicación de la zona industrial, completamiento de la infraestructura de servicios básicos.	CFI - Prov. de Río Negro	CFI	2012
Carta de línea de base ambiental 4169-III Ingeniero Jacobacci	Clima, Geología, geomorfología, Hidrología, Suelos, Vegetación, Fauna, Suelo, Demografía y Patrimonio.	SegemAR	-	2014
Disponibilidad de Recursos y Condiciones Agroclimáticas de la Provincia de Río Negro	Recursos de la provincia de Río Negro, incluyendo las temáticas clima, recursos hidricos, relieve, geomorfología, suelos y actividad agropecuaria.	Equipo de Trabajo Regional - FAO	Min. de Agricultura de la Nación - PROSAP - FAO	2015
Aspectos ambientales de la Provincia de Río Negro	Marco legal ambiental de la provincia. Estado general de sus recursos (agua superficial, agua subterránea, suelo, aire y biodiversidad). Impacto del crecimiento urbano y conflictos derivados. Amenazas en zonas irrigadas. Cambio climático.	Equipo de Trabajo Regional - FAO	Min. de Agricultura de la Nación - PROSAP - FAO	2015
Relevamiento Sistema de Provisión de Agua de Ingeniero Jacobacci	Descripción del sistema de abastecimiento actual. Caracterización de los 3 sistemas de explotación de agua presentes.Tipo de captación, acuifero captado, profundidad, caudal promedio.Consumo.	Olivares Gustavo (DPA)	DPA	2018
Informe estadístico de los consumos de agua (2010 - 2016)	Consumos anuales totales y discriminados por barrios. Consumos mensuales años 2010 a 2016 inclusive. Consumos mínimos y máximos. Coeficientes de varianza.	ITS - Operaciones Mineras. Est.: Jorge E. García Bascuñan. Prof. José Bassan	CPA	2018
Servicio de provisión de agua Ingeniero Jacobacci - Hidroquímica de las fuentes captadas	Descripción del sistema de abastecimiento actual y de las características hidroquímicas de las aguas captadas.	Olivares Gustavo (DPA)	DPA	2018

(Fuente: Hidroar S.A.)

4.2 Elaboración de cartografía y procesamiento GIS

Debido a que la adquisición de imágenes y procesamiento GIS presenta cierta complejidad, se ha definido tratar esta temática específicamente en el Anexo I. En este se podrá observar la metodología empleada y el tratamiento realizado a las imágenes Landsat 8 y Sentinel 2 obtenidas, presentadas en los Mapas 2 y 3, respectivamente.

4.3 Relevamiento Geológico – Hidrogeológico

Las campañas realizadas en agosto, septiembre y octubre contemplaron la realización de un relevamiento hidrogeológico de la zona de estudio, lo que requirió el contacto con distintos propietarios y, la exposición de las tareas a realizar para la obtención de los permisos para ingresar a las propiedades y poder realizar las observaciones pertinentes.

En total se relevaron 150 puntos al finalizar las tareas, los cuales se muestran en la Figura 4.1, Mapas 4a y 4b y en el Anexo II, en el que se muestra el registro fotográfico. El Anexo III muestra la tabla final de relevamiento con todos los puntos censados y el Anexo IV las planillas de campo recabadas a lo largo de toda esta etapa.

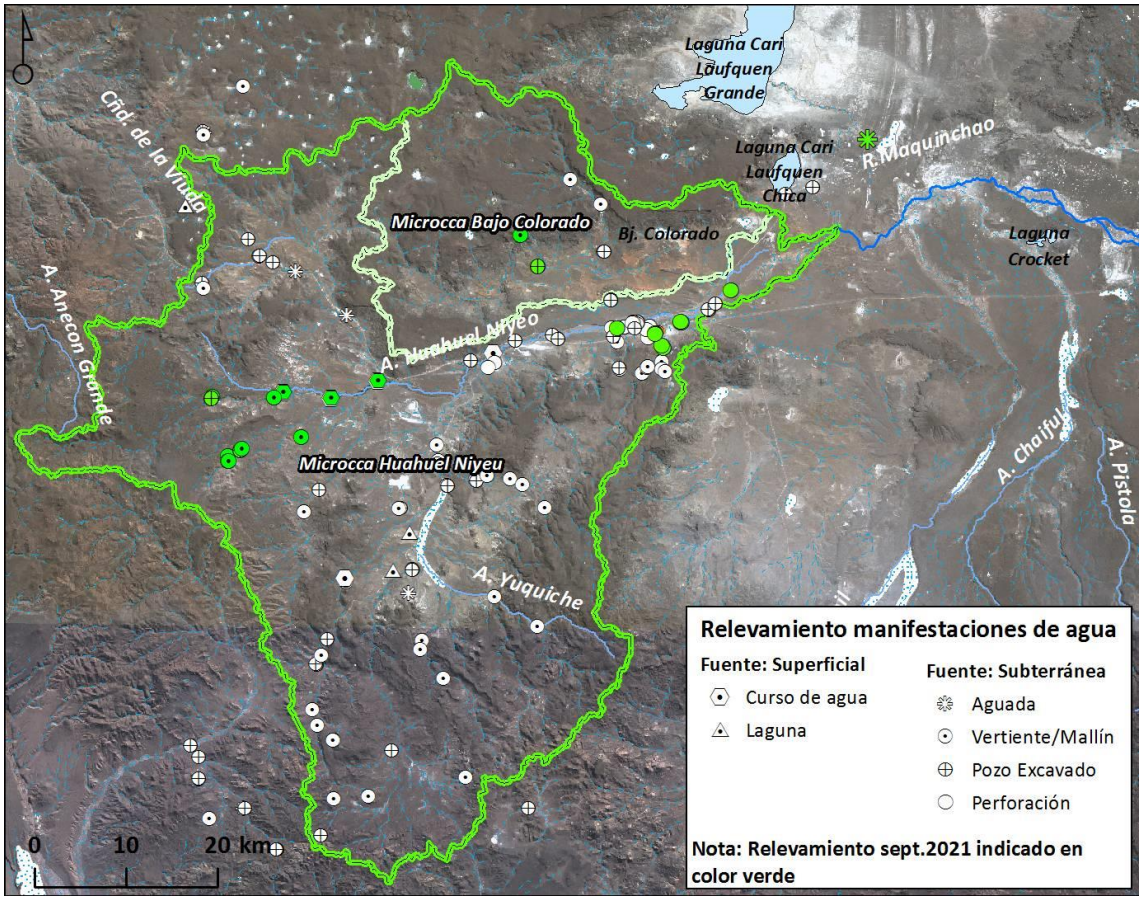


Figura 4.1: Puntos relevados (ago-sep 2021).

La metodología de relevamiento consistió en la recorrida de toda la zona de estudio manteniendo una comunicación constante 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, propietario, fecha y hora del censo, coordenadas geográficas y se realizó una primera clasificación estableciendo la fuente del agua de la captación censada, estableciendo si se trata de agua subterránea (perforaciones, pozos excavados, vertientes/mallines o aguadas) o superficial (cursos de agua o lagunas). Por otro lado, se tomó nota del uso que se le da a la captación y se realizó un muestreo preliminar del agua midiendo sus parámetros in-situ y sus características organolépticas (coloración, presencia de olores, sólidos en suspensión o sobrenadante). También se mencionó el estado general de cada captación, mencionando si cuenta con algún tipo de protección y el régimen de uso, si corresponde.

Para las perforaciones y pozos excavados se realizaron mediciones específicas de las características constructivas de cada una de ellas, indicando diámetro de perforación, profundidad de fondo de pozo, altura de brocal; material y tipo de entubado y/o revestimiento (en muchos casos no se pudo obtener este dato por falta de registros), diámetros de manguera de captación, equipo de bombeo instalado y capacidad del mismo respecto a potencia instalada y régimen de uso. Adicionalmente se indicó si la captación contaba o no con un reservorio (tanque elevado y/o cisterna), determinando sus dimensiones y capacidad de almacenamiento como también el tiempo aproximado en el que se llena al ser bombeado el pozo, dando un dato estimativo de caudal de extracción.

Por otro lado, se tomaron características propias del acuífero, midiendo el nivel de agua estático o dinámico con sondas piezométricas, indicando si se trata de un acuífero libre, semiconfinado o confinado, dependiendo esto de datos antecedentes o de observaciones de campo. Para aquellos casos en que al momento de visitar la captación la misma se encuentra bajo régimen de bombeo se estimó siempre que fuera posible el caudal de erogación, ya sea mediante un aforo volumétrico o por consulta al propietario del tiempo de llenado del reservorio/tanque de almacenamiento.

Durante las tareas de campo se realizaron tres (3) ensayos de bombeo preliminares para obtener parámetros hidráulicos tentativos de los acuíferos existentes en la zona, estas pruebas serán abordadas más adelante en el capítulo de parámetros hidráulicos.

Por otra parte, para las vertientes o mallines, aguadas, cursos de agua y lagunas se determinó qué tipo de captación o derivación presentaban y la variación anual que pudieran llegar a tener, consultándole a los usuarios si se utilizaban durante todo el año o si llegaban a secarse en algún momento. En aquellas vertientes y cursos de agua en los que se pudo, se realizaron a su vez aforos expeditivos, utilizando tres métodos principales:

- Volumétrico: consiste en medir el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido, obteniendo así una medida de volumen/tiempo (caudal).
- Método del flotador: plantea la utilización de un material flotante que se deja correr sobre el centro del curso, midiendo el tiempo que tarda en recorrer una distancia previamente medida. De esta manera se obtiene una velocidad que, es multiplicada por la sección del curso (base x altura) y un coeficiente empírico de 0,85, lo cual arroja un caudal estimado.
- Aforo químico: esta metodología consiste en hallar el caudal introduciendo una proporción conocida de una sustancia química en el agua de la corriente (en este caso sal de mesa común), y medir la dilución que se produce en una sección situada aguas abajo, a una distancia que permita asegurar una mezcla homogénea.

  Para ello, se vierte una masa M de la sustancia en la corriente del arroyo con una concentración conocida de la mezcla. Aguas abajo, se toman muestras sucesivas (estación de control) a intervalos de tiempo regulares, que marcarán la variación de la concentración del trazador, en su pasaje por la estación. Integrando luego estas variaciones en la concentración, se obtiene el caudal de agua necesario para producir la dilución. La Figura 4.2 esquematiza la metodología.

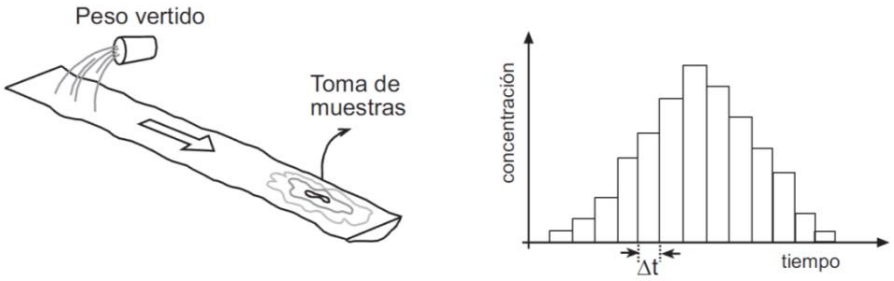
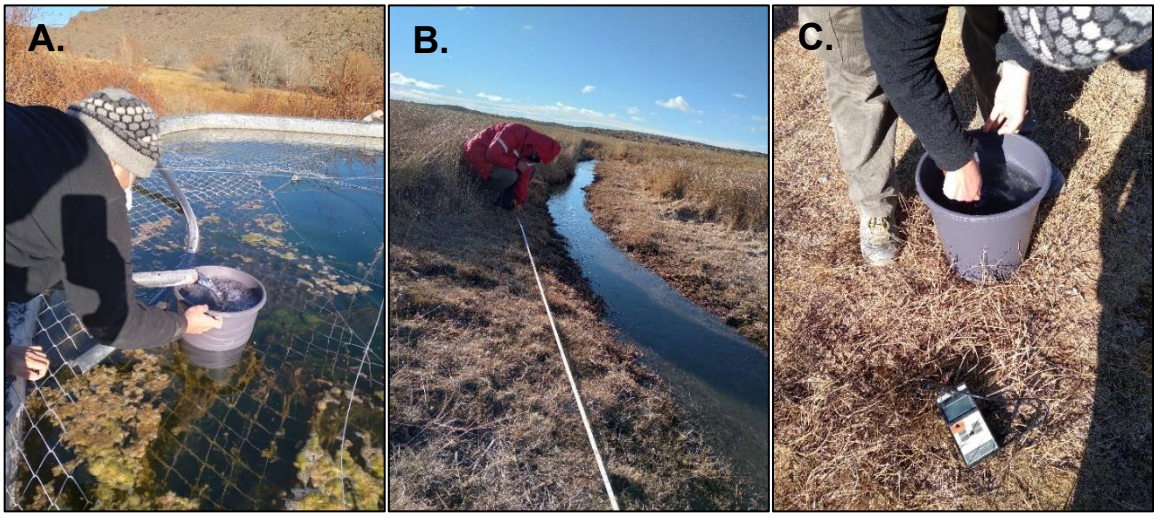


Figura 4.2: Cálculo de caudal mediante dilución química.

La Fotografía 4.1 muestra las tres metodologías de aforo empleadas.



Fotografía 4.1: A. Método volumétrico. **B.** Método del flotador. **C.** Aforo químico (preparación de solución salina).

Entre la Fotografía 4.2 y la Fotografía 4.7 se presentan los distintos tipos de puntos censados.



Fotografía 4.2: Perforación.



Fotografía 4.3: Pozo excavado (Jagüel).



Fotografía 4.4: Vertiente.



Fotografía 4.5: Aguada.



Fotografía 4.6: Curso de agua (arroyo).



Fotografía 4.7: Laguna.

4.4 Prospección geoeléctrica

Las tareas de prospección geoeléctrica que se describen tienen por objetivo principal obtener modelos de resistividad del subsuelo que permitan identificar la presencia de formaciones geológicas capaces de almacenar agua de bajo contenido salino en los sectores de interés.

4.4.1 Metodología de campo

En cada una de las zonas de interés se midieron Sondeos Eléctricos Verticales en la modalidad Schlumberger (SEV), con espaciado del circuito de emisión (AB) máximo de 1000 metros. Estos SEV fueron dispuestos de manera tal que facilite la construcción de secciones del subsuelo mediante la interpolación entre los mismos.

En este tipo de técnicas se materializa en el terreno un dispositivo tetrapolar lineal y simétrico respecto de un origen, ver Figura 4.3. El trabajo de campo consiste en obtener una Curva de Resistividad Aparente a partir de hacer circular una corriente I por el circuito de emisión y medir la diferencia de potencial V que se genera entre los electrodos de recepción (MN).

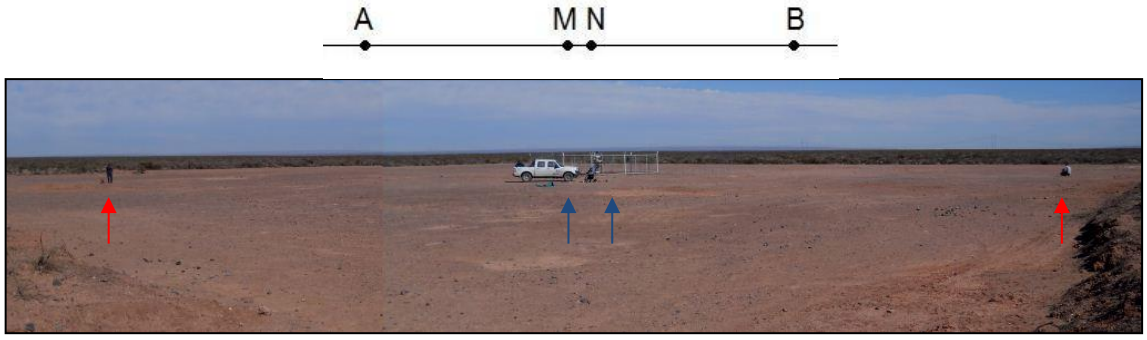


Figura 4.3: Diagrama del dispositivo de medición utilizado. En los puntos A y B (flechas rojas) se inyecta corriente continua y se mide la caída de tensión producida entre las posiciones M y N (flechas azules).

En base a esto se obtiene cada valor de resistividad aparente (en Ohm m), según la expresión:

$$\rho_{ap} = K\frac{\Delta V}{I}$$

Donde K es la constante geométrica del dispositivo que tiene en cuenta la disposición del tetrapolo en el terreno.

Cada valor calculado de la resistividad aparente se asigna a la distancia AB/2 en metros y se gráfica en escala bilogarítmica.

Cuando el valor del potencial medido entre los puntos MN es inferior a una cierta cantidad se realiza la operación de empalme, repitiendo el cálculo de la resistividad aparente para dos distancias distintas del circuito de recepción.

Posteriormente se ajusta una curva suave teniendo en cuenta el salto producido estos empalmes.

El dato de campo (curva de resistividades aparentes) debe ser invertido para obtener una distribución de resistividades en profundidad que satisfaga matemáticamente la curva de respuesta observada dentro de una banda dada por el error experimental. Para obtener esa distribución de resistividades en profundidad (objetivo del método) se utilizan variadas técnicas matemáticas.

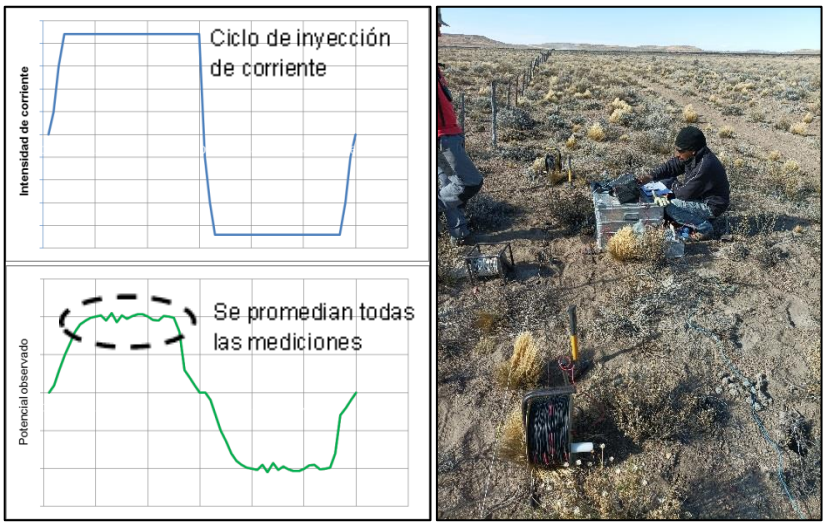
4.4.2 Instrumental

Para la medición de la resistividad aparente se utiliza un resistivímetro digital, que trabaja con un transmisor de corriente continua conmutada y voltímetro que registra el potencial eléctrico generado.

El transmisor tiene una potencia máxima de 850 W alimentado con una batería de 12V. Tiene la capacidad de inyectar una corriente máxima de 5,0 A con una precisión de 0,1%.

El receptor de 10 canales tiene una alta impedancia de entrada (20MΩ) y un voltaje de entrada de ±20V (ajustable por el usuario). Posee un filtro de 50Hz a la entrada y una precisión de 0,1%.

En cada ciclo de inyección de corriente el instrumento realiza sucesivas mediciones y luego efectúa el promedio de las mismas, obteniendo una estimación de la desviación estándar de cada dato. Ver Fotografía 4.8.



Fotografía 4.8: Esquema de un ciclo de conmutación de corriente.

Se utilizaron además carretes de 500 m de cable, electrodos de acero inoxidable para emisión de corriente y electrodos impolarizables de Cu-SO4Cu para medir ΔV, ver Fotografía 4.9.



Fotografía 4.9: A. Electrodos de emisión (AB). **B.** Electrodos impolarizables (MN). **C.** Carretes de cables. **D.** Resistivímetro compuesto por un milivoltímetro y un amperímetro.

4.4.3 Señalización y nomenclatura de los SEVs.

Los SEVs realizados se ubican a lo largo del valle del arroyo Huahuel Niyeu y en el valle cercano a la localidad de Ojos de Agua.

El objetivo de la disposición de los SEVs, al ser agrupados en forma de transecta, fue ubicarlos de manera tal de cortar lo más transversalmente posible al valle y en el caso de la terraza en la zona del aeropuerto de Ing. Jacobacci, continuar con las transectas hechas por el CFI en el año 1991.

A fin de facilitar su identificación a posteriori, los mismos fueron denominados según la zona de influencia (“A” = Aeropuerto; “EJ” = este de Jacobacci; “OJ” = oeste de Jacobacci; “H” = Huanuluan y “OA” = Ojos de Agua), seguido de una letra correspondiente a la transecta y un número ascendente en sentido norte – sur que indica el punto dentro de la misma.

Cabe destacar que existen excepciones de nomenclatura, debido a modificaciones en la ubicación de los SEVs, como por ejemplo en la transecta que se encuentra hacia el oeste del sector de Huanuluan la cual no presenta letra indicativa del perfil (puntos H-1, H-2 y H-3).

4.4.4 Procesamiento e interpretación de SEV.

El procesamiento de las curvas se hizo utilizando el programa SEVs para medios estratificados horizontales, que consiste en la obtención de un modelo inicial según Zohdy, reducción del número de parámetros del modelo, ajuste manual interactivo, y evaluación de los rangos de equivalencia del modelo e inversión con información a priori.

En todos los casos la obtención de la respuesta del modelo se obtuvo convolucionalmente, utilizando para ello el operador lineal de Johansen, que trabaja en un muestreo de la transformada de resistividad de 10 puntos por década logarítmica y tiene una longitud de 141 coeficientes, al que se consideró suficiente para evaluar curvas de contrastes resistivos como las que se presentan en la zona.

4.5 Muestreo y análisis de laboratorio

Las tareas de muestreo de captaciones de agua subterránea y superficial se realizaron durante el mes de septiembre de 2021, realizando una selección de los puntos a muestrear en base al relevamiento realizado en la campaña anterior y a nuevos puntos que se relevaran durante el nuevo recorrido. Para seleccionar cada punto se tomaron en cuenta los criterios de uso del agua captada, el estado general de la captación y una buena distribución espacial en la cuenca, de manera de presentar una buena representatividad en la caracterización físico-química del agua. En total se tomó un total de 40 muestras para análisis físico-químico y 20 para análisis bacteriológico, como se indica en la Figura 4.4 y el Mapa 5.

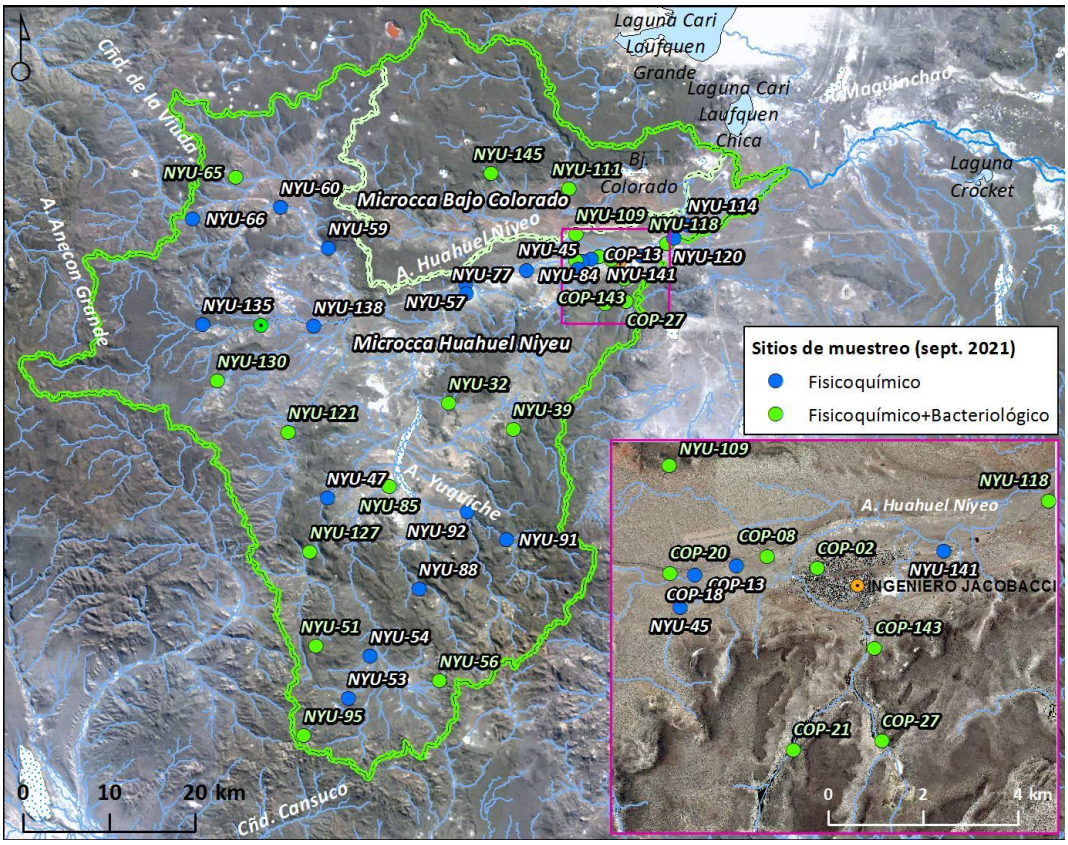


Figura 4.4: Captaciones muestreadas durante septiembre 2021.

Para la selección de los puntos a muestrear, se hizo énfasis en aquellas fuentes de consumo humano en establecimientos ubicados en zona rural y algunas de las captaciones utilizadas en la localidad de Ing. Jacobacci, propiedad de la Cooperativa de Agua y que conforman parte de su red de distribución.

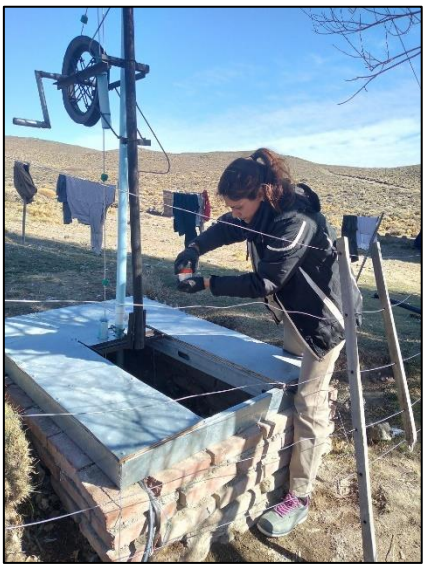
Cabe señalar que algunos puntos de muestreo planeados tuvieron que ser reubicados en otras zonas de la cuenca debido a que no se encontró al propietario, a la falta de permiso o por falta de ingreso.

Todas las muestras fueron tomadas y manipuladas con guantes de nitrilo y llenadas con muestreador o directamente desde la fuente, según cada caso. Adicionalmente, se midieron parámetros in-situ (pH, CE y Temperatura), limpiando todos los instrumentos y muestreadores con agua destilada entre puntos. Una vez tomadas las muestras, se mantuvieron refrigeradas en todo momento mediante el uso de conservadoras y heladeras hasta ser entregadas en el laboratorio.

Las muestras físico químicas se tomaron con envases plásticos de 1000 ml previamente enjuagados tres veces con agua de la captación. De las 40 muestras fisicoquímicas, se seleccionaron 20 para la toma de muestras bacteriológicas, en puntos que proveían agua para consumo humano y/o doméstico los envases utilizados en este caso fueron envases plásticos esterilizados de 200 ml. La Fotografía 4.10 y la Fotografía 4.11 muestran las tareas de toma de muestra realizadas. El Anexo II muestra el registro fotográfico.



Fotografía 4.10: Toma de muestra físico-química.



Fotografía 4.11: Toma de muestra bacteriológica.

El registro de la toma de muestras se confeccionó a través de una cadena de custodia diaria conteniendo cada uno de los puntos muestreados con su código asignado, fecha/hora y la suite de analitos correspondiente, la cual se presenta en el Anexo V a.

El día 28 de septiembre se entregaron las muestras en el laboratorio Praxis, ubicado en la localidad de General Roca. La Tabla 4.2 presenta los parámetros y/o

elementos solicitados y el método de determinación analítica utilizada por el laboratorio.

Tabla 4.2: Analitos y métodos de laboratorio.

Análisis bacteriológico de laboratorio	
Determinación	**Método (SM 23 Ed)**
Bacterias Coliformes Totales	SM 9221 B
Bacterias Coliformes Fecales	SM 9221 E
Escherichia coli	SM 9221 E-G
B.H.M.T	SM 9215 B
Pseudomonas aeruginosa	SM 9213 E
Análisis físico-químico de laboratorio	
Determinación	**Método**
pH	SM 4500-H B
Sólidos Disueltos totales	SM 2540 B
Dureza Total (en CaCO3)	SM 2340 B
Alcalinidad (en CaCO3)	SM 2320 B
Bicarbonatos (en CaCO3)	SM 2320 B
Carbonatos (en CaCO3)	SM 2320 B
Calcio	SM 3111-Ca D
Magnesio	SM 3111-Mg D
Sodio	SM 3111-Na B
Potasio	SM 3111-K B
Hierro	SM 3111-Fe D
Manganeso	SM 3111-Mn D
Cloruros (en Cl-)	SM 4500 Cl B
Sulfatos (en SO4-)	SM 4500 E
Nitratos (en NO3-)	SM 4500 NO3 E
Plomo	SM 31111 Pb D
Fluor	SM 3500 F-A
Arsénico	SM 3114 As B
Cinc	SM 31111 Zn D

(Fuente: Hidroar)

5 MEDIO FÍSICO

En el presente capítulo se describirán las principales características físicas del área de estudio, contemplando las temáticas referentes al clima, la hidrología, geología e hidrogeología.

5.1 Hidrometeorología y Clima

Para la caracterización climática general del área de estudio, se utilizaron los registros meteorológicos de nueve (9) estaciones, distribuidas mayormente al sur de la localidad de Ing. Jacobacci. Entre ellas, seis (6) estaciones son de distribución regional y las restantes tres (3) locales, instaladas ya sea en la localidad o cercana a la misma.

Del total de las estaciones analizadas, tres (3) pertenecen a la Base de Datos Hidrológica Integrada (BDHI), dos (2) al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), una (1) a la Dirección Provincial de Agua (DPA), y tres (3) al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). En la Figura 5.1 y el Mapa 6 se muestra la ubicación de las estaciones y en la Tabla 5.1 sus coordenadas de localización y los períodos con datos disponibles.

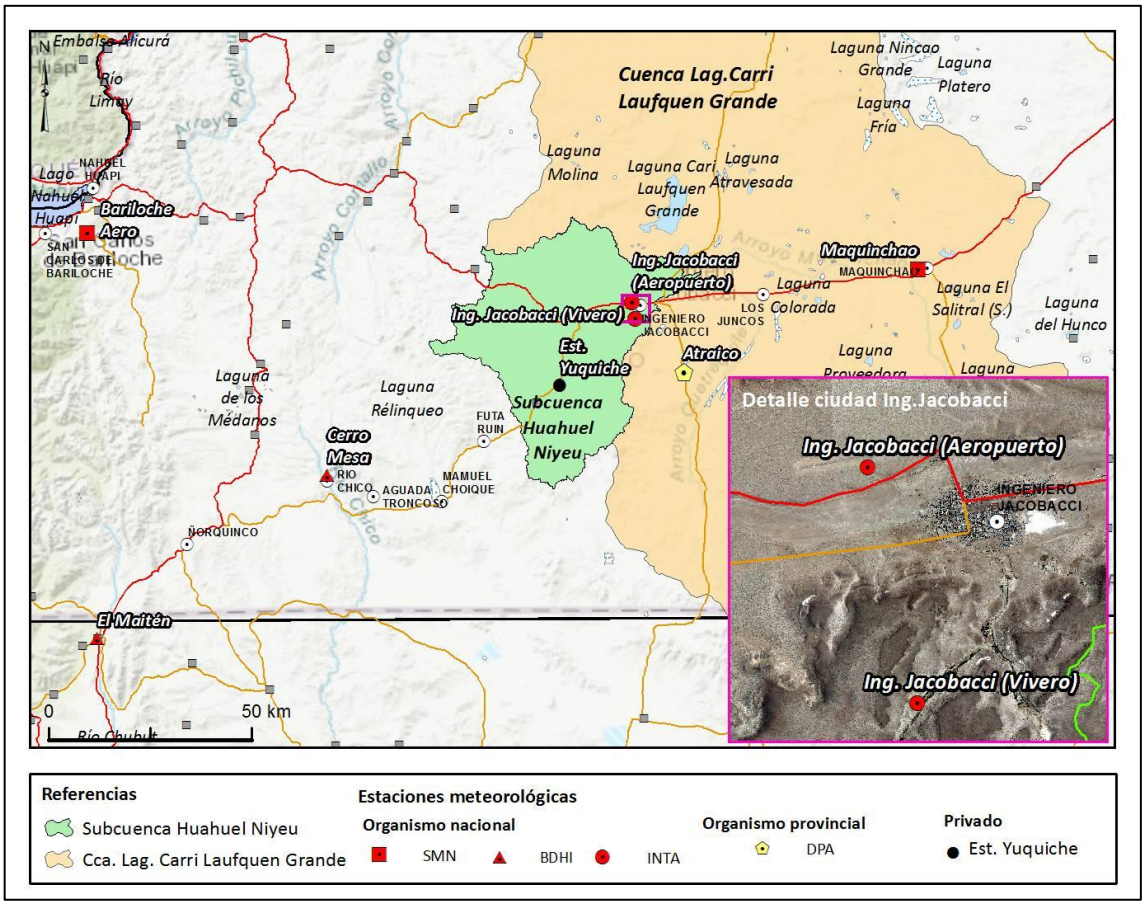


Figura 5.1: Distribución de estaciones meteorológicas analizadas (Fuente: Hidroar).

Tabla 5.1: Ubicación y registro de estaciones meteorológicas analizadas.

Estación meteorológica	Ubicación			Período de registro	Tipo de dato	Fuente
	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)			
ING. JACOBACCI (Aeropuerto)	-41,32	-69,57	886	1998-2006	Diario	INTA
ING. JACOBACCI (Vivero)	-41,36	-69,56	866	2007-2021	Diario	INTA
EST. YUQUICHE	-41,51	-69,79	968	1938-2021	Mensual	PRIVADA
EL MOLIHUE	-41,97	-69,47	1300	1978-2010	Diario	BDHI
ATRAICO	-41,48	-69,42	980	1980-2007	Mensual	DPA
CERRO MESA	-41,7	-70,48	887	1962-2020	Diario	BDHI
MAQUINCHAO	-41,25	-68,73	888	1961-2020	Diario	SMN
EL MAITÉN	-42,1	-71,17	705	1954-2020	Diario	BDHI
BARILOCHE AERO	-41,15	-71,17	840	1961-2020	Diario	SMN

(Fuente: Hidroar)

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 todas las estaciones, a pesar de la discontinuidad y/o desfasaje de los datos recopilados.

De las estaciones a utilizar, a excepción de la ubicada en la localidad de Ing. Jacobacci (que posee un registro 2012-2018), todas poseen datos previos a 1990 que continúan hasta el 2020, menos Atraico y El Molihue que dejaron de medir en 2007 y 2010 respectivamente.

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 todas las estaciones, dando mayor importancia a las precipitaciones. Al respecto, se compararon entre sí las estaciones meteorológicas recopiladas realizando un análisis de variabilidad estacional y de la tendencia histórica y actual de las mismas en el área.

Al igual que con las precipitaciones, se ha realizado el análisis estadístico descriptivo de las variables temperatura (medias máximas, mínimas y medias), humedad relativa y velocidad del viento y dirección, mediante un análisis de frecuencias.

5.1.1 Caracterización climática regional

Según la clasificación de Koppen-Geiger, el clima de la zona en estudio oscila entre climas desértico frío, BWk, y estepario o semiárido templado y frío, BSk (Figura 5.2).

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%.

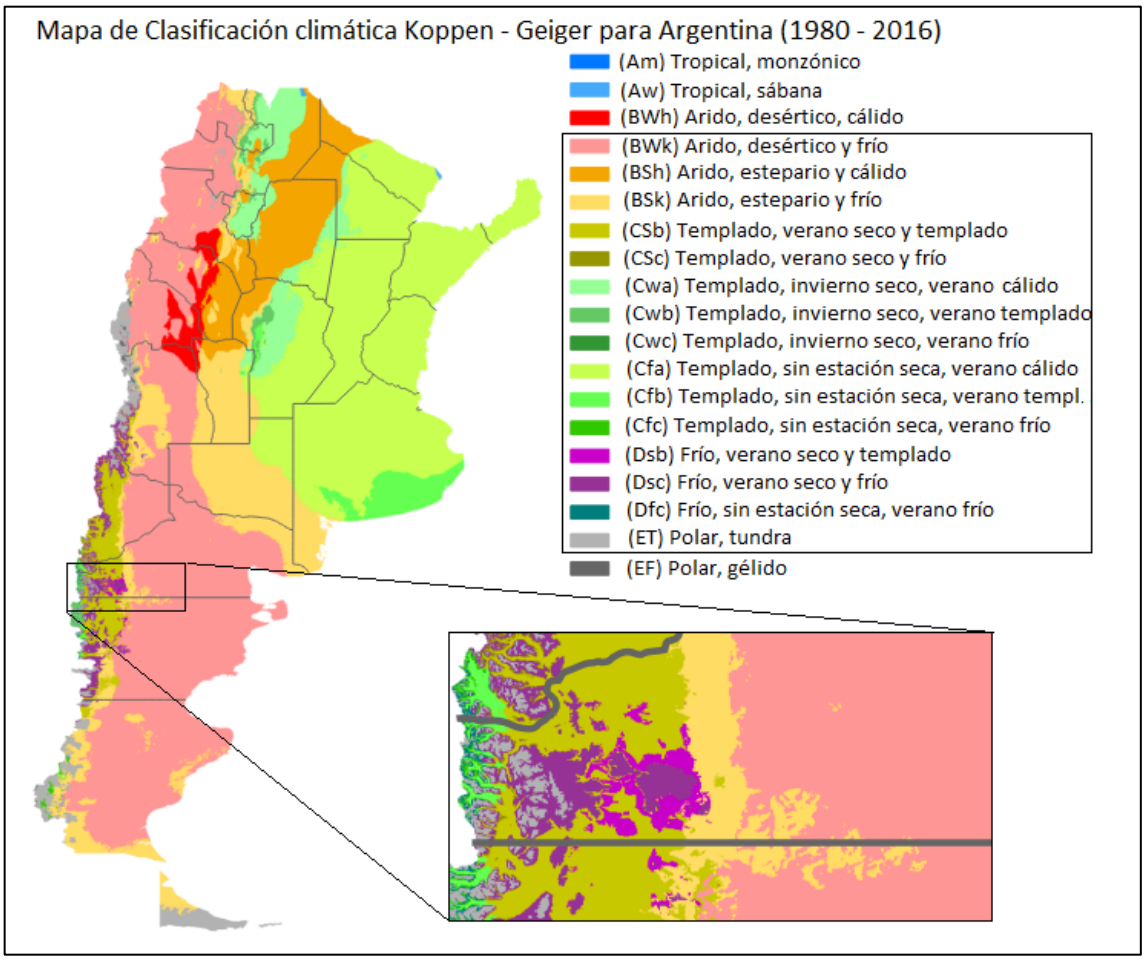


Figura 5.2: Clasificación climática según Köppen-Geiger para el área de estudio.

5.1.2 Precipitación

A partir del inventario integrado realizado por el INTA en 2009, se digitalizaron las isohietas existentes para la provincia de Río Negro y se realizó una comparación con las estaciones meteorológicas utilizadas en el presente estudio. A partir de estos se pudo observar que las mismas coinciden con los valores analizados, por lo que no fue necesario realizar un reajuste a nivel local. La Figura 5.3 y el Mapa 6 muestran estas isohietas en el ámbito provincial y local.

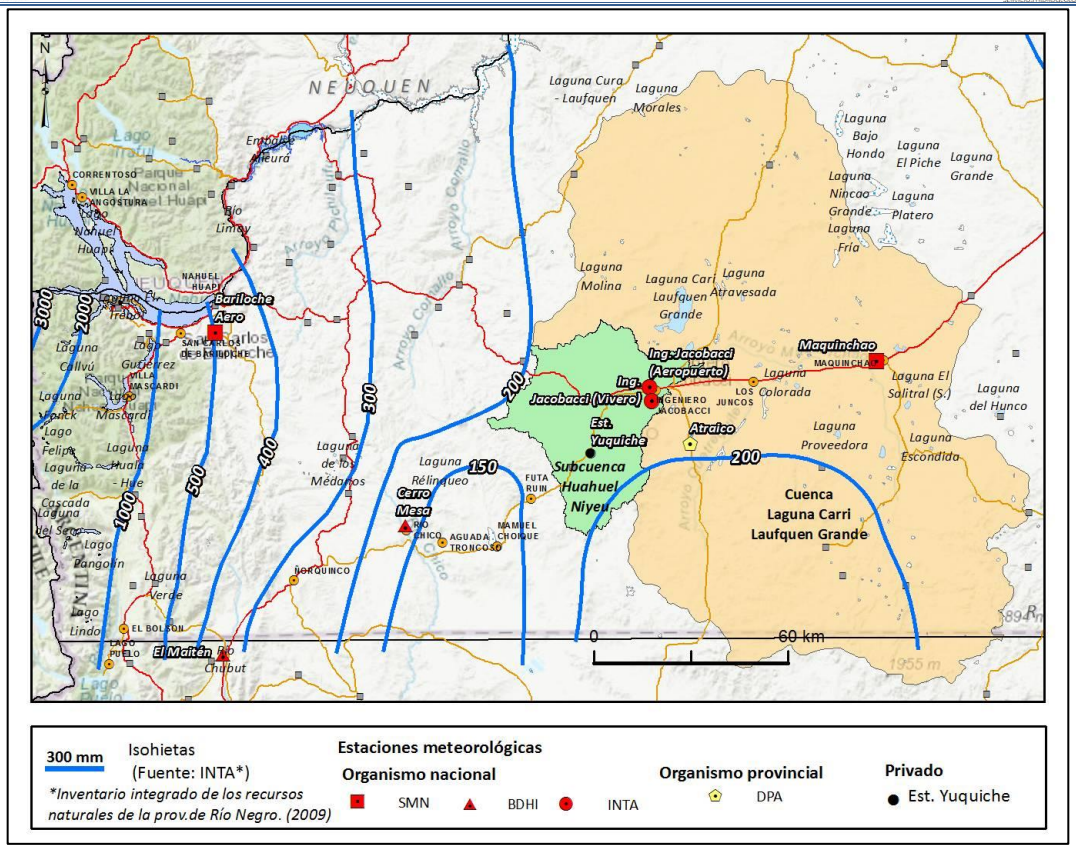


Figura 5.3: Isohietas en la región de estudio.

Como se puede apreciar en la Tabla 5.2, el año 1997 fue un año con importantes precipitaciones en la mayoría de las estaciones, siendo el máximo registro de todo el período en el caso de El Molihue. En 1999 también se registraron valores elevados, con una precipitación de 546 mm en la estación de Atraico, y luego se observan máximos del período en los años 2014 y 2016 para las estaciones de Maquinchao y Jacobacci, respectivamente.

La precipitación media anual para los últimos 40 años analizados se encuentra alrededor de los 200 mm/año. En los últimos años, con datos provenientes de las estaciones Cerro Mesa, Maquinchao y Jacobacci, se evidenciaban precipitaciones por debajo de la media, a excepción de los años 2014 y 2016 que fueron más húmedos.

Tabla 5.2: Precipitación media anual (período 1980 – 2020).

Fecha	Precipitación anual (mm)						Media anual
	El Molihue	Atraico	Cerro Mesa	Maquinchao	Yuquiche	Ing. Jacobacci	
1980	226	260,5		225,7	226	158	**219,2**
1981	277	240,5		301,9	185	138	**228,5**
1982	315,5	379,5	-	296,6	280,5	165,0	**263,4**
1983	179,5	158,5	-	171,6	130,5	59,0	**127,9**
1984	337,5	397,5	300,5	195,8	319,5	286,0	**292,8**
1985	199,0	166,5	-	210,5	178,0	156,0	**158,2**
1986	194,5	200,0	110,5	98,6	194,5	160,0	**159,7**
1987	216,0	437,0	103,4	54,1	339,0	356,0	**250,9**
1988	129,5	132,0	125,0	155,7	153,5	129,0	**137,5**
1989	44,5	34,5	32,0	188,8	90,1	19,0	**68,1**
1990	103,0	154,5	173,5	-	182,5	161,0	**154,9**
1991	174,0	192,0	171,5	-	223,0	164,5	**185,0**
1992	251,5	249,5	-	272,9	359,5	250,0	**276,7**
1993	262,0	265,0	233,6	237,2	312,0	276,0	**264,3**
1994	170,5	102,0	171,5	257,7	128,0	137,0	**161,1**
1995	232,0	212,5	190,0	250,7	267,0	198,5	**225,1**
1996	79,5	126,0	146,0	161,4	117,0	124,5	**125,7**
1997	**343,0**	318,0	**306,0**	371,1	226,5	264,5	**304,9**
1998	126,5	148,0	115,5	239,2	147,5	128,5	**150,9**
1999	215,0	**546,0**	187,5	291,2	341,0	241,5	**303,7**
2000	261,3	276,0	280,5	248,8	243,0	203,0	**252,1**
2001	177,0	224,3	138,0	228,8	265,0	211,5	**207,4**
2002	200,3	151,5	118,5	81,1	68,3	139,5	**126,5**
2003	216,3	201,0	137,5	121,2	199,0	128,5	**167,3**
2004	259,2	302,5	269,4	246,5	290,5	238,5	**267,8**
2005	167,0	143,0	92,3	224,2	182,0	172,5	**156,6**
2006	232,5	**337,1**	165,5	217,3	281,0	112,0	**198,0**
2007	96,0	274,0	69,5	84,1	115,0	97,0	**105,9**
2008	151,0	146,0	101,5	217,9	204,5	146,0	**141,9**
2009	150,0	88,1	162,0	116,5	142,0	88,1	**123,8**
2010	-	105,5	98,0	130,0	134,0	105,5	**102,0**
2011	-	40,0	68,6	119,5	56,0	40,0	**94,5**
2012	-	69,0	125,5	162,9	**159,0**	197,0	**134,2**
2013	-	-	111,0	144,1	130,0	98,8	**127,1**
2014	-	-	267,0	**393,3**	**384,0**	295,2	**313,7**
2015	-	-	122,5	97,0	153,0	123,2	**122,0**
2016	-	-	173,0	355,4	285,0	**328,8**	**252,7**
2017	-	-	134,5	180,2	192,0	165,4	**154,5**
2018	-	-	68,3	239,5	211,0	294,1	**177,8**
2019	-	-	67,5	143,0	152,0	112,0	**114,4**
2020	-	-	55,5	112,8	206,0	137,3	**123,5**
Media anual	**199,6**	**214,5**	**148,4**	**201,1**	**206,2**	**170,9**	

(Fuente: Hidroar).

En la Figura 5.4 se representaron las precipitaciones anuales registradas durante los años 1980 – 2020 en todas las estaciones, quedando excluidas Bariloche Aero y el Maitén, por corresponder a un área mucho más húmeda, que sobreestimaría la media del área de estudio. Como se observa la precipitación media anual en la región suele ser inferior a los 300 mm al año.

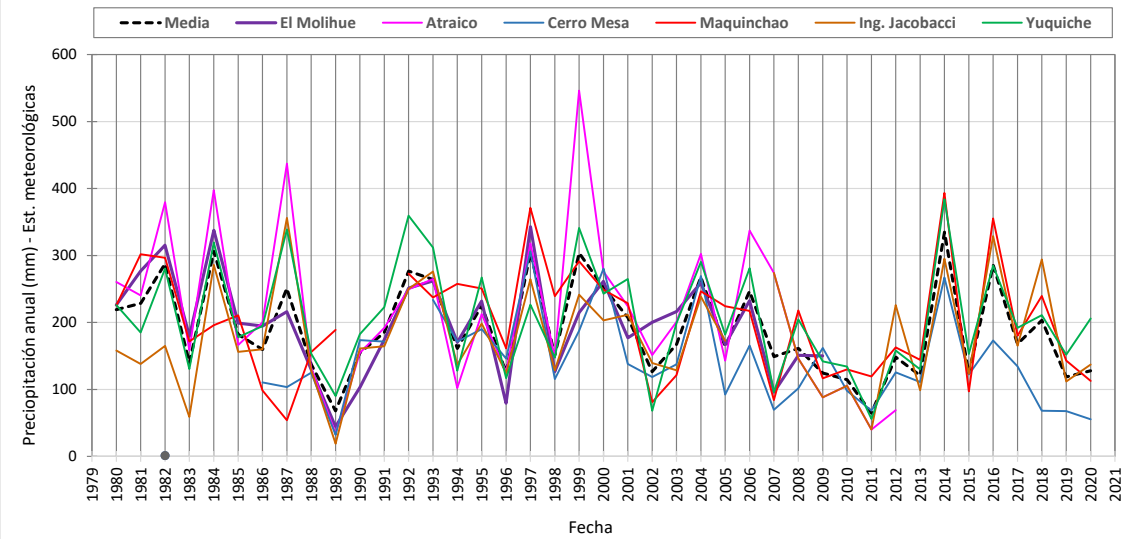


Figura 5.4: Precipitaciones medias anuales - período 1980 – 2020.

Analizando la variación mensual de la precipitación (Tabla 5.3), 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 mayo. Cabe destacar que para la Est. Yuquiche sólo se cuenta con datos de precipitación mensual a partir de 1992.

Como se puede observar, existe una marcada influencia geográfica en la distribución de la precipitación con respecto a las estaciones El Maitén y Bariloche Aero (dada por su ubicación en el sector cordillerano), donde los meses más lluviosos se dan entre mayo y agosto, con valores medios mensuales que superan en más del doble o triple de lo registrado en el resto de las estaciones. Por tal motivo, estas dos estaciones cordilleranas no fueron incluidas en los gráficos, pero sí en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3: Precipitación media mensual (período 1980 – 2020).

Estación meteorológica	Precipitaciones medias mensuales (mm)												Período considerado
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
El Molihue	11,2	14,9	15,5	24,8	26,1	23,4	16,5	15,9	15,5	16,2	12,0	7,6	1980 - 2020
Atraico	6,7	13,2	19,4	21,8	32,5	34,9	20,7	19,9	24,8	18,6	10,1	8,3	1980 - 2020
Ing. Jacobacci	8,2	15,9	17,8	17,8	23,3	18,9	14,7	12,6	15,2	22,8	9,2	6,8	1980 - 2020
Yuquiche	13,8	16,7	20,3	29,2	23,7	28,2	24,9	23,7	15,7	20,8	16,4	10,1	1992-2021
Cerro Mesa	6,3	10,3	12,4	18,7	20,4	20,6	14,4	12,8	8,2	11,7	6,3	6,9	1984 - 2020
Maquinchao	13,7	21,5	20,2	21,9	23,7	23,9	14,0	10,5	14,3	18,9	10,8	10,8	1980-2020
El Maitén	12,0	17,5	23,2	40,8	59,4	73,4	62,2	51,9	25,4	22,6	17,4	20,6	1980 - 2020
Bariloche Aero	21,4	18,8	30,8	58,3	124,5	161,0	121,7	109,6	55,3	45,0	27,3	22,8	1980 - 2020

(Fuente: Hidroar).

En la Figura 5.5 se presentan las precipitaciones medias mensuales para el período de los últimos 40 años, para todas las estaciones analizadas que cuentan con este registro completo, tanto de ubicación regional como local. Como se puede

observar, las estaciones ubicadas hacia el oeste, bajo la influencia de las precipitaciones cordilleranas, como las de Bariloche y El Maitén, presentan una media mensual muy diferente a las que acontecen en las estaciones locales, con un valor medio en la estación Bariloche que supera los 150 mm/mes en la época más lluviosa (invierno) y cercana a los 80 mm/mes en El Maitén, mientras que en la localidad de Jacobacci apenas supera los 20 mm/mes.

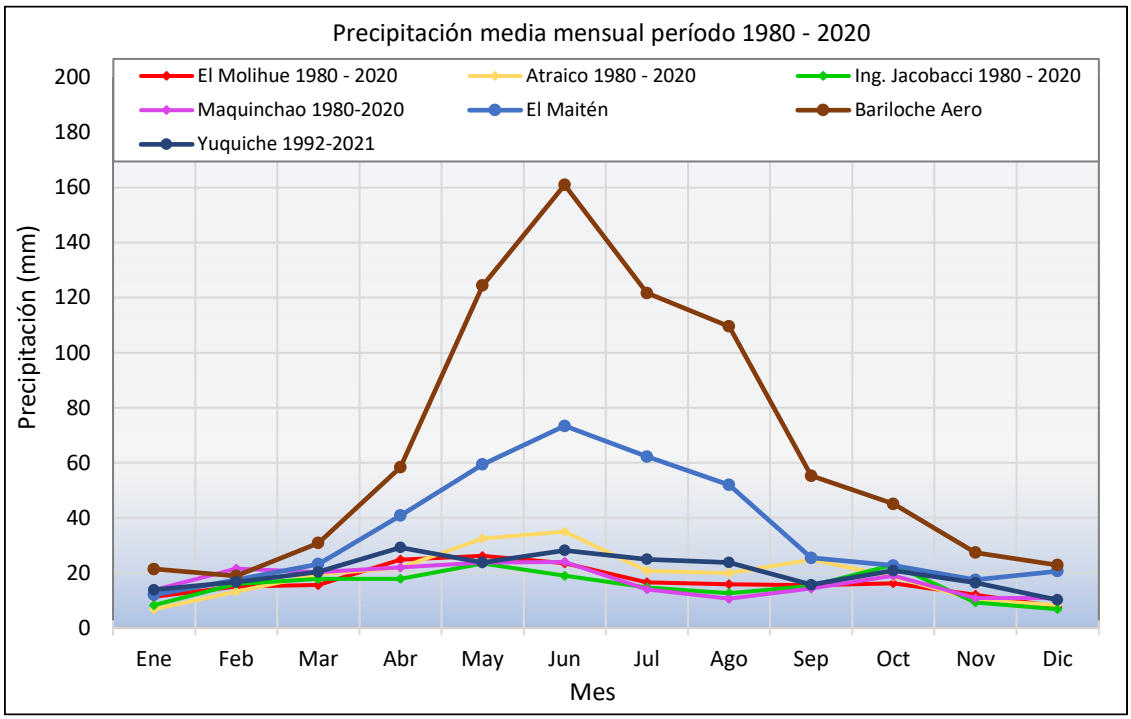


Figura 5.5: Precipitaciones medias mensuales - período 1980 – 2020.

5.1.2.1 Estaciones meteorológicas locales

Para el análisis climático de la localidad, se recolectaron datos de precipitación de distintas estaciones correspondientes al INTA, ubicadas en el aeropuerto, en el vivero forestal y en la estación del ferrocarril. La información de estas tres estaciones fue compilada y unificada abarcando el período completo de los últimos 40 años, y la misma se identifica como Ing. Jacobacci. Se cuenta a su vez con datos de algunas estaciones distribuidas en cercanías de la localidad, como por ejemplo la que funciona en la estancia Yuquiche y cuya información fue brindada por su propietaria, la señora Carmen Crespo.

En la Figura 5.6 se presentan los datos de la precipitación media mensual local, para las estaciones ubicadas en Ing. Jacobacci y en Yuquiche y si bien se puede apreciar que la misma siempre es mayor en esta última (posiblemente por estar ubicada a mayor altitud), el período de análisis es menor, ya que solo se cuenta con el detalle mensual para el período 1992 - 2021, mientras que para la de Jacobacci el período corresponde a 1980 – 2020.

En ambas estaciones se dan las mayores precipitaciones durante la estación invierno – primavera, siendo los meses de verano los más secos. En la estación ubicada en Yuquiche la precipitación media mensual máxima para el período 1992-

2021 fue cercana a los 30 mm/mes y se registró en los meses de abril y junio, mientras que en la de Jacobacci, para el lapso 1982-2020 fue próxima a los 25 mm/mes y en los meses de mayo y octubre (Figura 5.6).

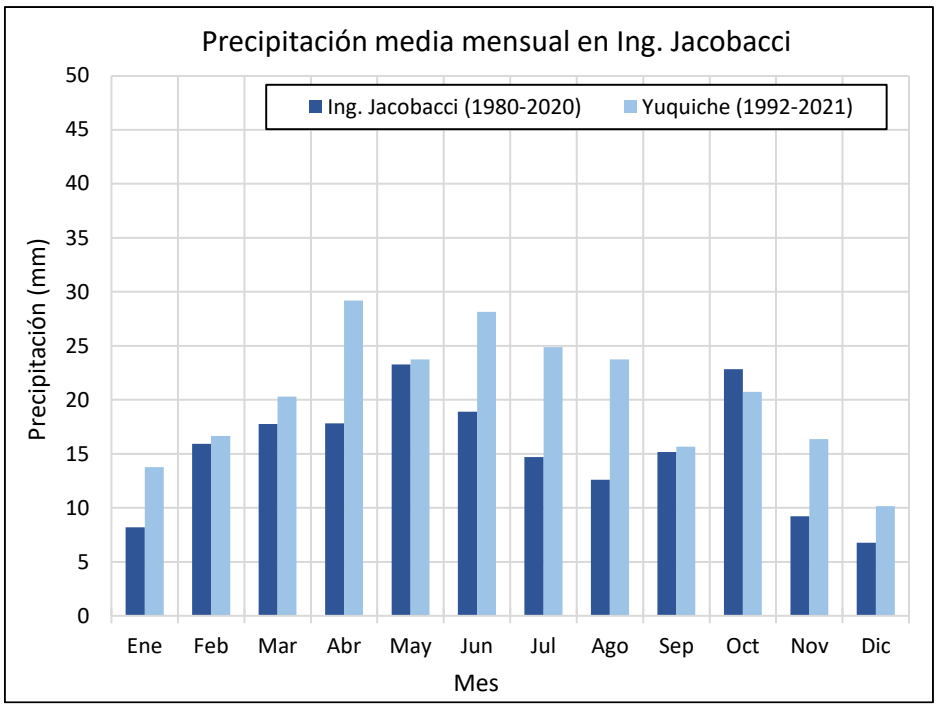


Figura 5.6: Precipitación media mensual registrada en Ing. Jacobacci y est. Yuquiche.

En la Figura 5.7 se representa la precipitación anual registrada en las estaciones Jacobacci y Yuquiche para el período 1980-2020, junto a la media decenal representativa de los lapsos comprendidos entre 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 y 2010-2020. Se puede apreciar que las medias decenales fluctúan de manera similar en ambos sitios, a excepción de los últimos 10 años, donde la media en Jacobacci se vio en aumento mientras que la de Yuquiche descendió, lo cual coincide con un registro mayor en algunos años en la estación de Jacobacci respecto a la de Yuquiche, a pesar de que esta última siga presentando una media decenal levemente superior.

En la estación de Yuquiche se observa disminución de la precipitación a partir del año 2000 y hasta la actualidad, mientras que en la estación de Jacobacci no se observan grandes variaciones desde el año 1980 hasta el presente, fluctuando siempre la media decenal dentro de un rango comprendido entre 162 y 185 mm/año.

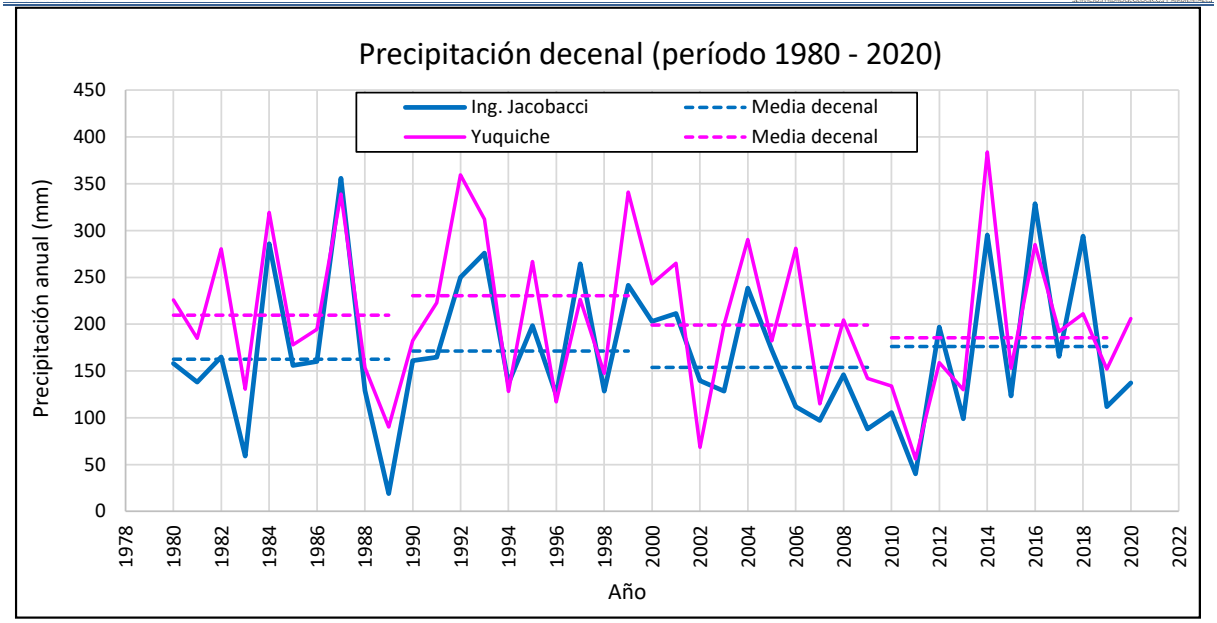


Figura 5.7: Precipitación anual y media decenal – período 1980-2020.

5.1.3 Temperatura media

La temperatura media registrada en el área de estudio dentro el período considerado, 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 5.8, la temperatura resulta muy similar en casi toda el área de estudio, siendo Bariloche Aero y El Maitén las más frías, 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 las estaciones de Maquinchao y Bariloche Aero, mientras que en la de Jacobacci se cuenta con datos recién a partir del 2012, razón por la cual la temperatura media resulta mayor que en el resto. Adicionalmente, la Tabla 5.4 indica las temperaturas medias mensuales para el período disponible en cada caso dentro de los últimos 40 años.

Tabla 5.4: Temperatura media mensual (°C) período 1980 – 2021.

Estación/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Ing. Jacobacci (2012-2020)	22,59	20,59	16,71	13,08	8,02	5,71	5,28	8,14	10,96	13,79	17,85	20,99	**13,64**
Maquinchao (1980-2021)	19,49	18,39	14,93	9,54	5,23	2,11	1,10	3,54	6,44	10,48	14,34	17,50	**10,37**
El Maitén (1993-2017)	16,13	15,58	13,38	9,40	5,82	4,00	3,00	5,25	7,64	10,26	12,05	14,16	**8,98**
Bariloche Aero (1980-2020)	15,29	15,01	12,32	8,33	5,28	3,02	2,21	3,34	5,39	8,09	10,86	13,55	**8,53**

(Fuente: Hidroar)

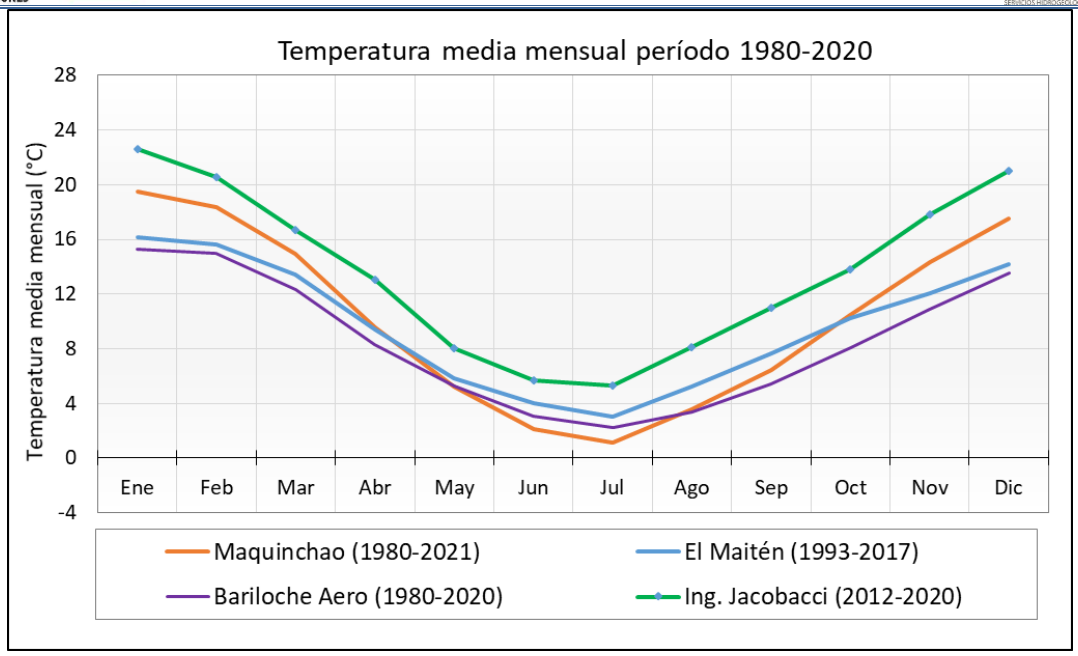


Figura 5.8: Temperaturas medias mensuales - período 1980 – 2021.

5.1.4 Humedad relativa

La humedad relativa se encuentra generalmente entre un 40% y un 70% en las estaciones de Maquinchao y Jacobacci, y entre 53% y 79% para Bariloche Aero. Los meses más húmedos corresponden a los de otoño-invierno, en concordancia con las menores temperaturas y las mayores precipitaciones.

En la Tabla 5.5 y la Figura 5.9 se presentan los valores medios mensuales de las estaciones que cuentan con esta variable en su registro para el período evaluado.

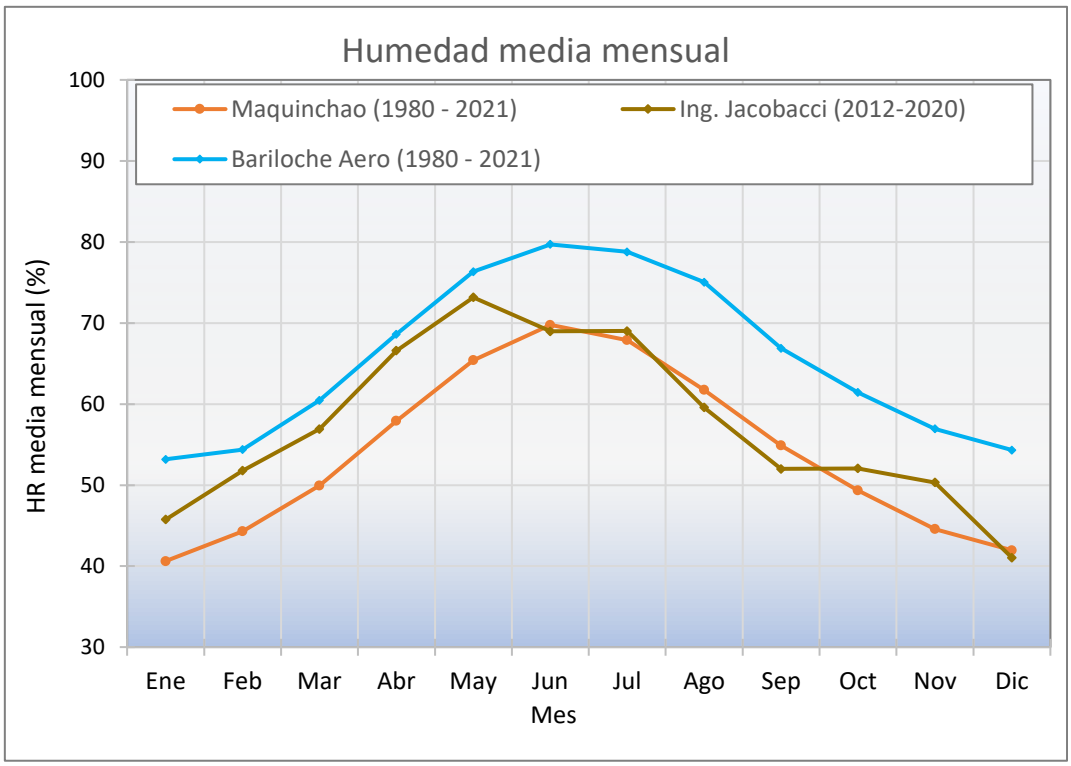


Figura 5.9: Humedad relativa media mensual - período 1980 – 2021.

Tabla 5.5: Humedad relativa media mensual (%) período 1980 – 2021.

Estación Meteorológica	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Maquinchao (1980 - 2021)	40,6	44,3	50,0	57,9	65,4	69,8	67,9	61,8	54,9	49,3	44,6	42,0	**54,1**
Bariloche Aero (1980 - 2021)	53,2	54,4	60,5	68,6	76,4	79,7	78,8	75,0	66,9	61,4	56,9	54,3	**65,6**
Ing. Jacobacci (2012-2020)	45,8	51,8	56,9	66,6	73,2	69,0	69,0	59,6	52,0	52,1	50,3	41,0	**57,8**

(Fuente: Hidroar).

5.1.5 Viento

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 5.6 y la Figura 5.10, se presentan las velocidades medias del viento para los períodos con datos disponibles en cada estación. Como puede apreciarse, las máximas velocidades se dan en los meses de verano, y la magnitud es mucho más elevada hacia el sector cordillerano como se evidencia con la estación Bariloche Aero, respecto a la estación de Maquinchao, que para el mismo período de registro (últimos 40 años) las velocidades suelen ser del doble o más.

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 respecto al de 40 años considerado en las otras estaciones.

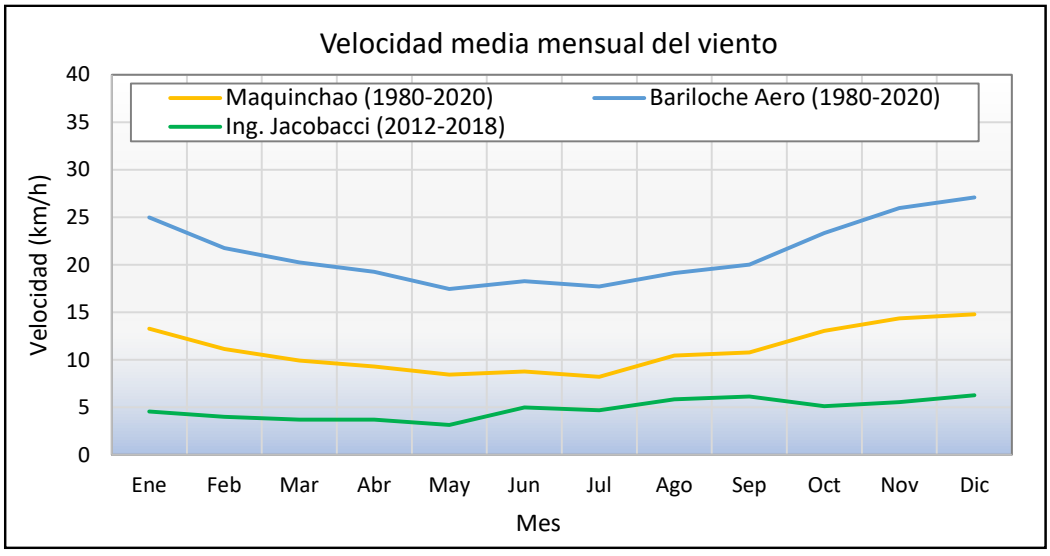


Figura 5.10: Velocidad media del viento en los períodos disponibles.

Tabla 5.6: Velocidad media mensual del viento (km/h) período 1980 – 2020.

Estación/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Maquinchao (1980-2020)	13,3	11,1	9,9	9,3	8,4	8,8	8,2	10,5	10,8	13,0	14,4	14,8	**11,0**
Bariloche Aero (1980-2020)	25,0	21,8	20,2	19,3	17,5	18,3	17,7	19,1	20,0	23,3	26,0	27,1	**21,3**
Ing. Jacobacci (2012-2018)	4,57	4,00	3,71	3,71	3,14	5,00	4,71	5,86	6,14	5,14	5,57	6,29	**4,83**

(Fuente: Hidroar).

5.1.6 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* (ETo): 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.

Con los datos correspondientes a la temperatura media registrados en la estación de Maquinchao, durante el periodo 2010-2020 se calculó mediante el método de Thornwaite la evapotranspiración de paso diario y mensual (Figura 5.11).

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.

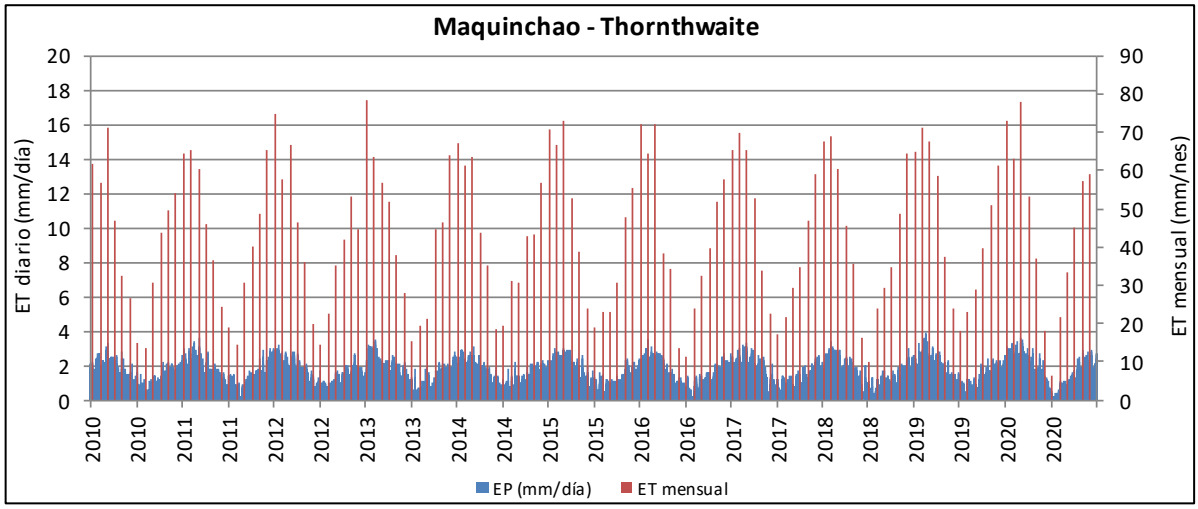


Figura 5.11: Evapotranspiración diaria y mensual – Est. Maquinchao, período 2010-2020.

Por otro lado, se obtuvo la evapotranspiración potencial con datos de las estaciones ubicadas en Maquinchao (Figura 5.12) e Ing. Jacobacci (Figura 5.13) 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.

Las Figura 5.12 y Figura 5.13 fueron representadas en la misma escala a fin de reflejar las diferencias obtenidas en el valor de la evapotranspiración para las estaciones analizadas. Los años seleccionados para la representación de escenarios extremos son diferentes en ambas estaciones, siendo para Maquinchao 2015 el año seco, 2014 el húmedo y 2018 el intermedio, mientras que para Jacobacci se graficaron 2017, 2016 y 2012 respectivamente.

En el caso de Maquinchao, la ETo se encuentra entre valores máximos de 106 mm/mes (enero) en verano y mínimos alrededor de 5 mm/mes en invierno (julio). 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), y que en general siempre es mayor la evapotranspiración obtenida en esta localidad respecto a Maquinchao, lo cual es coherente debido a los registros de mayores temperaturas en Ing. Jacobacci. Entre las dos estaciones podría tomarse un promedio de ETo anual de 634 mm/año

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.

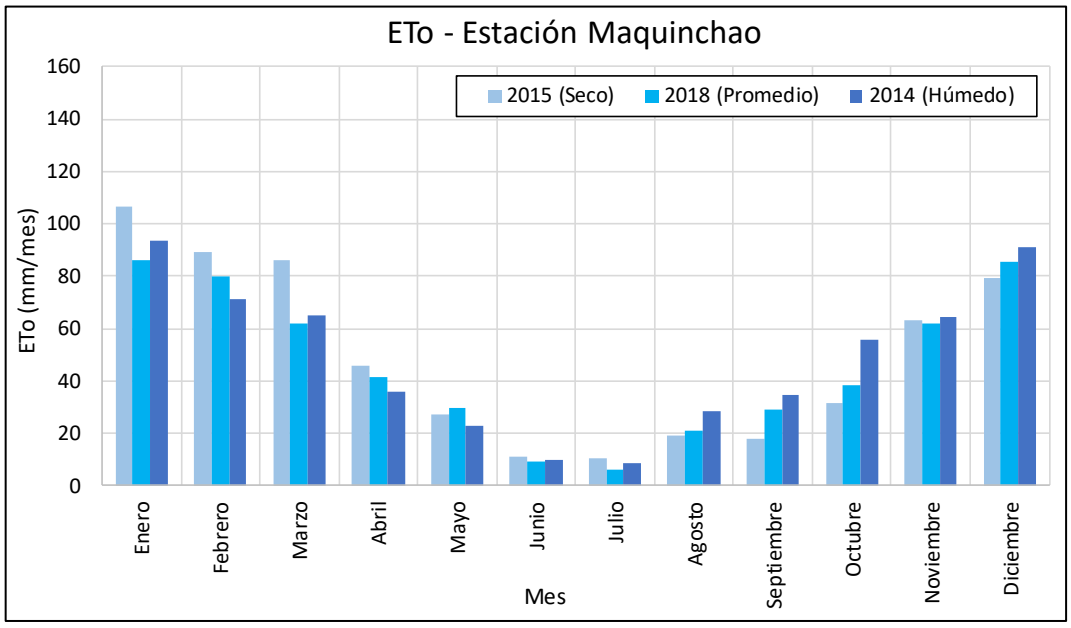


Figura 5.12: Evapotranspiración potencial en tres escenarios climáticos distintos – Est. Maquinchao.

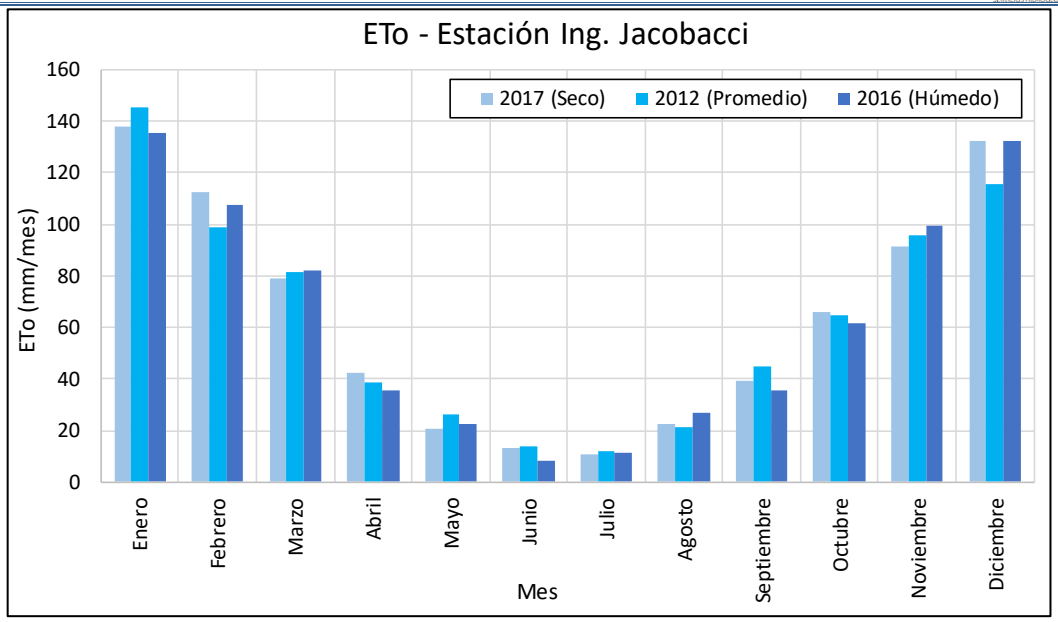


Figura 5.13: Evapotranspiración potencial en tres escenarios climáticos distintos – Est. Jacobacci.

5.1.7 Balance hidrológico

La evapotranspiración potencial es un límite superior de la cantidad de agua que vuelve a la atmósfera. Para determinar la evapotranspiración real debe tenerse en cuenta no solo ese límite sino también el agua que efectivamente existe en la zona.

En efecto, un balance hídrico para un determinado intervalo puede plantearse de la siguiente manera:

$$P = ETR + EX + \Delta R$$

P: Precipitación en mm
ETR: Evapotranspiración real en mm
EX: Excedentes de agua (escorrentía + infiltración) en mm
AR: Incremento en la reserva de agua utilizable por las plantas en mm.

Esto siempre estableciendo la condición de que **ETR ≤ ETP**, es decir, la evapotranspiración real siempre será igual o menor que la potencial.

Para estimar un balance hídrico en la zona de estudio, y conocer el déficit o excesos de agua disponible en la región, se estimó la reserva útil de agua disponible **(RU),** la cual permite calcular la ETR a partir de datos teóricos según el tipo de suelo (Custodio Llamas, 1996) considerándose en este caso dos tipos de cubiertas, arcillo arenoso (aluvio-coluvio) y basaltos fracturados. El valor de reserva útil inicial obtenido fue de 32 mm para los depósitos aluviales y de 45 mm para las rocas basálticas. El mismo fue calculado a partir de una fórmula que considera parámetros propios del suelo como la capacidad de campo, el punto de marchitez, la densidad y el espesor radicular (ver Tabla 5.7). Estos parámetros fueron tomados de tablas teóricas (Custodio Llamas, 1996) estipuladas para distintos tipos de suelos.

A partir del valor mensual de la precipitación, la evapotranspiración potencial y de la reserva útil inicial, se calcularon los valores mensuales de la evapotranspiración real para cada mes, tomando como comienzo del año hidrológico al mes de septiembre.

Tabla 5.7: Valores considerados para el cáclulo de la Reserva Util (RU).

Tipo de suelo	Cap. De campo (cc)*	Pto. De marchitez (PM)*	Espesor radicular (m)	Densidad (g/cm^3)	Reserva útil (RU)
Aluvio - coluvio	0,32	0,22	0,2	1,6	**32**
Basaltos fracturados	0,24	0,14	0,15	3	**45**
* Valores de porcentaje de humedad expresados en decimal.					

Fuente (Hidroar).

Una vez obtenida la ETR, se realizó el cálculo del balance hídrico para las estaciones de Ing. Jacobacci y para Maquinchao, en ambos casos para tres escenarios climáticos diferentes (año seco, año promedio y año húmedo), y para la litología de aluvio-coluvio, ya que no presenta cambios significativos en los basaltos, siendo por lo tanto representativos de la zona de estudio.

A continuación, se muestran los meses con exceso y déficit hídrico, para los escenarios de años promedio, húmedo y seco, para la estación meteorológica de Ing. Jacobacci (ver Figura 5.14 a Figura 5.16) y para la estación meteorológica de Maquinchao. Se ha evaluado en todos los casos, a excepción del año seco en Jacobacci, donde se utilizó el año calendario 2015, el ciclo hidrológico septiembre – agosto, adjudicando una reserva útil inicial de agua en el suelo en el mes de septiembre (luego del período de precipitaciones).

Como puede observarse en ambos casos, los meses que presentan un excedente hídrico corresponden a las estaciones de invierno y primavera, coherentemente con las épocas más húmedas, de mayores precipitaciones y caída de nieve, con el consecuente deshielo durante la primavera. En el caso del balance hídrico para la estación de Maquinchao se pueden ver más meses con excedente hídrico en comparación a Ing. Jacobacci, principalmente en el año húmedo (siendo en este último mucho mayor la precipitación en Maquinchao).

En el balance de Jacobacci para un período húmedo, se observan dos meses (septiembre y agosto) con bajo excedente hídrico, cercanos a 3 mm/mes y octubre con un valor próximo a 30 mm/mes, mientras que en un año seco todos los meses presentan déficit hídrico (aclarando que en este caso se consideró el año cronológico 2015).

Cabe aclarar que los balances diarios siempre se aproximan mejor a la realidad que los mensuales, por lo cual con mayor densidad de datos y un balance de paso diario podría obtenerse algún excedente incluso en los escenarios secos.

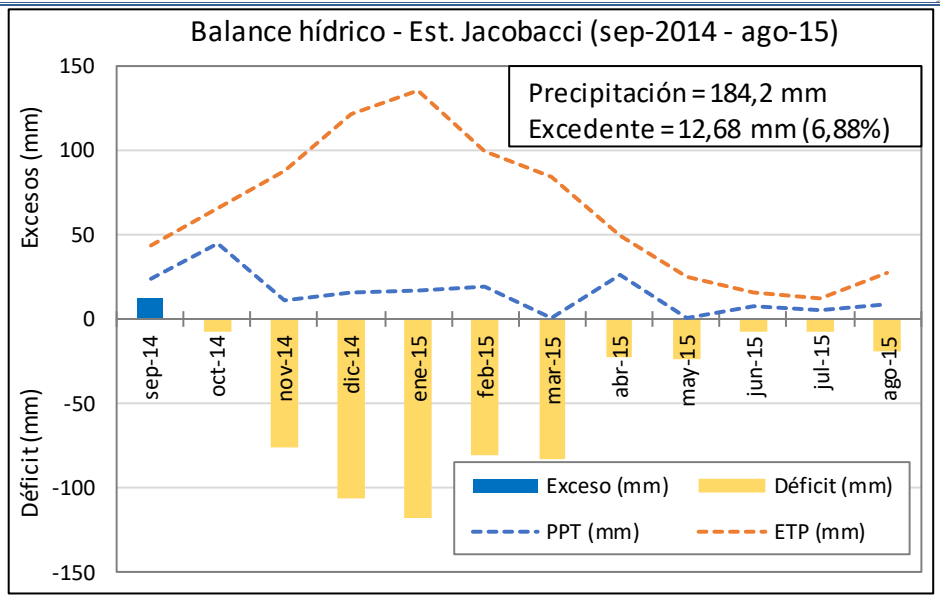


Figura 5.14: Excesos y déficit en Jacobacci para un año promedio.

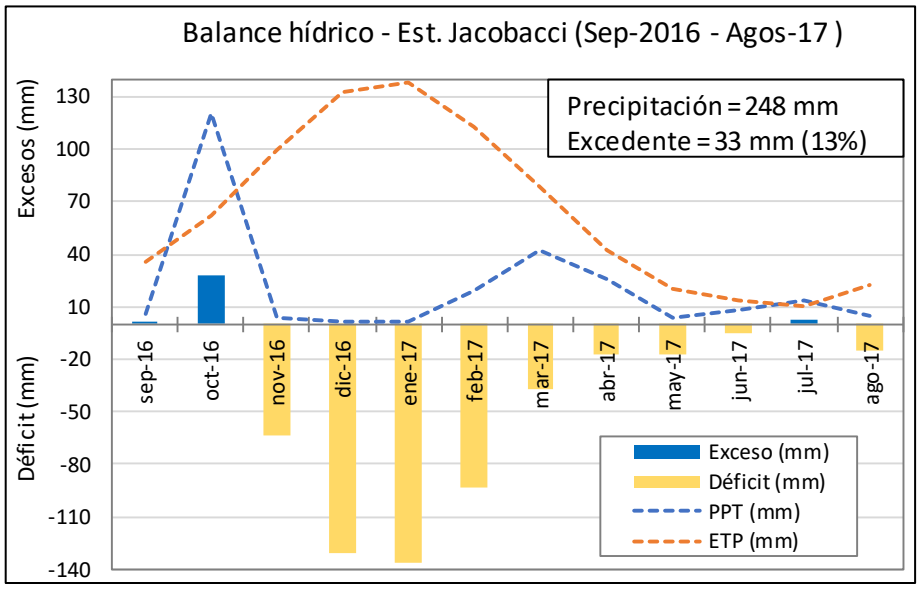


Figura 5.15: Excesos y déficit en Jacobacci para un año húmedo.

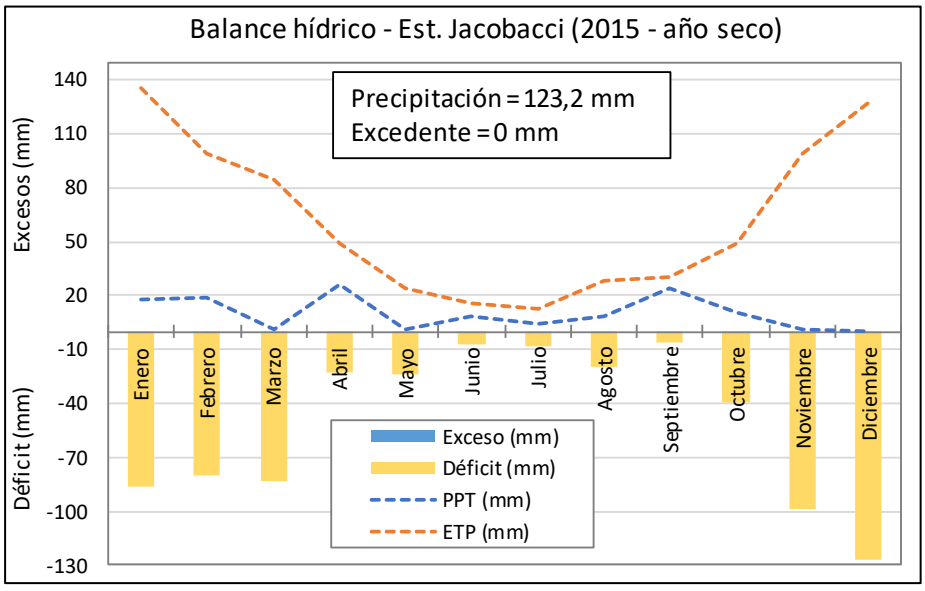


Figura 5.16: Excesos y déficit en Jacobacci para un año seco.

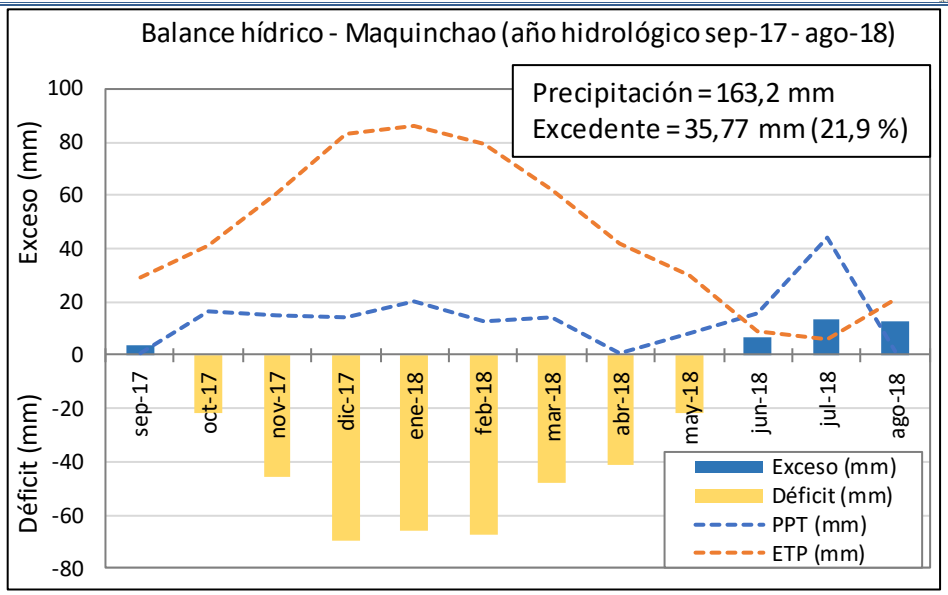


Figura 5.17: Excesos y déficit en Maquinchao para un año promedio.

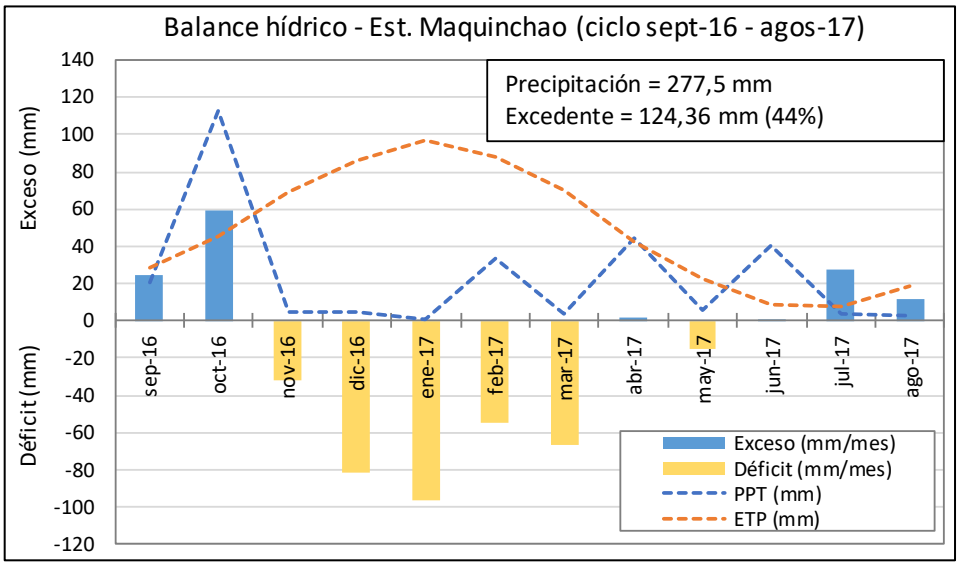


Figura 5.18: Excesos y déficit en Maquinchao para un año húmedo.

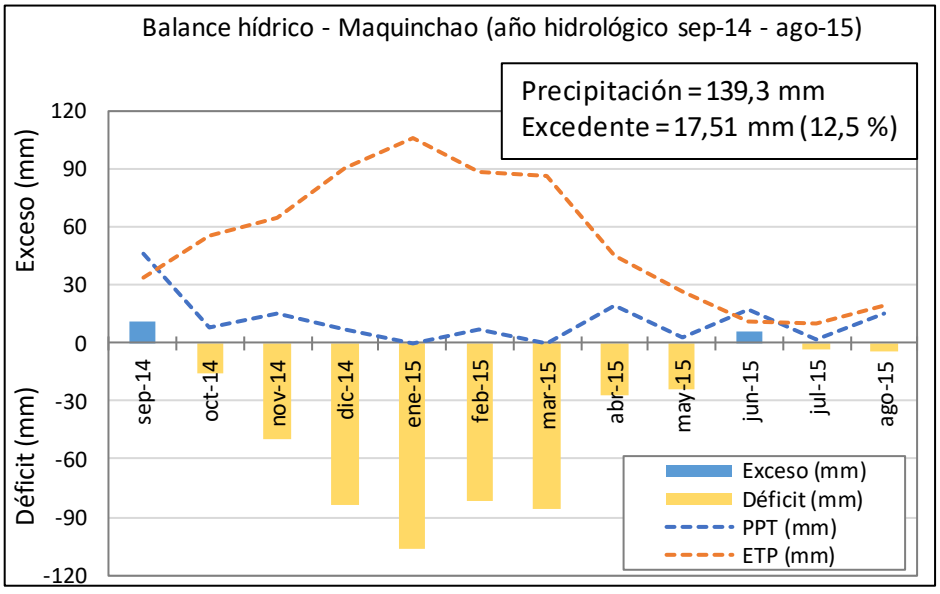


Figura 5.19: Excesos y déficit en Maquinchao para un año seco.

5.2 Geología y geomorfología

Para la confección de los capítulos de Geología y Geomorfología se ha obtenido la información de las Cartas Geológicas del SEGEMAR, a escala 1:250.000, incluyendo la Hoja 4169 III Ingeniero Jacobacci.

En relación a la recopilación bibliográfica, se revisó el Libro “Geología Argentina” (Anales 29, SEGEMAR 1999), y además se contó con las descripciones de las hojas Geológicas SEGEMAR a escala 1:250.000. A partir de esta información se reconocieron las diferentes unidades formacionales en un contexto regional y local, correspondientes a la provincia geológica “Macizo Norpatagónico” y a las inmediaciones de Ingeniero Jacobacci, respectivamente.

En cuanto a las unidades geomorfológicas, se diferenciaron y agruparon teniendo en cuenta la bibliografía y partiendo de las hojas geológicas del SEGEMAR. Conjuntamente, se utilizó una imagen satelital LANDSAT 8, la cual permitió, según el orden de bandas visualizadas, definir con mayor claridad las geoformas identificadas, los límites y profundidad de cuerpos de agua y la humedad de suelos y vegetación. La foto lectura fue facilitada debido al hecho de que no existe mayormente cobertura vegetal ni formaciones nubosas frecuentes que interfieran en la interpretación.

5.2.1 Geología

En el presente inciso se describirán las principales características geológicas del área de estudio, teniendo en cuenta tanto un contexto regional a nivel de cuenca, como local, de subcuenca.

5.2.1.1 Contexto geológico regional

La cuenca Hídrica de la Laguna Carri Laufquen Grande forma parte de la provincia geológica Macizo Norpatagónico, en la región extra-andina de la provincia de Rio Negro. Esta provincia limita hacia el oeste con la Precordillera Patagónica, mientras que hacia el este se extiende hasta la plataforma del Mar Argentino. Al norte limita con la Cuenca del Colorado (noreste) y la Cuenca Neuquina (noroeste) y su límite sur coincide con la cuenca del Golfo de San Jorge. En la Figura 5.20 se puede observar cómo se dispone la cuenca Cari Laufquen Grande en relación a las provincias geológicas mencionadas.

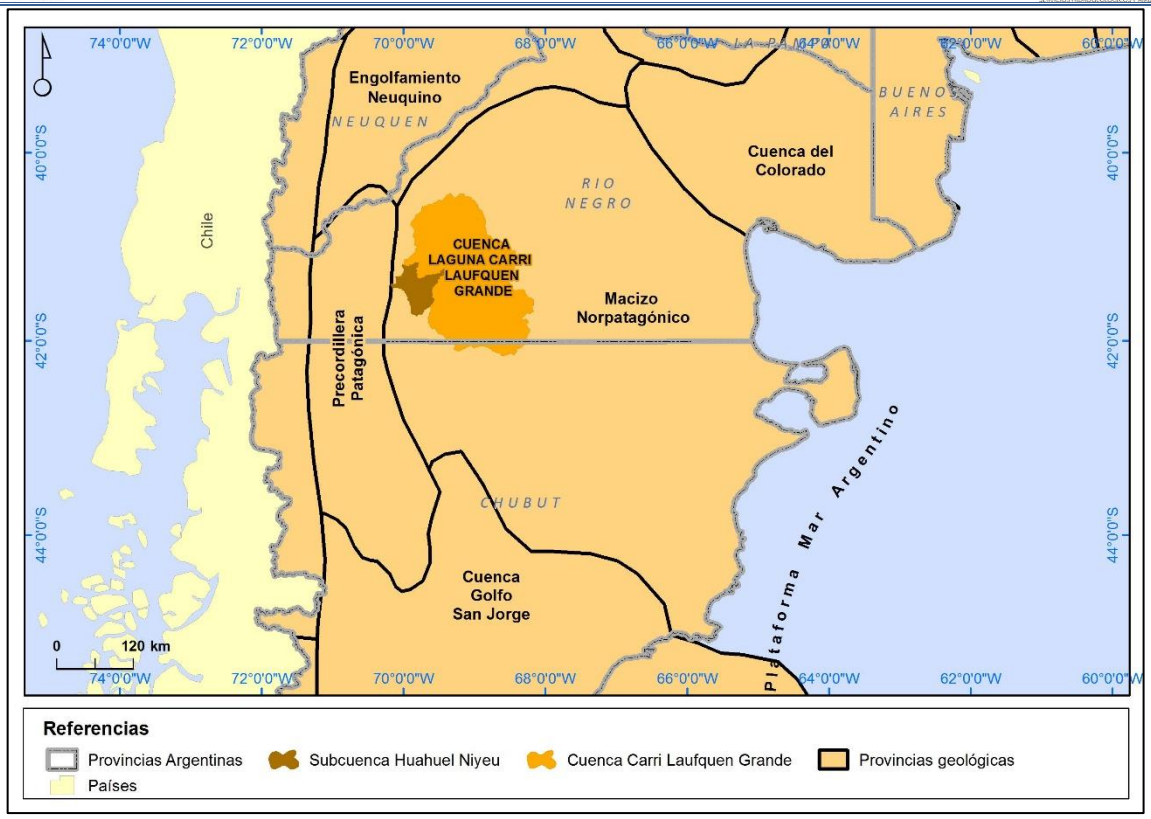


Figura 5.20: Ubicación de zona de estudio en relación a las provincias geológicas.

La estratigrafía general distingue un Basamento Cristalino y una cobertura volcano-sedimentaria que involucra los ciclos orogénicos Pampeano (Neoproterozoico - Cámbrico medio), Famatiniano (Cámbrico tardío – Devónico), Gondwánico (Carbonífero - Triásico) y Ándico (Jurásico – Actualidad).

Uno de los rasgos más importantes del macizo es la existencia de volcanismo basáltico asociado a la formación de su actual relieve positivo. Se inicia con escasos cuellos volcánicos y domos de basaltos alcalinos en el Eoceno, para continuar con importantes derrames basálticos alcalinos, de edad oligocena (27 Ma) los que han cubierto gran parte del macizo. (Ramos, 1999). Los depósitos terciarios se interdigitan con el volcanismo basáltico, pero al comportarse esta región como un macizo positivo no alcanzaron gran desarrollo.

En el sector nororiental aflora el basamento metamórfico, de naturaleza precámbrica, que se caracteriza por gneises y esquistos micáceos, a las que también se asocian granitoides y metamorfitas de bajo grado (Ectinitas) de edad eopaleozoicas. Todo este conjunto se encuentra atravesado por plutonitas de edad ordovícica, carbonífera y pérmica (Ramos 1999). En el margen occidental se presentan esquistos y granodioritas del Proterozoico – Cámbrico y Ordovícico, pertenecientes a las formaciones Cushamen y Mamil Choique respectivamente.

Para el sector oeste afloran las plutónicas del pérmico–triásico tardío del Batolito de la Patagonia central, con participación de la Fm. Lipetrén. Asociado a esta época, se observa para el sector central una secuencia volcano–sedimentaria

de edad triásica medio a tardío, con desarrollo de la clásica flora de Los Menucos, por encima o interdigitados con las secuencias volcánicas.

El ciclo Ándico, se encuentra distribuido en todo el macizo y comienza con unidades correspondientes a un plutonismo jurásico temprano de ambiente extensional. Estas unidades luego son cubiertas por depósitos continentales de edad cretácica, sobre las que finalmente son invadidas en el sector oriental por las transgresiones Maestrichtiana-Daniana, la eocena y las correspondientes al neógeno.

Desde el punto de vista estructural, la región está ubicada en el límite entre la faja plegada y corrida occidental, asociada a la estructuración de la Cordillera Patagónica, y el sector occidental del Macizo Norpatagónico. Este último se caracteriza por presentar grandes bloques, controlados por el régimen extensional, que marcó la apertura del Océano Atlántico Sur y el desarrollo hacia el norte de la cuenca aulacógena del Colorado, reactivados y/o invertidos durante el ciclo Ándico.

5.2.1.2 Contexto geológico local

El contexto local de estudio corresponde a la subcuenca del Arroyo Huahuel Niyeu, la cual forma parte de la Cuenca Hídrica de la laguna Carri Laufquen Grande. Para la descripción de las unidades geológicas implicadas en el área de interés se utilizó la Hoja Geológica 4169-III Ingeniero Jacobacci, la cual se encuentra situada en la región suroccidental de la provincia de Rio Negro, limitada por los paralelos 41º y 42º de latitud sur y los meridianos 69 y 70º 30´ de longitud oeste.

A continuación, se describirán de manera sintética las unidades geológicas que la integran, siguiendo un ordenamiento estratigráfico, desde las más antiguas hasta las más recientes. La Tabla 5.8 muestra las unidades litológicas del área de estudio.

Tabla 5.8: Unidades reconocidas en la Hoja Geológica 4169-III.

Era	Período	Época	Origen	Denominaciones	Litología
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno / Pleistoceno	Continental	Depósitos modernos	Depósitos aluviales, de remoción en masa, de bajos y lagunas, abanicos aluviales antiguos y pedemontanos, depósitos indiferenciados. Bloques, gravas, arenas, limos, arcillas .
			Volcánico	Basalto Crater	Basaltos olivinicos.
		Pleistoceno	Continental	Fm. Jacobacci	Depósitos fluviales. Gravas, arenas, limos y arcillas.
			Volcánico	Basalto Rumay	Basaltos olivínicos.
	Neógeno	Plioceno	Volcánico	Basalto Mulliar - Fm. Campana - Basalto Trailacahue	Basaltos - Basaltos olivinicos, escorias y tefras basalticas - Basaltos olivinicos con nodulos ultramaficos.
		Mioceno	Continental	Fm. La Pava - Fm Collón Cura	Tobas y tufitas - Tobas tufitas, limolitas y areniscas tobaceas con lentes de sabultitas.
	Paleógeno	Oligoceno	Volcánico	Complejo volcanico Agua de la Piedra	Traquitas y basaltos.
			Volcánico	Basalto Rincon de las Bayas - Basalto Meseta de Coli Toro - Basalto Cari Laufquen	Basaltos - Basaltos olivinicos - Basaltos olivinicos y tobas y tufitas.
		Eoceno	Continental	Fm. Bajada de los ingleses	Areniscas tobaceas, arcillitas y diatomitas.
			Volcánico	Volcanitas Las Chacras	Basaltos olivinicos y tobas riodaciticas.
			Plutónico	Fm. Cerro cortado	Gabros alcalinicos (Teschenitas).
			Volcánico	Fm. Huitrera	Andesitas e ignimbritas rioliticas y daciticas, aglomerados, tobas y brechas volcanicas.
		Paleoceno	Continental	Fm. Huanuluan	Tobas, lapillitas, cineritas, limolitas, areniscas tobaceas y lentes de conglomerados.
			Marino	Fm. Roca	Areniscas y bancos de lumaquelas con invertebrados fósiles.
			Marino	Fm. Coli Toro	Areniscas calcareas, limolitas, arcilitas y calizas.
Mesozoico	Cretácico	Superior	Continental	Fm. Angostura Colorada	Areniscas, arcilitas, conglomerados y tufitas.
	Jurásico	Superior	Continental	Fm. Coyueque	Areniscas y areniscas conglomerádicas.
			Volcánico	Fm. Taquetrén	Andesitas e ignimbritas, aglomerados y brechas volcanicas andesitcas, tobas lapillitas, y diques andesiticos.
		Medio			
		Inferior	Plutonico	Superunidad Pilcaniyeu	Granodioritas y tonalitas; granitos con cataclasis.
	Triásico	Superior	Volcánico	Fm. Sañico	Andesitas, aglomerados y brechas volcanicas.
			Continental	Fm. Paso Flores	Areniscas, conglomerados y sabulitas.
			Volcánico	Fm. Garamilla	Riolitas, ignimbritas y tobas rioliticas.
		Inferior - Medio	Plutonico	Fm. Lipetrén	Granitos, pórfidos graniticos y diques apliticos.
Paleozoico	Pérmico				
	Carbonifero		Plutonico	Granodiorita Comallo	Granodioritas con biotita.
	Devonico		Plutónico	Fm. Neneo Ruca - Granito Viuda Gallo	Leucogranitos, aplitas y pegmatitas - Granitos
	Ordovícico		Plutónico	Fm. Mamil Choique	Granodioritas con biotita y granitos con biotita, muscovita y granate.
Neoproterozoico / Cámbrico			Metamórfico	Fm. Cushamen	Esquistos cuarzo muscoviticos y gneises bandeados y foliados.

(Fuente: Hidroar S.A.)

La secuencia del sector inicia con los depósitos Neoproterozoico–cámbricos correspondientes a un basamento metamórfico de grado medio (esquistos, metacuarcitas y gneises), de la **Fm. Cushamen** (Volkheimer, 1964), las que se encuentran distribuidas al sur de la localidad de Comallo, al nor–noreste de la estación Neneo Ruca de la Línea Sur del Ferrocarril Roca, y al oeste de Rio Chico.

Para el paleozoico, se aprecian en primera instancia migmatitas, granitoides y tonalitas de edad Ordovícica asignadas por Ravazzoli y Sesana, 1977 a la **Fm.**

Mamuel Choique. Estas se encuentran expuestas en la mitad occidental de la Hoja, y presentan continuidad tanto al norte como al sur con sus hojas vecinas. El Devónico está representado por los leucogranitos de la **Fm Neneo Ruca** (González, 1997) y por el **Granito Viuda Gallo** (Dalla Salda et al., 1994). Estos cuerpos intrusivos afloran únicamente en el extremo noroeste, cerca de la estación Neneo Ruca del Ferrocarril Roca y al oeste de la localidad de Mamil Choique respectivamente. González (1997, 1998) ubicó a la unidad en el Devónico debido a que cortan a los granitoides de la Fm. Mamil Choique, y por sus semejanzas petrográficas con los granitos identificados por Dalla Salda et al. (1994). Para el Carbonífero se registran pequeños afloramientos de granodioritas adjudicados por Varela et al. (1995) a la **Granodiorita Comallo**, situados en el pueblo del mismo nombre. La transición permo–triásica está manifestada por granitos y pórfidos graníticos rosados de la **Fm. Lipetrén** (Nullo, 1978), afloramientos que se encuentran en el extremo sur de la Hoja, en el área de la sierra homónima.

Por encima se reconoce a la **Fm. Garamilla,** la cual inicialmente fue reconocida por Volkheimer (1965) como una asociación volcánica a la que denominó “Complejo porfírico”. Posteriormente Nullo (1978), estableció el nombre a vulcanitas acidas, con predominancia de ignimbritas riolíticas del Triásico. Los afloramientos de esta unidad en el área de estudio son, en general, pequeños asomos en la región centro – sur y noroeste de la hoja. Para el triásico superior se agrupan a un conjunto de sedimentitas continentales constituidas por conglomerados, conglomerados arenosos y areniscas bajo la denominación de **Fm. Paso Flores** (Fossa Mancini 1937), los cuales se localizan en pequeños afloramientos al este de Comallo y conformando una faja muy angosta entre los granitoides más antiguos y las volcanitas de la **Fm. Sañicó**. Esta última, reconocida por Galli (1953), como tobas, volcanitas y pórfidos que afloran al noroeste del sector.

Las rocas más antiguas asignadas al periodo Jurásico, se encuentran representadas por un conjunto de rocas graníticas aflorantes en los alrededores de la localidad de Pilcaniyeu, al sur - oeste de la hoja. El conjunto fue agrupado inicialmente por Rabassa (1975), quien los denomino informalmente “Basamento Cristalino–Granitos” de edad Pérmica. Luego Rapela y Alonso (1991) propusieron el nombre **“Superunidad Pilcaniyeu”,** con la que actualmente se conoce. Por encima de esta última, la secuencia continua con vulcanitas jurásicas de composición mesosílica a básica, pertenecientes a la **Fm. Taquetrén** (Nullo y Proserpio, 1975). Estas rocas se encuentran difundidas hacia el Sur de la localidad de Clemente Onelli. Por último, la **Fm. Coyueque**, del Jurásico tardío, introducida por Nullo (1978), se compone de areniscas y calizas, localizadas como pequeños asomos aflorantes en el sector austral de la hoja.

El Cretácico comienza con un conjunto de rocas sedimentarias continentales definidas por Volkheimer (1973) como **Fm. Angostura Colorada**. Esta unidad está integrada por una sucesión de facies de areniscas, pelitas y conglomerados, distribuidas en dos áreas principales: la de Ingeniero Jacobacci – Lipetrén y la de

Comallo. En la región de Ingeniero Jacobacci se reconocieron afloramientos cercanos hacia el norte de la localidad, en la zona de la laguna Carri Laufquen, asomos en los faldeos occidentales de la meseta de Coli Toro y hacia el sureste de la hoja. Estos depósitos se correlacionan por sus características litológicas, ambientales, y por su edad y posición estratigráfica, con los de los grupos Chubut y Neuquén, que constituyen extensos afloramientos al sur y norte de esta región, respectivamente.

Bertels (1969) denominó **Fm. Coli Toro** a un conjunto de arcillitas y areniscas friables y de grano fino de edad Cretácica–Paleógena que aparecían en la región del mismo nombre. Posteriormente Volkheimer (1973), Coira (1979), Ñáñez (1983), Lápido et al. (1984) y Spalletti (1988) generalizaron esta denominación para este sector del Macizo Norpatagónico.

La unidad anterior se presenta subyacente a las sedimentitas marinas de la **Fm. Roca**, que se hallan en pequeños afloramientos alrededor del cerro Mulliar, a 50 km al noreste de Ingeniero Jacobacci. Estos depósitos denominados por Ihering (1903) contienen abundante macrofauna de invertebrados marinos y pueden ser correlacionados con unidades dentro de la Cuenca Neuquina.

A comienzos del Paleoceno se registra una secuencia sedimentaria, epiclástica y piroclástica, bajo la denominación de **Fm. Huanuluán** dada por Coira (1979). Se encuentran difundidas en el área central de la hoja, en los alrededores de la estancia Huanuluán, unos kilómetros al oeste de Ingeniero Jacobacci. Se trata de psamitas y psefitas con un alto contenido de matriz, y de tobas vítreas de composición andesítica. En la transición al Eoceno se observa la **Fm. Huitrera**, conformada por rocas volcánicas de composición andesítica, riolítica y rocas hipabisales asociadas, las que tienen su área tipo en el cerro Huitrera. Diversos autores fueron los que estudiaron estas rocas, citándose a Ravazzolli y Sesana (1968), Volkheimer (1973), Nullo (1978) y Coira (1979) como los más relevantes. Por encima, se reúnen una sucesión de cuerpos subvolcánicos y diques básicos alcalinos que reflejan un fuerte relieve positivo, de la **Fm. Cerro Cortado** (Coira 1977; Nullo 1978). Los afloramientos de la localidad tipo, en el cerro homónimo, se encuentran al sudeste de Ingeniero Jacobacci. Conjuntamente, para la misma época, Coira (1979) identifica una serie de coladas y basaltos pertenecientes a las **Volcanitas Las Chacras**, que constituyen las altas mesetas situadas al sur de Ingeniero Jacobacci y la ruta Provincial nº 6. Durante la transición al Oligoceno se reconocieron un conjunto de sedimentitas con participación piroclástica designadas por Cucchi (1998) bajo el nombre de **Fm. Bajada de Los Ingleses**. Se trata de areniscas limo arcillosas, y friables con intercalaciones de arcillitas y conglomerados que afloran al norte de la Hoja, en las adyacencias de la ruta provincial nº 6 que comunica Ingeniero Jacobacci con General Roca y Neuquén.

Con el nombre de **Basalto Meseta de Coli Toro,** Cuchi et al. (1999) reunió a los basaltos olivínicos aflorantes al noreste de la Hoja, en la meseta homónima,

prolongándose fuera de la misma. Su edad Oligocena se estableció sobre la base de su relación estratigráfica con la Fm. Bajada de los Ingleses.

Como último evento del período, y en transición al Mioceno, se registra el "**Basalto Cari Laufquen**", compuesto por dos unidades: los basaltos olivínicos, denominados así por González (1998), que forman parte de la meseta de Cari Laufquen y que poseen rasgos superficiales de lavas tipo pahoe-hoe, con superficies suaves y onduladas (Coira, 1979), y las tobas y tufitas subyacentes que se encuentran en esta zona. Acompañando a estas unidades, se encuentran el **Complejo Volcánico Agua de la Piedra** (Ramesal et al. 1999), y **los Basaltos Rincón de las Bayas** (Volkheimer y Lager 1981); cuyo centro volcánico está ubicado en la zona limítrofe entre las hojas Ingeniero Jacobacci y Maquinchao y en el valle del rio Chico, respectivamente.

El Mioceno está representado por las formaciones La Pava y Collón Cura, y en su límite superior, en transición al Plioceno, por el Basalto Mulliar. La **Fm. La Pava** fue separada de la **Fm. Collón Curá** como unidad independiente por Nullo (1974). Las primeras corresponden a depósitos producto del retrabajo de rocas piroclásticas, con variable aporte epiclástico (areniscas tobáceas y tufitas arenosas), en los que se intercalan muy frecuentes niveles de paleosuelos, y en menor medida bancos de diatomitas, los cuales son explotados. La unidad aflora en las áreas deprimidas de la mitad oriental de la hoja, al sur de la meseta de Cari Laufquen, fundamentalmente hacia las márgenes de los valles de los arroyos Huahuel Niyeu y Quetrequile. Los depósitos de la Formación Collón Cura, inicialmente descriptos por Roth (1899), afloran en el sector occidental de la hoja, fundamentalmente en los valles del rio Chico y del arroyo Comallo y sus tributarios principales. Se trata de tobas de composición dacítica y tufitas, con participación de conglomerados. Volkheimer (1973) y Coira (1979), las incluyen, en la región de Ingeniero Jacobacci, en diferentes unidades (Vulcanitas Las Chacras, Fm. La Pava, tobas del Basalto de Cari Laufquen).

Hacia el Plioceno inferior, se observan afloramientos de coladas basálticas amigdaloides, denominados por Coira (1979) como **"Basaltos Mulliar**", los cuales aparecen en el cerro homónimo y sus cercanías, hacia el Este de Ingeniero Jacobacci. También para el Plioceno, Ravazzoli y Sesana (1977) reunieron bajo la denominación de **Fm. Campana** a un conjunto de coladas basálticas que constituyen la escoria ubicada en las márgenes del cañadón Mamil Choique y en el margen nor-oeste del rio Chico. Asociado al mismo evento, González (1998) reconoció en el área de Comallo a los **"Basaltos Trailacahue**".

Los depósitos cuaternarios del Pleistoceno corresponden a basaltos que cubren una superficie amplia en el sector centro–sur de la hoja, muy cerca de la sierra de Lipetrén. Estas unidades fueron adoptadas por Nullo (1978) con el nombre de **"Basalto Rumay".** También se observaron depósitos clásticos continentales que corresponden a la Fm. Jacobacci, aflorando en las márgenes del arroyo Huahuel Niyeu al este de la localidad de Ing. Jacobacci y dispuestas en discordancia sobre la

Fm. Coli Toro y Fm. Angostura Colorada. Se encuentra compuesta por depósitos fluviales de psefitas, psamitas y pelitas, constituyendo el primer nivel de terraza.

Para el Holoceno se puede mencionar al grupo de basaltos modernos denominado **Basalto Cráter**, que fue definido por Ravazzoli y Sesana (1977) y luego utilizado por Nullo (1978), Coira (1979) y Volkheimer y Lage (1981), entre otros. En general se compone de coladas basálticas olivínicas.

Finalmente, para el sector en estudio, se reconocen depósitos modernos del Pleistoceno/ Holoceno de origen continental, que configuran, junto con las unidades volcánicas, el paisaje actual. Entre ellas se pueden mencionar depósitos aluviales, abanicos aluviales antiguos y pedemontanos, depósitos de bajos y lagunas, y de remoción en masa, los cuales involucran una amplia variedad de granulometrías desde bloques, gravas, arenas, limos y arcillas.

Como se mencionó anteriormente, las unidades anteriormente citadas corresponden a aquellas descriptas para la hoja geológica de Ingeniero Jacobacci, si bien no todas ellas aparecen en el sector de estudio propiamente dicho. A raíz de esto, la Tabla 5.9 y el Mapa 7 presentan las unidades geológicas para la cuenca del Arroyo Huahuel Niyeu. Adicionalmente, la Figura 5.21 presenta las unidades simplificadas para la zona de estudio.

Tabla 5.9: Unidades geológicas reconocidas en la cuenca del Arroyo Huahuel Niyeu.

Era	Período	Época	Origen	Denominaciones	Litología	Unidad Litologíca simplificada
Cenozoico	**Cuaternario**	*Holoceno / Pleistoceno*	*Continental*	*Depósitos modernos*	Depósitos aluviales, de remoción en masa, de bajos y lagunas, abanicos aluviales antiguos y pedemontanos, depósitos indiferenciados. Bloques, gravas, arenas, limos, arcillas.	*Sedimentos Cuaternarios*
			Volcánico	*Basalto Crater*	Basaltos olivinicos.	*Vulcanitas Cuaternarias*
		Pleistoceno	*Continental*	*Fm. Jacobacci*	Depósitos fluviales. Gravas, arenas, limos y arcillas.	*Sedimentos Cuaternarios*
	Neógeno	*Plioceno*	*Volcánico*	*Fm. Campana*	Basaltos olivinicos con nodulos ultramaficos.	*Vulcanitas Terciarias*
		Mioceno	*Continental*	*Fm. La Pava*	Tobas y tufitas.	*Sedimentitas continentales Terciarias*
	Paleógeno	*Oligoceno*	*Volcánico*	*Basalto Cari Laufquen*	Basaltos olivinicos, tobas y tufitas.	*Vulcanitas Terciarias*
		Eoceno	*Volcánico*	*Volcanitas Las Chacras*	Basaltos olivinicos y tobas riodaciticas.	
			Volcánico	*Fm. Huitrera*	Andesitas e ignimbritas rioliticas y daciticas, aglomerados, tobas y brechas volcanicas.	
		Paleoceno	*Continental*	*Fm. Huanuluan*	Tobas, lapillitas, cineritas, limolitas, areniscas tobaceas y lentes de conglomerados.	*Sedimentitas continentales Terciarias*
			Marino	*Fm. Coli Toro*	Areniscas calcareas, limolitas, arcilitas y calizas.	*Sedimentitas marinas Mesozoicas*
Mesozoico	**Cretácico**	*Superior*	*Continental*	*Fm. Angostura Colorada*	Areniscas, arcilitas, conglomerados y tufitas.	*Sedimentitas continentales Mesozoicas*
	Jurásico	*Superior*	*Volcánico*	*Fm. Taquetrén*	Andesitas e ignimbritas, aglomerados y brechas volcanicas andesitcas y diques andesiticos.	*Vulcanitas Mesozoicas*
		Medio				
	Triásico	*Superior*	*Volcánico*	*Fm. Garamilla*	Riolitas, ignimbritas y tobas rioliticas.	

(Fuente: Hidroar S.A.)

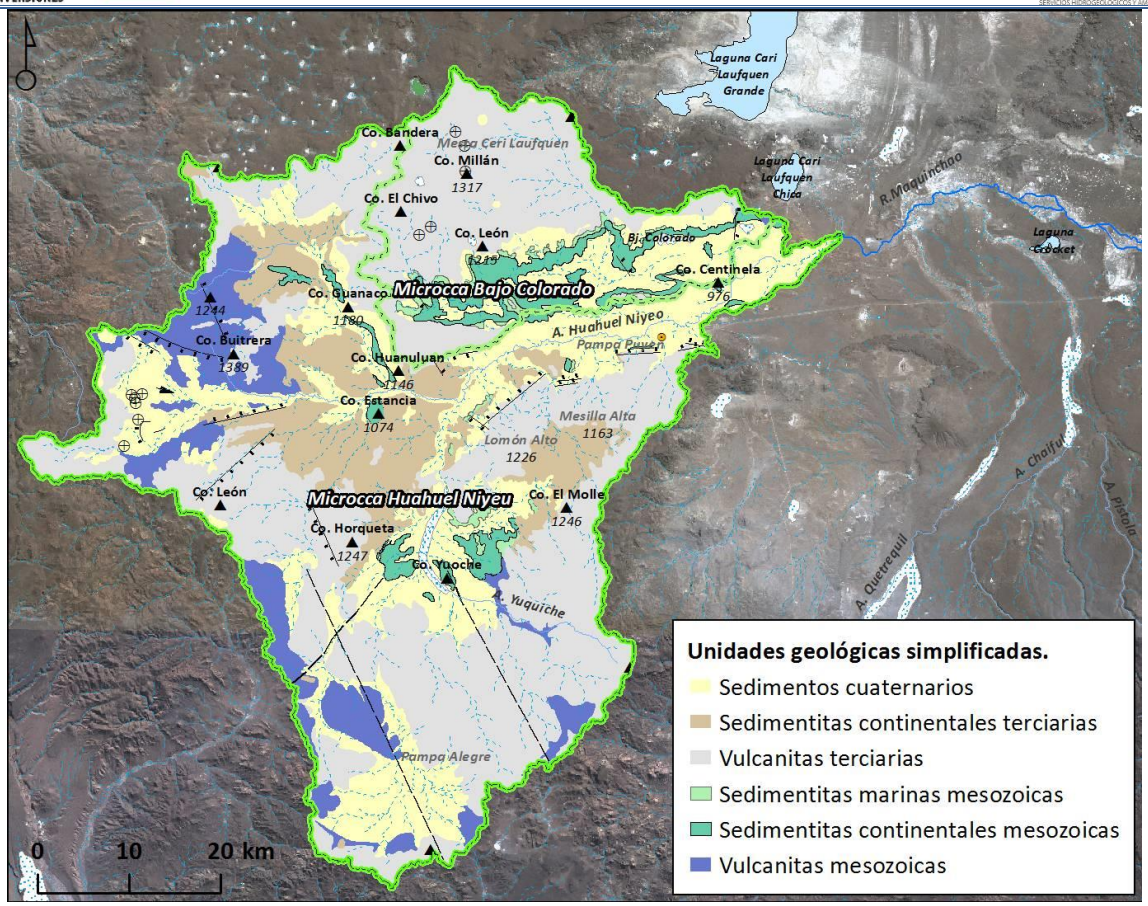


Figura 5.21: Unidades geológicas simplificadas.

5.2.2 Geomorfología

La zona de estudio se localiza en la región denominada Patagonia extra-andina, que ocupa la mayor parte de Rio Negro. Estas zonas han estado sometidas a procesos tanto endógenos como exógenos, lo que le confiere al paisaje áreas con características geomorfológicas complejas, con señales de la acción de cada uno de estos procesos. La geomorfología descripta puede observarse en el Mapa 8.

Las geoformas se pueden agrupar en positivas y negativas según el relieve que tengan. Dentro de las primeras se encuentran los cordones serranos y lomadas, abanicos aluviales, dunas, terrazas, domos, etc. La implicancia en el ciclo hidrológico de estas formas está relacionada con el escurrimiento superficial a favor del gradiente topográfico, favoreciendo la recarga en aquellas geoformas negativas. Las geoformas negativas incluyen valles fluviales, cañadones, y bajos y lagunas temporarias o permanentes que pueden alojar o estar bordeadas por “mallines”.

Una de las unidades más importantes para la zona de estudio, principalmente por la extensión que ocupa, está constituida por las planicies estructurales lávicas, las cuales conforman el actual paisaje serrano y mesetiforme. Estas superficies están conformadas por domos y coladas basálticas y conos volcánicos asociados. Pueden ser planas, rugosas, onduladas e irregulares y su origen se relaciona con el derrame de grandes volúmenes de lavas básicas fluidas. Generalmente, por acción

diferencial de los cursos de agua, éstas se encuentran profundamente disectadas por valles fluviales, depresiones y cañadones.

Localmente, en las inmediaciones de Ing. Jacobacci, las cotas oscilan entre 790 y 1300 m, registrándose las pendientes más altas en los límites de las planicies estructurales lávicas. Estas mesetas son de extensión notable, con escaso o nulo desarrollo de suelos y de cobertura vegetal.

La meseta de Cari Laufquen corresponde a la de mayor extensión en la zona, de edad Paleógena, tiene una superficie llana a suavemente ondulada, con cotas elevadas en relación a su entorno. Presenta aparatos volcánicos sobrepuestos y bajos endorreicos en su superficie.

Hacia el sur de la localidad de Ingeniero Jacobacci, aparece una planicie estructural lávica de igual edad que la anterior con menor extensión y que está sumamente recortada por erosión, careciendo del aspecto continuo de la meseta de Cari Laufquen. Vinculado al desarrollo de estas planicies estructurales, en sus márgenes son comunes las geoformas resultantes de procesos de remoción en masa, como ser deslizamientos rotacionales, caídas de rocas y en menor medida flujos encausados. Además, pueden observarse planos de diaclasas, debido a la rotura de la masa rocosa.

Con respecto a la acción fluvial, se puede observar que los cursos en la zona son de escaso caudal y poseen régimen temporario, pudiendo aflorar de modo esporádico formando mallines, con numerosas cárcavas asociadas a procesos de degradación. En general, los valles fluviales de la zona suelen tener un relieve de poca pendiente, con suelos típicamente arenosos y niveles de agua subterránea someros. El valle del arroyo Huahuel Niyeu presenta las características anteriormente mencionadas, presenta control estructural y muestra un desarrollo lateral que evidencia condiciones más húmedas que las actuales para el pasado.

Con respecto a las planicies y terrazas fluviales, por lo general presentan escaso desarrollo en el sector de estudio, para la zona de estudio, la planicie actual presenta extensiones variables en general en torno a los 500 m, presentando sectores más extensos o angostos localmente. En las laderas del arroyo Huahuel Niyeu se presentan terrazas parcialmente preservadas, consecuencia de un cambio de nivel de base, posiblemente vinculado con la formación de relieve volcánico. Durante el estudio del CFI de 1991 se identificaron 5 niveles de terrazas que aparecen en ambos márgenes del arroyo y que se componen por arenas y conglomerados.

Otras geoformas asociadas a la acción fluvial corresponden a los abanicos aluviales, los cuales para la zona de estudio aparecen sobre el valle del Huahuel Niyeu, encontrándose formando bajadas antiguas que se encuentran disectadas por la acción fluvial.

Hacia el noreste del área de estudio se observa la zona topográficamente más baja, donde se encuentran las lagunas Cari Laufquen Chica y Grande,

conformando una cuenca endorreica de drenaje centrípeto y extensa superficie con este sector como nivel de base regional. Las aguas de la primera son de régimen permanente y de agua dulce, mientras que las de la segunda presentan régimen temporario y aguas salobres. El arroyo Huahuel Niyeu desemboca en el río Maquinchao en épocas de mayores caudales, el cual a su vez se dirige hacia la laguna Cari Laufquen Chica, desde la cual drena hacia la Cari Laufquen Grande.

En la parte oriental de las lagunas se observan, excelentemente conservadas, antiguas líneas de costa representadas mayormente por cordones psefíticos, que atestiguan distintos estadios alcanzados por el cuerpo de agua en sucesivas etapas de disminución de su tamaño.

De manera más local, se puede observar hacia el sector norte de la localidad de Ing. Jacobacci una subcuenca pequeña que cuenta con el Bajo Colorado como nivel de base local, desde el cual podría conectarse en épocas de crecidas con el arroyo Huahuel Niyeu en su zona baja.

El proceso eólico se manifiesta como dunas y mantos de arena o pelitas superpuestos a otras geoformas, en áreas adyacentes a bajos y en proximidades de cursos fluviales. Resultan de los procesos de deflación – acumulación eólica. En la zona de las lagunas se observan en forma de plumas, producto de vientos dominantes del oeste.

Por último, se puede citar a los relieves erosivos de las formaciones rocosas, ya sea sedimentarias o volcánicas, que representan la acción erosiva de los distintos agentes sobre los afloramientos y elevaciones producidas por estas unidades. Estos relieves se pueden observar a lo largo de toda el área de estudio, estando definidas por la aparición de las distintas unidades rocosas, predominando hacia los sectores Sur y Oeste de la cuenca.

5.3 Hidrología Superficial

El presente estudio se encuentra contenido en la denominada Subcuenca del Arroyo Huahuel Niyeu, la misma se encuentra contenida a su vez dentro de la cuenca regional denominada Cuenca de la Laguna Carri Laufquen. La red de drenaje que caracteriza la zona de interés y sus alrededores está integrada por cursos de agua casi todos temporarios, en respuesta a las condiciones de clima semi-árido imperantes en la región. Las corrientes de agua superficial convergen hacia las lagunas Carri Laufquen Chica en primera instancia y luego hacia la Carri Laufquen Grande, las cuales actúan como nivel de base regional conformando una cuenca de tipo endorreico con descarga centrípeta. Estos cuerpos de agua corresponden a los más relevantes en el área, donde la laguna grande es de tipo temporario y de características salobres, mientras que la chica solía ser de tipo permanente y dulce. No obstante, se ha observado que ambas lagunas han llegado a secarse completamente.

El arroyo Maquinchao, de carácter temporario, es el principal afluente a las lagunas, ingresando desde el este, luego de recibir el aporte de distintos arroyos, como el Huahuel Niyeu desde oeste y Quetrequile desde el sur. Las nacientes del arroyo Maquinchao se ubican en el centro norte de la provincia de Chubut, en la zona de las Sierras de Piré Mahuida y de Lonco Trapial, donde se origina por la unión de tres cursos de agua menores. En su tramo final, corre en forma casi paralela a la Ruta Nacional N° 23 por el bajo de Carri-Laufquen hasta los 41°15´ de latitud Sur y 60°25´ longitud Oeste, donde cambia de rumbo hacia el Noroeste, para descargar sus aguas hacia la laguna Carri Laufquen Chica.

Como se describió anteriormente, el área de estudio se halla dentro de la subcuenca del Arroyo Huahuel Niyeu, la cual comprende un área aproximada de unos 2.055 km^2, ver Figura 5.22. Dentro de esta subcuenca, hacia el sector NE se identifica una microcuenca denominada por Hidroar como Bajo del Colorado, de tipo endorreica, con un drenaje centrípeto hacia el bajo homónimo que se desarrolla en su extremo oriental. Se estima que la misma funcionaría como una microcuenca separada que podría conectarse en períodos de exceso hídrico. Como se mencionó anteriormente, la denominación de esta microcuenca ha sido definida por Hidroar con fines descriptivos para facilitar la lectura del informe.

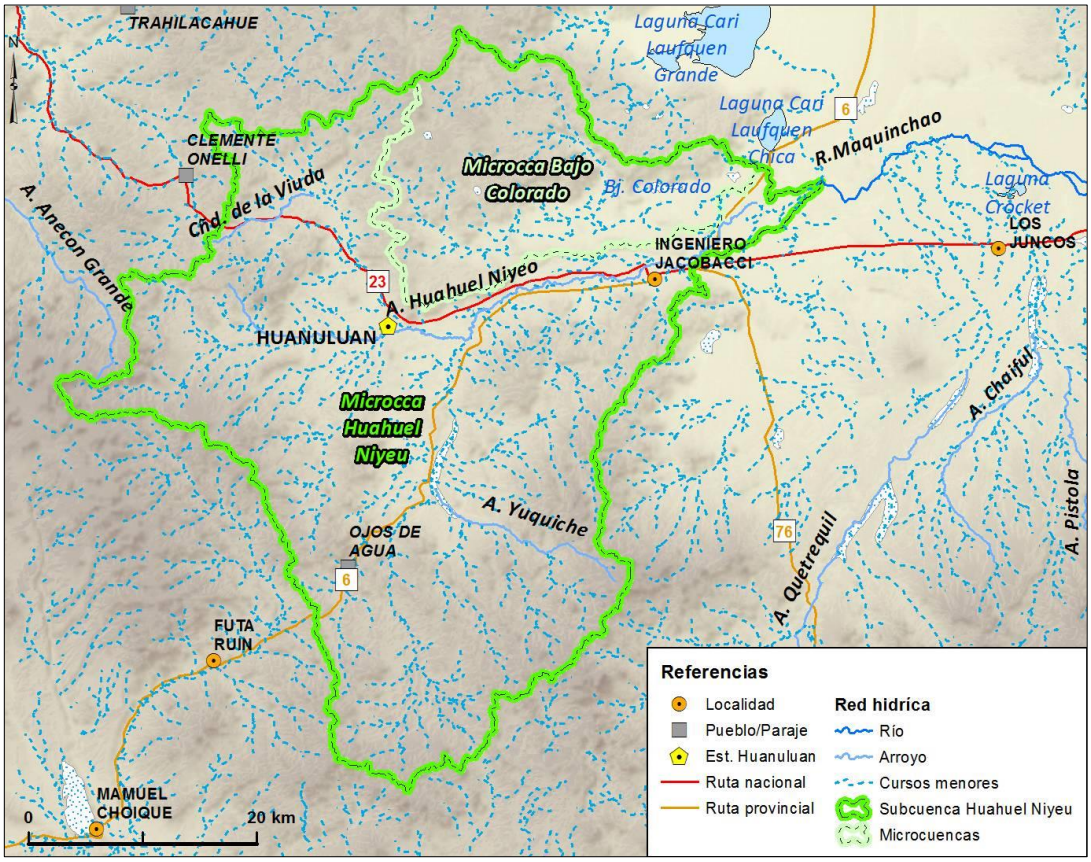


Figura 5.22: Hidrología del área estudio – Subcuenca Arroyo Huahuel Niyeu.

El arroyo Huahuel Niyeu nace en las laderas orientales de las Sierras del Anecón y Clemente Onelli, siguiendo un cauce principalmente Oeste-Este de marcado control estructural, al igual que su afluente, el arroyo Yuquiche. El régimen del arroyo que le otorga su nombre a la subcuenca es predominantemente

transitorio, presentando un tramo perenne en la zona de Estancia Huanuluan hasta aproximadamente 12 km al Oeste de la localidad de Jacobacci donde se infiltra.

Este arroyo descargaría sus aguas en la Laguna Carri Laufquen Chica a través del Arroyo Maquinchao, al cual confluye por el norte de la RN23, unos 15 km hacia el NE desde la localidad de Jacobacci. Como se comentó anteriormente, el carácter intermitente de este arroyo evita que las aguas superficiales alcancen actualmente la zona de desagüe, encontrándose seco en su zona de confluencia. Sin embargo, es importante destacar que en gran parte de su curso se manifiesta la presencia de mallines, lo que evidencia una estrecha relación entre el agua subterránea y superficial a lo largo de todo su recorrido.

El arroyo Yuquiche nace en las laderas al sureste de la subcuenca y se encuentra dentro de la estancia homónima y los puestos de alrededor. Al igual que el arroyo Huahuel Niyeu, este presenta un carácter intermitente con un tramo perenne en la primera parte de su recorrido hasta el momento que se infiltra, a 7 km al este de la estancia homónima.

En general, la ausencia de espejos y cursos de agua perennes en toda la subcuenca provoca que no existan grandes captaciones superficiales, existiendo algunos aprovechamientos locales que se realizan desde estos cauces para bebida de hacienda.

Con el fin de ajustar la delimitación de la subcuenca Huahuel Niyeu en gabinete se utilizaron las imágenes del MDE-Ar v2.1, distribuido por el IGN, el cual tiene una resolución espacial de 30 m y una precisión vertical de aproximadamente 2 m. Utilizando estas imágenes se logró obtener una mayor precisión cartográfica del límite de la cuenca, mapeada a una escala menor por la provincia de Río Negro; y de la red hídrica del SIG-250 publicada por el IGN. Los límites así establecidos para la subcuenca Huahuel Niyeu y la microcuenca Bajo Colorado fueron corroborados en campo, dentro de las posibilidades existentes, en las campañas de agosto y septiembre de 2021. El Mapa 9 muestra la topografía de la zona junto con la red de drenaje para la subcuenca de estudio.

5.3.1 Aforos

Tal cual se describió anteriormente, la región atraviesa actualmente un largo período de escasez de precipitaciones, lo que se refleja en bajos niveles en lagos, embalses y escasos caudales en casi todos los ríos y arroyos. Durante las campañas llevadas a cabo en los meses de agosto y septiembre de 2021 se realizaron aforos expeditivos aplicando una de las tres metodologías explicadas en el Capítulo 4.3. Los sitios aforados se presentan en la Figura 5.23. En el Anexo VI se encuentran las planillas de aforo químico y con flotador de cada punto, como también el resultado en m^3/h y l/seg.

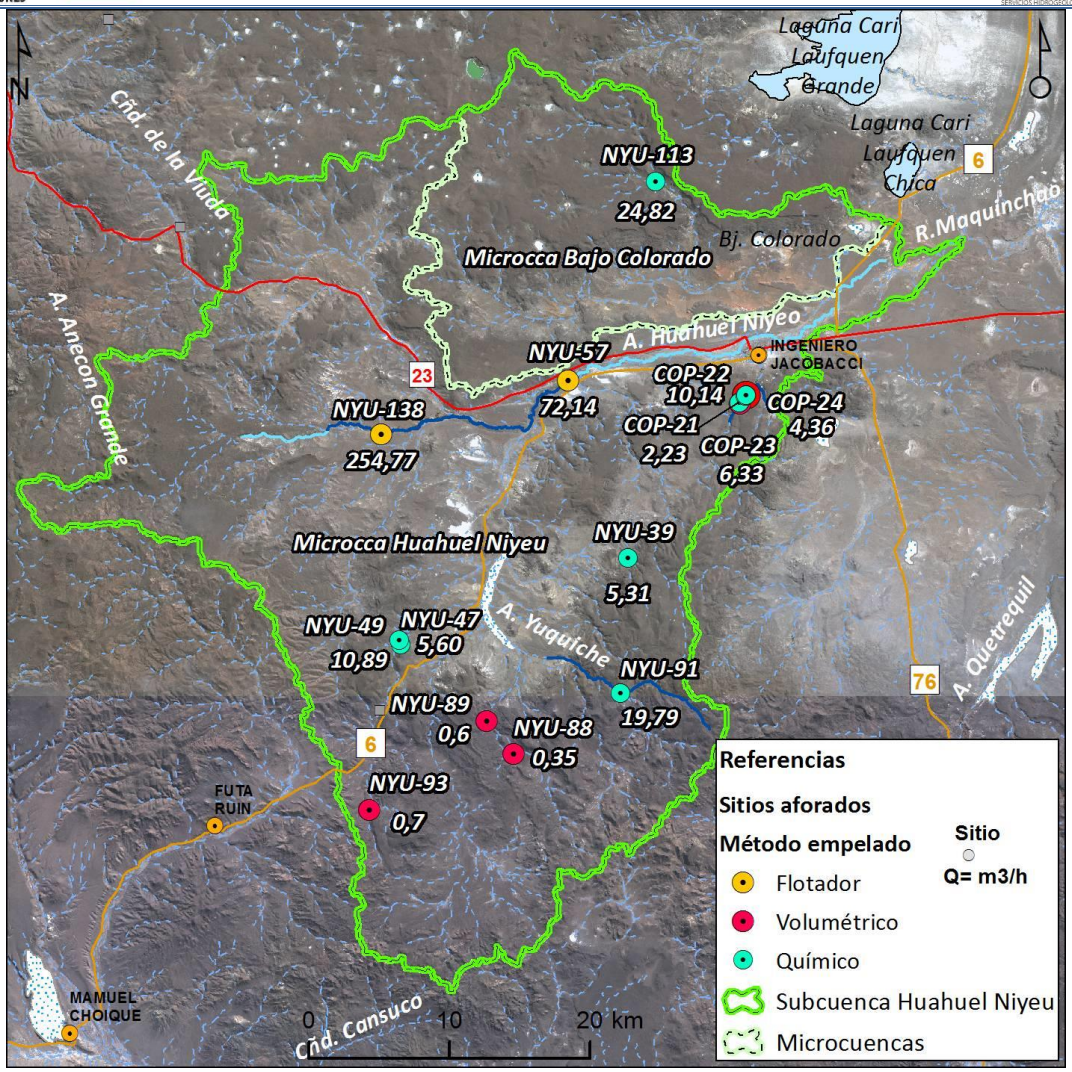


Figura 5.23: Sitios de aforo durante campañas de relevamiento.

La metodología del flotador se utilizó en dos sitios sobre el arroyo Huahuel Niyeu (Figura 5.24). Uno de ellos se efectuó aguas arriba, en el sitio relevado con la denominación NYU-138, en el cual se obtuvo un caudal de unos 70,77 l/seg o 254,7 m^3/h (Fotografía 5.1 A). El otro punto aforado fue aguas abajo, a unos 140 metros aproximadamente de la zona de infiltración del curso (punto denominado NYU-57), que arrojó un caudal de unos 20 l/seg o 72,1 m^3/h, mucho más bajo que aguas arriba (aproximadamente un tercio del caudal) (ver Fotografía 5.1 B).

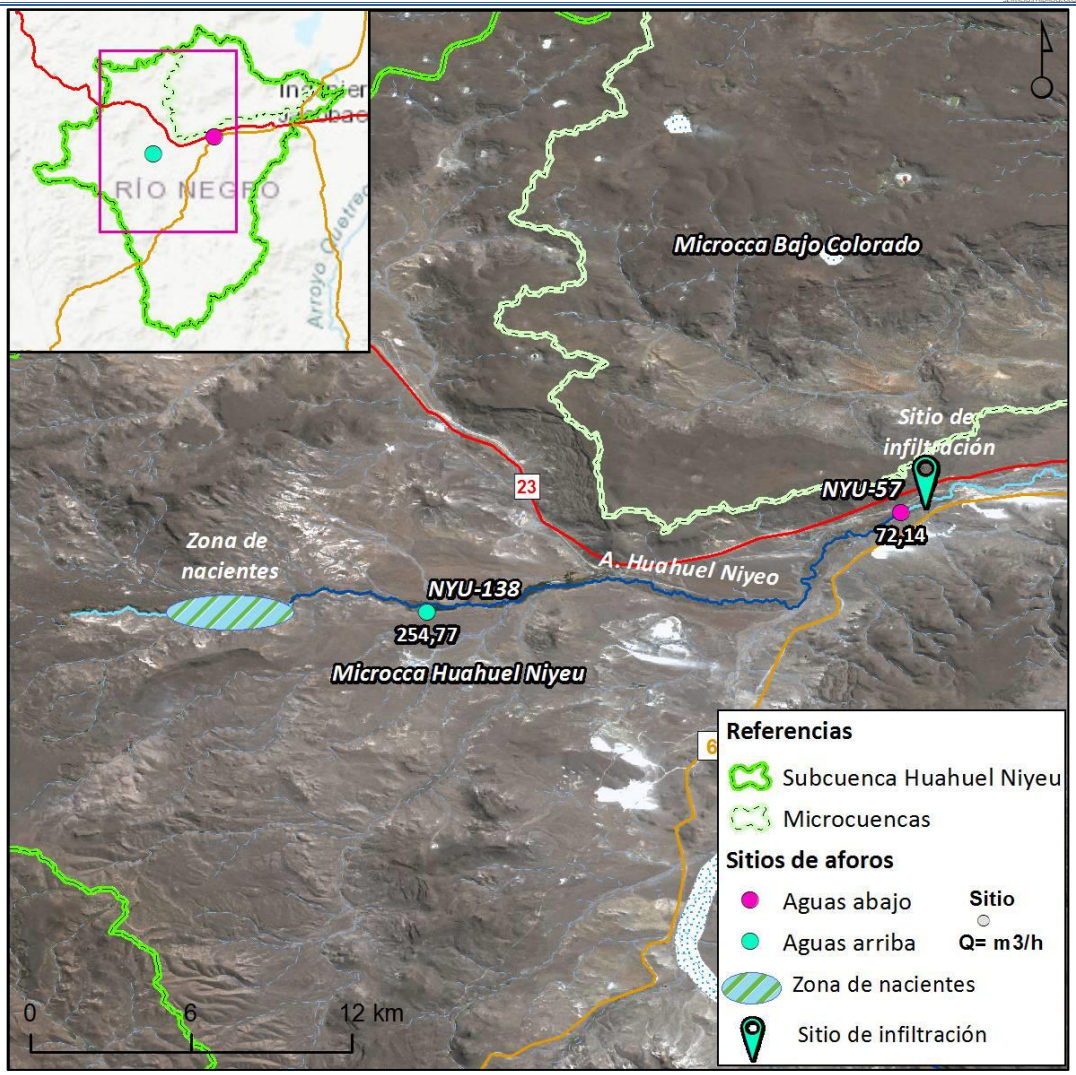
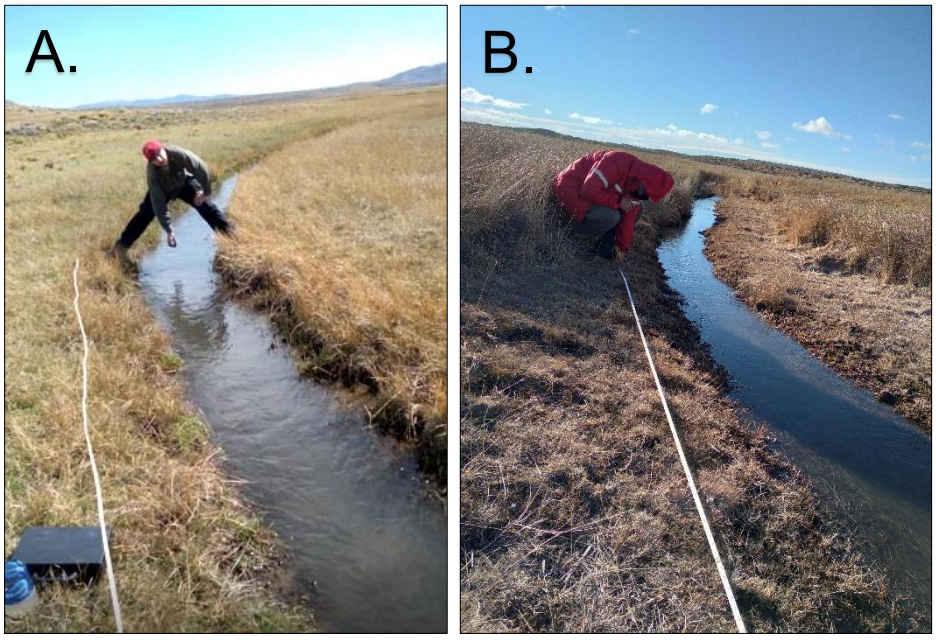


Figura 5.24: Sitios de aforo sobre el cauce del arroyo Huahuel Niyeu.



Fotografía 5.1: A. Aforo sobre el sitio aguas arriba. **B.** Aforo sobre el sitio aguas abajo.

El aforo por volumétrico se llevó a cabo en cuatros sitios donde las condiciones de las vertientes permitían el uso de esta metodología. El primero se llevó a cabo en el relevamiento COP-21 (Manantial el vivero), el cual dio un caudal promedio de 2,23 m^3/h. Los dos siguientes se llevaron a cabo en la estancia Yuquiche en los puntos relevados NYU-88 y NYU-89, los cuales arrojaron un caudal promedio de 0,35 m^3/h y 0,6 m^3/h respectivamente. Por último, se llevó a cabo el aforo en el relevamiento NYU-93 el cual dio un caudal promedio de 0,7 m^3/h (ver Fotografía 5.2).



Fotografía 5.2: A. Aforo volumétrico en el punto COP-21. **B.** Aforo volumétrico en el punto NYU-88.

La tercera metodología utilizada fue la de aforo químico con sal, la cual se llevó cabo en siete vertientes y un arroyo. Las primeras tres mediciones se realizaron dentro de los puntos relevados que corresponden a la cooperativa de agua, siendo estos COP-22, COP-23 y COP-24, con caudales calculados de 4,36 m^3/h, 6,33 m^3/h y 10,14 m^3/h, respectivamente. Las vertientes NYU-39 y NYU-47 arrojaron valores similares, siendo estos 5,31 m^3/h y 5,6 m^3/h respectivamente, mientras que el arroyo NYU-49, el cual se encuentra en el mismo puesto que el punto NYU-47, dio un caudal de 10,89 m^3/h. Por último, los mayores caudales registrados con este método corresponden a las vertientes de los puntos NYU-91, ubicado en la estancia Yuquiche, y el NYU-113, cercano a la estancia Abi Saad, los cuales presentaron caudales de 19,79 m^3/h y 24,82 m^3/h, respectivamente (ver Fotografía 5.3).



Fotografía 5.3: A. Aforo químico en el punto COP-22. **B.** Aforo químico en el punto NYU-39. **C.** Aforo químico en el punto NYU-49.

La Tabla 5.10 presenta un resumen de aforos realizados con su respectivo método y equivalente en l/seg.

Tabla 5.10: Resumen de los puntos aforados.

Metodo de aforo	Punto	Tipo	Nombre	m^3/h	l/seg
Flotador	NYU-57	Arroyo	A. Huahuel Niyeu	72,15	20,04
Flotador	NYU-138	Arroyo	A. Huahuel Niyeu	254,78	70,77
Volumétrico	COP-21	Vertiente/Mallín	Manantial El Vivero	2,23	0,62
Volumétrico	NYU-88	Vertiente/Mallín	Vert. A. Balbontin	0,35	0,10
Volumétrico	NYU-89	Vertiente/Mallín	Vert. Est. Yuquiche	0,60	0,17
Volumétrico	NYU-93	Vertiente/Mallín	Vert. C. Nassif	0,70	0,19
Químico	COP-22	Vertiente/Mallín	Mallin El Vivero	4,36	1,21
Químico	COP-23	Vertiente/Mallín	Simionatto Nº1	6,33	1,76
Químico	COP-24	Vertiente/Mallín	Simionatto Nº2	10,14	2,82
Químico	NYU-39	Vertiente/Mallín	Puesto La Pava	5,31	1,48
Químico	NYU-47	Vertiente/Mallín	Vert. S. Cabañares	5,60	1,56
Químico	NYU-49	Arroyo	Arroyo. S. Cabañares	10,89	3,03
Químico	NYU-91	Vertiente/Mallín	Vert. Puesto La Cabaña	19,79	5,50
Químico	NYU-113	Vertiente/Mallín	Vert. Est. Abi Saad	24,82	6,89

(Fuente: Hidroar S.A.)

5.4 Hidrogeología

5.4.1 Hidrogeología regional

En el Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de Río Negro, realizado por el INTA en 2009 se realizó una clasificación regional de las unidades hidrogeológicas de la provincia, identificando un total de seis (6) unidades, las cuales se resumen a continuación y pueden observarse en la Figura 5.25:

- **Basamento Precámbrico – Neopaleozoico:** las capacidades acuíferas estarían dadas por la porosidad secundaria de las rocas, ya sea en zonas de roca meteorizada o en los planos de diaclasas y/o fallas.
- **Complejo Volcánico Triásico – Jurásico:** a escala regional son consideradas impermeables, si bien podrían actuar localmente como unidades acuíferas por porosidad secundaria.
- **Sedimentos Continentales Cretácico – Terciarios:** esta unidad cuenta con porosidad primaria dada por las litologías arenosas a limoarcillosas, lo que le otorga capacidades acuíferas en general de permeabilidades bajas. Según la zona de la provincia donde se estudien, las profundidades de captación del acuífero y sus rendimientos son variables, encontrando captaciones desde 25 m hasta máximos de 180 m y caudales de hasta 20m^3/h.
- **Sedimentitas Marinas Terciarias:** al igual que la unidad anterior, esta unidad cuenta con una porosidad primaria que le otorga cierta capacidad acuífera, la cual es relegada por la calidad del agua que contiene (tenores salinos superiores a 7 gr/l). Las captaciones existentes suelen tener profundidades entre 80 y 100 m con caudales menores a 3 m^3/h, si bien se han encontrado sectores específicos donde se han realizado captaciones más profundas (alcanzando los 200 m) en las que la calidad del agua fue mejor a la mencionada anteriormente.
- **Basaltos Pleistocenos:** abarca las coladas basálticas terciarias y cuaternarias, con espesores que pueden alcanzar 100 m. La porosidad de esta unidad es variable ya que depende del grado de fisuración de la roca, obteniendo sectores con permeabilidades bajas a nulas y otros con valores elevados de permeabilidad. Si bien las captaciones de esta unidad en general no presentan elevados caudales, se la considera de importancia hidrogeológica por constituir una de las principales fuentes de recarga del agua subterránea.
- **Complejo Sedimentario Post-Plioceno:** conforma la unidad de mayor importancia hidrogeológica, abarcando los sedimentos de permeabilidades medias a altas que presentan un gran desarrollo a lo largo de toda la provincia. Dentro de esta unidad se abarcan las planicies fluvioglaciares al norte y noreste de la provincia, que cuentan con acuíferos en general entre 40 y 100 m de profundidad; y los rellenos

modernos o cuaternarios que rellenan los valles de la provincia, que contienen acuíferos entre los 10 y 90 m de profundidad y rendimientos variables de hasta 40 m^3/h o incluso más en casos excepcionales.

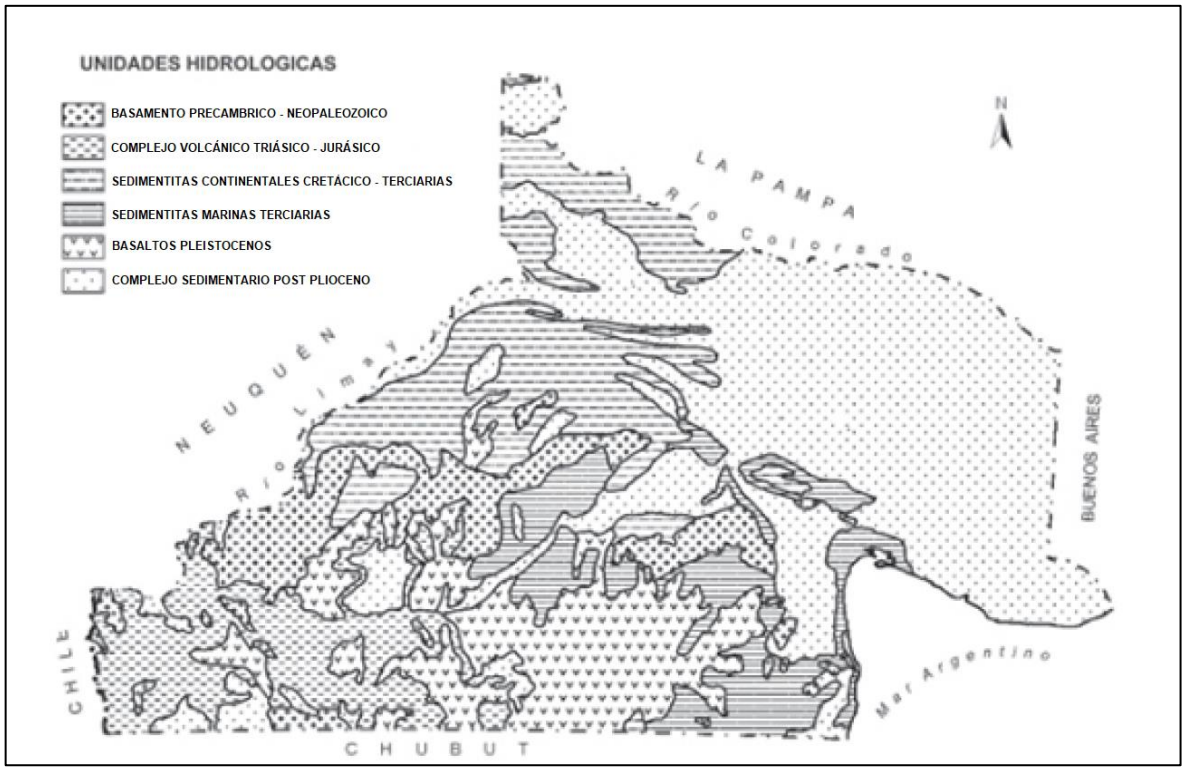


Figura 5.25: Unidades hidrogeológicas regionales para la provincia de Río Negro. Tomado de INTA, 2009.

5.4.2 Unidades hidrolitológicas locales

Cada unidad hidrolitológica es diferenciada en base a su comportamiento hidrogeológico. Para esto debe definirse en primera instancia el medio físico en el que se encuentran y sus propiedades (tipo de sedimento o roca, granulometría, fracturación, distribución, etc.). Con esta información es posible determinar o estimar el comportamiento de cada unidad, encontrando los siguientes tipos:

- Acuíferas: que reciben, alojan y trasmiten agua con facilidad.
- Acuitardas: reciben y alojan, pero trasmiten con dificultad.
- Acuícludas: que reciben y alojan, pero no trasmiten.
- Acuífugas: que reciben, pero no alojan ni trasmiten.

Como se desprende de la clasificación anterior, las unidades con comportamiento acuífero corresponden a la de mayor importancia hidrogeológica en términos de captación y abastecimiento. A partir de esto, suele hacerse una diferenciación según el tipo de porosidad con el que cuente el acuífero de interés. Se le llama acuífero primario a aquella unidad que cuenta con porosidad primaria, es decir que surge durante la formación o depositación de la unidad, también llamada porosidad intergranular y que depende del empaquetamiento de los sedimentos. Para los acuíferos secundarios se hace referencia a aquella porosidad generada luego de depositada la unidad. Dentro de esta categoría se encuentran la disolución

y la fracturación, ya sea por diaclasamiento, fallamiento o agrietamiento por enfriamiento en el caso de rocas ígneas. Para este último caso, la capacidad acuífera estará dada por el grado de interconexión entre fracturas, el cual permitirá el flujo de agua subterránea.

El análisis de las litologías existentes y su transformación a unidades hidrolitológicas debe realizarse a partir de un enfoque hidrogeológico que tome en cuenta su comportamiento y la capacidad, mayor o menor, de ingreso, almacenamiento y transmisión de agua subterránea. A partir de la clasificación de la hidrogeología regional y los trabajos precedentes en el área de estudio, se presenta en la Tabla 5.11 un resumen de las unidades ya definidas anteriormente.

Tabla 5.11: Unidades hidrogeológicas definidas previamente.

Era	Período	Época	Formación	Litología	Clasificación Regional INTA (2009)	Clasificación estudio CFI (1991)
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno / Pleistoceno	Depósitos modernos	Depósitos aluviales, de remoción en masa, de bajos y lagunas, abanicos aluviales antiguos y pedemontanos, depósitos indiferenciados. Bloques, gravas, arenas, limos, arcillas.	Complejo Sedimentario del Holoceno	Acuífero Freático - Sist. de Acuíf. Artesianos
			Basalto Crater	Basaltos olivinicos.	Basaltos Pleistoceno	Sin clasificar
		Pleistoceno	Fm. Jacobacci	Depósitos fluviales. Gravas, arenas, limos y arcillas.	Sin clasificar	
	Neógeno	Plioceno	Fm. Campana	Basaltos olivinicos con nodulos ultramaficos.	Basaltos Plio-Pleistoceno	
		Mioceno	Fm. La Pava	Tobas y tufitas.	Sedimentitas Cont. Cretácico-Terciarias	
	Paleógeno	Oligoceno	Basalto Cari Laufquen	Basaltos olivinicos, tobas y tufitas.	Basaltos Plio-Pleistoceno	
		Eoceno	Volcanitas Las Chacras	Basaltos olivinicos y tobas riodaciticas.		
			Fm. Huitrera	Andesitas e ignimbritas rioliticas y daciticas, aglomerados, tobas y brechas volcanicas.		
		Paleoceno	Fm. Huanuluan	Tobas, lapillitas, cineritas, limolitas, areniscas tobaceas y lentes de conglomerados.	Sedimentitas Cont. Cretácico-Terciarias	
			Fm. Coli Toro	Areniscas calcareas, limolitas, arcilitas y calizas.	Sedimentitas Marinas Terciarias	
Mesozoico	Cretácico	Superior	Fm. Angostura Colorada	Areniscas, arcilitas, conglomerados y tufitas.	Sedimentitas Cont. Cretácico-Terciarias	Acuitardo con niveles acuífugos
	Jurásico	Superior	Fm. Taquetrén	Andesitas e ignimbritas, aglomerados y brechas volcanicas andesitcas y diques andesiticos.	Complejo volcánico Triásico-Jurásico	Acuífugo Basamento Hidrogeológico
		Medio				
	Triásico	Superior	Fm. Garamilla	Riolitas, ignimbritas y tobas rioliticas.		Sin clasificar

(Fuente: Hidroar S.A.)

Como puede observarse, las clasificaciones previas presentan ciertas dificultades para trasladar al ámbito de la cuenca de estudio ya sea por tratarse de clasificaciones muy regionales que generalizan los comportamientos de cada unidad (INTA 2009) o muy locales, dejando fuera otras unidades que no aparecen en el sector de estudio de dicho trabajo (CFI 1991). A raíz de eso se ha definido crear una nueva clasificación simplificada tomando como base las precedentes.

Sedimentos Cuaternarios: esta unidad abarca los depósitos recientes del Holoceno y la Fm. Jacobacci, los cuales se encuentran conformados por sedimentos de permeabilidad primaria que le otorgan capacidades acuíferas. Como se mencionó en estudios anteriores, esta unidad conformaría un sistema multi-acuífero donde se

presenta el acuífero freático y al menos dos acuíferos confinados a semiconfinados, estos generados por la presencia de ciertos niveles acuitardos compuestos por sedimentos finos. El mayor desarrollo de esta unidad se da en el valle del Arroyo Huahuel Niyeu, donde alcanza mayores espesores y rendimientos.

Vulcanitas Cenozoicas: abarca las rocas volcánicas presentes en Basalto Crater, Fm. Campana, Fm. La Pava, Basalto Cari Laufquen, Volcanitas Las Chacras y Fm. Huitrera. En general, la porosidad primaria de estas unidades suele otorgarle un comportamiento acuífugo, si bien localmente estas unidades pueden presentar una permeabilidad secundaria otorgada por fracturación. A raíz de esto, el comportamiento general de estas litologías suele ser acuífugo con áreas o sectores con acuífero secundario, destacando que su ubicación topográficamente elevada le confiere un interés principalmente abocado a la recarga de los acuíferos subyacentes. Otro dato de interés para esta unidad es que, a los pies de las extensas mesetas basálticas, se encuentran la mayoría de las vertientes de la zona. Estas manifestaciones de agua se generarían por la rápida infiltración del agua precipitada o de la fusión de las nieves producto de diaclasas y por la disyunción columnar típica de esta litología (basaltos), que escurriría en sentido predominantemente vertical hasta toparse con una unidad de menor permeabilidad a partir de la cual tomarían una dirección más subhorizontal hasta interceptarse con la topografía, generando manantiales o mallines.

Sedimentitas Cretácico-Terciarias: dentro de esta unidad se comprenderían los depósitos piroclásticos de las Fm. La Pava y Huanuluan y de algunos niveles existentes en las vulcanitas terciarias; y las sedimentitas de las Fm. Coli Toro y Aguada Colorada. En general se ha observado que en la zona estas litologías presentan comportamientos acuitardos, incluso con niveles acuífugos. Sin embargo, no puede descartarse que en algunos sectores donde predominen las fracciones más permeables se presenten comportamientos acuíferos.

Basamento Hidrogeológico Regional: como su nombre lo indica, esta unidad correspondería al hidroapoyo del sector de estudio, compuesto por las Fm. Garamilla y Taquetrén. Al tratarse de vulcanitas, el comportamiento esperable de estas rocas sería acuífugo considerando su baja permeabilidad primaria, sin embargo, no debe descartarse que localmente puedan existir sectores donde la fracturación del medio genere capacidades acuíferas de interés. En la zona de estudio no existen registros donde se hayan realizado exploraciones hidrogeológicas en esta unidad, pero es importante mencionar que, hacia el Sur de la zona de estudio, cercano al límite con la provincia del Chubut, se detectó la presencia de un acuífero fracturado (secundario) de interés en la Fm Taquetrén.

La Tabla 5.12 muestra la nueva clasificación de unidades hidrolitológicas propuesta para el sector de estudio. Adicionalmente, el Mapa 10 muestra la distribución de las unidades hidrolitológicas mencionadas.

Tabla 5.12: Clasificación de unidades hidrolitológicas para el sector de estudio.

Unidad Hidrolitológica	Fm. que la componen	Litología	Comportamiento Hidrogeológico
Sedimentos Cuaternarios	Dep. Modernos Fm. Jacobacci	Dep. aluviales y fluviales, de remocion en masa, abanicos aluviales. Gravas, arenas, limos, arcillas.	Acuífero primario con niveles acuitardos
Vulcanitas Cenozoicas	Basalto Crater Fm. Campana Basalto Cari Laufquen Volcanitas Las Chacras Fm. Huitrera	Basaltos, andesitas, ignimbritas riolíticas y dacíticas, aglomerados y brechas volcánicas.	Acuífugo y/o Acuífero secundario (actúa como zona de recarga)
Sedimentitas Cretácico-Terciarias	Fm. La Pava Fm. Huanuluan Niveles piroclást. Vulc. Cz. Fm. Coli Toro Fm. Angostura Colorada	Tobas, tufitas, lapillitas, cineritas, limolitas, areniscas tobáceas, areniscas calcáreas, arcillitas, calizas, conglomerados.	Acuitardo con niveles acuífugos. Posibles sectores con comportamiento acuífero o acuífero pobre.
Basamento Hidrogeológico Regional	Fm. Taquetrén Fm. Garamilla	Andesitas, ignimbritas, aglomerados, brechas volcánicas, diques andesíticos, riolitas y tobas.	Acuifugo a nivel regional. Posibles acuíferos secundarios locales

(Fuente: Hidroar S.A.)

5.4.3 Parámetros hidráulicos

Durante el mes de agosto del 2021 se llevaron a cabo pruebas hidráulicas en tres (3) captaciones, de las cuales dos (2) forman parte de la red de abastecimiento urbano de Ingeniero Jacobacci, denominados como CFI-04 (COP-12) y Equimac (COP-08) según el relevamiento realizado. La restante se encuentra ubicada en una cantera de diatomitas propiedad de Molienda Tandilia y corresponde al punto NYU-77 del relevamiento, ver Figura 5.26.

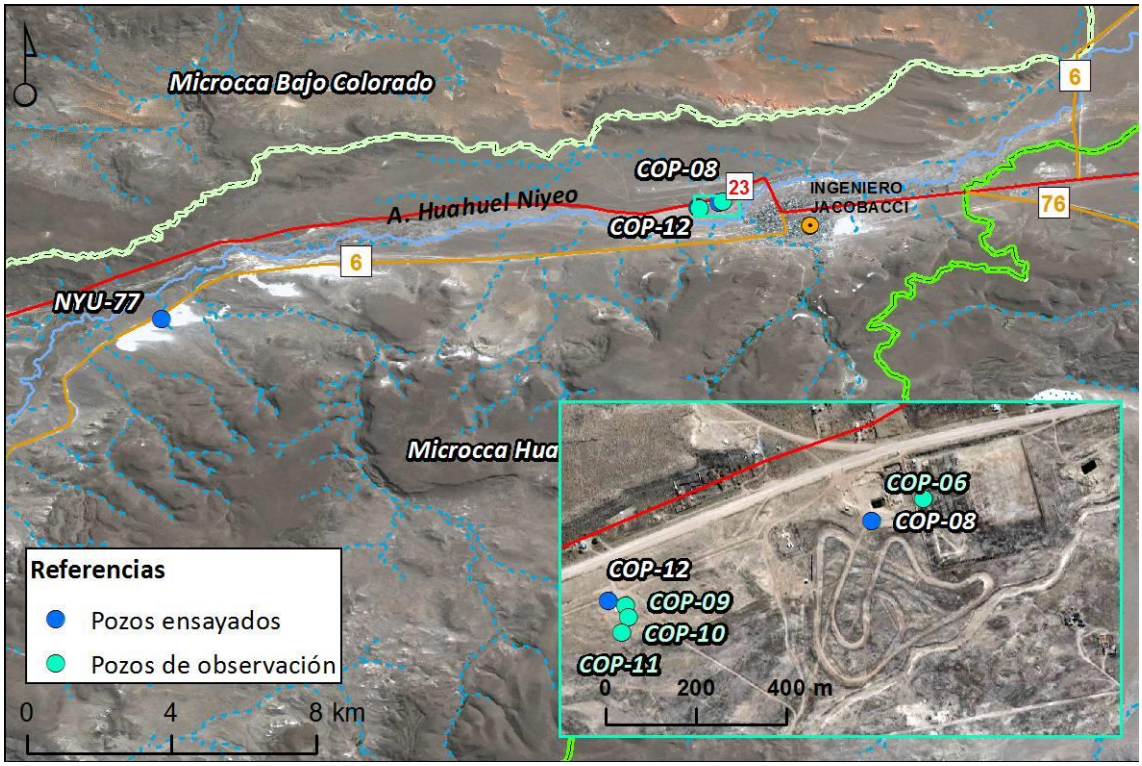


Figura 5.26: Perforaciones ensayadas.

Las pruebas hidráulicas consistieron en ensayos de bombeo a caudal constante durante 3 hs midiendo los niveles estáticos y dinámicos en el pozo de bombeo y en pozos cercanos en caso de existir. Finalizado el bombeo se midieron los niveles de recuperación.

Posteriormente se realizó la interpretación de los datos mediante el software AquiferTest, para la determinación de transmisividad (T) y permeabilidad (K). Adicionalmente, se encontraron valores antecedentes de ensayos realizados en los años 1988-1990, aunque en algunos casos las captaciones ensayadas no se encuentran hoy en día en existencia y/o funcionando. En este inciso se expondrán aquellos valores comparables que son factibles de poder ser citados. A continuación, se realiza una breve descripción de las pruebas de bombeo. El Anexo VII a muestra las planillas de campo de los ensayos y el Anexo VII b muestra las interpretaciones de parámetros hidráulicos realizadas.

5.4.3.1 Ensayo a caudal constante en Pozo CFI-04 (COP-12)

La prueba comienza el día 19 de agosto a las 16:30 hs, a un nivel inicial de 6,63 mbbp, con un período de bombeo de 3 hs que arrojó un caudal promedio de 15,77 m^3/h. Se contaba con 3 pozos de observación conformados por los pozos CFI-01, 02 y 03 (COP-09, 10 y 11, respectivamente), dentro de los cuales CFI-02 y 03 se encontraban bombeando. Comenzada la prueba y transcurridos 75 minutos de bombeo se evidenció una posible cavitación de la bomba en el pozo CFI-03 por lo cual se apagó la misma para evitar cualquier daño posible. Esta situación provocó un pequeño ascenso en los niveles dinámicos de los demás pozos que luego se estabilizó y un aumento del caudal erogado en el pozo de bombeo, pasando de 10 m^3/h a 17 m^3/h y alcanzando los 22 m^3/h hacia el final de la prueba. Al alcanzar las 3 hs de bombeo a las 19:30 hs se observó una depresión máxima de 2,91 m en el pozo de bombeo, alcanzado esto se apagó la bomba y se comenzó la medición del nivel dinámico en recuperación. Tras 10 minutos se alcanzó el nivel inicial y luego de 20 minutos se midió un nivel de 6,37 mbbp (ver Figura 5.27).

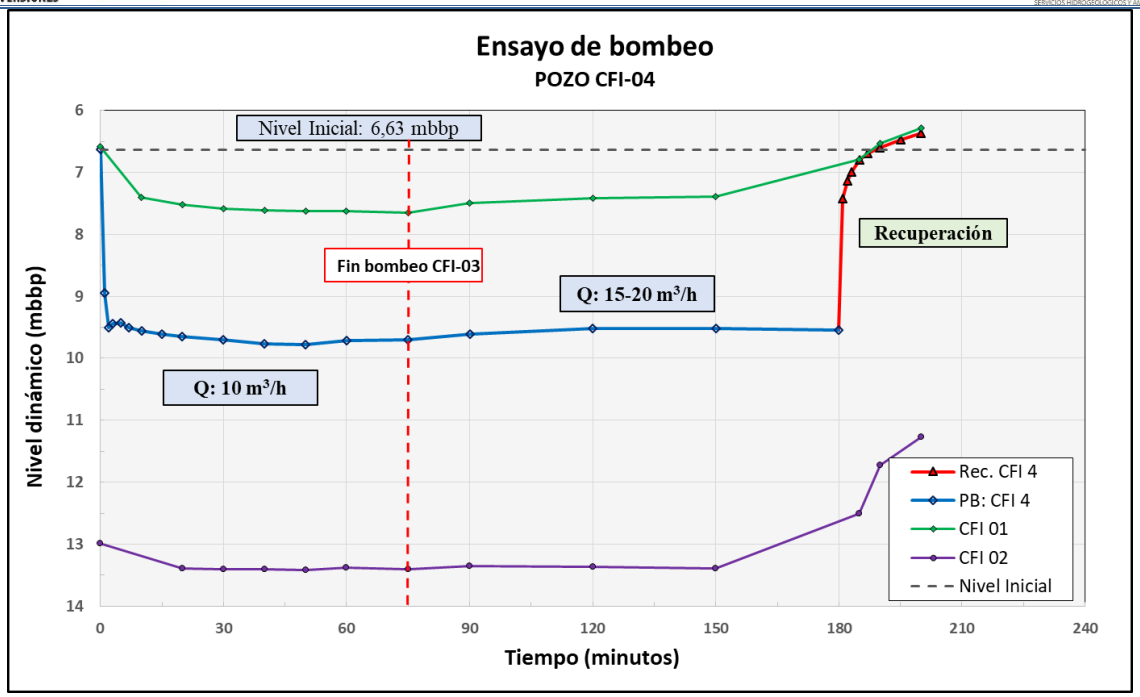


Figura 5.27: Curva de abatimiento durante ensayo a caudal constante (CFI-04).

Es importante señalar que la cercanía entre los pozos censados durante la prueba (utilizados por la cooperativa de aguas como pozos de abastecimiento), evidencia un solapamiento de los conos de bombeo, generando una baja del rendimiento de los pozos y una mayor depresión de los niveles dinámicos. En base a esto debe considerarse al momento de ubicar nuevas captaciones que el radio de influencia de cada pozo sea menor que la distancia con otras captaciones.

5.4.3.2 *Ensayo a caudal constante en Pozo Equimac (COP-08)*

La prueba comenzó el día 25 de agosto a las 10:20 hs con un nivel inicial de 4,8 mbbp a un caudal promedio de 15,77 m^3/h, la profundidad de instalación estimada de la bomba era de 26 mbbp. Para este ensayo se contó con un pozo de observación ubicado a unos 200 m aproximadamente (COP-06). A las 13:20 hs, luego de 3 hs de bombeo, se alcanzó una depresión máxima de 2,68 m en el pozo de bombeo y de 0,42 m para el pozo de observación. Alcanzado este tiempo se finalizó la prueba apagándose la bomba y dando comienzo a la medición del nivel dinámico de recuperación, que luego de transcurridos 60 minutos alcanzó el 91% de su nivel inicial en el pozo ensayado (Figura 5.28).

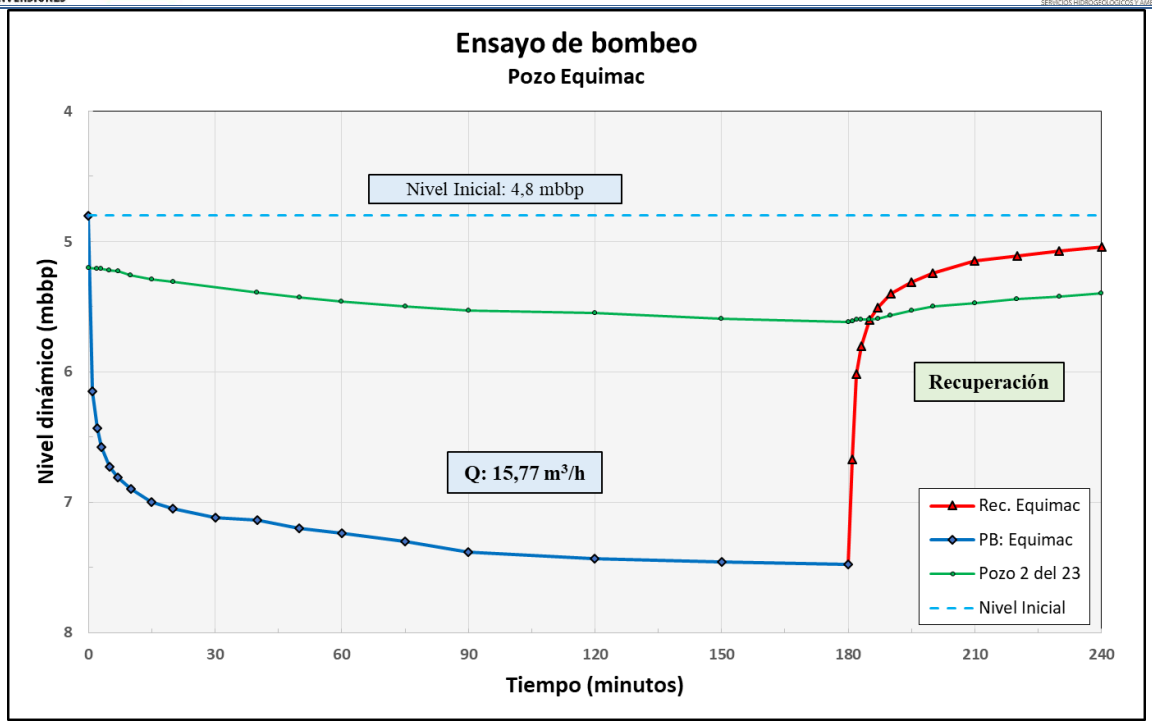


Figura 5.28: Curva de abatimiento durante ensayo a caudal constante (COP-08).

Cabe señalar que el valor de caudal erogado durante la prueba realizada en el pozo Equimac fue corregido del informe anterior luego de corroborarlo con personal de la Cooperativa.

5.4.3.3 Ensayo a caudal constante en Pozo Cantera Molienda Tandilia (NYU-77)

La prueba comenzó el día 21 de agosto a las 11:10 hs con un nivel inicial de 15,57 mbbp, a un caudal promedio de 1,13 m^3/h, la profundidad de instalación de la bomba era de 27 mbbp. En este caso no se contó con pozos de observación, ya que el pozo aledaño más cercano era somero y no presentó respuesta alguna al bombeo. Luego de 3 hs de bombeo se alcanzó una depresión máxima de 6,25 metros, finalizando a las 14:10 hs la prueba y comenzando la medición del nivel dinámico de recuperación, el cual alcanza el 90% de su nivel inicial transcurridos 50 min (Figura 5.29).

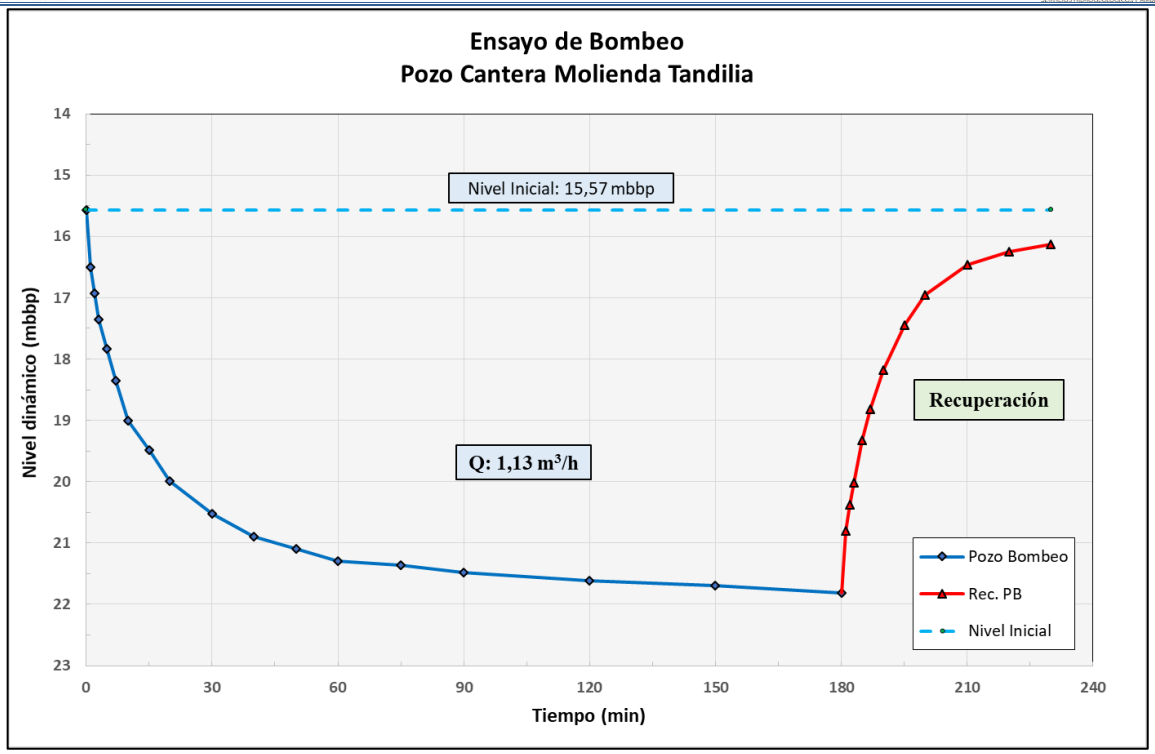


Figura 5.29: Curva de abatimiento durante ensayo a caudal constante (NYU-77).

5.4.3.4 *Resumen de datos existentes*

En la Tabla 5.13 y Tabla 5.14 se resumen los datos principales de las pruebas de bombeo a caudal constante realizadas durante el presente estudio y los parámetros hidráulicos obtenidos. Como aquí se observa, los caudales de promedio de extracción para los pozos de abastecimiento (CFI-04 y Equimac) son muy similares como así sus depresiones máximas (s) y caudal característico (Qc).

Tabla 5.13: Resumen de datos principales obtenidos en pruebas de bombeo.

Ensayo	Nombre Pozo	Codigo Relev.	Tipo	Prof. (m)	(Φ) Diam.	Dist. a PB (m)	Q (m3/h)	t bombeo (min)	NE (mbbp)	ND final (mbbp)	Depresión máx. (m)	Qc (m3/h.m)
CFI-04*	CFI-04	COP-12	PB	17	6"	-	15	180	6,59	9,54	2,95	5,08
	CFI-01	COP-09	PO	16	12"	30,21	-	-	6,58	7,65	1,07	-
	CFI-02	COP-10	PO	16	8"	43,44	?	180	12,99	13,42	0,43	-
	CFI-03	COP-11	PO	16	8"	56,48	?	75	-	-	-	-
Equimac	Equimac	COP-08	PB	26	6"	-	15,77	180	4,8	7,48	2,68	5,88
	Pozo 2	COP-06	PO	18	4"	95,35	-	-	5,2	5,62	0,42	-
Pozo Cantera	Pozo cantera	NYU-77	PB	37	4"	-	1,13	180	15,57	21,82	6,25	0,18

*Los pozos CFI-02 y CFI-03 se encontraban bombeando al comenzar el ensayo. A los 75 min del ensayo se apagó el CFI-03

(Fuente: Hidroar S.A.)

Tabla 5.14: Resumen de parámetros hidráulicos obtenidos.

Ensayo	Nombre Pozo	Codigo Relev.	Tipo	Método	T (m^2/dia)	K (m/dia)	S (adim.)	Acuífero
CFI-04	CFI-04	COP-12	PB	Rec Theis	78,1	4,59	-	Confinado / Freático
				Cooper-Jacob	192	11,3	-	
	CFI-01	COP-09	PO	Cooper-Jacob	220	12,9	-	Confinado
Equimac	Equimac	COP-08	PB	Cooper-Jacob	126	8,41	-	Confinado
				Rec Theis	143	9,53	-	
	Pozo 2	COP-06	PO	Cooper-Jacob	233	15,5	3,03E-04	Confinado
Cantera Molienda Tandilia	Pozo Cantera	NYU-77	PB	Rec Theis	1,75	0,09	-	-
		NYU-77	PB	Cooper-Jacob	1,52	0,08	-	

(Fuente: Hidroar S.A.)

Como puede observarse, los pozos ensayados se encuentran captando el acuífero confinado, exceptuando el pozo CFI-04, que capta parcialmente el acuífero freático, y el pozo de la Cantera Molienda Tandilia, el cual se encontraría captando la Fm. La Pava.

En base a los parámetros obtenidos, se puede mencionar que el acuífero confinado contaría con valores de Transmisividad entre 78 y 233 m^2/d y de Permeabilidad de 4 a 16 m/d. El único valor obtenido de Coef. de Almacenamiento refleja el carácter confinado del acuífero. Para el caso del pozo de la cantera, como se mencionó en el párrafo anterior, se estima que el acuífero captado se encuentra en la Fm. La Pava, el cual presenta valores de Transmisividad menores a 2 m^2/día y permeabilidades de 0,09 m/d, evidenciando un acuífero pobre.

Con respecto a datos antecedentes de ensayos de bombeo y parámetros hidráulicos obtenidos durante los mismos se presentan en la Tabla 5.15 y Tabla 5.16, donde se resumen aquellos datos disponibles recabados de informes anteriores (CFI, 1991).

Tabla 5.15: Resumen de datos antecedentes en pruebas de bombeo (CFI-1991).

Ensayos de bombeo - Informe del CFI, 1991														
Pozo Bombeo	Nombre Pozo	Acuifero captado	Codigo	Posible Equiv	Tipo	Prof. (m)	(Φ) Diam.	Dist. a PB (m)	Q Prom (m3/h)	t bombeo (min)	NE (mbbp)	ND final (mbbp)	Depresión máxima (m)	Qc (m3/h.m)
Confinado Nº 1	Confinado Nº 1	Confinado	P.C.B. Nº 1	COP-14	PB	15	6"	-	13,46	1482	-0,05	4,214	4,264	3,16
	Obs. Nº 1	Confinado	P.C.O. Nº 1	-	PO	15	4"	25	-	1482	0,09	1,92	1,83	-
Freatico Nº 1	Freatico Nº 1	Freático	P.B.F. Nº 1	-	PB	6	6"	-	6	1335	1,71	4,345	2,635	2,28
	Obs. Freatico Nº 1	Freático	P.O.F. Nº 1	-	PO	6	-	25	-	1335	1,715	1,96	0,245	-
Jaguel Nº 4	Jaguel Nº 4	Freático	-	-	PB	2,66	1,35 m	-	4,2	1200	1,95	2,435	0,485	8,66
P.E (Municipalidad)	Pozo de explotacion	Confinado	P.E.	COP-149	PB	24	8"	-	6,64	360	1,7	9,645	7,945	0,84
	P.O Nº 1	Confinado	P.E.	-	PO	-	4"	99	-	360	1,89	3,243	1,353	-

(Fuente: Hidroar S.A.)

Tabla 5.16: Datos antecedentes de parámetros hidráulicos (CFI-1991).

Parámetros hidráulicos - Informe del CFI, 1991						
Nombre Pozo	**Acuífero captado**	**Tipo**	**T (m²/dia)**	**K (m/dia)**	**S**	**Método**
P.C.B. nº 1	Confinado	PB	117	-	9,80E-06	Theis
P.C.B. nº 1	Confinado	PB	132	-	2,00E-05	Jacob
P.C.B. nº 1	Confinado	PB	132	-	3,70E-05	Chow
P.C.B. nº 1	Confinado	PB	132	-	-	Rec Theis
P.C.B. nº 1	Confinado	PB	122	-	-	Thiem
P.B.F. nº 1	Freático	PB	84	19,5	-	Thiem-Dupuit
P.B.F. nº 1	Freático	PB	89	-	-	Theis
Jaguel nº 4	Freático	PB	210	-	-	Porchet
Jaguel nº 4	Freático	PB	225	-	-	Odgen
Jaguel nº 4	Freático	PB	330	-	-	Aravin-Numerov
Jaguel nº 4	Freático	PB	360	-	0,02	Papadópulos-Cooper
P.E	Confinado	PB	30	-	7,00E-05	Theis
P.E	Confinado	PB	35	-	4,70E-05	Jacob
P.E	Confinado	PB	25	-	-	Rec Theis

(Fuente: Hidroar S.A.)

Tal como se observa en las tablas anteriores, se encuentran sólo en dos pozos una posible equivalencia con la nomenclatura utilizada actualmente y que se utiliza en el presente estudio, para las demás captaciones se desconoce su ubicación o actualmente no se encuentran en existencia. Los datos de transmisividad que corresponden al acuífero freático, se ubican en un rango desde los 84 a 360 m^2/día, mientras que aquellos correspondientes al acuífero confinado se ubican entre los 25 a 132 m^2/día. En cuanto a la permeabilidad solo hay un dato disponible para el acuífero freático de 19,5 m/día.

Comparando los datos de parámetros hidráulicos antecedentes con los actuales para el acuífero confinado, se observa una buena correlación, con valores de Transmisividad ligeramente más altos para el estudio actual, pero en general dentro del mismo orden de magnitud. La única excepción corresponde al pozo P.E donde se observaron valores un orden de magnitud por debajo, desconociendo si esta diferencia se trata de una cuestión litológica o constructiva del pozo.

En resumen, se podría mencionar que tanto el acuífero freático como el confinado presentan parámetros hidráulicos similares, con Transmisividades entre 80 y 300 m^2/día, pudiendo existir excepciones probablemente causadas por mayor presencia de finos y/o menores espesores acuíferos.

5.4.4 Hidrodinámica

En base a los registros de niveles medidos en captaciones subterráneas durante las campañas de agosto y septiembre de 2021, en las cuales se contempló la medición de niveles estáticos, dinámicos, fondo de pozo y parámetros físico-químicos del agua en 126 puntos relevados (76 corresponden a perforaciones/pozos excavados y 50 a vertientes/mallín), se realizó la interpretación del flujo subterráneo. Para esto se trazaron curvas equipotenciales a dos escalas, una regional que abarca toda la subcuenca de estudio y otra de detalle en las inmediaciones de la localidad de Ingeniero Jacobacci, ver Mapa 11, Figura 5.30 y Figura 5.31. Los valores de cotas de agua pueden observarse en el Anexo III.

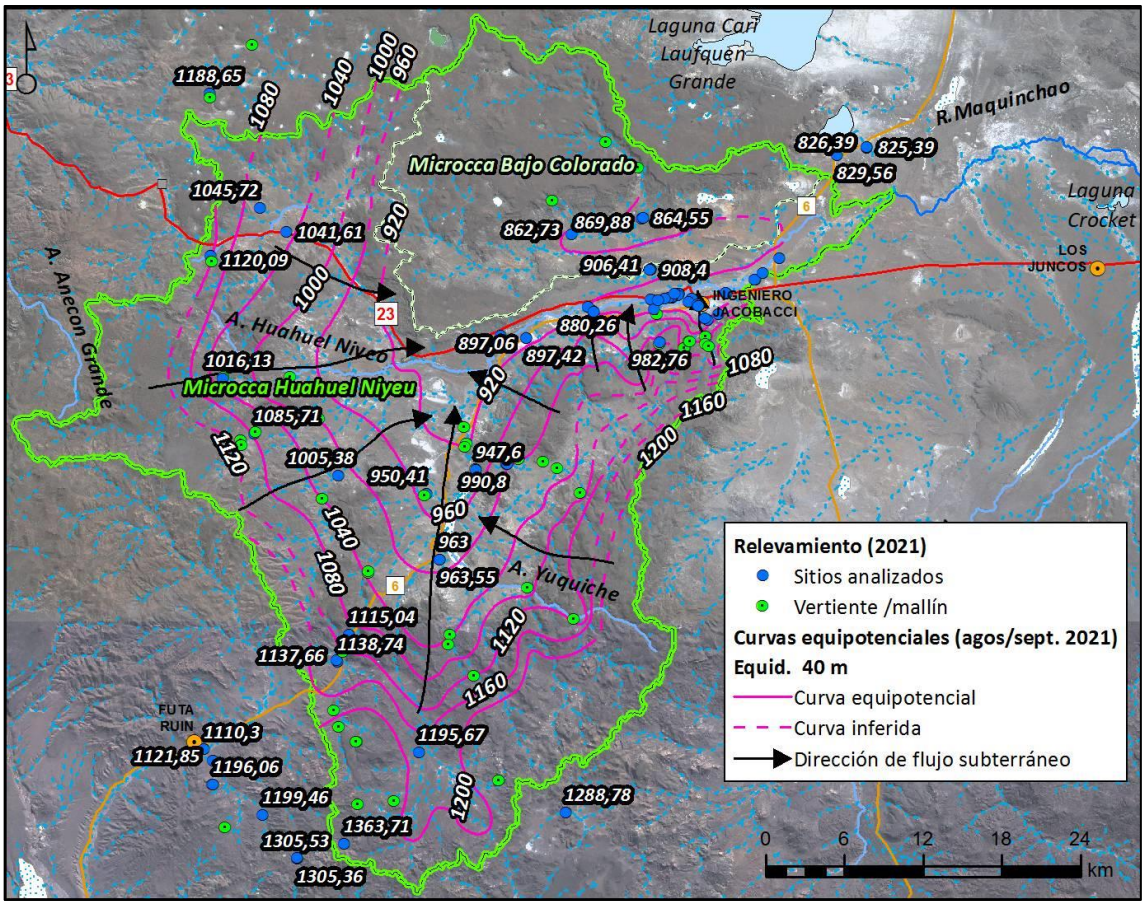


Figura 5.30: Curvas equipotenciales regionales para la subcuenca del Arroyo Huahuel Niyeu.

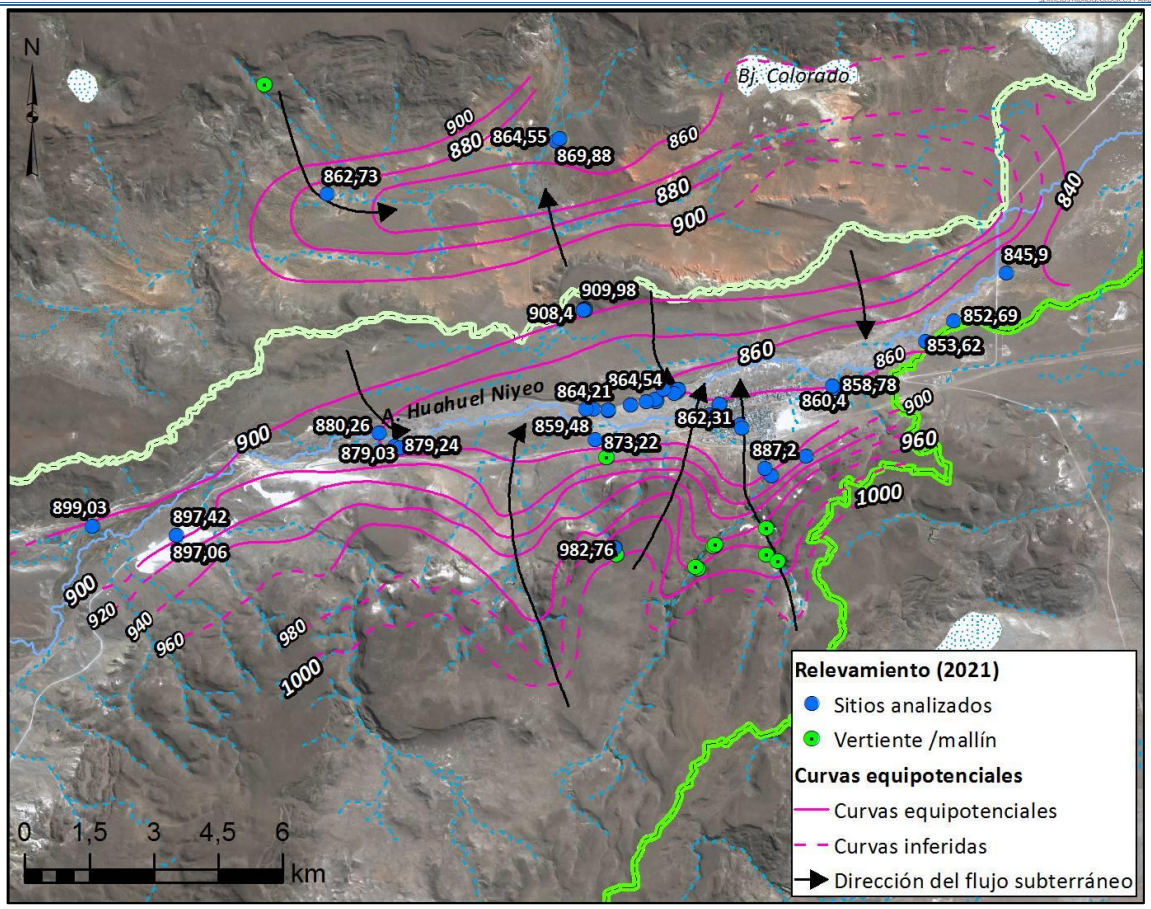


Figura 5.31: Curvas equipotenciales para localidad de Ing. Jacobacci y alrededores.

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 del mapa regional, la equidistancia utilizada fue de 40 metros, mientras que para el local se utilizó 20 metros.

Como puede observarse, el flujo subterráneo presenta una morfología radial convergente en dirección hacia el valle del arroyo Huahuel Niyeu, y regionalmente hacia el Noreste de la cuenca. En general se observa que los sentidos de flujo subterráneo y superficial coinciden, lo que se refleja por la buena correlación entre las curvas equipotenciales y la topografía del terreno. En gran parte, esta morfología de las curvas explica el rol de zonas de recarga locales de las mesetas basálticas, donde el agua se infiltra y continúa descendiendo verticalmente hasta toparse con una capa de menor permeabilidad para fluir subhorizontalmente hasta interceptar la topografía (generando los mallines y vertientes observados en las márgenes de los valles) o el subálveo de los valles.

Es importante observar la variabilidad del arroyo Huahuel Niyeu, el cual presenta hacia la zona de nacientes un carácter ganador o efluente, pero que rápidamente pasa a ser perdedor o influente hasta infiltrarse completamente en un tramo de aproximadamente 25 km, observando una situación similar en el Arroyo Yuquiche. En ambos casos es importante destacar que, si bien los cursos se encuentran secos, el agua subterránea se encuentra cercana a la superficie, lo que

es evidenciado por la presencia de mallines en los valles principales y quebradas de la zona de estudio. Descartando estos dos cursos de agua, en la región predominan los cursos perdedores, los cuales se encuentran secos durante la mayor parte del año y teniendo un carácter efímero dependiente de las precipitaciones que ocurran.

Para la microcuenca del Bajo Colorado, se observa un flujo subterráneo hacia el centro del valle que luego continuaría hacia el Este, conectándose subterráneamente con el valle del arroyo Huahuel Niyeu en el extremo este de la subcuenca, los valores máximos de altura potenciométrica se encuentran hacia el sur de la subcuenca, siendo los mismos cercanos a 1300 msnm.

La Figura 5.32 muestra las zonas de mallines interpretadas mediante tratamiento de imágenes satelitales (ver Anexo I), observando rápidamente que los sectores con mayor presencia de mallines y/o vertiente corresponden a los valles del Arroyo Huahuel Niyeu y Yuquinche. También se pueden observar los mallines en sectores de valles afluentes menores, destacando el de la zona Norte de la microcuenca del Bajo Colorado y las vertientes captadas al Sur de Ingeniero Jacobacci, ambos casos al pie de mesetas basálticas.

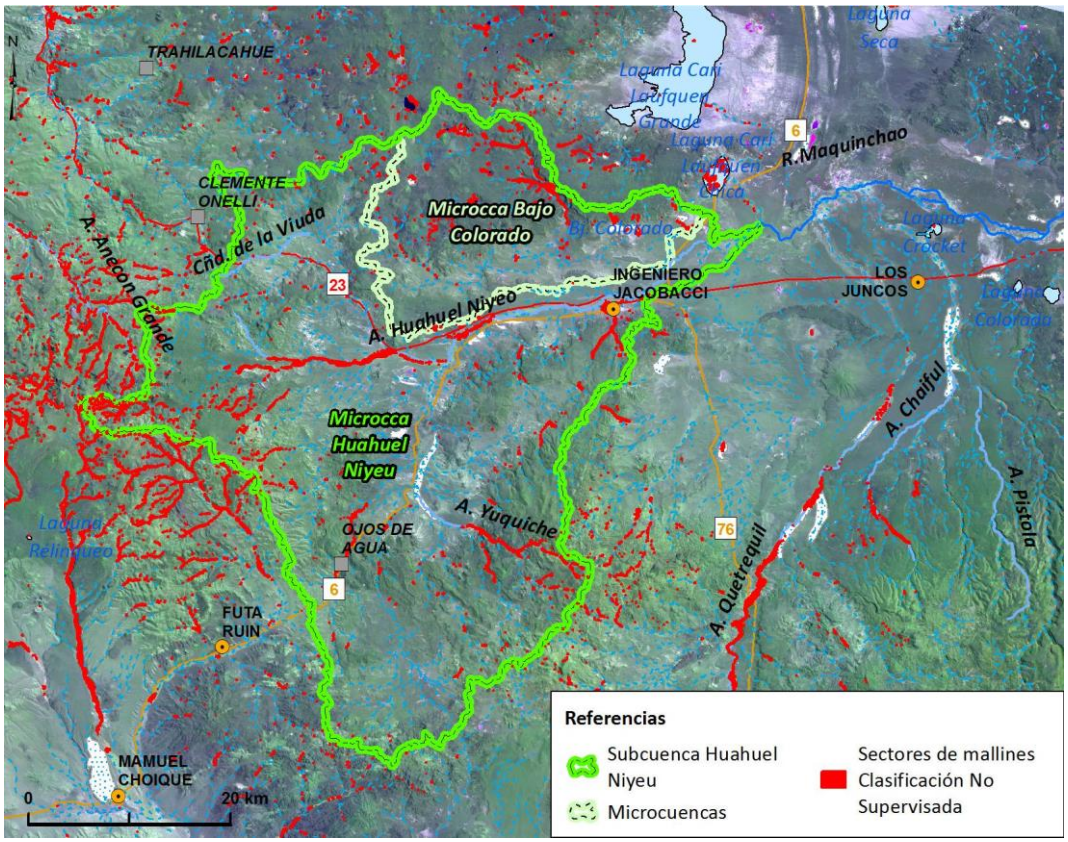


Figura 5.32: Presencia de mallines en el sector de estudio.

En cuanto a los gradientes hidráulicos, se puede observar que hacia el Oeste de la cuenca del Arroyo Huahuel Niyeu los gradientes varían entre 0,5 y 2,5%, con los mayores valores en las zonas de nacientes, donde las curvas se disponen más juntas entre sí. El gradiente para el valle del Arroyo Huahuel Niyeu propiamente dicho a nivel regional sería de aproximadamente 0,6 a 1% en la zona oeste de la cuenca, mientras que hacia la zona de Jacobacci decrecería hasta valores cercanos

a 0,3%. Adicionalmente, en las inmediaciones de la localidad, hacia el Sur y Norte de la localidad, la cercanía de las mesetas genera gradientes elevados para la zona que varían desde 2 hasta 6% en sentido N-S y S-N aproximadamente. Esto se puede observar claramente en el Mapa 11, encontrándose las curvas más apretadas en el sector sur aledaño a la localidad.

Calculados los gradientes hidráulicos estimados de la región de estudio, se procedió a calcular la velocidad del flujo subterráneo para el valle del Arroyo Huahuel Niyeu. Para esto se utilizó la ecuación:

$$V = \frac{K.i}{Pe}$$

Donde:

K: permeabilidad (m/d)

i: gradiente hidráulico (adimensional)

Pe: porosidad efectiva (adimensional)

Cabe destacar que los valores calculados son meramente indicativos, ya que no se cuenta con suficientes datos fiables de la superficie equipotencial o de los parámetros hidráulicos de los acuíferos existentes en la zona de estudio.

Habiendo aclarado lo anterior, se tomó como permeabilidad del área de estudio 10 m/día, correspondiendo a un valor conservador según las interpretaciones presentadas en el inciso 5.4.3. Para la porosidad efectiva se asignó un valor promedio de 15%, el cual es representativo de acuíferos aluviales. Considerando estos valores, se obtienen velocidades de flujo subterráneo para la zona del valle de estudio entre 0,53 y 0,2 m/d, correspondientes al sector oeste de la cuenca (gradiente aproximado de 0,8%) y para las cercanías de Jacobacci (gradiente aproximado de 0,3%), respectivamente.

5.5 Exploración geofísica y perfiles hidrogeológicos

La adquisición de datos en el área de estudio se efectuó entre los días 22 de septiembre y el 4 de octubre de 2021. En total se realizaron 60 SEV, los cuales se dispusieron formando secciones en general transversales al valle estudiado y en algunos casos continuando con las secciones geofísicas previas realizadas por el CFI en 1991. Desde la Tabla 5.17 hasta la Tabla 5.21 se muestran las coordenadas de cada SEV realizado y la distancia de ala, es decir la mitad de la distancia de separación entre electrodos de inducción (AB/2). Los sectores que fueron prospectados fueron denominados como Sector Aeropuerto, Sector Este Jacobacci; Sector Oeste Jacobacci, Sector Huanuluan y Sector Ojos de Agua, los mismos, junto con la ubicación de los SEV realizados se detallarán más adelante junto con los resultados, y pueden observarse en el Mapa 12.

Tabla 5.17: SEV realizados en sector Aeropuerto.

Sector	SEV	Ala (m)	Día	Coordenadas	
				Latitud	Longitud
Aeropuerto	A-A1	320	23/09/2021	-41,330207	-69,677606
	A-B1	320	25/09/2021	-41,327799	-69,653524
	A-C1	320	26/09/2021	-41,311465	-69,625565
	A-C2	320	26/09/2021	-41,318858	-69,625456
	A-C3	160	25/09/2021	-41,325243	-69,624504
	A-D1	250	26/09/2021	-41,310027	-69,599694
	A-D2	320	26/09/2021	-41,318054	-69,600423
	A-D3	500	25/09/2021	-41,325272	-69,600544
	A-E1	320	26/09/2021	-41,31005	-69,586303
	A-E2	500	24/09/2021	-41,315871	-69,58523
	A-E3	320	24/09/2021	-41,324671	-69,584849
	A-F1	500	26/09/2021	-41,310847	-69,571456
	A-F2	320	24/09/2021	-41,316388	-69,56912
	A-F3	320	24/09/2021	-41,322455	-69,567336

(Fuente: Hidroar S.A.)

Tabla 5.18: SEV realizados en sector Este de Jacobacci.

Sector	SEV	Ala (m)	Día	Coordenadas	
				Latitud	Longitud
Este de Jacobacci	EJ-1	500	29/09/2021	-41,26062	-69,442041
	EJ-2	320	27/09/2021	-41,270876	-69,455704
	EJ-3	320	27/09/2021	-41,280371	-69,467638
	EJ-4	250	27/09/2021	-41,261568	-69,469808
	EJ-5	500	30/09/2021	-41,280343	-69,442538
	EJ-6	320	30/09/2021	-41,28526	-69,434453
	EJ-A1	500	22/09/2021	-41,31827	-69,525267
	EJ-A2	320	22/09/2021	-41,323223	-69,52341
	EJ-A3	250	22/09/2021	-41,32868	-69,521676
	EJ-B1	320	23/09/2021	-41,316748	-69,516605
	EJ-B2	500	23/09/2021	-41,320728	-69,51476
	EJ-B3	250	22/09/2021	-41,324925	-69,512563
	EJ-C1	320	23/09/2021	-41,31337	-69,506512
	EJ-C2	320	24/09/2021	-41,316123	-69,505164
	EJ-C3	320	23/09/2021	-41,318521	-69,50423
	EJ-D1	360	25/09/2021	-41,303445	-69,493345
	EJ-D2	320	25/09/2021	-41,306073	-69,490212
	EJ-D3	500	27/09/2021	-41,308808	-69,486977

(Fuente: Hidroar S.A.)

Tabla 5.19: SEV realizados en sector Oeste de Jacobacci.

Sector	SEV	Ala (m)	Día	Coordenadas	
				Latitud	Longitud
Oeste de Jacobacci	OJ-A1	320	29/09/2021	-41,367681	-69,772803
	OJ-A2	500	28/09/2021	-41,374559	-69,772686
	OJ-A3	320	28/09/2021	-41,378776	-69,773212
	OJ-B1	320	28/09/2021	-41,357047	-69,717327
	OJ-B2	320	28/09/2021	-41,355023	-69,736697
	OJ-B3	500	28/09/2021	-41,364814	-69,738553
	OJ-B4	320	28/09/2021	-41,374259	-69,741166
	OJ-C1	250	29/09/2021	-41,381132	-69,744566
	OJ-C2	500	29/09/2021	-41,350045	-69,722188
	OJ-C3	320	29/09/2021	-41,353298	-69,719804

(Fuente: Hidroar S.A.)

Tabla 5.20: SEV realizados en sector Huanuluan.

Sector	SEV	Ala (m)	Día	Coordenadas	
				Latitud	Longitud
Huanuluan	H-1	200	01/10/2021	-41,375404	-69,914527
	H-2	320	01/10/2021	-41,377668	-69,914825
	H-3	320	01/10/2021	-41,379229	-69,915068
	H-A1	320	03/10/2021	-41,373753	-69,868083
	H-A2	500	03/10/2021	-41,376841	-69,86758
	H-A3	320	02/10/2021	-41,380152	-69,867179
	H-B1	320	02/10/2021	-41,375049	-69,838913
	H-B2	320	02/10/2021	-41,377746	-69,839487
	H-B3	320	01/10/2021	-41,379233	-69,839475
	H-C1	320	30/09/2021	-41,3652	-69,811631
	H-C2	320	30/09/2021	-41,368081	-69,813291
	H-C3	200	02/10/2021	-41,372149	-69,815751

(Fuente: Hidroar S.A.)

Tabla 5.21: SEV realizados en sector Ojos de Agua.

Sector	SEV	Ala (m)	Día	Coordenadas	
				Latitud	Longitud
Ojos de agua	OA-A1	200	04/10/2021	-41,57353	-69,881399
	OA-A2	320	04/10/2021	-41,574758	-69,874515
	OA-A3	250	04/10/2021	-41,578321	-69,868713
	OA-B1	160	03/10/2021	-41,562929	-69,876347
	OA-B2	200	03/10/2021	-41,563354	-69,875027
	OA-B3	400	03/10/2021	-41,56385	-69,873675

(Fuente: Hidroar S.A.)

5.5.1 Resultados

Las curvas registradas en general presentan un gran contraste en las resistividades aparentes medidas desde 1000 hasta 5 Ωm. Son curvas suaves, sin la presencia de saltos significativos.

Los valores más altos se observan en la capa superficial y podrían deberse a la presencia de basaltos o andesitas, gravas y arenas muy poco consolidadas.

La descripción de los modelos y de los perfiles geoeléctricos corresponde a un análisis cualitativo sobre la correspondencia y similitud entre sondeos adyacentes. Las curvas fueron interpretadas con el mínimo número de capas de manera que la diferencia entre la respuesta del modelo y los datos sea mínima e inferior al 5%.

Para la asignación litológica e interpretación de los rangos de resistividad se siguieron los lineamientos del informe antecedente del CFI 1991 para la localidad de Ingeniero Jacobacci. Ver Tabla 5.22.

Tabla 5.22: Valores de resistividad de las capas interpretadas.

Resistividad	Rango (Ωm)	Litología asociada
Baja	< 10	Limo
Media	10 - 20	Arena fina
Alta	20 - 50	Arena media a gruesa
Muy Alta	> 50	Rodados y gravas

(Fuente: Hidroar S.A.)

5.5.1.1 Modelo de resistividad verdadera.

A continuación, se describen a modo de ejemplo los modelos de resistividad verdadera propuestos para dos casos de los SEV registrados en la zona de interés. En los gráficos se observan la curva de campo, el modelo propuesto (trazos rectos) y la curva calculada. Para mayor detalle remitirse al Anexo VIII a - Curvas de interpretación geofísica y VIII b – Secciones geofísicas.

- *SEV A-C2*

Las primeras dos capas corresponden a la parte más superficial del subsuelo, presenta un espesor aproximado de 3 m y valores de resistividad alta (756 y 52 Ωm). La siguiente secuencia de capas disminuye el valor de la resistividad hasta valores de 11 Ωm hasta los 12 m de profundidad, y la siguiente presenta una resistividad de 9,8 Ωm que se desarrolla hasta los 50 m de profundidad. Por debajo aparece una capa que aumenta la resistividad a 30 Ωm desde los 50 m hasta los 70 m de profundidad. El modelo finaliza con una capa de 8 Ωm de resistividad. Ver Figura 5.33.

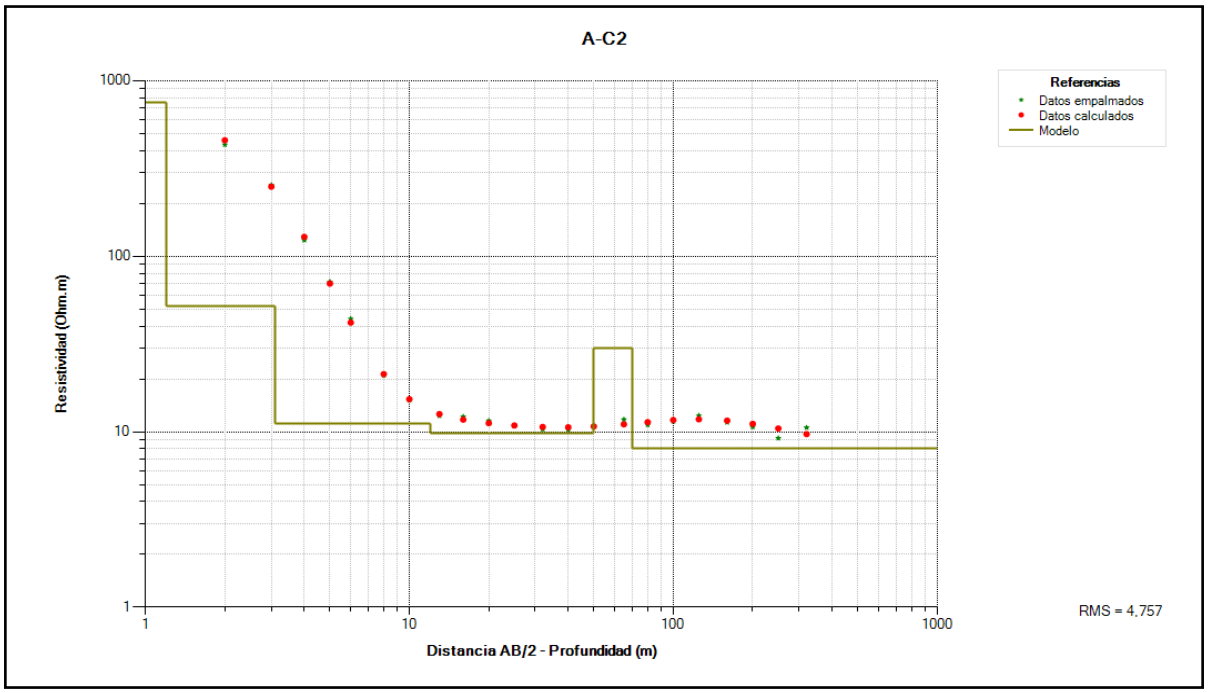


Figura 5.33: Curva de campo, curva calculada y modelo propuesto para A-C2.

- *SEV A-D2*

Las primeras dos capas corresponden a la parte más superficial del suelo, se desarrollan hasta los 4 m de profundidad aproximadamente con resistividades 350 y 19 Ωm. Luego se observa una capa donde aumenta la resistividad (190 Ωm) hasta los 22 m de profundidad aproximadamente. La siguiente electrocapa presenta una resistividad intermedia de 30 Ωm que se desarrolla desde los 22 m hasta los 64 m. Por último, la base del modelo está representada por un electrocapa de baja resistividad (3,6 Ωm). Ver Figura 5.34.

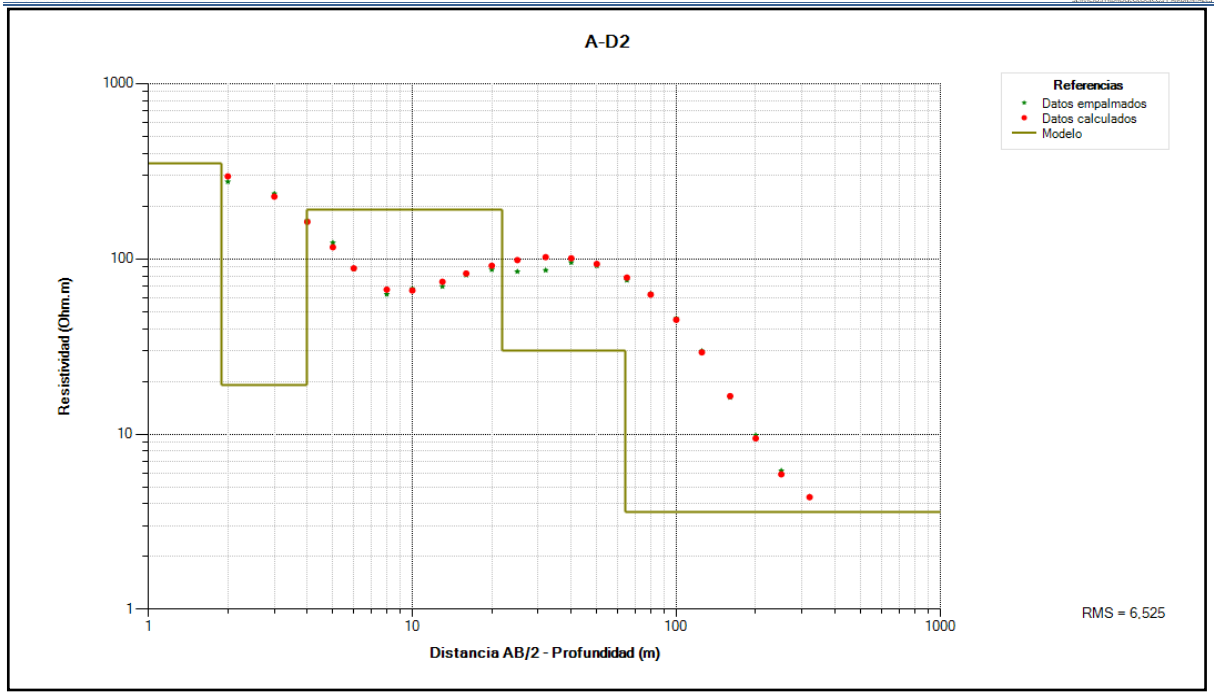


Figura 5.34: Curva de campo, curva calculada y modelo propuesto para A-D2.

5.5.1.2 *Sector Aeropuerto*

Este sector abarca la zona de la terraza del aeropuerto al noroeste de la localidad, ver Figura 5.35. En total se midieron 14 SEVs dispuestos en 6 perfiles que continúan las transectas hechas por el CFI en 1991.

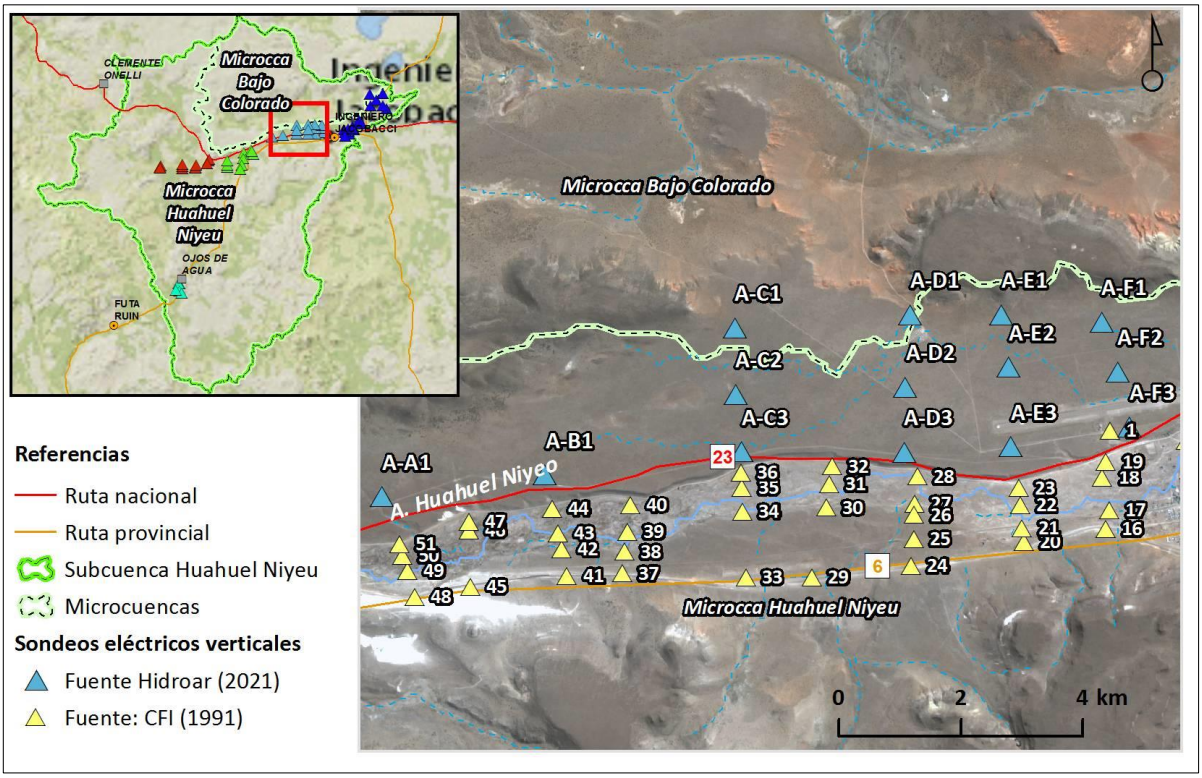


Figura 5.35: SEV realizados en sector Aeropuerto

➢ *Perfil A-A*

Este perfil se ubica en la parte más occidental del sector, cortando lo más perpendicularmente posible al valle en dirección noreste-sudoeste y cuenta con los SEVs A-A1 (Hidroar), 48, 49, 50 y 51 (CFI 1991).

Puede verse que el Paquete Resistivo Superior, marcado por el trabajo del CFI, se continúa en la terraza y apoya sobre una electrocapa de resistividad inferior a 10 Ωm. Entre las cotas de 845 y 805 msnm aparece una electrocapa de resistividad superior a los 10 Ωm. La última electrocapa es de baja resistividad, exceptuando el sector Sur donde aparece una última capa resistiva. Ver Figura 5.36.

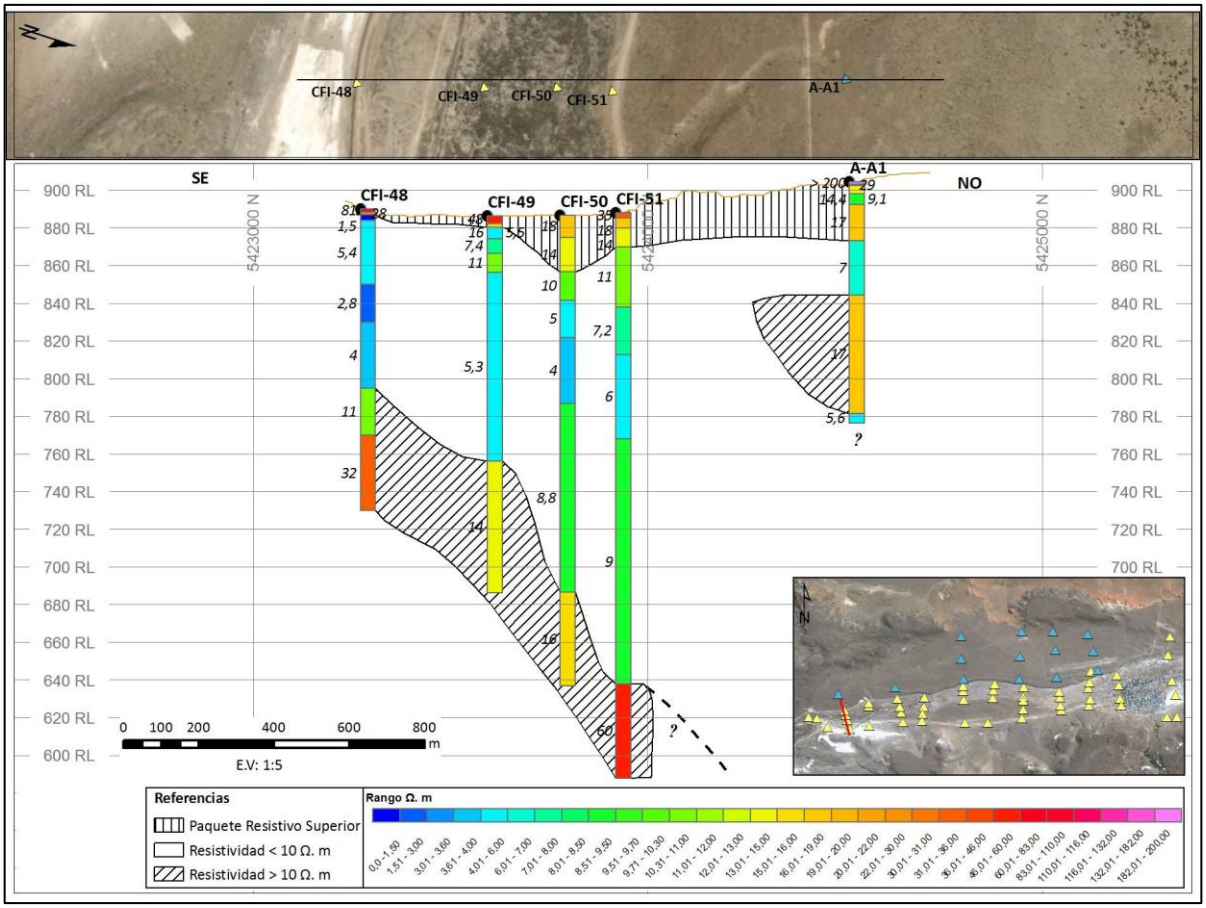


Figura 5.36: Interpolación de los modelos CFI y el SEV A-A1. Los primeros cuatros sondeos del perfil corresponden al CFI 1991.

➢ *Perfil A-B*

Este perfil se ubica seguido al anterior, hacia el oeste, cortando lo más perpendicularmente posible al valle en dirección noreste-sudoeste y cuenta con los SEVs A-B1 (Hidroar), 41, 42, 43 y 44 (CFI 1991).

Se observa que el Paquete Resistivo Superior disminuye notablemente su espesor en A-B1. Por debajo de la cota 866 m se desarrolla una electrocapa de resistividad inferior a 10 Ωm, mientras que a mayor profundidad no se observa continuidad de la electrocapa de más alta resistividad presente en los modelos del CFI. Ver Figura 5.37.

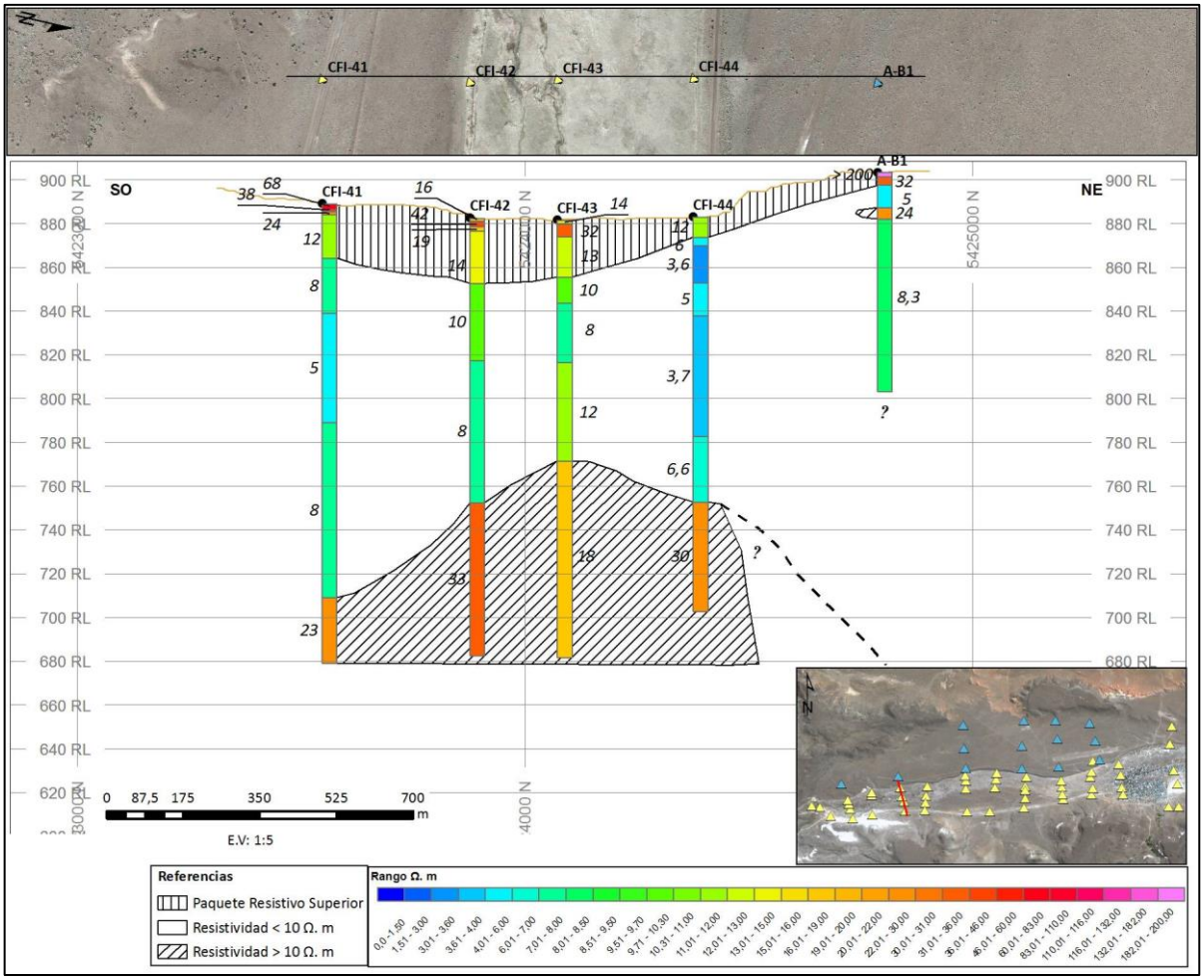


Figura 5.37: Interpolación de los modelos CFI y el SEV A-B1. Los primeros cuatros sondeos del perfil corresponden al CFI 1991.

➢ *Perfil A-C*

Es el tercer perfil visto desde el oeste y el primero que contiene tres SEVs de los realizados en la campaña de septiembre de Hidroar S.A. El mismo corta al valle lo más perpendicularmente posible en dirección noreste-sudoeste y cuenta con los SEVs A-C1, A-C2, A-C3 (Hidroar), 33, 34, 35 y 36 (CFI 1991).

Se observan capas de alta resistividad en la parte más superficial de los modelos, con un espesor de 5 m en los SEVs del CFI, mientras que hacia la terraza se observa un incremento del mismo, llegando a los 10 m. Por debajo se observa una secuencia de electrocapas de baja resistividad (menor a 10 Ωm) y solo en los modelos realizados por Hidroar, SEVs A-C1, A-C2 y A-C3, se observa una electrocapa de mayor resistividad entre las cotas de 830 y 860 m, que no presentaría continuidad con los realizados por el CFI. Ver Figura 5.38.

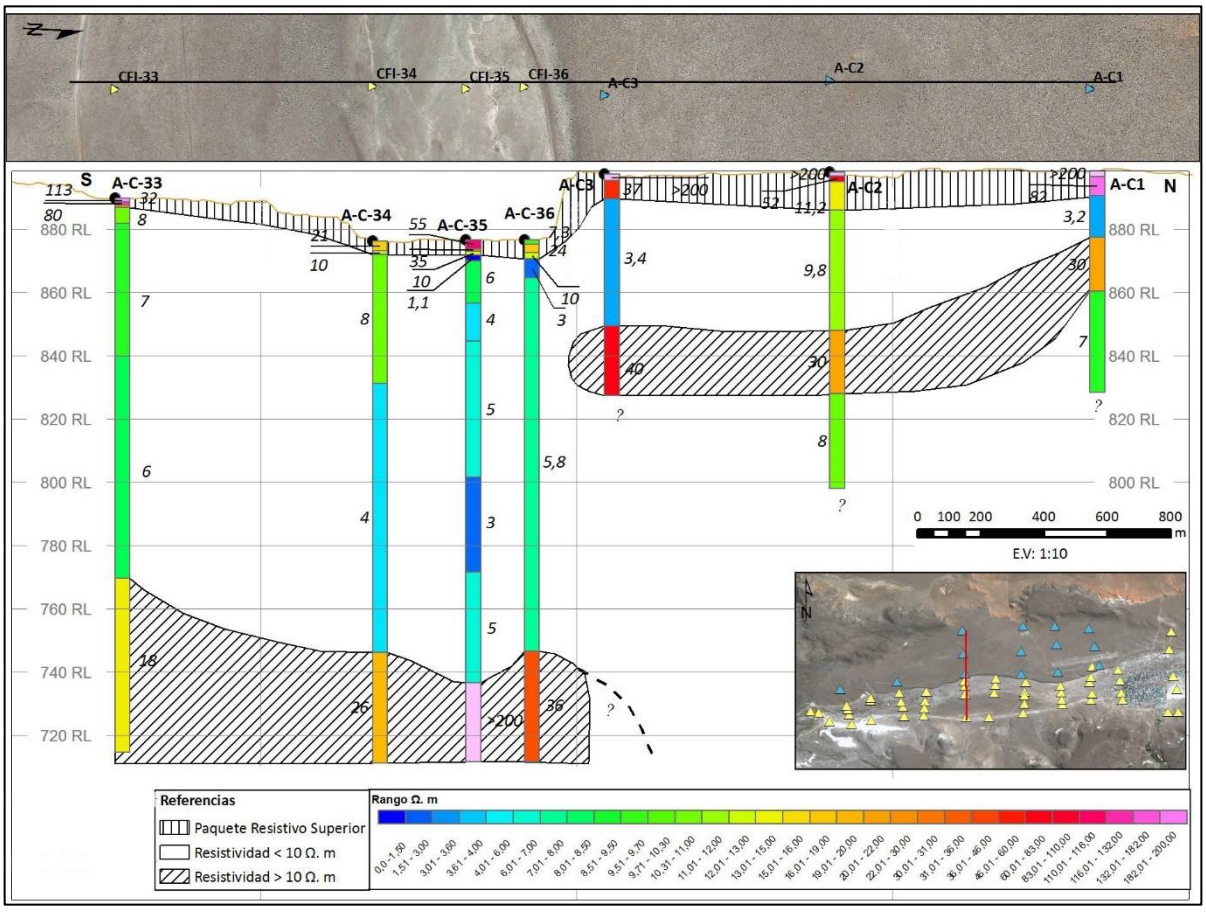


Figura 5.38: Interpretación del perfil A-C. Los primeros cuatro sondeos del perfil corresponden al CFI 1991.

➢ *Perfil A-D*

Este perfil es el que le continua al perfil anterior hacia el oeste, corta al valle lo más perpendicularmente posible en dirección noreste-sudoeste y cuenta con los SEVs A-D1, A-D2, A-D3 (Hidroar), 24, 25, 26, 27 y 28 (CFI 1991).

Se destaca que el Paquete Resistivo Superior presenta mayor espesor en el nuevo sector explorado del Aeropuerto. Cabe destacar que, para este último sector, el paquete resistivo superior presenta en los primeros 20-30 m resistividades superiores en general a los observados en el valle, prolongándose en profundidad luego con valores más bajos y similares. Este paquete se encuentra apoyado en una electrocapa de resistividad inferior a 10 Ωm. La base de esta secuencia de baja resistividad se encuentra a cotas aproximadas de 780-760 msnm en el sector sur, donde le sigue un paquete de resistividad mayor a 10 Ωm, mientras que hacia el norte no se detectó su base. Ver Figura 5.39.

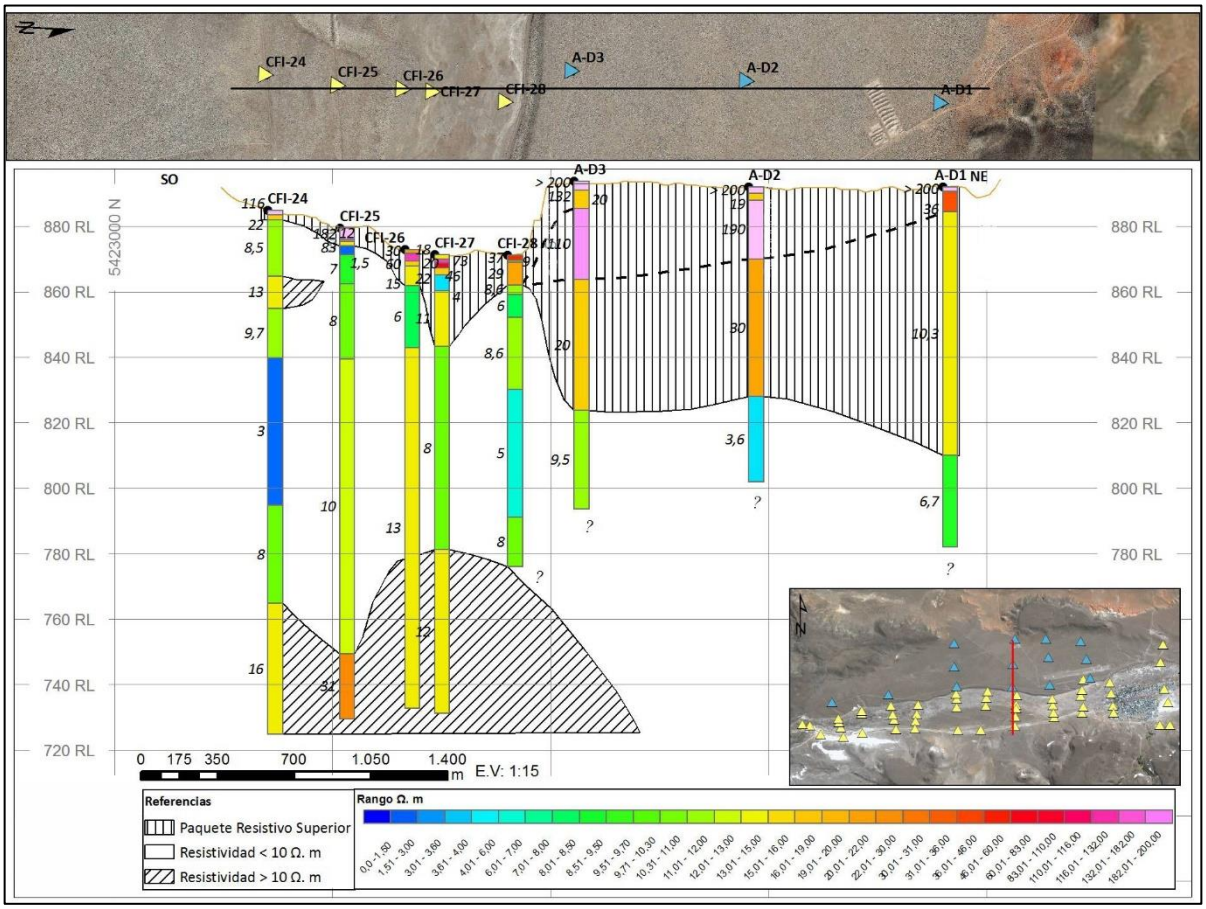


Figura 5.39: Interpretación del perfil A-D. Los primeros cinco sondeos del perfil corresponden al CFI 1991.

➢ *Perfil A-E*

Este es el segundo perfil desde el este, corta al valle lo más perpendicularmente posible en dirección noreste-sudoeste y cuenta con los SEVs A-E1, A-E2, A-E3 (Hidroar), 20, 21, 22 y 23 (CFI 1991).

Nuevamente se observa que el Paquete Resistivo Superior presenta mayor espesor hacia el noreste, y se encuentra apoyado en una electrocapa de resistividad inferior a los 10 Ωm. En este perfil se observa una buena correlación entre los modelos propuestos por el CFI y los de este trabajo. Se destaca la presencia de una capa de resistividad superior a los 10 Ωm a los 715 msnm en A-E2, que podría ser la continuidad de una capa del mismo rango de resistividad presente en el sector SW. Ver Figura 5.40.

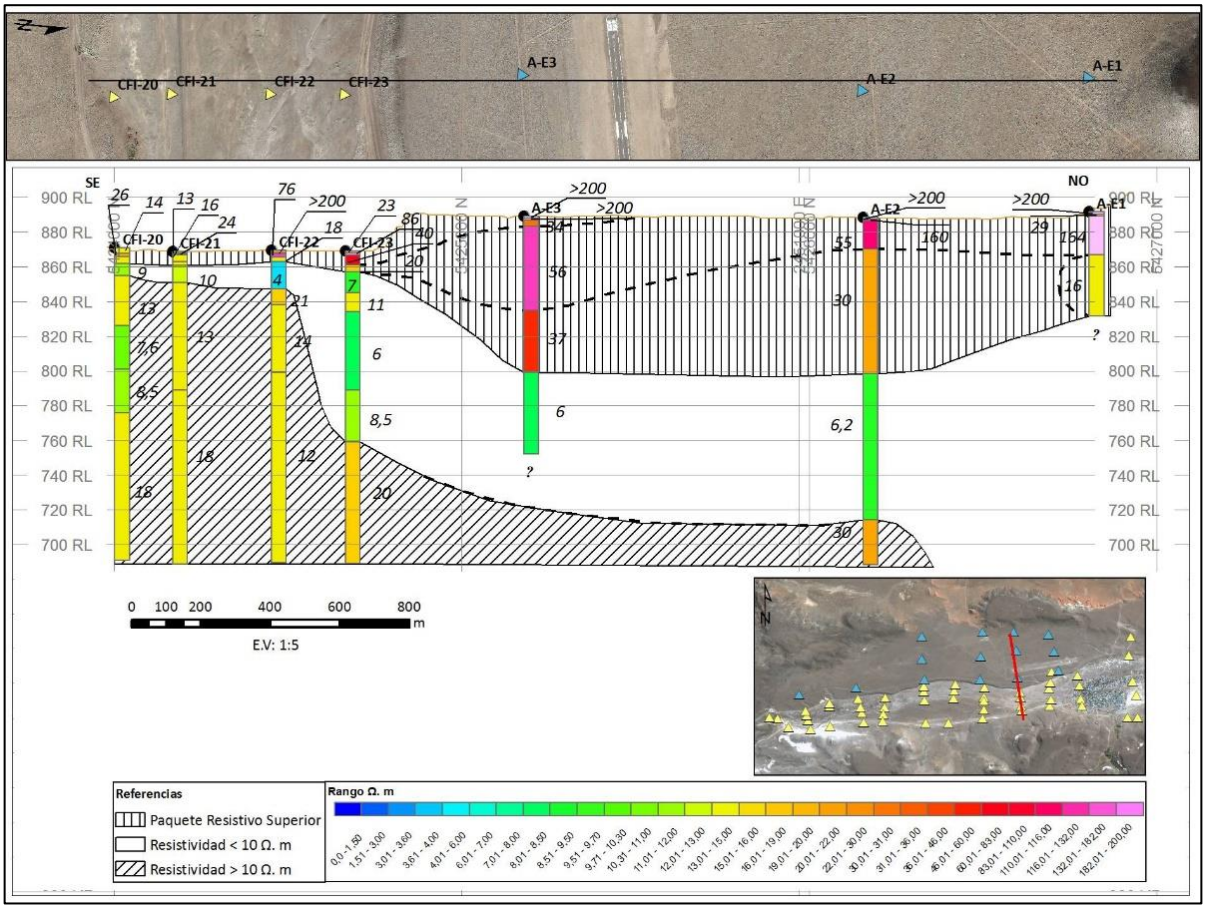


Figura 5.40: Interpretación del perfil A-E. Los primeros cuatro sondeos del perfil corresponden al CFI 1991.

➢ *Perfil A-F*

Este es el primer perfil desde el este, corta al valle lo más perpendicularmente posible en dirección noreste-sudoeste y cuenta con los SEVs A-F1, A-F2, A-F3 (Hidroar), 16, 17, 18, 19 y 20 (CFI 1991).

Los modelos propuestos en CFI 1991 presentan una alternancia de capas de alta y baja resistividad con espesores variables. En los modelos propuestos por Hidroar S.A. se observa un aumento del espesor del Paquete Resistivo Superior hacia el sector de la terraza, lo cual también aparece en el sondeo 1 del CFI. Esto último indicaría que ambas interpretaciones son congruentes y pueden ser comparables. En profundidad sólo se destaca una posible continuidad de la capa de resistividad superior a 10 Ωm en el SEV A-F1 por debajo de la cota de 750 msnm. Ver Figura 5.41.

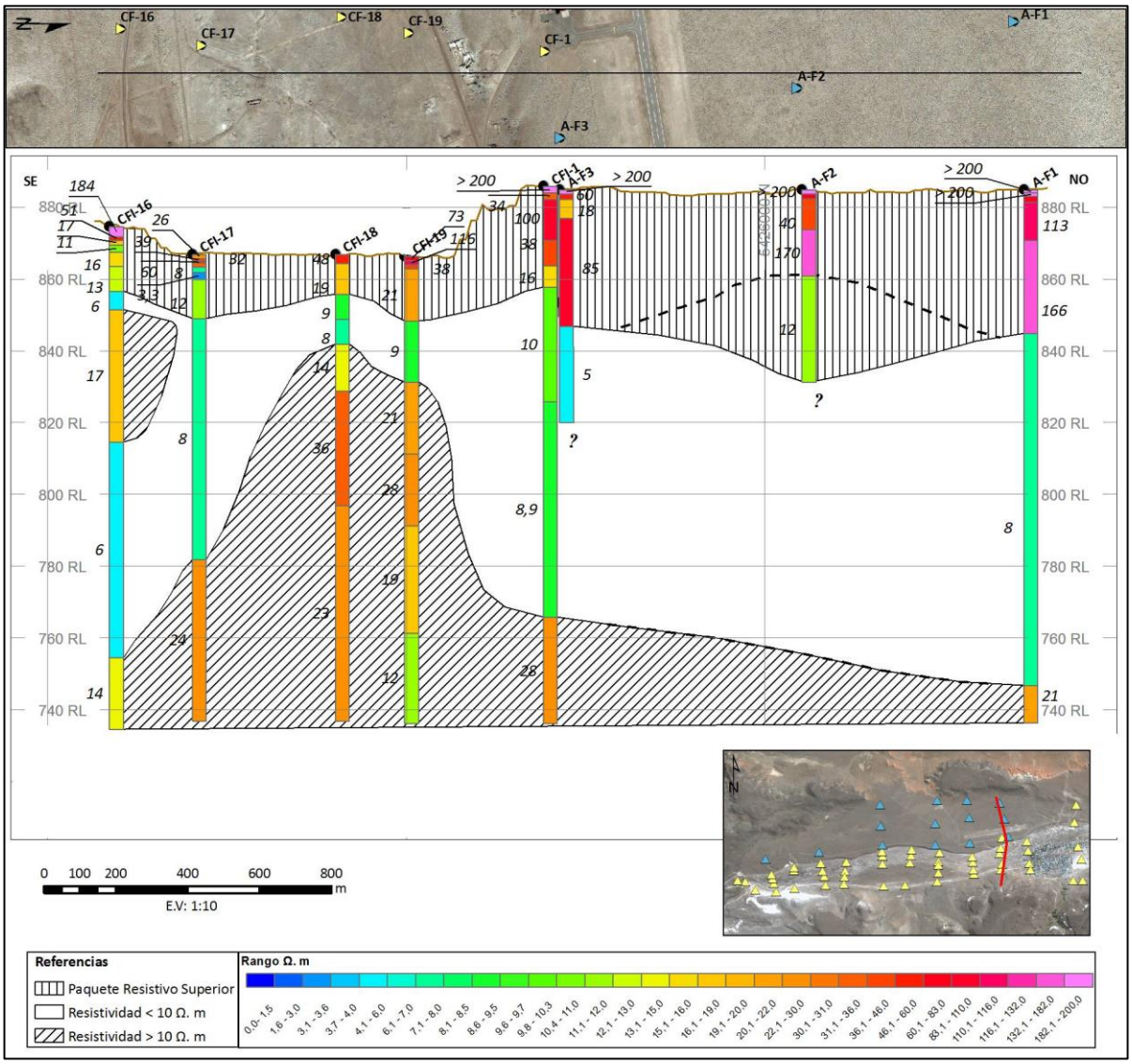


Figura 5.41: Interpretación del perfil A-F. Los primeros cinco sondeos del perfil corresponden al CFI 1991.

5.5.1.3 Sector Este Jacobacci

Este sector abarca la zona hacia el este de la localidad. En total se midieron 18 SEVs dispuestos en 6 perfiles a lo largo del valle del arroyo Huahuel Niyeu, de los cuales 4 se encuentran anexos a Ing. Jacobacci (ver Figura 5.42), mientras que los 2 restantes están a más de 7 km hacia aguas abajo (ver Figura 5.47).

A continuación, se realiza en primera instancia una descripción de los SEV cercanos a la localidad de Jacobacci, para luego desarrollar los que se encuentran más alejados.

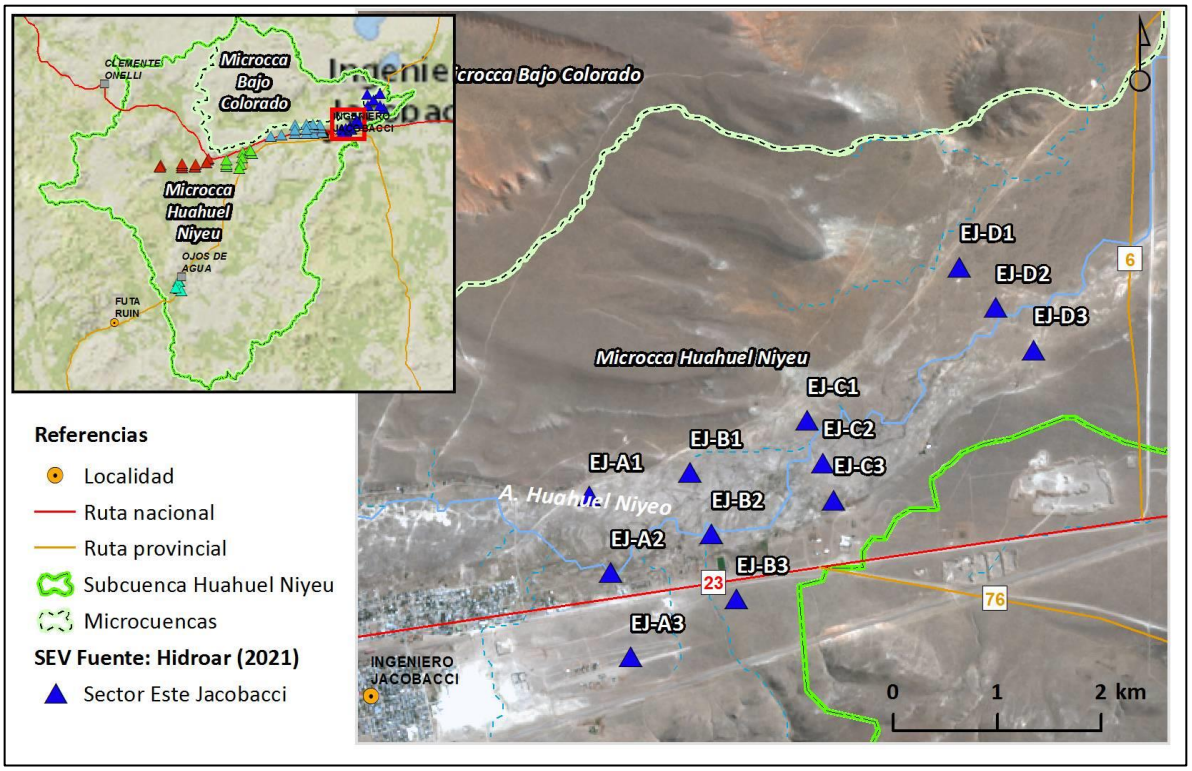


Figura 5.42: SEV realizados en sector Este Jacobacci cercanos a la localidad.

➢ *Perfil EJ-A*

Este es el primer perfil hacia el este, corta al valle lo más perpendicularmente posible en dirección noroeste-sudeste y cuenta con los SEVs EJ-A1, EJ-A2 y EJ-A3.

Los modelos presentan una buena correspondencia en el número de capas y en los valores de resistividad de las mismas. La parte más superficial presenta capas de alta resistividad que constituyen el Paquete Resistivo Superior con un espesor máximo de 20 m en EJ-A3 y un mínimo de 5 m en EJ-A2. En la zona alta, donde se ubica EJ-A3, esta secuencia se encuentra apoyada en una serie de capas de resistividad superior a los 10 Ωm de casi 30 m de espesor. En EJ-A2 y A1, esta capa presenta un espesor inferior y se ubica por debajo de una electrocapa de baja resistividad que la separa del Paquete Resistivo Superior. En profundidad se observa una capa hacia el sector Sureste donde la resistividad disminuye hasta una cota de 795 msnm, pero que no se encuentra en EJ-A1. Por debajo se presenta un aumento de la resistividad a valores superiores a 10 Ωm nuevamente. Ver Figura 5.43.

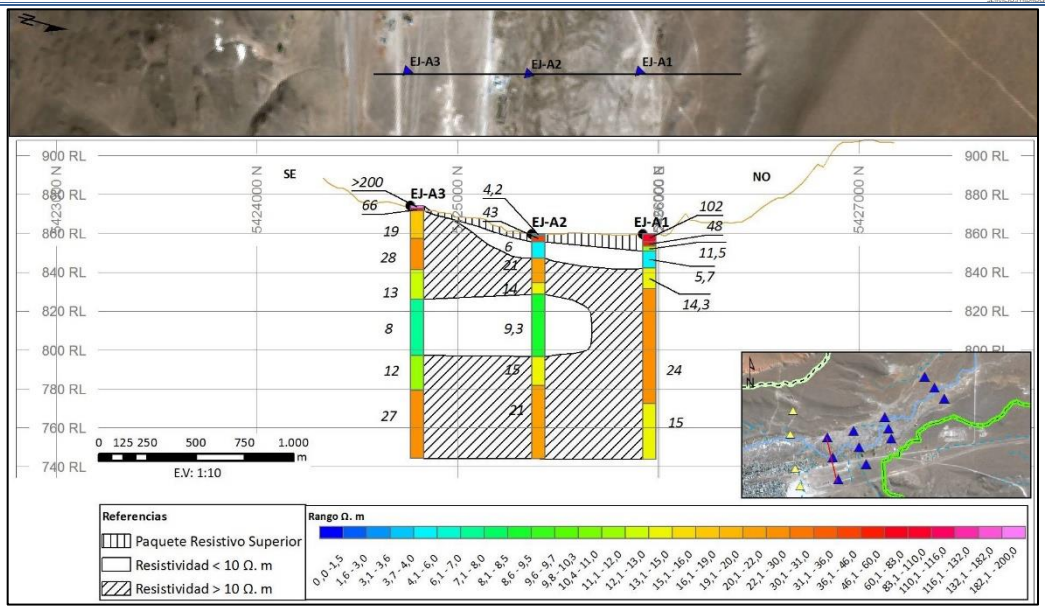


Figura 5.43: Interpretación del perfil EJ-A.

- *Perfil EJ-B*

Es el perfil que sigue hacia el este, corta al valle lo más perpendicularmente posible en dirección noroeste-sudeste y cuenta con los SEVs EJ-B1, EJ-B2 y EJ-B3.

Se observa una secuencia de tres regiones, la superficial correspondiente al Paquete Resistivo Superior con un espesor de casi 40 m en EJ-B3 que se reduce hasta 10 m en los otros modelos. Por debajo aparece una electrocapa de menor resistividad que se encuentra apoyadas en otra de resistividad superior a los 10 Ωm, la cual se desarrolla desde los 805 m hasta los 705 msnm en EJ-B2. Ver Figura 5.44.

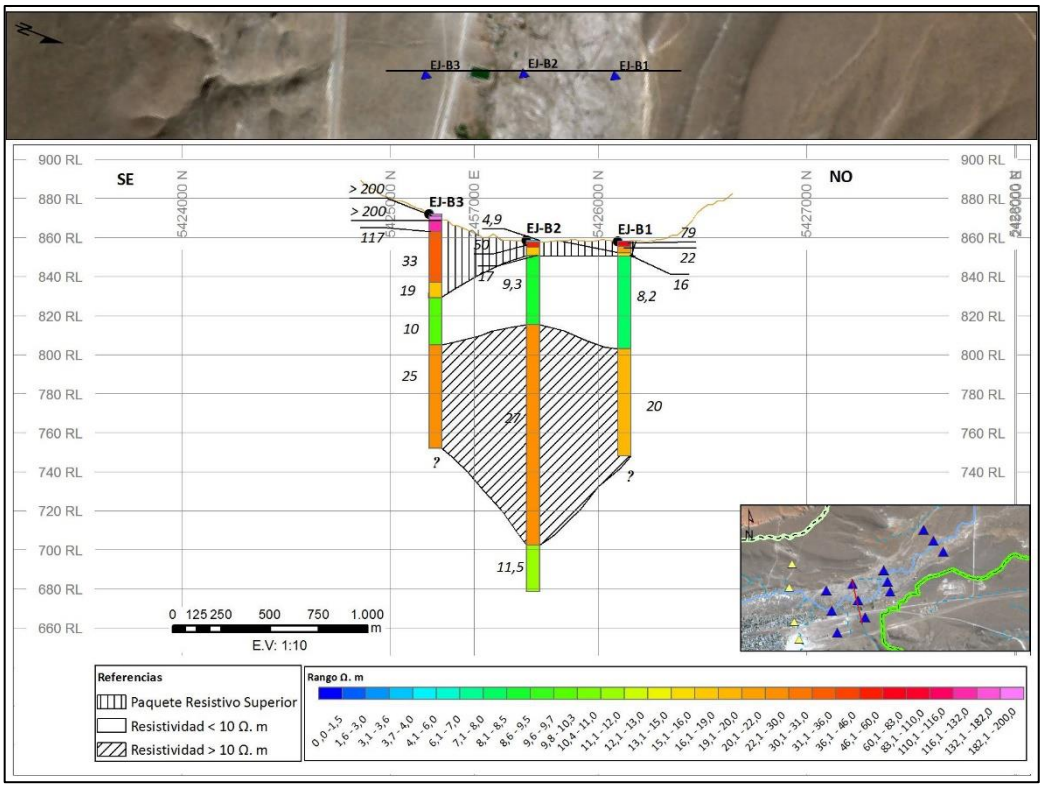


Figura 5.44: Interpretación del perfil EJ-B.

➢ *Perfil EJ-C*

Es el tercer perfil hacia el este, corta al valle lo más perpendicularmente posible en dirección noroeste-sudeste y cuenta con los SEVs EJ-C1, EJ-C2 y EJ-C3.

Este perfil muestra un espesor de 5 m del Paquete Resistivo Superior, apoyado sobre una electrocapa de resistividad inferior a los 10 Ωm que se encuentra a 60 m aproximadamente en EJ-C3 (debido a que se observa un mayor espesor del primer paquete resistivo) y que se someriza hacia EJ-C1, donde se observan los mayores espesores. Por debajo aparece una última electrocapa de resistividad mayor a 10 Ωm a cotas de 745, 765 y 785 msnm en EJ-C3, C2 y C1, respectivamente. Ver Figura 5.45.

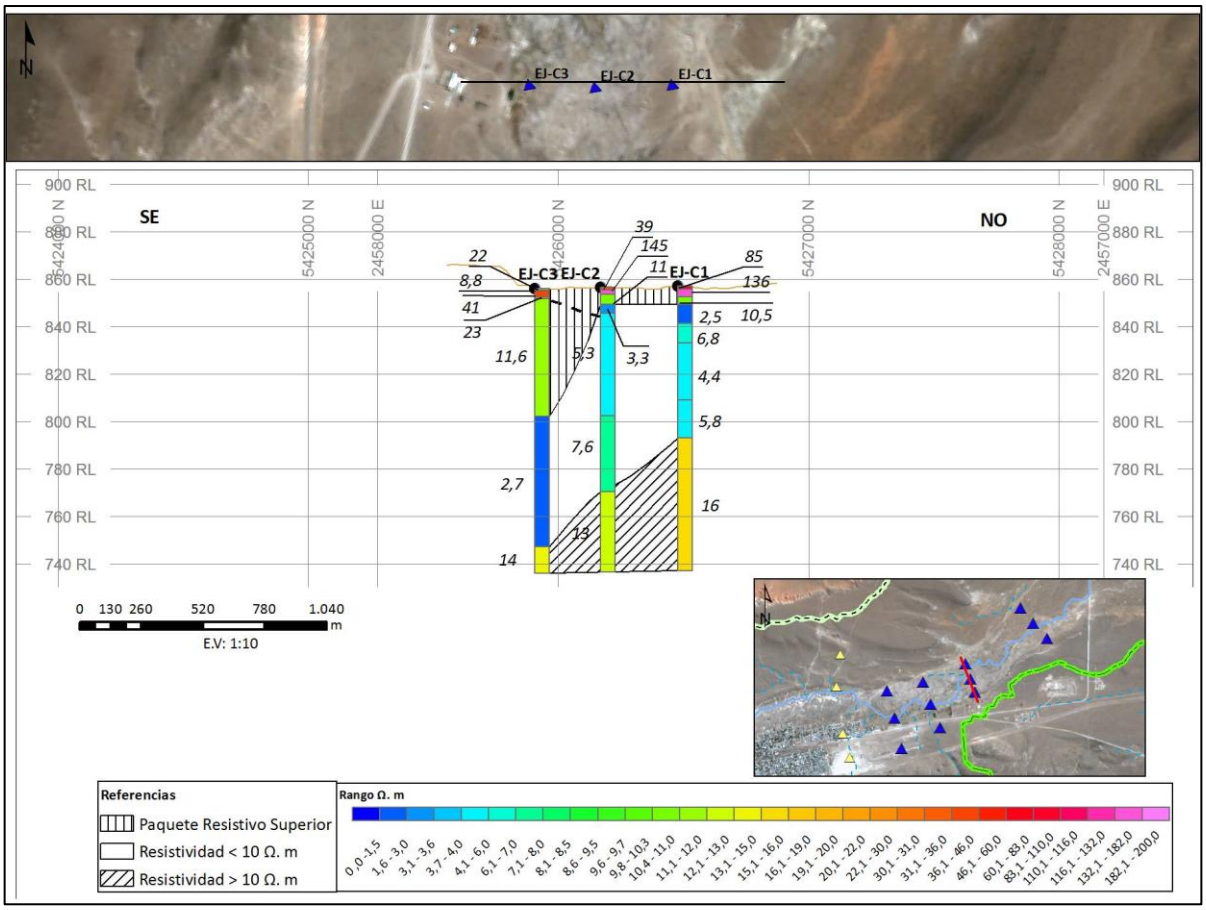


Figura 5.45: Interpretación del perfil EJ-C.

➢ *Perfil EJ-D*

Es el último perfil hacia el este próximo a la localidad, corta al valle lo más perpendicularmente posible en dirección noroeste-sudeste y cuenta con los SEVs EJ-C1, EJ-C2 y EJ-C3.

Los modelos propuestos para este perfil muestran que la capa superior clasificada como Paquete Resistivo Superior presenta un espesor de 5 m aproximadamente apoyado sobre una electrocapa de resistividad inferior a los 10 Ωm y de bajo espesor. Por debajo, aparece una electrocapa de mayor resistividad con un espesor máximo de 100 m en Ej-D3, que se adelgaza hacia EJ-D2 con 15 m aproximadamente y alcanza 40 m en EJ-D1. Por debajo aparecen nuevamente capas de baja resistividad hasta que en profundidad son remplazadas por una capa de mayor resistividad (superior a 10 Ωm) a los 740 msnm en EJ-D1 y a 680 msnm en EJ-D3. Ver Figura 5.46.

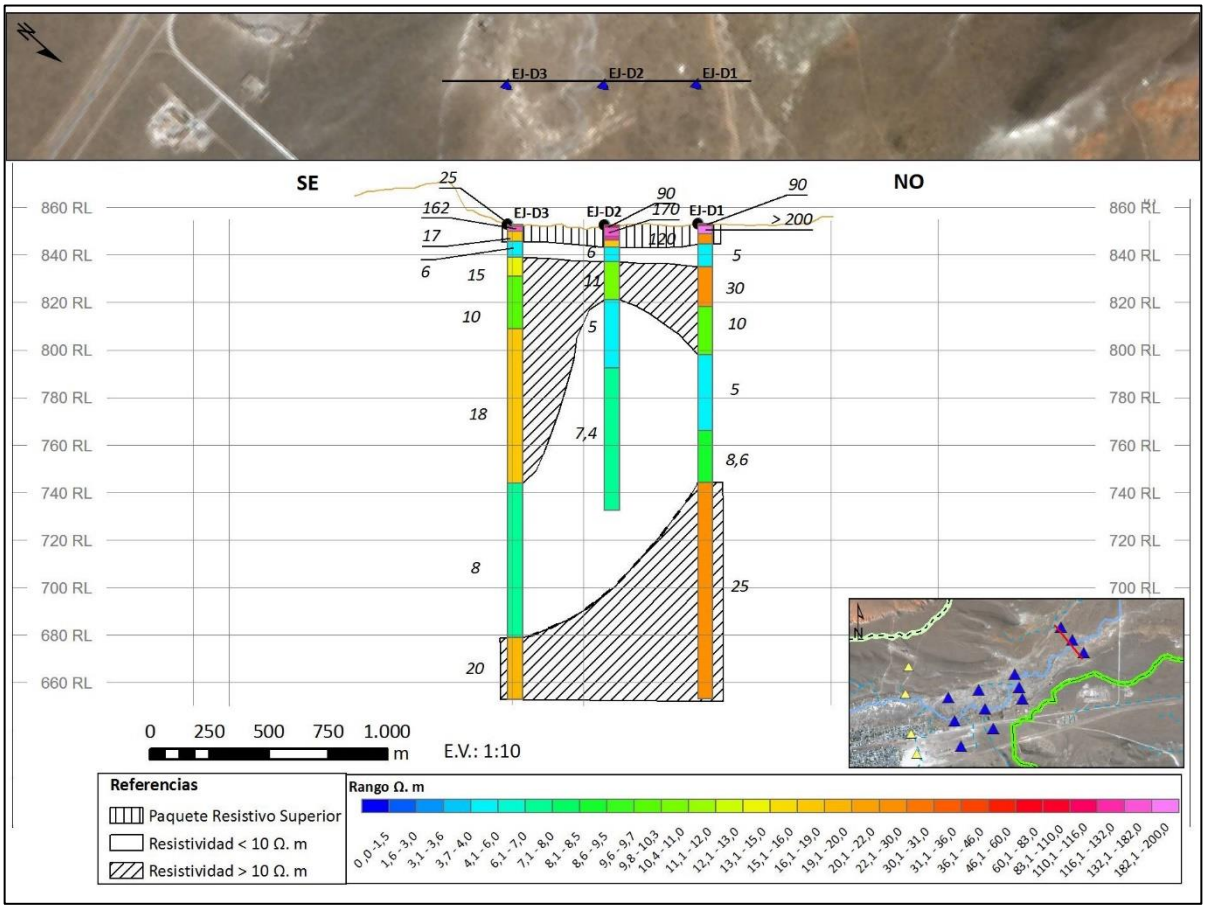


Figura 5.46: Interpretación del perfil EJ-D.

➢ *Perfiles EJ alejados a la localidad*

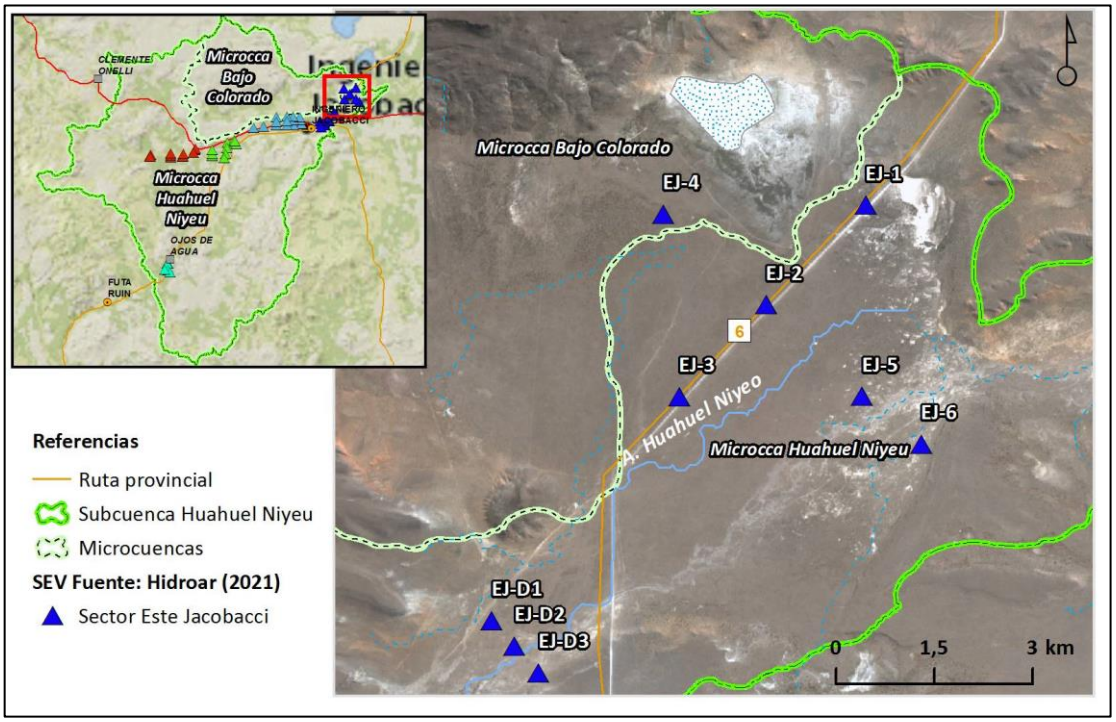


Figura 5.47: SEV realizados en sector Este Jacobacci, más alejados de la localidad.

Estos dos últimos perfiles se encuentran ubicados hacia el este de Ingeniero Jacobacci, pero más alejados que los anteriores. Son dos perfiles perpendiculares entre sí, uno en dirección noreste-sudoeste paralelo al valle sobre la margen superior y el otro perpendicular al mismo llegando a cortar el cauce seco del arroyo Huahuel Niyeu en dirección noroeste-sudeste. El primero cuenta con los SEVs EJ-1, EJ-2 y EJ-3, mientras que el segundo con los sondeos EJ-2, EJ-4, EJ-5 y EJ-6.

El perfil NE-SO muestra un espesor de 5 m del Paquete Resistivo Superior, apoyado sobre una secuencia de capas de resistividad inferior a 10 Ωm cuya base se encuentran a mayor profundidad en EJ-C1, donde se observan los mayores espesores de esta secuencia, la cual disminuye hacia EJ-C3. Por debajo aparece a cotas de 795, 805 y 635 msnm en EJ-C3, C2 y C1, respectivamente, una última electrocapa que presenta una resistividad mayor a 10 Ωm y que se prolonga hasta el final de la exploración. Ver Figura 5.48.

Los modelos propuestos para el perfil NO-SE muestran que el Paquete Resistivo Superior presenta un espesor de 10 m aproximadamente, con un máximo en EJ-2 de 20 m aproximadamente. Por debajo se observa que las resistividades disminuyen formando una secuencia de valores menores a 10 Ωm que hacia el noroeste presenta un espesor mínimo de 5-10 m que hacia EJ-2 se duplica hasta aumentar exponencialmente en el sector sureste, con el mayor desarrollo en EJ-5, donde alcanza 190 m aproximadamente. Por último el modelo presenta unas electrocapas con resistividades superiores a 10 Ωm cuyo techo se ecuentra entre las cotas de 830 msnm en Ej-2 y 650 msnm en EJ-5, prolongándose hasta el final de la exploración realizada, exceptuando EJ-2 donde aparece hacia los 820 msnm una capa de resistividad menor a 10 Ωm. Ver Figura 5.49.

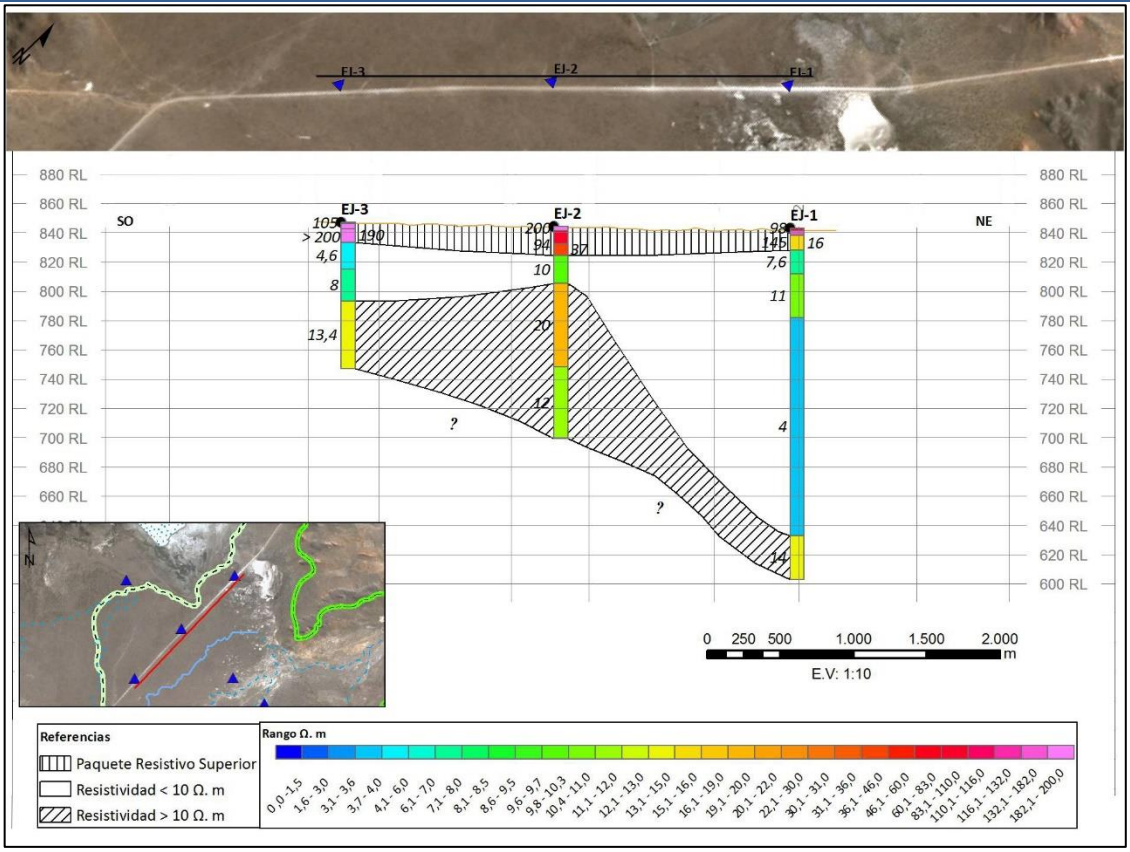


Figura 5.48: Interpretación del perfil EJ en dirección NE-SO.

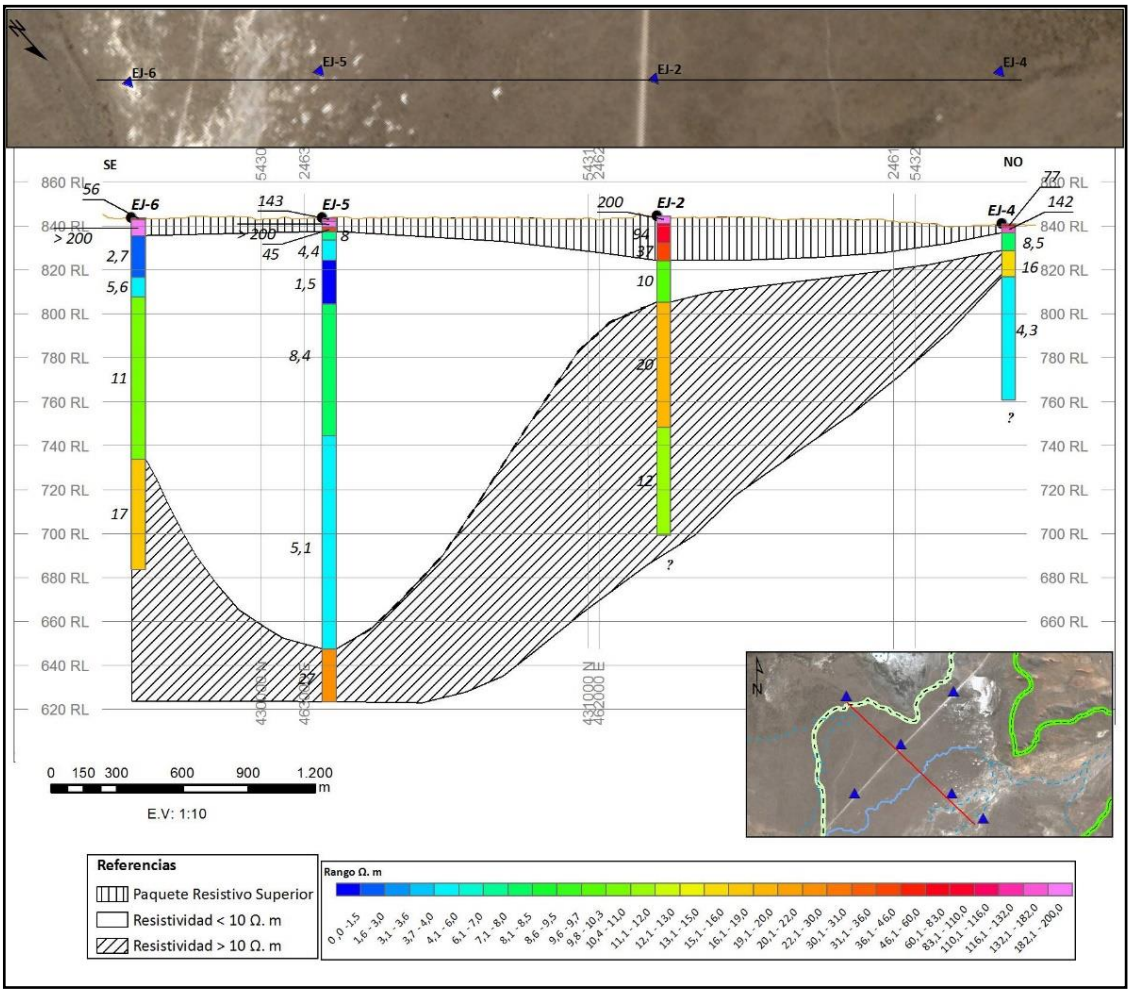


Figura 5.49: Interpretación del perfil EJ en dirección NO-SE.

5.5.1.4 Sector Oeste Jacobacci

Este sector abarca la zona al oeste de la localidad, ver Figura 5.50. En total se midieron 10 SEVs dispuestos en 3 perfiles a lo largo del valle del arroyo Huahuel Niyeu.

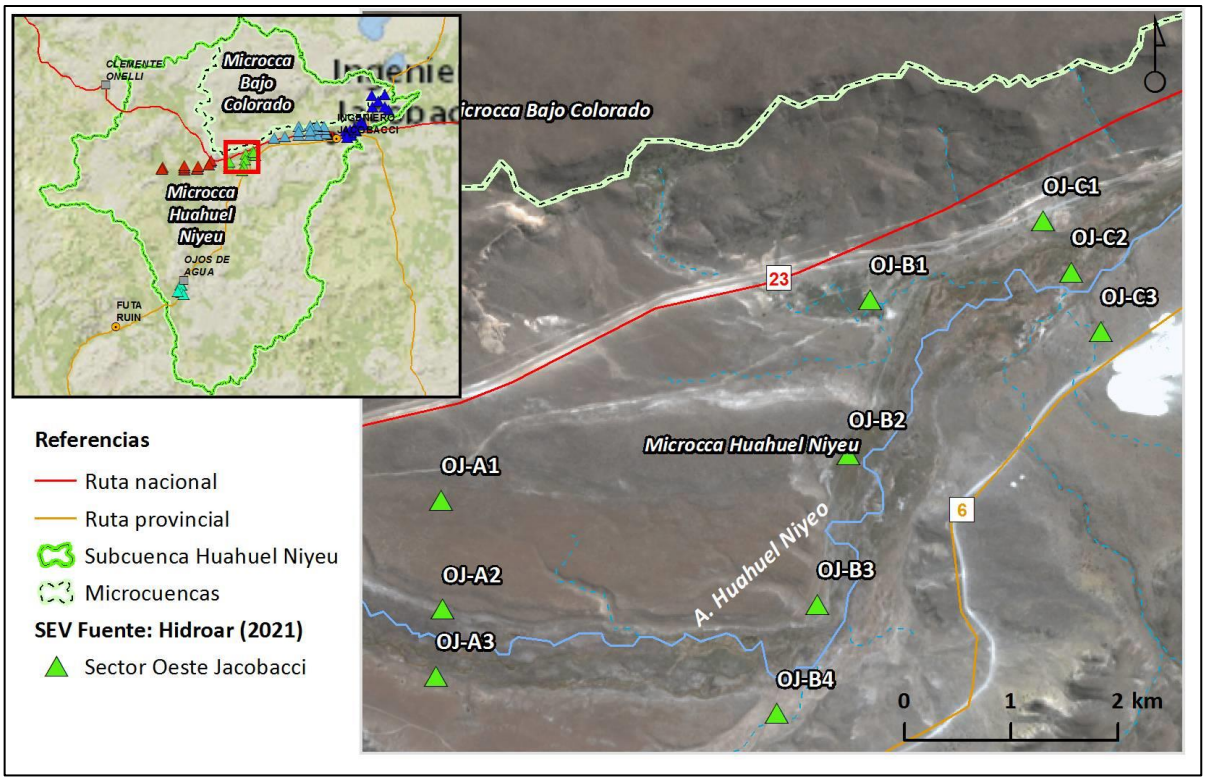


Figura 5.50: SEV realizados en sector Oeste Jacobacci.

- *Perfil OJ-A*

Es el perfil que se encuentra ubicado al oeste del sector, corta al valle de forma oblicua en dirección norte-sur y cuenta con los sondeos OJ-A1, OJ-A2 y OJ-A3.

En este perfil se observa que el Paquete Resistivo Superior presenta un espesor de 10 a 20 m sobre una zona de baja resistividad que se extiende homogéneamente hasta los 790 msnm, donde aparece una electrocapa con resistividad superior a los 10 Ωm hasta la profundidad final de exploración. Ver Figura 5.51.

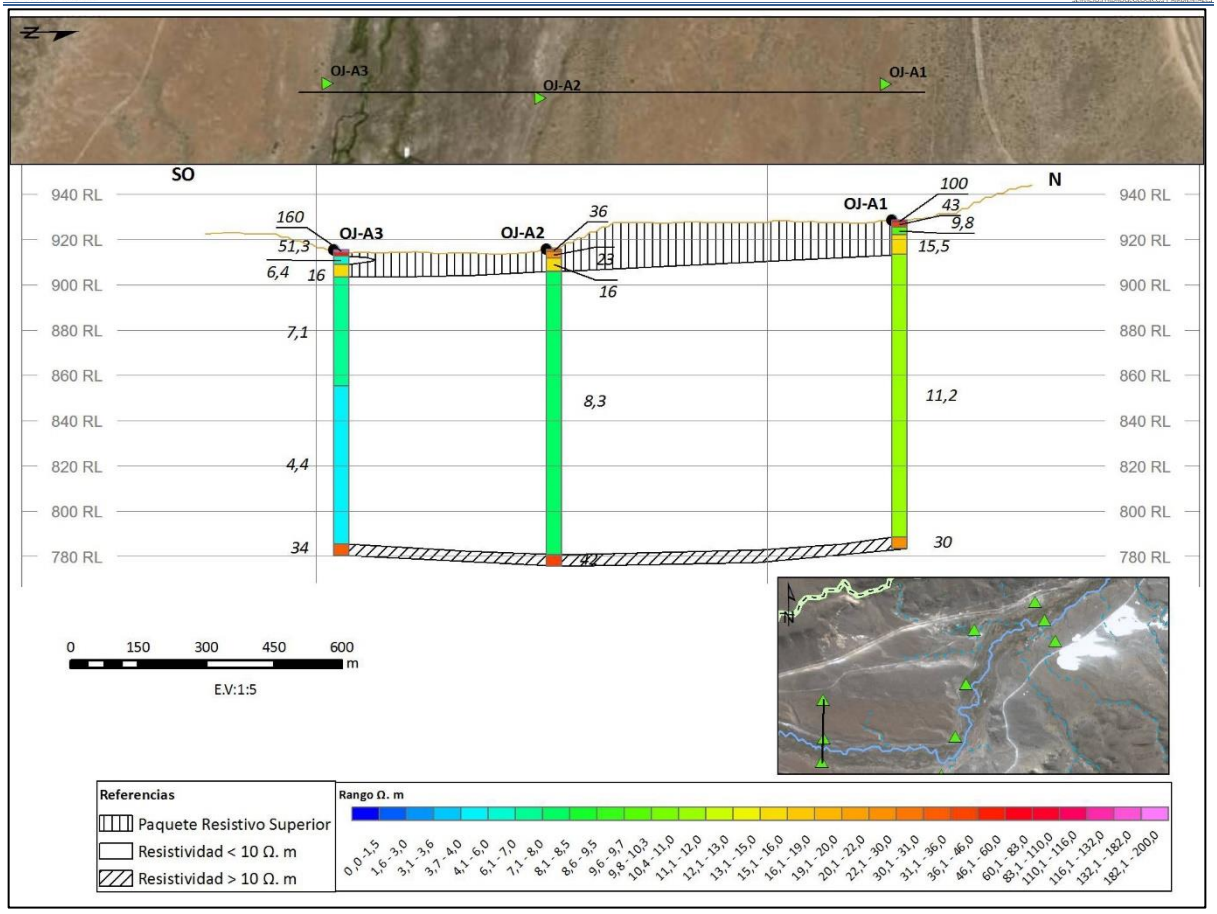


Figura 5.51: Interpretación del perfil OJ-A.

➢ *Perfil OJ-B*

Es el perfil ubicado en el centro de los tres correspondientes a este sector y se dispone de forma paralela en la mayor parte de su extensión, a excepción del final donde lo corta de forma oblicua debido a que este último cambia su rumbo. Se encuentra compuesto por los SEVs OJ-B1, OJ-B2 y OJ-B3.

Los modelos propuestos muestran un Paquete Resistivo Superior de unos 60 m de espesor máximo, dentro de la cual aparece en OJ-B4 y posiblemente en OJ-B3 una electrocapa de resistividad inferior a los 10 Ωm con un espesor máximo de 20 m en el primero y que podría disminuir hacia el norte, si bien se definió no interpretarla como una capa continua. Por debajo aparece una secuencia de electrocapas de resistividad inferior a 10 Ωm que presenta su mayor desarrollo en OJ-B2, si bien en general tiene un espesor casi homogéneo de 50-60 m. Por debajo de la cota 805 msnm se observa una electrocapa con resistividad superior a los 10 Ωm que se prolonga hasta la profundidad final de exploración. Ver Figura 5.52.

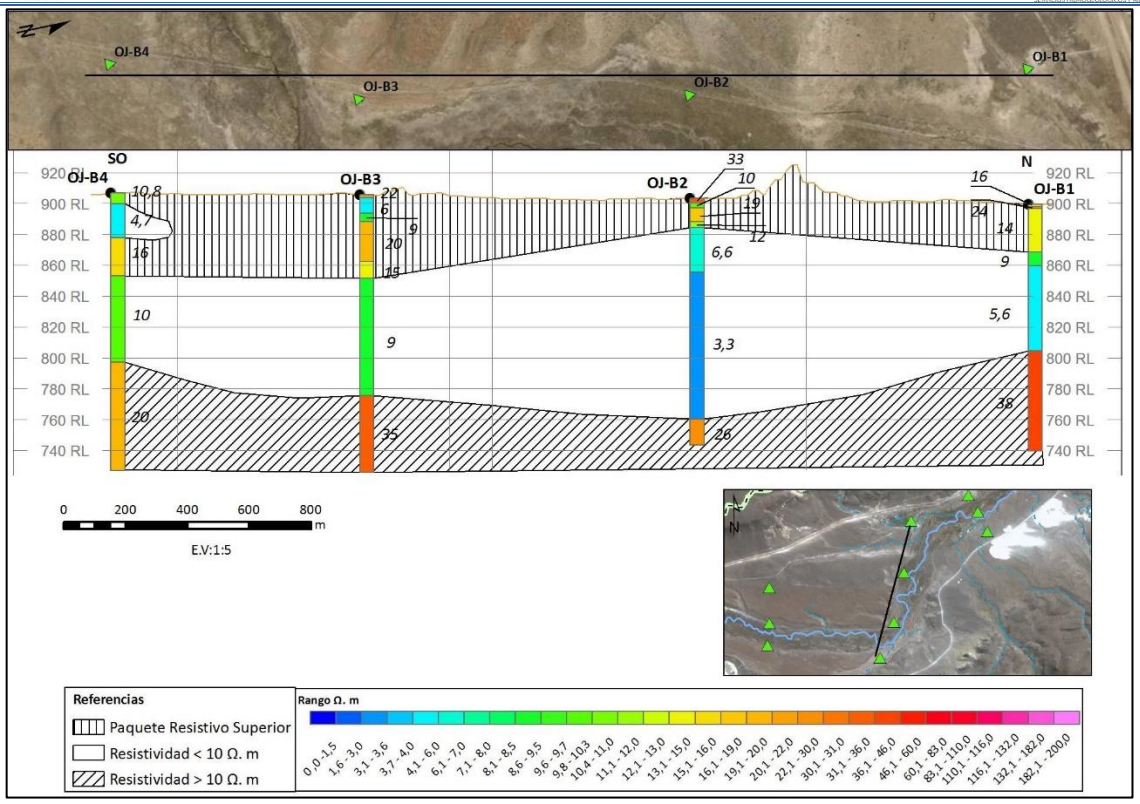


Figura 5.52: Interpretación del perfil OJ-B.

- *Perfil OJ-C*

Este último perfil se ubica al este del sector, cortando de forma perpendicular al valle del arroyo en dirección NO-SE y cuenta con los sondeos OJ-C1, C2 y C3.

En este perfil se observa que el Paquete Resistivo Superior se desarrollo hasta los 35 m aproximadamente, encontrándose atravesado en el sector sureste por una capa de baja resisitividad de un espesor de 10 m que decrece hacia el norte hasta desaparecer en OJ-C2. Por debajo del Paquete Resistivo Superior predominan las capas de resistividad inferior a los 10 Ωm hasta los 820 msnm en el noroeste del perfil y los 795 msnm al sureste donde aparece el techo de una última electrocapa de resistividad superior a 10 Ωm y que se extiende hasta donde finalizan las mediciones. Ver Figura 5.53.

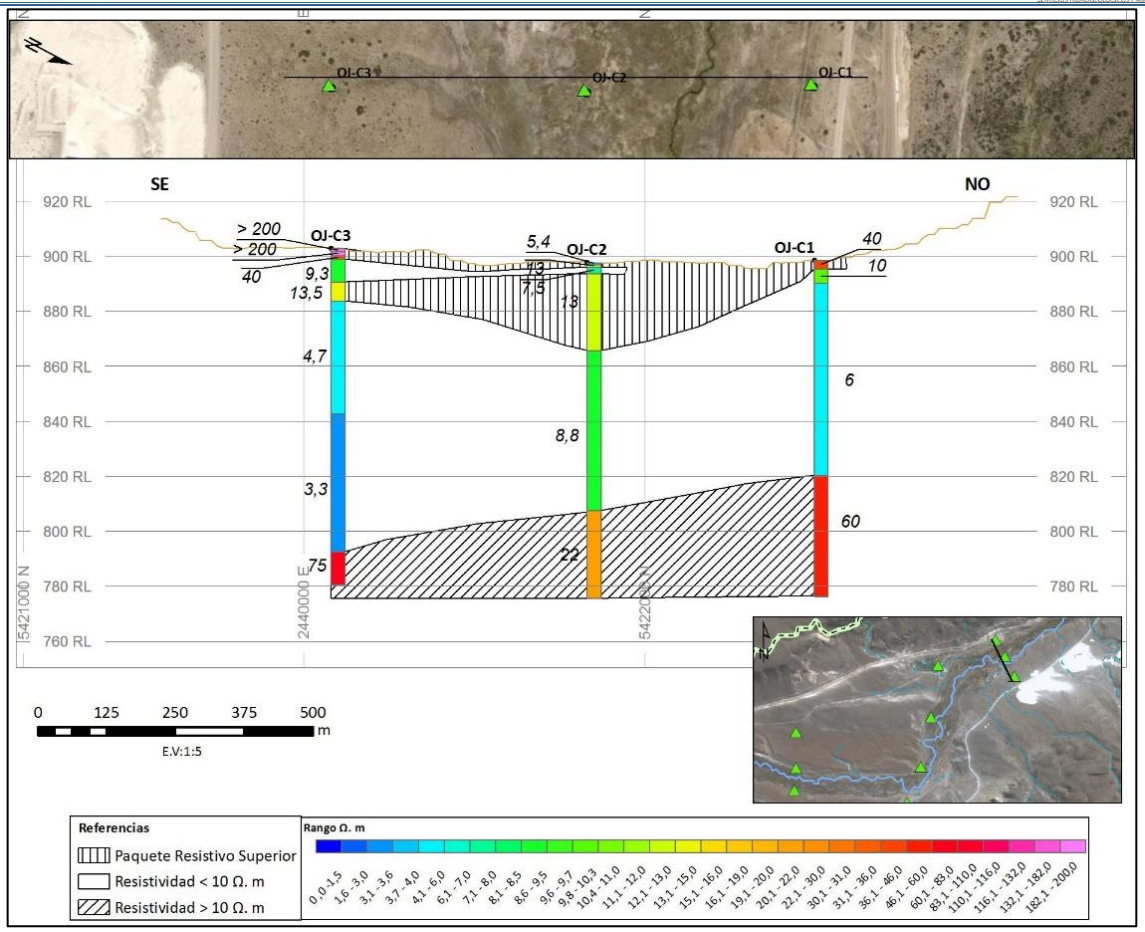


Figura 5.53: Interpretación del perfil OJ-C.

5.5.1.5 *Sector Huanuluan*

Este sector abarca la zona al este y dentro de la estancia Huanuluan, donde se encuentra la naciente del arroyo, ver Figura 5.54. En total se midieron 12 SEVs dispuestos en 4 perfiles a lo largo del valle del arroyo Huahuel Niyeu.

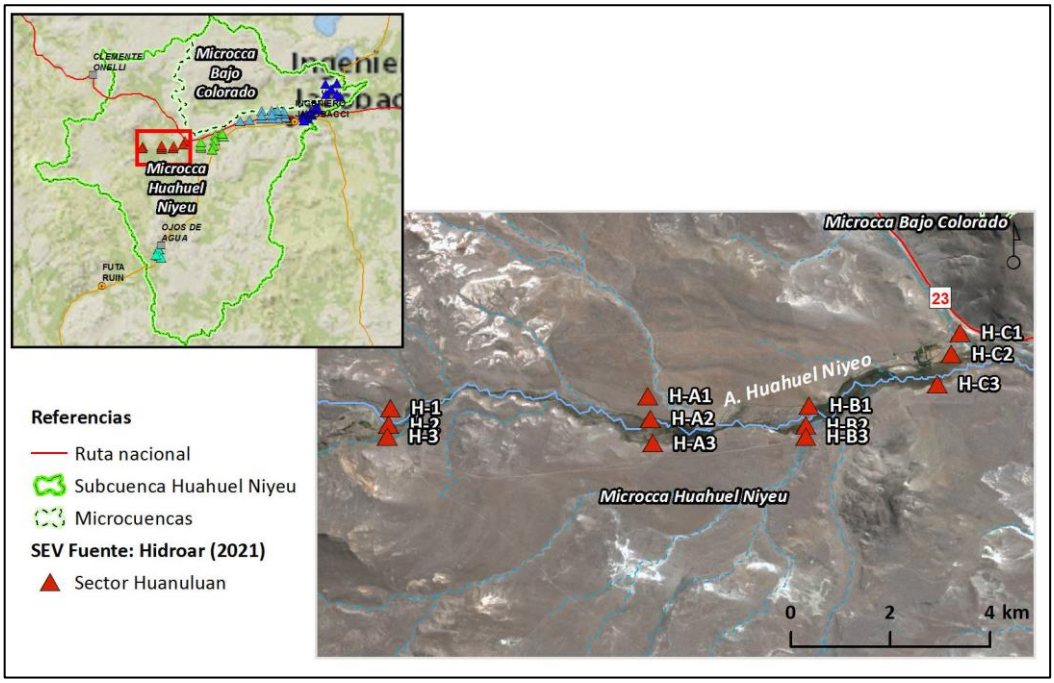


Figura 5.54: SEV realizados en Sector Huanuluan.

➢ *Perfil H*

Esta sección se encuentra ubicada en el sector más al oeste, próximo al sector de nacientes del Arroyo Huahuel Niyeu, cortando de forma perpendicular al valle en dirección norte-sur. Su nomenclatura no cuenta con una letra indicadora de la posición dentro del sector Huanuluan (indicado por la H) debido a que este perfil se agregó posteriormente a los otros tres. Cuenta con los SEVs H-1, H-2 y H-3.

En este perfil se observa que las primeras capas de alta resistividad presentan un leve desarrollo del Paquete Resistivo Superior, con un espesor máximo en H-3 al sur de 40 m y menor de 10 m en H-1 al norte. Esta secuencia se encuentra apoyada sobre una capa de resistividades menores a los 10 Ωm. En profundidad se observa una zona de alta resistividad con un espesor de 30 a 60 m, con el menor espesor de 30 m en H-1 y mayor desarrollo en los otros 2 SEVs. Toda esta secuencia se encuentra apoyada sobre una base de baja resistividad hasta el final de la exploración. Ver Figura 5.55.

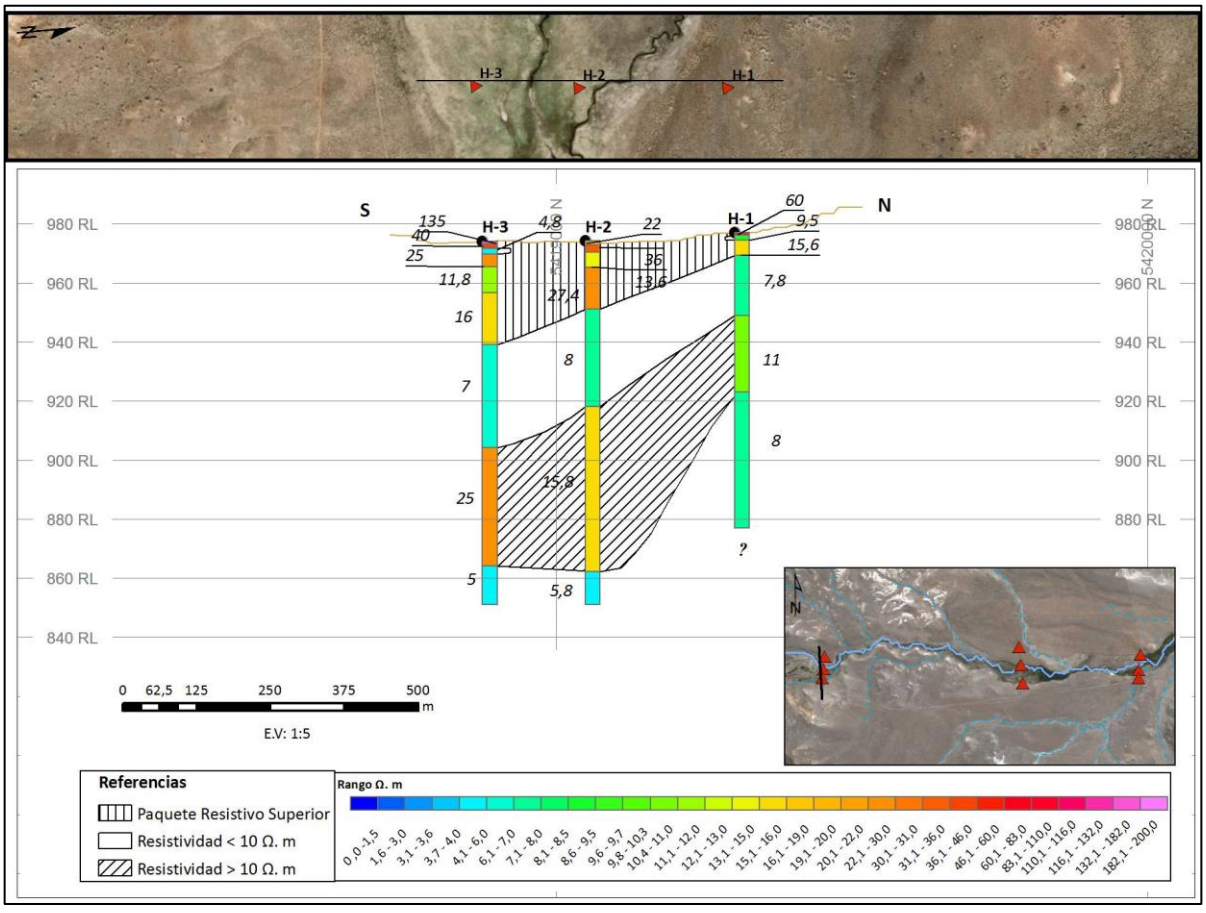


Figura 5.55: Interpretación del perfil H al oeste de la estancia.

➢ *Perfil H-A*

Este se encuentra ubicado a casi 4 km del anterior, cortando lo más perpendicularmente posible al valle en dirección norte-sur. Cuenta con los SEVs H-A1, H-A2 y H-A3.

En este perfil se observa un escaso desarrollo del Paquete Resistivo Superior de 10 m aproximadamente, encontrándose apoyado sobre una capa de resistividad menor a 10 Ωm. En los SEV H-A3 y H-A2 aparece una capa lenticular de resistividad superior a los 10 Ωm que por debajo continuaría con la electrocapa de resistividad más baja cuyo piso sólo se determinó en H-A2 donde aparece nuevamente un valor superior a los 10 Ωm a una cota aproximada de 775 msnm. Ver Figura 5.56.

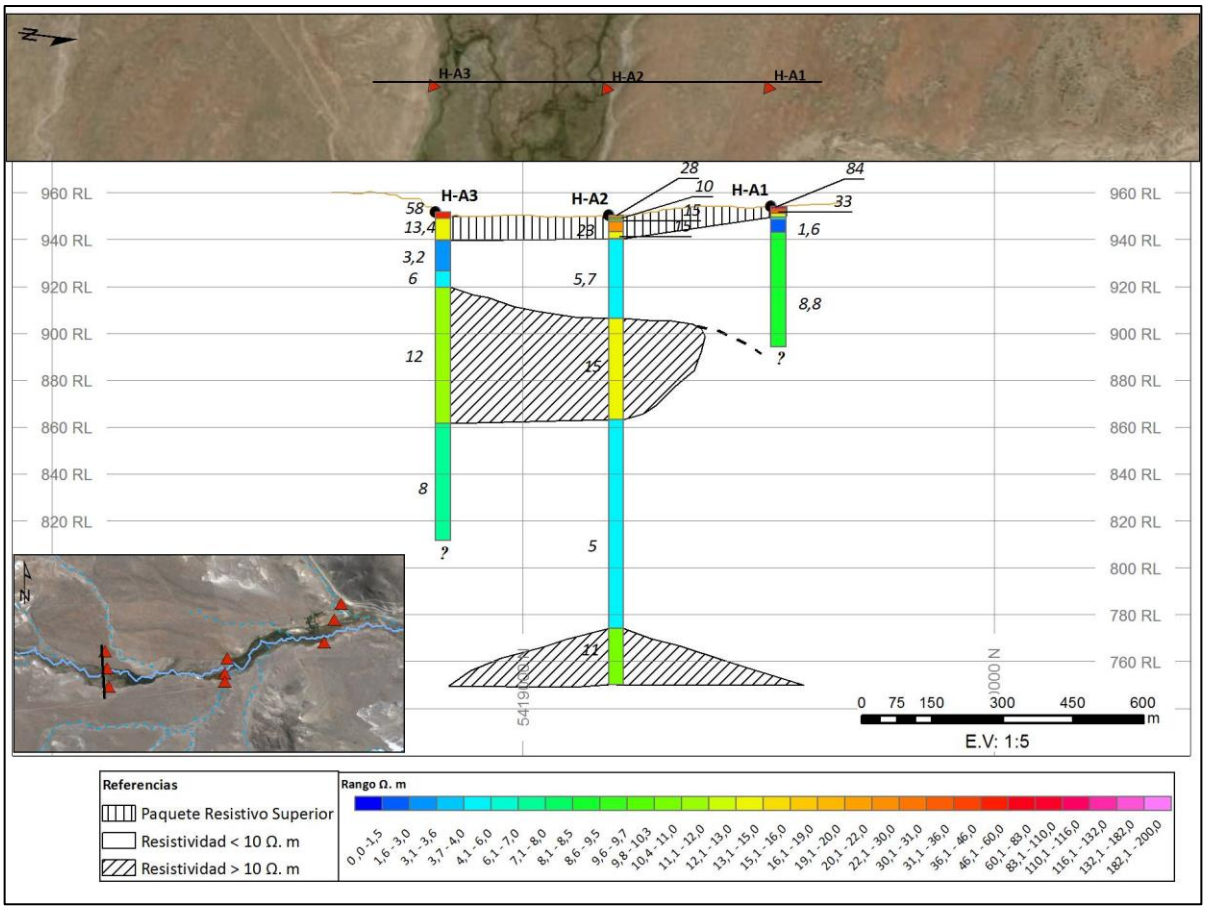


Figura 5.56: Interpretación del perfil H-A.

➢ *Perfil H-B*

Este perfil se encuentra inmediatamente al oeste de la estancia Huanuluan, cortando lo más perpendicularmente posible al valle en dirección norte-sur. Cuenta con los SEVs H-B1, H-B2 y H-B3.

En este perfil se observa al Paquete Resistivo Superior, con un espesor de 10 a 20 m apoyado sobre una zona de resistividad inferior a los 10 Ωm. Esta capa se apoya sobre otra de resistividad inferior a los 10 Ωm que presenta un espesor homogéneo de 15 a 20 m. Por debajo vuelven a aparecer electrocapas con resistividades superior a los 10 Ωm y que se prolongan hasta los 810 msnm, cota máxima explorada en este trabajo. Cabe destacar que en el SEV H-B3, se observa una electrocapa de baja resistividad intercalada en esta zona de más alta resistividad entre los 870 y los 830 msnm. Ver Figura 5.57.

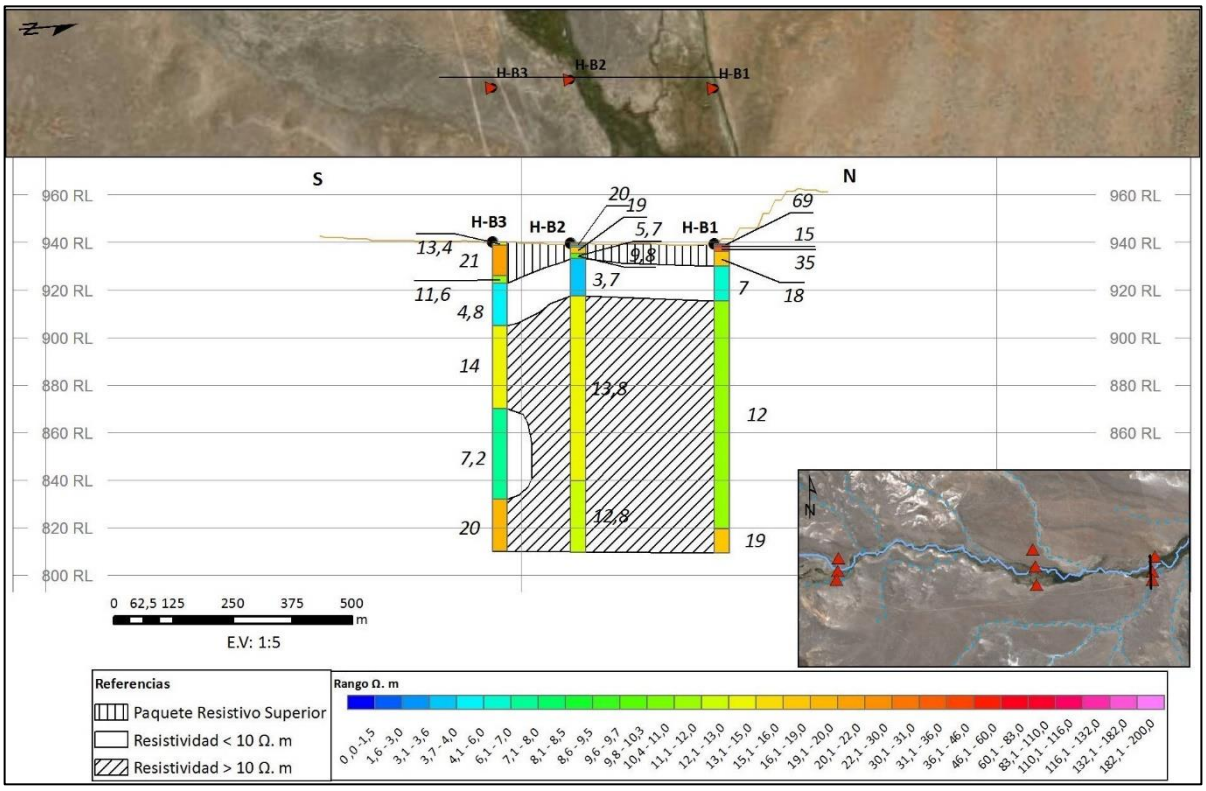


Figura 5.57: Interpretación del perfil H-B.

➢ *Perfil H-C*

Es el perfil más oriental del sector y se encuentra ubicado próximo a la estancia, cortando de forma oblicua al valle en dirección noreste-suroeste. Está conformado por los SEVs H-C1, H-C2 y H-C3.

El Paquete resistivo superior en este perfil tiene menos de 10 m de espesor y se encuentra apoyado sobre capas de resistividad inferior a los 10 Ωm. En H-C3, a partir de la cota 860 msnm aparece una secuencia de capas de más alta resistividad que va somerizándose hacia el H-C1, donde su techo tiene una cota aproximada de 915 m. En este último sondeo aparece una electrocapa de resistividad inferior a los 10 Ωm que se intercala de forma lenticular en la secuencia de capas de alta resistividad. Ver Figura 5.58.

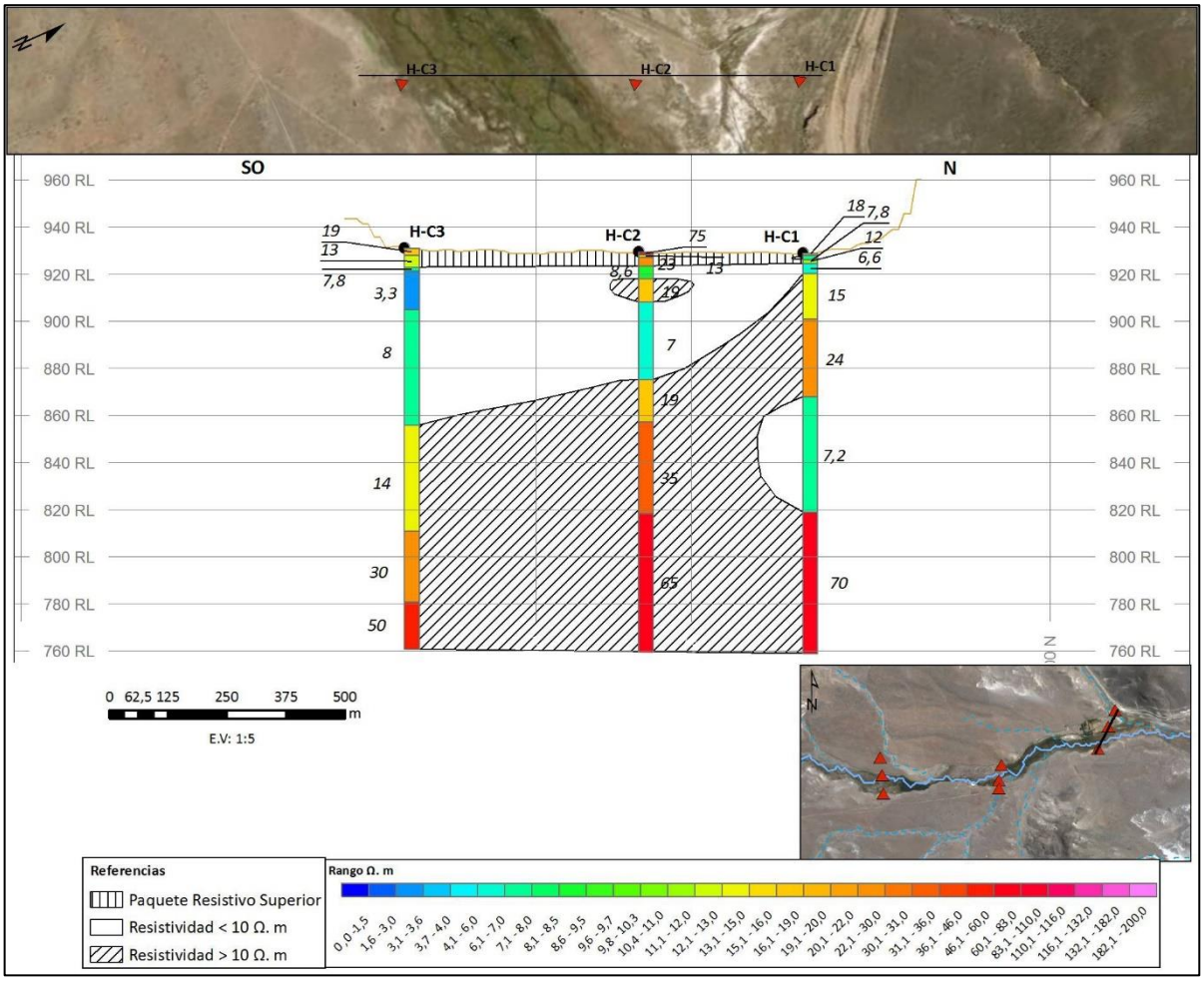


Figura 5.58: Interpretación del perfil H-C al este de la estancia.

5.5.1.6 Sector Ojos de Agua

Este sector abarca el valle de la localidad de Ojos de Agua, situada a unos 40 km al suroeste de Ingeniero Jacobacci a la cual se accede por la RP 6, ver Figura 5.59. En total se midieron 6 SEVs para este sector, dispuestos en 2 perfiles a lo largo del valle.

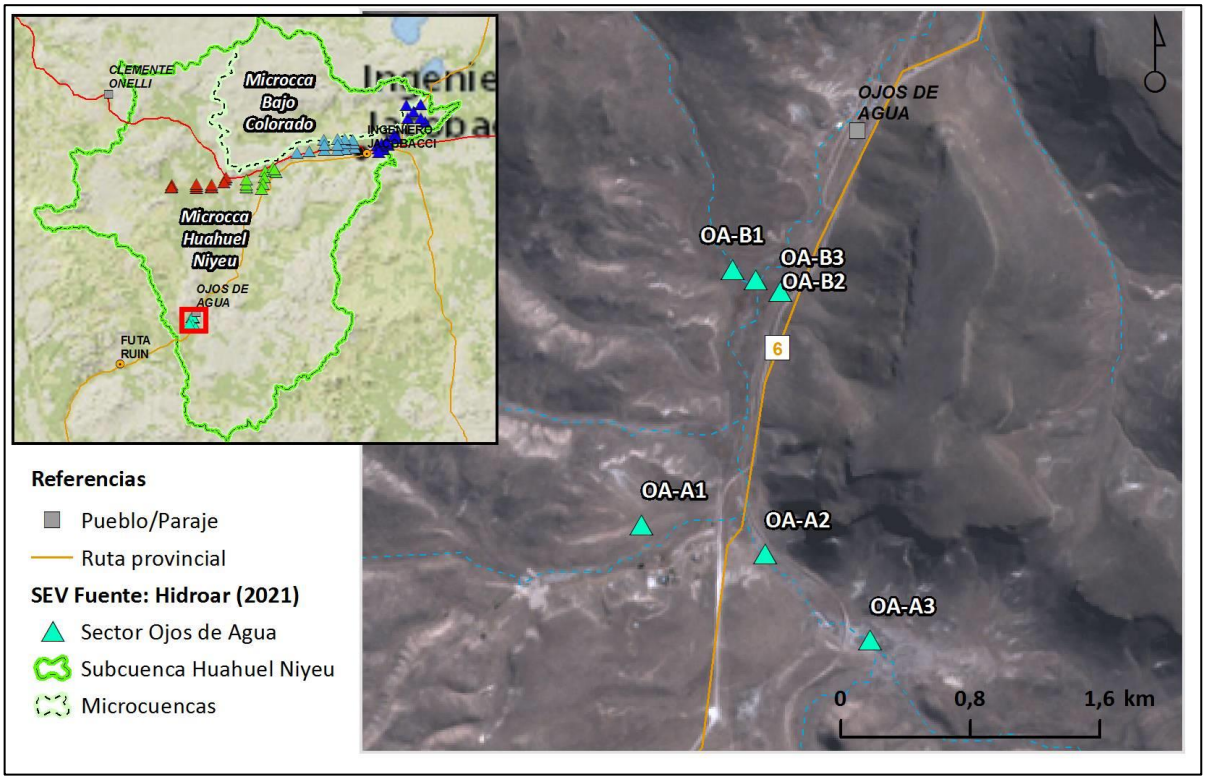


Figura 5.59: SEV realizados en Ojos de Agua.

- *Perfil OA-A*

Es el perfil más austral de los dos, corta lo más perpendicularmente posible al valle en dirección este-oeste. Cuenta con los SEVs OA-A1, OA-A2 y OA-A3.

El Paquete Resistivo Superior presenta un espesor superior a los 30 m, por debajo se desarrolla una capa de resistividad próxima a los 10 Ωm de 25 m de espesor que hacia el sureste se desarrolla sin detectarse su piso. Para OA-A1 y OA-A2 aparece una capa lenticular que desaparece hacia OA-A3. Ver Figura 5.60.

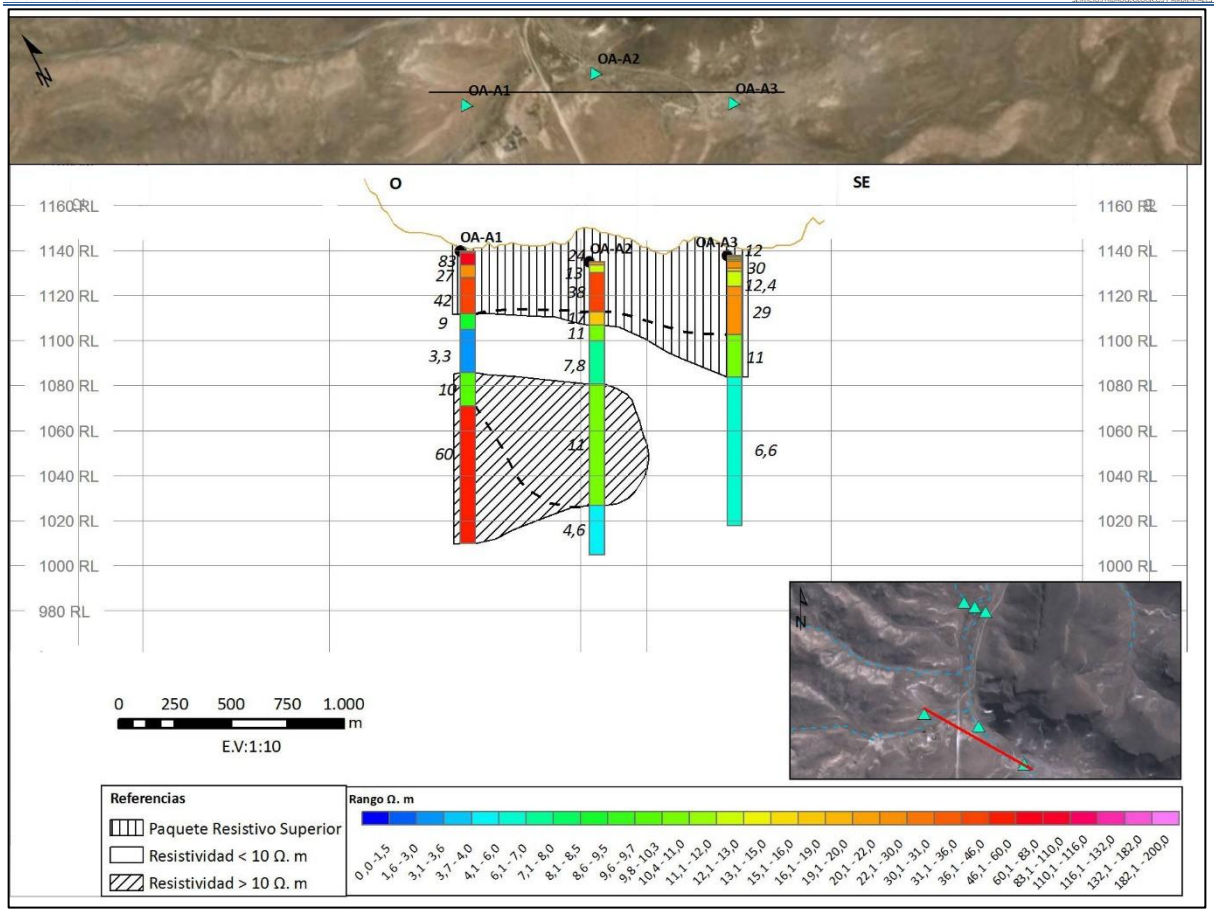


Figura 5.60: Interpretación del perfil OA-A cercano a la localidad de Ojo de Agua.

➢ *Perfil OA-B*

Se encuentra al norte del anterior e inmediatamente al sur de la localidad, corta lo más perpendicularmente posible al valle en dirección este-oeste y con una longitud reducida. Cuenta con los SEVs OA-B1, OA-B2 y OA-B3.

Se destaca que el Paquete Resistivo Superior presenta un espesor máximo de casi 50 m, apoyando sobre electrocapas de alta resistividad en OA-B1, mientras que en OA-B2 y OA-B3 aparece una capa de resistividades menores a 10 Ωm que se prolonga hasta los 1060 msnm en el primer caso, correspondiendo al final de dicho sondeo, y hasta 1035 msnm en el segundo, donde aparece una capa resistiva correlacionable a la observada en OA-B1. Ver Figura 5.61.

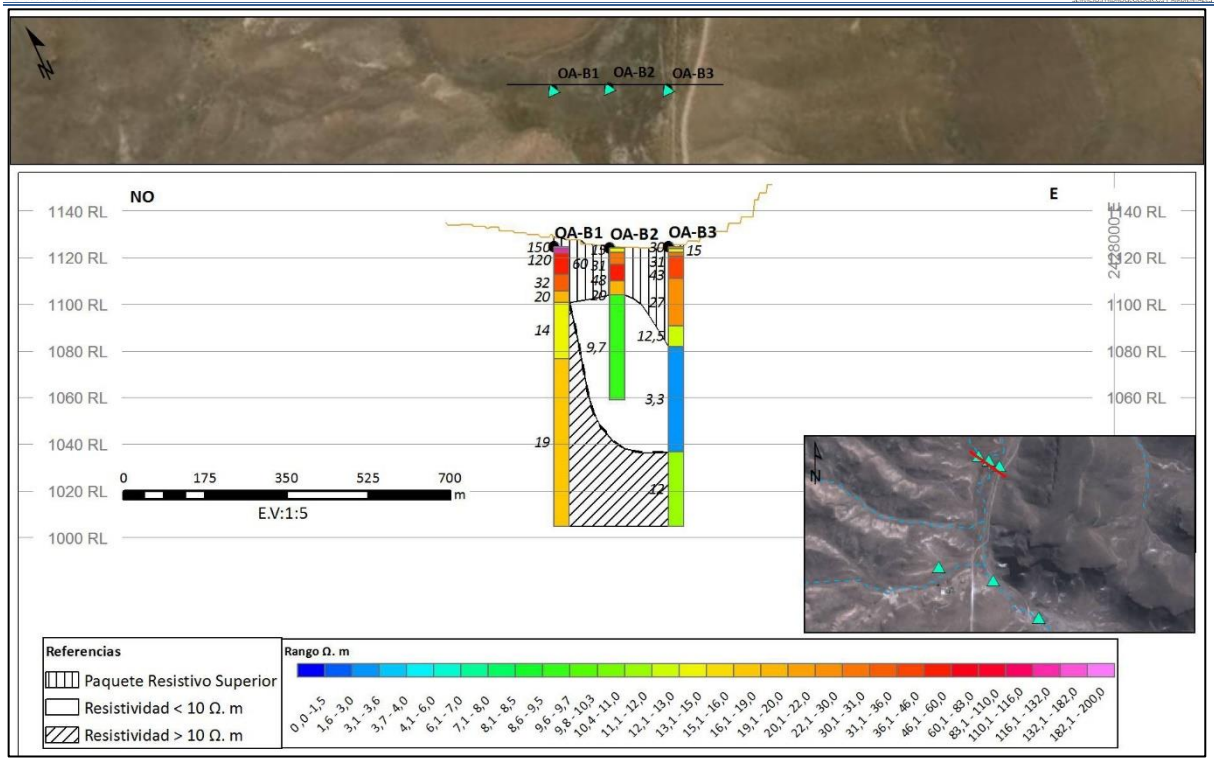


Figura 5.61: Interpretación del perfil OA-B cercano a la localidad de Ojo de Agua.

5.5.2 Conclusiones del estudio geofísico

- Las interpretaciones propuestas se realizaron manteniendo los rangos de resistividad propuestos en el trabajo antecedente del CFI 1991, obteniendo una buena correlación con los SEV anteriormente realizados. Esto se observa en modelos similares en número de capas, valores de resistividad y profundidades ajustadas.
- En líneas generales, y como fue expuesto en los resultados, los modelos presentan alta resistividad para las primeras capas y fueron agrupadas en un Paquete Resistivo Superior (CFI, 1991). Los mayores espesores de esta unidad se encuentran en la terraza del aeropuerto, el sector de Ojos de Agua y en el aluvión que se encuentra al sur del valle del arroyo Huahuel Niyeu al este de Jacobacci.
- En profundidad se observa que el rango de resistividad disminuye, y se alternan secuencias de capas de resistividad de valores bajos (menor a 10 Ωm), medios (10 a 25 Ωm) y altos (mayor a 10 Ωm). En cada sector se ha descrito una posible continuidad lateral de estas capas, y se ha observado que sus espesores son variables.
- Estas electrocapas de alta resistividad en profundidad revisten interés exploratorio desde el punto de vista geoeléctrico, y sería recomendable realizar perforaciones exploratorias para contribuir al conocimiento hidrogeológico de la región en profundidad.

5.6 Hidroquímica

Durante las campañas de relevamiento realizadas en los meses de agosto y septiembre del corriente año, se relevaron sitios de interés hidrogeológico, que incluyeron pozos de agua, vertientes / mallines, aguadas y arroyos, sobre los cuales se tomaron parámetros in-situ (pH, conductividad eléctrica y temperatura), en ambas oportunidades.

A partir del procesamiento en gabinete de los todos los sitios relevados inicialmente (123 puntos en total) y durante la segunda campaña donde se relevaron 27 puntos nuevos, se definió en base a sus propiedades físico químicas in-situ y el uso de la fuente, un total de 40 sitios para el muestreo y análisis de laboratorio cuya firma es Praxis, ubicado en la localidad de General Roca. A estas muestras se les realizó un análisis físico-químico y a 20 de ellas un análisis bacteriológico.

La distribución espacial de las muestras se puede observar en la Figura 4.4, donde se discriminan por color aquellas que cuentan con el análisis completo (FQ + bacteriológico).

5.6.1 Parámetros in situ

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 (150 puntos).

5.6.1.1 Conductividad eléctrica

Del total de 150 puntos relevados, se midieron parámetros in situ en 138 de ellos, reflejando conductividades eléctricas típicas de aguas dulces, con conductividades eléctricas “CE” de hasta 2.000 µS/cm, exceptuando una aguada realizada para uso industrial por parte de la empresa Equimac (encargada de la pavimentación de la Ruta Nacional N°23) con 2.910 µS/cm, un pozo excavado en desuso, ubicado en la estancia San José (NYU-146) con 7.600 µS/cm y 2 lagunas saladas con valores de 7.800 y 16.250 µS/cm (puntos NYU-123 y NYU-46, respectivamente).

En general se puede observar una tendencia regional de aumento de la CE del agua” de oeste a este, coincidiendo las zonas de menores valores con las nacientes de la cuenca y con vertientes o mallines que estarían alimentados por aguas jóvenes producto de la infiltración rápida de las precipitaciones pluviales y nivales, destacando que para la zona de Ingeniero Jacobacci se observa también un aumento hacia el centro del valle en sentido norte-sur y sur-norte para las márgenes izquierda y derecha, respectivamente.

El Mapa 13 muestra las curvas de isoconductividad eléctrica del agua interpretadas para la zona de estudio, las cuales presentan ciertas similitudes con las curvas realizadas por el CFI (1991), para el contenido de residuo seco, donde las

mayores concentraciones (o CE para el presente estudio) se encontrarían hacia el centro del valle y con un componente regional de aumento hacia el este.

Cabe destacar que existen ciertas excepciones a la tendencia regional, como puede ser la anomalía de altas CE ubicada hacia el suroeste de la cuenca, donde se midieron dos lagunas con valores muy elevados, producto probablemente del enriquecimiento en sales por la evaporación del agua, y como el pozo excavado que se encuentra dentro de la microcuenca Bajo del Colorado, donde se obtuvo un valor in-situ de 7.600 µS/cm. Otro ejemplo son los valores de CE menores a 100 µS/cm, encontrados de manera dispersa y que probablemente representen aguas recientemente acumuladas por el derretimiento de la nieve y/o hielo.

5.6.1.1 pH

Con respecto al pH, se observaron en general valores entre 6 y 8, es decir pH neutros a ligeramente ácidos o alcalinos, predominando estos últimos, siendo que, de 128 mediciones, 93 presentaron valores comprendidos entre 7,1 y 9,3; 16 de ellas con pH neutro (7) y los 19 restantes con valores inferiores a 7. El dato más bajo, de 3,86 corresponde al punto COP-149, un pozo en desuso, ubicado en la plaza primeros pobladores, que se encontraba en mal estado de mantenimiento, con camisa de acero corroída y oxidada, agua de coloración marrón y sólidos en suspensión. El resto de los valores inferiores a 7 se encuentran en su gran mayoría entre 6,2 y 6,9 unidades de pH.

En general muestras ligeramente ácidas se presentan hacia el sur y suroeste de la cuenca de estudio, con algunos valores puntuales en otras zonas. Tanto los valores neutros como los ligeramente alcalinos presentan una distribución dispersa a lo largo de toda el área de estudio, dificultando la definición de una tendencia regional.

Con respecto al uso del recurso como bebida humana, el Código Alimentario Argentino (CAA) estipula un rango de pH permitido entre 6,5 y 8,5 UpH. En el Mapa 14 se puede ver que la mayoría de los sitios relevados se encuentran dentro de estos valores, existiendo solo dos que sobrepasan el límite superior de 8,5 (NYU-138 y NYU-139) y tres con valores por debajo del límite inferior que se encuentran hacia el sur, por fuera de la subcuenca de estudio (NYU-96, NYU-97 y NYU-98). Cabe aclarar que estos resultados son en base a los parámetros tomados in-situ y que luego serán re-evaluados con los datos arrojados por los análisis de laboratorio para las 40 muestras enviadas.

5.6.2 Caracterización química del agua

Debido a que las aguas naturales se consideran neutras, la suma de las cargas positivas y negativas en el agua debe estar balanceada, por lo que en primera instancia se realizó, con los resultados obtenidos del laboratorio, el balance de aniones y cationes mayoritarios para así validar el análisis químico, ver fórmula siguiente (Custodio Llamas, 1996):

$$Error\ (\%) = 200\ \frac{\sum cat - \sum an}{\sum cat + \sum an}$$

Considerando un error máximo aceptable del 10%, se identificaron 6 muestras cuyos resultados superaban dicha margen de tolerancia, mientras que los restantes 34 análisis presentaron errores inferiores al 10%.

Asimismo, las seis muestras mencionadas fueron incorporadas a la caracterización ya que al analizarlas y compararlas con las restantes no presentaron composiciones químicas diferentes (Ver Tabla 5.23).

Tabla 5.23 Puntos de muestreo con error de balance según método.

ID PUNTO	Tipo de captación	Muestra	Error de balance iónico (%)
COP 21	Vertiente	9979-18	12,77
NYU 39	Vertiente	9979-2	22,29
NYU 60	Aguada	9979-29	26,05
NYU 114	Pozo	9979-36	31,73
NYU 118	Pozo	9979-10	11,52
NYU 120	Pozo	9979-37	40,21

(Fuente: Hidroar S.A.)

Los resultados del análisis físico-químico y bacteriológico completo se encuentran adjuntos en el Anexo V b – Protocolos de muestras. Adicionalmente, el Anexo V c – Datos hidroquímicos antecedentes muestra los valores de campañas anteriores.

5.6.2.1 Diagramas hidroquímicos

Con el fin de obtener una visualización simple de fácil interpretación y lo más completa posible con los datos químicos, se confeccionaron diagramas hidroquímicos para poder caracterizar y clasificar el agua de cada muestra en base a las concentraciones de sus cationes y aniones mayoritarios. En el presente informe se hará uso de tres tipos de diagramas que permiten visualizar y analizar de diferentes maneras las muestras de agua. El uso de dichos gráficos es de gran utilidad para estudiar relaciones entre diferentes aguas o entre el agua y la litología subyacente.

El *diagrama de Piper* consiste en un gráfico ternario compuesto por dos campos triangulares, en los que se representa, respectivamente, la composición aniónica y catiónica y un rombo central que integra ambas composiciones. Cada uno de los triángulos posee una escala porcentual de meq/l (r%) de un ion determinado y los valores se leen paralelamente sobre el lado opuesto al vértice que representa el 100 % (Figura 5.62).

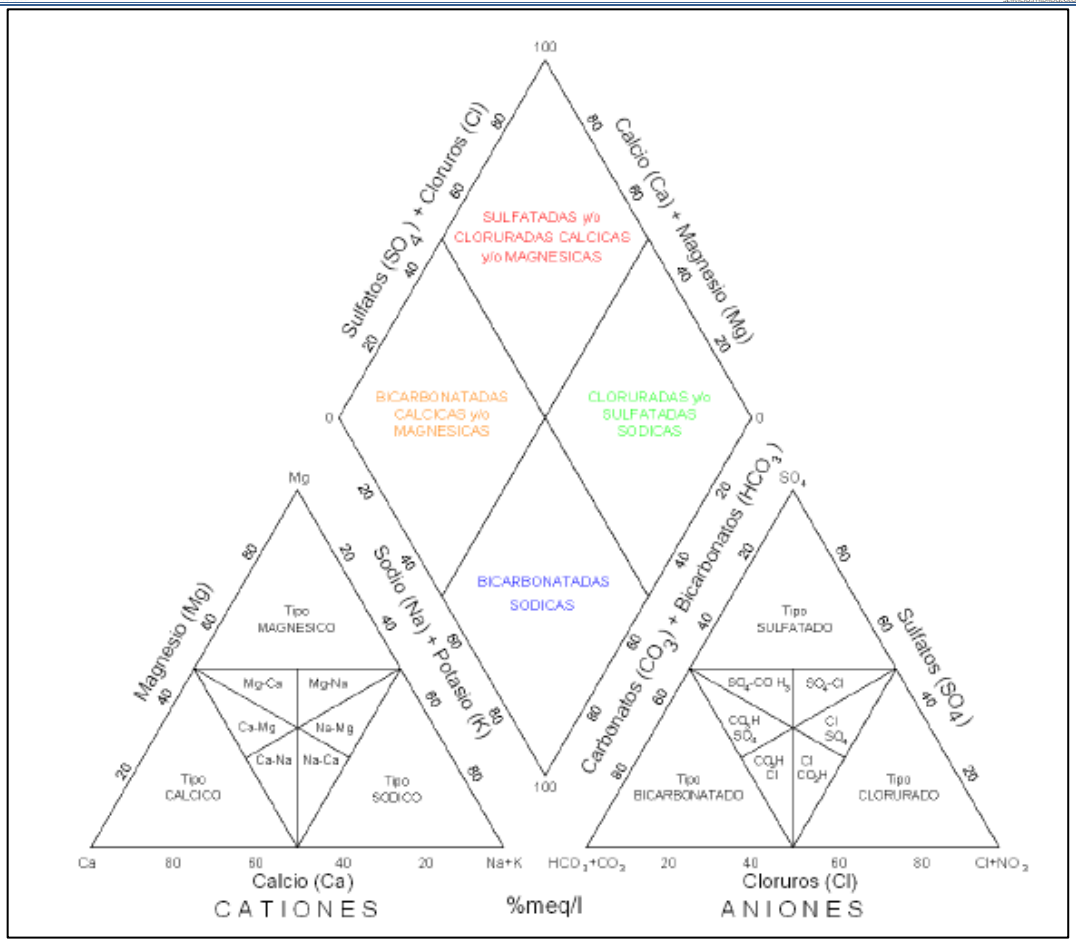


Figura 5.62: Diagrama de Piper.

El gráfico anterior posibilita incorporar varias muestras, calificarlas desde el punto de vista iónico y agrupar familias de agua por afinidad química, distinguiendo de esa forma comportamientos específicos, estadios evolutivos o fuentes diferentes.

El *diagrama de Schöeller-Berkaloff* es una gráfica de tipo lineal que consta de un eje de categorías (eje x) donde cada línea vertical corresponde a un ion mayoritario. Convencionalmente, en las tres primeras categorías se representan los cationes y en las restantes los aniones, en orden creciente y decreciente de solubilidad, respectivamente. En el eje de ordenadas se marca, en escala logarítmica, la concentración de cada ion (en meq/l). Uniendo los puntos determinados para cada ion en función de su concentración se obtiene una línea quebrada que representa a una muestra determinada, siendo mayor el contenido iónico cuanto más arriba se encuentra la línea y donde el pico mayor representa el ion dominante (Figura 5.63).

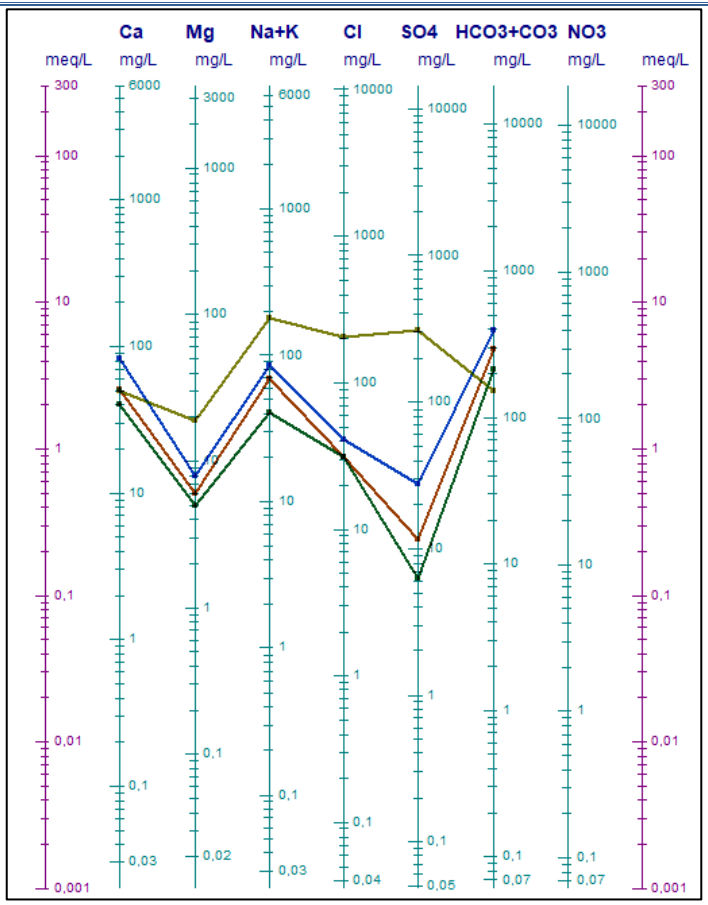


Figura 5.63: Diagrama de Schöeller-Berkaloff.

El *diagrama de Stiff* modificado es un polígono representativo de una muestra individual que se construye distribuyendo verticalmente, de manera equidistante, tres rectas (cuando solo se incluyen los iones principales) que son cortadas por un eje central para definir semirrectas hacia la izquierda (cationes) y derecha (aniones). Sobre cada semirrecta se marcan segmentos de longitud proporcional a la concentración del ion correspondiente, según una escala previamente establecida, con lo cual el tamaño del polígono refleja el total de sólidos disueltos y los vértices más prominentes a izquierda y derecha, corresponden al catión y anión predominante, respectivamente (Figura 5.64).

La potencialidad de este diagrama aumenta cuando los polígonos se disponen en un mapa, sobre la ubicación geográfica correspondiente al sitio de muestreo. Este diagrama se muestra en el Mapa 15 para todas las muestras analizadas (agua superficial y subterránea), por lo cual sus resultados se exponen conjuntamente al final del presente inciso.

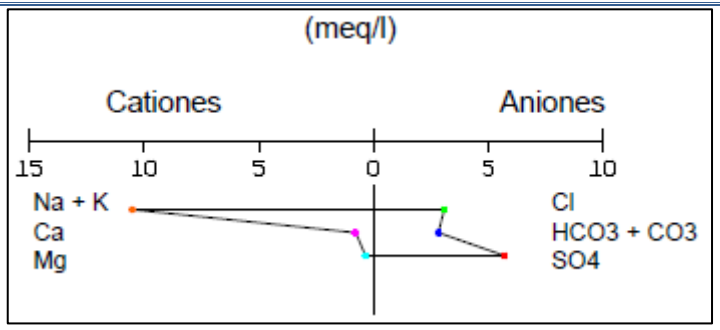


Figura 5.64: Diagrama de Stiff.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante los diagramas desarrollados anteriormente, para el agua superficial y el agua subterránea (diferenciada en aquella proveniente de pozos y aguadas, de la extraída desde vertientes o mallines).

5.6.2.1.1 Agua superficial

Para la caracterización química del agua superficial se tomaron dos muestras sobre el arroyo Huahuel Niyeu, una ubicada aguas arriba dentro de la Estancia Huanuluan (sitio NYU-138) y otra, aguas abajo (NYU-57) unos 14 km aproximadamente hacia el E-NE respecto a la anterior (en la Figura 5.65 se puede ver su ubicación geográfica).

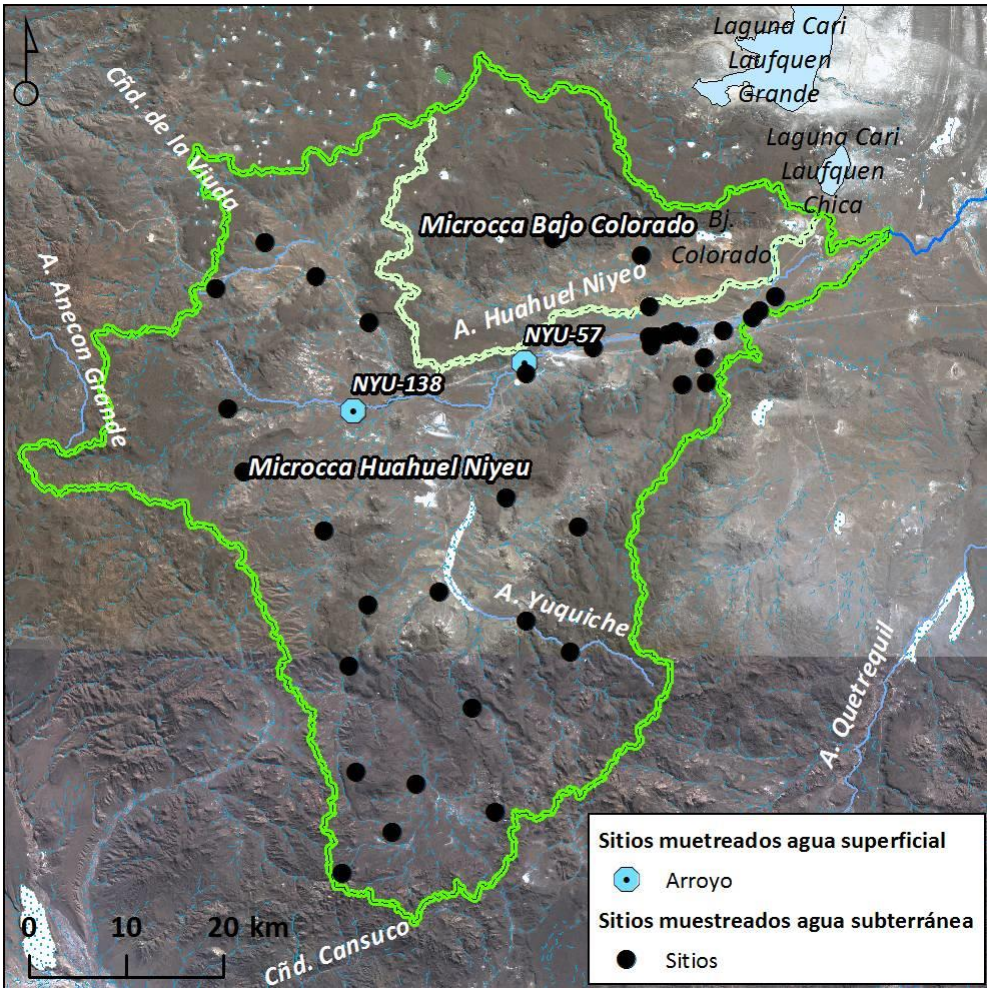


Figura 5.65: Sitios de muestreo superficial (sobre arroyo Huahuel Niyeu).

Los resultados obtenidos son muy similares en ambos sitios, arrojando características de agua de tipo bicarbonatada sódica, o sódico-cálcica y presentando mayor contenido iónico en el sitio NYU-57 (aguas abajo), lo que se observa principalmente en el anión sulfato, y que resulta lógico debido al aumento de la concentración de iones en solución con el mayor recorrido del agua.

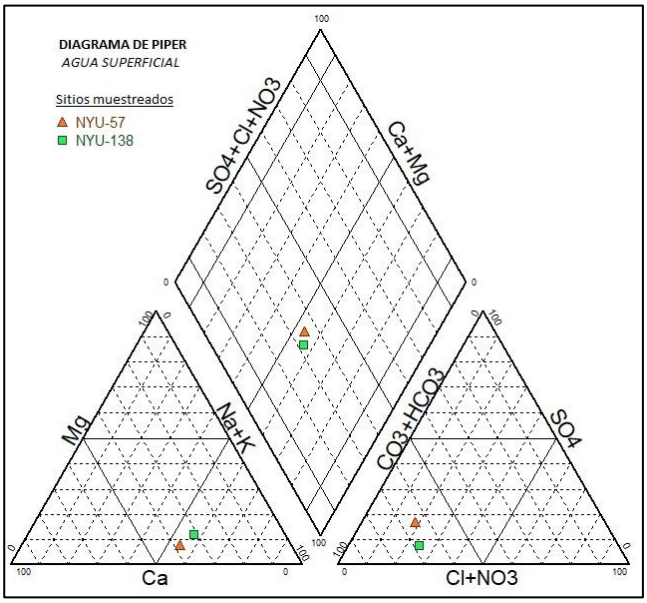


Figura 5.66: Diagrama de Piper.

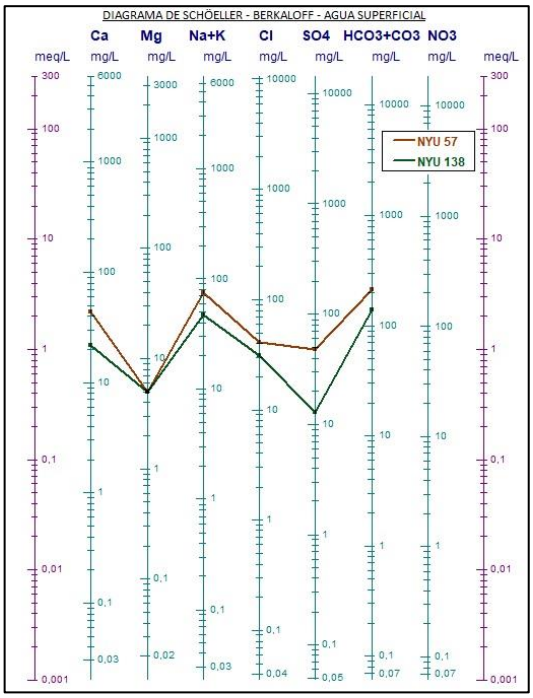


Figura 5.67: Diagrama de Schöeller-Berkallof.

5.6.2.1.2 Agua subterránea (pozos y aguadas)

Para el análisis químico del agua subterránea se cuenta con 22 muestras extraídas desde pozos (perforaciones entubadas y pozos excavados manualmente) y 2 de aguadas artificiales, cuya distribución geográfica se muestra en la Figura 5.68.

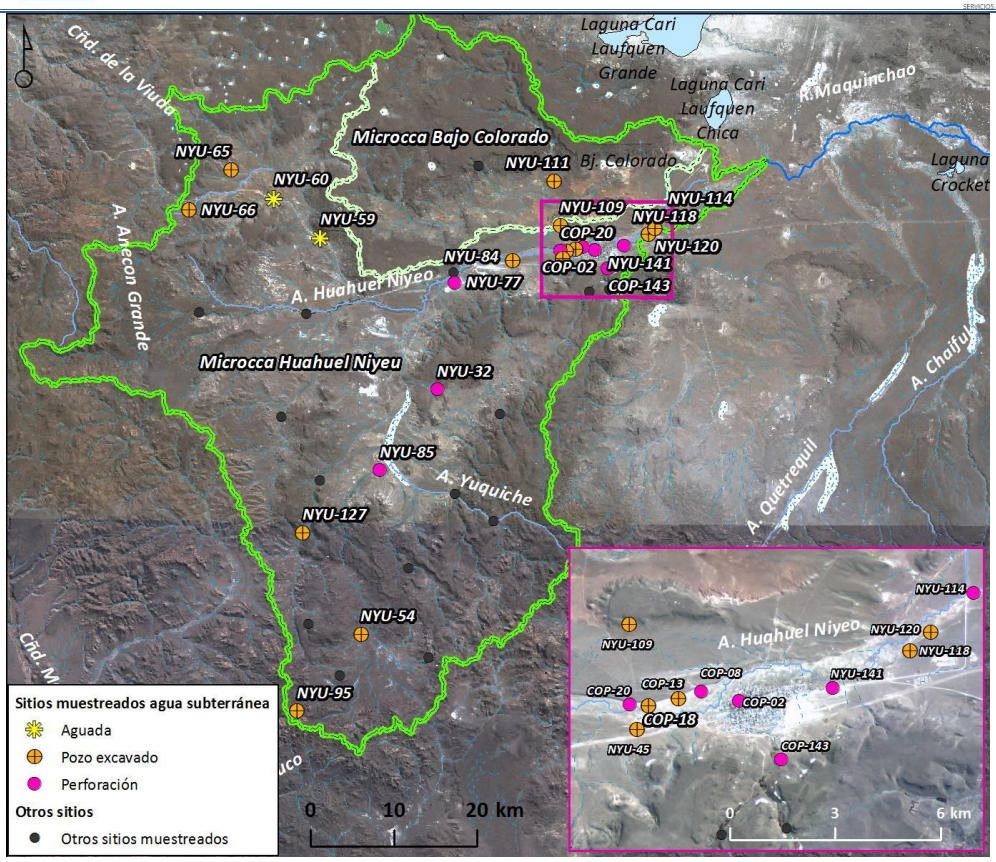


Figura 5.68: Ubicación de los pozos y aguadas muestreados.

En el diagrama de Piper (Figura 5.69) se puede observar que las muestras en general corresponden a características principalmente bicarbonatadas sódicas o sódico-cálcicas, con concentraciones variables de sulfatos y cloruros.

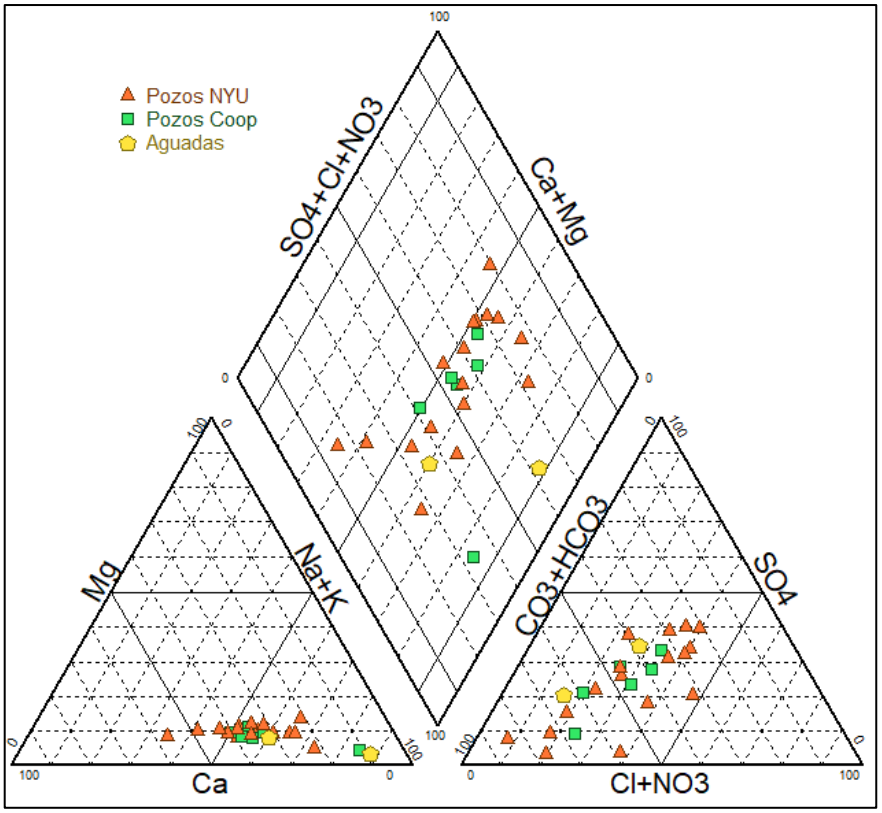


Figura 5.69: Diagrama de Piper (agua de pozos y aguadas).

En la Figura 5.70 se representaron sobre el diagrama de Piper aquellos pozos y captaciones que conforman los distintos sistemas de abastecimiento de la localidad de Jacobacci, operados por la Cooperativa de agua (COP). En este gráfico se puede observar claramente la evolución del agua bicarbonatada cálcica, característica de las vertientes (Sistema III), hacia condiciones más sulfatadas (Sistema II) y sulfatadas – cloruradas (Sistema I), con una menor evidencia de dicho comportamiento en el caso de los cationes, donde se aprecia un leve aumento del contenido en sodio respecto al calcio en el sentido de flujo, es decir desde las vertientes ubicadas en el Cañadón Manantiales sobre la margen sur (zona de recarga), en dirección hacia la localidad (Sistemas I y II).

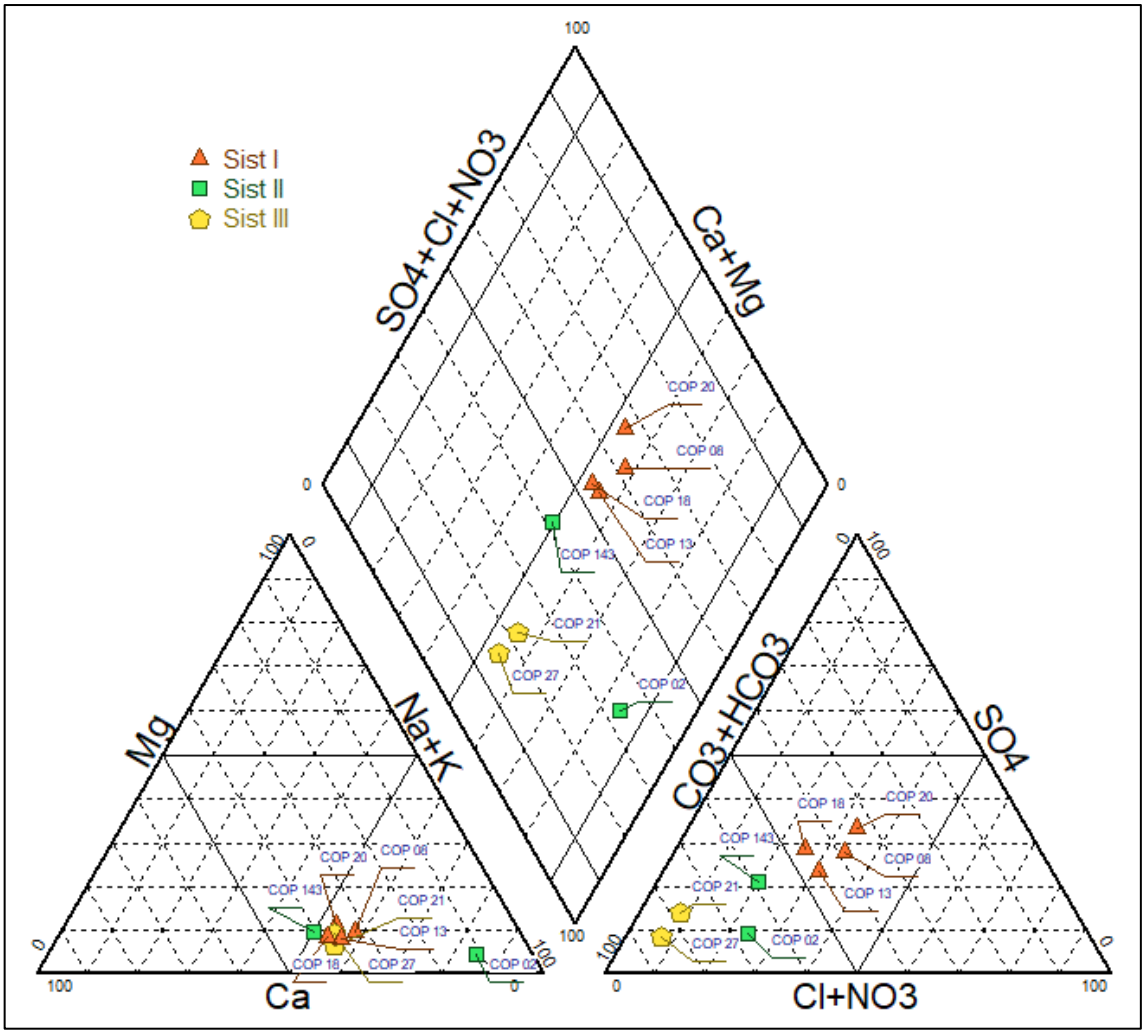


Figura 5.70: Diagrama de Piper diferenciando sistemas de abastecimiento.

Asimismo, en la Figura 5.71 se evidencia el aumento en el contenido iónico desde aquellas muestras tomadas en el Sistema III hacia las captaciones que conforman los Sistemas I y II.

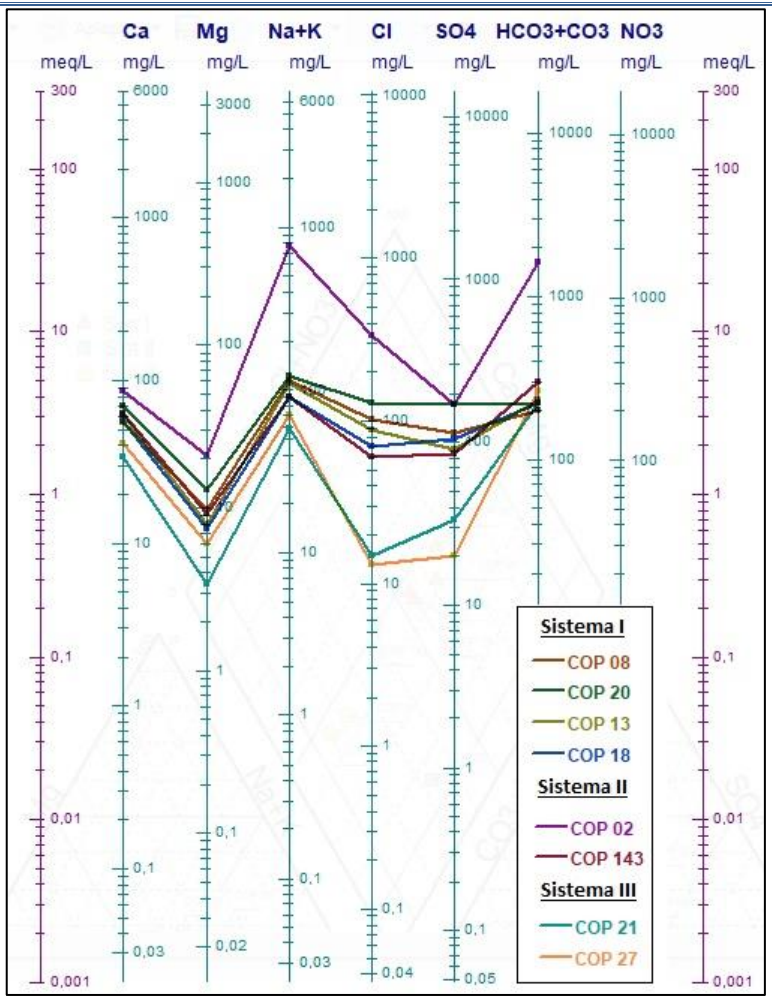


Figura 5.71: Diagrama de Schöeller diferenciando sistemas de abastecimiento.

En la Figura 5.72 y Figura 5.73 se muestran los diagramas de Schöeller-Berkaloff correspondientes a las muestras de pozos que conforman la red de abastecimiento urbano de Ing. Jacobacci (COP); a aguadas y a las restantes captaciones denominadas con el prefijo NYU (particulares). En los pozos de la cooperativa se observa una composición y contenido iónico similar en todos ellos, con agua de características bicarbonatada-clorurada, sódico-cálcica, siendo el pozo COP-02 de agua bicarbonatada sódica, el que presenta un mayor contenido iónico respecto del resto.

Para el agua subterránea muestreada en los pozos denominados NYU, en su mayoría se observan características de agua bicarbonatada sódico-cálcica con concentraciones similares para los aniones sulfato y cloruro.

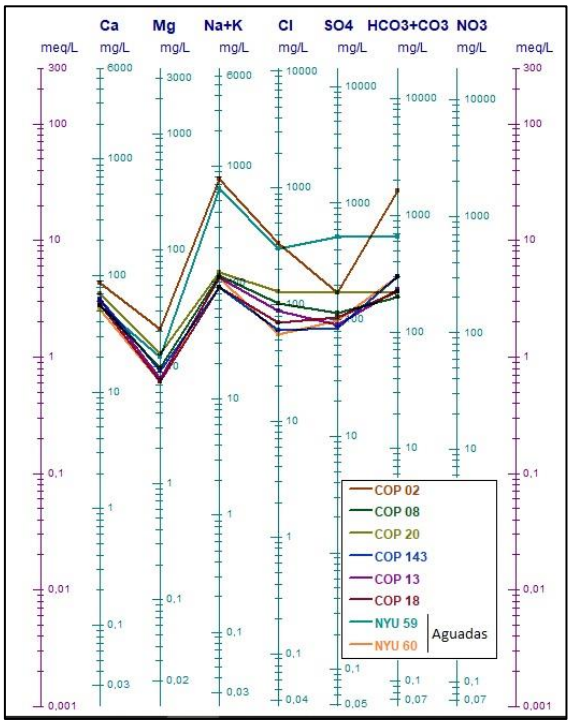


Figura 5.72: Diagrama de Schöeller en pozos de la Coop. y aguadas.

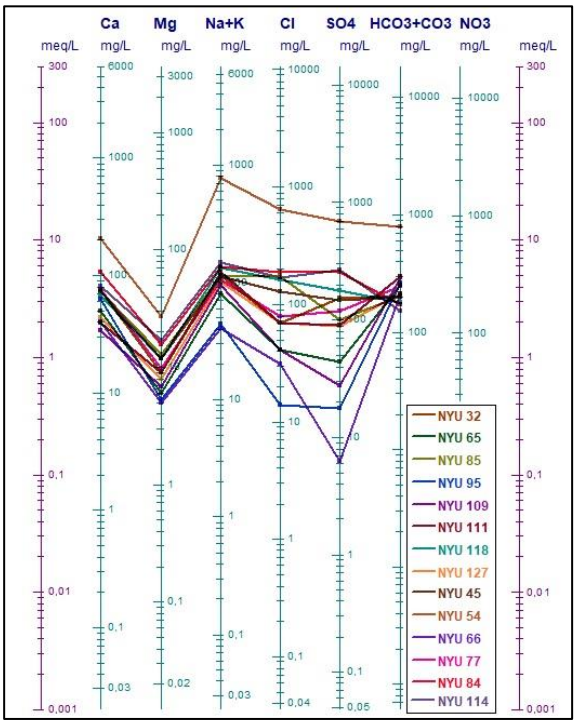


Figura 5.73: Diagrama de Schöeller en pozos rurales (NYU).

5.6.2.1.3 Agua subterránea (vertientes - mallines)

En la caracterización química del agua subterránea también se tomaron muestras desde vertientes y mallines, como se comentó previamente, la cual suele representar agua joven y por lo tanto de menores concentraciones iónicas que la extraída de las perforaciones. En la Figura 5.74 se muestra la distribución de los 14 sitios muestreados.

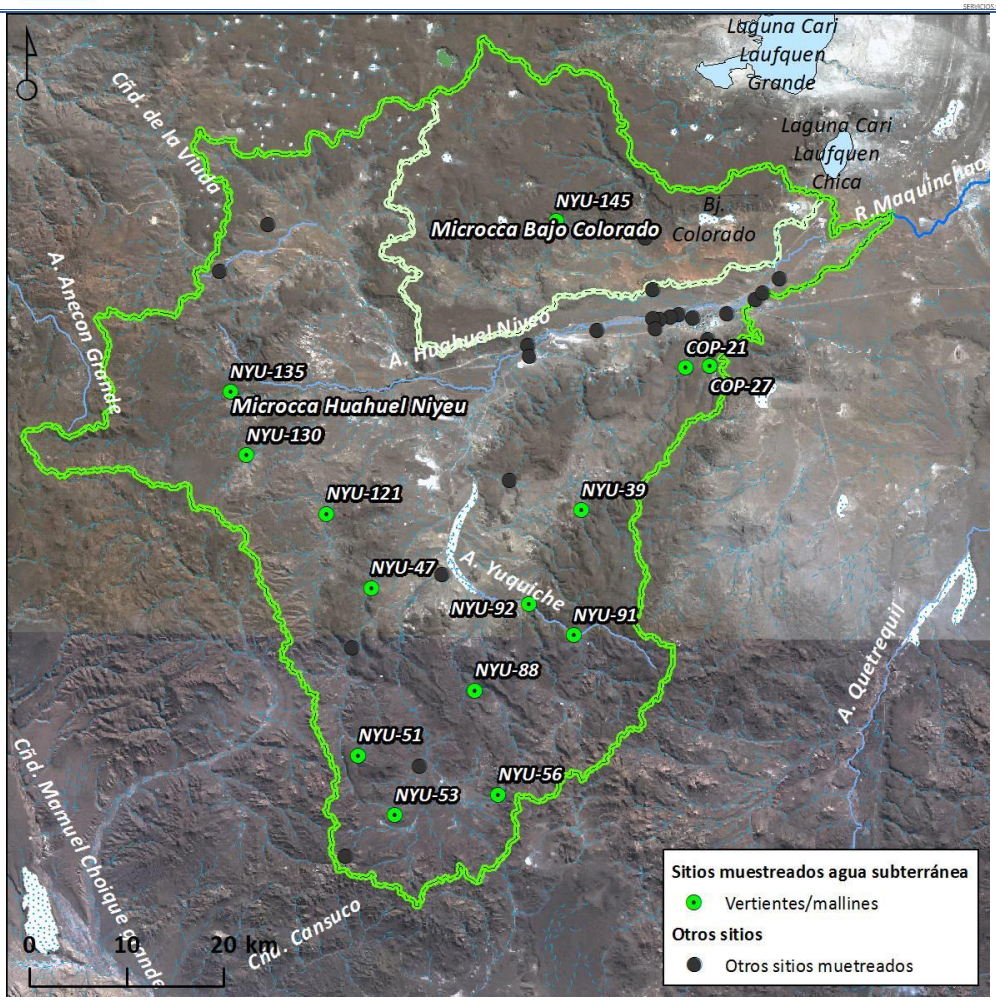


Figura 5.74: Distribución de vertientes/mallines muestreadas.

En el diagrama de Piper de la Figura 5.75 se puede observar que el agua analizada es de tipo bicarbonatada cálcica a cálcico-sódica, lo que representa agua relativamente joven con un bajo contenido iónico. En la Figura 5.76 se han graficado las muestras de vertientes junto con las obtenidas en las perforaciones y se puede apreciar claramente la evolución química del agua desde las bajas concentraciones de las vertientes hacia mayores contenidos de sulfato y cloruro para los aniones, y un aumento en el catión sodio respecto al calcio en las perforaciones, denotando aguas captadas con un mayor tiempo de recorrido y contacto con la litología propia del acuífero.

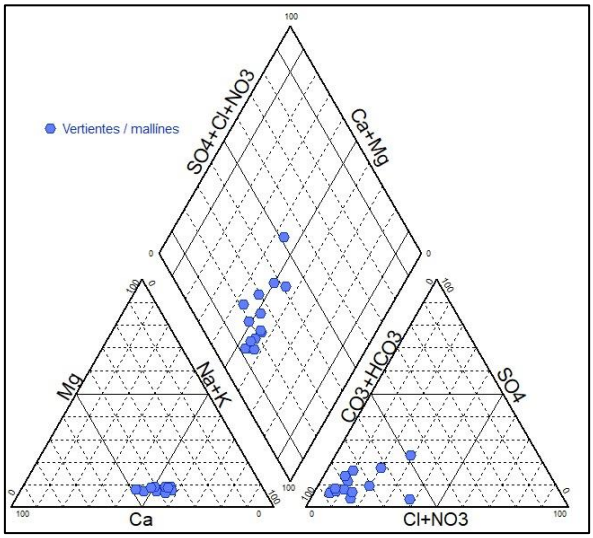


Figura 5.75: Diagrama de Piper – muestras tomadas en vertientes / mallines.

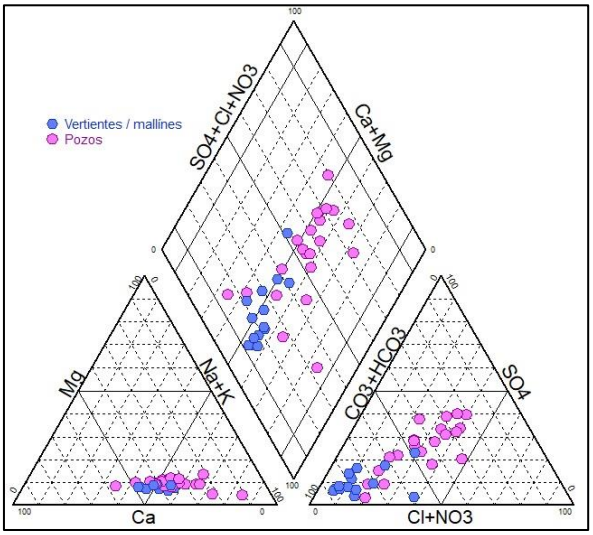


Figura 5.76: Diagrama de Piper – muestras tomadas en vertientes / mallines y en pozos.

En la Figura 5.77 se observa un diagrama de Schöeller – Berkaloff confeccionado para algunas muestras de vertientes distribuidas sobre toda el área de estudio, junto con pozos de abastecimiento urbano de la Cooperativa de agua, a fin de poder visualizar las eventuales diferencias en el contenido iónico. No se representan todas las vertientes por una cuestión de simplificación y mejor interpretación del gráfico. Como se puede ver, las muestras de los pozos son las cinco primeras sobre la parte superior del gráfico, es decir, con mayor concentración de aniones y cationes que las correspondientes a las vertientes.

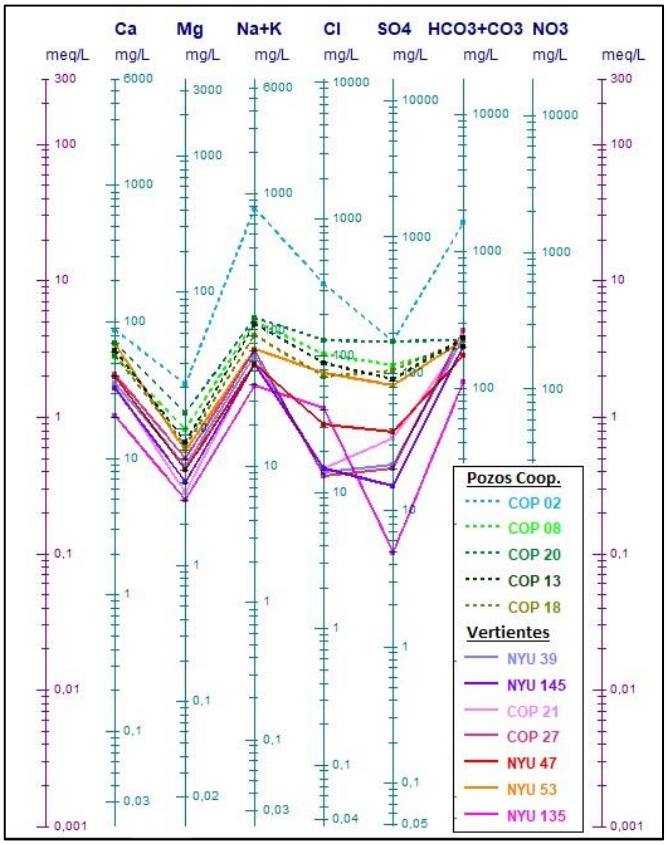


Figura 5.77: Diagrama de Schöeller-Bekaloff vertientes – pozos Coop.

5.6.2.1.4 Diagramas de Stiff

Las caracterizaciones hidroquímicas mencionadas fueron graficadas también mediante diagramas de Stiff, los cuales, como se mencionó anteriormente, se representan conjuntamente en el Mapa 15, tanto para agua superficial y subterránea, diferenciando los Stiff en colores según se trate de una muestra de arroyo, pozo o vertiente y conservando una misma escala.

Como se puede apreciar en el mapa mencionado, los contenidos iónicos del agua son más bajos en las áreas de recarga (stiff de menor tamaño), aumentando hacia la zona de descarga, exceptuando ciertos casos particulares. Si bien la característica del agua continúa siendo bicarbonatada calco-sódica o sódico-cálcica en la gran mayoría de las muestras, se puede observar cómo se elevan las concentraciones de sulfato – cloruro y sodio hacia el sector este – noreste, destacando que, para los aniones, las muestras en los dos pozos excavados aguas abajo de Jacobacci pasan a ser cloruradas, junto con la perforación NYU-114 de aguas sulfatadas.

5.6.2.2 Relaciones iónicas

Las relaciones más simples son las que vinculan diversos iones con otros que, por su carácter conservativo, se comporten como un trazador de circulación (por ejemplo, el cloruro), y permitan visualizar la variación en el sentido del flujo del ion considerado en el numerador.

El uso de las relaciones iónicas en estudios hidroquímicos tiene como objetivo ayudar a identificar aspectos tales como el origen del agua subterránea (continental o marino), posibles procesos de disolución-precipitación, oxidación-reducción, intercambio iónico, entre otros. También es un complemento útil en el trazado de la dirección de flujo en función del aumento de la mineralización del agua subterránea.

A continuación, se expone el análisis de las principales relaciones utilizadas comúnmente, para el agua subterránea proveniente de pozos y vertientes.

5.6.2.2.1 Agua subterránea (pozos y aguadas)

A. Índice de intercambio de bases (icb)

El icb es un indicativo del sentido y la intensidad en que se manifiestan dichos fenómenos de intercambio y suele ser mayormente negativo en aguas relacionadas con terrenos conformados por rocas ígneas, en especial granitos. Tiene una mayor importancia la evolución espacial del índice, más que el valor absoluto en sí mismo, por lo que es importante para conocer e identificar comportamientos regionales. El aumento del icb indica un cambio de bases de endurecimiento del agua (aumento de Ca y Mg, y disminución de Na) mientras que la disminución refleja ablandamiento. El aumento de la salinidad también está vinculado al del icb. El cálculo de esta relación se presenta a continuación.

$$icb = \frac{rCl - r(Na + K)}{rCl}$$

En la Tabla 5.24 se muestra la relación icb obtenida para las muestras analizadas. Los valores son en todos los casos negativos, y se encuentran entre -0,08 y - 2,6. El Mapa 16 muestra su distribución en planta, donde se observan valores coherentes con el aumento de salinidad en el agua, siendo las vertientes o zonas de recarga los sitios con icb más bajo (más negativo) y las zonas de descarga o bajos los que muestran valores más elevados de este índice.

Tabla 5.24: Relación icb en agua subterránea.

Muestra	COP-02	COP-08	COP-20	COP-13	COP-18	COP-143	NYU-32	NYU-45	NYU-54	NYU-59 (Aguada)	NYU-60 (Aguada)	NYU-65
Índice icb Cl -(Na + K/ Cl)	-2,59	-0,68	-0,47	-0,89	-0,98	-1,28	-1,47	-0,34	-0,88	-2,27	-2,03	-1,97
Muestra	NYU-66	NYU-77	NYU-84	NYU-85	NYU-95	NYU-109	NYU-111	NYU-114	NYU-118	NYU-120	NYU-127	NYU-141
Índice icb Cl -(Na + K/ Cl)	-0,93	-1,01	-0,08	0,01	-3,82	-2,60	-1,68	-0,32	-0,25	-0,29	-1,21	-0,68

(Fuente: Hidroar)

B. Relación $rCl^-/rHCO_3^-$

La relación entre cloruros y bicarbonatos funciona como índice hidrogeoquímico debido a que un incremento en la misma puede ser indicativa de la dirección evolutiva de la mineralización. La Tabla 5.25 muestra dicha relación para las muestras analizadas. En todos los casos los valores son mayores a 0,1 y menores a 5, un carácter típico de aguas subterráneas continentales.

La distribución espacial de las relaciones muestra que las zonas de recarga revelan los menores valores de la relación entre cloruros y bicarbonatos, aumentando a medida que el agua circula por el medio, para finalmente obtener las mayores relaciones en las zonas de descarga del sistema.

De lo anterior se desprende que, al noroeste de la cuenca, en una zona de recarga, los valores de cloruro son menores (NYU-66 con 0,26), y que se produce un aumento de su contenido, en dirección al valle del arroyo Huahuel Niyeu (NYU-59 con 0,89). En cercanías de la localidad de Jacobacci, y a lo largo del valle, (zona de circulación) ocurre la mezcla de aguas producto de los distintos aportes locales, no observándose un patrón definido del índice anteriormente mencionado. Hacia la zona de descarga, al noreste de la cuenca, se produce el incremento de la relación, con valores de 1,95 (NYU-114) y 2,38 (NYU-120).

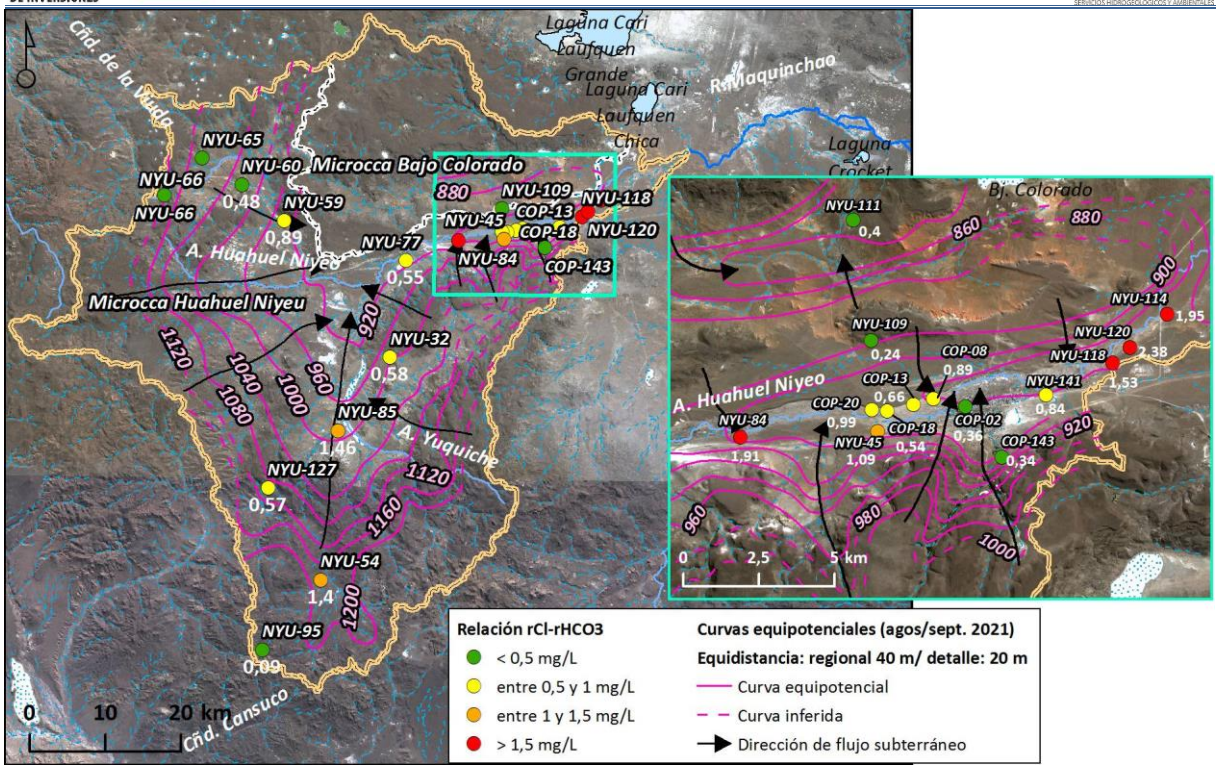


Figura 5.78 Distribución de la relación $rCl^-/rHCO_3^-$

Tabla 5.25: Relación $rCl^-/rHCO_3^-$ en agua subterránea.

Muestra	COP-02	COP-08	COP-20	COP-13	COP-18	COP-143	NYU-32	NYU-45	NYU-54	NYU-59 (Aguada)	NYU-60 (Aguada)	NYU-65
Relación $Cl^-/HCO3^-$	0,36	0,89	0,99	0,66	0,54	0,34	0,58	1,09	1,40	0,89	0,48	0,28
Muestra	NYU-66	NYU-77	NYU-84	NYU-85	NYU-95	NYU-109	NYU-111	NYU-114	NYU-118	NYU-120	NYU-127	NYU-141
Relación $Cl^-/HCO3^-$	0,13	0,55	1,91	1,46	0,09	0,24	0,40	1,95	1,53	2,38	0,57	0,84

(Fuente: Hidroar S.A.)

C. Relación rMg^{+2} / rCa^{+2}

Es una relación que indica el tipo de rocas o ambiente por donde circula el agua subterránea. En las aguas continentales varía normalmente entre 0,3 y 1,5, mientras que en las aguas marinas es cercano a 5. Valores superiores a 1 suelen estar relacionados con terrenos ricos en silicatos magnésicos como gabros y basaltos.

En la Tabla 5.26 se exponen los resultados de esta relación en el agua subterránea para las muestras analizadas. En ella se evidencia agua de origen continental y con bajo contenido iónico. De esta manera, puede notarse que en general tienen un bajo contenido en magnesio, por lo que dichos valores incluso son inferiores a 0,3 (mínimos de 0,14 - NYU-95) y eventualmente su valor tiende a aumentar en sentido de la circulación aguas abajo (máximos de 0,63 – NYU-120).

Tabla 5.26: Relación rMg/rCa en agua subterránea.

Muestra	COP-02	COP-08	COP-20	COP-13	COP-18	COP-143	NYU-32	NYU-45	NYU-54	NYU-59 (Aguada)	NYU-60 (Aguada)	NYU-65
Relación (rMg/rCa)	0,40	0,29	0,31	0,21	0,22	0,24	0,2	0,27	0,22	0,36	0,24	0,20
Muestra	NYU-66	NYU-77	NYU-84	NYU-85	NYU-95	NYU-109	NYU-111	NYU-114	NYU-118	NYU-120	NYU-127	NYU-141
Relación (rMg/rCa)	0,21	0,22	0,24	0,29	0,14	0,33	0,38	0,35	0,29	0,63	0,30	0,36

(Fuente: Hidroar)

5.6.2.2.2 Agua subterránea (vertientes - mallines)

A. Índice de intercambio de bases (icb)

La Tabla 5.27 presenta los índices de intercambio de bases para las muestras analizadas en las vertientes – mallines. En ella se puede observar valores negativos, que coincidirían con la hipótesis de la circulación del agua a través de sustratos conformados por rocas ígneas, que para el caso de las vertientes correspondería a los basaltos donde se infiltraron. El Mapa 16 muestra a su vez su distribución en planta.

Tabla 5.27: Relación icb en agua subterránea.

Muestra	NYU-39	NYU-47	NYU-51	NYU-53	NYU-56	NYU-88	NYU-91
Índice icb $Cl^-(Na+K/Cl)$	-5,94	-1,66	-8,52	-0,48	-4,81	-1,62	-2,26
Muestra	NYU-92	NYU-121	NYU-130	NYU-135	NYU-145	COP-21	COP-27
Índice icb $Cl^-(Na+K/Cl)$	-2,13	-4,76	-6,38	-0,38	-4,72	-4,90	-7,20

(Fuente: Hidroar)

B. Relación $rCl^-/rHCO_3^-$

Con respecto a la relación de los aniones cloruros y bicarbonatos, como se observó en el análisis para los pozos y aguadas, los valores resultantes están dentro de un rango entre 0,1 y 5, siendo el mismo diagnóstico de aguas continentales. No obstante, a diferencia de las relaciones obtenidas en los pozos, las vertientes reflejan una menor evolución química del agua, debido a sus bajos valores en las concentraciones iónicas, en este caso, con una mayor proporción de bicarbonatos respecto a cloruros, y cuyos valores de dicha relación se ubican entre 0,07 y 0,64. (Ver Tabla 5.28).

Tabla 5.28: Relación $rCl^-/rHCO_3^-$ en agua subterránea

Muestra	NYU-39	NYU-47	NYU-51	NYU-53	NYU-56	NYU-88	NYU-91
Relación $rCl^-/rHCO3^-$	0,16	0,32	0,07	0,58	0,13	0,27	0,19
Muestra	NYU-92	NYU-121	NYU-130	NYU-135	NYU-145	COP-21	COP-27
Relación $rCl^-/rHCO3^-$	0,18	0,14	0,10	0,64	0,13	0,13	0,09

(Fuente: Hidroar)

C. Relación rMg^{+2} / rCa^{+2}

Esta relación evidencia agua de origen continental y de bajo contenido iónico al igual que en los pozos y aguadas, con la particularidad de que las vertientes presentan valores más bajos (entre 0,16 y 0,26), ver Tabla 5.29, evidenciando agua más joven, con menor recorrido y tiempo de contacto con la litología atravesada.

Tabla 5.29: Relación rMg/rCa en agua subterránea

Muestra	NYU-39	NYU-47	NYU-51	NYU-53	NYU-56	NYU-88	NYU-91
Relación rMg/rCa	0,25	0,21	0,20	0,17	0,17	0,16	0,20
Muestra	NYU-92	NYU-121	NYU-130	NYU-135	NYU-145	COP-21	COP-27
Relación rMg/rCa	0,16	0,26	0,21	0,24	0,20	0,17	0,24

(Fuente: Hidroar)

5.6.3 Calidad de agua

En el presente ítem se describirá la calidad química del agua superficial y subterránea en el área de estudio. Para ello se analizaron las propiedades físico-químicas determinadas en el laboratorio para cada muestra, como así también la presencia y cantidad de ciertas bacterias que condicionan el uso del recurso hídrico para bebida humana y/o animal.

Para definir la aptitud del agua se compararon los contenidos de distintos elementos químicos y la presencia de bacterias respecto a los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino (CAA) y el Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios (COFES), el cual ha sido de referencia en estudios antecedentes de la región (Ver Tabla 5.30 y Tabla 5.31). El Anexo V d presenta los resultados analíticos y los valores que se encuentran por fuera de los límites mencionados.

Tabla 5.30: Límites establecidos para agua potable (Análisis microbiológico, CAA).

Analito	Límite CAA	Observaciones
Bacterias Coliformes	< 3 NMP/100 ml	(Caldo Mc Conkey o Lauril Sulfato) NMP a 37°C - 48 hs
Escherichia Coli	ausencia en 100 ml	
Pseudomonas aeruginosa	ausencia en 100 ml	
B.H.M.T	< 500 UFC/ml	Recuento de bacterias mesófilas en agar (APC - 24 hs a 37 °C) Si recuento es > 500 UFC/ml y los demás parámetros indicados se cumplen, se debe exigir la higienización del reservorio y realizar nuevo recuento.

*NMP: Número más probable

*B.H.M.T.: Bacterias heterótrofas mesófilas totales

*UFC: Unidades Formadoras de Colonias

(Fuente: Hidroar S.A., valores tomados de Código Alimentario Argentino)

Tabla 5.31: Límites establecidos para agua potable (Análisis físico-químico, CAA y COFES).

Analito	Limite CAA (mg/l)	Límite COFES (mg/l)	Observaciones
pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	
SDT	1500	1500	CAA y COFES
Dureza total (CaCO3)	400		
Alcalinidad total	-	800	No especifica - CFI, 1991
Calcio	No aplica	No aplica	
Magnesio	No aplica	No aplica	
Sodio		200	
Potasio	No aplica	No aplica	
Cloruro	350	250	
Sulfato	400	250	
Nitrato	45	45	
Cobre	1	1	
Aluminio	0,2	0,2	Residual
Hierro total	0,3	0,3	
Manganeso	0,1	0,1	
Selenio	0,01	0,01	
Plomo	0,05	0,05	
Zinc	5	5	
Arsénico	0,01	0,05	
Flúor	0,9 - 1,7	1,5	Mínimo y máximo (temp media anual y max de 10°C - 12°C)

(Fuente: Hidroar S.A.)

5.6.3.1 Agua superficial

5.6.3.1.1 Físico – químico

El agua superficial ha sido caracterizada químicamente a partir de dos muestras tomadas sobre el cauce del arroyo Huahuel Niyeu, como se describió en el ítem 5.6.2.1.1. Si bien el arroyo no es utilizado para bebida de la población rural (principalmente es aprovechado para el consumo ganadero), resulta importante conocer su calidad físico-química ya que representa un importante (si no el principal) aporte por infiltración hacia el acuífero libre, del cual se extrae agua para consumo humano.

Las muestras analizadas, tanto aguas arriba dentro de la Estancia Huanuluan (NYU-138), como aguas abajo (NYU-57), presentan una baja salinidad con concentraciones de Sólidos Disueltos Totales (SDT) de entre 207 y 285 mg/l. respectivamente.

En base al contenido de pH el agua del arroyo es levemente alcalina con valores de 8,5 UpH (NYU-57) y 8,9 UpH (NYU-138), esta última por encima del límite establecido.

Respecto al fluoruro, su contenido aumenta aguas abajo, con un valor de 0,15 para el punto NYU-138, y 0,7 en NYU-57, siendo una concentración por debajo de lo recomendado en ambos casos. Por otro lado, en ninguna de las muestras se ha detectado existencia de arsénico ni de otros elementos metálicos tales como Zn, Pb, Mn o Fe.

5.6.3.2 Agua subterránea

5.6.3.2.1 Físico – químico

En general, para la subcuenca bajo estudio, el agua subterránea es de baja salinidad, principalmente aquella que aflora a través de vertientes y/o mallines, con valores de Sólidos Disueltos Totales (SDT) entre 103 y 523 mg/l, y un poco más elevados para el agua extraída de los acuíferos explotados, con valores registrados entre 200 y 2.171 mg/l, donde solo tres muestras (COP-02, NYU-54 y NYU-120) superan el máximo estipulado por la normativa en 1.500 mg/l y la mayoría se encuentra por debajo de los 1.000 mg/l. En la muestra NYU-54, correspondiente a un pozo excavado rural, que supera los 2.000 ppm de salinidad, los aniones cloruro y sulfato también superan el límite máximo establecido para consumo.

En cuanto al pH, el agua presenta concentraciones generalmente entre 7 y 8 Uph (neutra a alcalina), siendo muy similares tanto en las muestras provenientes de vertientes como de los pozos. El rango admisible para consumo impuesto por el CAA se enmarca entre 6,5 y 8,5 UpH, y en los registros obtenidos del laboratorio solo la muestra de una vertiente superó el máximo con un valor de 8,9 (NYU-138).

El contenido de cloruros en el agua subterránea suele ser muy variable y constituye un ion conservativo, es decir de escasa o nula reacción química con el medio, lo que le otorga un carácter de trazador ideal al momento de analizar el sistema de flujo regional (identificación de zonas de recarga, mezcla de agua, etc.). Su presencia en concentraciones elevadas (más de 300 mg/l) es percibida mediante el sabor del agua. Los contenidos altos son perjudiciales para las plantas. La evolución en la composición química de los aniones (HCO_3^- – $SO_4^=$ – Cl^-) permite evaluar el carácter local o regional de un flujo subterráneo, en función del recorrido y tiempo de permanencia en el acuífero. El aumento de cloruros indica mayor tiempo de tránsito y cercanía a las zonas de descarga.

El Mapa 17 expone la distribución del contenido de cloruros en el área de estudio. En ella se observa que los valores mínimos de cloruro aparecen en las zonas de recarga (NYU-39, 130 y 51) con 9-12 mg/l, con aumentos de las concentraciones en sentido del flujo regional hacia el área de descarga ubicada hacia el sector este-noreste de la cuenca, principalmente en la zona baja aledaña a la localidad de Ing. Jacobacci, cuyos valores superan los 100 mg/l con máximos de 332 mg/l (COP-02). Se destaca que, hacia el sur en Pampa Alegre, en una perforación abandonada (NYU-54), se midió un valor de 635 mg/l, correspondiendo al máximo observado para el presente muestreo, si bien esto se trataría de un valor

local. En general puede observarse que los valores medidos son menores que la concentración máxima permisible para aguas de consumo humano (250 mg/l).

El fluoruro es un ion que proviene de ciertos minerales de las rocas ígneas tanto básicas (anfíboles en basaltos) como intermedias y félsicas (micas, fluorita y fluorapatita) o a partir de intercambios de OH^- por F^- en estratos arcillosos. Su concentración en las aguas subterráneas es frecuentemente menor a 1 mg/l. El mismo juega un papel importante en materia de salud en la preservación de la dentadura, pudiendo ocasionar efectos negativos tanto por déficit como por exceso, pudiendo causar problemas óseos en valores muy elevados. El CAA establece un rango límite de flúor para el agua a ser utilizada como consumo humano según la temperatura de la zona, que se encuentra para la región de estudio entre 0,9 y 1,7 mg/l.

En líneas generales se puede observar que el contenido de fluoruro sobrepasa el umbral superior permitido para el 33 % de las muestras, que generalmente están distribuidas en zonas bajas sobre los valles ubicados entre mesetas basálticas (Ver Figura 5.79 y Mapa 18). Cerca de la mitad de las muestras analizadas se encuentran dentro de los límites establecidos por el CAA para consumo humano, quedando un 21 % por debajo del valor mínimo recomendado (0,9 mg/l).

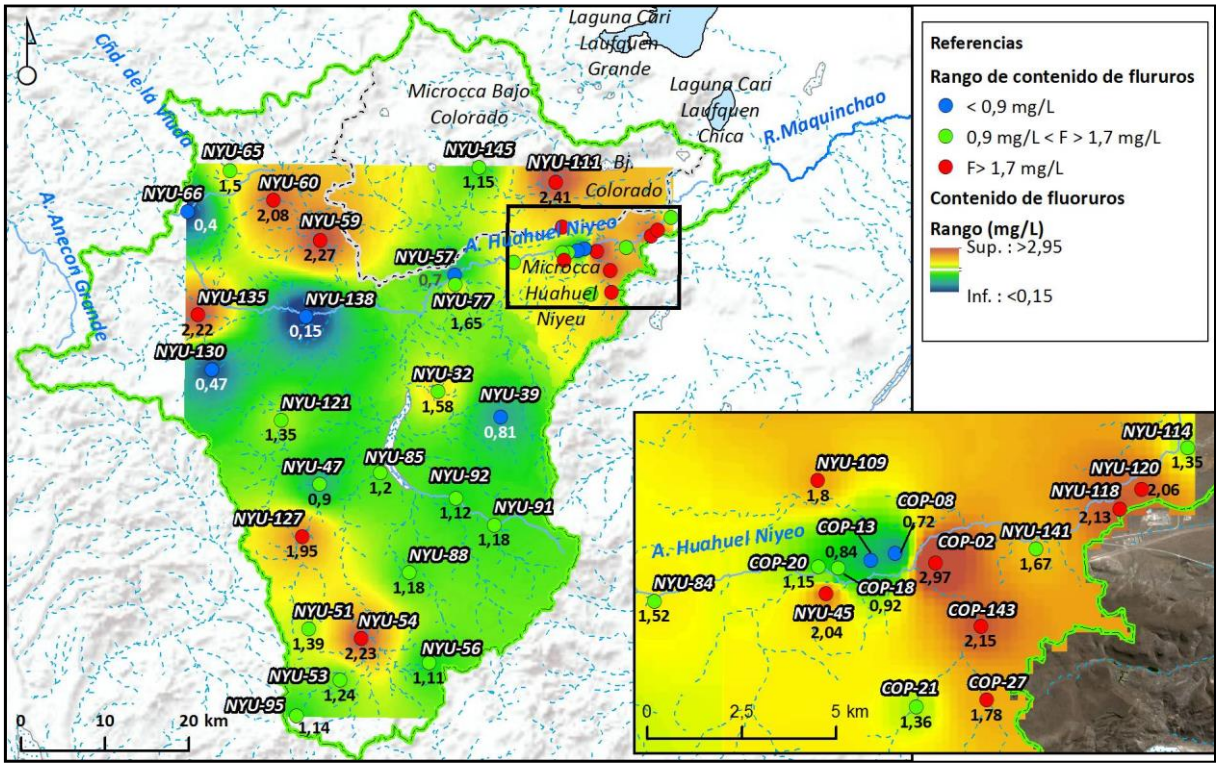


Figura 5.79 Distribución de contenidos de F^- en el área de estudio.

Tal como se observa en la figura anterior, los valores elevados se corresponden con zonas topográficamente bajas, relacionadas a áreas de descarga, no obstante, existen contenidos elevados en vertientes las cuales se ubican al pie de afloramientos rocosos, lo que vincularía dicho contenido a la naturaleza de la

litología circundante. Asimismo, pueden existir concentraciones que se asocian al régimen de uso de las captaciones, como por ejemplo aquellas bajo un uso continuo que propician flujos ascendentes con un mayor contenido iónico. Este puede ser el caso del pozo COP-02, tal como se analiza a continuación.

Para algunos puntos de abastecimiento se cuenta con dos análisis químicos antecedentes, tomados en los años 1991 y 2018, los cuales fueron representados gráficamente junto con el dato obtenido actualmente (2021), en la Figura 5.80. En el pozo COP-02 se observa una clara tendencia en aumento, acentuándose en los últimos años y superando en 2021 el límite máximo de 1,7 mg/l.

Para el caso de los pozos COP-18 y COP-20, que no se encontraban en existencia para el año 1991, se puede ver que para el año 2018 y 2021 ambos valores se encuentran dentro del rango establecido como apto para consumo según la normativa del CAA.

Los puntos COP-21 y COP-27 (vertientes de captación) conservan registros antecedentes con alto contenido de fluoruro, el cual ha disminuido en el actual monitoreo, hallándose dentro de los límites admisibles para COP-21 pero aún por encima del límite máximo establecido en COP-27, si bien los valores son menores a los previos.

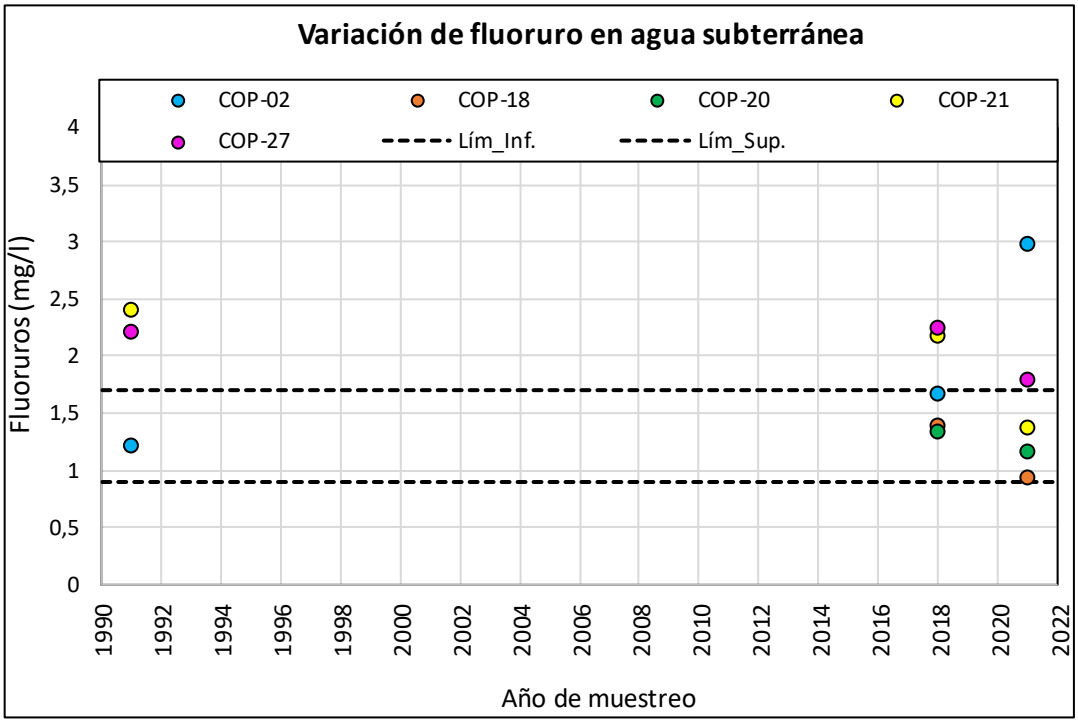


Figura 5.80: Registro de contenidos de fluoruro para captaciones de la cooperativa.

El arsénico fue detectado en unas diez muestras de agua subterránea, de las cuales en tres (3) puntos se obtiene un valor ligeramente por encima del límite máximo establecido por las normativas utilizadas de 0,01 mg/l para el CAA y de 0,05 mg/l según el COFES, siendo los puntos NYU-77; NYU-109 y NYU-120 con 0,02 mg/l As, mientras que, en el resto de las muestras, dicho contenido se encuentra por debajo del límite de detección del laboratorio (0,005 mg/l).

5.6.3.2.2 Microbiológico

En condiciones naturales el agua subterránea contiene muy pocos microorganismos, debido principalmente a la escasez de nutrientes en este medio. Sin embargo, actualmente es frecuente detectar algún tipo de microorganismo patógeno en los acuíferos, especialmente en el superior, como consecuencia de la perturbación que las urbanizaciones ocasionan en el sistema hidrogeológico (Merino et al, 1998). Sumado a lo anterior, la acumulación de las aguas subterráneas en superficie puede provocar la proliferación de bacterias por encontrarse en situaciones de estancamiento, contaminación o por el simple hecho de encontrarse en un ambiente aeróbico.

En el análisis microbiológico se ha determinado en laboratorio la presencia / ausencia y cantidad de Bacterias Coliformes Fecales y Totales, Escherichia coli, Bacterias Heterótrofas Mesófilas Totales (B.H.M.T), y Pseudomonas aeruginosa.

La identificación y cuantificación de bacterias en el agua es muy importante al momento de evaluar el uso de la misma como bebida humana, ya que éstas pueden producir efectos negativos en la salud. La normativa del CAA y la OMS, entre otros, establecen en general que el agua es apta bacteriológicamente para consumo si se encuentra exenta de microorganismos patógenos de origen entérico y parasitario intestinal.

Los microorganismos indicadores de contaminación deben cumplir los siguientes requisitos: ser fáciles de aislar y crecer en el laboratorio; ser relativamente inocuos para el humano y animales; tener presencia en agua relacionada cualitativamente y cuantitativamente con la de otros microorganismos patógenos de aislamiento más difícil.

Tres tipos de bacterias califican a tal fin:

- Coliformes fecales: como su nombre lo indica, marcan contaminación fecal.
- Aerobias mesófilas: determinan efectividad del tratamiento de aguas.
- Pseudomonas: señalan deterioro en la calidad del agua o una re-contaminación.

Desde el punto de vista bacteriológico, para definir la potabilidad del agua, es preciso investigar bacterias aerobias mesófilas, coliformes totales y fecales. La gran sensibilidad de las bacterias aerobias mesófilas a los agentes de cloración, las ubica como indicadoras de la eficacia del tratamiento de potabilización del agua.

Todas las muestras de agua a las cuales se les aplicó este análisis corresponden al acuífero libre o freático, a excepción de tres pozos pertenecientes a la cooperativa de agua que corresponden al semi-confinado/confinado. En la elección de los sitios a determinar el análisis bacteriológico, se tuvo en cuenta el uso al que se destina el recurso, priorizando aquellos puntos que se destinan a consumo humano, ya sea para abastecimiento de la localidad como de pobladores rurales.

En la Tabla 5.32 se exponen los resultados obtenidos en el laboratorio junto a una breve descripción de cada punto o sitio muestreado. Como se puede observar, la mayoría de los sitios analizados presentan contenidos de bacterias que superan las normativas vigentes, principalmente coliformes totales, situación que estaría evidenciando una deficiente protección sanitaria de los pozos y/o vertientes de abastecimiento, permitiendo el acceso o contacto por parte de animales domésticos (y sus heces), además de otros residuos, ya que también se han detectado en la mayoría de ellos bacterias coliformes fecales. Es importante mencionar que el muestreo se realizó a la salida de cada captación previo a su cloración.

La especie Pseudomona aeruginosa se encuentra en los ambientes acuosos, tales como las instalaciones de distribución de agua (cañerías, tanques de almacenamiento, duchas, canillas, etc.), nichos favorables para desarrollarse dada su capacidad de adherirse a las superficies. Siendo el agua potable un ambiente propicio para el crecimiento de esta bacteria, además es posible encontrarla en agua que ha sido clorada, embotellada o extraída de perforaciones subterráneas. También el agua subterránea es uno de los hábitats donde puede desarrollarse esta especie y su presencia en los acuíferos es estimulada por la contaminación proveniente de los pozos ciegos debido a dos factores: la presencia de esta bacteria en las heces humanas y al aporte de nutrientes para su desarrollo.

Para el caso de las pseudomonas, la legislación exige la ausencia de las mismas, y en los análisis realizados se detectó su presencia en cinco sitios, uno corresponde a la vertiente de captación ubicada en el vivero forestal (COP-21) y los restantes a pozos rurales (NYU-39, NYU-56, NYU-127 y NYU-130).

Tabla 5.32: Resultados del análisis bacteriológico en agua subterránea obtenida en boca de pozo (previo a su cloración).

Punto	Nombre propietario	Fecha de muestreo	ID de Muestra	Acuífero	Uso/Sistema de abastec.	Coliformes totales	Coliformes Fecales	Escherichia Coli	B.H.M.T.	Pseudomonas Aeruginosa
						NMP/100 ml	NMP/100 ml	NMP/100 ml	UFC/ml	n°/100 ml
COP-02	Cooperativa	27/9/2021	9979-15	Semiconfinado	II	< 1,8	< 1,8	< 1,8	430	Ausencia
COP-08	Cooperativa	26/9/2021	9979-16	Confinado	I	< 1,8	< 1,8	< 1,8	30	Ausencia
COP-20	Cooperativa	26/9/2021	9979-17	Confinado	I	< 1,8	< 1,8	< 1,8	300	Ausencia
COP-21	Cooperativa	27/9/2021	9979-18	Freatico	III	280	33	10	150	Presencia
COP-27	Cooperativa	27/9/2021	9979-19	Freatico	III	58	21	15	200	Ausencia
NYU-32	Fermín	25/9/2021	9979-1	Freatico	Rural	3,7	1,8	1,8	50	Ausencia
NYU-39	Varela	25/9/2021	9979-2	Freatico	Rural	200	10	8,1	900	Presencia
NYU-51	Hernández	26/9/2021	9979-3	Freatico	Rural	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1	Ausencia
NYU-56	Benitez	26/9/2021	9979-4	Freatico	Rural	250	12	5,5	400	Presencia
NYU-65	s/d	25/9/2021	9979-5	Freatico	Rural	430	20	20	200	Ausencia
NYU-85	Crespo	25/9/2021	9979-6	Freatico	Rural	< 1,8	< 1,8	< 1,8	10	Ausencia
NYU-95	Lauquen	26/9/2021	9979-7	Freatico	Rural	21	< 1,8	< 1,8	200	Ausencia
NYU-109	Cuevas	27/9/2021	9979-8	Freatico	Rural	49	< 1,8	< 1,8	100	Ausencia
NYU-111	s/d	27/9/2021	9979-9	Freatico	Rural	5,5	< 1,8	< 1,8	100	Ausencia
NYU-118	Strubbe	26/9/2021	9979-10	Freatico	Rural	15	3,6	3,6	18	Ausencia
NYU-121	Nassif	26/9/2021	9979-11	Freatico	Rural	240	38	20	200	Ausencia
NYU-127	Comision	26/9/2021	9979-12	Freatico	Rural	70	17	10	600	Presencia
NYU-130	Coyueque	26/9/2021	9979-13	Freatico	Rural	140	24	13	500	Presencia
COP-143	Cooperativa	27/9/2021	9979-20	Freatico	Rural	6	< 1,8	< 1,8	40	Ausencia
NYU-145	Merelles	27/9/2021	9979-14	Freatico	Rural	< 1,8	< 1,8	< 1,8	100	Ausencia

(Fuente: Hidroar).

6 USO Y GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

En el presente capítulo se resume el estado de situación en que se encuentra el sistema de abastecimiento de agua para los establecimientos de la zona rural de la subcuenca del Arroyo Huahuel Niyeu y para las localidades de Ojos de agua e Ingeniero Jacobacci. Adicionalmente, se realiza un análisis de los consumos de esta última localidad según los datos suministrados por la Cooperativa de Agua y Otros Servicios Públicos de Ingeniero Jacobacci.

6.1 Zona rural

Es frecuente en la zona que los establecimientos rurales estén ubicados sobre faldeos, lo cual estaría determinado por la presencia de una surgencia/vertiente, que, de suplir la demanda del sitio, no requeriría de la búsqueda o construcción de una perforación para abastecerse de agua subterránea. En base a esto es mucho menor la cantidad de captaciones subterráneas construidas (perforaciones o pozos excavados) en relación a surgencias captadas mediante sistemas de conexión simples (mangueras, galerías filtrantes).

En general las vertientes ubicadas en zonas altas no suelen presentar una merma significativa de su caudal en época de verano según declaraciones de los propietarios, caso contrario en zonas bajas donde algunas captaciones incluso llegan a secarse. En base a esto, los puestos y estancias que se ubican en zonas bajas de los valles fluviales suelen contar con algún pozo excavado y, en menos casos, una perforación donde su uso prima para el consumo de hacienda ovina, caprina o vacuna. Es recurrente observar que estas captaciones cuenten con equipos instalados alimentados por energía solar (con paneles instalados a partir de un programa llevado a cabo por DPA y la Cooperativa de Agua de Jacobacci) y/o un sistema manual de bombeo como puede ser bombas sapo o incluso baldes. Con respecto a las captaciones de cursos superficiales, las mismas son muy escasas y locales debido a la falta de cursos que sean perennes.

Las captaciones de vertientes o mallines, aguadas y cursos de agua superficial suelen consistir en filtros sumergidos en pozas, excavaciones o pequeños diques donde se acumula el agua, conectadas a una manguera por donde el agua fluye por diferencia de altura hasta el reservorio o punto de salida. En otros casos se observaron equipamientos tales como bombas centrifugas o simplemente mediante extracción manual (mediante baldes). La Fotografía 6.1 y la Fotografía 6.2 muestran alguna de estas captaciones mencionadas.



Fotografía 6.1: Vertiente con captación (manguera de ¾").



Fotografía 6.2: Pozo somero excavado con panel solar y sistema manual de bombeo.

6.2 Paraje Ojos de Agua

El Paraje de Ojos de Agua cuenta con una perforación de gran diámetro (NYU-127) que data de los años 40 cuando fue establecida la estación de tren perteneciente al tramo de trocha angosta que conectaba Ingeniero Jacobacci y la ciudad de Esquel. La misma cuenta con una cisterna ubicada en el faldeo al sur de la vía férrea y la Ruta Prov. n°23 que posee una capacidad de unos 50.000 lts para una población que no supera los 100 habitantes (25 familias). La captación se encuentra dentro de una caseta y sus instalaciones son antiguas, especialmente la cañería que alimenta la cisterna, la cual presenta oxidación y desarrollo de incrustaciones que en ocasiones son transportadas por el agua.

La red de distribución hacia las viviendas se da con cañería PVC, con una cloración previa a su distribución del agua extraída. La frecuencia de bombeo hacia la cisterna es aproximadamente cada 4 días (cada 2 en verano) con un período de unas 4-5 hs a razón de 10 m^3/h. Por declaraciones de uno de los empleados auxiliares de la Comisión de Fomento de la localidad se estipulan altos contenidos de Flúor, lo que será corroborado con los resultados físico-químicos del muestreo.

Debido al estado actual de las instalaciones, se recomienda el reemplazo de la captación por una perforación entubada en PVC que cuente con un equipo de bombeo sumergible, sumado al reemplazo de las cañerías de hierro que alimentan el reservorio y que se encuentran en mal estado. La Fotografía 6.3 muestra la cisterna de almacenamiento de la localidad y la Fotografía 6.4 el interior del pozo excavado de abastecimiento.



Fotografía 6.3: Cisterna de 50 m^3.



Fotografía 6.4: Interior de captación.

6.3 Localidad de Ingeniero Jacobacci

Como se mencionó anteriormente en el informe de 2018 por el Lic. Gustavo Olivares, las captaciones de abastecimiento de la localidad se dividen en tres sistemas principales:

- **Sistema I:** Captaciones subterráneas aledañas a la Ruta Nacional N°23 en el valle del Arroyo Huahuel Niyeu.
- **Sistema II:** Captaciones subterráneas ubicadas en el ejido urbano y sobre su margen sur.
- **Sistema III:** Galería filtrante de vertientes ubicadas en Cañadón manantiales al sur de la localidad.

La distribución de las captaciones y de las componentes del sistema se pueden observar en el Figura 6.1 y en los Mapas 19 a y b. Por su parte, la Figura 6.2 y el Mapa 20 muestran un esquema simplificado del sistema de abastecimiento mencionado.

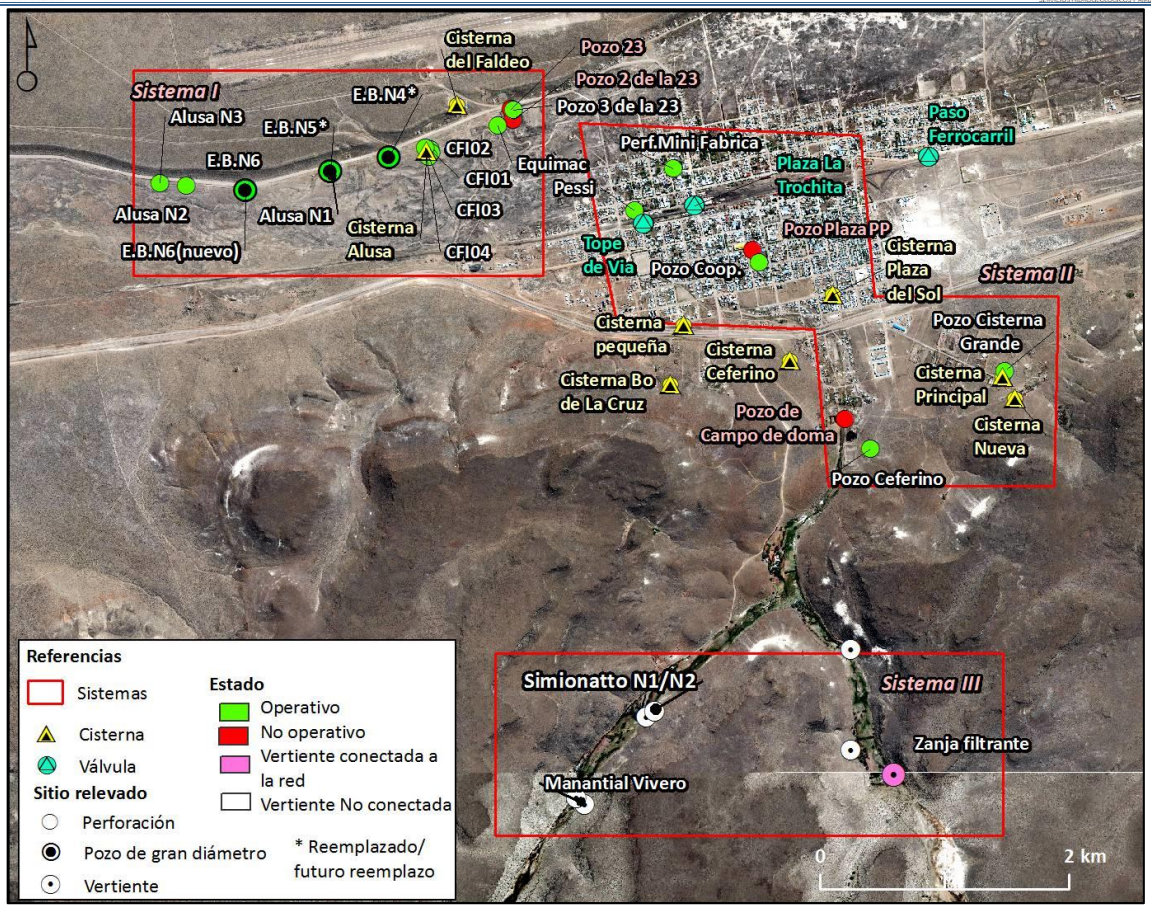


Figura 6.1: Relevamiento en la red de abastecimiento de Ing. Jacobacci (sep-2021).

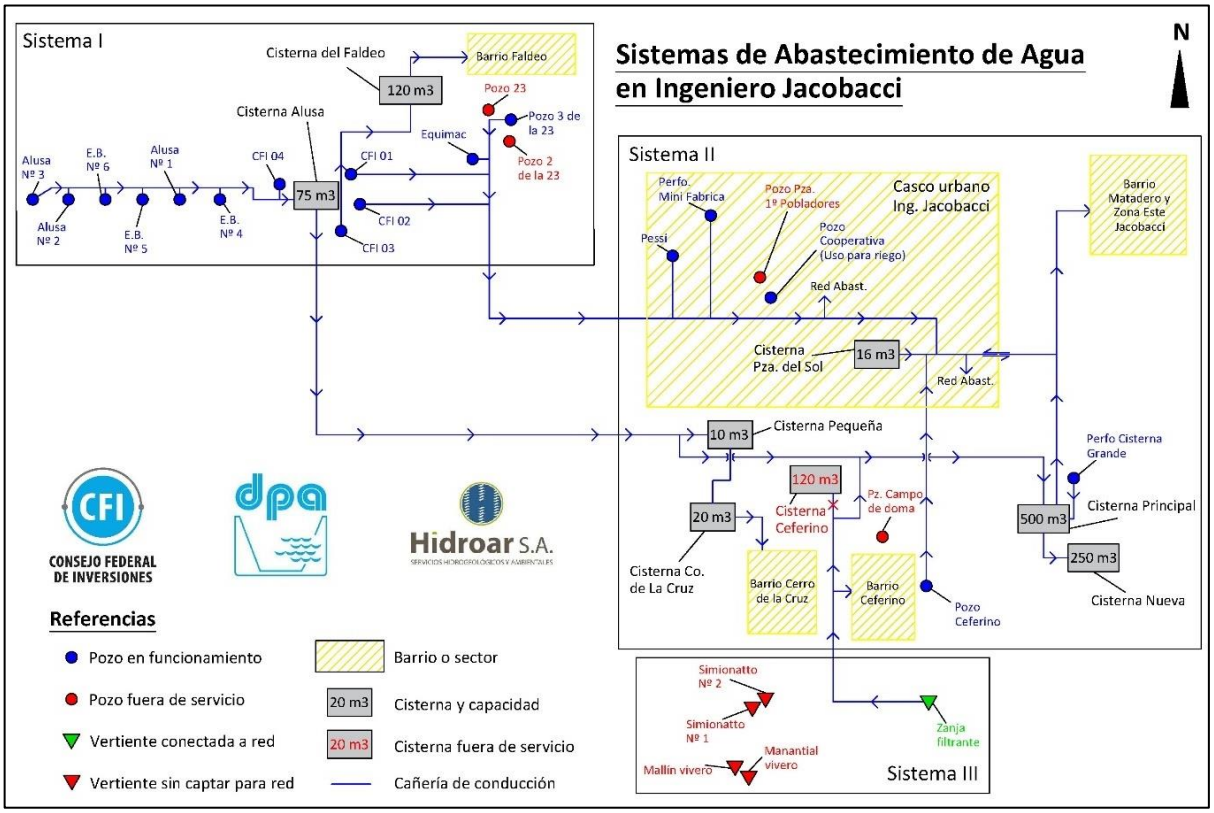


Figura 6.2: Diagrama simplificado de abastecimiento en Ingeniero Jacobacci.

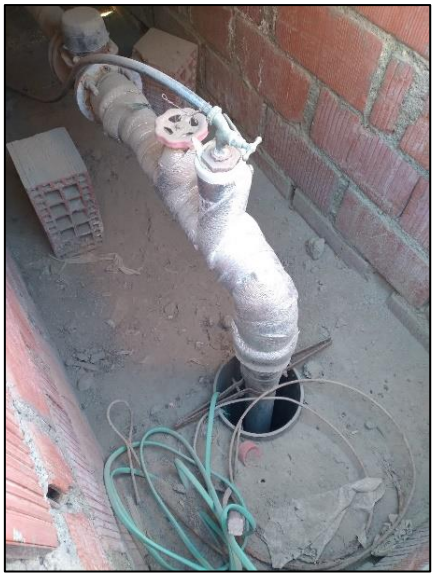
6.3.1 Sistema I

El sistema se comprende de una batería de doce (12) captaciones subterráneas conformadas por tres (3) pozos de gran diámetro (E.B. 4, 5 y 6) y nueve (9) perforaciones entubadas en PVC (Alusa 1 a 3, CFI-01 a 04; Equimac y Pozo 3 de la 23). De estas captaciones siete (Alusa 1 a 3, E.B. 4 a 6 y CFI-04) alimentan la cisterna Alusa de 75 m^3, que redirige su caudal hacia la cisterna principal aportando por tanto la mayor parte del volumen almacenado allí. Otras cuatro (CFI-01 y 02, Pozo Equimac y 3 de la 23) se conectan directamente a la red, con la función de sostener un mínimo de abastecimiento junto a otras perforaciones del Sistema II; y la restante (CFI-03) abastece la cisterna del Faldeo ubicada al norte de la Ruta Nac. N°23 sobre la entrada al Aeropuerto, que provee al barrio homónimo.

Actualmente han sido reemplazados dos (2) de los pozos de gran diámetro por perforaciones entubadas, donde una de ellas ya se encuentra conectada a la red (E.B. n° 5) y otra se encuentra en proceso de terminación (E.B. n°6). En ambos casos se ha aprovechado o se aprovechará la infraestructura existente para efectuar la conexión de los mismos a la red de distribución. Es importante destacar que el nuevo pozo E.B. nº6 fue ejecutado mediante un equipo perforador recientemente cedido por el Departamento Provincial de Agua, que brindó capacitación al personal de la Cooperativa para el manejo del mismo. Dicho equipamiento será fundamental para llevar a cabo una planificación de reemplazo de aquellas captaciones más antiguas. A futuro deberá evaluarse si los demás pozos de gran diámetro también serán reemplazados del mismo modo, ya que en general estas captaciones han mermado significativamente en su rendimiento (descenso abrupto de niveles con poco tiempo de bombeo y prolongado período de recuperación), destacando adicionalmente que son proclives al deterioro como sucedió en el E.B.nº 5. La Fotografía 6.5 muestra la boca de pozo de las captaciones excavadas de gran diámetros y la Fotografía 6.6 muestra un de las perforaciones entubadas.



Fotografía 6.5: Pozo de gran diámetro.



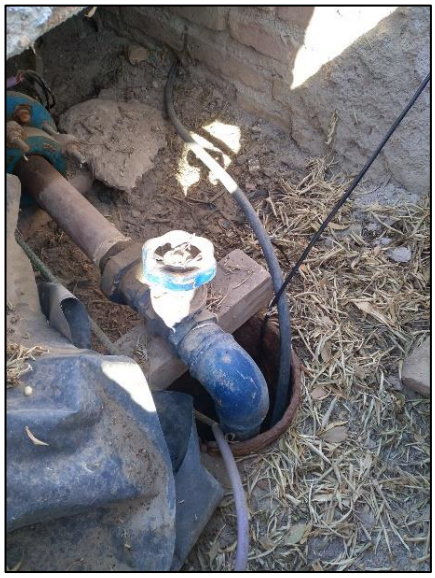
Fotografía 6.6: Perforación entubada.

6.3.2 Sistema II

Este sistema está conformado por los *Pozos del Antiguo Sistema A (1976 – 1984 - CFI_1991).* De los seis (6) pozos que conformaban dicho sistema hoy en día solo quedan operativos los pozos 5 y 6, conocidos como pozos Minifábrica (COP-02) y Pessi (COP-04), el cual fue reconstruido en el año 1990. La importancia de estas captaciones radica en que sostienen los gradientes de presión necesarios para el funcionamiento de la red, dicha situación requiere de un régimen continuo de bombeo con el gasto de energía consecuente, lo cual podría ser mitigado con la puesta en funciones de las válvulas de retención disponibles, las cuales se describirán en este capítulo.

Estas captaciones se construyeron con camisas de hierro negro, las cuales ya se encuentran al límite de su vida útil por presentar un deterioro significativo (oxidación y corrosión), tal es el caso del Pozo 1 (COP-149) que ya se encuentra fuera de servicio. Por otra parte, las dos captaciones ubicadas en la margen sur de la localidad comprenden los pozos Ceferino (COP-143) y Cisterna (COP-01), que presentan las mismas características y condiciones respecto a su encamisado. Esta condición puede verse reflejada en la merma de rendimiento del pozo Ceferino, donde para el año 2018 registraba un caudal promedio de 8 m^3/h, que se redujo a la mitad aproximadamente cuando fue aforado (4,05 m^3/h).

El reemplazo y cegado de estos pozos podría mejorar los rendimientos, y prevenir una eventual afectación en la calidad del agua producto del progresivo deterioro, lo que podría afectar directamente a los usuarios. La Fotografía 6.7 muestra el deterioro en boca de pozo de las camisas de hierro y la Fotografía 6.8 los rastros de óxidos que se observaron al medir el nivel de agua con las sondas piezométricas.



Fotografía 6.7: Perforación con camisa oxidada.



Fotografía 6.8: Sonda con impregnaciones de óxido.

6.3.3 Sistema III

La galería filtrante ubicada sobre la margen oriental del Cañadón Manantiales consta de una serie de captaciones interconectadas por una zanja y una cañería madre que recolecta el caudal hacia la red (COP-27). La estimación del caudal para la galería filtrante que actualmente provee a la localidad ronda los 7 m^3/h. Anteriormente, el caudal provisto era almacenado en una cisterna de 120 m^3 (Cisterna Ceferino) pero existían dos inconvenientes: en primera instancia aquí se dirigía el caudal excedente sin contar con un mecanismo de regulación (flotante), por lo que se producían rebalses, y en segunda instancia se generaban problemas de compensación de presiones en distintos barrios, generando déficit de presión en unos y exceso en otros (valores mínimos de 0,4 kg/cm^2 y máximos de 3,4 kg/cm^2). A raíz de estos problemas se definió obviar el almacenamiento en la misma y conectarla directamente la captación a la red para suplir déficits de presión en barrios más alejados.

En los últimos años se hizo necesaria la limpieza periódica de esta captación al finalizar el invierno para evitar la obstrucción por el crecimiento de algas y otras plantas, si bien se observa que es necesario un reacondicionamiento de toda la captación, incluyendo la cañería y sus bocas de registro. Ver Fotografía 6.9.

Por otro lado, está planeado que los manantiales provenientes de la galería filtrante construida por personal del ferrocarril en los años ’40, denominadas Simionatto 1 y 2 (COP-23 y 24, respectivamente) ubicados en el Cañadón El Turco, sean conducidos hacia la cisterna nueva, pero deben resolverse conflictos legales con uno de los propietarios que intervino las mismas para desaguar sobre su propiedad. De sumarse estas vertientes a la red de abastecimiento se estima alcanzar los 18 m^3/h.

También se puede mencionar al manantial ubicado en el vivero forestal (COP-21) al suroeste de la vertiente anterior y que actualmente suministra a las instalaciones del vivero y el camping aledaño. En este caso se realizó una medición de caudal, midiendo 2,23 m^3/h, pero según declaraciones del personal de la cooperativa su producción ha mermado. Ver Fotografía 6.10.

Por último, el antiguo Sistema D, que consistía de una zanja filtrante que se conectaba directamente a la red, y que estaba ubicada sobre el valle del A. Huahuel Niyeu ha sufrido un significativo abatimiento de su nivel al punto de secarse, por lo que dicha instalación quedó inoperativa y en condiciones de deterioro.



Fotografía 6.9: Galería filtrante en Cañadón manantiales (COP-27).



Fotografía 6.10: Manantial y estanque del vivero forestal (COP-21).

6.3.4 Válvulas de Retención

El sistema de abastecimiento cuenta con 3 válvulas retención (así llamada por personal de la cooperativa), denominadas Paso Ferrocarril, Plaza La Trochita y Tope de Vía, que no se encuentran en servicio debido a la falta de capacitación del personal (está pendiente la realización de un curso de capacitación que sería dictado en la ciudad de Neuquén), lo cual se traduce en el deterioro del equipamiento y en la falta de regulación en diferencias de presión existentes. Lo último obliga a mantener encendidas continuamente las bombas de pozos para mantener los valores de presión necesarios. Esto conlleva un gasto adicional de energía, destacando además que uno de los principales problemas en la localidad son los cortes de suministro eléctrico, que al no existir un equipo generador complementario para suplir dichas contingencias genera que la provisión de agua dependa de la reserva acumulada en las cisternas. Otra complicación adicional radica en que para la ejecución de cualquier trabajo de reparación de la red de abastecimiento provoca que se deban realizar cortes programados del sistema, afectando a un gran número de usuarios.



Fotografía 6.11: Protección de la instalación.



Fotografía 6.12: Válvula de retención ubicada en Plaza La Trochita.

6.3.5 Cisternas

A mediados del mes de septiembre del 2021 fue inaugurada una nueva cisterna con una capacidad de 250 m^3 para la provisión de agua a la localidad, la cual se sumó a las siete (7) existentes. Con esta última construcción terminada existe una capacidad de almacenamiento total de unos 1100 m^3. A continuación se realiza una descripción de todas las cisternas existentes en la localidad:

- ***Cisterna Principal (500 m^3):*** Reservorio de mayor capacidad que recibe agua de una perforación aledaña (Perfo Cisterna Grande) y desde la Cisterna Alusa mediante tubería de 200 mm de diámetro. Sus cañerías de descarga se componen de caños de 160 mm y presenta adicionalmente una provisoria de 110 mm que deriva a barrios cercanos. Debido a tareas de pavimentación sobre la calle Fray Luis Beltrán hubo que profundizar ciertos tramos de las mismas desde 0,4 m a 1,2 m de profundidad. Ver Fotografía 6.13.
- ***Cisterna Nueva (250 m^3):*** Inaugurada en el mes de septiembre del 2021, actualmente solo deriva el excedente recibido desde la cisterna Principal. Se planteó la posibilidad de integrarla mediante una conexión proveniente de los manantiales Simionatto 1 y 2 (COP 23 y 24) los cuales se encuentran bloqueados por el propietario aledaño. Sumado a esto se planifica la instalación de más de 1800 m de red para el suministro del Barrio Centenario. Ver Fotografía 6.14.

Además de las cisternas principales de 500 y de 250 m^3, el sistema de abastecimiento cuenta con otras cisternas que complementan el aprovisionamiento de agua, las mismas son:

- ***Cisterna Alusa (75 m^3)***: Ubicada sobre la margen de la Ruta Nacional N°23, recibe el caudal bombeado de la batería de perforaciones aledañas (Alusa 1 a 3, Estaciones de Bombeo 4 a 6 y CFI-04). Además, se efectúa

la cloración en la misma, de aquí se re-bombea hacia la cisterna Principal, dicha derivación se encuentra automatizada mediante electroflotante. Ver Fotografía 6.15 y Fotografía 6.16.

- ***Cisterna del Faldeo RN23 (120 m^3):*** la misma está ubicada sobre el faldeo norte de la Ruta Nacional N°23 y recibe el bombeo de la perforación CFI-03 y desde la misma abastece a aproximadamente 80 familias en lo que se conoce como Barrio del Faldeo, además de las instalaciones del Aeropuerto. Aquí existe una necesidad de ampliación de la red debido al crecimiento de la población. No obstante, el sector se comprende de loteos sin mensura y el trazado de las cañerías no se conoce con precisión, lo que dificulta su modificación. Este sistema, no obstante, cuenta con válvulas de limpieza para su mantenimiento.
- ***Cisternas Cerro de La Cruz y Pequeña (20 m^3 y 10 m^3, respectivamente):*** La primera se encuentra en proximidades del Barrio de La Cruz (margen sur de la localidad), y recibe el re-bombeo de una cisterna Pequeña auxiliar (10 m^3) abastecida por el agua almacenada en la cisterna de 75 m^3. Este barrio comprende unas 15 a 20 familias.
- ***Cisterna Ceferino (120 m^3):*** Antiguamente recibía el caudal proveniente de las vertientes ubicadas en Cañadón manantiales, pero posteriormente se utilizaba como receptora del exceso de caudal en época invernal cuando había menor consumo, ya que no se apagaban las bombas y esto generaba rebalses frecuentes que provocaban anegamientos y numerosas quejas de parte de los usuarios cercanos.

  Actualmente está fuera de servicio ya que el agua captada en los manantiales es derivada directamente a la red de distribución, no obstante, al finalizar el invierno se lleva a cabo la limpieza de las captaciones en los manantiales de modo que transitoriamente el Barrio Ceferino recibe agua de la red proveniente de los pozos con conexión directa. Por su estado de deterioro no se recomienda su utilización, aunque hay intenciones por parte de la directiva de la Cooperativa de reactivar su uso como receptor y derivador hacia la cisterna nueva de 250 m^3 del caudal proveniente de los manantiales en situación de conflicto (Simionatto 1 y 2).

- ***Cisterna Plaza del Sol (16 m^3):*** Reservorio ubicado en la intersección de las calles José Ingenieros y R. Walsh (Barrio 50 Viviendas), la cual recibe agua desde la cisterna Principal de 500 m^3 mediante una derivación. La misma abastecía originalmente a unas 50 viviendas que se estima actualmente se ha ampliado a unas 80.



Fotografía 6.13: Cisterna Principal de 500 m³.



Fotografía 6.14: Cisterna Nueva de 250 m³.



Fotografía 6.15: Cisterna Alusa (75 m³).



Fotografía 6.16: Sistema de re-bombeo hacia cisterna principal.

6.3.6 Sistema cloacal

La localidad de Ingeniero Jacobacci cuenta con parte de su población conectada a una red de efluentes cloacales los cuales comprenden unos 300 usuarios a la fecha, representando sólo un 10% de los usuarios totales. Dicho sistema colecta a un desagüe que a través de una estación de bombeo (ubicada al final de la calle Roldan), rebombea a un piletón/reservorio aislado mediante membrana geotextil para su decantación. Luego de esto se recircula a un sistema de aireación o laberinto, el cual es el único tratamiento que reciben los efluentes.

La disposición final de estas aguas consiste en un sistema de riego vinculado mediante una cisterna de rebombeo desde donde es dirigida hacia una parcela de plantación de árboles ubicada a aproximadamente 300 metros aguas abajo (oeste) de la localidad. Actualmente hay planes de expansión de esta parcela mediante un programa Agro-Forestal que planea alcanzar un total de 600 árboles sobre un lote aledaño al anterior.

6.3.7 Recomendaciones

Al presentarse el inconveniente de no contar con datos certeros de volúmenes de explotación en los pozos de abastecimiento, que no cuentan con caudalímetros, es menester la colocación en boca de pozo de como mínimo una derivación o canilla de aforo, esto permitiría tener la posibilidad de llevar a cabo mediciones/aforos periódicamente y proveer un dato de caudal de extracción estimativo pero fehaciente sin una inversión considerable. Sin embargo, a largo plazo es recomendable que cada pozo cuente con su propio caudalímetro para determinar posibles mermas en los rendimientos, también es importante contar con caudalímetros a la salida de cada cisterna para evaluar posibles pérdidas en la red.

De las canillas de aforo mencionadas, solo cuentan los pozos conocidos como Equimac (COP-08), CFI-04 (COP-12), Alusa N°1 (COP-14), EB N°5 nuevo (COP-17), y Ceferino (COP-143), previendo una instalación de este desvío en el EB N°6 nuevo (COP-144).

En el caso de las vertientes es importante que se cuente con cámaras de registro que permitan la realización de aforo, para contar con datos y a largo plazo poder instalar caudalímetros en las cañerías de conducción.

Otra cuestión relativa a las características constructivas de las captaciones tiene que ver con el pre-filtro de grava, ya que la disponibilidad de la misma se encuentra limitada a las canteras de la región circundante, que proveen una granulometría y una composición no siempre acorde a lo requerido. Esto es importante principalmente para evitar el ingreso de sedimentos finos (arena y limos) a través del tramo filtrante, una situación recurrente en las captaciones subterráneas relevadas que incluso han dejado inoperativas varias perforaciones sin haber podido ser utilizadas mucho tiempo, es decir que implica directamente sobre la vida útil de la captación y en su capacidad de producción. Se hizo hincapié en la necesidad de poder contar con alguna malla o tamiz apropiado que permita la separación de granulometría no mayor a 4 mm de diámetro y lo más homogénea posible para ser utilizada en captaciones a construir.

Otro de los temas observados en diversos pozos es que las instalaciones de captación, ya sean las casetas, bocas de pozo, alambrados, etc. se encuentran en mal estado generalmente y con poca protección del ingreso de animales, suciedad o cualquier otro elemento contaminante. En base a esto es recomendable que cada pozo cuente con una caseta limpia, en buen estado de conservación, con tapa sanitaria en boca de pozo y que a su vez la caseta se encuentre cerrada para evitar el ingreso de cualquier animal y de las personas externas a la cooperativa o DPA.

Es importante destacar que siempre es recomendable que cada usuario del servicio cuente con un medidor de agua para poder evaluar los consumos de la población de manera más puntual y con mayor cantidad de datos.

En la Tabla 6.1 y Tabla 6.2 se presenta un resumen del estado en que se encuentran las captaciones y reservorios en la red de abastecimiento de Ingeniero

Jacobacci. Adicionalmente, el Anexo IX presenta un relevamiento fotográfico junto con un desarrollo de lo aquí mencionado.

Tabla 6.1: Resumen del estado de las captaciones en Ingeniero Jacobacci (sep. 2021).

Codigo	Descripción	Protección	Tapa sanitaria	Canilla de aforo	Estado de camisa	Dosificador de Cloro	Reemplazo sugerido	Observaciones
COP-01	Perfo Cisterna Grande	Cámara de hormigon	Nylon roto	No posee	Oxidado	No	Si	Suciedad y polvillo que ingresa por boca de pozo. Camisa con incrustaciones de óxido. Cambiar tapa sanitaria.
COP-02	Perfo. Mini Fabrica	Cámara de hormigon	Nylon roto	No posee	Oxidado	Goteo desde tanque	Si	Hojas y suciedad ingresa por boca de pozo. Cambiar tapa sanitaria.
COP-03	Perfo. Mini Fabrica viejo	Cámara de hormigon	Nylon roto	No posee	Oxidado	-	Si	Cambiar tapa sanitaria.
COP-04	Pessi	Cámara de hormigon	Nylon roto	No posee	Oxidado	En válvula aledaña	Si	Hojas y suciedad ingresa por boca de pozo, camisa oxidada. Cambiar tapa sanitaria.
COP-05	Pozo 23	Cámara de hormigon	Tapa plástica	No posee	Bueno	No	Desuso	Embancamiento de arena por ranura de filtro, ranurado excesivamente ancho permite ingreso de material.
COP-06	Pozo 2 de la 23	Cámara de hormigon	No posee	No posee	Bueno	No	Desuso	Embancamiento de arena por ranura de filtro.
COP-07	Pozo 3 de la 23	Cámara de hormigon	Nylon	No posee	Bueno	Goteo desde tanque	No	Cambiar tapa sanitaria.
COP-08	Equimac	Cámara de hormigon	Nylon	Si	Bueno	No	No	Cambiar tapa sanitaria.
COP-09	CFI 01	Cámara de hormigon	Nylon	No posee	Oxidado	No funciona clorador eléctrico	-	Ha mermado su rendimiento. Camara de protección algo deteriorada. Cambiar tapa sanitaria.
COP-10	CFI 02	Cámara de hormigon	Nylon	No posee	Regular	No	-	Cambiar tapa sanitaria.
COP-11	CFI 03	Cámara de hormigon	Nylon	No posee	Regular	No	-	Se evidencia cavitación de la bomba, merma de nivel dinámico durante bombeo. Cambiar tapa sanitaria.
COP-12	CFI 04	Cámara de hormigon	Nylon	Si	Bueno	En cisterna aledaña	-	Cambiar tapa sanitaria. Mantenimiento de camara.
COP-13	E.B. Nº 4	Caseta	Tapa metálica	No posee	Bueno	No	Si	Pozo de gran diámetro se sugiere su reemplazo por perforación entubada de PVC debido a bajo rendimiento.
COP-14	Alusa Nº 1	Cámara de hormigon	Nylon	Si	Bueno	En cisterna aledaña	-	Cambiar tapa sanitaria.
COP-15	Alusa Nº 1 (roto)	-	-	-	-	-	-	Abandonado.
COP-16	E.B. Nº 5	Caseta	Tapa metálica	No posee	Deteriorada	No	Reemplazado	Fuera de servicio por reemplazo.
COP-17	Reemplazo del E.B. Nº 5	Cámara de hormigon	Nylon	Si	Bueno	No	-	Cambiar tapa sanitaria.
COP-18	E.B. Nº 6	Caseta	Tapa metálica	No posee	Bueno	No	Reemplazado	Fuera de servicio por reemplazo.
COP-19	Alusa Nº 2	Cámara de hormigon	Nylon roto	No posee	Bueno	No	-	Cambiar tapa sanitaria.
COP-20	Alusa Nº 3	Cámara de hormigon	No posee	No posee	Bueno	No	-	Cambiar tapa sanitaria.
COP-27	Zanja Filtrante	Cámara de hormigon	Tapa de hormigón y nylon	No posee	-	Si	-	Mantenimiento de tapas de protección.
COP-143	Pozo Ceferino	Cámara de hormigon	Nylon roto	Si	Oxidado	No	Si	Cambiar tapa sanitaria. Mantenimiento de protección. Reemplazo por perforación entubada en PVC.
COP-144	Reemplazo del E.B. Nº 6	No posee aún	No posee	No posee aún	Bueno	No	-	Perforación recientemente ejecutada, falta engravar y terminar.
COP-148	Pozo Campo de doma	Cámara de hormigon	No posee	No posee	Bueno	No	-	Captación con residuos de perforación, se sugiere desarrollar para mejorar limpieza. Posible obstrucción de tramo filtrante por residuos.
COP-149	Pozo Plaza 1ros Pobl.	Cámara de hormigon	Nylon	No posee	Oxidado y corroido	No	En desuso	Pozo en desuso con exceso de residuos por camisa deteriorada. Se sugiere cegar con cemento.
COP-150	Pozo Cooperativa	Tapa de hormigón	Chapa oxidada	No posee	Oxidado y corroido	No	-	Pozo para uso de riego en plaza aledaña. Se sugiere su reemplazo por perforación entubada en PVC.

(Fuente: Hidroar S.A.)

Tabla 6.2: Resumen del estado de las cisternas y otros equipamientos (sep. 2021).

Item	Nombre	Tipo	Capacidad (m^3)	Observaciones
1	**Cisterna Principal**	Reservorio	500	Estructura de hormigón. Principal reservorio de la red de distribución.
2	**Cisterna Nueva**	Reservorio	250	Estructura de hormigón nueva con cerco de protección.
3	**Cisterna Alusa**	Reservorio de re-bombeo	75	Estructura de hormigón con sistema automático de electroflotante para sistema de re-bombeo hacia
4	**Cisterna Faldeo RN 23**	Reservorio	120	Estructura de hormigón con tapa. Posee flotante mecánico y llave by-pass para tareas de mantenimiento. No posee cerco de protección. Requiere mantenimiento de paredes externas por deterioro. Cañería de ingreso oxidada.
5	**Cisterna Ceferino**	Reservorio de re-bombeo	120	Estructura de hormigón con acceso mediante puerta metálica. Reservorio en desuso, presenta grietas y fisuras en sus paredes a raiz de esto. Requiere mantenimiento y reparaciones de cerco de protección. Suciedad en su interior. Caseta de panel de control e instalación eléctrica deteriorada.
6	**Cisterna Cerro de La Cruz**	Reservorio	20	Estructura de hormigon con acceso mediante puerta metálica superior. Posee electroflotante para automatización de llenado. Cerco de protección de alambrado faltante en un lateral por robo del mismo.
7	**Cisterna Pequeña**	Reservorio de re-bombeo	10	Cámara de hormigón con tapa. Posee flotante mecánico y bomba centrífuga para re-bombeo hacia cisterna Cerro de La Cruz. Oxidación de cañería de ingreso. Cerco de protección requiere mantenimiento y limpieza.
8	**Cisterna Plaza del Sol**	Reservorio	16	Reservorio elevado, posee electroflotante, se abastece con cisterna de recepción que lo llena mediante bomba centrífuga y flotante mecánico. Posee sistema de by-pass debido a cortes de luz para evitar el desabastecimiento.
9	**Galería filtrante (casilla)**	Captación	-	Captación en desuso por merma significativa de rendimiento. Queda equipamiento de bombeo en la instalación en estado de deterioro. Las conexiones de salida provenientes de captaciones aledañas presentan pérdidas de caudal
10	**Llaves de retención**	Válvulas	-	Válvulas de regulación de presión en desuso, se encuentran ubicadas en tres locaciones de la red. Poseen tapas metálicas y requieren mantenimiento y limpieza.

(Fuente: Hidroar S.A.)

6.4 Consumos en Ingeniero Jacobacci

Se cuenta con datos de consumo registrados por la Cooperativa de Agua para el período 2010 – 2017 (*Informe estadístico de consumos de Agua CPA, 2017*), y hasta el mes de octubre de 2021. Tal como es mencionado en el informe redactado en el año 2018 por el Lic. Gustavo Olivares, dichos consumos registrados no se condicen con la capacidad de funcionamiento del sistema de abastecimiento (pozos y vertientes operando al 100% de su rendimiento), particularmente en época estival donde se producen los consumos más elevados. La carencia de registros de caudales de extracción desde los pozos y medidores de consumo de agua por usuario dificulta o no permite contrastar los registros de consumo con los extraídos en las captaciones y de esta manera obtener un rendimiento estimativo, evaluar pérdidas en cañerías/conexiones, y existencia de conexiones clandestinas y/o subfacturación de consumos.

Respecto al consumo eléctrico de la red, ha sido importante el reemplazo de las bombas que se encontraban sobre-dimensionadas para la captación e implicaban un gasto energético innecesario ya que trabajaban a régimen forzado al estar su válvula exclusa semi-cerrada con un mayor consumo sin ser aprovechado.

Una cuestión no menos importante es la falta de instrumentos de medición de nivel de agua para el monitoreo periódico de los pozos, lo que permitiría evaluar sobreexplotaciones del acuífero, variación en el tiempo de niveles de agua (evitando descensos inesperados) y prevención de cavitación en bombas que podría dejarlas fuera de servicio. En base a esto se sugirió e instruyó al personal de la Cooperativa en la fabricación de sondas piezométricas caseras mediante el uso de componentes simples (carretel, cable doble, plomada y multitester) que no conllevan costos significativos y permitirán obtener una herramienta indispensable para el control/monitoreo de niveles dinámicos.

Cabe destacar que los trabajos realizados para la pavimentación de la Ruta Nacional N°23 implican un consumo adicional de agua que las autoridades de la Cooperativa de agua han estimado en hasta un tercio del estipulado diariamente para usuarios de la localidad, lo cual no se registra en los consumos de la localidad ya que estas obras se abastecen por medio de aguadas construidas sobre el valle del Arroyo Huahuel Niyeu hacia aguas arriba de la localidad de Ingeniero Jacobacci.

En el año 2017 se realizó un informe estadístico de los consumos de agua en la localidad de Ing. Jacobacci (CPA/ITS, 2017), dichos datos fueron actualizados tomando en cuenta una población estimada a partir del último Censo Nacional Estadístico (INDEC, 2010) y los registros de consumo y cantidad de asociados aportados por la Cooperativa de agua. En la siguiente Tabla 6.3 y en las figuras posteriores puede observarse una caracterización del mismo durante el período enero 2010 – octubre 2021 en base a lo mencionado anteriormente, presentando el consumo total para cada mes con su valor promedio, máximo y mínimo (Figura 6.3), un análisis de la variación para cada mes del año (Figura 6.4), de los consumos

mensuales a lo largo del período estudiado (Figura 6.6) y un análisis del consumo diario promedio por habitante con valores máximos y mínimos (Figura 6.5).

Tabla 6.3: Registros de consumo promedio por mes (2010 – 2021).

2010-2021	Promedio			Maximo			Minimo		
Período	m^3/mes	m^3/día	lts/dia/hab	m^3/mes	m^3/día	lts/día/hab	m^3/mes	m^3/día	lts/dia/hab
Enero	40210,83	1297,12	166,24	45529	1468,68	218,93	31887	1028,61	130,16
Febrero	40938,42	1459,07	186,64	49508	1768,14	249,03	29399	1013,76	144,58
Marzo	31797,08	1025,71	130,10	40157	1295,39	161,92	22818	736,06	111,46
Abril	29826,17	994,21	127,81	34201	1140,03	161,22	25020	834,00	90,16
Mayo	24020,25	776,59	99,25	36897	1190,23	148,78	19501	650,03	76,64
Junio	23315,83	777,19	98,99	39588	1319,60	160,93	13270	442,33	65,53
Julio	21539,17	694,81	88,93	25470	821,61	107,26	17645	569,19	69,10
Agosto	23645,42	762,76	97,16	26994	870,77	116,10	18352	592,00	84,87
Septiembre	25280,75	842,69	108,36	32664	1088,80	145,17	21462	715,40	79,44
Octubre	29094,00	938,52	119,40	36377	1173,45	152,40	22211	716,48	103,34
Noviembre	32107,64	1070,25	140,71	37525	1250,83	168,76	26870	895,67	102,95
Diciembre	40693,45	1312,69	172,63	53546	1727,29	237,79	34296	1106,323	127,16

(Fuente: Hidroar S.A.)

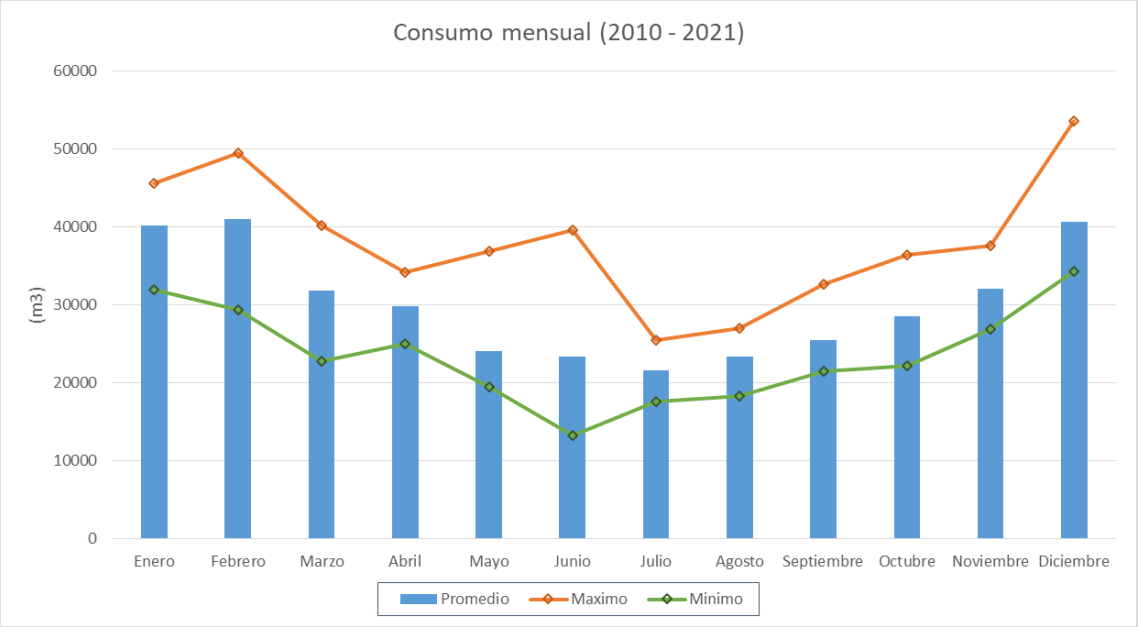


Figura 6.3: Consumo total promedio mensual (ene-2010 a oct-2021).

A partir de la figura anterior puede observarse, como es esperable, que los mayores consumos se producen en los meses de verano (diciembre – febrero), alcanzando los mínimos de consumo para el período invernal (mayo – agosto).

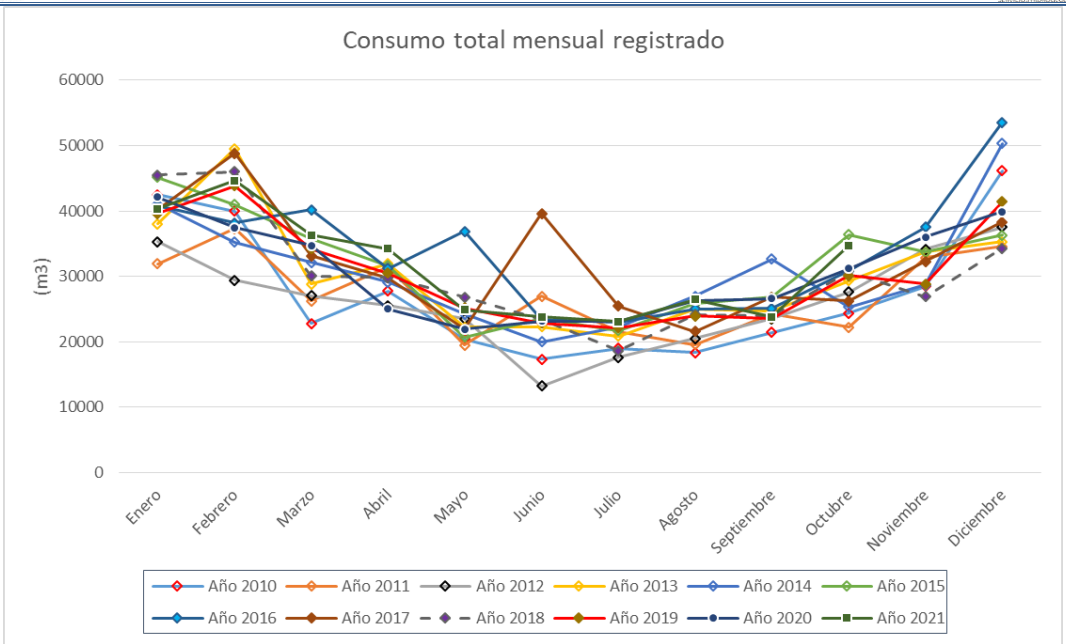


Figura 6.4: Análisis del consumo total mensual registrado (ene 2010 – oct 2021).

En el gráfico anterior se puede observar que el consumo de cada mes a lo largo de los años ha presentado un comportamiento similar, exceptuando algunos valores anómalos. Llama la atención que no se observa un aumento progresivo de los consumos a lo largo de los años, sino que los consumos han aumentado y decrecido dentro de un rango de aproximadamente 10.000 m^3 de variación.

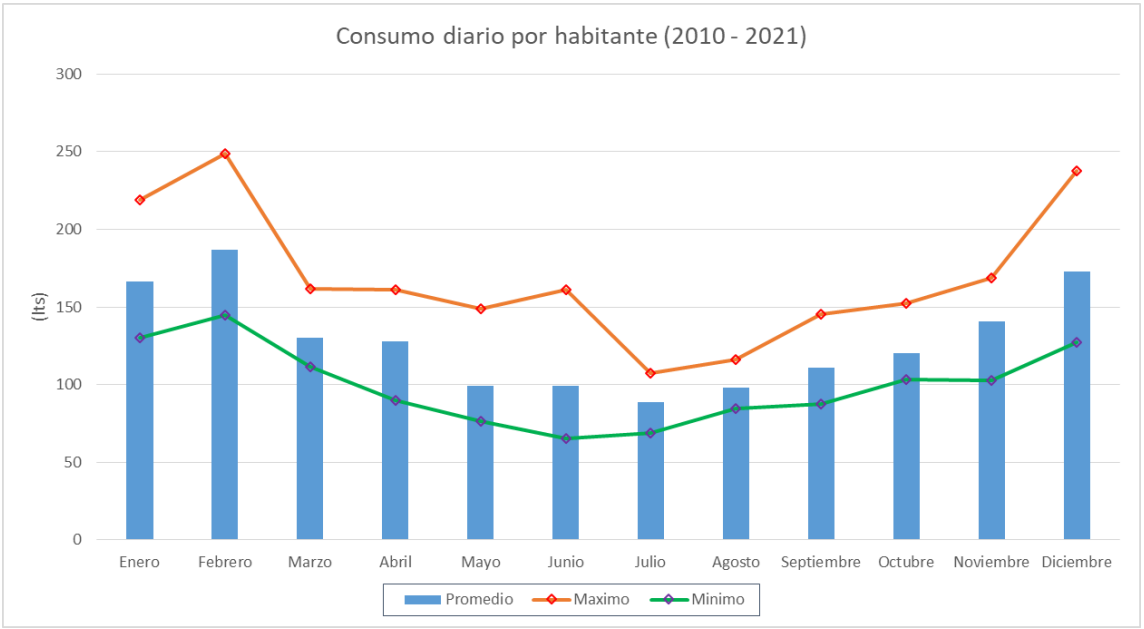


Figura 6.5: Consumo diario promedio por habitante registrado (ene 2010 a oct 2021).

La figura anterior muestra que en general los consumos por habitante se encontrarían por debajo de los 200 l/día, lo cual sería una situación ideal, pero que, en base a las incongruencias que se detallaron y a la falta de información que permita corroborar estos datos, no estaría reflejando la realidad.

Al contar con datos de población desactualizados, también se analizó los consumos registrados en función de la cantidad de asociados a la Cooperativa de

agua y con una evolución estimada de la población a partir del último registro oficial (Censo 2010, INDEC). Al año 2010 la Cooperativa registraba unos 2200 asociados y en 2021 ese número se había extendido a 2750, indicando un aumento del 25%. Por su lado, la población censada en el mismo período aumentó desde 6.261 habitantes censados a un estimado de 10.000 habitantes, lo que representaría un 60% de aumento. A partir de lo anteriormente mencionado, la Figura 6.6 muestra la variación de los consumos mensuales a lo largo de los años durante el período estudiado.

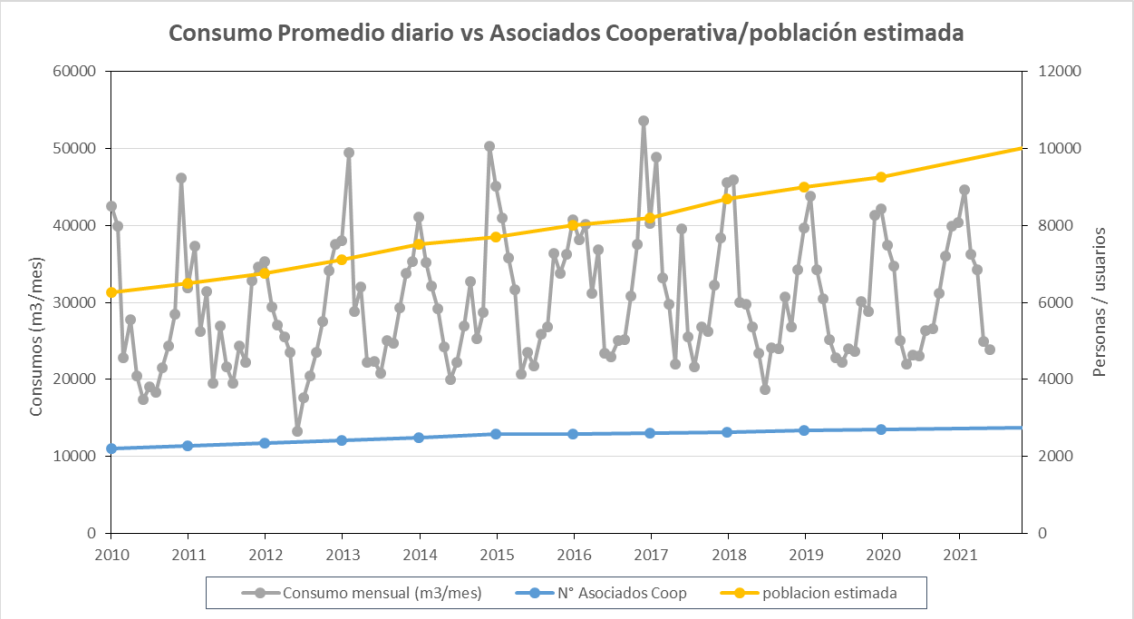


Figura 6.6: Consumos mensuales para el período 2010-2021.

Como puede observarse, los consumos mensuales presentaron una variación esperable de manera intra-anual, con máximos anuales en los meses de verano. Sin embargo, se puede observar que a lo largo de los años el volumen total consumido no presenta ningún aumento interanual, lo cual no se explicaría ya que lo esperable es que al aumentar la población aumente la demanda de agua, y por ende, el consumo. Lo mencionado en el párrafo anterior puede verse claramente en la Figura 6.7, que muestra los consumos totales anuales vs. la cantidad de habitantes y de asociados. Esta situación podría indicar que existe un sesgo en la medición de los consumos y/o una cantidad de conexiones a la red de agua que no se encuentran oficializadas. Ante lo expuesto se recomienda realizar una investigación para confirmar tales presunciones.

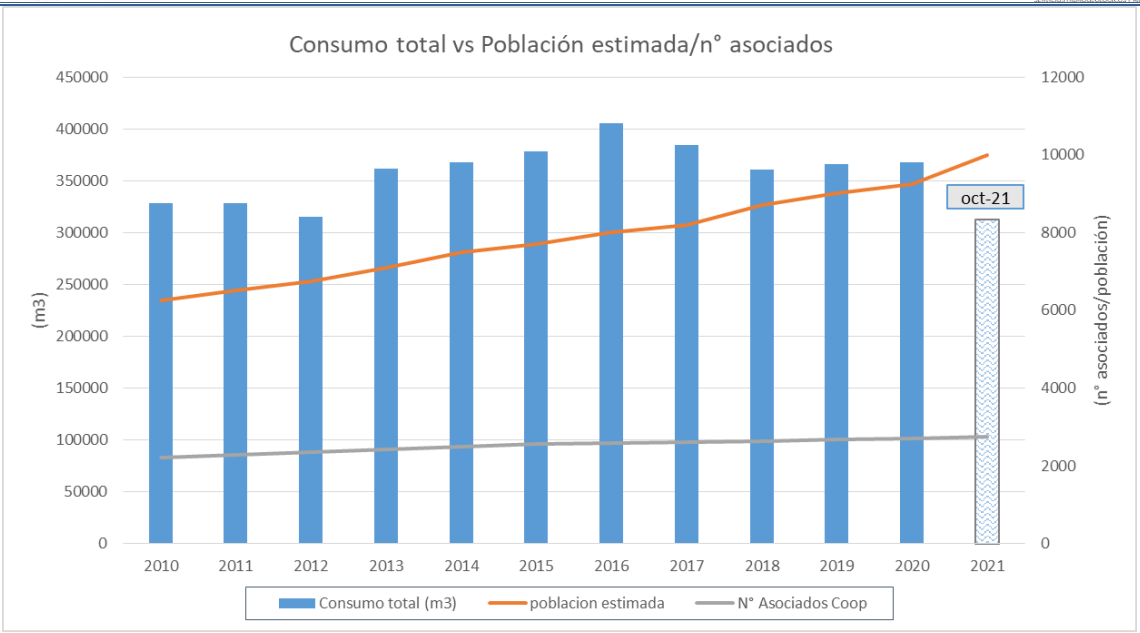


Figura 6.7: Consumo total registrado anual (período 2010 – oct 2021).

En base a lo anteriormente mencionado, donde el número de habitantes ha aumentado, pero no así el volumen consumido de agua, se produce que desde el año 2016 en adelante se ha registrado una tendencia a la baja en el consumo por asociado, lo cual no es la situación esperada, reforzando la idea que los volúmenes consumidos de agua no son los correctos, ver Figura 6.8. Sumado a esto, al no contar con mediciones de caudal extraídos en boca de pozo se hace más complicada una evaluación fehaciente de los volúmenes extraídos.

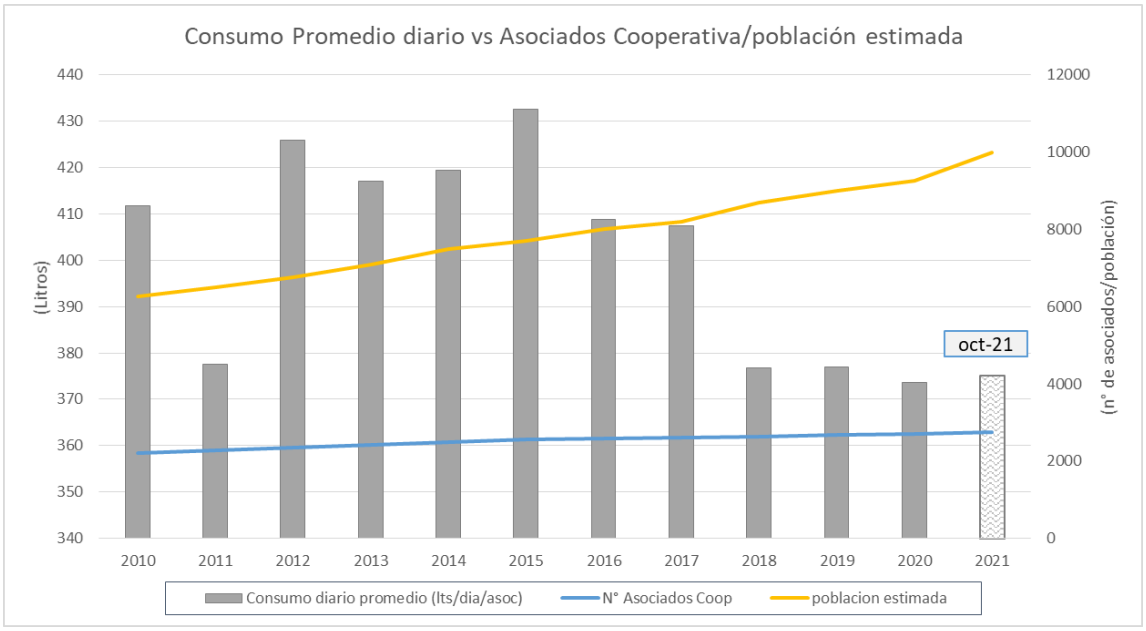


Figura 6.8: Consumo diario promedio en función de N° Asociados y población estimada.

Como se mencionó anteriormente, es evidente que existe una sub-cuantificación del caudal registrado al menos para el período 2016 – 2021. En la siguiente Tabla 6.4 se realiza una estimación del caudal extraído de las captaciones de abastecimiento en Ing. Jacobacci en base a valores medidos durante ensayos de

bombeo y aforos, además de caudales estimados por la cooperativa de aguas para los pozos que no cuentan con canilla de aforo/caudalímetro.

Tabla 6.4: Estimación de caudal extraído en red de abastecimiento.

Codigo	Nombre (Coop)	Q (m3/h)	Medido	Estimado*	Observaciones
COP-01	Perfo Cisterna	2,9		x	Sin canilla de aforo/caudalimetro
COP-02	Minifabrica	9		x	Sin canilla de aforo/caudalimetro
COP-04	Pessi	9		x	Sin canilla de aforo/caudalimetro
COP-07	Pozo 3 de La 23	10		x	Sin canilla de aforo/caudalimetro
COP-08	Equimac	15,77	x		Pozo aforado durante ensayo de bombeo
COP-09	CFI-01	8		x	Sin canilla de aforo/caudalimetro
COP-10	CFI-02	10		x	Sin canilla de aforo/caudalimetro
COP-11	CFI-03	10		x	Sin canilla de aforo/caudalimetro
COP-12	CFI-04	14	x		Pozo aforado durante ensayo de bombeo
COP-13	E.B. N°4	4,5		x	Sin canilla de aforo/caudalimetro
COP-14	Alusa n°1	10,78	x		Pozo aforado
COP-17	E.B.n°5 (nuevo)	8,43	x		Pozo aforado
COP-18	E.B.n°6	5		x	Sin canilla de aforo/caudalimetro
COP-19	Alusa n°2	10		x	Sin canilla de aforo/caudalimetro
COP-20	Alusa n°3	10		x	Sin canilla de aforo/caudalimetro
COP-27	Zanja filtrante	7		x	Sin canilla de aforo/caudalimetro
COP-143	Pozo Ceferino	4,05	x		Pozo aforado
COP-144	E.B. n°6 (nuevo)	s/d			Reemplazo de E.B.n°6. A terminar (octubre 2021)
	Total (m3/h)	148,43			

* Mediciones/estimaciones de informe 2018 (DPA, Gustavo Olivares)

(Fuente: Hidroar S.A.)

La capacidad total máxima de explotación arroja un caudal de 148,43 m^3/h, estimada a partir de la sumatoria de los caudales de todas las captaciones disponibles. Tomando en cuenta un funcionamiento continuo de 24 hs da como resultado un valor de 3.562,32 m^3/día. Si comparamos este dato con el máximo valor promedio de consumo registrado de 1768,14 m^3/día (Feb-2013), se obtiene que la capacidad máxima del sistema representa aproximadamente el doble del consumo máximo registrado. Según lo informado por los técnicos de la Cooperativa, el sistema de abastecimiento funciona al límite de su capacidad en la época de verano (diciembre a febrero), por lo que el máximo valor medido de consumo diario no se condice con la capacidad de producción de la red de abastecimiento, lo que deja en evidencia que los volúmenes de consumo registrados están muy por debajo de los reales.

7 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL PRELIMINAR

El presente inciso presenta de manera preliminar el Modelo Hidrogeológico Conceptual de la cuenca del Arroyo Huahuel Niyeu, el cual se ha definido en base a toda la información detallada en los incisos y estudios previos.

La cuenca de estudio presenta una extensión oeste-suroeste a este-noreste, donde el principal curso de agua corresponde al arroyo que le otorga su nombre a la cuenca y que corre de manera permanente en su zona de nacientes hasta infiltrarse por completo en las cercanías de Jacobacci. Si bien no se encuentran espejos de agua permanentes en la zona de estudio, pueden mencionarse algunos bajos donde el agua se acumula hasta infiltrarse o evaporarse. Por fuera de la cuenca de estudio aparecen las Lagunas Carri Laufquen, que presentan regímenes temporarios y corresponden al nivel de base de la cuenca regional homónima a estos cuerpos de agua.

El clima de la zona está caracterizado entre desértico frío y semiárido templado y frío, con precipitaciones pluviales y nivales que totalizan un promedio de 200 mm/año y que correspondería a la única forma de recarga autóctona de los acuíferos de la zona.

Las principales unidades hidrogeológicas de interés y de mayor desarrollo para la zona son los sedimentos cuaternarios y las vulcanitas cenozoicas, que se encuentran a lo largo de toda la zona de estudio y que condicionan la geomorfología, donde prevalecen las terrazas y planicies aluviales y las mesetas basálticas, relacionándose las primeras a los sedimentos cuaternarios y las segundas a las vulcanitas. Por debajo de estas dos unidades aparecen las sedimentitas Cretácico-Terciarias; y hacia las nacientes de la cuenca y en el subsuelo aparece también el Basamento Hidrogeológico Regional (vulcanitas mesozoicas con riolitas, andesitas, tobas, brechas volcánicas, etc. de la Fm Taquetrén y/o Fm Garamilla, que junto con las sedimentitas, se encuentra en el paisaje formando los relieves erosivos de la región.

Considerando las características mencionadas, y en base a las observaciones de campo y trabajos previos, se ha determinado que el acuífero de mayor interés hidrogeológico corresponde al acuífero primario, alojado en los sedimentos cuaternarios del valle principal del Arroyo Huahuel Niyeu, el cual se recarga directamente de las precipitaciones (pluviales y nivales) y de la infiltración del arroyo mencionado. Este acuífero está compuesto por una serie de unidades de características acuíferas y acuícludas/acuitardas que conforman un sistema multiacuífero que abarca el acuífero freático junto con al menos dos niveles confinados a semiconfinados. Estas 3 unidades han sido detectadas en la zona de Ingeniero Jacobacci y alrededores inmediatos, destacando que, hacia la zona de nacientes y desembocadura del arroyo, los niveles confinantes podrían desaparecer conformando un solo acuífero. Según los datos recabados, el acuífero primario tendría transmisividades variables entre 80 y 300 m^2/día y espesores entre 10 y 30

m siendo los rendimientos medios de los pozos de agua en Ing. Jacobacci entre 7 y 12 m^3/h.

El acuífero primario estaría apoyado sobre la Fm. Angostura Colorada en la zona cercana a la localidad mencionada, si bien en otros sectores podría disponerse sobre otras sedimentitas o vulcanitas o incluso el basamento hidrogeológico en la zona de nacientes. Estas últimas formaciones mencionadas suelen presentar características típicas de acuícludos o acuífugos, sin embargo podrían presentar comportamientos de acuífero secundario, como se ha visto en otras zonas cercanas, especialmente para las Fm. Taquetrén y Angostura Colorada, que han demostrado portar acuíferos de buenos rendimientos y calidades. Para la zona de estudio se observó en el pozo NYU-77, el cual se sitúa sobre la Fm. La Pava, un acuífero secundario pobre de transmisividad de 2 m^2/día y permeabilidad de 0,09 m/día, si bien esto no sería indicativo de las características de los acuíferos secundarios de la zona debido a la alta variabilidad que los caracteriza. La recarga para estas unidades se daría de manera directa por medio de la precipitación infiltrada en las zonas de afloramientos fracturados o de manera indirecta a partir del acuífero primario suprayacente.

Es importante realizar una mención aparte para las mesetas basálticas, donde la recarga se genera por las precipitaciones que infiltran por las fracturas basálticas (típicamente verticales), predominando así un flujo vertical con sentido descendente hasta toparse con un estrato de menor permeabilidad, generando ello un cambio de sentido del movimiento, pasando a predominar la componente horizontal. Finalmente, el agua fluye y se acumula en subsuelo o bien puede toparse con la topografía (superficie del terreno), generando manantiales y mallines con típica distribución a lo largo de frentes basálticos en cañadones, al pie de mesetas o simplemente distribuidos en sitios específicos. A gran escala, este acuífero secundario y estos manantiales no suelen proveer grandes caudales, pero si cuentan con las ventajas de ser perennes en algunos casos y contar con aguas jóvenes, poco enriquecidas en sales y con gran capacidad para abastecer puestos o establecimientos alejados o para adicionarse a la explotación de otros acuíferos, como es el caso de la localidad de Ing. Jacobacci.

El flujo subterráneo regional presenta la misma dirección que el escurrimiento superficial, es decir oeste-suroeste hacia el este-noreste, mientras que más localmente presenta sentidos desde las márgenes de los valles o quebradas hacia el centro de las mismas. Para la zona de Ingeniero Jacobacci y del valle del Arroyo Huahuel Niyeu, esto sería de sur a norte para la margen sur y de norte a sur para la margen norte.

En general las aguas de la región suelen ser Bicarbonatadas sódico-cálcicas tanto de manantiales (acuífero secundario) como de pozos (acuífero primario), destacando que las primeras cuentan con cargas iónicas menores que las segundas debido a que se trata de aguas jóvenes y de poco trayecto desde su zona de recarga. Se destaca sin embargo que hacia aguas abajo de Ingeniero Jacobacci

parecería observarse un aumento del ion Cl^- en las aguas del acuífero primario, pasando en algunos casos a ser Cloruradas sódico-cálcicas. En prácticamente todos los casos se trata de aguas dulces, incluso hacia la zona de descarga. Con respecto al pH del agua predominan los valores neutros a ligeramente alcalinos, encontrándose dentro de los límites aceptables para bebida humana. Esto podría estar sucediendo debido al enriquecimiento en sales de las aguas subterráneas al fluir y alejarse de las nacientes o de su zona de recarga, lo cual se evidencia observando la correlación entre el mapa equipotencial y los aumentos de conductividad eléctrica.

La Figura 7.1 muestra una sección esquemática del Modelo Hidrogeológico Conceptual para la zona de nacientes de la cuenca de estudio, mientras que la Figura 7.2 lo hace para la zona de Ingeniero Jacobacci.

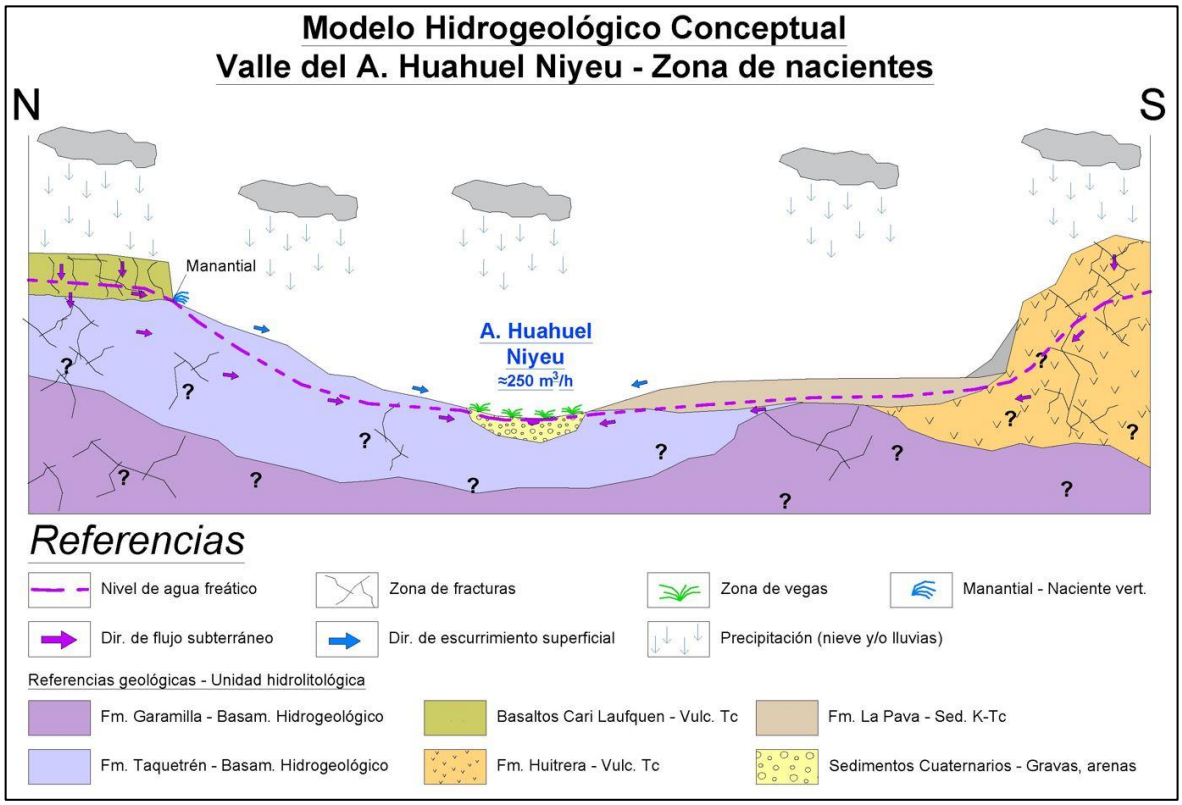


Figura 7.1. Modelo Hidrogeológico Conceptual Preliminar del A. Huahuel Niyeu, zona de nacientes.

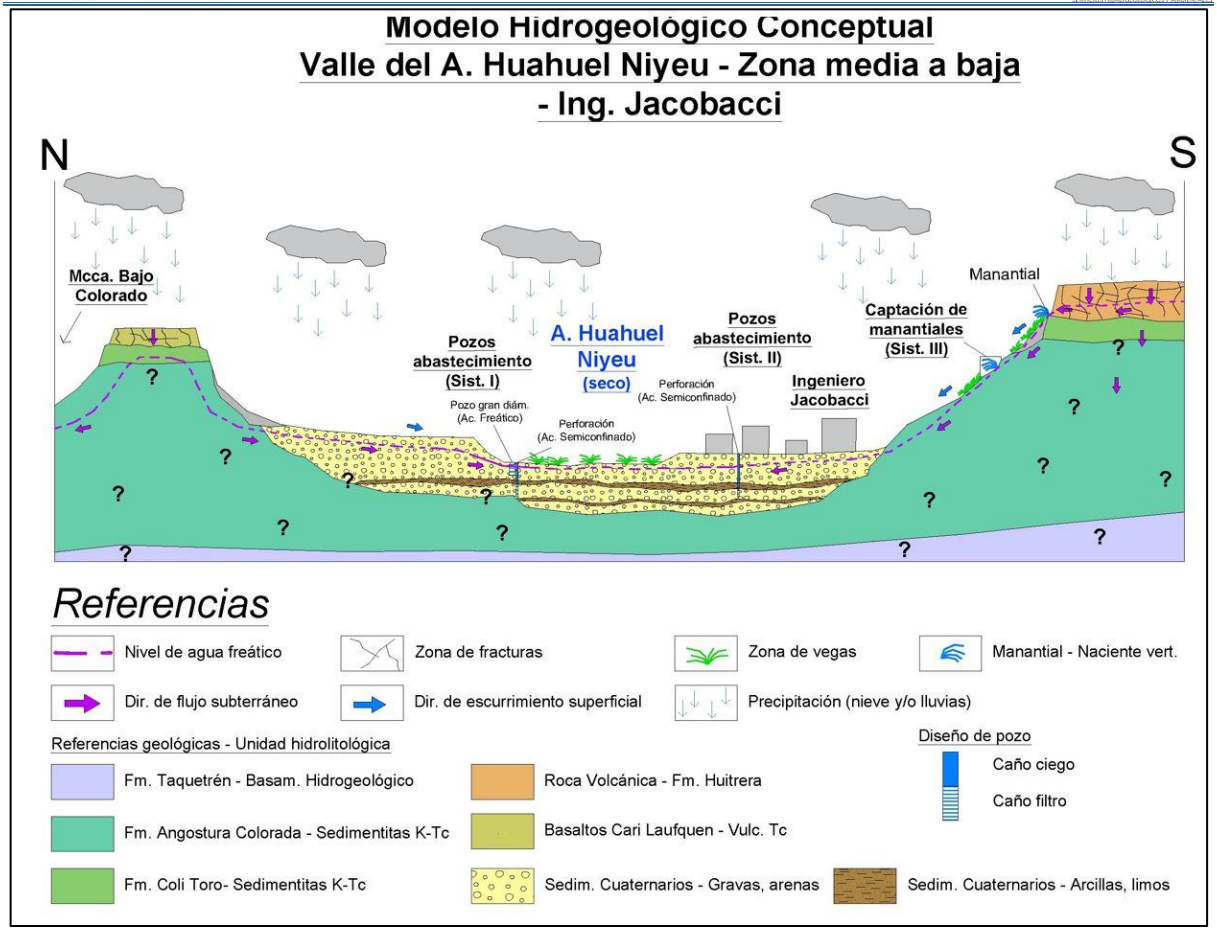


Figura 7.2. Modelo Hidrogeológico Conceptual Preliminar del A. Huahuel Niyeu, zona Ing. Jacobacci.

8 BALANCE HIDROLÓGICO PRELIMINAR

El presente inciso realiza una descripción de las principales variables hidrológicas e hidrogeológicas que actúan sobre la cuenca de estudio, realizando con los datos disponibles un balance preliminar de los ingresos y egresos de agua en la cuenca hídrica.

El término balance hidrológico se refiere a las relaciones entre las ganancias y pérdidas de agua (en forma de precipitación, evapotranspiración, escorrentía y/o almacenamiento superficial/subterráneo), bien en una región o cuenca concreta y/o para una estación o período determinado.

Las ganancias o ingresos de agua se producen a través de las precipitaciones (pluviales o nivales) y las pérdidas o egresos ocurren debido a los procesos de evapotranspiración, que involucran a la evaporación directa de las superficies de agua y de la humedad del suelo y al agua que transpiran los vegetales a través del follaje luego de extraerla del suelo. En cuencas exorreicas también actuarían los egresos en forma de escurrimiento superficial y de infiltración (que es asimilable al flujo subterráneo).

Cuando la pérdida mensual o anual de humedad excede a la precipitación, resulta un balance deficitario, que genera falta de humedad en el suelo; cuando la

precipitación es mayor a las pérdidas resulta un excedente que permite recuperar la humedad del suelo. Cada región o cuenca posee valores diferentes, tanto para la precipitación como para la evapotranspiración, ya que dependen de sus propias condiciones climáticas.

El balance hidrológico simplificado utilizado para estimar los excedentes de agua de la cuenca de estudio puede representarse por la siguiente ecuación:

$$\Delta Ssup + \Delta Ssub = P - ETR - I - Esup$$

Dónde:

ΔSsup: variación del almacenamiento superficial

ΔSsub: variación del almacenamiento subterráneo

P: precipitación

ETR: evapotranspiración real

I: infiltración o recarga neta

Esup: escurrimiento superficial

Considerando el balance en términos de régimen permanente, donde las entradas y salidas del sistema son igual a cero, hecho que puede representarse al considerar un período prolongado de tiempo, la variación del almacenamiento superficial y subterráneo es nula por lo cual la ecuación puede simplificarse en:

$$P = ETR + I + Esup$$

Si bien la cuenca del A. Huahuel Niyeu se encuentra dentro de la gran cuenca endorreica Carri Laufquen, el estudio abarca todo el escurrimiento desde sus nacientes hasta su salida en la confluencia con el A. Maquinchao, tratándose por ello de una cuenca exorreica. A los fines prácticos basados en la información previa y generada en el presente estudio, el balance hídrico se hará para una sección imaginaria N-S que atraviesa el valle aluvial en la localidad de Ing. Jacobacci.

La participación del escurrimiento superficial en climas áridos, se encuentra limitada muchas veces a la época del año, a períodos húmedos prolongados o bien a precipitaciones tempestivas que suelen darse pocas veces al año, cada un lustro, decenio, etc. Según información de pobladores entrevistados, el A. Huahuel Niyeu, no lleva agua desde hace varios años, sin tener datos históricos que permitan identificar con exactitud tal comportamiento. En tal sentido para el presente análisis se ha considerado esta variable saliente como nula (coincidente al menos con el momento de realizado este estudio), suprimiendo el escurrimiento superficial “Esup” de la ecuación, resultando así una expresión reducida como representativa del balance hídrico de la cuenca:

$$P = ETR + I$$

Adicionalmente, es importante considerar que en la cuenca las localidades y los pobladores hacen uso del recurso subterráneo mediante el bombeo en pozos excavados y perforaciones. A raíz de esto es importante considerar la extracción de agua subterránea por bombeo en la ecuación anterior. El único dato existente y oficial es de un consumo aproximado de 350.000 m^3/año o 0,35 Hm^3/año para

Ingeniero Jacobacci, destacando que no se trata de un dato validado (ver inciso 6.4). Partiendo de antecedentes de consumos de agua en la región y siendo conservador, se ha estimado un consumo de 588.000 m^3/año 0,59 Hm^3/año (60% adicional de lo medido por ineficiencia de registros y usuarios no registrados y luego un 5% del total extra que representa a los pobladores rurales y la localidad de Ojos de Agua).

Por otro lado la Infiltración neta que atraviesa una sección de interés puede ser interpretada como la suma del escurrimiento o flujo subterráneo más las extracciones que se extraigan por medio de captaciones de agua. Así la ecuación sería:

$$\mathbf{P = ETR + Esubt + Ext}$$

Donde:

Esubt: Escurrimiento o flujo subterráneo

Ext: Extracción de agua subterránea

Cabe destacar que la extracción de agua tendrá una influencia directa con el flujo subterráneo (Esub), ya que el agua que se extrae del acuífero genera un cambio de gradiente hacia aguas abajo de la cuenca, donde se encontraría la salida de agua subterránea de la cuenca. Para calcular la estimación del flujo subterráneo (equiparable a la Infiltración) se utilizó la fórmula:

$$\mathbf{Q_{subt} = T \times i \times m}$$

Donde:

Q_{subt}: Caudal subterráneo

T: Transmisividad del acuífero

i: Gradiente hidráulico

m: Longitud de sección

Según la fórmula anterior, y en base al mapa equipotencial obtenido (inciso 5.4.4), considerando un gradiente de 0,3% (0,003), una T promedio de 190 m^2/d y una sección transversal de 3000 m, se obtuvo un caudal estimado de 0,624 Hm^3/año. Este dato si bien es el resultado de mediciones tomadas en el terreno, presenta limitaciones significativas a la hora de asumir al mismo por válido, por lo que no debería tomarse como tal.

Como se expone más adelante, varias observaciones permiten hacer una serie de hipótesis que deberán confirmarse en futuras investigaciones hidrogeológicas. A continuación se exponen las limitaciones mencionadas:

- No se dispone de información de unidades litológicas inferiores (mayores a los 20-30m),
- El dato de Transmisividad se limita a datos de 2-3 pozos en un área muy reducida dentro del ejido de Ing. Jacobacci.
- En la cuenca alta del A. Huahuel Niyeu se ha corroborado mediante aforos caudales de 255 m^3/h (2,2 Hm^3/año) que se infiltran totalmente unos 20 km aguas arriba de Ing. Jacobacci.

- El Arroyo Yuquiche, tributario del A. Huahuel Niyeu, con una subcuenca de superficie importante y que conforma el sector sur de la cuenca del A. Huahuel Niyeu, no presenta escurrimiento superficial en forma continua. Sin embargo, es de esperarse que subterráneamente exista un flujo de interés.
- Existen estimaciones de infiltración para la región del orden del 5 al 10% de la precipitación, las cuales no se corresponderían con las mediciones y cálculos realizados para la cuenca de estudio.

  En zonas áridas como las presentes en el área de estudio, podría suponerse erróneamente que las elevadas estimaciones de evaporación evitarían una recarga hacia el acuífero, lo cual no es correcto ya que si esto sucediera no existirían acuíferos explotables en la zona. En la realidad, existen algunos mecanismos naturales de recarga rápida que son comunes en la región y que explicarían la presencia de agua subterránea en zonas áridas, estos son:
  - Reducción real de las pérdidas consuntivas: El clima de la región es árido y consecuentemente la vegetación es de tipo xerófita. Estas especies están preparadas para obtener únicamente agua para subsistencia, sin generar evapotranspiración real, ya que su adaptación especializada hizo que carezcan de estomas y presenten adaptaciones especiales como lo son las espinas, cutículas, suculencias, flores efímeras, etc., minimizando toda posibilidad de evapotranspiración. El agua infiltrada de las precipitaciones es en parte absorbida por las plantas, aunque en su mínima expresión, pasando el resto al dominio de las aguas subterráneas.
  - Infiltración rápida: Este proceso es habitual ante la presencia de suelos generalmente de alta permeabilidad (Ej. rodados patagónicos o rocas con alta fracturación), la baja o nula retención de los suelos, y la superficie freática profunda (Hernández et al. 2002).
  - Recarga diferida: Este proceso incluye los aportes de agua infiltrada por nieve, heladas y suelos congelados, durante la estación invernal y habitualmente hasta fines de primavera en coincidencia con las mayores temperaturas y los deshielos. Este atributo es muy significativo, ya que ocupa amplias extensiones y suele ocurrir en forma lenta pero constante, alejada de los efectos consuntivos (meses de baja EVT). En otros casos el volumen precipitado durante el invierno en forma de nieve o hielo se derrite, provocando una alta acumulación temporal de agua que favorece los efectos de infiltración.

- Influencia de cursos perdedores: Como sucede en la gran mayoría de los ríos y arroyos de Patagonia extra-andina, los cursos son perdedores (influentes), es decir que pierden agua hacia el acuífero. Suelen ser interesantes los acuíferos generados a partir de cursos perennes ante el constante aporte, y su buena calidad. El Arroyo Huahuel Niyeu presenta una constante interacción con el medio subterráneo en la zona de nacientes, donde comienza a escurrir a partir de manantiales para luego infiltrarse completamente.
- Superficies horizontales y/o subhorizontales: Las amplias superficies del terreno con escasa pendiente, granulometría permeable (arenas, gravas) o afloramientos de rocas fracturadas (rocas volcánicas principalmente) y condiciones atmosféricas favorables (meses de reducida ETo) favorecen los mecanismos de infiltración al subsuelo. Ejemplo de estas áreas son las mesetas basálticas típicas de la región.
- Estos procesos permiten suponer una mayor infiltración a la esperable según el balance, la cual sería distribuida de forma areal discriminando sectores según las distintas características de cada zona (Hernández et al. 2.002).

Tal como fuera expuesto anteriormente, los ingresos de agua a la cuenca provienen de la precipitación, cuyo valor medio ha sido estimado en 200 mm/año, o 314 Hm^3/año para el área de la cuenca que alcanza hasta Ing. Jacobacci (1570 km^2). A raíz de esto, y basándose en estudios hidrológicos realizados en diferentes ámbitos de la región Patagónica, se asumirían valores conservadores de infiltración del 5% de la precipitación, representando ello 10 mm/año o 15,7 Hm^3/año.

Partiendo de las observaciones precedentes y del análisis de la infiltración, se abren diferentes hipótesis para interpretar como sería el flujo subterráneo en el valle del A Huahuel Niyeu, infiriéndose un valor mínimo de 5 Hm^3/año y máximos que podrían alcanzar los 15 Hm^3/año (dependiendo del período analizado, sean años, lustros o decenios secos y/o húmedos). De esta manera se tomaría consiguientemente 10 Hm^3/año como valor promedio para la infiltración y el flujo subterráneo, en una sección aguas arriba de Ing. Jacobacci, representando un 3,2% de la precipitación. Se destaca que este valor sería un promedio asimilable a toda la cuenca, ya que de manera local este valor sería mucho más variable.

Por su parte, la ETo rondaría los 630 mm/año, o 989 Hm^3/año, si bien es sabido que este valor no es aplicable ya que ETR ≤ Ppt. A partir de esto último se plantea entonces que la ETR sea la incógnita de la ecuación, quedando la ecuación de balance como:

$$\mathbf{ETR = P - (Esubt + Ext)}$$

$$\mathbf{ETR = 314\ Hm^3/año - (9{,}41\ Hm^3/año + 0{,}59\ Hm^3/año)}$$

$$\mathbf{ETR = 304\ Hm^3/año = 193\ mm/año}$$

Como puede observarse, el valor obtenido de ETR representa el mayor egreso en el balance con un 96,8% frente a la Infiltración neta que presenta un 3,2%, lo cual se condice con las condiciones climáticas de la zona, quedando así la ecuación final:

P = ETR + Esub + Ext

314 Hm^3/año = 304 Hm^3/año + 9,41 Hm^3/año + 0,59 Hm^3/año

Cabe destacar que los cálculos aquí mencionados constituyen simplemente una estimación preliminar de los ingresos y egresos que actúan en la zona, requiriendo una mayor densidad de datos y estudios para poder realizar un cálculo más representativo y con mayor seguridad.

8.1 Cálculo de reservas

Adicionalmente al balance hidrológico de la cuenca, es de suma importancia determinar las reservas hidrogeológicas de los acuíferos de la zona de estudio para poder conocer el funcionamiento y establecer planes de manejo del recurso hídrico en el área.

A raíz de esto se definió realizar de manera preliminar un cálculo estimativo de las reservas subterráneas existentes en el acuífero primario alojado en el aluvio del valle principal del Arroyo Huahuel Niyeu. Para lograr esto se realizó en primera instancia una interpretación de la exploración geofísica, estableciendo como sector de interés el Paquete Resistivo Superior en el sector del valle, realizando de esta manera el Mapa 21, donde se observan las curvas de isoespesores para esta unidad geofísica.

Este mapa refleja espesores del Paquete Resistivo Superior variables entre <10 m y máximos en general de 50 m, si bien existe una zona con espesores mayores para el sector del aeropuerto al Norte de Ingeniero Jacobacci (aunque ello no implica que esta unidad resistiva sea necesariamente el espesor aluvial de interés hidrogeológico).

Tomando como base el mapa isopáquico, se definieron tres sectores para el cálculo de las reservas (ver mapa 21):

- *Valle principal del Arroyo Huahuel Niyeu, desde sus nacientes hasta las inmediaciones de Ingeniero Jacobacci:* con un valor promedio de 10-20 m de espesor para el acuífero primario y que fue subdividido según la profundidad medida del nivel de agua. Representa una de las zonas de mayor interés para el presente estudio por la calidad del agua encontrada y los rendimientos observados.
- *Valle A. Huahuel Niyeu, desembocadura de la cuenca:* con un espesor conservador de 10 m, abarca la zona aguas abajo de la localidad de Ing. Jacobacci en la porción final de la cuenca. La calidad del agua es menor que aguas arriba, especialmente en base a la salinidad.

- *Aeropuerto de Ing. Jacobacci:* con un espesor inferido de 40 m, este sector no dispone de pozos que aporten datos de la litología del subsuelo propiedades hidráulicas, o calidad química, por lo que constituye una zona de interés prospectivo.

Las áreas analizadas se presenta en la Figura 8.1, destacando que la evaluación fue conservadora para evitar posibles sobreestimaciones de las reservas, utilizando un valor de porosidad efectiva del 5%. Por último, la Tabla 8.1 muestra las características de cada sector y las reservas calculadas.

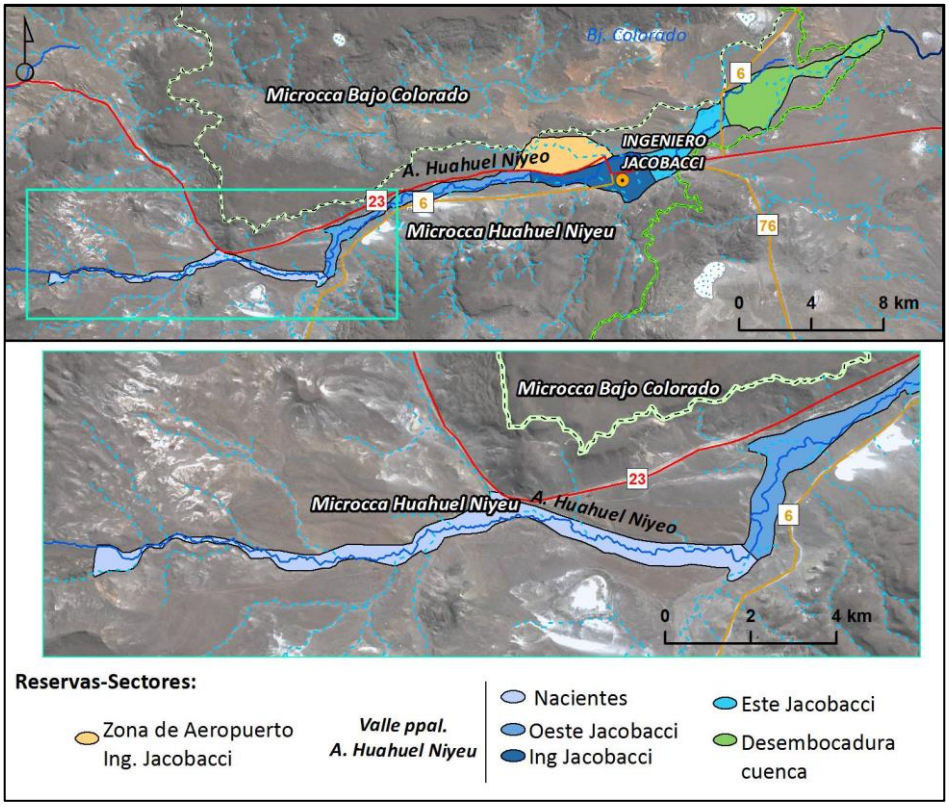


Figura 8.1. Sectores considerados para el cálculo de reservas.

Tabla 8.1. Cálculo de reservas hidrogeológicas para la cuenca de estudio.

Sector	Espesor inferido (m)	Nivel agua (mbnt)	Area (Hm2)	Volumen (Hm3)	Porosidad efectiva	Reservas (Hm3)
Valle Principal del A. Huahuel Niyeu - Nacientes	10,00	0,50	634,94	60,32	5%	3,02
Valle Principal del A. Huahuel Niyeu - Oeste Jacobacci	20,00	2,00	846,23	152,32	5%	7,62
Valle Principal del A. Huahuel Niyeu - Ing Jacobacci	20,00	6,00	870,23	121,83	5%	6,09
Valle Principal del A. Huahuel Niyeu - Este Jacobacci	20,00	3,00	679,88	115,58	5%	5,78
Reservas Estimadas Totales Valle A. Huahuel Niyeu - Sector Nacientes hasta Ing. Jacobacci						22,50
Valle Principal del A. Huahuel Niyeu - Desembocadura cuenca	10,00	2,00	1254,45	100,36	5%	5,02
Zona de Aeropuerto Ing. Jacobacci	40,00	10,00	840,93	252,28	5%	12,61
Reservas Estimadas Totales Sectores adicionales - Desembocadura cuenca y Aeropuerto Ing. Jacobacci						17,63

(Fuente: Hidroar S.A.)

Como puede observarse, se ha calculado reservas hidrogeológicas preliminares de 40 Hm^3, destacando que, de este total, 22,5 Hm^3 son probables de ser utilizadas, ya que los 17,6 Hm^3 restantes corresponden a zonas aún sin explorar (mediante perforaciones se podrá definir/corroborar los espesores y rendimientos reales) y, para el caso de la desembocadura de la cuenca de estudio, de calidades hidroquímicas probablemente menores a las pretendidas.

Es importante mencionar que hacia el Norte de la localidad de Jacobacci, más específicamente en la microcuenca del Bajo Colorado, existe un sector que podría llegar a considerarse para futuras exploraciones, destacando que se observaron perforaciones con diversas calidades, tanto buenas como malas, y ciertas vertientes que podrían ser de interés.

Cabe aclarar que la información actual permite solo inferir las reservas de los acuíferos más superficiales (prácticamente los primeros 20 a 30 m) restando por explorar al menos hasta los 100 m para definir la continuidad del acuífero primario en profundidad y la presencia de otros acuíferos en medios secundarios o fracturados (rocas volcánicas preferentemente con antecedentes de comportamientos acuíferos).

9 CAPACITACIÓN Y CONCIENTIZACIÓN CIUDADANA

9.1 Reunión inicial

El día 7 de julio se realizó una presentación virtual para dar inicio formalmente a los trabajos que conforman el Estudio Hidrogeológico del Acuífero Huahuel Niyeu. De la misma participaron por parte de Hidroar S.A. los Lic. Carlos Scatizza y Ezequiel Sánchez; por el CFI Nicolás Jovic y por el DPA el Ing. Daniel Petri y el Lic. Gustavo Olivares.

Esta reunión consistió principalmente en la presentación de las problemáticas existentes, de los trabajos planificados, sus metodologías y cronogramas, del personal que participaría y de los antecedentes que presenta Hidroar S.A. tanto para la zona de interés como en estudios similares.

Cabe destacar que en base a la pandemia de Covid 19 y las restricciones de público conocimiento, se definió en conjunto con los demás participantes realizar esta reunión de manera virtual.

Posteriormente a esta reunión, se mantuvieron diálogos con personal de la Cooperativa de Aguas y Otros Servicios Públicos de Ingeniero Jacobacci, y de otras instituciones de la zona de estudio para diagramar los trabajos futuros.

9.2 Jornadas de capacitación

Durante la campaña de muestreo hidroquímico y exploración geofísica que se llevó a cabo en el mes de septiembre del 2021, se desarrollaron a su vez jornadas de capacitación ciudadana en distintas esferas educativas de la localidad.

A través del Instituto Técnico Superior de Jacobacci, en el cual se dicta actualmente la tecnicatura en “Recursos hídricos e hidrogeológicos”, se visitaron una institución educativa inicial y otra primaria, en las cuales se dictaron clases de capacitación y concientización del uso razonable del recurso hídrico en regiones semiáridas como es el caso de la localidad de Ing. Jacobacci.

Las capacitaciones se realizaron durante la semana del 20 al 24 de septiembre en la escuela primaria de jornada extendida Nº134 ubicada en las calles General Hornos y Elordi, con chicos que cursaban quinto grado y en las salas de cuatro y cinco años del jardín de infantes independiente Edgardo Buyayiskis, Nº37, situado en la calle Libertad al 814. Estas tareas se efectuaron de manera conjunta con los directivos y estudiantes en curso de la Tecnicatura en Recursos Hídricos del ITS.

En este contexto, se abordaron charlas explicativas sobre el sistema actual de abastecimiento en la localidad y de las tareas de muestreo y exploración indirecta que se estaban realizando contemporáneamente. En el caso del jardín de infantes se explicó a los niños de manera didáctica y lúdica el funcionamiento del ciclo del agua y especialmente el cuidado de la misma en el uso diario. En ambas instituciones se realizó una demostración práctica del funcionamiento del sistema acuífero, mediante la utilización de una maqueta a escala realizada con una pecera y distintos materiales litológicos extraídos de la zona (ver Fotografía 9.1 y Fotografía 9.2).



Fotografía 9.1: Demostración práctica de la infiltración en escuela primaria Nº134.



Fotografía 9.2: Alumnos de quinto grado, escuela primaria Nº134.

En el jardín de infantes se les mostró además un video animado sobre la importancia del cuidado y racionalización del recurso hídrico por parte de cada uno de los ciudadanos. También se realizó la lectura de un cuento sobre el agua, que fue

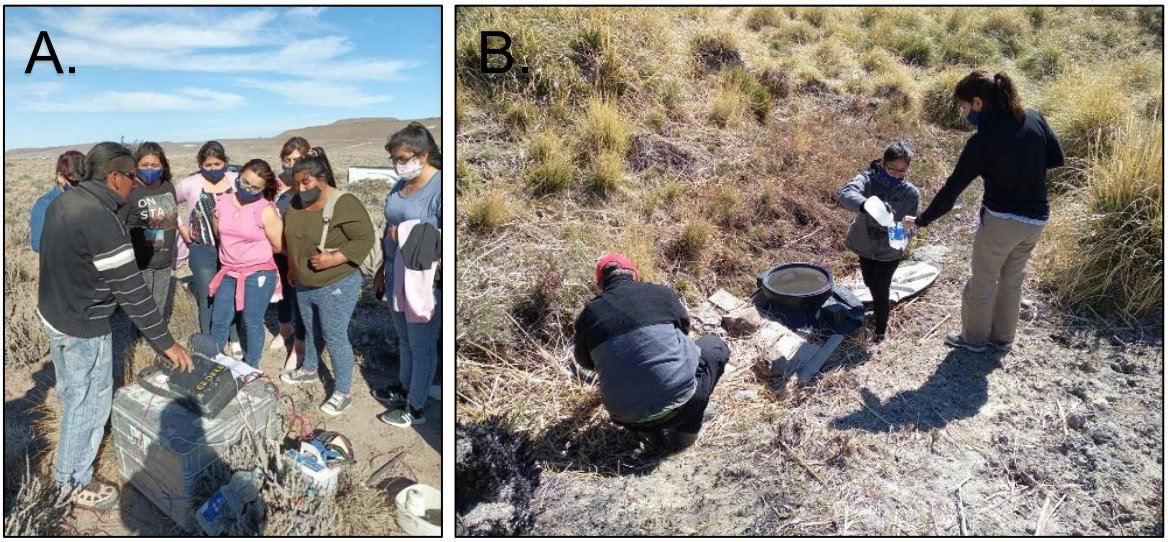
elaborado por una de las alumnas en curso de la tecnicatura en Recursos hídricos e hidrogeológicos.



Fotografía 9.3: Demostración práctica de la infiltración en jardín Nº37.

Por otro lado, se brindaron también notas informativas a distintos medios de comunicación locales escritos y de radiodifusión, en las cuales se detallaron las tareas de campo que se estaban realizando, dentro del contexto del estudio hidrogeológico en curso, con el objeto que la población de Ingeniero Jacobacci y la comunidad en general de la región tenga conocimiento de la metodología, objetivos y el avance del mismo.

Asimismo, se continuó con las tareas de capacitación dentro del marco de las prácticas profesionalizantes de alumnas/os de la tecnicatura en Recursos Hídricos del ITS, en las cuales participaron de forma activa para las tareas de relevamiento geológico-hidrogeológico, muestreo de agua para análisis de laboratorio y en la realización de Sondeos Eléctricos Verticales (ver Fotografía 9.4 izquierda y derecha).



Fotografía 9.4: A. Capacitación geofísica a alumnas del ITS. **B.** Muestreo de vertiente.

9.3 Taller final

Con la finalidad de continuar informando de las tareas realizadas durante este trabajo a la población y a las autoridades, se realizó durante el mes de marzo un taller de divulgación y capacitación.

En este taller se expusieron los trabajos realizados, las principales conclusiones alcanzadas y las propuestas para la Etapa II y para el cuidado del recurso, haciendo especial énfasis en la explicación del funcionamiento del “Modelo Hidrogeológico Conceptual”. El detalle de las tareas realizadas durante el taller se presenta en el Anexo X.

En este taller se detallarán los trabajos realizados, las principales conclusiones alcanzadas y las propuestas para la Etapa II y para el cuidado del recurso, haciendo especial énfasis en la explicación del funcionamiento del “Modelo Hidrogeológico Conceptual”. De esta manera se pretende que los participantes expongan sus dudas, propuestas y se generen discusiones con las distintas autoridades y el personal que realizó el presente estudio.

10 CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES

- Se realizó un censo hidrológico-hidrogeológico de la zona donde se relevaron 150 puntos en total abarcando cursos de agua, aguadas, vertientes, mallines, pozos excavados y perforados. Adicionalmente, se tomaron 40 muestras para realizar análisis de laboratorio físico químicos y 20 bacteriológicos.

- El clima de la zona de estudio corresponde a una zona de transición entre desértico frío y estepario o semiárido templado y frío. Se caracteriza por presentar precipitaciones de 200 mm/año, si bien desde el 2017 los registros se encuentran por debajo de la media.

- La geología de la zona se conforma por un basamento ígneo volcánico (Fm. Garamilla y Taquetrén) del Mesozoico, sobre el cual se disponen distintas sedimentitas y vulcanitas tanto del Cretácico como del Terciario. Por último, aparecen los depósitos cuaternarios conformados por sedimentos sueltos y coladas basálticas.

- La geomorfología de la zona está dominada en primera instancia por las planicies estructurales lávicas, seguidas por los valles y quebradas formadas por la acción fluvial del Arroyo Huahuel Niyeu y otros cursos menores. Sobre estos valles se depositan sedimentos cuaternarios desarrollándose el principal acuífero del cual se abastece la localidad de Ing. Jacobacci. Con respecto a las terrazas y planicies de inundación, suelen tener escaso desarrollo.

- La subcuenca de estudio pertenece a la cuenca de las Lagunas Cari Laufquen, a las cuales llega a partir del Arroyo Maquinchao. El principal curso de agua de la subcuenca de interés corresponde al Arroyo Huahuel Niyeu, de régimen en general transitorio, exceptuando su zona de nacientes donde corre de manera permanente. Hacia el Norte de Ingeniero Jacobacci se encuentra una microcuenca centrípeta denominada Bajo del Colorado, la cual se conectaría con el Huahuel Niyeu ante eventos de crecientes.

- Se realizaron aforos en el Arroyo Huahuel Niyeu, registrando caudales en la zona cercana a las nacientes de 254,8 m^3/h que van decreciendo hasta infiltrarse completamente a unos 15-20 km antes de alcanzar Ing. Jacobacci.

- Las unidades hidrogeológicas de mayor interés corresponden a los sedimentos cuaternarios que rellenan los valles, donde se aloja el

acuífero primario con Transmisividades de 80 a 300 m^2/d. Es importante mencionar que no se descarta que las unidades rocosas subyacentes puedan alojar un acuífero de interés.

- El flujo subterráneo presenta una morfología radial convergente y coincidiría con el escurrimiento superficial. Cabe destacar que existe una relación dinámica entre la topografía y el flujo subterráneo, lo cual se refleja en los manantiales y mallines típicos de la zona.

- La exploración geofísica realizada tomó como base la realizada previamente por el CFI en 1991, observando una buena correlación entre los estudios. De esta manera se obtuvieron secciones geofísicas que permitieron determinar sectores de interés para la exploración hidrogeológica.

- El agua de la zona de estudio es en general de características bicarbonatadas sódicas a sódico-cálcicas, tanto para las aguas subterráneas como para las superficiales. En general, las aguas presentan conductividades eléctricas típicas de aguas dulces, con un ligero aumento de los valores hacia aguas abajo (sector Oeste), pero siempre manteniéndose en el rango de agua dulce. Los pH medidos fueron neutros a ligeramente alcalinos en la mayoría de los casos.

- Con respecto a la calidad de agua para consumo, se detectaron valores por encima de lo recomendado para el fluoruro en 17 casos, sulfatos en 5 muestras, conductividad eléctrica para 4 casos, arsénico, cloruros, SDT y sodio en 3 muestras cada uno, manganeso, pH, dureza total y alcalinidad total en 1 caso cada uno.

- Los análisis bacteriológicos expusieron presencia de bacterias en 14 muestras, destacando que fueron tomadas antes de cualquier tratamiento que se le realice (cloración o similar). De estas muestras presentaron por encima de lo recomendado, 14 muestras para Coliformes totales, 10 para Coliformes fecales y Escherichia Coli, 5 para Pseudomona Aeruginosa y 2 para mesófilos (BHMT).

- El abastecimiento de agua en la región se realiza generalmente a partir de vertientes y pozos excavados en los puestos de la zona rural, mientras que la localidad de Ojos de Agua cuenta con un pozo de gran diámetro. La localidad de Ingeniero Jacobacci, que corresponde a la zona de mayor necesidad, cuenta con un suministro abastecido por perforaciones, pozos de gran diámetro y captación de vertientes cercanas.

- Respecto al servicio de agua en Ing. Jacobacci se ha observado que parte de las captaciones se encuentran deficientes en algún aspecto, con necesidad de mejoras (sello sanitario, instalación de caudalímetros, reparaciones, etc.). No se dispone en ningún caso de caudalímetros y sondas de nivel que permitan llevar un registro de volúmenes extraídos y descensos de niveles de agua, respectivamente.

- El consumo de agua registrado para el período 2010-2021 en Ingeniero Jacobacci varía entre 300.000 y 400.000 m^3/año, sin observar aumentos marcados. Considerando que la población ha aumentado de 6.261 habitantes en 2010 a un estimado de al menos 10.000 habitantes para el 2021, y observando que los consumos no han aumentado, se desprende que existen incongruencias en los valores de consumo detectados. A esto se suma la falta de datos fiables de extracción de volúmenes de agua, por lo que es probable que los valores de consumo no sean representativos de la realidad.

- Las primeras estimaciones de infiltración de agua para la cuenca de estudio serían del orden del 3 al 5% aproximadamente de la precipitación. Un balance hidrológico preliminar realizado con la información disponible, indica que el 96,8% de la precipitación se evaporaría, mientras que el restante 3,2% correspondería al flujo subterráneo que circula por el aluvio del Arroyo Huahuel Niyeu, del cual parte es captado para consumo.

- Las reservas hidrogeológicas calculadas preliminarmente reflejaron volúmenes disponibles de 22,5 Hm^3 para el aluvio del arroyo Huahuel Niyeu, con un posible adicional de 17,6 Hm^3 que estaría en la zona de desembocadura de dicho curso de agua y en otros sectores de interés a explorar.

- Uno de los sectores con mayor interés prospectivos corresponde a la zona de nacientes, donde los caudales aforados en el A. Huahuel Niyeu de 255 m^3/h representan un volumen de agua interesante para el abastecimiento de la localidad de Ing. Jacobacci. En base a esto es recomendable a futuro realizar estudios de detalle que permitan evaluar la factibilidad de captar estos caudales, ya sea mediante perforaciones o captaciones someras (zanjas, pozos de gran diámetro o similares).

10.1 Propuesta Etapa II

A raíz de los ítems anteriormente mencionados, se presenta a continuación la propuesta de trabajos para la Etapa II del “Estudio Hidrogeológico del Acuífero Huahuel Niyeu”. Adicionalmente, en el Anexo IX y en el Capítulo 6 se realizan

recomendaciones puntuales para mejorar el servicio de agua en la región y contar con la información necesaria a fin de satisfacer los objetivos de esta etapa.

La presente propuesta pretende enfocar las tareas en las zonas identificadas como de mayor interés hidrogeológico y de esta manera obtener información de detalle para conocer adecuadamente el perfil de subsuelo en diferentes secciones. Es por tanto plausible mencionar que dicha área se corresponde en mayor medida, con el sector ubicado hacia el oeste de la localidad de Ing. Jacobacci sobre el valle fluvial del Arroyo Huahuel Niyeu.

En síntesis, la Etapa II tendrá por objeto definir con mayor detalle las reservas totales de agua de las zonas con mayor potencial hidrogeológico, incrementar el conocimiento del modelo hidrogeológico conceptual a fin de comprender los ingresos, circulación y descarga del medio subterráneo (balance de agua). También es imperioso avanzar en la obtención de datos de consumos y niveles de agua permitiendo con ello analizar la respuesta del acuífero ante la demanda de agua de la población en Ing. Jacobacci. Finalmente, toda la información técnica y científica generada y analizada permitirá predecir posibles problemas - conflictos ante un mal manejo del recurso hídrico, en pos de un uso del agua sustentable (tanto en calidad como en cantidad).

En base a todos los datos recabados y a los resultados obtenidos, se propone realizar:

- Perforaciones de exploración hidrogeológica
- Pruebas hidráulicas
- Muestreo hidroquímico y análisis de laboratorio.
- Censo de niveles y caudales en captaciones subterráneas
- Aforos de cursos superficiales

10.1.1 Propuesta de perforaciones de exploración hidrogeológica

10.1.1.1 Características constructivas

Se propone la construcción de 8 perforaciones exploratorias ubicadas sobre el valle del Arroyo Huahuel Niyeu en las zonas hacia el oeste y aledañas a la localidad de Ing. Jacobacci.

La profundidad exploratoria será de entre 50 y 100 m para todos los pozos a construir. Se definió nombrarlos en primera instancia con las siglas PH (Pozo Hidrogeológico) seguidas de un número creciente desde aguas abajo hacia aguas arriba, la única excepción corresponde al pozo PH-IJ1 por ser el único ubicado dentro del ejido urbano de Ingeniero Jacobacci. El entubado propuesto para estos pozos es PVC de 6” de diámetro, exceptuando el pozo PH-IJ1 que sería de 8” para poder adicionarse al suministro de la localidad en caso de ser necesario. Cada uno de los pozos exploratorios deberá contar además con al menos un (1) pozo de observación a entubar en PVC de 90 mm de diámetro y con un diseño similar al

pozo de bombeo, del cual se ubicarán a una distancia de aproximadamente 10-30 m, lo cual será definido en campo por el personal a cargo para disponer de la ubicación más adecuada a tales fines.

Teniendo en cuenta que la litología a atravesar será principalmente material suelto, existe una alta probabilidad de inestabilidad del sondeo con asociados derrumbes, por lo que la perforación deberá ser realizada mediante sistema convencional con inyección de lodo (con base de polímero biodegradable) o con un sistema de encamisado simultáneo (simil odex).

En primera instancia deberá realizarse una perforación guía de diámetro 5 ½" o, de ser posible 7 7/8", a partir de la cual se procederá a realizar un perfilaje geofísico con tres herramientas; Gamma Ray, Potencial Espontáneo y Resistividad (Normal corta y larga).

Realizado el perfilaje geofísico el geólogo a cargo definirá el diseño de entubamiento. El pozo se continuará reperforando hasta un diámetro de al menos 9 7/8" en los pozos de exploración PH-1 a PH-8 (PVC 6") y de 12 ¼" en el pozo de exploración PH-IJ1 (PVC 8") para asegurar la correcta colocación del prefiltro de grava. Para el caso de los pozos de observación (PVC 4") se recomienda un diámetro de reperforación de al menos 7 7/8" por el mismo motivo.

En caso de que se observen derrumbes en boca de pozo o inestabilidades, podría ser necesario colocar cañería casing, la cual deberá permitir el paso de la herramienta a utilizarse en la reperforación (por ejemplo, para la reperforación en 9 7/8" podrá utilizarse casing de diámetro interno de 10"). Para esta instalación se recomienda que el diámetro de reperforación sea de al menos 4" superior al diámetro del casing, de manera que permita la correcta cementación del mismo.

La Figura 10.1 y el Mapa 22 muestran la ubicación de las perforaciones de exploración propuestas (los pozos de observación se ubicarán en campo) y el Tabla 10.1 sus coordenadas y características.



Figura 10.1. Ubicación de perforaciones exploratorias propuestas para Etapa II.

Tabla 10.1. Ubicación y características principales de perforaciones exploratorias propuestas.

Nombre	Coord. Geográficas		Cañería	Ubicación	Prof. Exp. (m)	Objetivo
	Latitud	Longitud				
PH-1	-69,490025	-41,306255	PVC 6"	Este Ing. Jacobacci	50	Explorar zona aguas abajo de Ing. Jacobacci
PH-2	-69,58542	-41,315472	PVC 6"	Aeropuerto Ing. Jacobacci	100	Explorar zona centro de aeropuerto Ing. Jacobacci
PH-3	-69,584634	-41,324976	PVC 6"	Aeropuerto Ing. Jacobacci	100	Explorar zona Sur de aeropuerto Ing. Jacobacci
PH-4	-69,599206	-41,330267	PVC 6"	Oeste Ing. Jacobacci	50	Explorar zona inmediatamente aguas arriba Ing. Jacobacci
PH-5	-69,689627	-41,337822	PVC 6"	Zona infiltración A. Huahuel Niyeu	80	Explorar sector aguas abajo de punto infiltración A. Huahuel Niyeu
PH-6	-69,720425	-41,353767	PVC 6"	Zona infiltración A. Huahuel Niyeu	50	Explorar sector aguas arriba de punto infiltración A. Huahuel Niyeu
PH-7	-69,739658	-41,374733	PVC 6"	Confluencia A. Yuquiche con A. Huahuel Niyeu	80	Explorar sector aguas abajo confluencia A. Huahuel Niyeu y Yuquiche
PH-8	-69,758659	-41,389692	PVC 6"	Desembocadura A. Yuquiche	80	Explorar sector desembocadura A. Yuquiche
PH-IJ1	-69,541461	-41,327205	PVC 8"	Ing. Jacobacci	80	Pozo tentativo Jacobacci, explorar Sist. Multiacuífero completo

(Fuente: Hidroar S.A.)

Como puede observarse, cada pozo propuesto cuenta con un objetivo particular, planteando en primera instancia atravesar la totalidad del acuífero primario y parcialmente la roca subyacente. Entre estos, se destaca el pozo PH-IJ1, el cual fue propuesto para contar con un pozo nuevo en la localidad de Ingeniero Jacobacci que permita conocer en detalle el perfil litológico base de la localidad y captar el sistema multiacuífero completo para poder evaluar sus propiedades hidráulicas de manera unificada. Cabe destacar que la ubicación de este pozo es tentativa, ya que podría modificarse en base a planes o sugerencias del DPA y/o de la Cooperativa de Aguas y Otros Servicios Públicos de Ingeniero Jacobacci.

10.1.1.1 Dirección técnica / control geológico

Es sumamente importante que durante las tareas de perforación se realice un control geológico de las litologías atravesadas, con un profesional geólogo en boca de pozo que se encargue de describir el cutting recolectado cada 2 m de avance. De esta manera se realizará un análisis expeditivo de su granulometría, litología y de aquellos cambios litológicos/estratigráficos que pudieran existir, diferenciando principalmente gravas, arenas, limos y arcillas como también posibles zonas de fracturamiento y presencia de unidades rocosas. Esta información permitirá determinar el comportamiento hidráulico de las capas atravesadas y para definir el diseño del entubado para el sondeo.

10.1.1.2 Perfilaje eléctrico del sondeo

En caso de realizarse el pozo con inyección de lodo, una vez finalizada la perforación exploratoria, y previamente a la maniobra de entubado, se podrá realizar un perfilaje geofísico a pozo abierto usando un perfilador capaz de obtener registros de potencial espontáneo (SP), resistividad (NC y NL), y radiación Gamma natural. La posterior interpretación de estos registros permitirá ajustar los pases litológicos observados, principalmente los intervalos arcillosos que separan espesores permeables, y por ende poder ajustar el diseño de entubamiento del pozo de bombeo (ubicación de tramos filtrantes en profundidad).

Previo al perfilaje, se recomienda realizar un acondicionamiento de la perforación para evitar derrumbes y alivianar el lodo de perforación de manera que permita un descenso y ascenso de la sonda del perfilador sin inconvenientes.

10.1.1.3 Entubado y engravado

En primera instancia, el diseño de entubado consistirá en filtro continuo luego de haber aislado los primeros 10 m aproximadamente con cañería ciega, si bien esto será reevaluado en campo por el personal a cargo. La ubicación de los tramos filtrantes se definirá en base al control geológico efectuado, ya que es importante que los mismos se correspondan con los aportes registrados y la litología.

Como se mencionó anteriormente, el material de entubado será PVC geomecánico de diámetro 6” (150 mm) para los pozos de bombeo/exploración y de 90 mm para los pozos de observación, en ambos casos tanto para los tramos ciegos como filtrantes.

Luego de concluidas las tareas de entubado del pozo, se realizará la colocación del pre-filtro de grava en el espacio anular comprendido entre la pared del pozo y el encamisado, con la función de garantizar el ingreso de agua proveniente del acuífero hacia la captación sin acarrear sólidos finos (limos, arenas). Es importante recalcar que dicho material debe poseer una granulometría homogénea, redondeada y esférica, de composición cuarcítica y sin presencia de materiales finos o planares.

En base a la litología a atravesar se recomienda la utilización de grava 2 a 4 mm de diámetro como prefiltro, recubriendo todo el tramo filtrante hasta al menos 5 m por encima del inicio del mismo.

10.1.1.4 Cloración y desarrollo

De haber sido utilizados aditivos de perforación, luego del engravado se procederá a la inyección de una solución de hipoclorito mediante hidrojet, colocado en el extremo del tren de barras de perforación. El hidrojet se colocará a unos 2 mts por encima del fondo de pozo para asegurar la remoción del volumen de agua y lodo del pozo y el remplazo con la solución clorada.

La solución a inyectar será del volumen del pozo, con una proporción de hipoclorito del 10% del volumen entubado. Una vez inyectada la solución se dejará en reposo por un período de 12 hs como mínimo para la correcta acción del hipoclorito.

Posteriormente a la cloración del sondeo (o luego de engravar si no se utiliza inyección de lodo) se realizará la limpieza del pozo mediante la inyección de aire a baja presión utilizando compresor (propio de la máquina de perforación o uno auxiliar). Esta tarea permitirá asegurar la remoción y desalojo de lodos remanentes, material detrítico, finos que hayan ingresado durante el entubado, etc.

Esta maniobra se llevará a cabo recorriendo todo el tramo filtrante con el hidrojet, el cual se colocará en el extremo del tren de barras de perforación y permitirá el soplado mediante inyección de aire y el posterior desalojo del agua por boca de pozo. Aquí vale aclarar que puede ser colocada una pipa que permita que el agua erogada sea conducida con facilidad hacia un sector de disposición deseado. Además, durante el desarrollo es factible la realización de aforos para el cálculo de caudales preliminares del pozo. Se considera terminada dicha etapa una vez que el agua muestreada se encuentra límpida y sin sólidos en suspensión.

10.1.1.5 Terminación superficial y colocación de sello sanitario

Como última etapa, luego de haberse realizado la limpieza del pozo, deberá corroborarse en primera instancia el nivel del prefiltro de grava, ya que es habitual que luego del desarrollo descienda producto del acomodo causado por la movilización del agua. Cerciorado esto mediante plomada/fondo de pozo se procederá a la terminación en superficie, a excepción que se requiera continuar previamente con el engravado hasta lograr la profundidad requerida de prefiltro.

Por encima de la grava se colocará lo que se conoce como sello sanitario, el cual está formado por una capa de 1 m aproximadamente de arena, una de bentonita granulada y finalmente otra de arena, cuya función consiste en no permitir el filtrado de fluidos superficiales con potencial riesgo de contaminar la captación. La colocación se realizará de forma manual mediante baldes y/o pala.

Seguido a esta tarea se procederá al relleno del espacio anular remanente con cemento, el cual continuará con la colocación de un brocal metálico que cuente con tapa de protección y candado, pudiendo instalarse a futuro una caseta para la instalación de bombas y caudalímetros. Adicionalmente, es recomendable que cada pozo este identificado con una chapa metálica que indique su nombre y características.

10.1.1.6 Informe técnico de pozo

Finalizada la perforación se presentará un informe técnico donde se expondrá una memoria o legajo de pozo, donde se mencionen las características geológicas-litológicas de los sedimentos y rocas atravesadas, aspectos hidráulicos y diseño de la perforación, todo ello resumido con fotografías y perfiles adjuntos.

10.1.2 Pruebas hidráulicas

Para conocer con mayor detalle las propiedades hidráulicas del acuífero en la región, se propone realizar pruebas hidráulicas en todos los pozos de exploración realizados, destacando que de ser posible es recomendable realizar ensayos similares en los pozos utilizados para la provisión de agua a Ing. Jacobacci. Para este último caso se deberá prever que los pozos cercanos se encuentren apagados para evitar disturbar el ensayo y que el pozo a bombear permita la medición de los niveles y de los caudales extraídos.

Previo a cada ensayo se instalarán equipos de bombeo provisorios, pudiendo utilizar para los pozos de abastecimiento preexistentes los equipos ya instalados, y se realizará un desarrollo previo con una consiguiente prueba de equipos. Luego de esto se dará paso a la evaluación hidráulica propiamente dicha. Para esto se propone realizar los siguientes ensayos de bombeo:

10.1.2.1 Ensayo a caudal escalonado

Se ejecutará un ensayo de bombeo de tipo escalonado en cada pozo de bombeo. Los mismos estarán conformados por hasta cuatro etapas de 1 hora de duración cada una a un caudal estipulado en el 25%, 50%, 75% y 100% de la capacidad de los equipos instalados. Los caudales finales dependerán de los niveles dinámicos de cada pozo, los cuales seguramente serán diferentes.

Las mediciones del nivel de agua deberán realizarse con transductores y sondas eléctricas de precisión milimétrica o centimétrica en tiempos regularmente distribuidos en una escala de tipo logarítmica, para cada escalón. Adicionalmente se realizará un control frecuente sobre los caudales de erogación de cada etapa mediante la utilización de un caudalímetro con medición del caudal instantáneo y/o totalizador.

El volumen total de agua extraída será conducido a una distancia tal que asegure no interferir en los datos de la depresión causada por del bombeo y no provocar alteraciones sobre las condiciones actuales.

Inmediatamente después del cese del bombeo final se realizará la medición de la recuperación del nivel de agua hasta alcanzar el nivel estático original o la tendencia del mismo.

Este ensayo permitirá la planificación e inicio del ensayo de bombeo de larga duración.

10.1.2.2 Ensayo a caudal constante

Se propone una duración prevista entre 24 y 72 hs según los rendimientos y objetivos analizados. El caudal de bombeo será próximo al máximo caudal obtenido en el ensayo escalonado o bien aquel que surja de su interpretación. El volumen de agua erogado deberá ser controlado frecuentemente mediante la utilización de un caudalímetro con medidas de caudal instantáneo y/o totalizador.

Al igual que durante el escalonado, la medición de los niveles de agua será regular a una escala de tipo logarítmica en el propio pozo de bombeo y en los de observación si existiesen. Para esto se utilizarán transductores (datalogger) y sondas eléctricas de precisión centimétrica a milimétrica.

El volumen de agua desalojado será derivado mediante cañería o manguera hasta un sector donde por drenaje natural no cause inconvenientes en las medidas del nivel de agua ni en las instalaciones propias o vecinas.

10.1.2.3 Ensayo de recuperación

En forma continuada con la finalización del ensayo de bombeo se realizará la medición de la recuperación de los niveles de agua.

La frecuencia de medición de los niveles de agua se hará en escala logarítmica, tomando como tiempo cero la finalización del ensayo de bombeo. Las medidas serán tomadas en los valores de tiempo estipulados para el ensayo de bombeo escalonado y constante.

La duración de la prueba se extenderá hasta alcanzar los niveles estáticos originales o su tendencia (sugiriendo un 90% de recuperación aproximada) y tendrá como fecha límite 24 horas posteriores a la finalización del bombeo.

10.1.2.4 Procesamiento de gabinete

Una vez concluidas las pruebas de bombeo, los datos recopilados serán procesados en gabinete para la obtención de los principales parámetros hidráulicos del acuífero estudiado (Transmisividad, Permeabilidad, Coeficiente de Almacenamiento) y además determinaciones como su radio de influencia y régimen de uso recomendado. Para esto se utilizará la metodología correspondiente para cada caso mediante cálculos analíticos y software específicos en la materia.

Es importante destacar que los pozos de exploración captarán el acuífero primario completo, de manera de caracterizar hidráulicamente al sistema multiacuífero como un todo.

10.1.3 Plan de Monitoreo

Contar con un plan de monitoreo de aquellas captaciones a ser construidas y de las ya existentes puede otorgar información que permita la planificación de tareas preventivas y con el debido tiempo ante eventuales contingencias que pudieran suceder. Entre estas tareas se puede mencionar el registro continuo de datos de nivel de agua, muestreos hidroquímicos, mediciones de caudal, etc. Esto brinda la posibilidad de conocer y planificar a futuro acciones en función de las necesidades que conlleva el crecimiento de la población y los cambios climáticos e hidrológicos. A continuación, se plantean las diferentes tareas que componen el plan de monitoreo de las fuentes de agua subterráneas y superficiales.

10.1.3.1 Muestreo y análisis de laboratorio

La toma de muestras y su envío a laboratorio de manera periódica permitirá conocer posibles variaciones en la calidad del agua a lo largo del tiempo, permitiendo de esta manera ajustar el plan de monitoreo determinando que analitos pedir y estableciendo una periodicidad de monitoreo acorde.

Los puntos a monitorear deberán abarcar los pozos aquí propuestos y otras perforaciones, pozos de gran diámetro, vertientes y puntos del Arroyo Huahuel Niyeu u otros cursos menores que se definirán en conjunto con el DPA, tomando como base los análisis realizados en este estudio.

Cabe destacar que el muestreo en los pozos que deban ser ensayados deberá efectuarse minutos antes de finalizado el bombeo en dichos pozos, de manera de asegurar una muestra representativa del acuífero.

En principio se propone la extracción de 30 muestras de agua para análisis físico-químico de iones mayoritarios, minoritarios y metales pesados y muestras de agua para determinación de análisis bacteriológicos. A modo de inicio se recomienda realizar un muestreo anualmente, pudiendo reajustarse según los resultados y variaciones obtenidos.

Los analitos a realizarse serán los utilizados en este estudio, es decir: Total de sólidos disueltos, pH, Alcalinidad Total, Dureza total, Nitratos, FIúor, Bicarbonatos, Sulfatos, Cloruros, Magnesio, Calcio, Sodio, Potasio, Hierro, Manganeso, Arsénico, Cinc y Plomo.

Con respecto al análisis bacteriológico, este muestreo se realizará en aquellas captaciones que sean utilizadas para consumo humano, analizando en dichos casos: recuento bacterias heterótrofas mesófilas totales, coliformes totales, coliformes fecales, Pseudomonas Aeruginosa y Escherichia coli.

10.1.3.2 Censo de niveles y caudales en captaciones subterráneas

Existe poca información referente a niveles de agua históricos en la región, lo cual implica que es de gran importancia dar inicio a un registro de niveles de las

captaciones existentes y de aquellas propuestas para la Etapa II del presente estudio.

A partir de esto se propone realizar un censo de niveles mensual que abarque no solo las perforaciones de exploración y aquellas de suministro, sino cualquier otra que sea de interés por su ubicación de manera que otorguen datos de valor para el análisis regional, basándose en el relevamiento realizado en este estudio.

Esta tarea podría ser llevada a cabo por el personal de la Cooperativa de Agua y/o DPA con el apoyo de alumnos del Instituto Técnico Superior, permitiendo así que los alumnos obtengan experiencia de primera mano y participen en los análisis de los datos recabados. Para esto es imprescindible la capacitación de estos actores y la disponibilidad de herramientas tales como sondas de medición de nivel y equipos de medición de parámetros in situ (pH, conductividad eléctrica y temperatura).

El registro de caudales de explotación mediante la instalación de caudalímetros instantáneos y totalizadores (DPA/CA) es fundamental para poder iniciar un registro mensurable de los consumos de agua de la población.

10.1.3.3 Aforos de cursos superficiales

Como se observó en el inciso 5.3 Hidrología Superficial, el Arroyo Huahuel Niyeu presenta en su zona de nacientes caudales que alcanzan los 255 m^3/h, que para la región son valores muy interesantes. Si bien termina infiltrándose, este caudal estaría recargando al acuífero, por lo que es muy importante conocer el comportamiento y variación mensual de los caudales a lo largo de un ciclo hidrológico.

Para esto se propone realizar aforos directos de manera mensual en al menos los dos puntos aforados durante la campaña realizada en este trabajo, utilizando métodos de medición más precisos como es el aforo con molinete, ver Figura 10.2 y Mapa 22 o instalar secciones fijas de control. Adicionalmente, es importante que en cada campaña de aforos se localice el punto de infiltración y de nacimiento del curso. Cabe destacar que podría suceder que en aquellos meses donde el curso presenta mayor caudal se activen canales múltiples, por lo que el punto de aforo podrá modificarse levemente o deberán aforarse los canales por separado para obtener un caudal acumulado para dicha sección transversal del valle.



Figura 10.2. Ubicación de puntos de aforos propuestos.

Adicionalmente, es recomendable la instalación de una regla fija para medición de alturas del río en algún sector a definir (posiblemente en la zona donde las vías férreas cruzan el arroyo) y, a futuro y en base a los datos recabados de aforos, una canaleta tipo Parshall que actúe como estación fija de aforo.

10.1.4 Informe integrador

Finalizadas las tareas anteriormente mencionadas, deberá realizarse un nuevo informe que abarque todos los datos recabados durante la Etapa II y aquellos antecedentes, actualizando los cálculos de reservas y el modelo hidrogeológico conceptual, entre otras temáticas.

Considerando que las tareas de muestreos, censos de niveles y aforos presentarán una duración de al menos un año, es recomendable realizar informes trimestrales o semanales que actualicen la información recopilada hasta el momento para observar de manera preliminar el comportamiento hidrológico e hidrogeológico de la cuenca de estudio.

11 BIBLIOGRAFÍA

- Auge, M. A., Gebhard, J. A., Muntz, D., 2015. “Estudio hidrogeológico de la región sur de la provincia de Río Negro, con énfasis en acuíferos de medios fisurados. Etapa III” Areas Curacó Dos Hermanos, Bajo Santa Rosa y La Esperanza.
- Auge, M. A., Gebhard, J. A., Muntz, D., 2015. “Estudio hidrogeológico de la región sur de la provincia de Río Negro, con énfasis en acuíferos de medios fisurados. Etapa III” Areas Curacó Dos Hermanos, Bajo Santa Rosa y La Esperanza.
- Auge, M. A., Gebhard, J. A., Muntz, D., Olivares, G., Tortorello, G., 2017. “Hidrogeología de la Hoja Geológica Piedra del Aguila Sector Río Negro – Informe Final”.
- Auge, M. A., Gebhard, J. A., Zucchino, B., 2013. “Estudio hidrogeológico de la región sur de la provincia de Río Negro, con énfasis en acuíferos de medios fisurados. Etapa II” Areas El Cuy, Ramos y Valcheta.
- Beck, H., Zimmermann, N., McVicar, T. et al., 2018. “Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution”. Sci Data 5, 180214 (2018). https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214
- Coira, B. 1979. Descripción de la Hoja 40d, Ingeniero Jacobacci, Provincia del Río Negro. Servicio Geológico Nacional, Buenos Aires, Boletín 168, 101 pp.
- Consejo Federal de Inversiones, 2012. “Plan Estrategico de desarrollo local – Ingeniero Jacobacci – Segundo Informe Parcial”.
- Consejo Federal de Inversiones, Departamento Provincial de Aguas, 1991. “Estudio Hidrogeológico para la provisión de agua a Ingeniero Jacobacci”.
- Departamento Provincial de Aguas, 2012. “Informe Lagunas Carri-Laufquen”
- Equipo de Trabajo FAO – Argentina, 2015. “Documento de Trabajo Nº2 - Disponibilidad de Recursos y Condiciones Agroclimáticas de la Provincia de Río Negro – Proyecto FAO UTF ARG 017”.
- Equipo de Trabajo FAO – Argentina, 2015. “Documento de Trabajo Nº12 – Aspectos ambientales de la Provincia de Río Negro – Proyecto FAO UTF ARG 017”.
- Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Gebhard, J. A., Auge, M. A., Marchionni, D. S., Zucchino, B., 2010. “Estudio hidrogeológico de la región sur de la provincia de Río Negro, con énfasis en acuíferos de medios fisurados. Etapa I: procesamiento digital de imágenes satelitales e interpretación geológica aplicada a la hidrogeología”.
- Franchi M. R.; Nullo, F. E.; Sepúlveda, E. G., Uliana M. A., 1984. “Las sedimentitas terciarias”. En: Ramos, V.A. (Ed.), Geología y Recursos

Naturales de la Provincia de Río Negro, Relatorio, 9: 215-265. IX Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires.

- Hidroar S.A., 2021. “Estudio Hidrológico – Hidrogeológico para cumplimentar el EIA Proyecto Calcatreu – Provincia de Río Negro – Informe Final”.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2009. “Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de Río Negro – Geología, Hidrogeología, Geomorfología, Suelos, Clima, Vegetación y Fauna”.
- Instituto Técnico Superior de Ingeniero Jacobacci, Garcia Bascuñan, J. E., Bassan, J. A., 2018. “Informe estadístico de los consumos de agua (m3) desde el año 2010 al 2016”.
- Nullo, F.E. 1978. Descripción Geológica de la Hoja 41d, Lipetrén, Provincia de Río Negro. Servicio Geológico Nacional, Buenos Aires, Boletín 158, 88 pp.
- Olivares, G., Departamento Provincial de Aguas, 2018. “Relevamiento sistema de provisión de agua de Ingeniero Jacobacci”.
- Olivares, G., Departamento Provincial de Aguas, 2018. “Servicio de provisión de agua Ingeniero Jacobacci - Hidroquímica de las fuentes captadas”.
- SegemAR, González, P., Dalponte, M., Coluccia, A., Franchi, M. y R. Caba, 2000. Ingeniero Jacobacci. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina 1:250.000. Hoja Geológica 4169-III. Provincia de Río Negro. Boletín 311. Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. (Informe en estado preliminar).
- SegemAR, P. Aliani, S. Cavallaro, C. Fratalochi, G. Greco, F. Nicosia Burgos, N. Tello, D. Villegas, 2014. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina 1:250.000. Carta de Línea de Base Ambiental 4169-III Ingeniero Jacobacci. Provincia de Río Negro. Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales.