



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA SAN JUAN BOSCO

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y CIENCIAS DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

Caracterización hidroquímica del agua subterránea en la zona de Manantiales Behr, provincia del Chubut.

**Alumna: Micaela Belén Díaz.
Director: Mario Máximo Grizinik.
Co-director: Pablo Daniel Correia.**

AÑO 2025

ÍNDICE

1. RESUMEN	- 3 -
2. INTRODUCCIÓN	- 4 -
2.1 OBJETIVOS	- 5 -
2.2 ÁREA DE ESTUDIO	- 5 -
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	- 6 -
3.1 SOFTWARES PARA VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS	- 8 -
3.2 RELEVAMIENTO DE CAMPO	- 10 -
4. CLIMA	- 11 -
4.1 PRECIPITACIÓN	- 12 -
4.2 TEMPERATURA	- 13 -
4.3 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA	- 13 -
5. MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO	- 15 -
5.1 GEOLOGÍA REGIONAL	- 15 -
5.1.1 UNIDADES PRE-CENOZOICAS	- 15 -
5.1.2 UNIDADES CENOZOICAS	- 16 -
5.2 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	- 18 -
5.3 GEOMORFOLOGÍA	- 22 -
6. ANTECEDENTES	- 22 -
6.1 ESTRATIGRAFÍA CENOZOICA EN EL ÁREA DE ESTUDIO	- 22 -
6.1.1 FORMACIÓN CHENQUE	- 23 -
6.1.2 FORMACIÓN SANTA CRUZ	- 29 -
6.1.3 FORMACIÓN RODADOS PATAGÓNICOS	- 33 -
6.2 HIDROGEOLOGÍA	- 34 -
6.2.1 RECARGA	- 47 -
6.2.2 HIDRODINÁMICA	- 48 -
7. RESULTADOS	- 51 -
7.1 NIVELES ESTÁTICOS HISTÓRICOS EN MANANTIALES BEHR	- 51 -
7.2 MAPA EQUIPOTENCIAL	- 55 -
7.3 HIDROQUÍMICA	- 56 -
7.3.1 CLASIFICACIÓN QUÍMICA	- 56 -
7.3.2 MAPAS HIDROQUÍMICOS	- 71 -
8. DISCUSIÓN	- 81 -
9. CONCLUSIONES	- 84 -
10. BIBLIOGRAFÍA	- 84 -
11. ANEXOS	- 91 -

1. RESUMEN

Durante más de 70 años el acuífero en la zona de Manantiales Behr ha sido explotado y utilizado para abastecer a la ciudad de Comodoro Rivadavia, dado que son aguas de excelente calidad para consumo humano, industrial, ganadero y agrícola. El agua extraída, mediante un sistema de bombeo, aporta aproximadamente el 20% de agua potable que recibe la ciudad, principalmente zona norte, y el 80% restante proviene del Lago Musters a través de un sistema de acueductos, ubicado en la localidad de Sarmiento, la cual se encuentra a unos 150 km de distancia hacia el oeste.

En el área de Manantiales Behr se ha realizado un relevamiento de los pozos que están en servicio, de los 55 pozos totales solo 43 están en función y 12 se encuentran fuera de servicio; en la actualidad se extraen unos 450 m³/h alcanzando diariamente unos 10800 m³/d.

El Acuífero de Manantiales Behr comprende tres grandes unidades: Acuífero Multiunitario Superior, Acuitardo Sarmiento y Complejo Unitario Inferior, ubicados estratigráficamente en las unidades cenozoicas de la Cuenca del Golfo San Jorge.

El ámbito de recarga principal es Pampa del Castillo, compuesto principalmente por los Rodados Patagónicos que permiten la infiltración del agua. Sin embargo, no es posible estimar la infiltración debido a que no hay registros hidrometeorológicos en dicha región.

Los datos químicos obtenidos en el presente trabajo permiten caracterizar mayoritariamente al agua subterránea como del tipo Bicarbonatada Sódica, aunque se han identificado aguas del tipo cloruradas sódicas. Los valores de sólidos totales disueltos (STD) rondan entre 200 y 600 mg/l, siendo de suma importancia la interpretación de las variaciones a lo largo de estos últimos 70 años. Además, se ha compilado datos de los niveles estáticos para conocer si existieron variaciones a lo largo de los años.

Por otra parte, se hace mención a dataciones de isótopos ambientales Tritio, Deuterio y O¹⁸ que han permitido conocer el origen del agua del acuífero, concluyéndose como aguas del tipo pluvionivales. A su vez, mediante la utilización de Carbono¹⁴, se pudo establecer edades mayores a 12.000 años A.P para éstas aguas.

2. INTRODUCCIÓN

El área de Manantiales Behr ha sido objeto de análisis durante décadas por diversos investigadores debido a sus características hidroquímicas de las aguas subterráneas circundantes y su hidrodinámica; las cuales pertenecen a un sistema hidrogeológico multiunitario denominado Acuífero Multiunitario Superior [Castrillo *et al.* \(1986\)](#) de gran potencial hídrico. Se han desarrollado numerosas investigaciones en el área, como así también hubieron múltiples intervenciones por parte de organismos nacionales e investigadores ([Simeoni 1974](#), [Castrillo *et al.* 1986](#), [Simeoni 1986](#), [Hernández *et al.* 2017](#), [Grizinik *et al.* 2022](#)) y por trabajos inéditos ([Salvioli *et al.* 1987](#), [Auge 2007](#)). Por otra parte, aunque si bien existe información de la organización litológica interna del acuífero ([Legarreta *et al.* 1990](#), [Bellosi *et al.* 1996](#), [Paredes 2003](#), [Oporto *et al.* 2019](#), [Sosa *et al.* 2022](#), otros), no hay existencia de estudios que integren e interpreten la evolución química del agua y sus variaciones temporales a lo largo de los últimos 70 años. En cuanto a datos climatológicos provienen de la estación Comodoro Rivadavia, situada en el aeropuerto, perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional; debido a que en la zona de Pampa del Castillo no se cuenta con una estación meteorológica.

La región sureste de la provincia del Chubut presenta una sucesión estratigráfica definida por la Cátedra de Hidrogeología de la UNPSJB [Cátedra de Hidrogeología \(1982\)](#) donde el principal reservorio hídrico subterráneo corresponde al denominado Acuífero Multiunitario Superior, el cual constituye un importante paquete de areniscas con tendencia granocreciente [Castrillo *et al.* \(1984\)](#). Se encuentra integrado por las formaciones Chenque, Santa Cruz y los Rodados Patagónicos, juntos conforman una unidad conectada hidráulicamente a escala regional y con aguas de excelentes condiciones químicas que permiten ser utilizadas para consumo humano.

La conformación sedimentaria de la Formación Chenque es de origen marino somero y costero de edad Cenozoica, a su vez se distinguen secuencias vinculadas a las variaciones del nivel del mar ([Bellosi 1987](#), [Legarreta *et al.* 1990](#), [Bellosi y Jalfin 1996](#), [Barreda y Bellosi 2003](#), otros). Luego del retiro definitivo del mar Superpatagónico (Mioceno Medio) se depositaría la Formación Santa Cruz, donde se evidencia un pasaje de depósitos de origen estuárico a depósitos continentales ([Legarreta y Uliana 1994](#), [Bellosi 1995](#), [Bellosi 1998](#), otros). Por último, la Formación Rodados Patagónicos se encuentra conformada por potentes paquetes de gravas arenosas vinculadas a depósitos fluvio-glaciares ([Russo 1953](#), [Fidalgo y Riggi 1970](#), [Césari y Simeoni 1994](#), [Simeoni 2008](#), [Martínez *et al.* 2011](#), otros).

La Formación Chenque junto con la Formación Santa Cruz, cuando se encuentra presente, conforman el complejo sedimentario por excelencia para la prospección y explotación de aguas subterráneas en este sector de la provincia cuando se disponen los términos medio a superior de la secuencia.

La continuidad de los depósitos marinos de la Formación Chenque permiten el seguimiento de los paquetes de areniscas por varios kilómetros a través de registros eléctricos de pozos

perforados en la zona [Salvioli et al. \(1987\)](#). En gran parte del sector Suroriental de la Pampa del Castillo los espesores superan los 400 metros de potencia.

Las aguas circundantes poseen muy buena calidad para consumo humano y agrícola-ganadero, cumpliendo con las normas propuestas por el Código Alimentario Argentino ([Ley 18.284](#)). Si bien las aguas subterráneas han sido clasificadas hidroquímicamente como de tipo bicarbonatadas sódicas con niveles bajos de sólidos totales disueltos ([Salvioli et al. 1987](#), [Auge 2007](#), [Grizinik et al. 2022](#)), no existen estudios en cuanto a la evolución química de éstas aguas. Sin embargo, hay reseñas de la génesis de la acumulación carbonatos ([Fidalgo et al. 1970](#), [Vogt et al. 1994](#), [del Valle et al. 1999](#)).

En la actualidad se encuentran activos 43 pozos de los 55 existentes, siendo operados por la Sociedad Cooperativa Popular Limitada de Comodoro Rivadavia. Los pozos en cuestión fueron perforados por YPF entre 1938 y 1962; algunos de ellos son pozos de exploración petrolera acondicionados para la extracción de agua, y otros fueron originariamente construidos para la explotación de acuíferos. La extracción de agua en el área de Manantiales Behr eroga un caudal medio de unos 10.320 m³/día a través de bombas electrosumergibles, dato al mes de Mayo 2023.

2.1 Objetivos

Los objetivos planteados en este trabajo final para llevar a cabo la caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas en el área de Manantiales Behr son los siguientes:

- Desarrollar de manera integral la interpretación de análisis hidroquímicos de los horizontes acuíferos contenidos en las formaciones Chenque y Santa Cruz (Mioceno Inferior a Medio), desde sus inicios (1945) hasta la actualidad.
- Realizar una compilación de datos isotopométricos para evaluar las condiciones actuales del flujo subterráneo luego de la explotación por más de 70 años.
- Determinar el estado actual del acuífero multiunitario, sus condiciones de flujo subterráneo y las variaciones que pudieran haberse producido en los últimos años.

2.2 Área de estudio

El área de estudio se ubica a unos 30 km de distancia desde la ciudad de Comodoro Rivadavia, departamento Escalante, provincia del Chubut. A la zona se accede desde ruta nacional N° 3, tomando la ruta provincial N° 36. En su recorrido se pasa por el campamento de YPF-Manantiales Behr, luego se continúa por caminos de ripio en donde los pozos se encuentran ubicados en los cañadones y otros cerca de las cabeceras.

La superficie estudiada del Acuífero Multiunitario Superior en el área de Manantiales Behr comprende unos 100 km² (**Fig. 1**).

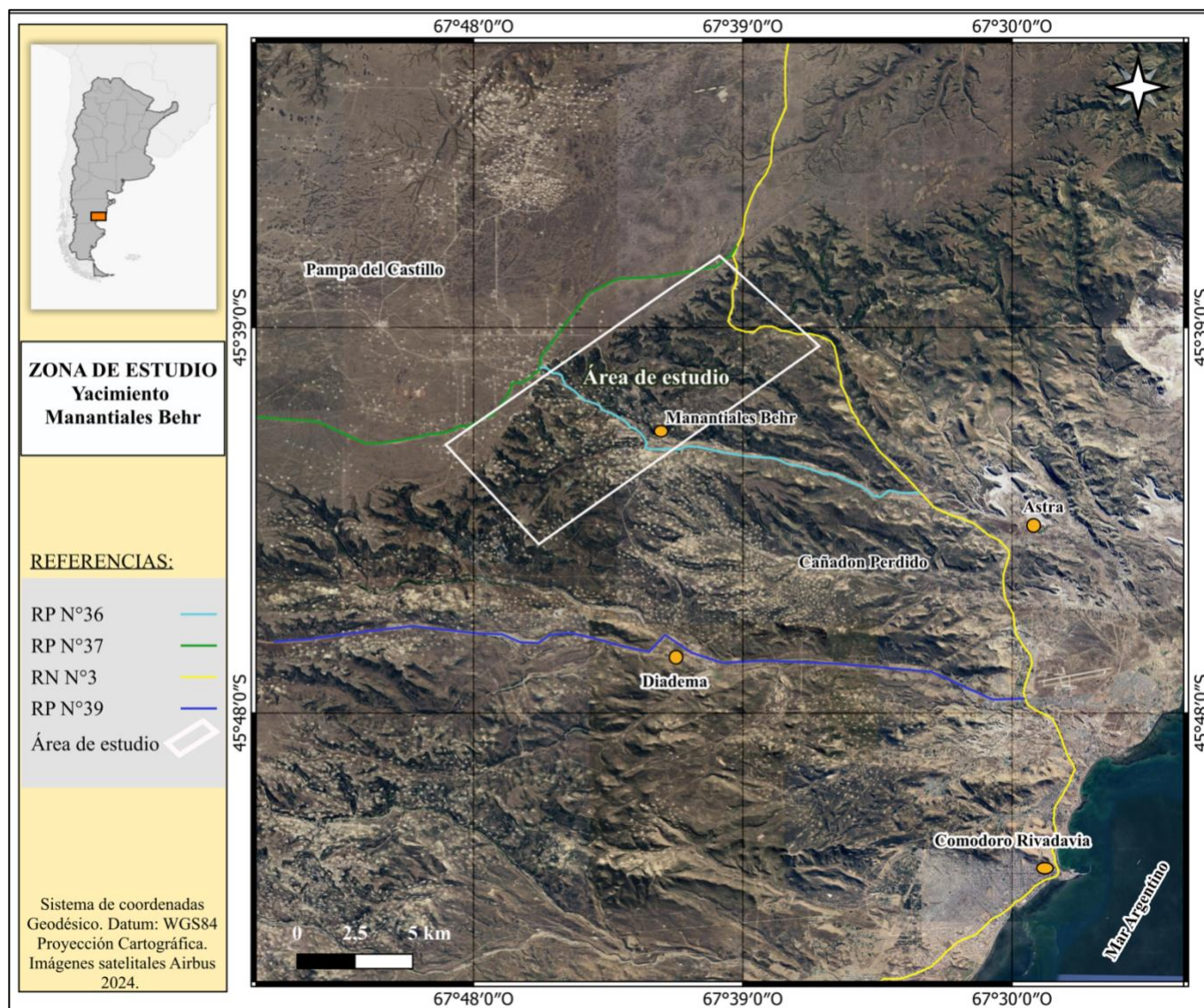


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el área de Manantiales Behr.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En esta sección se detallarán los métodos de visualización utilizados en el análisis químico de los pozos del área de Manantiales Behr. Estos métodos se emplearon para la elaboración de mapas y diagramas que facilitarán la interpretación de la información compilada.

En el desarrollo del presente trabajo final, se recopiló información de 86 muestras de agua subterránea para el análisis hidroquímico (**Fig. 2**). Una parte significativa de la información de los pozos de agua fue proporcionada por la Municipalidad de Comodoro Rivadavia, dependiente de la Subsecretaría de Medio Ambiente-Dirección de Aguas, dentro del marco de la Práctica Profesional. Las determinaciones de laboratorio se realizaron según los siguientes métodos analíticos:

Parámetros físico-químicos	Método Analítico MCR	Método analítico Induser
pH (laboratorio/campo)	Potenciométrico	SM 4500-H B
Dureza (CaCO ₃)	SM 17 ed. 2340 C	SM 2550 B
Alcalinidad (TAC)	SM 17 ed. 2310 B (Modificado)	SM 2320 B
Sólidos Totales Disueltos (180°)	SM 8 Ed.	SM 2540 C
Conductividad eléctrica	Potenciométrico	SM 2510 B/ ASTM D 1125
Na ⁺	SM 17 ed. 3500-Na D	ISO 14911
Ca ⁺²	SM 17 ed. 3500-Ca D	ISO 14911
Mg ⁺²	SM 17 ed. 3500-Mg E	ISO 14911
Cl ⁻	SM 17 ed. 4500-Cl B	SM 4110 B
NO ₃ ⁻	SM 17 ed. 4500-NO3 B	SM 4110 B
SO ₄ ⁼	SM 17 ed. 4500-SO4 E	SM 4110 B
CO ₃ ⁻²	SM 17 ed. 2310 B (Modificado)	SM 2320 B
HCO ₃ ⁻	SM 17 ed. 2310 B (Modificado)	SM 2320 B

Tabla 1. Determinación de los parámetros físico-químicos mediante Método Analítico MCR (Municipalidad de Comodoro Rivadavia) y Método Analítico Induser (laboratorio Clase A-Resolución 41/14 OPDS; Norma ISO 17025).

Asimismo, se obtuvieron datos provenientes de informes inéditos (YPF 1945, Salvioli *et al.* 1987, Auge 2007), los cuales complementaron la base de datos del presente trabajo final. Subsiguientemente, se procedió a la interpretación de los datos históricos de los análisis, examinando las relaciones iónicas identificadas y la aplicación de representaciones gráficas para la clasificación de las aguas y la determinación de su aptitud para el riego. Adicionalmente, los análisis químicos recopilados a través de investigaciones previas en la zona proporcionaron información sobre la evolución química de los últimos setenta años, lo cual es de gran relevancia para comprender el comportamiento químico e hidrodinámico durante dicho período.

Finalmente, se realizó un análisis de las geoformas utilizando la plataforma Google Earth, destacándose la identificación de niveles aterrizados, redes de drenaje y cañadones.

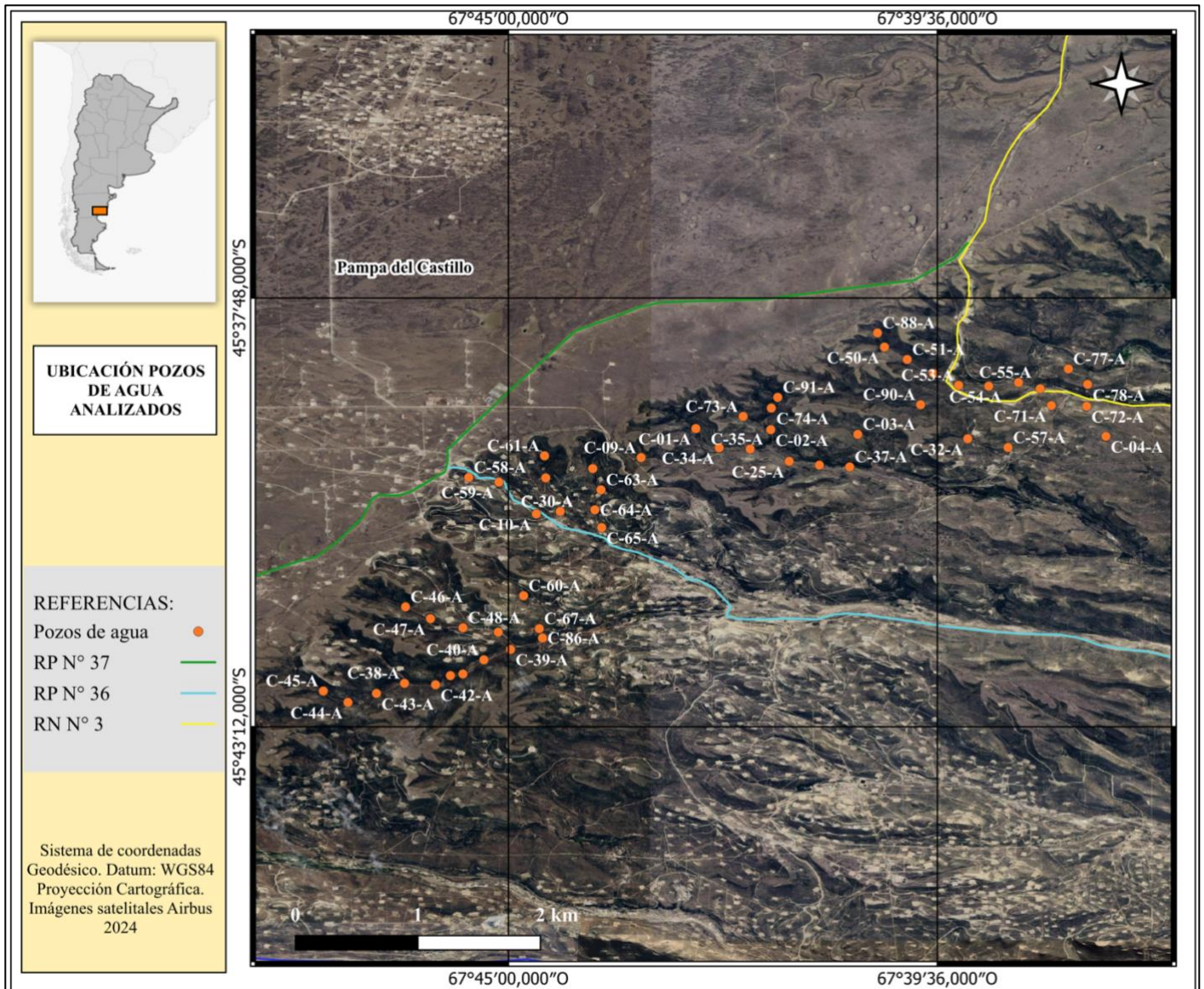


Figura 2. Ubicación de los pozos de agua, en la zona de Manantiales Behr, de los cuales se extrajeron las muestras posteriormente analizadas en el presente trabajo final.

3.1 Softwares para visualización de los datos

Se seleccionaron los análisis que proporcionaron información detallada sobre los principales iones, incluyendo bicarbonatos, sulfatos, cloruros, calcio, sodio, magnesio y potasio, así como datos fisicoquímicos como pH, conductividad, alcalinidad, sólidos totales disueltos y dureza. Para la gestión de la base de datos se utilizó el software **EASY QUIM (Fig. 3)** el programa está diseñado para realizar la clasificación, análisis, cálculos, visualizaciones e interpretaciones de datos hidroquímicos (diagramas de Piper, Schoeller, Stiff e Índice de adsorción de sodio). Además, realiza algunos cálculos como conversión de unidades (mg/l a meq/l), errores de balance de cargas o relaciones iónicas. El programa incorpora la fórmula para realizar el cálculo de error de balance de cargas:

$$error (\%) = 100 \times \frac{\sum cat - \sum an}{\sum cat + \sum an}$$

Se descartaron aquellas muestras cuyos errores superaron el límite aceptable (<10%) para este trabajo final.

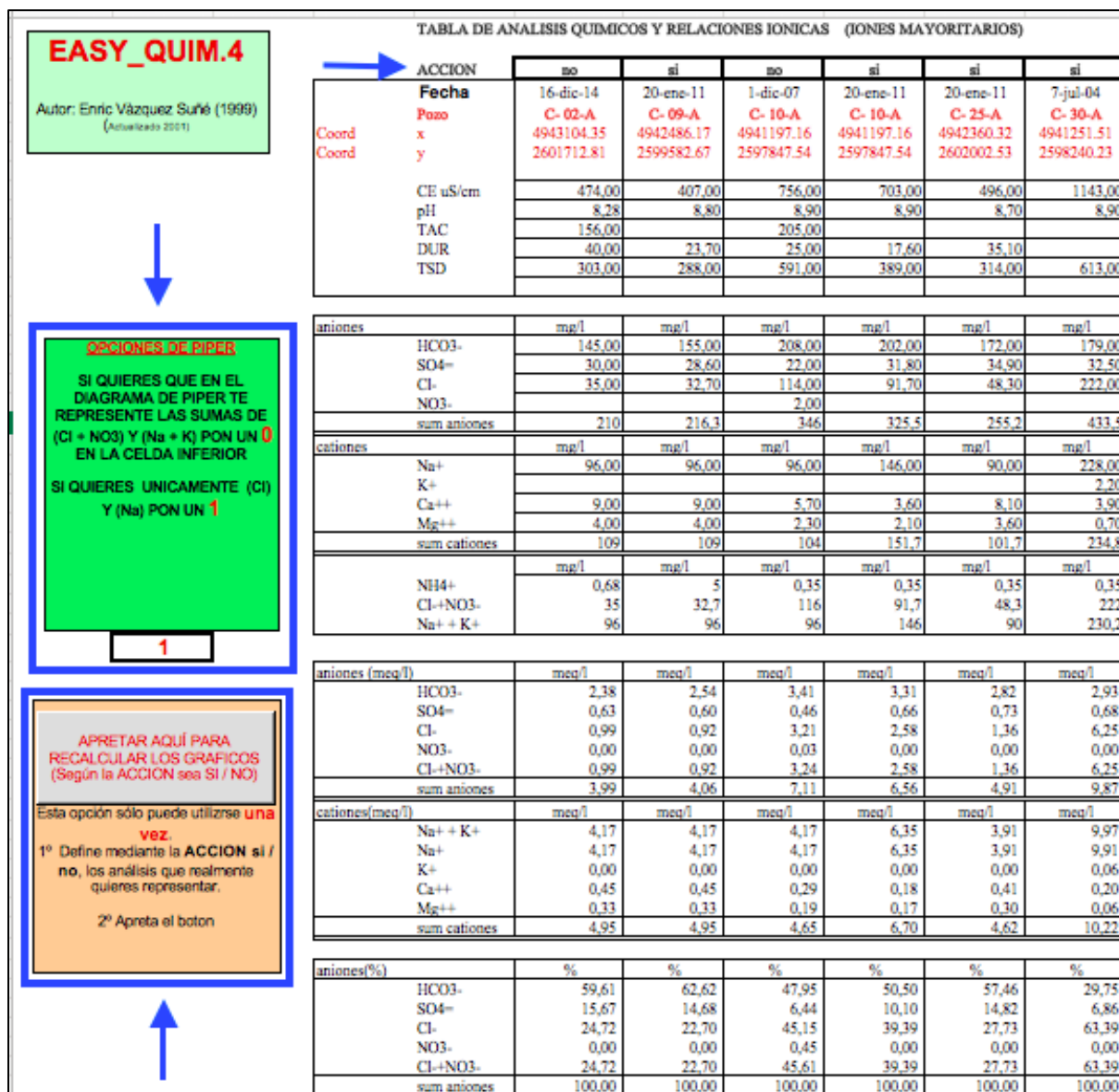


Figura 3. Imagen tomada del programa EASYQUIM donde se observa la hoja de cálculo, con algunos de los análisis hidroquímicos, y sus diferentes operaciones.

El programa **EASYQUIM.4** fue diseñado por Vázquez Suñé Enrique (1999), perteneciente al Grupo de Hidrogeología Subterránea del Departamento de Ingeniería del Terreno de la UPC (España).

La utilización del programa es bastante sencilla, en primer lugar se introducen los nuevos datos en las celdas sustituyendo los valores existentes (nombre, coordenadas, parámetros físico-químicos, iones mayoritarios) una vez hecho esto se dispone de las representaciones de PIPER y SCHOELLER; los diagramas de STIFF quedan en forma de archivo con formato para representar el mapa en Surfer.

Dependiendo la versión con la que se cuente, se pueden procesar desde 24 hasta 200 muestras, en las más recientes. Dado que en el presente trabajo final se utilizaron 86 análisis, resulto más conveniente utilizar la versión base para una mejor interpretación de los datos.

En el caso de querer representar un número inferior a 24 muestras se hace lo siguiente:

- en la fila superior de la hoja de “DATOS” pone “ACTIVO” “si / no” (**Fig. 3**). Si es claro cuáles son los análisis que deseas representar y los que no, simplemente se indica SI o NO respectivamente y apretar el botón gris ubicado a la derecha de los datos. Esto produce que no se representen los indicados con NO. El inconveniente de usar esta opción es que no se puede hacer marcha atrás, y los que se indican con NO quedan definitivamente eliminados. No se aconseja su uso hasta tener claro los análisis que definitivamente se quieran representar.

Por otra parte, otras acciones que permite realizar el programa es que al representar el diagrama de PIPER se puede considerar el porcentaje en meq/l de ($\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$) y de ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) o solo de Cl^- y Na^+ . En el cuadro a la izquierda de los datos (**Fig. 3**) podrás colocar 0 o 1 si preferís uno u otro respectivamente; para éste trabajo se utilizó la opción 1.

Otro programa utilizado es el **Surfer**, un software diseñado para modelar superficies, realizar visualizaciones en 3D y crear isolíneas. Este programa es útil para analizar superficies, modelar el terreno en 3D, elaborar cartografía de curvas de nivel y generar mapas.

El método de interpolación de Surfer convierte los datos XYZ en mapas mediante el uso de grillas. Cada grilla genera mapas topográficos, de pendiente, vectores, imágenes, relieves y mapas de puntos, lo que permite superponer información y crear mapas con características específicas. En esta tesis, se utilizó Surfer para elaborar mapas de concentración de iones (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} y mapa actualizado de isohietas, que refleja los niveles estáticos correspondientes al año 2019).

Por último, se utilizó el programa **QGIS** para la elaboración de mapas de sólidos totales disueltos. **QGIS** es un sistema de información geográfica (SIG) que permite editar, visualizar, analizar y publicar información geográfica.

3.2 Relevamiento de campo

Como parte de las actividades planteadas de campo, se realizó un relevamiento de los pozos actualmente explotados y en cada sitio a relevar se obtuvo una muestra para mediciones *in situ* de conductividad con instrumental de la Cátedra de Hidrogeología.

Se utilizaron dos conductivímetros, uno que realiza mediciones de baja salinidad y otro que presenta un rango más amplio siendo útil para salinidades muy elevadas (**Fig. 4**). Como en el presente trabajo las salinidades eran bajas, menor a $1000 \mu\text{S}$, se utilizó el conductivímetro de mide bajas salinidades y se verificó el dato con el conductivímetro que mide salinidades altas.



Figura 4. Conductivímetro portátil marca Trans Instruments, de alto rango de medición (salinidades > $20000 \mu\text{S}$).

Durante el relevamiento de campo se realizaron mediciones de conductividad en pozos pertenecientes a la provincia del Chubut y a la Municipalidad de Comodoro Rivadavia, y en zonas de captación como La Corona y Elwing (Fig. 5).

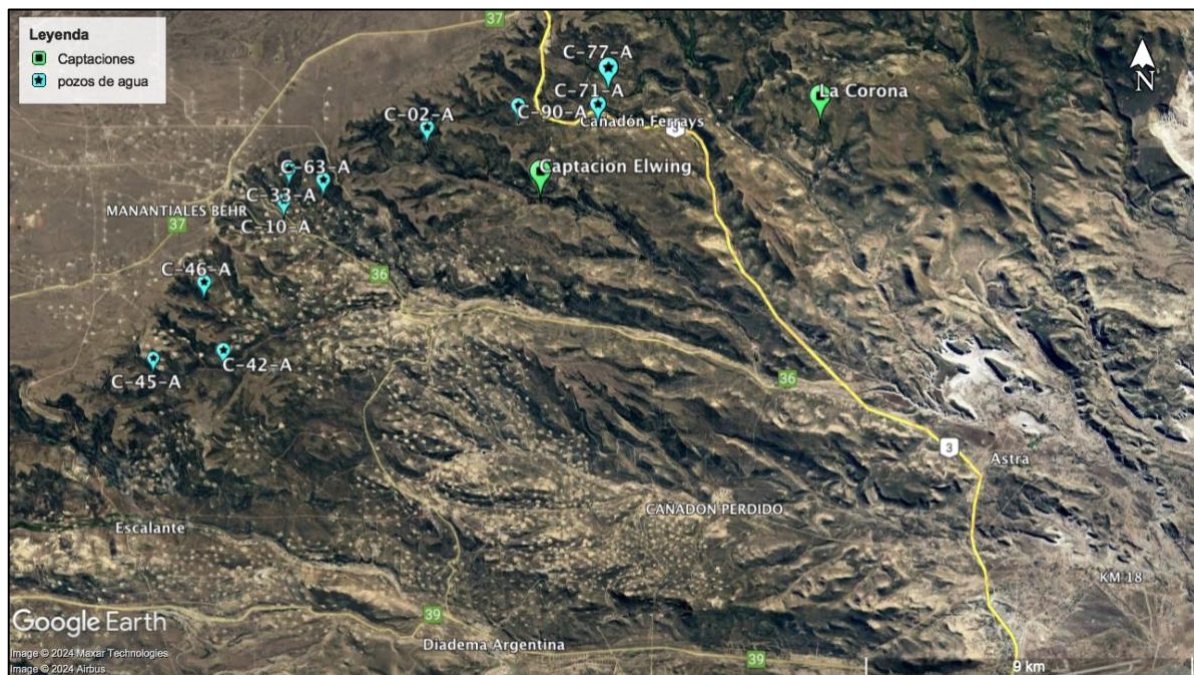


Figura 5. Ubicación de los pozos de agua y captaciones, donde se realizó la medición de conductividad.

El conductímetro portátil es un equipo utilizado para realizar lecturas de la conductividad eléctrica en muestras de agua. No mide sales específicas, sino la combinación total de sales en el líquido; puede expresarse en μ Siemens (microsiemens, μ S) o mSiemens (milisiemens, mS), donde 1 mS equivale a 1000 μ S, en el Sistema Internacional de Unidades. El equipo posee dos electrodos parecidos que cuando se le aplica una corriente a uno de ellos genera que los iones en solución se muevan entre ambos electrodos dando como resultado el transporte de electricidad; entre más iones se encuentren en solución la corriente será aún mayor. El dispositivo permite calcular, en base a la corriente medida y la ley de Ohm (corriente alterna), la conductividad de la solución. En las medidas de conductividad de las disoluciones no es posible utilizar corriente continua debido a que generaría reacciones de electrólisis; por este motivo se emplea corriente alterna de muy baja tensión pero de alta frecuencia (rangos entre 1-3 Hz).

4. CLIMA

La zona sureste de Chubut presenta un clima del tipo árido muy característico de la región Patagonia extrandina. Se caracteriza por lluvias anuales que rondan los 250 mm/añual, en donde los meses más lluviosos son épocas de otoño-invierno y épocas secas que van de diciembre a marzo. Por otra parte, otro factor predominante en la zona es el viento; el cual puede rondar los 30km/h hasta alcanzar ráfagas de más de 100km/h, generando así una alta tasa de evapotranspiración.

4.1 Precipitación

Se debe anticipar que en la zona de Pampa del Castillo no hay antecedentes hidrometeorológicos y es por ello que es necesario recurrir a datos de la estación meteorológica más cercana; ubicada en dependencia del aeropuerto de la ciudad de Comodoro Rivadavia y es operada por el Servicio Meteorológico Nacional.

De acuerdo a los datos obtenidos, para el período **1941/80** la precipitación anual registrada en dicha estación fue de 238 mm con una máxima anual de 442,4 mm (1976) y una mínima de 126,1 mm (1962); la media mensual fue de 19,8mm. En el semestre marzo-agosto, prácticamente coincide con las estaciones otoñal e invernal, precipita el 64,3% (153 mm) de la altura media anual de agua caída; en el periodo septiembre- febrero (estación esquival) precipita el 35,7% restante (85 mm). El mes de máxima pluviosidad es mayo, con 37,8 mm, y el mes menos lluvioso es octubre con 9,6 mm.

En el período **1981/90**, la precipitación media anual descendió a 228 mm. El mes más lluvioso fue Junio, con 29 mm y el menos lluvioso Noviembre, con 8 mm. La época más lluviosa es Junio con 76 mm (33% del total) y la menos lluviosa el verano (12%).

Durante **1991/2020**, la precipitación media anual fue de 258,1 mm. Junio continuó siendo el mes más lluvioso con 37,2 mm y Enero el más seco con 10,7 mm. La época más lluviosa es el otoño con 102,5 mm y la más seca el verano. Sin embargo, entre el 29 de marzo y el 08 de abril de **2017** la ciudad de Comodoro Rivadavia tuvo una de las mayores catástrofes climáticas debido a las lluvias persistentes con alta producción de escorrentía superficial [Paredes et al. \(2017\)](#), en donde las precipitaciones acumuladas durante esos once días alcanzaron los 399.4 mm.

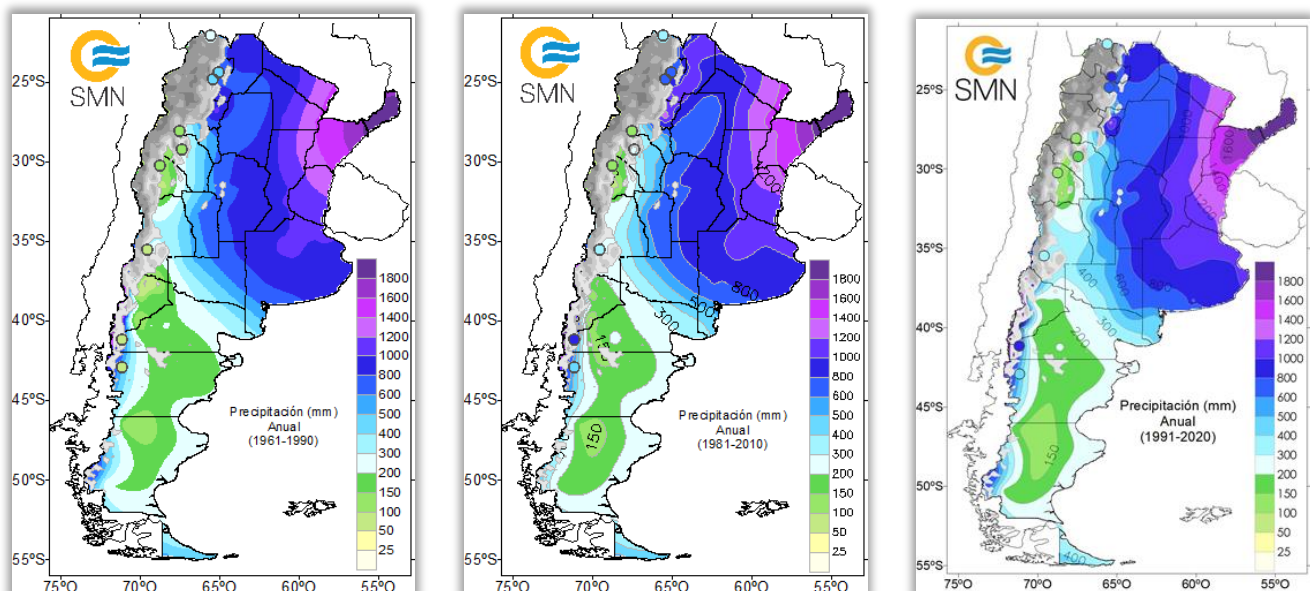


Figura 6. Comparación de las precipitaciones anuales de los últimos 80 años, Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

4.2 Temperatura

Los registros de temperatura también fueron tomados de la estación meteorológica ubicada en el aeropuerto de la ciudad de Comodoro Rivadavia. Los datos promedios mensuales desde 1991 a 2020 registran una máxima de 26,3°C para el mes de Enero y una mínima de 2,7°C en Julio, con un promedio anual de 13,2°C. En la **Fig. 8** se observa un leve aumento en la temperatura media anual comparados entre los años 1961-1990 con respecto a 1991-2020.

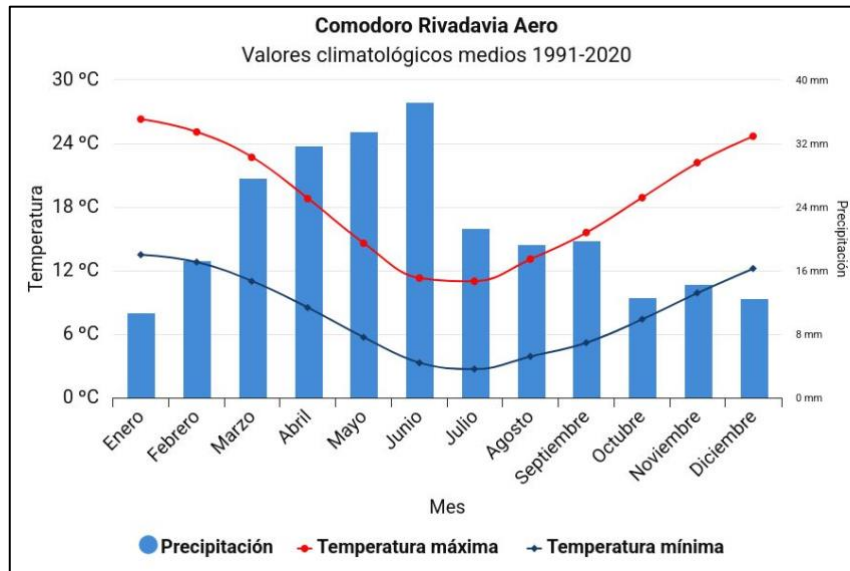


Figura 7. Valores climatológicos medios de Comodoro Rivadavia-Aeropuerto para 1991-2020 (Tomado de estadísticas climatológicas normales del Servicio Meteorológico Nacional).

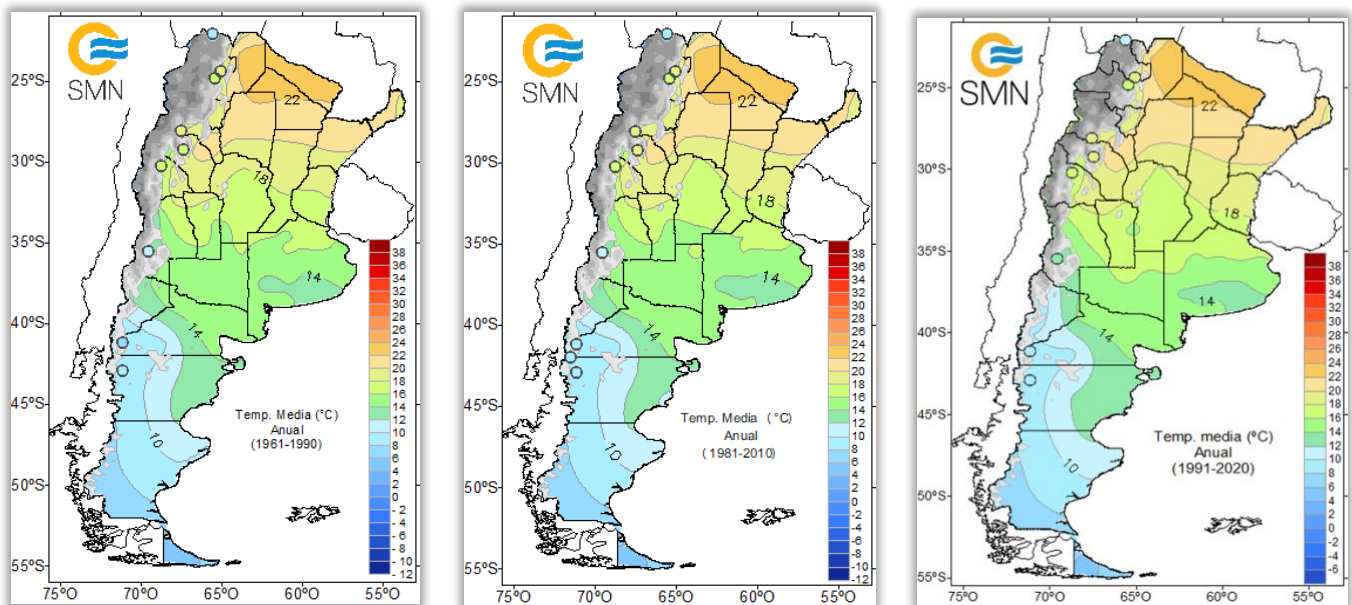


Figura 8. Comparación de la temperatura media anual de los últimos 80 años, Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

4.3 Clasificación climática

Para el presente trabajo se utilizó la clasificación de [Coronato et al. \(2017\)](#) la cual se basa en la superposición de tres elementos climáticos significativos que describen el nivel, el régimen térmico (temperatura media y amplitud térmica respectivamente) y el régimen hídrico (Índice

de aridez). La intersección de las isolíneas definen áreas climáticamente homogéneas, cuya denominación de tres términos responde al siguiente código:

Primer término: Nivel térmico: Temperatura Media Anual (TmA)
TmA > 10° C = Templado (T)
TmA < 10° C = Frío (F)

Segundo término: Régimen Hídrico: Índice de Aridez (IA): Precipitación media anual / evapotranspiración potencial (IA= p/ EPT; UNESCO, 1977)
IA < 0.2 = Árido (A)
0.2 < IA < 0.5 = Semiárido (sA)
0.5 < IA < 0.75 = Sub-húmedo (sH)
IA > 0.75 = Húmedo (H)

Tercer término: Régimen Térmico: Rango de Temperatura Media Anual (RtmA)
RtmA > 16°C = Continental ©
16°C > RtmA > 10°C = Transicional (t)
10°C > RtmA > 5°C = Oceánico (o)
RtmA < 5°C = Híper-oceánico (o+)

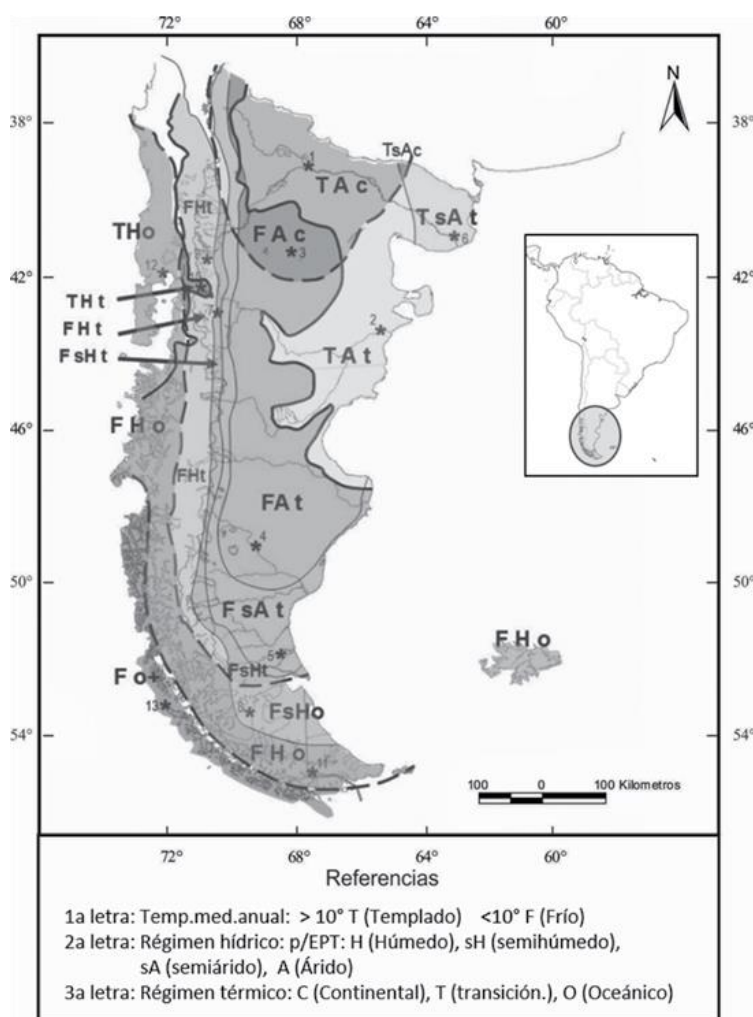


Figura 9. Clasificación climática de la Patagonia, la zona suroeste de Chubut presenta un clima árido-frío con un régimen térmico de transición (Tomado de Coronato et al. 2017).

5. MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

5.1 Geología regional

5.1.1 Unidades pre-cenozoicas

La Cuenca del Golfo San Jorge se ubica entre los 45-47° latitud sur y entre los 72-64° longitud oeste. La cuenca está conformada por un basamento ígneo-metamórfico de edad Paleozoica superior; por encima se asienta un complejo volcanosedimentario, de edad Jurásica Media [Figari et al. \(1999\)](#). En discordancia angular, se deposita el Grupo Chubut el cual se encuentra conformado por la Fm. D-129, Fm. Matasiete, Fm. Castillo, Fm. Bajo Barreal, Fm. Laguna Palacios y Fm. Lago Colhué Huapi.

El Grupo Chubut [Lesta y Ferello \(1972\)](#) se inicia con el sistema depositacional fluvial-lacustre de las Formaciones Pozo D-129- Matasiete (Barremiano?-Aptiano) [Vallati \(2013\)](#). El relleno mesozoico de esta cuenca extensional intracratónica está vinculado al proceso de *rifting* iniciado en el Jurásico durante la apertura del océano Atlántico ([Figari et al. 1999](#), [Sylwan 2001](#), [Sylwan et al. 2008](#)). El registro sedimentario continúa con la Formación Castillo [Lesta y Ferello \(1972\)](#) asociada a sistemas aluviales-fluviales fuertemente influenciados por el aporte de ceniza volcánica [Paredes et al. \(2015\)](#) con influencia variable del control tectónico extensional ([Figari et al. 1999](#), [Paredes et al. 2013](#)). Le suprayace la Formación Bajo Barreal [Lesta y Ferello \(1972\)](#) unidad también dominada por el registro de sistemas fluviales, pero con una gradual disminución en la proporción de material piroclástico distal y depositada en un contexto tectónico dominado por hundimiento térmico regional ([Figari et al. 1999](#), [Rodríguez y Littke 2001](#)). La Fm. Lago Colhué Huapi [Casal et al. \(2015\)](#) está compuesta principalmente por fangolitas de coloración rojiza de origen fluvial así como también areniscas finas, medianas a conglomerádicas, brechas fangosas y conglomerados finos de edad Cretácica Superior (Coniaciano-Maastrichtiano) conformando asociaciones de canal, barras laterales y centrales vinculados al canal principal, y conformando asociaciones de albardón y lóbulos de desborde vinculados a la planicie de inundación proximal mientras que los depósitos puramente fangolíticos sin intercalación de areniscas esta restringidos a la planicie de inundación distal. Se han encontrado restos fósiles de dinosaurios tales como titanosaurios y hadrosaurios con importancia cronoestratigráfica entre otros [Casal et al. \(2015\)](#). También se han encontrado distintas especies de esporas y granos de polen, algas filamentosas y helechos acuáticos lo que indica un ambiente de agua dulce [Vallati et al. \(2016\)](#). La Formación Laguna Palacios se restringe a una posición perimetral de la cuenca y constituye esencialmente un registro de paleosuelos ([Sciutto 1981](#), [Bellosi y Sciutto 2002](#), [Genise et al. 2002](#)). Durante el Cretácico Superior se da inicio a la compresión que controla la subsidencia de carga tectónica de los depósitos continentales del Grupo Chubut en la cuenca de antepaís ([Ramos 2015](#)).

5.1.2 Unidades cenozoicas

A continuación se deposita la Formación Salamanca, caracterizada por sedimentitas marinas depositadas durante el primer evento transgresivo atlántico en la Cuenca del Golfo San Jorge, denominadas como "Salamanqueano" [Ihering \(1907\)](#), Salamanquense [Feruglio \(1949\)](#) o Formación Salamanca [Lesta y Ferello \(1972\)](#). Por su parte, [Andreis \(1975\)](#) divide a la Formación Salamanca en dos unidades litoestratigráficas de rango menor: Miembro Bustamante y Miembro Hansen. El Miembro Bustamante se compone de packstones bioclásticos y grainstones con resto de pelecípedos, espinas de equinodermos, briozoos, ostrácodos y resto de foraminíferos [Matheos et al. \(2003\)](#) El Miembro Hansen involucra a las capas Fragmentosa, Banco Verde, Banco Negro Inferior, comúnmente atribuibles a la Formación Salamanca. El contacto con el Grupo Río Chico es transicional y se encuentra constituido por el Banco Negro Inferior, interpretado ([Feruglio 1949](#), [Legarreta y Uliana 1994](#), [Raigemborn et al. 2010](#)) como depósitos de manglar o pantano. Por otra parte, el Banco Negro Inferior contiene restos de pequeños mamíferos del tipo Dryolestida, un inusual grupo de sobrevivientes mesozoicos que son utilizados como referencia para las edades SALMA (*South American Land Mammal Ages*) ([Gelfo y Pascual, 2001](#)).

La categoría de Grupo Río Chico fue propuesta por [Legarreta y Uliana \(1994\)](#), el cual fue dividido, de base a techo, en tres formaciones: Peñas Coloradas, Las Flores y Koluel Kaike, [Raigemborn et al. \(2010\)](#) redefine a la unidad e incluye a la Formación Las Violetas; el ambiente de depositación dominante es fluvial ([Andreis et al. 1975](#), [Legarreta y Uliana 1994](#), [Krause et al. 2010](#), [Raigemborn et al. 2010](#), [Foix et al. 2013](#)), con el desarrollo de abundantes paleosuelos hacia el borde de cuenca ([Legarreta y Uliana 1994](#), [Krause et al. 2010](#)).

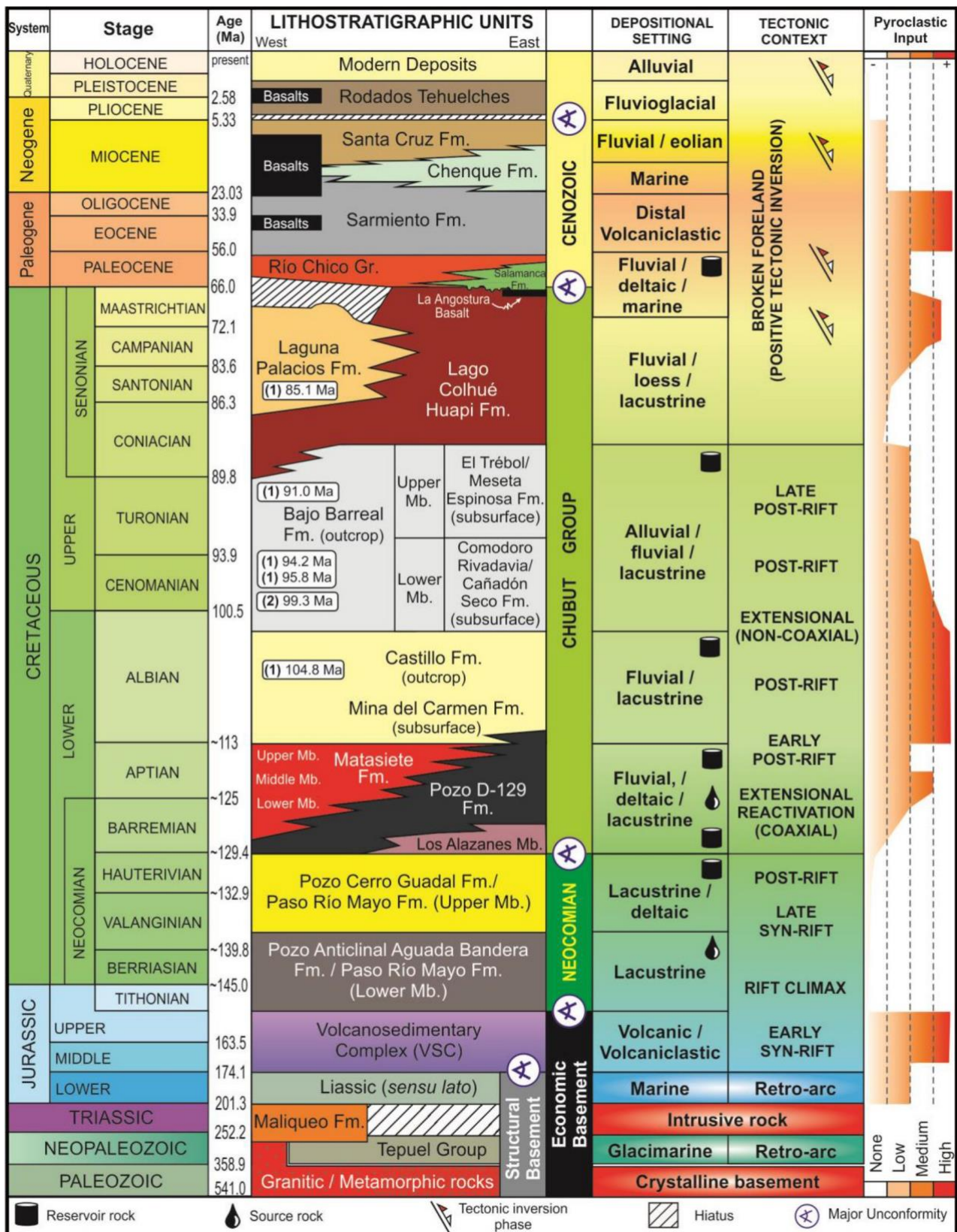


Figura 10. Columna estratigráfica de la Cuenca del Golfo San Jorge (Tomado de Foix et al., 2020)

5.2 Geología del área de estudio

Gran parte de la zona de estudio se encuentra cubierta, aunque en sectores es posible observar afloramientos de las formaciones aquí mencionadas; en la Hoja Geológica 4569-IV [Sciutto \(2000\)](#) se aporta información de las rocas presentes en el área de Manantiales Behr.

En la siguiente descripción se parte de las formaciones cenozoicas más antiguas hasta las más modernas.

Grupo Río Chico

De origen continental-fluvial, esta unidad no aflora en la zona de estudio. Ha sido interpretada en el subsuelo mediante información inédita [Salvioli et al. \(1987\)](#), que sugiere espesores variables entre 50-100 m.

Formación Sarmiento

Esta unidad no aflora en la zona de estudio. Subyace a la Formación Chenque y se caracteriza por la presencia de depósitos piroclásticos pobremente estratificados y de origen eólico. La edad es asignada al Eoceno debido a la presencia de restos fósiles de mamíferos. Hidrogeológicamente se comporta como acuitardo, sin horizontes acuíferos, y el agua presente en las pelitas contiene un elevado contenido salino.

Formación Chenque

En la zona de Manantiales Behr, se ha realizado una breve descripción de un afloramiento posiblemente asociado a la Formación Chenque (**Fig. 11**) de coordenadas geográficas 45° 41' 53.0"S y 67° 40' 47.3" W con cota a 356 m. Aquí se observan intercalaciones de paquetes de areniscas medianas, bien seleccionadas, con presencia de óxidos de hierro e intraclastos de arcilla sobre la base, y paquetes de arcilitas con laminación paralela.

El perfil completo de esta formación se encuentra bien representada en el Cerro Chenque, está dividido en un miembro inferior, de litología pelítica, y un miembro superior, que es arenoso. Su origen es marino-costero, depositado en periodos de transgresión y regresión ocurridas durante el Mioceno (inferior a medio).

Las intercalaciones de fracciones arenosas con pelíticas hacen que esta sección se comporte por tramos como acuífero libre, en la sección superior, y como acuífero semiconfinado o acuitardo en la sección inferior. En profundidad las aguas dulces limitan con aquellas unidades que contienen agua salada o salobre.

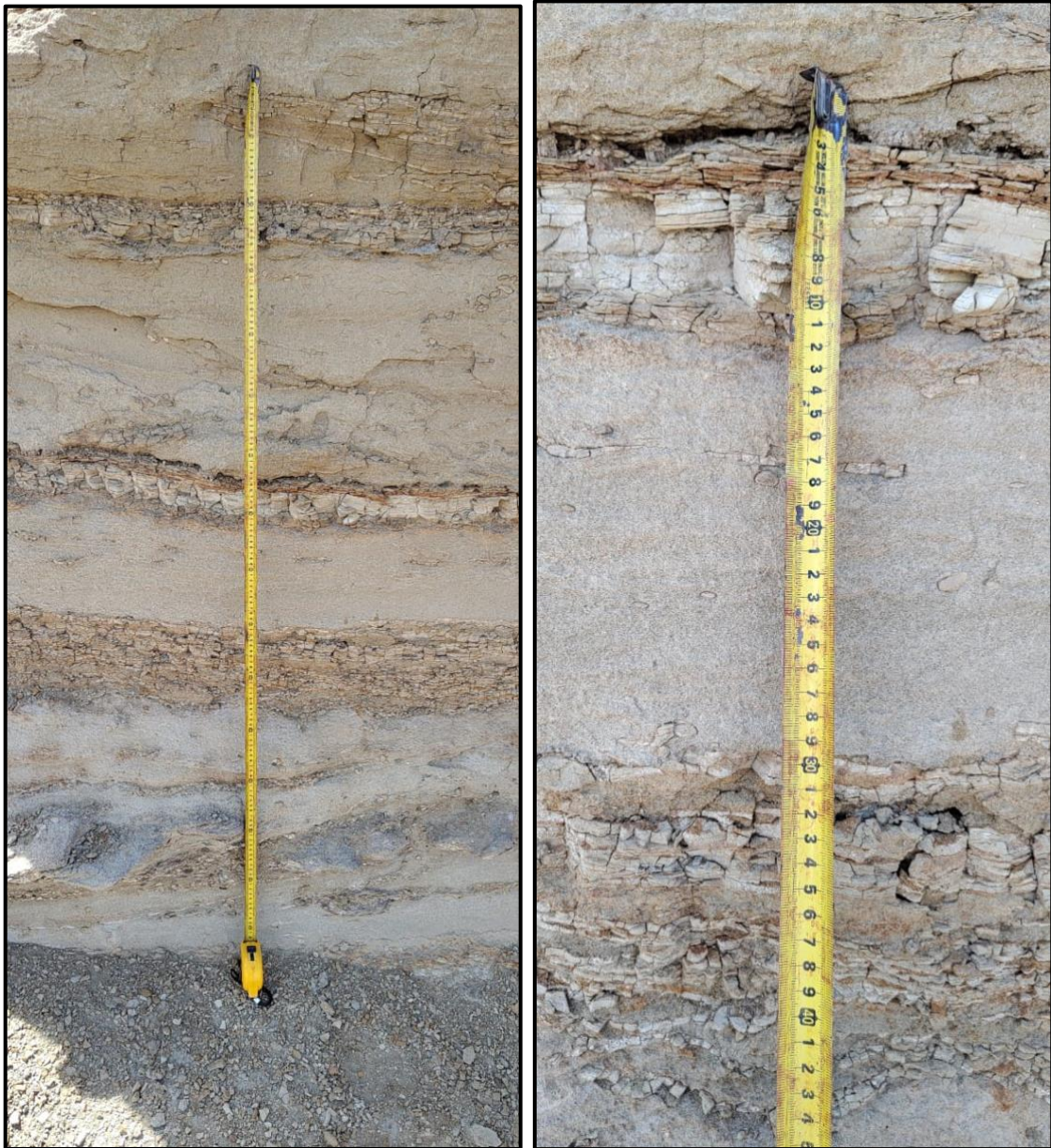


Figura 11. Niveles intercalados de arenisca y arcilita, pertenecientes a la Fm. Chenque.

Formación Santa Cruz

Sobre el camino al campamento de YPF se observa un afloramiento de unos dos metros de espesor de la Fm. Santa Cruz, de arena fina a mediana con presencia de estratificación entrecruzada de gran escala y estratificación entrecruzada de bajo ángulo; se observa presencia de óxidos de Fe y CaCO₃ (**Fig. 12**). Por encima de la Formación Santa Cruz se observa un depósito en discordancia, de unos 30 cm de espesor, que presenta una textura granular y raíces, posiblemente asociado a un paleosuelo.

En base a su composición litológica y comportamiento hidrogeológico en subsuelo, ésta formación se comporta como un acuífero y forma parte, junto a la Formación Chenque, del acuífero regional de la zona. La sección del acuífero contenido en la Formación Santa Cruz y la sección superior de la Formación Chenque permite un comportamiento del tipo libre o freático.



Figura 12. Formación Santa Cruz en el área de Manantiales Behr.

Rodados Patagónicos

Durante el relevamiento se realizó una breve descripción de los Rodados Patagónicos, presentes en una cantera sobre Pampa del Castillo. Se disponen como un depósito macizo de un metro de espesor, de textura gruesa, clastos medianos a muy gruesos, sin tendencia definida y ausencia de estructuras y con presencia de CaCO_3 (**Fig. 13**).

Los Rodados Patagónicos son depósitos fluvio-glaciares del Plio-Pleistoceno, de unos 5-2 Ma. La composición de las gravas es principalmente de rocas volcánicas porfíricas, que habrían provenido desde la zona cordillerana del noroeste del macizo del Deseado, donde los afloramientos de esas rocas del Jurásico superior están ampliamente distribuidos [Césari *et al.* \(1986\)](#).

Estos depósitos se encuentran bien representados en la Pampa del Castillo, en el sector oeste de la zona de trabajo, donde alcanzan espesores de entre 10 y 30 m.



Figura 13. Depósito de Rodados Patagónicos, cantera en Manantiales Behr.

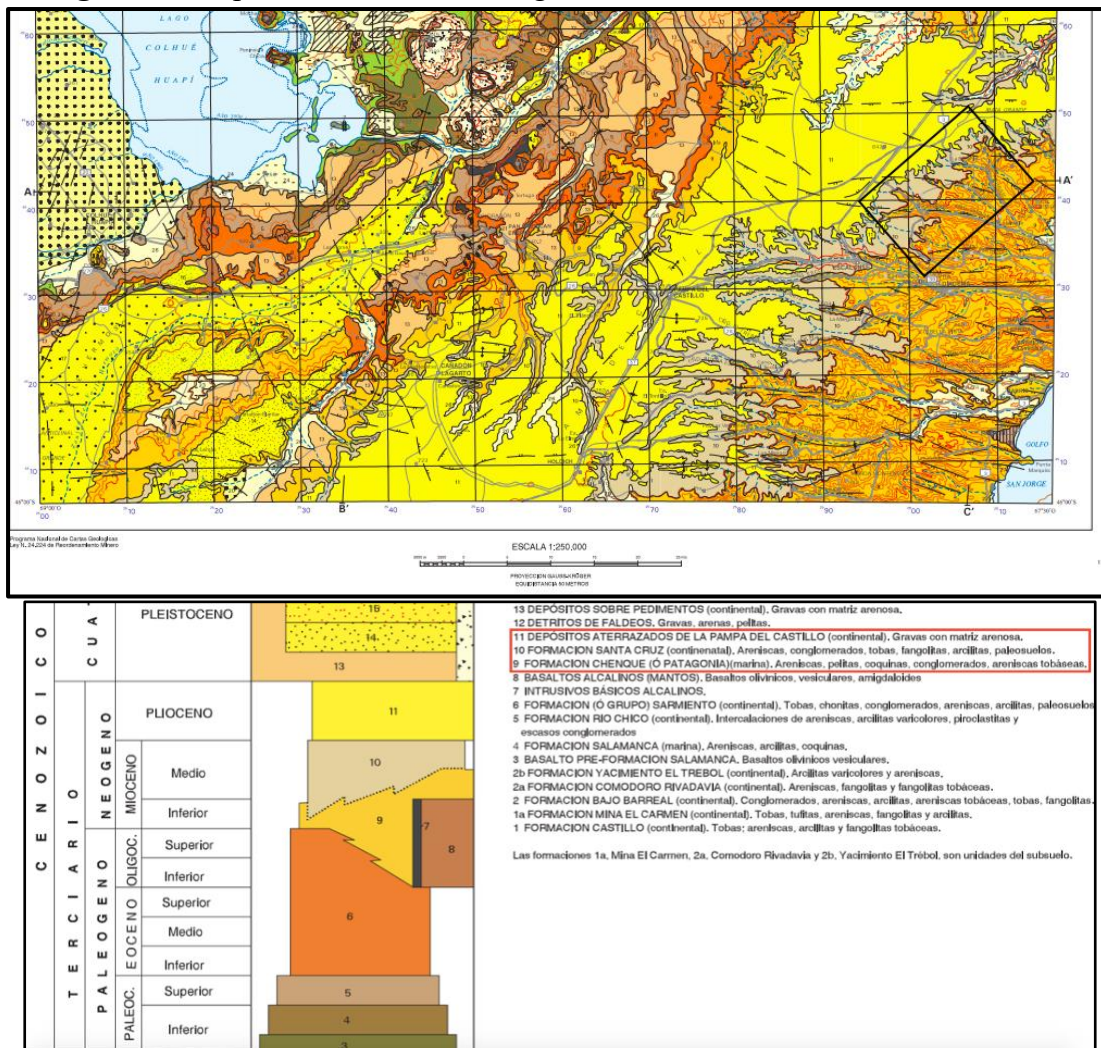


Figura 14. Ubicación de Manantiales Behr en Hoja Geología 4569-IV Escalante y descripción de las unidades presentes en la zona de estudio (Tomado de Sciutto et al. 2008).

5.3 Geomorfología

El sector nororiental del área se caracteriza por un relieve mesetiforme, correspondiente a la Pampa del Castillo, constituida por los Rodados Tehuelches; los cuales se localizan a una altitud aproximada de 650 metros sobre el nivel del mar, con una disposición subhorizontal y una suave pendiente con dirección noreste. Estos depósitos fluvioglaciales suelen presentar un espesor que oscila entre los 10 y 30 metros, los cuales se depositaron sobre formaciones cenozoicas preexistentes en un antiguo valle de considerables dimensiones, cuyo límite estaba definido por dos elevaciones topográficas situadas entre la localidad de Sarmiento y el sector occidental del Golfo San Jorge. La elevada resistencia a la erosión de este manto de gravas ocasionó la inversión del relieve, generando actualmente elementos topográficos positivos.

Otro rasgo geomorfológico dominante lo constituyen los cañadones, cuya génesis se originó a partir de la intensa actividad hídrica que se desarrolló en la zona y se encuentra vinculada a diversos factores, tales como la elevada pendiente y la litología friable presente. Los cañadones principales presentan una extensión longitudinal que oscila entre los 10 y los 15 kilómetros, desde la Pampa del Castillo, ubicada a una altitud aproximada de 650 metros sobre el nivel del mar, hasta los 150 metros sobre el nivel del mar. Finalmente, se identifican sectores de pedimento con superficies de erosión de escasa pendiente en las zonas elevadas de los cañadones.

La conformación geomorfológica del sitio exhibe un marcado control hidrodinámico subterráneo, en el cual se constata la coincidencia de las divisorias superficiales con las subterráneas, así como la correspondencia del valle de los cañadones con la descarga natural del acuífero. Los manantiales también integran la descarga natural en la zona, originándose comúnmente en el contacto entre la sección permeable y arenosa con la sección pelítica y de menor permeabilidad, ambas pertenecientes a la Formación Chenque.

6. ANTECEDENTES

La siguiente sección explica cómo se encuentra caracterizado el Acuífero Multiunitario Superior desde el punto de vista sedimentológico e hidrogeológico. Además, se busca contextualizar a las aguas subterráneas circundantes en el área de Manantiales Behr para entender la evolución química de las mismas.

6.1 Estratigrafía cenozoica en el área de estudio

Las unidades litoestratigráficas del Cenozoico han sido objeto de diversos estudios desde comienzos del siglo pasado; aquí analizaremos en detalle a las formaciones que comprenden al Acuífero Multiunitario Superior en la zona de Manantiales Behr.

6.1.1 Formación Chenque

Los depósitos marinos-someros y costeros del Cenozoico son conocidos como Patagoniano, Patagoniense o Formación Patagonia/Formación Chenque, constituyen una de las unidades estratigráficas más extensas de la Argentina.

La Formación Chenque fue definida por [Bellosi \(1987,1990a\)](#) basado en la genética de los estratos de conchillas de acuerdo a atributos sedimentológicos, ecológico y bioestratinómicos. Sin embargo, previamente presentaba diferentes denominaciones como Formación "Patagónica y Piso Superpatagoniense" ([Ameghino,1898](#)), Formación "Patagoniense y Superpatagoniense" [Ihering \(1907\)](#), Formación Patagoniense [Feruglio \(1949\)](#), el término Formación Patagonia fue introducido por [Russo y Flores \(1972\)](#) para designar lo que definió Ameghino.

La edad de la Formación Chenque sería Oligoceno Tardío? a Mioceno; aunque si se consideran la dataciones fósiles para el sector inferior de la unidad sería desde el Eoceno al Mioceno ([Camacho et al. 1956](#), [Parma 1985](#)). Sin embargo, si se consideran los datos de estudios palinológicos de [Barreda y Palamarczuk \(2000\)](#) la edad sería Miocena Temprana y con dudas Oligocena. Estudios más recientes [Cuitiño et al. \(2015\)](#) determinaron edades a partir de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en conchas de ostras edades de 19,69 y 19,02 Ma (Mioceno Inferior), en la zona de Caleta Córdova. Y en el Cerro Chenque, secuencia inferior de [Paredes \(2003\)](#), las ostras autóctonas arrojaron edades $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 17,63 y 17,03 Ma. La muestra más joven analizada en éste último estudio es una capa fosilífera ubicada a unos 70 metros por encima del Banco del Mangrullo del Cerro Antena, arrojó una edad de 15,37 Ma (Mioceno Medio).

La ingesión marina del Oligoceno-Mioceno que depositó a la Formación Chenque en la CGSJ (Cuenca del Golfo San Jorge) también lo hizo en todo el sector suroriental de Argentina en cuenca Austral, de Valdés y Colorado. Estudios más recientes indican la transgresión "Juliense" no tuvo lugar en la CGSJ [Malumian \(1999\)](#). Por otra parte, [Paredes et al. \(2015\)](#) reconocieron en subsuelo una ingesión marina más antigua que la de la Formación Chenque que denominaron como Formación El Huemul, ésta unidad fue reconocida por la presencia de quistes de dinoflagelados de edades Eoceno Terminal-Oligoceno Inferior.

[Ameghino \(1906\)](#) distinguió tres pisos marinos: Juliense (Fm. San Julián), Leonense (Secciones inferior de las Fm. Chenque, Monte León y Fm. Centinela) y Superpatagoniense (Secciones superiores de las Fm. Chenque y Monte León).

[Bellosi \(1987\)](#) define, tanto en afloramiento como en sondeos eléctricos de pozo, *cinco secuencias granocrecientes* que totalizan 500 metros de espesor y que han sido controladas por las oscilaciones del nivel del mar, variaciones en la velocidad de sedimentación y aporte sedimentario, cambios en la morfología de la cuenca, entre otros. La continuidad de las secciones Leonense y Superpatagoniana, comprendidas en la Fm. Chenque, fueron corroboradas por estudios palinológicos ([Barreda 1989](#), [Bellosi y Barreda 1993](#)). La sección inferior (secuencia I-II) presenta invertebrados, trazas fósiles y restos de peces y cetáceos; en su composición participan pelitas, waques líticas y glauconíticas, coquinas y conglomerados intraformacionales. Sin embargo, en las secuencias III-V referidas al Superpatagoniano

(Feruglio, 1949), son menos fosilíferas; poseen sedimentos silicoclásticos y en menor proporción material piroclástico y asociaciones de facies de menor profundidad y mayor energía.

Por otra parte, Paredes (2002) realiza asociaciones de litofacies y correlaciones para las sedimentitas de la Formación Chenque (Fig. 15) en los alrededores de Comodoro Rivadavia, donde define ambientes de plataforma interna y condiciones submareales a intermareales y registrándose tasas de sedimentación en general bajas pero con eventos esporádicos de alta tasa de sedimentación (tormentas). Además, realiza un análisis estratigráfico secuencial (Fig. 16 y 17) donde reconoce depósitos correspondientes a cortejos transgresivos (CT/TST) y cortejos de nivel alto (CNA/HST), en el área de estudio no reconoce depósitos asociados a cortejos de nivel bajo.

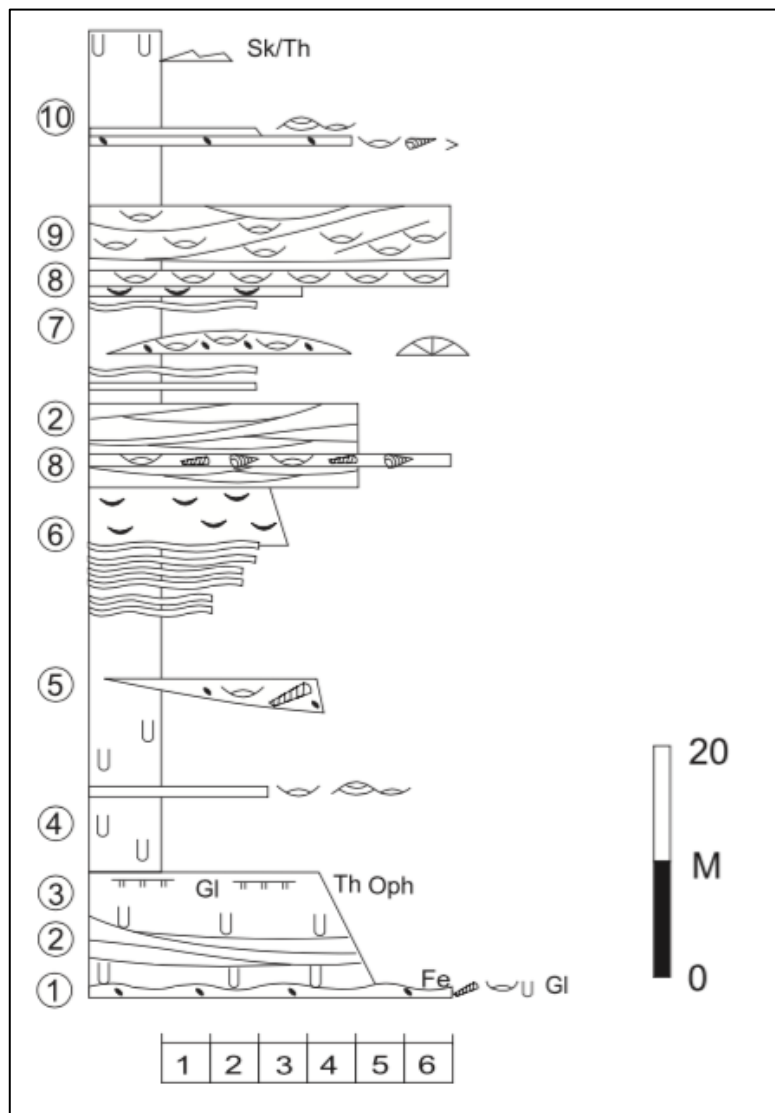


Figura 15. Litofacies reconocidas en Cerro Chenque (Tomado de Paredes, 2002).

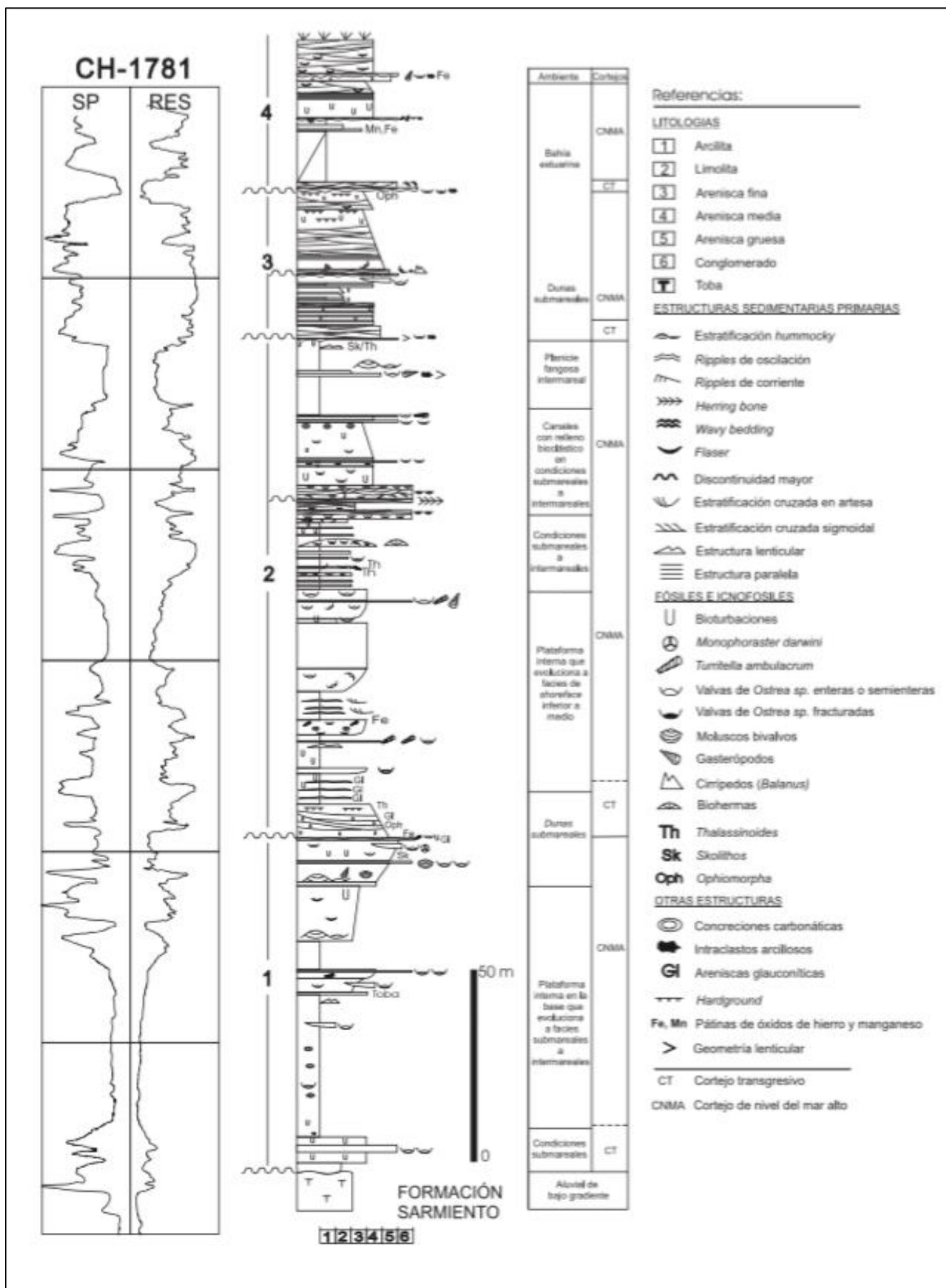


Figura 16. Análisis estratigráfico secuencial de la Formación Chenque, 4 secuencias, y su correlación con un perfil de pozo SP-RES (Tomado de Paredes, 2002).

Posteriormente, [Barreda y Bellosi \(2003\)](#) realizan un estudio de los ecosistemas terrestres para el Oligoceno Tardío-Mioceno Medio en la cual determinan dos tipos de palinomorfos reciclados que estarían asociados a las variaciones del nivel del mar y a ascensos tectónicos ocurridos por la orogenia andina; además reconocen cambios significativos en la paleogeografía y en las comunidades bióticas de la Patagonia central durante el intervalo Oligoceno Tardío-Mioceno Medio. En principio, durante el Oligoceno Tardío se caracterizó por el desarrollo de amplias llanuras aluviales sometidas a persistentes lluvias de ceniza volcánica con desarrollo de paleosuelos alfisoles; posteriormente para el mismo periodo las áreas boscosas eran predominantes con algunos sectores abiertos que permitían la proliferación de elementos arbustivo-herbáceos durante el Aquitaniano tardío. Luego, a inicios del Burdigaliano, continua la formación de depósitos loésicos pero asociados a suelos cálcicos que sugieren condiciones menos húmedas. Y por último, en el Burdigaliano tardío se desarrolló sobre la planicie costera un amplio sistema estuárico con abundantes cursos fluviales y lagunas; y la vegetación muestra un avance de elementos tropicales y de plantas adaptadas a biotopos acuáticos indicativa de un clima más cálido y húmedo, lo mismo se evidencia para la fauna coetánea "pinturense". Luego para el Mioceno Temprano a Medio se observaron cambios en el registro sedimentario como en la fauna que señalan un proceso progresivo de desecamiento.

En la [Hoja Geológica 4569 IV- Escalante, Sciutto et al. \(2008\)](#) se describe en el área del Cañadón Hondo que la unidad estaría compuesta por areniscas medianas, macizas, pelitas y coquinas tabulares, con arreglo estrato-decreciente y mayor fragmentación de ostras hacia arriba; los contactos entre distintas litologías son comúnmente transicionales salvo en la base de las coquinas [Andreis \(1977\)](#). En las partes topográficas más altas de la Pampa del Castillo, la unidad se hace muy areniscosa y localmente fosilífera, con restos de valvas de *Ostreas*, *Balanus*, *Turritelas*, etc., y con colores gris verdoso, gris amarillento y gris azulado. Los estratos de areniscas son generalmente muy espesos, 5 a 8 m, en parte están laminados y en otras tienen estratificación entrecruzada. En el sector suroeste del área comprendida por la Hoja es frecuente encontrar, especialmente en las locaciones de los pozos petroleros, una alternancia entre areniscas y arcilitas, constituyendo estratificaciones ondulantes (wavy bedding), lenticular (lenticular bedding), flaser (flaser bedding), entrecruzamientos por oleaje y mareas y localmente estructura herringbone, intraclastos de arcillas, a partir de las cuales se generan cuerpos concrecionales. Luego, al nordeste de la estancia Cañadón Grande existen buenos afloramientos de depósitos relacionados con mareas (wavy, flaser, lenticular bedding) e incluso de canales mareales compuestos por unos 4 metros de areniscas.

El ambiente de depositación es considerado como un depósito infralitoral, acumulado en una cuenca de fondo plano de poca profundidad y con mareas débiles ([Andreis et al. 1975](#), [Andreis 1977](#)). Además, se menciona que la uniformidad regional de las características físicas, tales como colores, texturas, estructuras y composición de areniscas y pelitas, indicaría similares condiciones energéticas durante el avance y retroceso de la línea costera, llevado a cabo sobre

una plataforma de abrasión conectada libremente con el mar, inferido por la frecuente presencia de glauconita; siendo la energía del medio sedimentario considerada elevada ya que aproximadamente el 70 % de la unidad está constituida por areniscas y coquinas.

A continuación se observa un mapa de espesores para la Formación Chenque (**Fig. 18**) realizado a partir de información de afloramiento y de subsuelo, especialmente de pozos de exploración petrolífera.

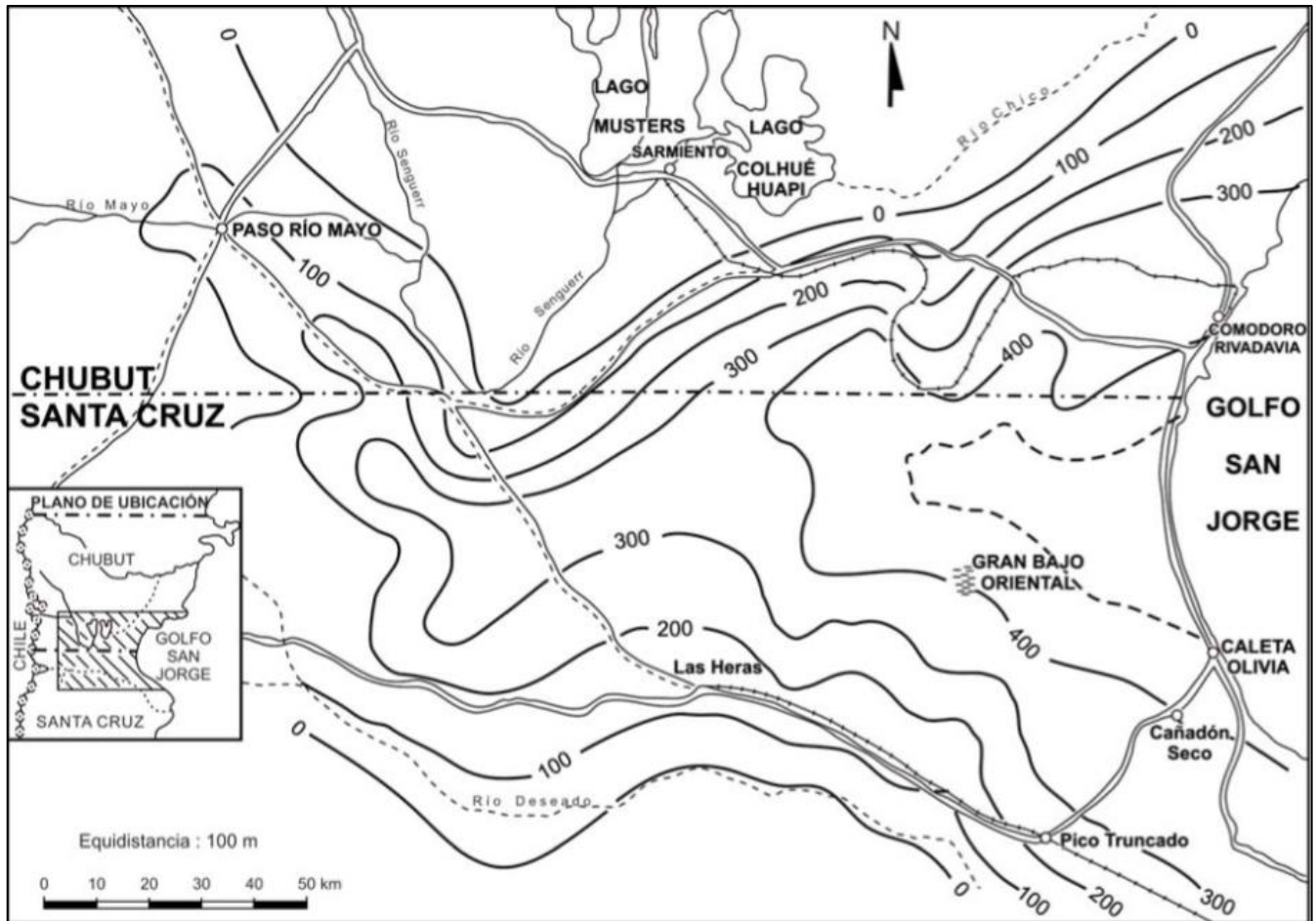


Figura 18. Mapa isopáquico de la Formación Chenque a partir de datos de afloramiento y complementando con otros de subsuelo (Tomado de Hoja Geológica 4569 IV- Escalante boletín N°351, 2008).

6.1.2 Formación Santa Cruz

La Formación Santa Cruz (Feruglio 1938; Furque y Camacho 1969) se encuentra conformada por depósitos continentales y está constituida por areniscas con estratificación entrecruzadas, fangolitas y paleosuelos.

El retiro definitivo del mar Superpatagónico (Mioceno Medio) fue acompañado por el desenvolvimiento progresivo de ambientes fluviales y medanosos sobre la planicie costera de la Cca. Golfo San Jorge e inclusive el SE de la provincia de Santa Cruz Bellosi (1995). La sedimentación Santacrucesense o de la Formación Santa Cruz consistió inicialmente en un amplio complejo estuárico controlado por mareas, para dar lugar más tarde a un desarrollado sistema de cursos y llanuras aluviales con médanos arenosos Bellosi (1998). A su vez, Legarreta y Uliana (1994) han interpretado como un medio eólico costero con sistemas fluviales subordinados y lo asocian a procesos edáficos tenues, con restos de fauna continental como tortugas y monos; éstos autores proponen que durante la edad Santacrucesense hubo un cambio en la relación acomodamiento/aporte vinculada al ascenso de la cordillera Patagónica, lo que permitió la progradación del sistema continental sobre la planicie costera debido al aumento del suministro clástico.

Recientemente, Oporto *et al.* (2019) reconocen dos sistemas depositacionales eólicos (SD I y SD II) en la Formación Santa Cruz. La sección inferior del SD I se caracteriza por asociación de facies de duna eólica de cresta sinuosa e interduna húmeda, en la que se reconocieron canales y mantos fluviales, y lagunas; los depósitos de mantos fluviales, canales y lagunas efímeras se interpretan asociados a un ascenso del nivel freático en corredores de interduna, mientras que el tramo alto de esta sección se compone de dunas estabilizadas, asociadas a un estadio alto e invariable del nivel freático, próximo a la superficie y estable, que permitió el desarrollo de actividad biológica y cementación de los estratos.

El cambio del SD I al SD II se registra mediante un leve aumento de la potencia y aumento de la continuidad lateral de las dunas eólicas, y ausencia de zonas de interduna.

El SD II se caracteriza por la alternancia de asociaciones de facies de duna de cresta sinuosa y recta. En términos genéricos, el SD II se caracteriza por un descenso progresivo del nivel freático, disminución o nula deflación, aumento del aporte sedimentario y aridización progresiva.

Posteriormente, Oporto y Paredes (2022) realizan un estudio sedimentológico de una sucesión eólica- fluvial de 30 m de potencia en la parte media Formación Santa Cruz (Mioceno medio de CGSJ) en el Cañadón Ferrays (**Fig. 19**); donde analizan variaciones laterales y verticales de litofacies y elementos arquitecturales eólicos-fluviales utilizando perfiles sedimentológicos, técnicas de análisis arquitectural y análisis del contenido radiactivo natural. Oporto y Paredes (2022) concluyen que existen dos sistemas depositacionales, uno de ellos representa un sistema eólico húmedo y el otro un sistema eólico seco; además la utilización de perfiles de rayos gamma espectral ajustados con la arquitectura eólica-fluvial han permitido diferenciar de forma convincente a los elementos arquitecturales aunque no permitió diferenciar litofacies o sistemas fluviales efímeros.

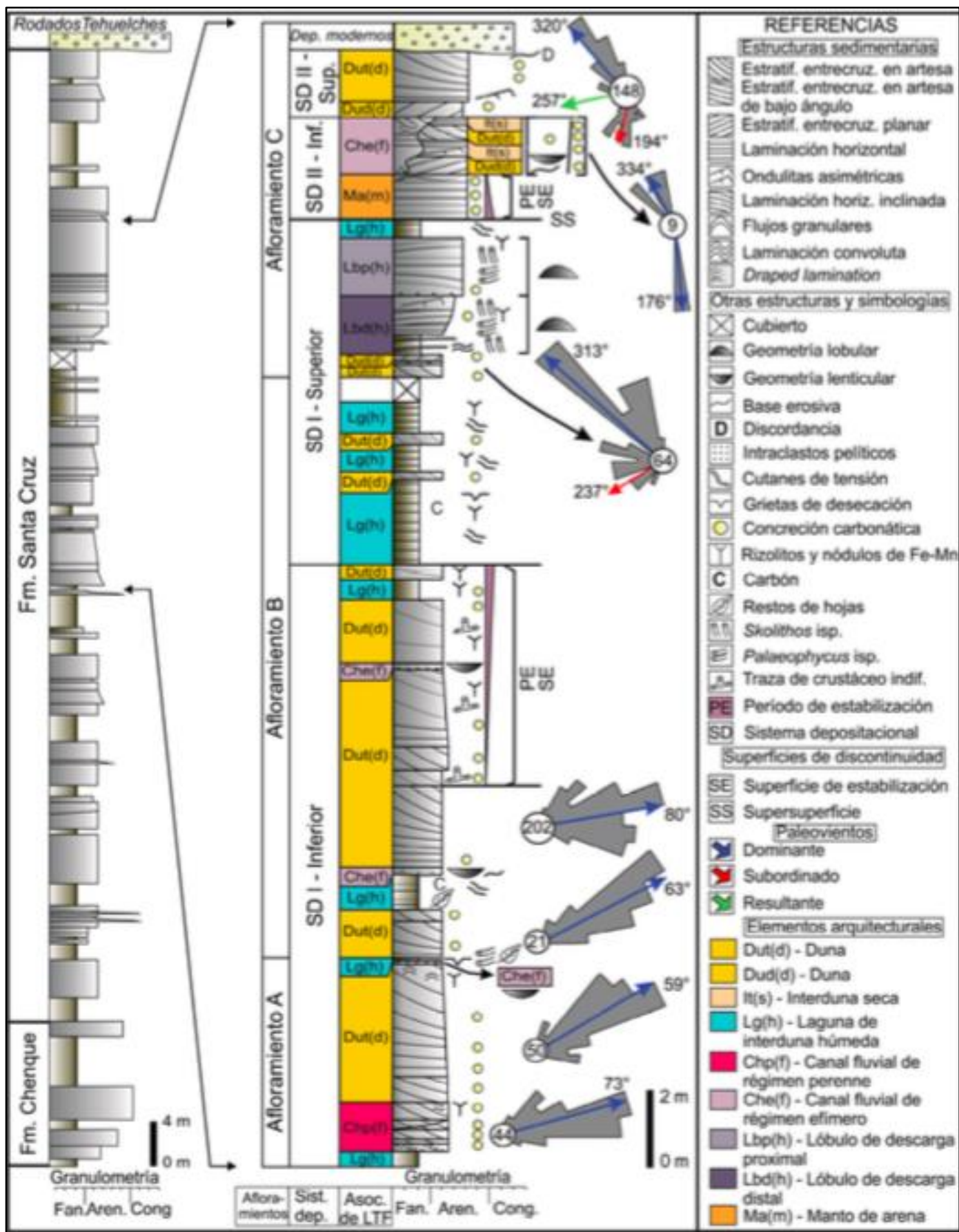


Figura 19. Perfil sedimentológico esquemático de la Formación Santa Cruz (Mioceno medio) en Cañadón Ferrays (Tomado de Oporto y Paredes, 2022). Se observan depósitos con concreciones carbonáticas asociadas a variaciones del nivel freático.

Estudios más recientes, proponen la designación de *Formación Escalante* Sosa *et al.* (2022) para la sucesión continental del Mioceno medio (Fig. 20) de la CSJ (Cuenca San Jorge o CGSJ) basándose en la comparación con CMA (Cuenca de Magallanes-Austral). Los argumentos son los siguientes: **1)** Los sedimentos volcánoclasticos son abundantes a subordinados en la CMA, pero casi ausentes en la CSJ; **2)** en esta última prevalecen las areniscas, en tanto en la CMA son dominantes las litologías finas (arcilitas, limolitas); **3)** la sucesión de la CSJ es más joven ya que abarca el Langhiano-Serravaliano/Tortoniano (< 15-13/11 Ma) mientras que la de CMA fue datada entre el Burdigaliano y el Langhiano (19-18 a 15-14 Ma); **4)** los sistemas depositacionales distinguidos en la CMA son fluviales dominados por depósitos de planicie de inundación sin formas de lecho eólicas, en tanto que en la CSJ se identificó un dilatado sistema de interacción fluvio-eólica con buen desarrollo de médanos de mediana y canales de variable sinuosidad y geometría; **5)** la distribución de afloramientos en la zona lindante entre ambas cuencas (centro-norte de la provincia de Santa Cruz) se discontinúa un centenar de kilómetros por la interposición del Macizo del Deseado, en cuyo ámbito no se preservan depósitos continentales miocenos.

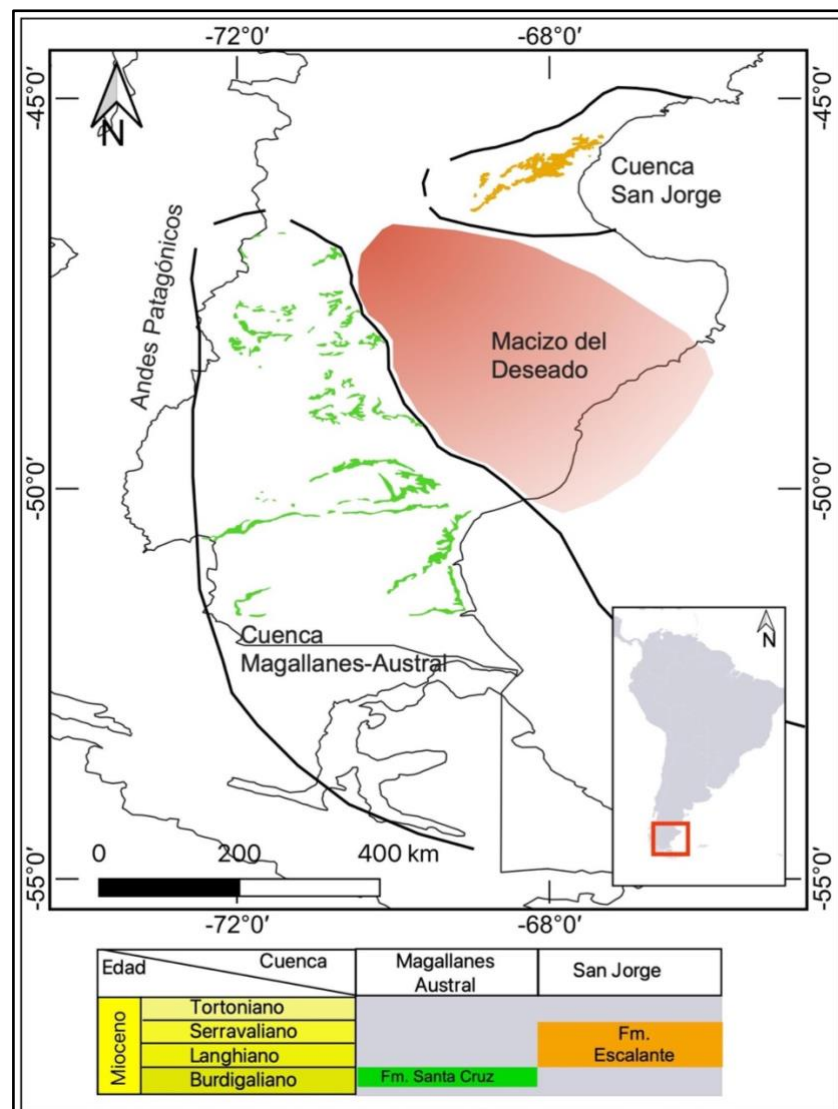


Figura 20. Depósitos continentales del Mioceno en CMA y CSJ (Tomado de Sosa *et al.* 2022).

Por último, [Oporto et al. \(2024\)](#) realizaron un estudio sedimentológico de la Formación Escalante donde analizan las variaciones espacio-temporales de los sistemas eólicos y fluviales, y los factores de control autocíclicos y alocíclicos sobre su arquitectura estratigráfica (**Fig. 21**). Los autores confeccionaron 9 secciones estratigráficas que permitieron reconocer 9 asociaciones de facies: duna eólica, interduna, canal efímero, canal intermitente, canal perenne, planicie de inundación, planicie de inundación distal, canal fluvial con influencia marina y planicie mareal. A partir de una correlación estratigráfica de las secciones se interpretaron 3 sistemas depositacionales (SD 1, 2 y 3, en orden ascendente). Proponen que la ciclicidad en sucesiones sedimentarias se vincula con cambios en el nivel del mar, tectónica y clima. En la Formación Escalante, los cambios en el nivel del mar son reconocidos en la sección inferior del SD 1 (transición entre las formaciones Chenque y Escalante), con una regresión en condiciones de nivel del mar alto. Además, observaron que los eventos tectónicos que afectan a la unidad se reconocen en intervalos estratigráficos de poca potencia, con fallas normales sinsedimentarias, y estructuras de escape de fluidos y de deformación dúctil (estructuras de deformación en sedimento blando) que se vinculan con tectónica extensional [Oporto et al. \(2024\)](#). Sin embargo, su escala local no permite interpretar sedimentación cíclica asociada a eventos tectónicos. Finalmente, consideran más probable que la sedimentación cíclica identificada esté causada por procesos climáticos.

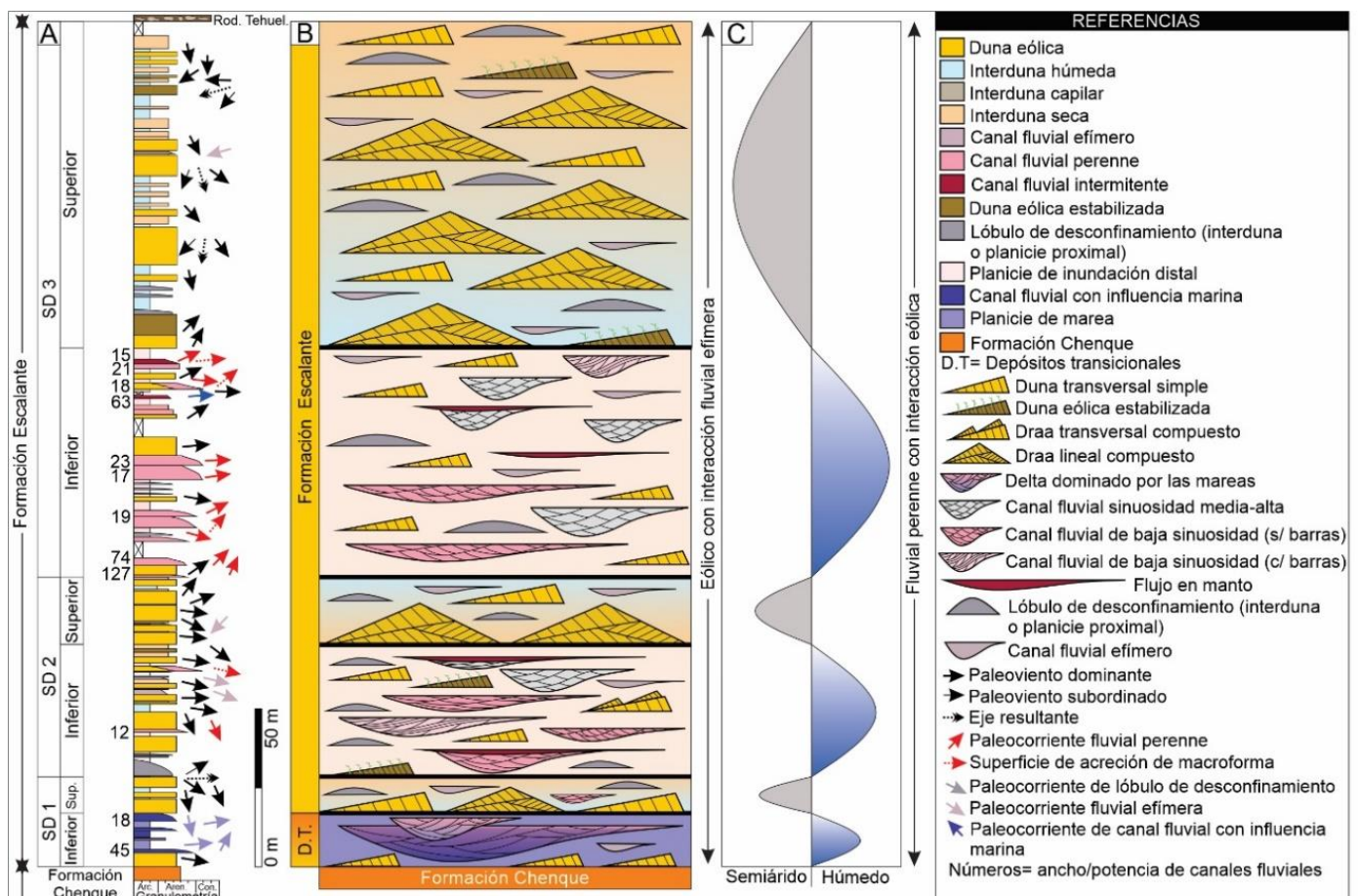


Figura 21. Sucesión estratigráfica de la Formación Escalante en las áreas de El Tordillo y El Trébol (Tomado de Oporto et al. 2024). A) perfil sedimentológico. B) Macroarquitectura estratigráfica. C) inferencia paleoclimática.

6.1.3 Formación Rodados Patagónicos

Los mantos de gravas representan uno de los paisajes más distintivos de la Patagonia oriental, debido a su extensión y homogeneidad.

Las primeras menciones de estos rodados se remontan a [Charles Darwin \(1846\)](#), quien reconoció estos depósitos desde el río Colorado hasta Tierra del Fuego, y los denominó Gravel Formation; posteriormente [Mercerat \(1893\)](#) lo denominó Rodados Tehuelches. Luego, [Ameghino \(1896\)](#) los definió como Formación Tehuelche. A partir de los anteriores, ésta unidad fue objeto de estudio de diversos autores tales como [Feruglio \(1950\)](#), [Russo \(1953\)](#), [Fidalgo y Riggi \(1970\)](#), [Castrillo *et al.* \(1984\)](#), [Césari *et al.* \(1986\)](#), [Césari y Simeoni \(1994\)](#). La edad de éstos sedimentos es difícil de precisar debido a la ausencia de fósiles, aunque [Keidel \(1917\)](#) estableció edades desde el Plioceno a Cuaternario; algunos autores han vinculado los depósitos de gravas a las glaciaciones, particularmente a las morenas frontales que las lenguas de hielo acumularon en su avance erosivo, ocurridas durante el Plioceno y Pleistoceno ([Simeoni 2008](#), [Martínez *et al.* 2011](#)).

La unidad está constituida por gravas arenosas que fueron sometidas, por largos períodos de tiempo, a deflación consiguiendo la remoción de la matriz arenosa superficial y aumentando así la concentración de los clastos mayores. El nivel superior presenta un mayor grado de concentración de cemento de carbonato de calcio, caolinita y cineritas que el resto de los escalones, generalmente es más abundante en los 2 a 3 metros superiores de la unidad [Sciutto \(2008\)](#).

La composición de los rodados es principalmente de rocas volcánicas porfíricas [Césari *et al.* \(1986\)](#). La redondez de los clastos, junto con evidencia sedimentaria y geomorfológica, indican que su origen estaría vinculado a acción fluvial, en redes de drenajes de alta energía [Martínez *et al.* \(2011\)](#).

El origen de las llanuras de Rodados Patagónicos se vincularía a periodos interglaciares, los cuales generaron un gran volumen de agua y corrientes no encauzadas (fluvioglaciares) que arrastraron gravas y arenas acumuladas en las morenas y las distribuyeron como mantos en las denominadas planicies de lavado [Simeoni \(2008\)](#). Sin embargo, los orígenes son muy variados tales como fluvial (pie de monte), periglacial, glaciofluvial y sus combinaciones. Estudios más recientes [Martínez *et al.* \(2014\)](#) han realizado un conteo de gravas de los diferentes niveles terrazados (primer grupo "jóvenes" o segundo grupo "antiguos") para la determinación porcentual de contenidos litológicos en la zona de la cuenca Río Senguer; se concluye que los niveles más jóvenes con contenido de gravas de naturaleza granítica promedian el 13 % y se vincularían a morrenas frontales que cierran los valles andinos al oeste y por ello le asigna un origen glaci-fluvial; en cambio otros niveles ubicados a mayores cotas y con edades anteriores a la Gran Glaciación Patagónica (Pleistoceno temprano-alto) tienen contenidos de gravas de naturaleza granítica que superan el 20-25% y no parecen estar asociados a un frente glacial (nivel antiguo).

Por otra parte, a medida que se depositaban los mantos de gravas y arenas en los sectores más bajos ocurrían diferentes pulsos de ascenso continental en la comarca y la erosión comenzó a

actuar desbastando a las formaciones cretácicas y cenozoicas que no habían sido cubiertas por los aluviones. De esta forma, los amplios valles con depósitos de gravas en su lecho fueron resistentes a la erosión y quedaron como zonas altas, proceso conocido como *inversión del relieve* Simeoni (2008).

6.2 Hidrogeología

El acuífero ha sido objeto de estudio por diversos autores, [Castrillo et al. \(1982\)](#) proponen un *Modelo Hidrogeológico Conceptual* para un sistema multiunitario en la zona sureste de la provincia del Chubut, comprendiendo tres unidades en lo referente a la producción de agua, denominados *Acuífero Multiunitario Superior*, *Acuitardo Sarmiento* y *Complejo de Acuíferos Inferiores*.

El *Acuífero Multiunitario Superior* constituye un sistema de unidades productoras de agua, incluyendo la capa freática, conformadas por Formación Chenque (porción superior), Formación Santa Cruz y Rodados Patagónicos.

La unidad *Acuitardo Sarmiento* adquiere en su conjunto la característica de acuitardo, si bien se han detectado algunos niveles tobáceos o arenosos que ceden agua ya sea por manantiales o pozos en sectores aflorantes, presentan muy bajo caudal y concentraciones salinas variables. Por último, el *Complejo de Acuíferos Inferiores* posee información dispersa y a veces poco clara. Sin embargo, a partir de documentación petrolífera existente, se conocen niveles acuíferos contenidos desde la Formación Río Chico hasta el Grupo Bahía Laura, equivalente del Complejo Volcanosedimentario de la Cuenca del Golfo San Jorge, inclusive.

Por otra parte, la recarga principal del sistema ocurre sobre Pampa del Castillo dando lugar a un acuífero de recarga autóctona-directa y régimen variable. La descarga natural se produce a través de los manantiales y de las lagunas de tipo efluente.

El *Acuífero Patagoniano* fue incluido por [Cátedra de Hidrogeología \(1982\)](#), [Grizinik y Fronza \(1996\)](#) dentro del denominado *Complejo Multiunitario* conocido en la zona oriental de la Cuenca del Golfo San Jorge. Este Complejo, redefinido por [Hernández et al. \(2009\)](#), fue subdividido en dos segmentos: el equivalente al Acuífero Multiunitario superior, denominado allí más propiamente Sistema Geohidrológico Superior o activo (SGS), y el restante, Sistema Geohidrológico Inferior o pasivo (SGI).

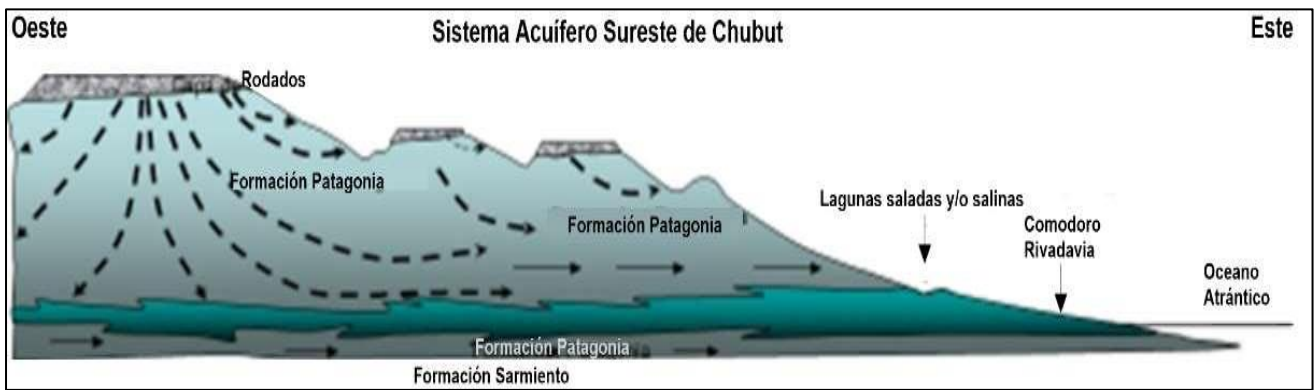


Figura 22. Esquema del Sistema Multiunitario, el término Formación Patagonia es utilizado por el autor para referirse a Formación Chenque (Tomado de Grizinik, 2022).

La evapotranspiración potencial anual en la zona de Comodoro Rivadavia supera los 600 mm, con precipitaciones promedio de 200 mm [Tejedo et al. \(2000\)](#) y temperaturas promedio anuales que oscilan entre 12° y 14°C. En los meses de Enero, Febrero, Marzo y Abril la evapotranspiración real es igual a la precipitación y la recarga que se produciría en los meses de Mayo, Junio y Julio sería del orden de los 21 mm, valor medio anual, [Salvioli et al. \(1987\)](#). Muestras de aguas colectadas a 250 m de profundidad, en niveles de la Formación Chenque, en la zona de Pampa del Castillo, al oeste de Comodoro Rivadavia, y analizadas mediante C¹⁴, brindaron edades de 12.200-12.800 años ap. [Grizinik y Sonntag \(1994\)](#). El comportamiento hidrogeológico revela la presencia de acuíferos alojados en depósitos correspondientes al manto de gravas, tanto en los niveles terrazados como en los rellenos de cañadones, los cuales se constituyen en receptores del aporte pluvionivales. Una parte de estos caudales se descarga en pequeños manantiales y mallines hacia los cañadones y zonas más bajas, y otra parte filtra verticalmente, recargando a los acuíferos más profundos. La mayor parte del agua subterránea utilizada, corresponde a niveles de las Formaciones Chenque y Santa Cruz con espesores que pueden superar los 500 m, aunque presentan bajas transmisividades del orden de 17 m²/d [Auge \(2006\)](#).

EDAD	GEOLOGÍA	LITOLÓGÍA	COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO
HOLOCENO	DEPÓSITOS ALUVIALES Y COLUVIALES	GRAVAS, ARENAS, LIMOS Y ARCILLAS, EN PROPORCIONES VARIABLES	ACUÍFERO FREÁTICO
PLIOCENO	RODADOS PATAGÓNICOS	GRAVAS Y ARENAS	ACUÍFERO FREÁTICO
MIOCENO	FORMACIÓN RÍO MAYO- SANTA CRUZ	ARENAS FLUVIALES, TOBAS, TUFITAS	ACUÍFERO REGIONAL
OLIGOCENO SUP- MIOCENO	FORMACIÓN CHENQUE	ARENISCAS Y NIVELES TOBACEOS CON INTERCALACIONES LIMOARCILLOSAS Y ARCILLOSAS	ACUÍFERO REGIONAL
EOCENO-OLIGOCENO	FORMACIÓN SARMIENTO	TOBAS, EN OCASIONES NIVELES DE BENTONITA Y CONGLOMERADOS FRIABLES	ACUITARDO

En cuanto a la información hidroquímica recopilada de la zona de Manantiales Behr pertenece a informes inéditos de [Salvioli et al. \(1987\)](#) y [Auge \(2007\)](#).

A continuación se detalla el trabajo realizado en Manantiales Behr por [Salvioli et al. \(1987\)](#), en el cual se muestrearon un total de 11 pozos distribuidos de la siguiente manera:

- 3 en la zona del lote N° 27: pozos 50, 80 y 81.
- 3 en la zona de captaciones: pozos 3, 4 y 34.
- 2 zona del campamento: pozos 10 y 58.
- 3 en la zona Lote N° 37. Pozos 39, 45 y 46.

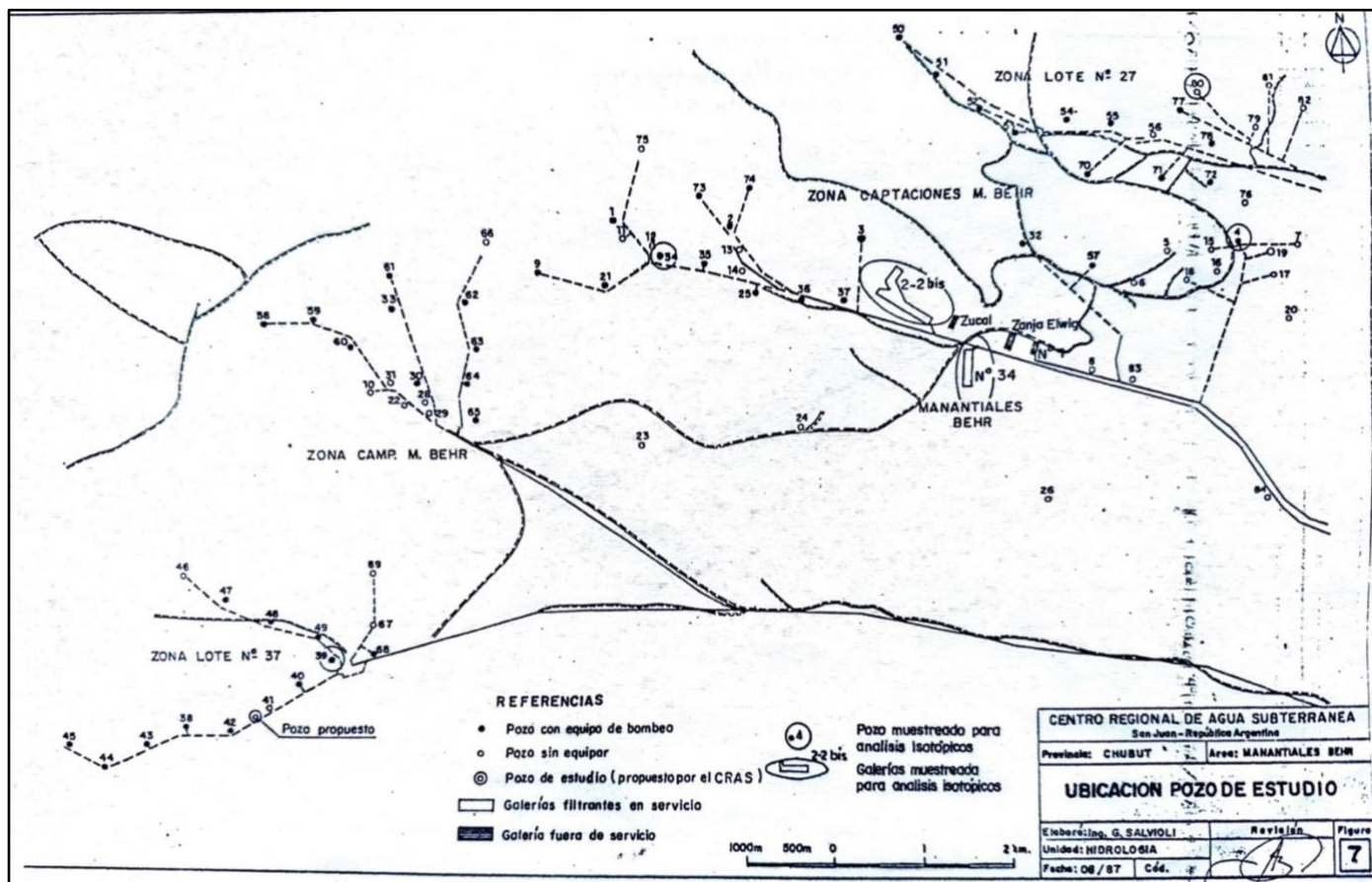


Figura 23. Ubicación de los 11 pozos muestreados por el autor en el área de Manantiales Behr (Tomado de [Salvioli et al. 1987](#)).

Las muestras analizadas muestran un predominio de los iones Na^+ y HCO_3^- siendo aguas del tipo bicarbonatadas sódicas. La visualización de las muestras se encuentran representadas mediante el diagrama de Lohn y Joukl (1969) (**Fig. 24**).

En cuanto a la salinidad, varía entre 330 mg/l – 350 mg/l para la zona Lote N°37; luego para la zona del campamento va desde 270 mg/l (pozo 10) a 355 mg/l (pozo 58); para el caso de la zona de captaciones presentan salinidades del orden de 300 mg/l; por último la zona del Lote N°27, la salinidad es de 244 mg/l (pozo 50) y 392 mg/l (pozo 81).

De acuerdo a los datos de salinidad se observa un incremento en sentido NE-SO, es decir hacia la zona del Lote N° 37 (C-39-A, C-45-A y C-46-A). Sin embargo el pozo C-81-A muestra una salinidad de 392 mg/l debido a que presenta mayores contenidos de cloruro, siendo del orden

de 15 %me (porcentaje de miliequivalentes), y los menores de HCO_3^- 22%me (porcentaje de miliequivalentes).

Por otra parte, el pH de las muestras se encuentra comprendido entre 8,1 y 8,3 para las determinaciones del laboratorio, mientras que los valores determinados al momento de la extracción están comprendidos entre 7,9 y 9,2.

Por último, dado los valores de dureza del agua subterránea se clasificó como blanda dado que los registros en general son inferiores a 100 mg/l de CaCO_3 .

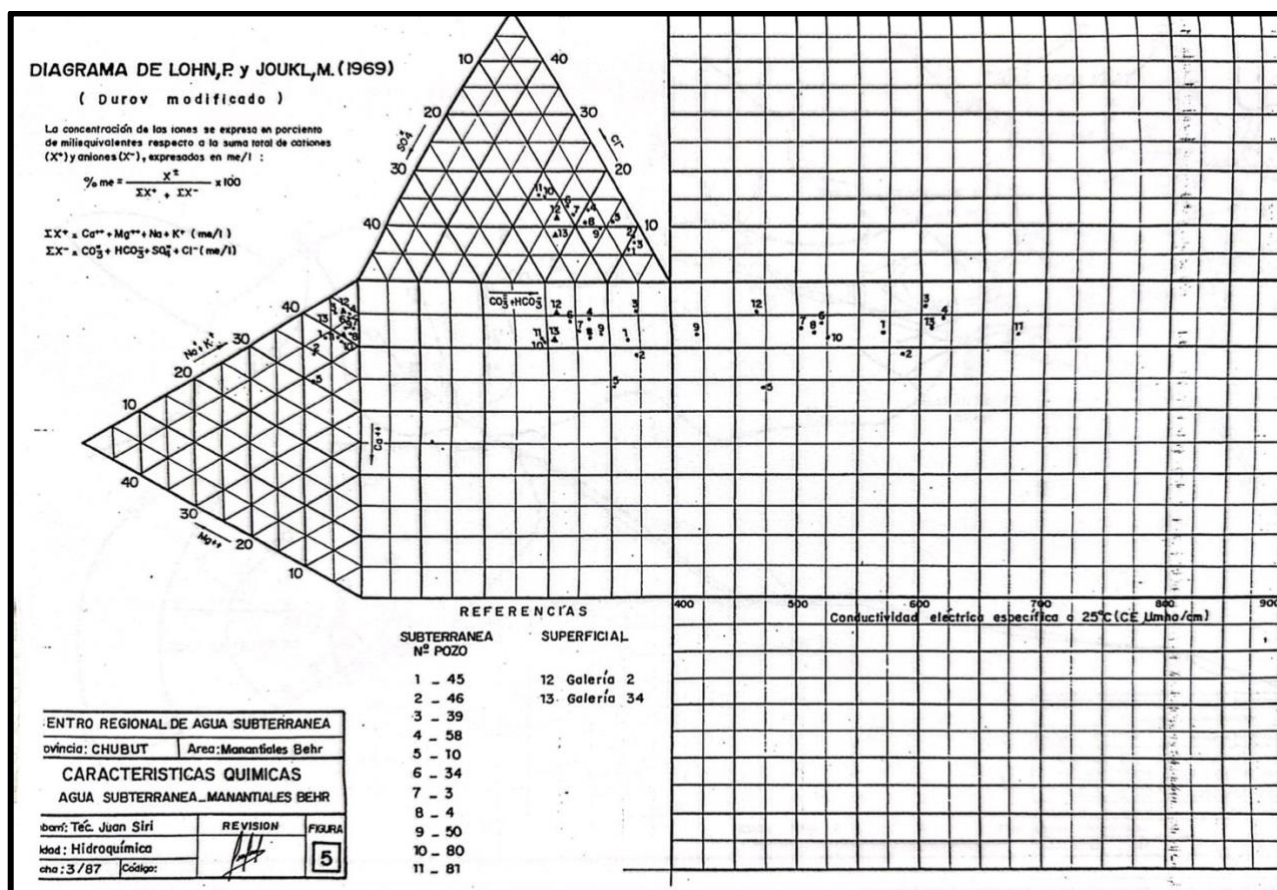


Figura 24. Diagrama hidroquímico de Lohn y Joukl, 1969, dando un dominio de aguas bicarbonatadas sódicas (Tomado de Salvioli et al. 1987).

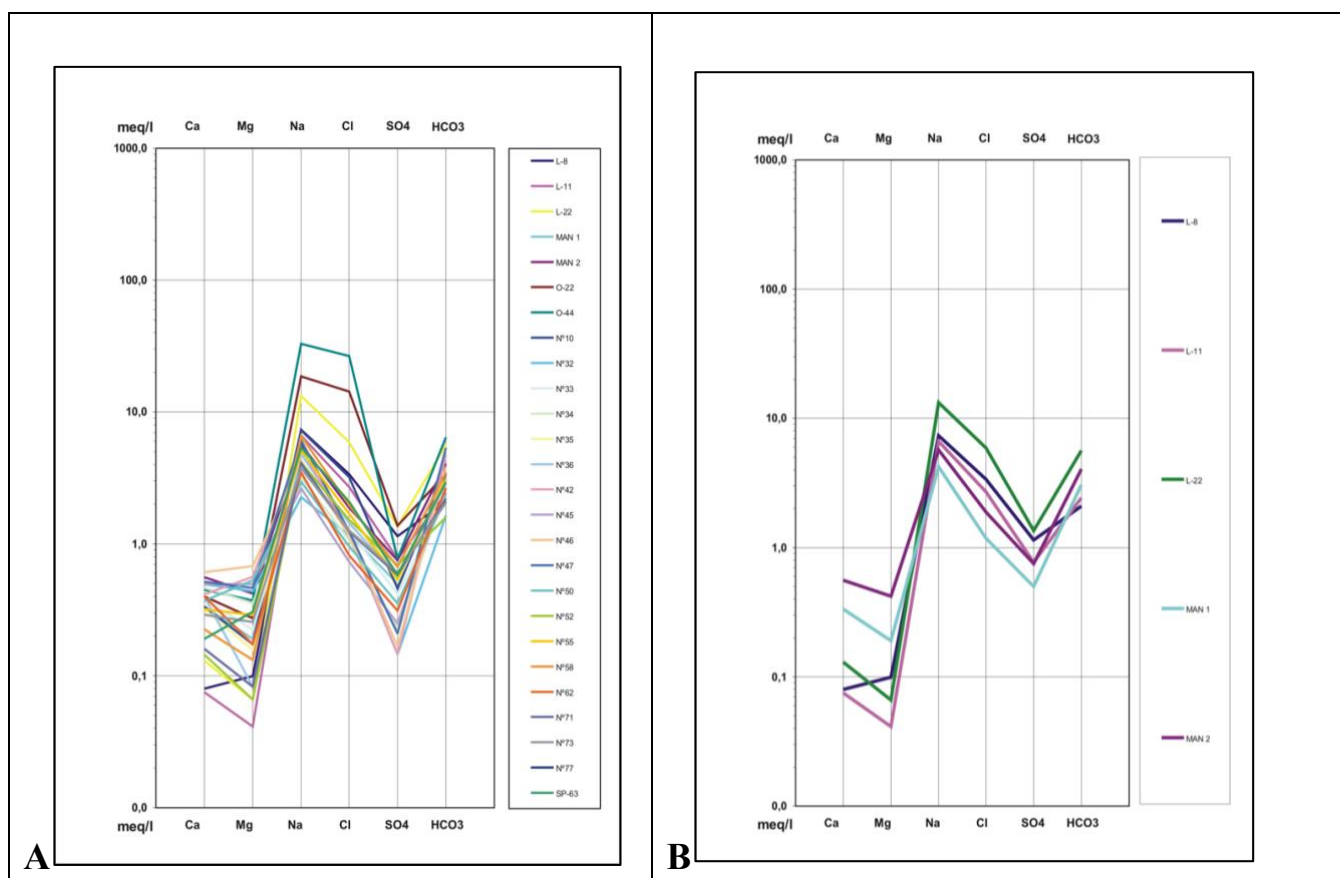
El trabajo realizado por Auge (2007) consistió en analizar unas 24 muestras, las que fueron clasificadas de acuerdo a los métodos desarrollados por Scholler y Piper. Además, agregó, a los datos de pozos preexistentes, las muestras O22, O44, L8, L11, L12, MAN1 y MAN2. En la Fig. 25-A se representan todas las muestras, destacándose O22 y O44, por su carácter clorurado-sódico dominante, el elevado tenor y una distribución diferente al resto. El autor supone que la señal química apunta a una proveniencia diferente, posiblemente de la secuencia arcillosa basal de la Fm. Chenque, motivo por el cual no las consideró en la interpretación hidroquímica. En la Fig. 25-B se aprecia que L8, L11 y L22, son cloruradas sódicas mientras que MAN1 y MAN2 (manantiales), son bicarbonatadas sódicas. En el grupo de las cloruradas se destaca L22, con 13 meq/L de Na^+ y alrededor de 6 meq/L Cl^- . En la Fig. 25-C se representan las muestras de los pozos C10A, C32A, C33A, C34A, C35A, C36A y C42A. Para

la identificación de las muestras empleó solamente el número coincidente con el del pozo (C10A=10); todas han sido clasificadas como bicarbonatadas sódicas, aunque las muestras 10, 32, y 35 presentan valores en meq/L muy parecidos de HCO_3^- y Cl^- .

En la **Fig. 25-D** se aprecia que todas las muestras son bicarbonatadas sódicas mientras que el pozo 52 tiene un contenido de HCO_3^- (1,6 meq/L) prácticamente igual al de Cl^- (1,5 meq/L).

La **Fig. 25-E** también muestra un predominio de muestras bicarbonatadas sobre cloruradas; sólo la SP63 posee valores similares de HCO_3^- (2,9 meq/L) y Cl^- (2,1 meq/L). Esta muestra también se destaca porque el Mg^{++} supera al Ca^{++} .

En la **Fig. 25-F** se representan todas las muestras analizadas (26), empleando el diagrama de Piper (1944); también agregó las muestras O22 y O44 para compararlas con el resto. En la misma se aprecia un notable agrupamiento en el vértice con mayor porcentaje de Na^+ (100), donde todas las muestras tienen más del 70%. En el caso del triángulo de los aniones la dispersión es mayor, con una concentración más notoria hacia el vértice de HCO_3^- aunque también es visible la participación de Cl^- , particularmente en O22 y O44. En el rombo superior vuelve a manifestarse el desplazamiento de O22 y O44 respecto al resto.



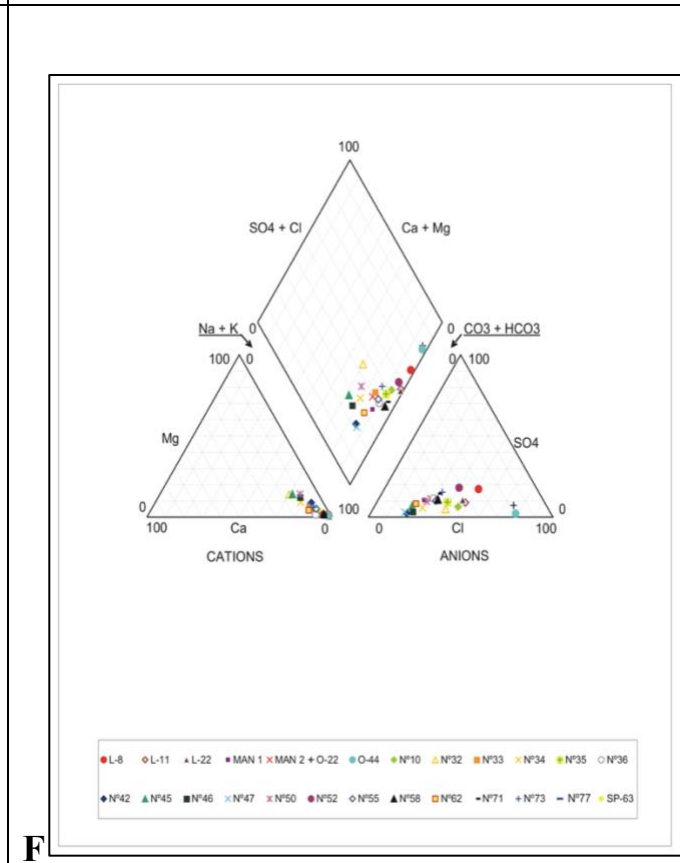
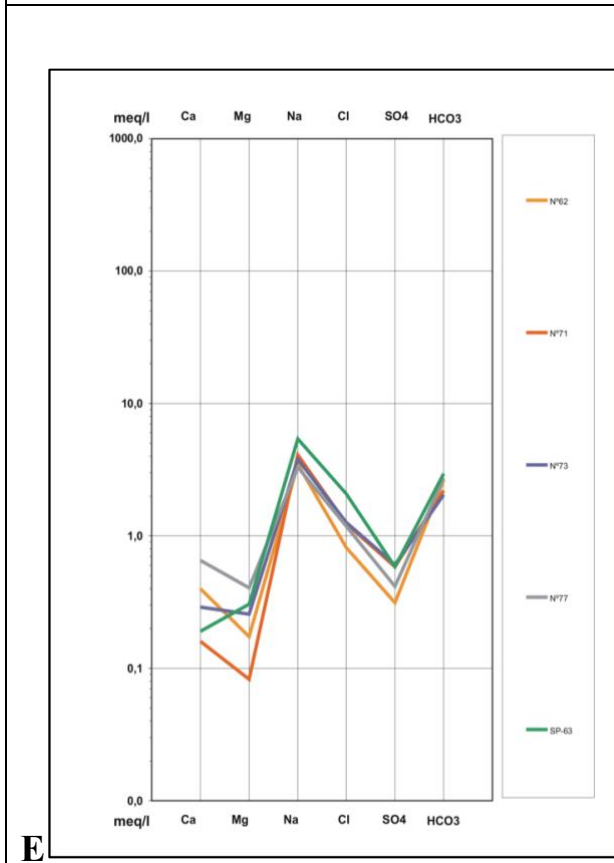
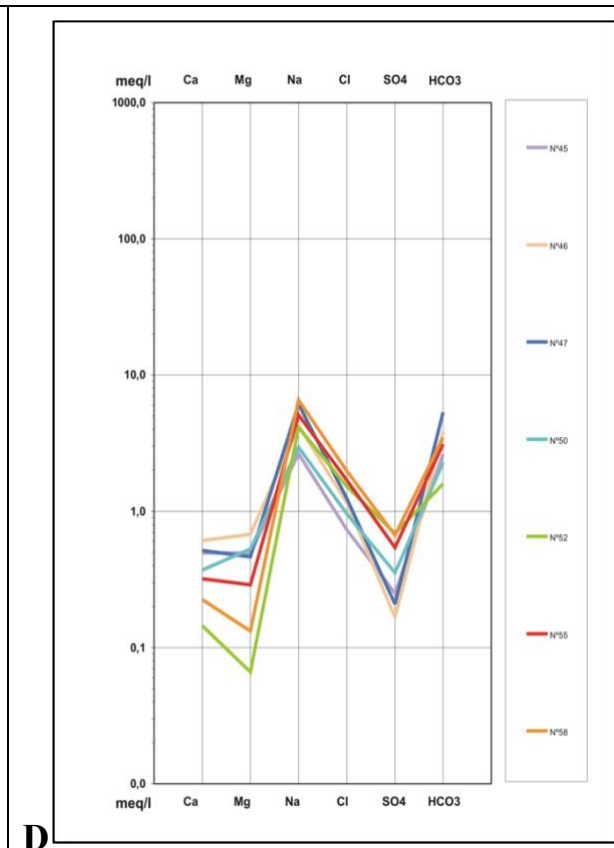
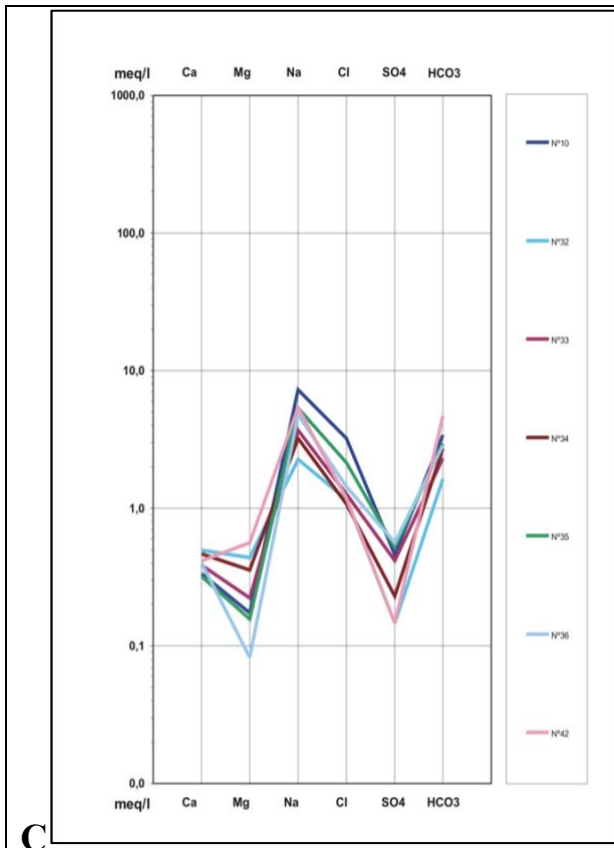


Figura 25. Diagramas de Schoeller y Piper (Tomado de Auge, 2007).

A su vez, [Auge \(2007\)](#) elabora el mapa de HCO_3^- (**Fig. 26**) en el cual indica el comportamiento areal de la sal y de la red de flujo subterráneo. Concluye que no existe buena correspondencia entre el flujo y la evolución en el contenido de bicarbonatos; particularmente en la rama Norte del Cañadón Brooks donde se produce un aumento en la dirección del flujo hasta L22 y luego una disminución en la concentración de HCO_3^- .

Las mayores concentraciones se dan en el sector SO del área con más de 200 mg/L (3,3 meq/L), y en los pozos C-47-A (325 mg/L = 5,3 meq/L) y L22 (344 mg/L = 5,6 meq/L).

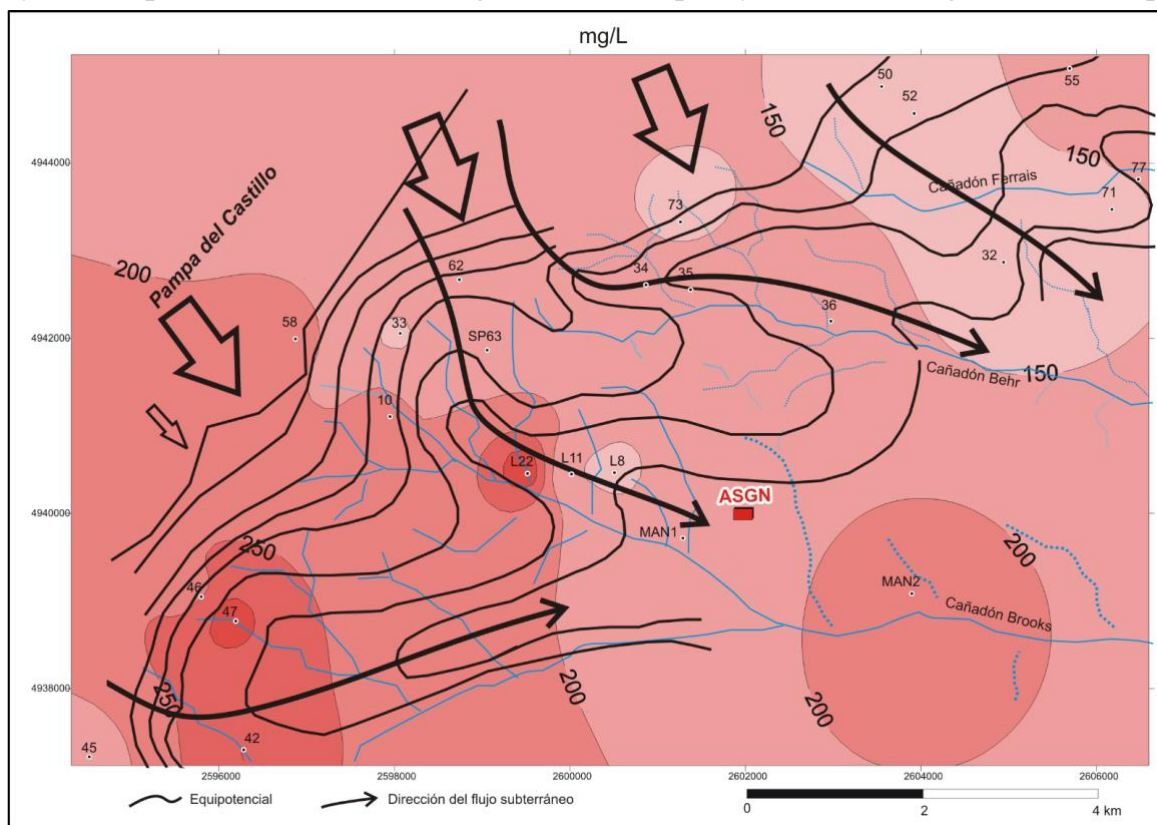


Figura 26. Mapa de distribución del ión Bicarbonato (HCO_3^-) (Tomado de Auge, 2007).

[Auge \(2007\)](#) observa que la concentración máxima de sólidos totales disueltos (STD) en el agua subterránea es de 1.001 mg/l (L22) y una mínima de 305 mg/l (C-45-A), con un promedio de 484 mg/l. El mapa de la distribución areal de los SDT (**Fig. 27**) presenta dos sectores con caracteres distintivos, el ubicado al SO con valores mayores a 500 y aún a 600 mg/L (L8, L11 y L22) y el emplazado al NE con concentraciones menores a 500 y aún a 400 mg/L (C33A, C62A, C34A, C73A, C50A, C52A, C32A, C55A, C71A y C77A). La distribución areal de SDT es muy parecida a la de los bicarbonatos, debido a que estos predominan notoriamente entre los aniones; por lo tanto [Auge \(2007\)](#) propone que no hay buena correspondencia entre el sentido del flujo subterráneo y el incremento en la salinidad total. Por último, menciona que las 24 muestras analizadas son aptas para consumo humano debido a que se ubican por debajo de 1500 mg/l establecido por el Código Alimentario Argentino.

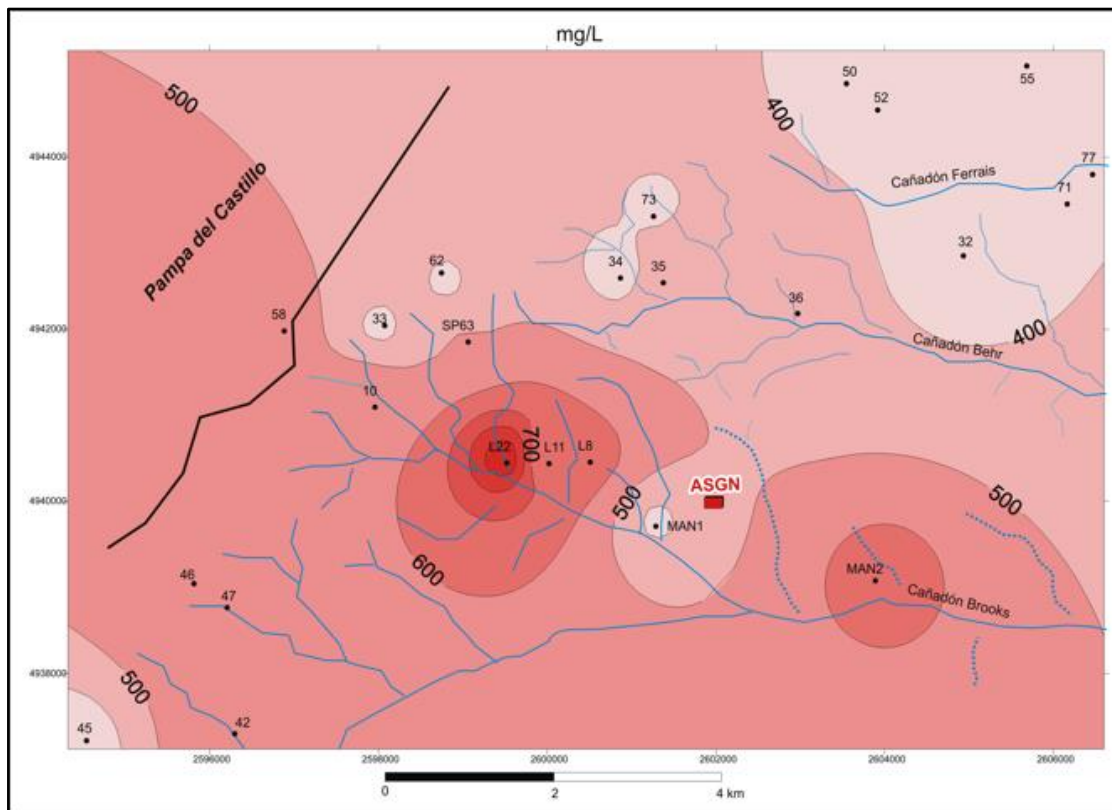


Figura 27. Mapa de distribución de sólidos totales disueltos (SDT) (Tomado de Auge, 2007)

Por otra parte, los mapas equipotenciales realizados por Salvioli *et al.* (1987) (Fig. 28) y luego por Auge (2007) (Fig. 29) no muestran grandes diferencias en referencia al movimiento del agua subterránea. El sentido de flujo, tanto regional como local, son muy similares; los filetes de flujos mayormente presentan dirección NO-SE.

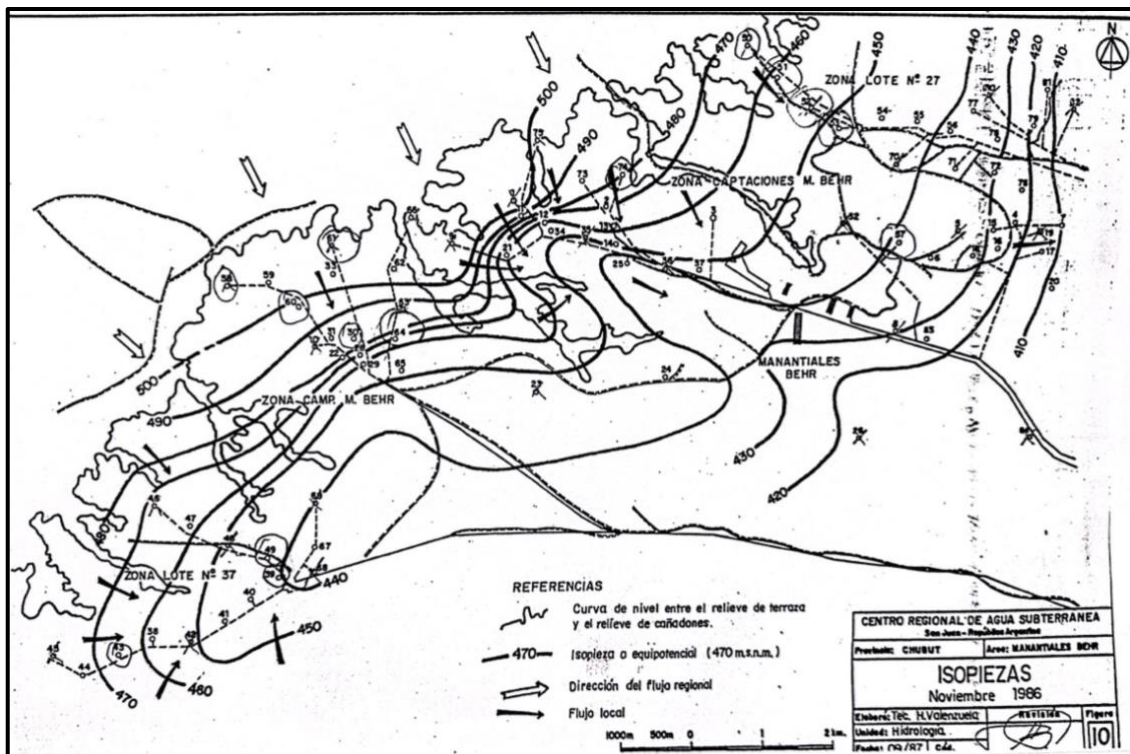


Figura 28. Mapa equipotencial realizado por Centro Regional de Agua Subterránea-San Juan (Tomado de Salvioli *et al.* 1987).

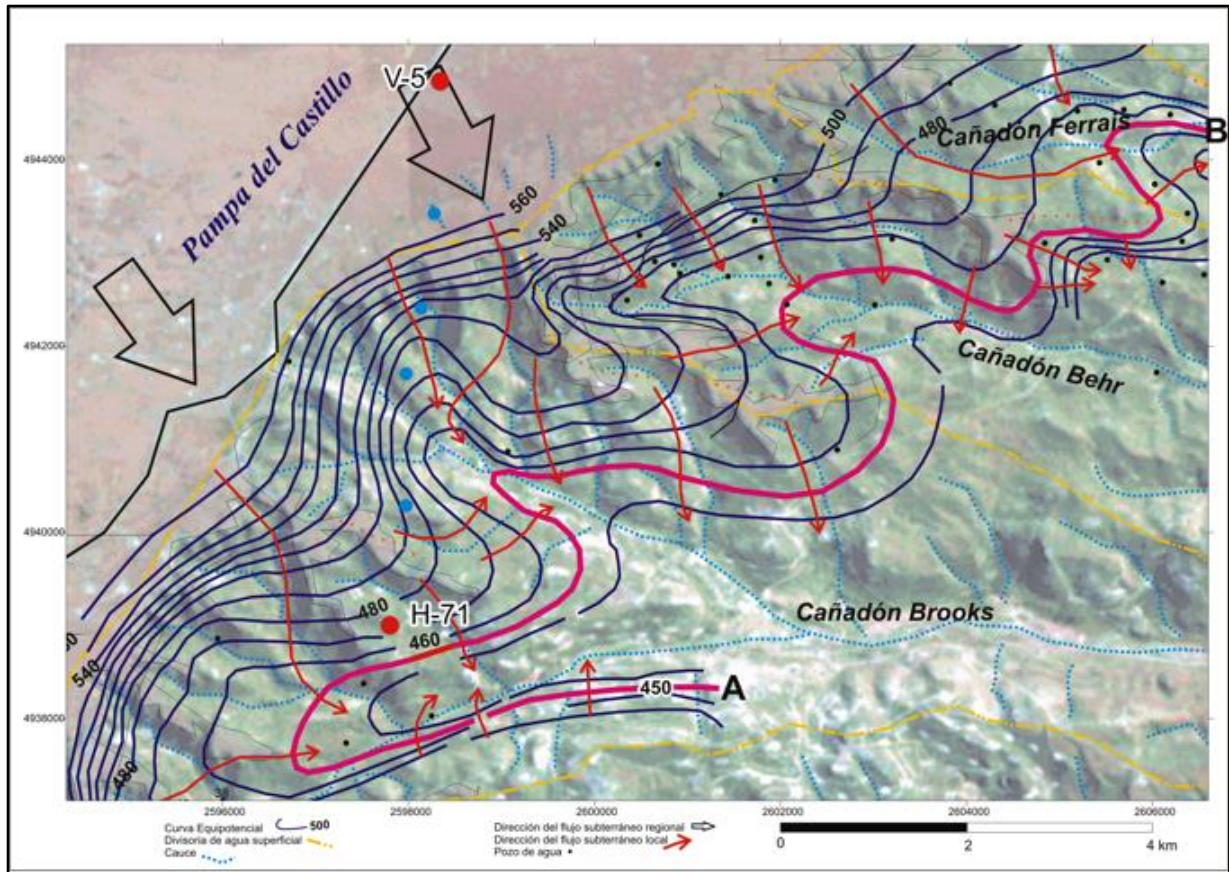


Figura 29. Mapa equipotencial en el área de Manantiales Behr (Tomado de Auge 2007).

Por último, la Cátedra de Geofísica de la UNPSJB, en colaboración con GEOINV, han llevado a cabo un estudio con el método de tomografía eléctrica resistiva en los pozos C-68-A y C-86-A (Fig. 30), ubicados en el área de los Manantiales Behr. A través de este análisis, se han obtenido valores de resistividad que permiten identificar una zona saturada de agua a una profundidad de entre 33 y 35 metros, así como un patrón geométrico asociado al cono de depletación.

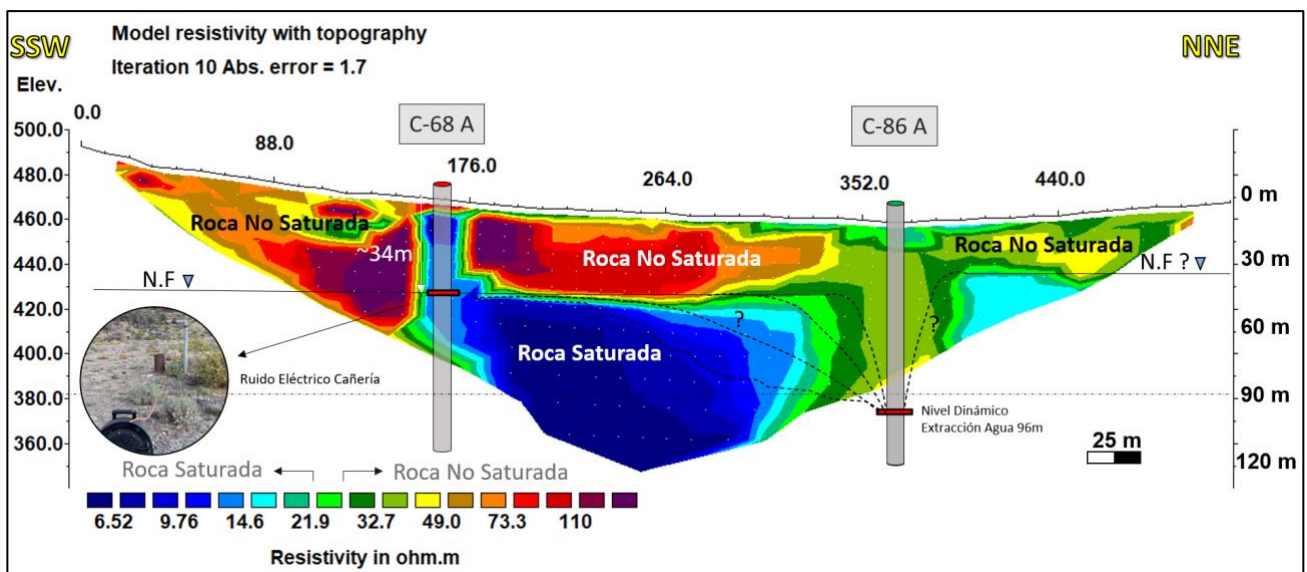


Figura 30. Tomografía eléctrica resistiva en pozos C-86-A y C-68-A en el área de Manantiales Behr (Tomado de Cátedra de Geofísica-UNPSJB).

A continuación, se adjunta material inédito de perfiles ajustados por topografía, realizados en el área de Manantiales Behr de orientación N-S y O-E (**Fig. 31**), elaborados e interpretados por *Salvioli et al. (1987)* en el cual se utiliza información de perfiles de pozo (SP y Resistividad) provistos por YPF. Se advierte que los autores no definen el límite entre la Formación Santa Cruz y la Formación Chenque (Superpatagoniano), haciendo referencia únicamente a areniscas finas. Por otra parte, se realizó una breve descripción de cada uno de los perfiles y se modificó la terminología de las formaciones.

El perfil de la **Fig. 31-A** con orientación S-N, el cual pasa por el campamento de Manantiales Behr, muestra que la variación lateral del Grupo Río Chico, Formación Sarmiento y Formación Chenque no presenta cambios en cuanto a su espesor. Lo que puede observarse es un aumento en el contenido de arenisca fina propuesto por el autor desde la ubicación V-4 hasta H-71. A su vez realizaron la medición del nivel estático en cercanías al pozo C-124 dando una profundidad cercana a las 100 m.

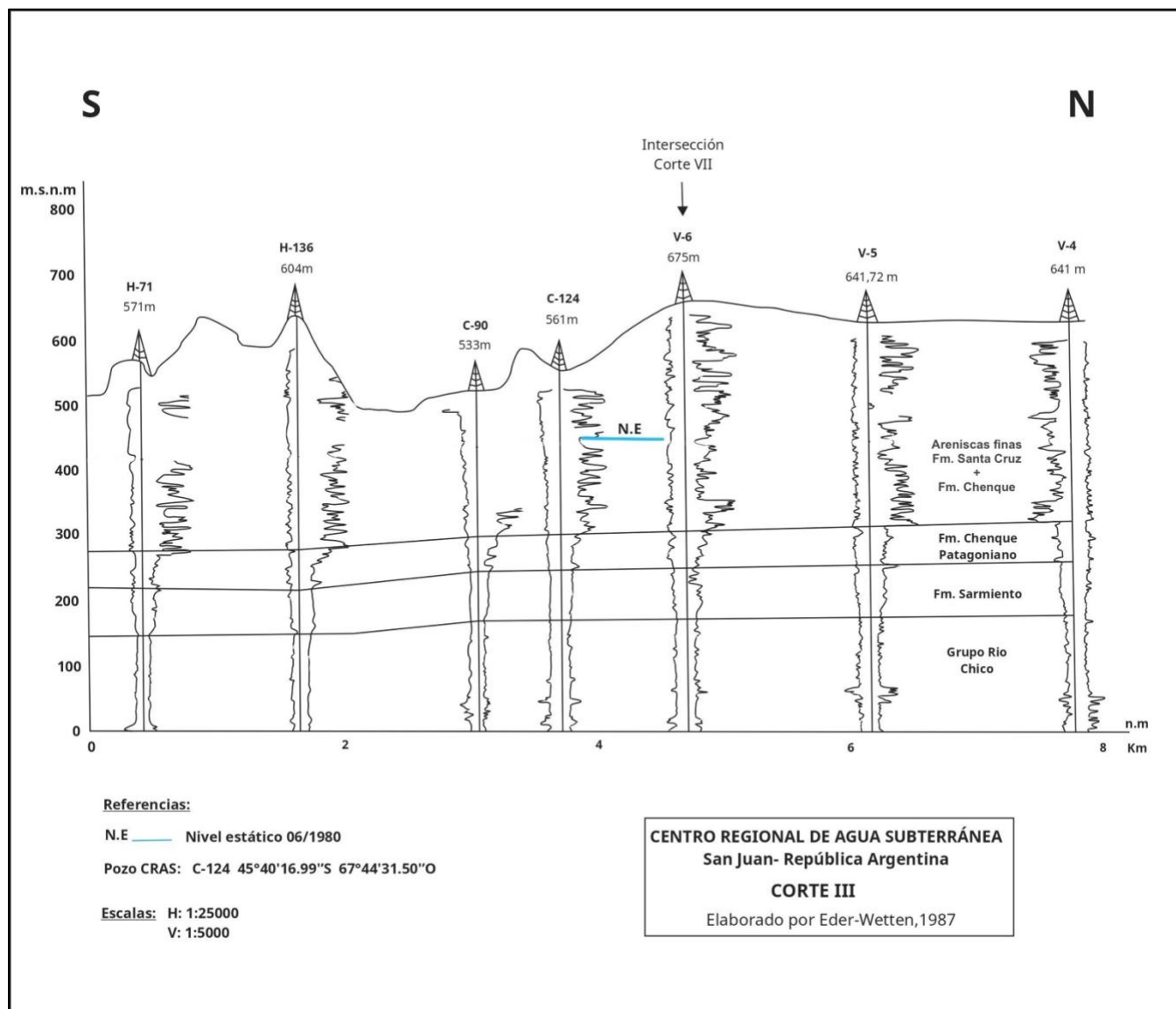


Figura 31-A. Perfiles eléctricos en el área de Manantiales Behr, Corte III de orientación S-N; se observa el nivel estático en el pozo C-124, medido en 1980, a una profundidad cercana de 100 m (*Modificado de Salvioli et al. 1987*).

En el siguiente perfil (**Fig. 31-B**) de orientación N-S los autores han interpretado una falla del tipo normal con buzamiento entre 65°- 70°. La Formación Sarmiento presenta un leve aumento en su espesor y la Formación Chenque se mantiene constante aunque con algunas variaciones en su contenido de arena o arcilla. Por último, las areniscas finas de Formación Chenque y Formación Santa Cruz se hacen más profundas en dirección Sur, pero sin haber cambios significativos en sentido vertical.

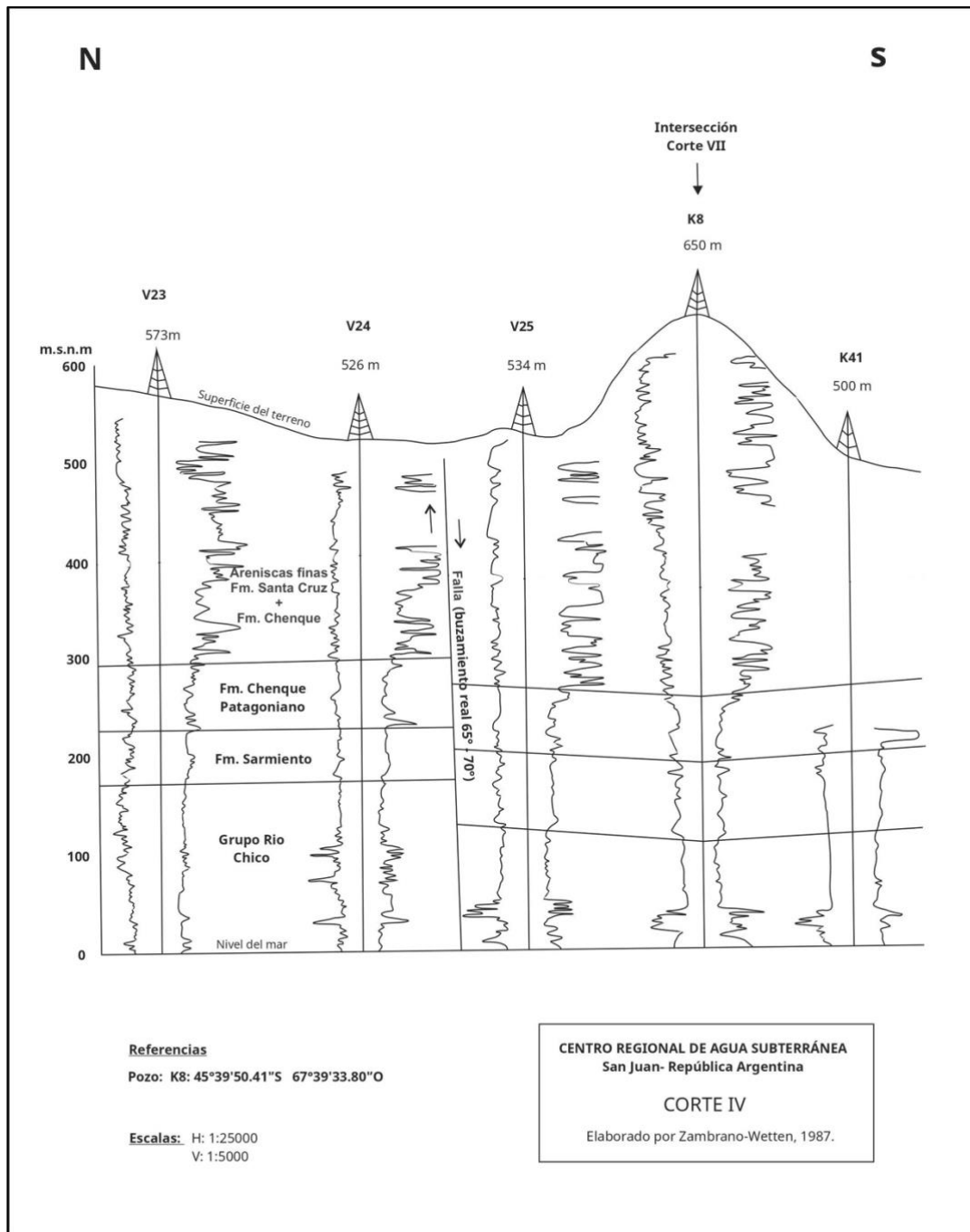


Figura 31-B. Perfiles eléctricos, Corte IV de orientación N-S; los autores interpretan una falla del tipo normal (Modificado de Salvioli et al. 1987).

En el perfil de la **Fig. 31-C**, de orientación N-S, los autores han interpretado dos fallas del tipo normal, una con buzamiento hacia el Sur y otra con buzamiento al Norte, entre los pozos K31 y K32. Por otro lado, los pozos V11, V7, K13 y K32 no se observan cambios significativos en sus espesores y en sentido vertical no presenta grandes variaciones en el contenido de arena.

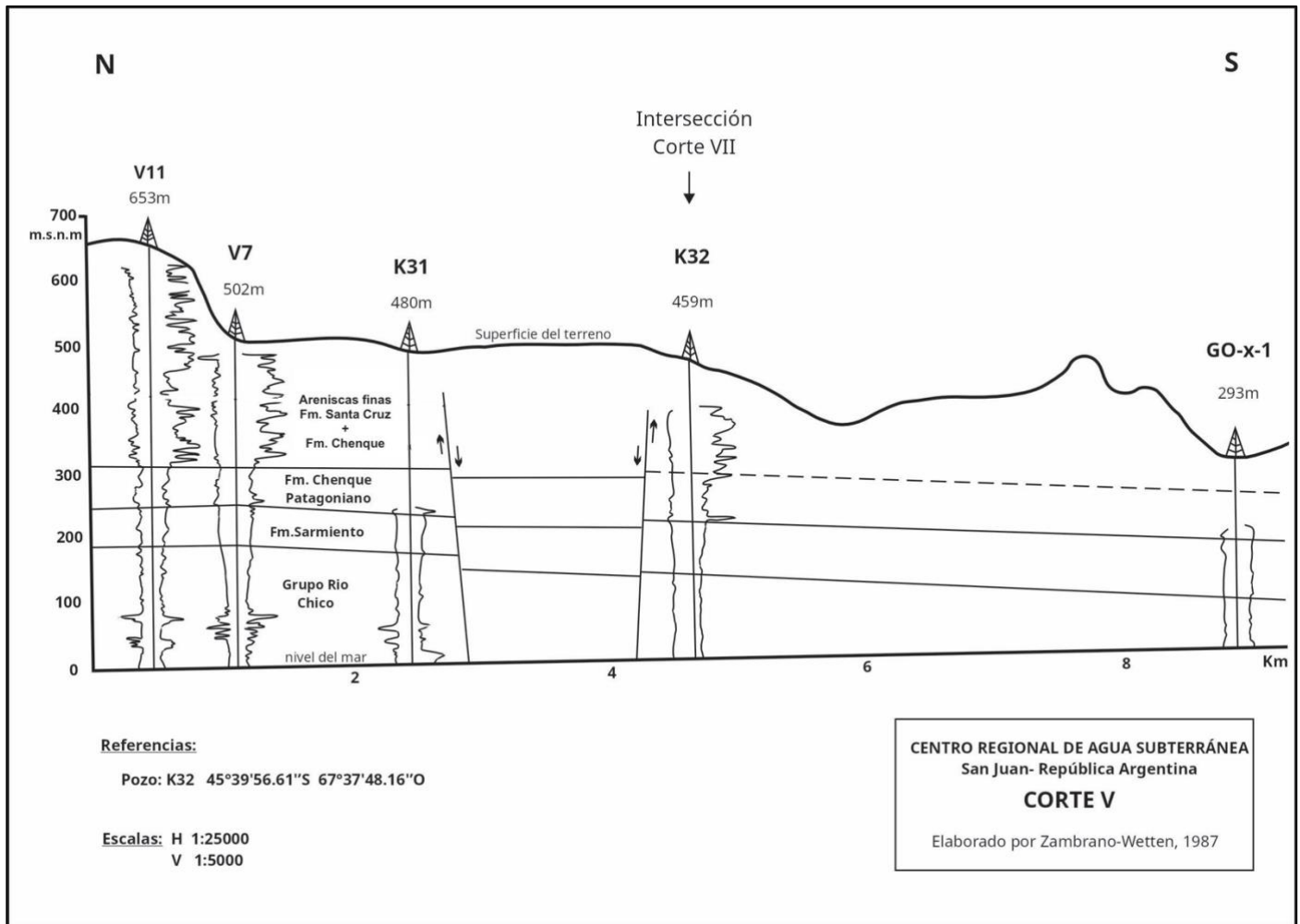


Figura 31-C. Perfiles eléctricos, Corte V de orientación N-S, los autores interpretaron dos fallas de tipo normal (*Modificado de Salvioli et al. 1987*).

El siguiente perfil (**Fig. 31-D**), de orientación S-N, se observa una leve inclinación del Grupo Rio Chico, Formación Sarmiento y Formación Chenque en sentido Sur y una disminución del espesor hacia el Norte. Continuando con la Formación Chenque y Formación Santa Cruz, el contenido de arenisca fina es mayor hacia el Norte posiblemente vinculado al efecto de la topografía.

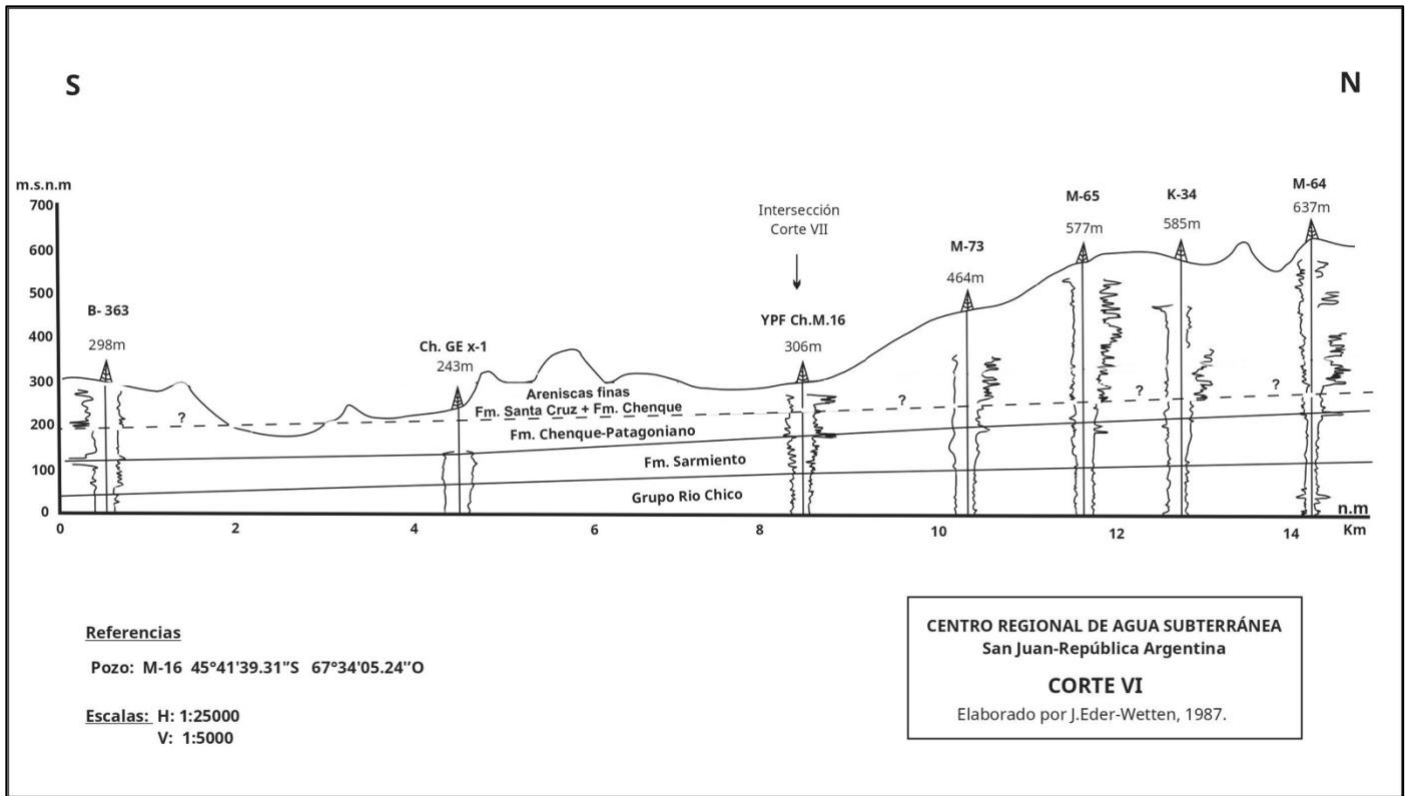


Figura 31-D. Perfiles eléctricos, Corte VI de orientación N-S (Modificado de Salvioli *et al.* 1987).

Por último, el perfil (**Fig. 31-E**) presenta una orientación O-E, abarcando gran parte de la zona de estudio y ubicándose perpendicularmente a los anteriores perfiles descriptos. Es notoria la leve inclinación de las formaciones en sentido Este, con un aumento en el contenido de arenisca para la Formación Chenque y Formación Santa Cruz.

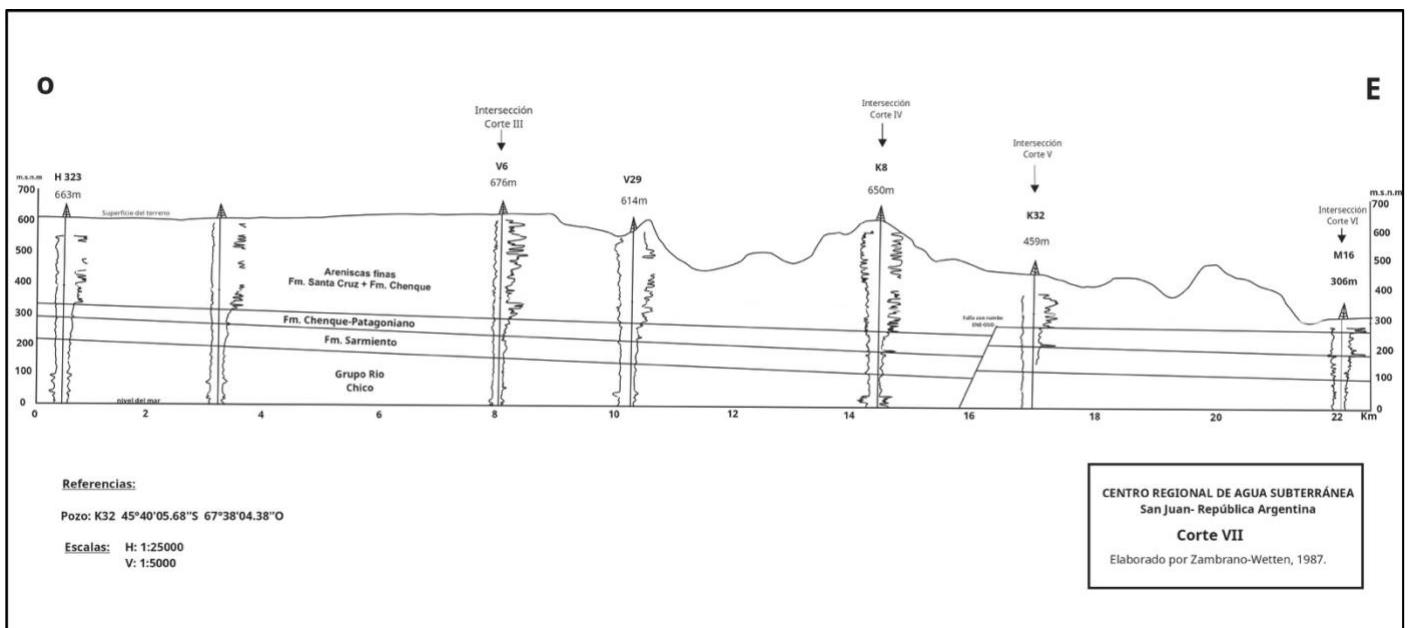


Figura 31-E. Perfiles eléctricos, Corte VII orientación O-E, el cual abarca gran parte del área de Manantiales Behr; los autores interpretan una falla de rumbo NE-SO en el sector Este (Modificado de Salvioli *et al.* 1987).

6.2.1 Recarga

La zona de recarga del Acuífero Multiunitario Superior es en el ámbito de la Pampa del Castillo, donde la infiltración y percolación vertical del agua se ve facilitada por la horizontalidad del relieve, por la capacidad de infiltración de los Rodados Patagónicos que cubren la pampa del área estudiada y las precipitaciones del tipo nival.

El estudio de isótopos ambientales tales como Oxígeno-18, Deuterio y Tritio, realizado en conjunto por *Salvioli et al. (1987)* y el INGEIS (Instituto de Geocronología y Geología Isotópica), permitieron ampliar el conocimiento sobre el origen del agua de recarga y la evolución y dinámica de las aguas subterráneas de Manantiales Behr. En la siguiente tabla se representa la lista y los resultados isotópicos que se utilizaron:

Identificación	δO^{18} (‰)	$\delta ^2H$ (‰)	$\delta ^3H$ (U.T)
Pozo C-04-A (1)	-11.5 ± 0.2	-99 ± 1	0.5 ± 0.5
Pozo C-80-A (2)	-12.1 ± 0.2	-102 ± 1	1.4 ± 0.4
Pozo C-34-A (3)	-11.7 ± 0.2	-101 ± 1	0.0 ± 0.5
Pozo C-39-A (4)	-12.2 ± 0.2	-107 ± 1	1.2 ± 0.4
Galería 2 (5)	-11.7 ± 0.2	-99 ± 1	1.9 ± 0.4
Galería 34 (6)	-11.7 ± 0.2	-97 ± 1	0.6 ± 0.4

Tabla 2. Datos del estudio isotópico, los cuales se expresan como δ (delta), realizado por *Salvioli et al. (1987)* e INGEIS.

Las relaciones isotópicas O^{18}/O^{16} y H^2/H fueron determinadas con espectrómetro de masas de tipo Mc Kiney, de doble colector 602 D. El contenido isotópico se denota con $-\delta(‰)$ que es la desviación con respecto a 1 del cociente de las relaciones isotópicas de las muestras analizadas y del estándar; mientras este valor se aleje del CERO será más empobrecido en isótopos pesados. La expresión de la información es la siguiente:

$$\delta = 1000 \times \frac{Rm-Re}{Re} ‰$$

donde:

$$\delta = \delta O^{18} \text{ o } \delta H^2$$

Rm: H^2/H o O^{18}/O^{16} en la muestra

Re: las mismas relaciones estándar

La reproductividad analítica es de $\pm 0,2 ‰$ para O^{18} y de $\pm 1,0 ‰$ para H^2 .

Los niveles de H^3 (Tritio) se determinan según la metodología del INGEIS, donde se realiza primero un enriquecimiento electrolítico de las aguas con el espectrómetro de centelleo líquido marca Packard tipo 300; donde el factor de enriquecimiento es del orden de 10. Las concentraciones se expresan en U.T, que se define como:

$$1 U.T = \frac{1 \text{ at. de } H^3}{10^{18} \text{ at. de } H}$$

El resultado se expresa en el diagrama de δO^{18} vs δH^2 (**Fig. 32**), el cual permite observar que las muestras tomadas de pozos y galerías en Manantiales Behr son aguas del tipo pluvionivales. Otra observación es que las muestras se apartan un poco de la línea de agua meteórica; esto se debe al fraccionamiento isotópico producido por evaporación antes de la infiltración, es decir hay un empobrecimiento de O^{18} . Este fenómeno es conocido cuando se trata de acumulación de nieve en climas áridos y con mucho viento *Salvioli et al. (1987)*.

Por otra parte, los valores isotópicos de las aguas subterráneas, no indican ninguna vinculación significativa con las precipitaciones de la región, considerando una estación litoral de referencia como la de Puerto Madryn, evaluada por INGEIS desde 1981, se ha visto que el promedio ponderado de O^{18} corresponde a $-7,7\text{‰}$ *Salvioli et al. (1987)*.

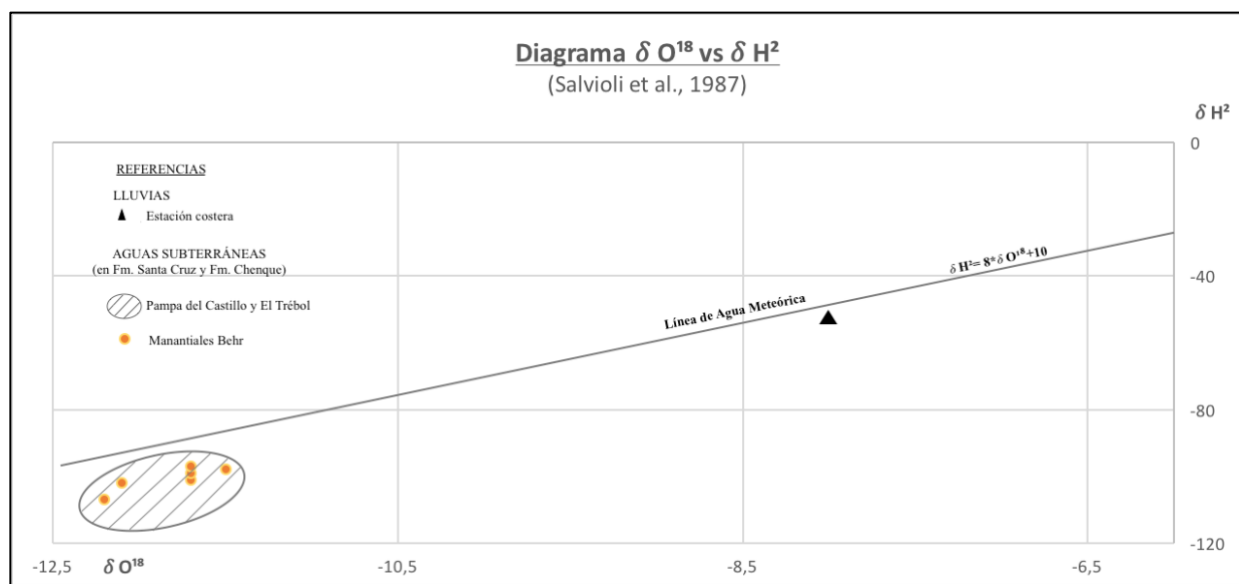


Figura 32. Diagrama isotópico de O^{18} y H^2 (Modificado de Salvioli et al.1987).

Los autores concluyen que de acuerdo al contenido de isótopos estables en las aguas subterráneas de los pozos analizados corresponderían, principalmente, a aguas producidas por el derretimiento de nieve.

Por otra parte, estudios realizados por *Griznik y Sontag (1994)* mediante dataciones de C^{14} en las aguas subterráneas de Pampa del Castillo y el Trébol dieron como resultado edades de 12.300 a 12.800 años de antigüedad, las cuales estarían relacionadas con una recarga de períodos posglaciares y tiempos de tránsito prolongado en el acuífero.

6.2.2 Hidrodinámica

En el siguiente apartado se menciona estudios hidrodinámicos inéditos que fueron realizado por *Salvioli et al. (1987)* y *Auge (2007)* en el área de Manantiales Behr. Se recuerda que en el presente trabajo no se hace hincapié en la realización de ensayos de bombeos, es por tal razón que fueron obtenidos de estudios previos.

Salvioli *et al.* (1987) realizaron dos ensayos de bombeo, uno a caudal variable y otro a caudal constante. El ensayo de bombeo a caudal variable se llevó a cabo en los pozos **C-03-A** (45°39'31.07"S y 67°40'36.18"O) y **C-55-A** (45°38'51.86"S y 67°38'34.74"O) obteniéndose los siguientes resultados:

	Pozo C-03-A		Pozo C-55-A	
	T	S	T	S
T/S	m ² /día		m ² /día	
100.000	37,5	3,75x10 ⁻⁴	23,7	2,37x10 ⁻⁴
50.000	35,5	7,11x10 ⁻⁴	22,4	4,48x10 ⁻⁴
25.000	33,6	1,3x10 ⁻³	21,2	8,48x10 ⁻⁴
10.000	31,0	3,1x10 ⁻³	19,5	1,92x10 ⁻³
1.000	24,5	0,024	15,3	0,015
500	22,6	0,045	14,0	0,028
100	18,0	0,18	11,0	0,11
50	16,0	0,32	9,7	0,19

Tabla 3. Datos obtenidos del ensayo de bombeo a caudal variable en los pozos C-03-A y C-55-A. T (transmisividad) y S (coeficiente de almacenamiento) (Tomado de Salvioli et al. 1987).

Según lo mencionado anteriormente, durante el corto tiempo de bombeo ($t_{3'} = 60' = 0,0416$ día; $t_{55'} = 40' = 0,0278$ día) los autores mencionan que el acuífero o sistema de varios acuíferos se comportan como confinados, y por lo tanto el coeficiente de almacenamiento debe ser del orden de 10^{-3} o menor. En cuanto a la transmisividad, asumen un valor representativo para todo el espesor saturado de $25 \text{ m}^2/\text{día}$, aunque consideran que debería ser mayor debido a que se debería aplicar a la suma de los espesores de las capas con permeabilidad significativa. De cualquier forma, aun considerando gruesos errores en la estimación concluyen de que se trata de un acuífero con muy baja transmisividad.

Por otro lado, para el ensayo de bombeo a caudal constante se utilizaron los pozos **C-04-A** (45°39'32.52"S y 67°37'28.71"O) y **C-25-A** (45°39'51.43"S y 67°41'27.98"O). En el caso del pozo C-04-A se hizo observación de los niveles de agua en los pozos C-16-A y C-19-A, ubicados a 400,7 m, 338,8 m y 397 m respectivamente del de bombeo.

Con la información obtenida en el pozo C-19-A y utilizando el método de superposición de Theis, determinaron la T (transmisividad) y S (coeficiente de almacenamiento) ($T = 17,8 \text{ m}^2/\text{día}$ y $S = 8,2 \times 10^{-4}$). En el caso del pozo C-16-A, y aplicando el mismo método, resulta $T = 20,9 \text{ m}^2/\text{día}$ y $S = 6 \times 10^{-4}$.

Por último, en el ensayo de bombeo para el pozo C-25-A se midieron los descensos en el pozo C-14-A siendo la distancia entre ambos de 309,6 m. La influencia del bombeo en el nivel de agua del pozo C-14-A fue nula.

Por otra parte, [Auge \(2007\)](#) realizó ensayos de bombeos en el área de Manantiales Behr donde obtuvo valores de Transmisividad (T) y Permeabilidad (K), ambos parámetros indican la productividad del acuífero, y el Coeficiente de Almacenamiento (S) su comportamiento (libre, semiconfinado, confinado) siendo también uno de los componentes necesarios para estimar la reserva.

El primer ensayo que realizó fue a caudal constante empleando para el bombeo al pozo **C-86 A** y para monitoreo al **C-88-A**. El ensayo insumió 1.500 minutos de bombeo, a un caudal uniforme de 8 m³/h, y 1.440 minutos de recuperación, por lo que su duración fue de 2 días y 1 hora.

En el pozo de bombeo C-86-A, de acuerdo a los ensayos de depresión y recuperación, se obtuvieron los datos para calcular la transmisividad de acuífero Manantiales Behr. [Auge \(2007\)](#) empleó Theis (1935) y el software Aquiter Test 2.0 (Waterloo, 2000) donde se obtuvo: **T= 25 m²/d**; y adoptando un espesor saturado de 50 m, obtenido del perfil litológico del pozo C-86 A, deriva en una conductividad hidráulica o permeabilidad **K= 0,5 m/d**.

En cuanto a la dinámica que presenta el acuífero, ha realizado una comparación entre el mapa equipotencial elaborado por [Simeoni \(2005\)](#) y el realizado por [Auge \(2007\)](#); en el cual el autor observa una notoria similitud entre las superficies hidráulicas y topográficas. Los cañadones coinciden con las vaguadas o sitios de descarga del Acuífero Multiunitario Superior en Manantiales Behr, y también se observa que el agua subterránea se mueve en el mismo sentido de la pendiente topográfica, concluyendo que ésta relación es típica de acuíferos libres y es conocido como *control topográfico sobre la superficie freática*.

Auge realiza el cálculo de velocidad efectiva del flujo subterráneo empleando la fórmula de Darcy:

$$V_e = K \cdot i / P_e$$

Ve: velocidad efectiva (m/día) K: permeabilidad o conductividad hidráulica (m/d) i: gradiente hidráulico (adimensional) Pe: porosidad efectiva (adimensional)

Adoptando una permeabilidad de 0,5 m/d, obtenida del ensayo de bombeo y una porosidad efectiva del 10%, a partir de las características litológicas del acuífero, y un gradiente hidráulico del 5%, se obtiene:

Para los sectores de mayor pendiente hidráulica, como se dan en los flancos de los cañadones,:

$$V_e = 0,5 \text{ m/d} \cdot 0,05 / 0,10 = \mathbf{0,25 \text{ m/d}}$$

7. RESULTADOS

7.1 Niveles estáticos históricos en Manantiales Behr

Las mediciones en perforaciones que se han realizado en los últimos 70 años en la zona de Manantiales Behr muestran, en su gran mayoría, descensos en los niveles freáticos y alcanzando unas decenas de metros. La recopilación de la información se realizó considerando los datos más relevantes para distintos periodos debido a la falta de registros de algunos años.

Como se observa en la **Fig. 33**, de manera general, los niveles estáticos muestran una tendencia a una disminución de la columna de agua (C-32-A, C-39-A, C-42-A, C-43-A), sin embargo hay aumentos del nivel como es el caso del pozo C-38-A para el año 2019 con un incremento de casi 20 metros. Los pozos C-33-A y C-34-A muestran un leve descenso en sus niveles que no supera los 10 metros.

Por otro lado, los niveles en los pozos C-42-A y C-43-A han sufrido un marcado descenso del nivel pasando de 15,9 m a 56 en un lapso de 30 años; y para el caso del pozo C-43-A con un nivel de 13 m, en el año 1950, a 78,5 m para el año 2021.

De acuerdo a lo antes mencionado, en las siguientes tablas y gráficos, se disponen las mediciones de niveles estáticos que se han considerado para los diferentes pozos:

POZOS	1945	1950	1967	1984	2018(et al, Griznik)	2019	2021
C-32-A	100	-	-	-	-	122,35	-
C-33-A	60	-	-	64	-	-	-
C-34-A	-	-	-	64,5	-	-	71,3
C-38-A	-	-	39,2	33	-	16,3	-
C-39-A	-	5,2	32,4	24	37,2	-	-
C-40-A	-	12	48	34	-	-	-
C-41-A	-	30	49,5	35	-	-	-
C-42-A	-	15,3	59	56	-	-	-
C-43-A	-	13	70,8	60	78,5	-	78,5

Tabla 4. Niveles estáticos (mbbp) de los pozos C-32-A al C-43-A.

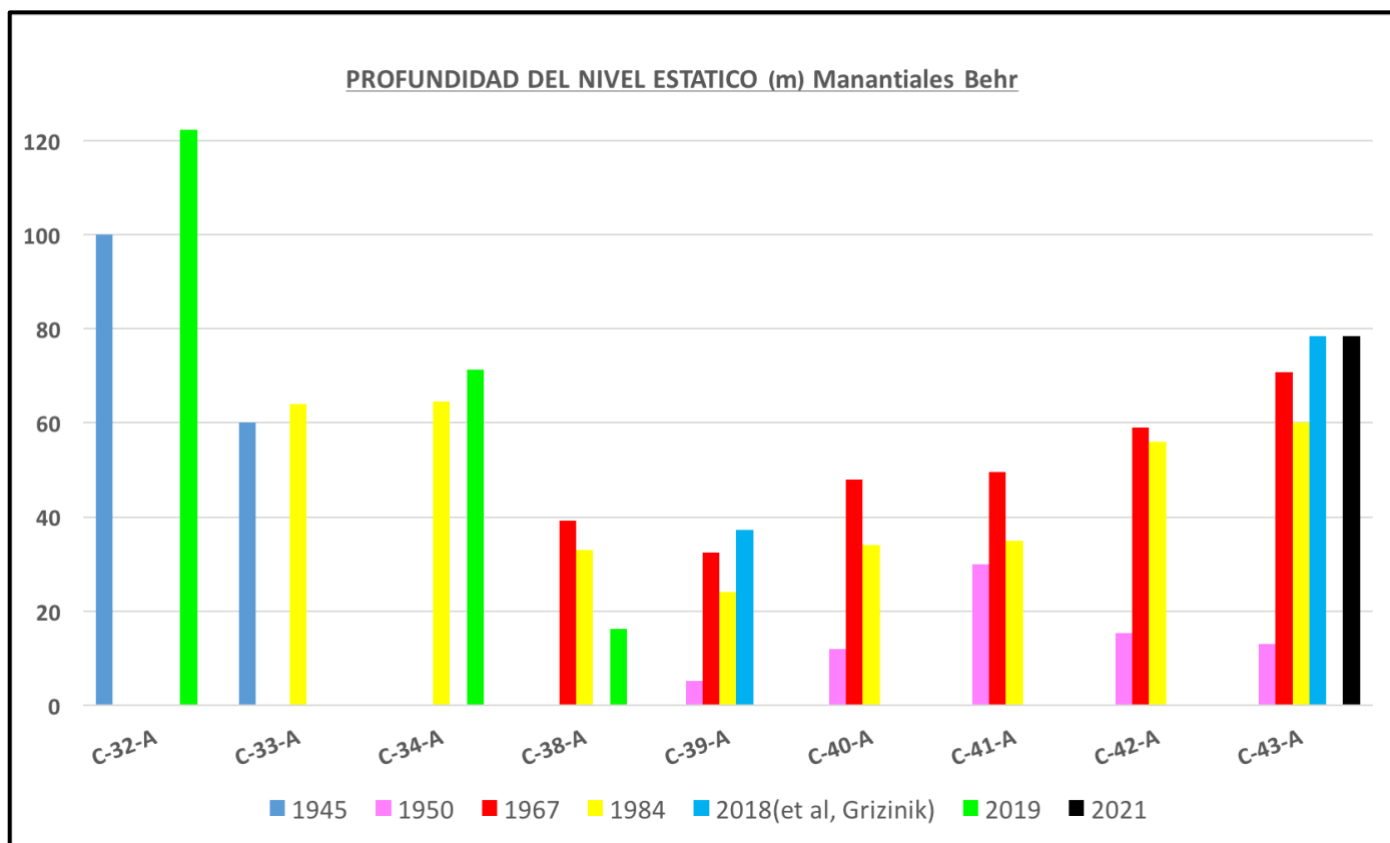


Figura 33. Representación gráfica de los niveles estáticos, pozo C-32-A hasta C-43-A.

Por otro lado, en el gráfico de la **Fig. 34** muestra una misma tendencia a un descenso de la profundidad de los niveles estáticos tal como se mencionó anteriormente. El caso más notorio es el pozo C-50-A que desde la década del 50 hasta el año 2018 descendió casi 80 metros; luego se observan caídas que van desde los 30 a 50 metros de profundidad. Luego, el pozo C-49-A muestra una caída de unos 30 metros en el año 1967, aunque mantuvo esa profundidad hasta el 2021 con pequeñas variaciones. Los valores se detallan en la siguiente tabla:

POZOS	1950	1967	1984	2018(et al, Griznik)	2019	2021
C-44-A	8	50,4	-	-	-	-
C-45-A	22	46,4	45	-	-	-
C-46-A	30	87,7	87	-	-	-
C-47-A	50	69,75	67	-	-	-
C-48-A	17,3	47,5	42	-	-	58
C-49-A	8	39,5	35	41,2	42,15	41,44
C-50-A	22	-	-	98	-	-
C-52-A	30	-	-	75,7	78,87	-
C-53-A	17	-	59	65,5	63,23	-
C-54-A	39	-	36	-	-	-

Tabla 5. Niveles estáticos (mbbp) de los pozos C-44-A al C-54-A.

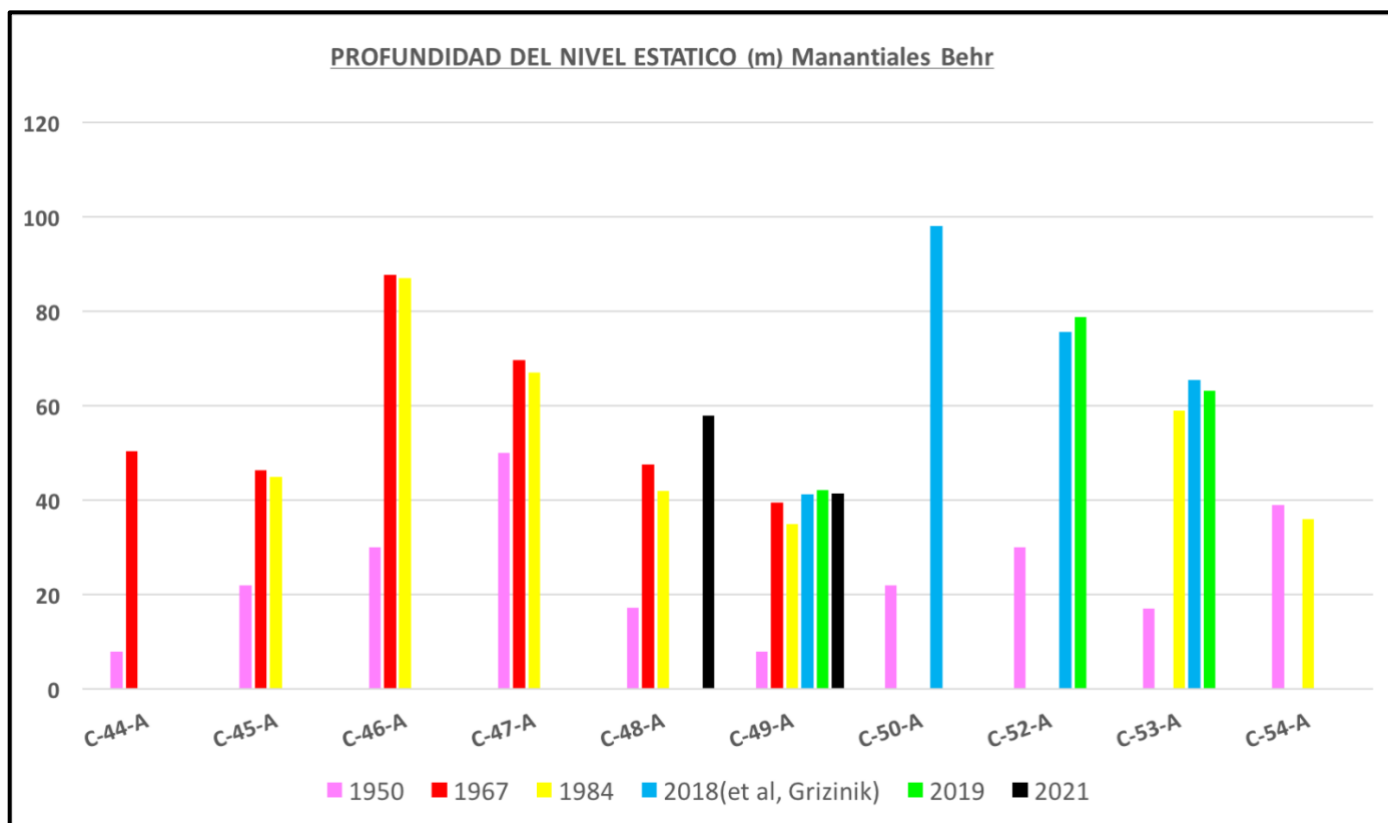


Figura 34. Representación de los niveles estáticos, C-44-A al C-54-A.

Por último, como se observa en la **Fig. 35** la profundidad de los niveles freáticos continúa con la misma tendencia a la baja. Los pozos C-55-A y C-56-A no han tenido grandes variaciones entre la década de 1950 y de 1980; sin embargo no hay registros de estos últimos 40 años lo cual sería necesario para saber en qué condiciones están los niveles de ambos pozos. Por su parte, el pozo C-58-A muestra una caída de unos 50 metros en menos de tres años (2018-2021) y para el pozo C-61-A se observa una fuerte caída entre 1950 y 1967, aunque para el año 1984 hay un aumento significativo del nivel; seguidamente para el año 2018 y 2021 sufre nuevamente una baja de unos 60 metros. Los pozos siguientes presentan caídas de unos 30 metros a excepción del pozo C-72-A en donde se observa un leve aumento del nivel para el año 2019. Los valores de cada pozo se detallan en la siguiente tabla:

POZOS	1950	1967	1984	2018(et al, Grizinik)	2019	2021	2022
C-55-A	19	18,5	20	-	-	-	
C-56-A	8	11,7	10	-	-	-	
C-58-A	-	-	49	52	-	103,6	
C-60-A	-	-	30	38	-	36,2	
C-61-A	28	95	40	98	100	-	
C-62-A	-	-	34	-	67,24	-	
C-64-A	-	38	34	46	47,72	-	
C-72-A	-	-	52	-	37,05	-	
C-74-A	-	-	25	71,2	-	-	
C-86-A	-	-	40	25,51	-	-	34
C-90-A	-	-	25	75,6	-	-	
C-91-A	-	-	23	-	-	61	

Tabla 6. Niveles estáticos de los pozos (mbbp) C-55-A al C-91-A. Se incorpora el dato del año 2022 (Tomado de la Cátedra de Geofísica-UNPSJB).

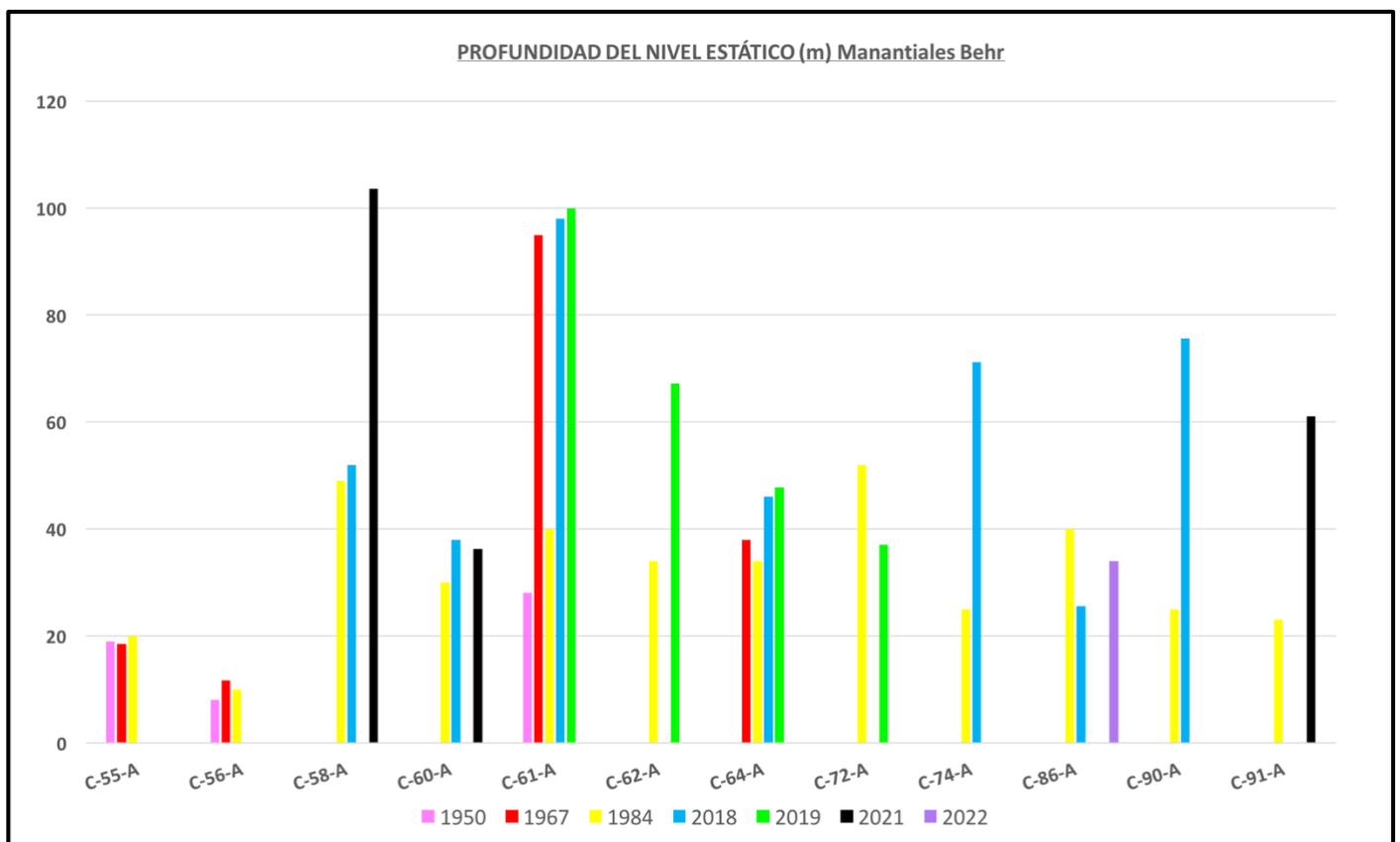


Figura 35. Representación gráfica de los niveles estáticos, pozos C-55-A al C-91-A.

7.2 Mapa equipotencial

El mapa de isopiezas fue elaborado en base a datos correspondientes al año 2019 (**Fig. 36**), los mismos se obtuvieron durante la campaña realizada entre la SCPL y la Municipalidad de Comodoro Rivadavia-Subsecretaria de Medio Ambiente, en el cual se intervinieron los pozos C-38-A, C-49-A, C-61-A, C-62-A, C-64-A, C-72-A y C-86-A. De acuerdo al mapa elaborado se observa una tendencia de la dirección de flujo en sentido NO-SE.

Ensayo de Bombeo-Manantiales Behr				
Pozo	Elevación (m.s.n.m)	Nivel estático (mbbp)	Mapa equipotencial (Elevación-N.E)	Fecha
38	523	16,3	506,7	dic-19
49	488	42,15	445,85	nov-19
52	551	78,87	472,13	nov-19
53	529	66,23	462,77	nov-19
61	600	99,68	500,32	dic-19
62	561	67,24	493,76	nov-19
64	497	47,72	449,28	nov-19
72	471	37,05	433,95	nov-19
86	465	25,51	439,49	nov-19

Tabla 7. Niveles estáticos medidos durante el año 2019.

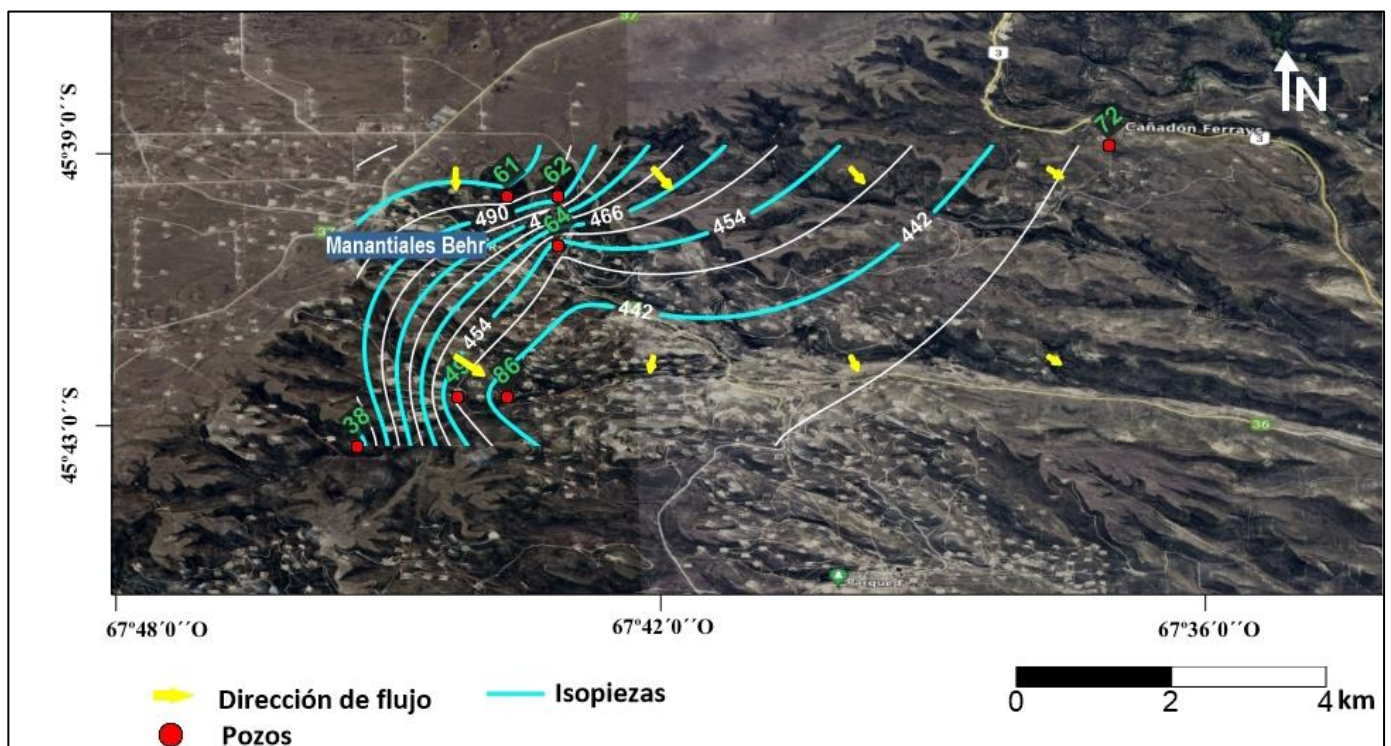


Figura 36. Mapa equipotencial del año 2019, se observa que la dirección de flujo subterráneo es en sentido NO-SE.

7.3 Hidroquímica

De acuerdo al quimismo de las aguas subterráneas presentes en Manantiales Behr y en relación a los parámetros analizados es posible calificarlas como de excelente calidad, tanto para consumo humano como para riego. Las aguas son del tipo bicarbonatada sódica, con bajo contenido de sólidos totales disueltos presentando bajo grado de alcalinización y salinización.

7.3.1 Clasificación química

Las aguas subterráneas naturales presentan sustancias disueltas en estado iónico (aniones y cationes), siendo los mayoritarios los más relevantes a la hora de realizar un análisis hidroquímico: Cl^- , HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, Ca^{++} , Na^+ , K^+ , Mg^{++} . Estos iones también permiten clasificar a las aguas, mediante la utilización de gráficos o diagramas. Las sustancias disueltas en aguas dulces no superan los 1500 mg/l, mientras que un agua de mar (salada) pueden alcanzar valores de hasta 35000 mg/l. Los métodos analíticos utilizados en laboratorio para la determinación de los valores de cada muestra de los pozos de agua se ubican en la **Tabla 1**.

Dentro de la hidroquímica, los parámetros fisicoquímicos también permiten caracterizar a las aguas a partir de la conductividad eléctrica y los STD (Sólidos Totales Disueltos), temperatura, pH, dureza, entre otros.

Por un lado la conductividad eléctrica del agua está determinada por la cantidad de iones disueltos en ella, por lo tanto, sirve como medida indirecta de la concentración de sólidos totales disueltos. En el presente trabajo los valores de STD se encuentran dentro de los valores aceptados que dicta el Código Alimentario Argentino (CAA) para consumo humano, encontrándose por debajo de los 1500 mg/l; los cuales varían entre 200 mg/l y 600 mg/l.

En cuanto a los datos analíticos la sumatoria de miliequivalentes de aniones debe ser igual a la sumatoria de miliequivalentes de cationes; aunque el K^+ y NO_3^- pueden en general despreciarse. Se calculó el error, el cual viene dado por:

$$\text{error } (\%) = 100 \times \frac{\sum \text{Eq. cat} - \sum \text{Eq. an}}{\sum \text{Eq. cat} + \sum \text{Eq. an}}$$

Donde el error admisible %, relacionado a la conductividad (Custodio y Llamas, Tomo I 1983), es:

<i>Conductividad uS/cm</i>	<i>100</i>	<i>400</i>	<i>1000</i>	<i>4000</i>	<i>>4000</i>
<i>Error admisible %</i>	<i>30</i>	<i>10</i>	<i>8</i>	<i>4</i>	<i>4</i>

Aquellas muestras que presentaron errores por encima del aceptado (<10%), han sido descartadas para el análisis.

A continuación, se realiza una descripción de los parámetros fisicoquímicos de todos los pozos de la zona de Manantiales Behr abarcando análisis de la década de 1940 y de los últimos 20 años.

Los datos fisicoquímicos de los años 1945, 1946 y 1947 (**Anexo 1**) correspondientes a los pozos **C-04-A, C-10-A, C-21-A, C-25-A, C-32-A y C-33-A** muestran valores de STD (Residuo seco a 180°) entre 255 mg/l a 411 mg/l.

En el caso de los pozos **C-09-A hasta C-42-A (Anexo 2)** los valores de STD (SM 8ed./ SM 2540 C) varían entre 200 a 600 mg/l mientras que la conductividad eléctrica (SM 2510 B/ ASTM D 1125) se encuentra entre los 400 uS/cm a 750 uS/cm. En cuanto al pH del agua (SM 4500-H B), los valores se encuentran entre 8,20 a 8,70, a excepción de algunos pozos donde los valores rondan los 8,80 y 9,2: **C-09-A, C-10-A y C-34-A**, quedando dentro de los valores permitidos por el CAA con pH (excepción de aguas carbonatadas) de 6 a 9. La dureza del agua (SM 17 ed. 2340 C/ SM 2340-B) se encuentra entre los 9 hasta 202 mg/l, estos valores están dentro del máximo permitido por CAA (máx. 400mg/l). Por último, la clasificación en cuanto a la dureza del agua sería del tipo blanda a moderadamente dura, en los pozos antes mencionados. En la siguiente tabla se detalla el contenido de CaCO₃ para algunos pozos, debido a que en el programa EASYQUIM contempla HCO₃⁻:

Pozos	10 (2007)	32 (2007)	32 (2022)	33 (2007)	34 (2007)	34 (2022)	35 (2007)	36 (2007)
CaCO ₃ (mg/l)	21	8	16,6	4	<0,5	44,4	6	12

Tabla 8. Concentración de CaCO₃ para las muestras de agua analizadas.

Para los pozos **C-42-A hasta C-54-A (Anexo 3)** se observan conductividades eléctricas (SM 2510 B/ ASTM D 1125) entre 336 uS/cm a 707 uS/cm y los valores de STD (SM 8ed./ SM 2540 C) van desde 233 mg/l hasta 589 mg/l, ambos parámetros se encuentran dentro de los permitidos por el CAA. En cuanto al pH (SM 4500-HB) varían desde 7,20 hasta 9,20, dando valores aceptables para tipos de aguas carbonatadas o bicarbonatadas; por último la dureza del agua (SM 17 ed. 2340 C/ SM 2340-B) es del tipo blanda a semidura, con valores entre 6 mg/l y 92,40 mg/l. En la siguiente tabla se detalla el contenido de CaCO₃ para algunos pozos:

Pozos	42 (2014)	44 (2014)	45 (2007)	45 (2014)	46 (2007)	47 (2007)	48 (2022)	49 (2021)	50 (2006)	50 (2017)	52 (2007)
CaCO ₃ (mg/l)	3	6	<0,5	3	12	10	<10	25	8	8	16

Tabla 9. Concentración de CaCO₃ para las muestras de agua analizadas.

Los pozos de agua **C-55-A a C-71-A (ANEXO 4)** presentan conductividades eléctricas (SM 2510 B/ ASTM D 1125) desde 315 uS/cm a 755 uS/cm y los STD (SM 8ed./ SM 2540 C) se observan valores 224 mg/l a 560 mg/l. El pH del agua (SM 4500-HB) se encuentra entre 7,95 a 9,07, y la dureza (SM 17 ed. 2340 C/ SM 2340-B) es del tipo blanda a semidura con valores entre 8 mg/l y 119 mg/l. Los valores de los parámetros antes mencionados se encuentran dentro de los aceptados por el CAA. La siguiente tabla se expresa el contenido de CaCO₃ para algunos pozos:

Pozos	55 (2007)	56 (2015)	58 (2007)	58 (2022)	60 (2022)	62 (2007)	62 (2015)	63 (2014)	65 (2014)	65 (2015)	71 (2007)
CaCO ₃ (mg/l)	11	13	25	27,2	12,9	8	11	6	30	17	9

Tabla 10. Concentración de CaCO₃ para las muestras de agua analizadas.

Por último, en los pozos **C-71-A a C-91-A (Anexo 5)** se observa una conductividad eléctrica (SM 2510 B/ ASTM D 1125) entre 352 uS/cm a 604 uS/cm y los datos de STD (SM 8ed./ SM 2540 C) presentan valores desde 185 mg/l a 400 mg/l, quedando dentro de los valores aceptados por el CAA. En cuanto al pH (SM 4500-HB) varía entre 7,49 a 8,80; y la dureza (SM 17 ed. 2340 C/ SM 2340-B) presenta valores entre 25,5 mg/l a 178,2 mg/l, dando como resultado aguas blandas a semiduras. En la siguiente tabla se detalla el contenido de CaCO₃ para algunos pozos:

Pozos	72 (2015)	73 (2007)	74 (2022)	77 (2007)	85 (2014)	90 (2022)	91 (2022)
CaCO ₃ (mg/l)	11	12	15,2	<0,5	11	17,1	10,5

Tabla 11. Concentración de CaCO₃ para las muestras de agua analizadas.

Para la representación gráfica de los análisis químicos y la caracterización química de las aguas, han sido utilizados los diagramas de Piper como así también de Schoeller-Berkaloff. Los diagramas de Piper están formados por dos triángulos equiláteros y un rombo central, que se utilizan para representar la proporción de tres componentes de la composición de una sustancia y la suma de los mismos debe ser del 100%. Existe un triángulo representado por los cationes: Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺; y otro para aniones: Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄⁼. Los datos de los diagramas triangulares se proyectan a un rombo central en el que se representa la composición del agua. Las concentraciones de los iones dada en meq/l se expresan en porcentaje (%), donde a cada vértice le corresponde un 100% de un catión o anión.

El diagrama de Piper correspondiente a la década de 1940 (**Fig. 37-A**) revela un agrupamiento, de los pozos **C-04-A**, **C-10-A**, **C-21-A**, **C-25-A**, **C-32-A** y **C-33-A**, en el campo de las aguas bicarbonatadas sódicas. Los datos iónicos se presentan en la tabla subsiguiente, donde los valores expresan el porcentaje de miliequivalentes por litro (meq/l) de los iones analizados:

HCO₃⁻ (%)	64,34	72,95	62,66	76,52	66,38	64,78
SO₄⁻ (%)	10,75	5,45	19,29	6,54	7,92	9,69
Cl⁻ (%)	24,91	21,59	18,06	16,94	25,70	25,54
Na⁺ (%)	75,90	58,33	84,78	59,64	59,59	98,57
K⁺ (%)	0	0	0	0	0	0
Ca⁺⁺ (%)	23,40	27,15	14,57	26,42	26,92	1,05
Mg⁺⁺ (%)	0,70	14,52	0,65	13,94	13,49	0,39
Pozos/Fechas	4 (05-45)	10 (04-47)	21 (11-46)	25 (11-46)	32 (11-46)	33 (01-47)

Tabla 12. Datos hidroquímicos de los pozos C-04-A hasta C-33-A (**Anexo 1**).

El diagrama de Piper (**Fig. 37-B**) evidencia una agrupación de los pozos comprendidos entre **C-09-A** y **C-42-A** en el ámbito de las aguas bicarbonatadas sódicas. No obstante, se registra una excepción con el pozo **C-30-A**, el cual se localiza en el campo de las aguas del tipo cloruradas sódicas, a pesar de que se dispone de registros de aguas bicarbonatadas sódicas para otros años (**Anexo 2**) que, debido a un error en el balance de cargas, no fueron considerados en la presente sección.

En la tabla subsiguiente se presentan los análisis químicos, donde los valores expresan el porcentaje de miliequivalentes por litro (meq/l) de los iones analizados:

Pozos /Fecha	Mg ⁺⁺ (%)	Ca ⁺⁺ (%)	K ⁺ (%)	Na ⁺ (%)	Cl ⁻ (%)	SO ₄ ⁻ (%)	HCO ₃ ⁻ (%)
9 (01-11)	6,67	9,08	0	84,25	22,7	14,68	62,62
10 (12-07)	4,09	6,13	0	89,78	45,15	6,44	47,95
10 (01-11)	2,59	2,69	0	94,72	39,39	10,1	50,5
25 (01-11)	6,45	8,77	0	84,78	27,73	14,82	57,46
30(07-04)	0,57	1,91	0,55	96,98	63,39	6,86	29,75
32 (12-07)	13,39	16,2	0	70,42	38,86	4,91	55,15
32 (05-22)	17,21	24,62	0,54	57,63	28,57	6,96	63,87
33 (12-07)	6,01	9,69	0	84,3	31,6	10,39	57,62
33 (12-14)	4,87	3,99	0,62	90,51	20,02	7,87	72,11
34 (09-07)	9,20	12,03	0	78,77	26,3	5,63	67,27
34 (01-11)	0,50	2,23	0,26	97,27	37,37	18,10	44,53
34 (01-22)	11,15	13,77	0,33	74,76	21,5	9,57	68,42
35 (09-07)	2,93	5,32	0	91,75	37,93	9,23	52,28
36 (09-07)	1,61	7,79	0	90,6	29,32	11,48	58,55
39 (01-11)	6,35	3,67	0	89,9	14,95	3,55	81,51
40 (11-14)	13	7,07	0	79,9	18,52	1,85	78,37
41 (11-14)	18,45	12,8	0	68,68	22,14	14,85	61,7
42 (01-11)	4,76	7,12	0,52	87,6	15,20	2,54	81,82

Tabla 13. Datos hidroquímicos de los pozos C-09-A hasta C-42-A (Anexo 2).

Por lo que se refiere a la **Fig. 37-C**, se constata que los pozos comprendidos entre **C-42-A** y **C-54-A** se agrupan en la zona de las aguas bicarbonatadas sódicas, a pesar de que el pozo **C-52-A** exhibe valores muy próximos entre bicarbonato (HCO_3^-) y cloruro (Cl^-); sin embargo, en el diagrama de Piper se sitúa en el campo de aguas cloruradas sódicas. A continuación, se presentan los análisis químicos en la tabla subsiguiente, donde los valores expresan el porcentaje de miliequivalentes por litro (meq/l) de los iones analizados:

Pozos/Fecha	Mg ⁺⁺ (%)	Ca ⁺⁺ (%)	K ⁺ (%)	Na ⁺ (%)	Cl ⁻ (%)	SO ₄ ⁻ (%)	HCO ₃ ⁻ (%)
42 (11-14)	14,59	13,24	0	72,16	27,62	2,17	68,73
43 (01-11)	10,45	13,24	0	72,16	14,22	2,48	83,00
44 (01-11)	13,17	8,59	0	78,24	11,99	2,56	85,45
44 (11-14)	13,21	17,31	0	69,48	20,86	10,49	66,54
45 (09-07)	14,10	14,21	0	71,69	20,13	6,87	72,55
45 (11-14)	16,82	17,44	0	65,73	20,45	6,88	70,33
46 (09-07)	11,97	10,87	0	77,16	22,25	3,21	73,91
47 (09-07)	7,09	7,15	0	85,76	18,21	3,06	78,26
48 (01-11)	8,07	4,52	0	87,41	23,01	2,64	74,35
48 (03-22)	13,03	8,91	0,91	77,15	15,66	6,80	77,17
49 (01-11)	4,94	3,14	0	91,92	18,58	4,42	77,00
49 (12-21)	12,58	9,89	0,92	76,61	15,55	1,36	82,97
50 (09-06)	13,50	9,53	0	76,96	26,44	9,78	62,90
50 (12-14)	14,91	16,75	0	68,34	18,14	7,32	72,46
50 (09-17)	13,50	9,53	0	76,96	26,41	9,77	62,84
52 (09-07)	5,96	0	0	94,04	39,71	17,95	41,51
54 (12-14)	13,56	23,52	0,36	62,56	24,11	12,41	61,50

Tabla 14. Datos hidroquímicos de los pozos C-42-A hasta C-54-A (**Anexo 3**).

Seguidamente, el análisis químico de los pozos comprendidos entre **C-55-A** y **C-71-A** (**Fig. 37-D**) también evidencia un agrupamiento en el ámbito de aguas del tipo bicarbonatadas sódicas. No obstante, se registran excepciones en los pozos **C-59-A** y **C-65-A**, que se localizan en el campo de las aguas del tipo cloruradas sódicas.

Los valores presentados en la siguiente tabla, expresan el porcentaje de miliequivalentes por litro (meq/l) de los iones analizados:

Pozos/Fecha	Mg ⁺⁺ (%)	Ca ⁺⁺ (%)	K ⁺ (%)	Na ⁺ (%)	Cl ⁻ (%)	SO ₄ ⁻ (%)	HCO ₃ ⁻ (%)
55 (09/07))	5,92	5,37	0	88,71	31,42	10,07	57,91
56 (01/15)	4,01	7,29	0	88,70	31,34	21,96	45,12
58 (07/07)	2,41	3,65	0	93,94	32,08	10,85	56,55
58 (02-22)	18,54	25,62	0,39	55,45	46,29	2,04	51,04
59 (01/11)	8,14	19,49	0	72,37	46,37	9,90	43,73
60 (02/22)	11,71	15,79	0,83	71,67	30,41	7,20	60,09
62 (07/07)	4,18	10,11	0	85,71	21,40	8,19	69,57
62 (01/11)	4,95	7,42	0	87,63	24,17	15,95	59,88
62 (01/15)	17,13	19,03	0,39	63,45	27,27	4,32	66,94
63 (01/11)	3,72	5,45	0,58	90,26	38,55	15,61	45,84
63 (12/14)	9,34	9,05	0	81,61	26,43	16,10	56,10
65 (07/04)	0,90	2,39	0,45	96,25	45,77	13,04	41,19
65 (12/14)	1,20	1,45	0	97,34	58,17	14,64	27,13
71 (09/07)	1,99	3,62	0	94,34	30,59	14,40	54,22

Tabla 15. Datos hidroquímicos de los pozos C-55-A hasta C-71-A (**Anexo 4**).

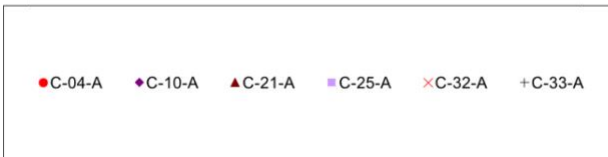
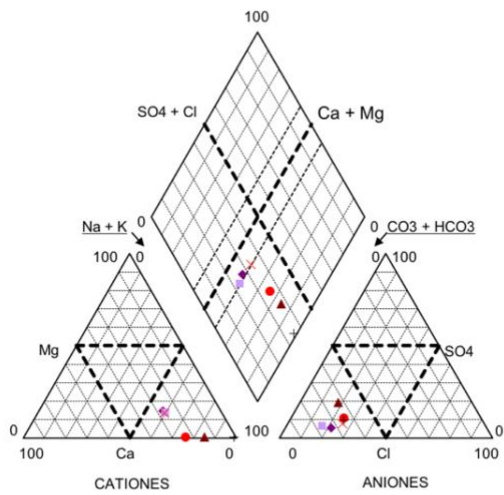
Por último, se observa que los pozos **C-72-A a C-91-A (Fig. 37-E)** muestran un agrupamiento en el campo de aguas del tipo bicarbonatadas sódicas. Los valores representan el % de meq/l de los iones analizados:

Pozo/Fecha	Mg ⁺⁺ (%)	Ca ⁺⁺ (%)	K ⁺ (%)	Na ⁺ (%)	Cl ⁻ (%)	SO ₄ ⁼ (%)	HCO ₃ ⁻ (%)
72 (01/15)	7,02	10,20	0	82,78	26,27	29,95	41,72
72 (01/15)	11,58	12,39	0,40	76,03	17,83	3,84	76,84
73 (09/07)	5,84	7,07	0	87,09	32,07	15,28	51,84
74 (01/22)	8,69	12,68	0,40	78,23	21,77	8,02	69,68
77 (09/07)	9,75	15,34	0	74,91	27,07	9,54	62,65
78 (12/14)	8,68	18,04	0,39	72,89	28,32	18,67	52,26
85 (11/14)	12,80	8,61	0	78,59	21,17	2,17	75,64
86 (01/11)	4,87	3,99	0,62	90,51	20,02	7,87	72,11
88 (12/14)	7,34	10,41	0,28	81,26	18,44	3,59	77,97
90 (05/22)	18,34	22,84	0,49	58,33	28,43	6,13	64,95
91 (01/22)	11,27	17,22	0,46	71,05	18,63	5,70	75,10

Tabla 16. Datos hidroquímicos de los pozos C-72-A hasta C-91-A (Anexo 5).

DIAGRAMA DE PIPER

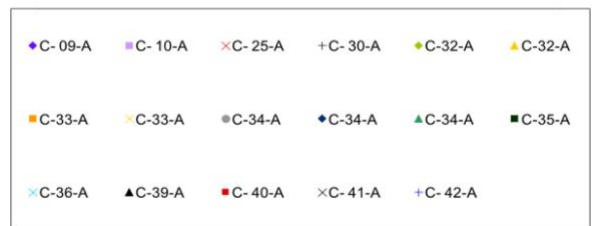
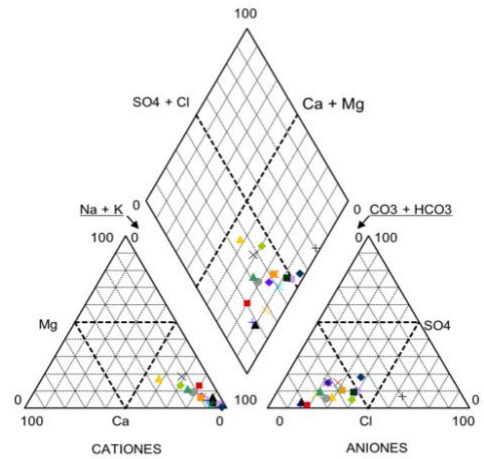
Manantiales Behr pozos C-04-A a C-33-A, década de 1940.



A)

DIAGRAMA DE PIPER

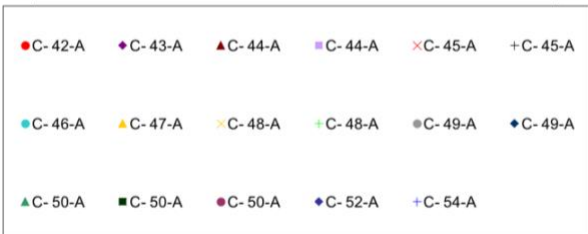
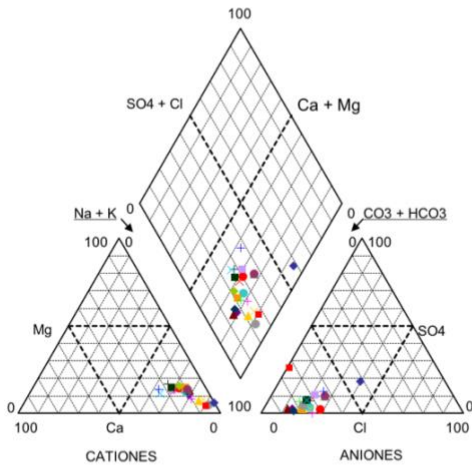
Manantiales Behr pozos C-09-A a C-42-A



B)

DIAGRAMA DE PIPER

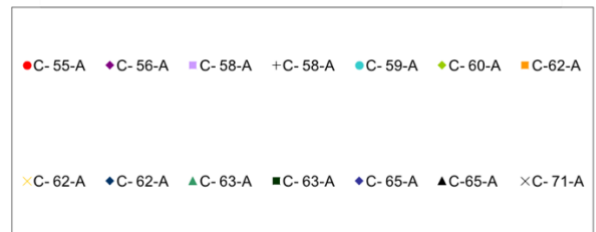
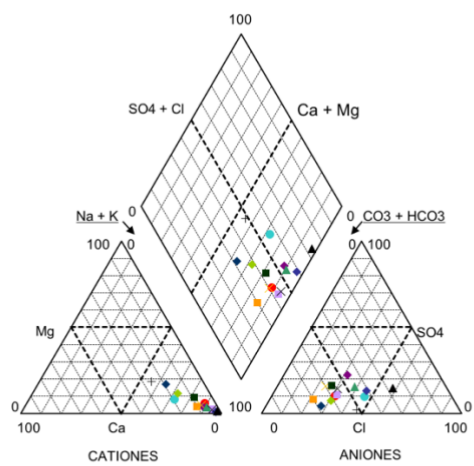
Manantiales Behr, pozos C-42-A a C-54-A



C)

DIAGRAMA DE PIPER

Manantiales Behr C-55-Aa C-71-A



D)

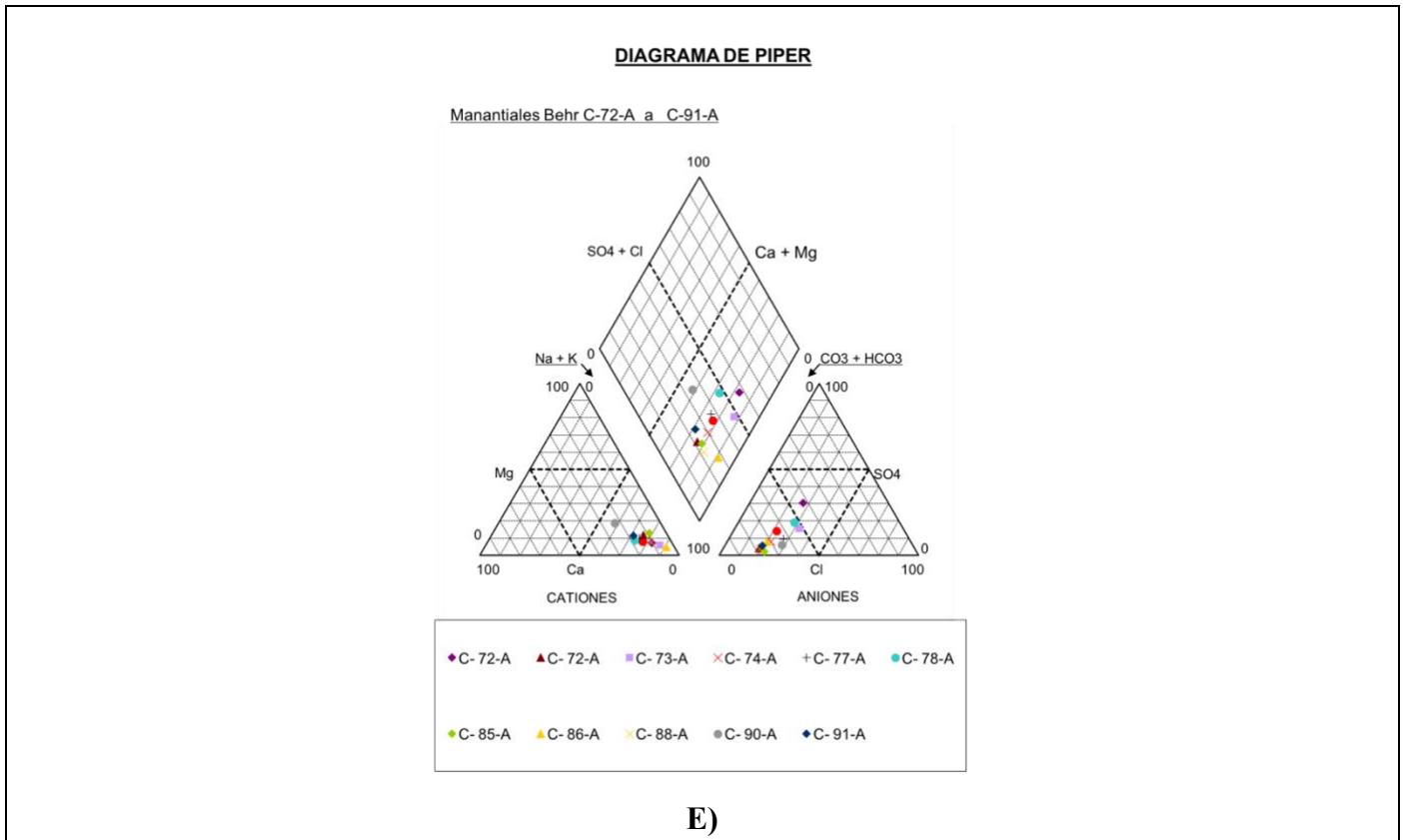


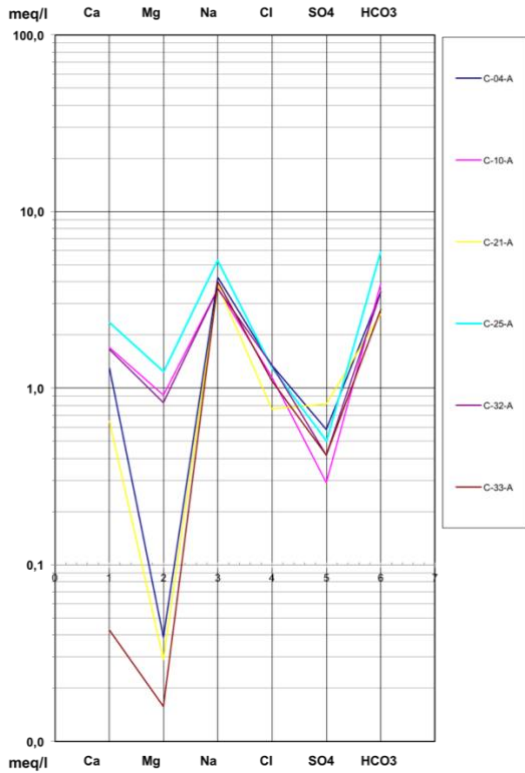
Figura 37. Clasificación hidroquímica, a partir de los diagramas de Piper, de los iones analizados.

Otra manera de representar gráficamente los datos es utilizando el diagrama lineal de Schoeller-Berkaloff, el cual consta de un eje de categorías (eje x) donde a cada vertical le corresponde un ión. Habitualmente, en las tres primeras categorías se hacen corresponder a los cationes, y a las restantes, a 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. Una ubicación superior de la línea dentro del gráfico indica una mayor concentración de la muestra y sus "picos" permiten identificar los iones dominantes.

Los siguientes diagramas de Schoeller-Berkaloff (**Fig. 38**), para los diferentes pozos, muestran una tendencia similar a los diagramas de Piper. En función a los iones analizados la composición química de las aguas es predominantemente bicarbonatada sódica. Los puntos más altos en cada diagrama representan a los iones HCO_3^- y Na^+ .

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

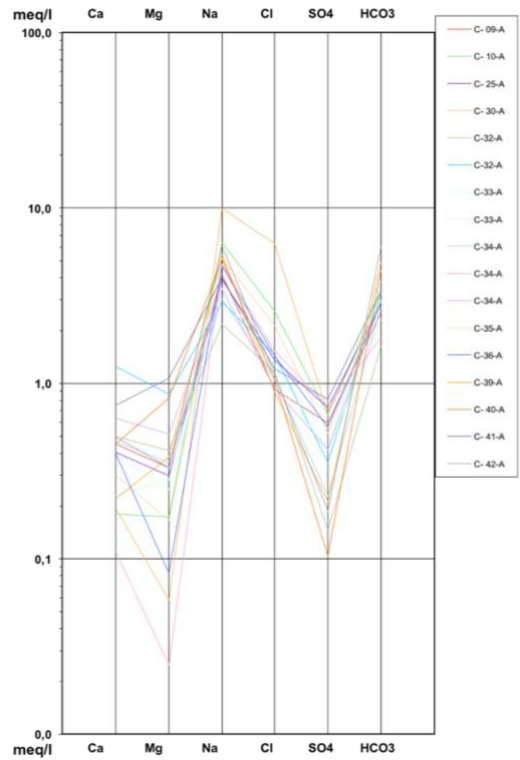
Manantiales Behr pozos C-04-A a C-33-A, década de 1940



A)

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

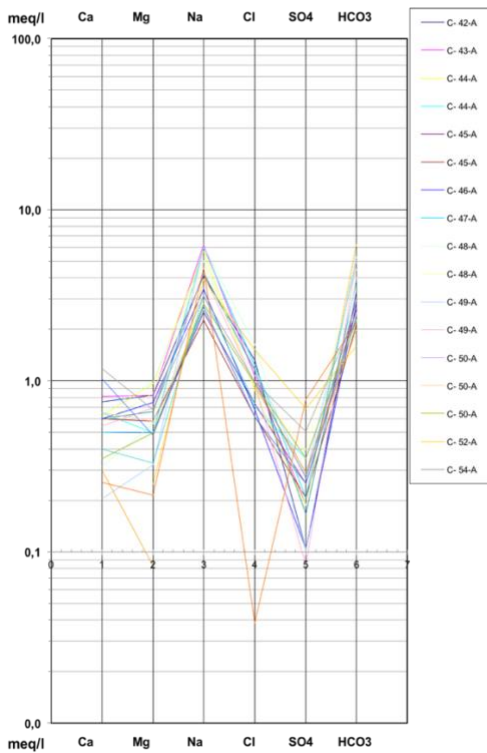
Manantiales Behr pozos C-09-A a C-42-A



B)

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

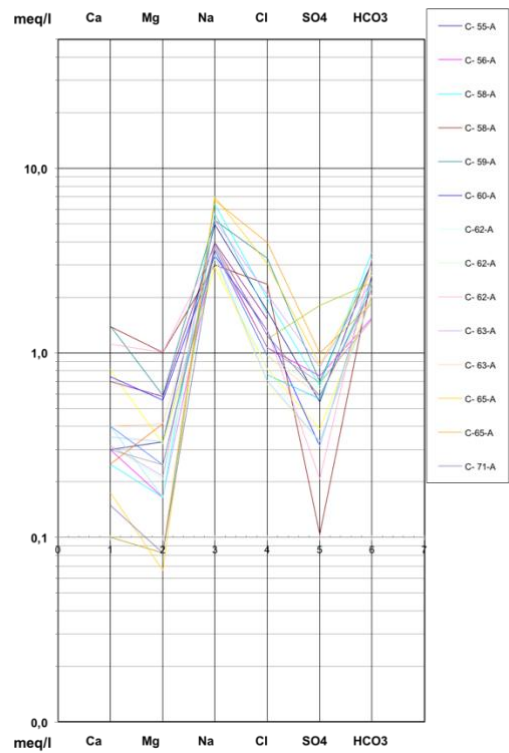
Manantiales Behr pozos C-42-A a C-54-A



C)

DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF

Manantiales Behr C-55-A a C-71-A



D)

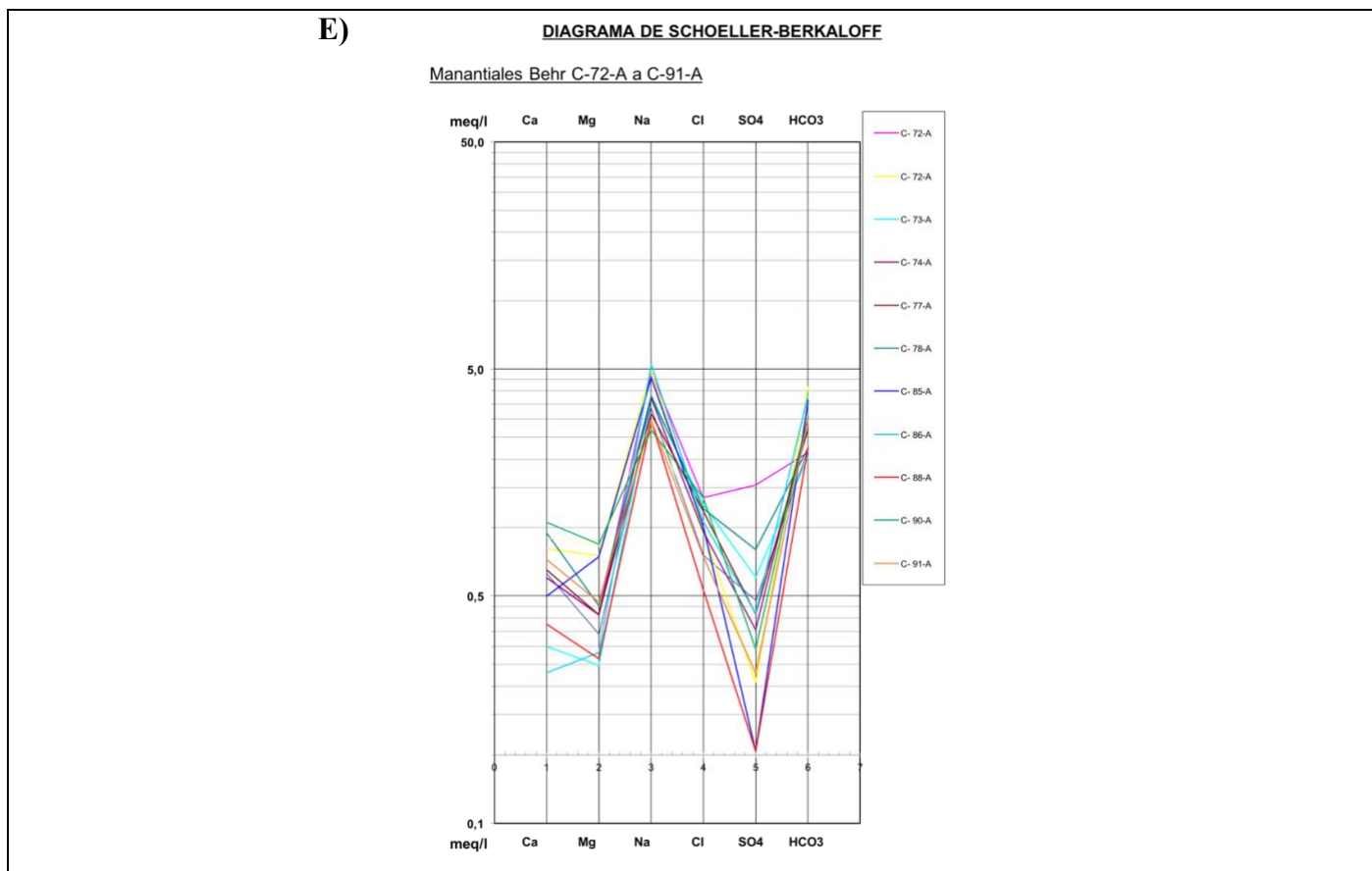


Figura 38. Diagramas de Schoeller-Berkaloff, utilizados para clasificación hidroquímica de los iones analizados. **A)** pozos C-04-A a C-33-A; **B)** pozos C-09-A a C-42-A; **C)** pozos C-42-A a C-54-A; **D)** pozos C-55-A a C-71-A; **E)** pozos C-72-A a C-91-A.

A continuación se muestran los diagramas para la **clasificación de las aguas para riego**, de acuerdo al RAS (relación de absorción del sodio) y conductividad eléctrica, definiendo así en el margen **Y**, peligrosidad de alcalinización, y en el margen **X** peligro de salinización.

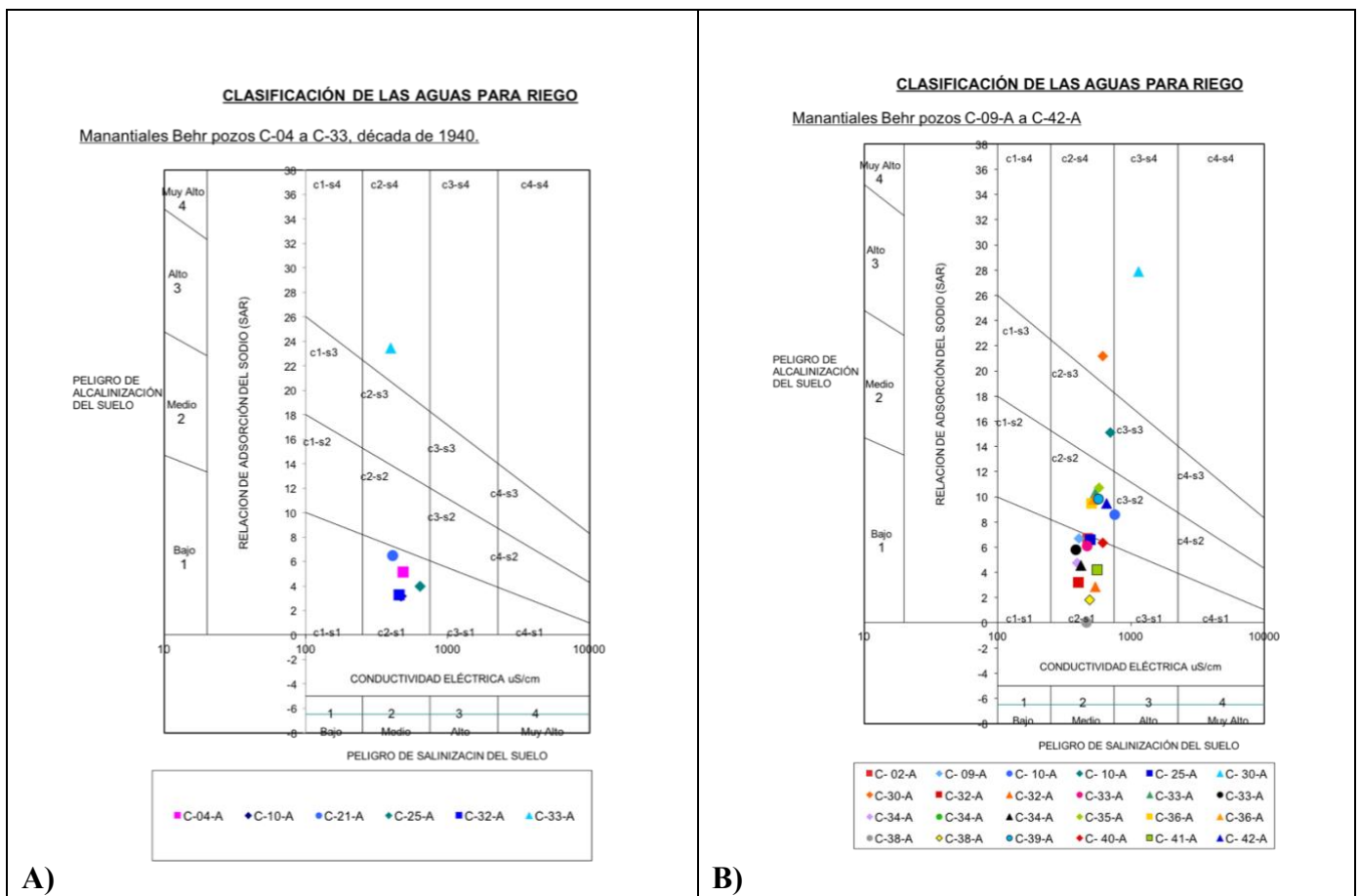
Los pozos **C-04-A a C-33-A** (**Fig. 39-A**), correspondientes a la década de 1940, presentan un grado de peligrosidad de alcalinización baja a excepción del pozo **C-33-A** con alto grado. Son aguas aceptables para riego excepto el pozo **C-33-A**. Sin embargo en muestras analizadas unas décadas después muestran valores aceptables. Con respecto al grado de peligrosidad de salinización es medio y se debería utilizar en suelos con buena permeabilidad y evitar cultivos con alta sensibilidad a las sales.

Las muestras de los pozos **C-09-A a C-42-A** (**Fig. 39-B**) presentan un grado de peligrosidad baja a media de alcalinización, excepto el pozo **C-30-A** con un alto grado de peligrosidad. Son aceptables para el riego pero con algunos recaudos en su uso sobre todo el pozo **C-30-A**, tales como un manejo técnico específico para mejorar el drenaje y la lixiviación. En cuanto al grado de peligrosidad de salinización es baja.

En el caso de los pozos **C-42-A a C-54-A** (**Fig. 39-C**) la peligrosidad de sus aguas es baja/media tanto para alcalinización como para salinización, su uso es apto para riego sin tener ningún recaudo.

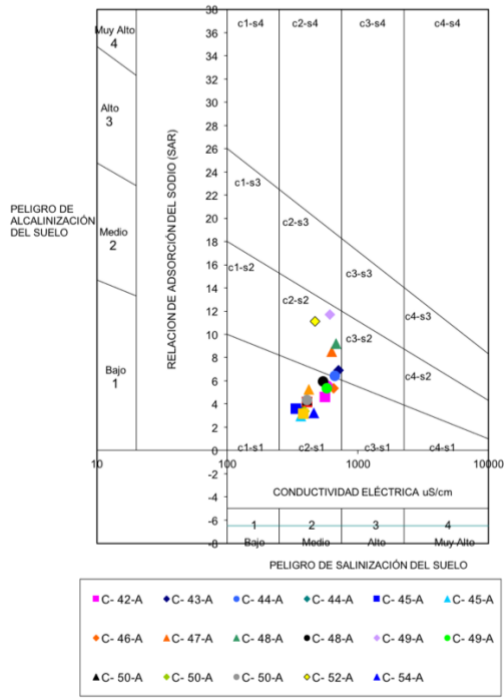
En los pozos **C-55-A a C-72-A (Fig. 39-D)** se observa un grado de alcalinización bajo a medio, a excepción de los pozos **C-61-A y C-65-A** con un alto grado. Estos últimos necesitan de técnicas específicas para mejorar el drenaje y la lixiviación. En cuanto al grado de peligrosidad de salinización es medio, su uso es eficiente en suelos de buena permeabilidad y se debería evitar cultivos con alta sensibilidad a las sales.

Por último, las muestras de los pozos **C-72-A a C-91-A (Fig. 39-E)** presentan baja peligrosidad de alcalinización del suelo dando como resultado una buena aptitud para riego de esta aguas. Finalmente, los pozos presentan una peligrosidad media de salinización pudiendo utilizarse el agua pero con algunos recaudos como una buena lixiviación y no una saturación del suelo.



CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS PARA RIEGO

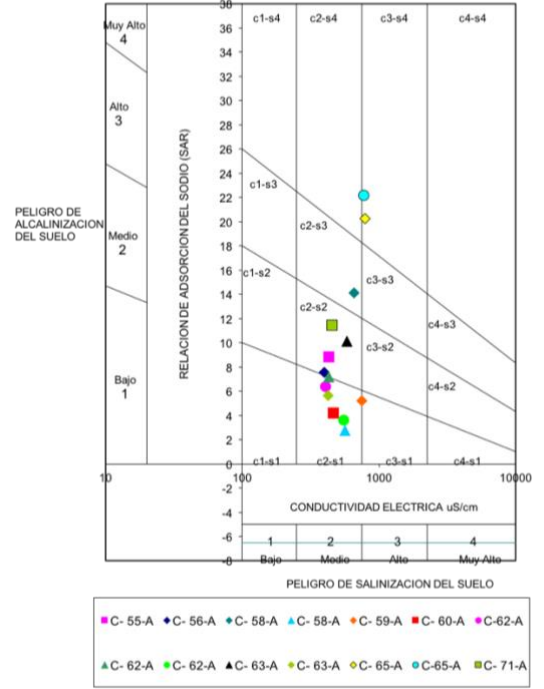
Manantiales Behr pozos C-42-A a C-54-A.



C)

CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO

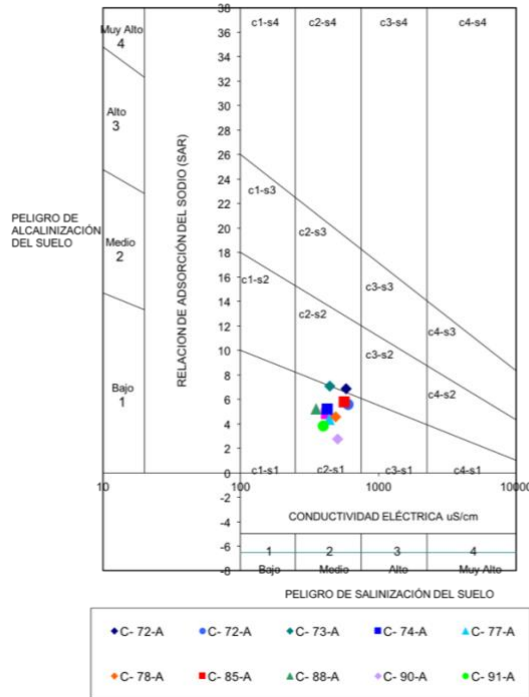
Manantiales Behr C-55-A a C-71-A



D)

CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS PARA RIEGO

Manantiales Behr C-72-A a C-91-A



E)

Figura 39. Clasificación RAS de los pozos C-04-A hasta C-91-A.

Por último, otros datos hidroquímicos a tener en cuenta son la dureza y la alcalinidad (TAC), las cuales permiten realizar una caracterización más completa de las aguas subterráneas en cuanto a si son aptas para consumo humano o uso agrícola.

La dureza hace referencia a la cantidad de sales de Ca^{+2} y Mg^{+2} disueltas en agua, las cuales se incorporan cuando atraviesan formaciones geológicas que contienen éstos elementos en sus minerales. De acuerdo al CAA (Código Alimentario Argentino), un valor apto para ser considerada agua potable no debería superar los 400 mg/l (CaCO_3).

El grado de dureza según la Organización Mundial de la Salud (OMS) clasifica la dureza del agua en mg/l CaCO_3 de la siguiente manera:

Dureza (mg/l CaCO_3)	Tipos de agua
0 – 60	Blanda
61 – 120	Moderadamente dura
121 - 180	Dura
> 180	Muy dura

Tabla 17. Clasificación de la dureza del agua en mg/l, según OMS.

En cuanto a los datos de dureza observados en la zona de Manantiales Behr se podrían clasificar a las aguas subterráneas como *aguas blandas a moderadamente duras*. Aunque se excluyen algunos pozos como por ejemplo C-32-A con 202 mg/l y C-90-A con 178 mg/l, ambos muestreados en 2022, en donde se observa una señal hacia *aguas más duras*.

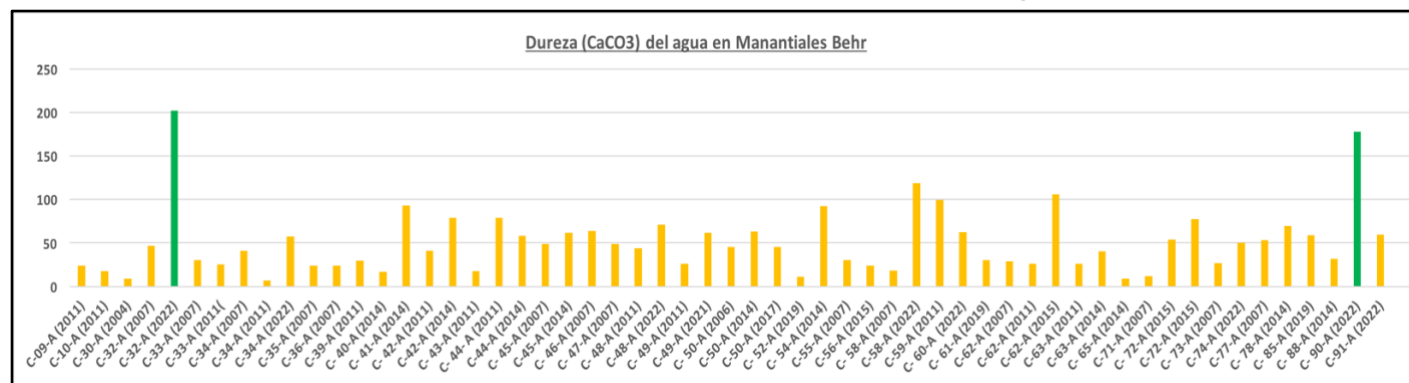


Figura 40. Datos de dureza, expresada en mg/l, observada en los pozos analizados.

Otro parámetro químico es la alcalinidad (TAC), la cual se define como la capacidad del agua para aceptar iones H^+ ; sin un cambio significativo del pH, es decir para neutralizar ácidos. Las formas de alcalinidad están asociadas a los sistemas carbonatos: HCO_3^- , $\text{CO}_3^{=}$, OH^- . Al realizar la valoración con fenolftaleína, en laboratorio, como indicador, si la solución es incolora es $\text{pH} < 8,3$ y por lo tanto no existen cantidades importante de $\text{CO}_3^{=}$; la alcalinidad TAC mide sólo HCO_3^- . Mientras que si la solución es roja el $\text{pH} > 8,3$ añadiendo ácido hasta que se produzca el viraje a incoloro, el consumo indica la alcalinidad TAC que mide el contenido en $\text{CO}_3^{=}$.

Como puede observarse en los **Anexos** y las **tablas 9-10-11-12**, el pH de las aguas analizadas se ubican por encima de 8,3 pudiendo alcanzar los 9; es decir que la alcalinidad está vinculada a presencia de carbonatos.

De acuerdo a los valores observables en la zona de Manantiales se considera como aptos para agua potable, ya que no superan los 400 mg/l permitidos por el CAA. Como se observa en la siguiente figura, gran parte de los pozos se ubican por debajo de los 250 mg/l y pocos por encima de éste valor.

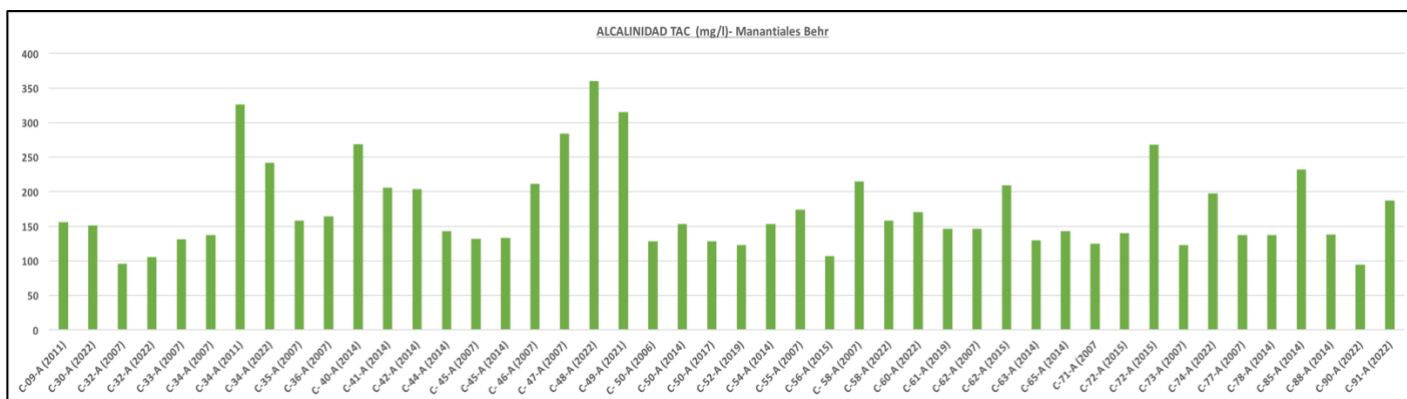


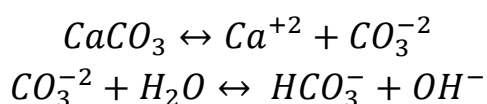
Figura 41. Datos de alcalinidad, expresada en mg/l, observada en los pozos analizados.

7.3.2 Mapas hidroquímicos

Los mapas hidroquímicos son representaciones bidimensionales que permiten visualizar el dominio espacial de los rangos de valores de algunas características físico-químicas del agua, en este caso se representan los aniones HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} . Sin embargo, a pesar de tratarse de mapas individuales, la concentración del ion HCO_3^- predomina con respecto a los otros iones analizados en la zona de trabajo. En los siguientes mapas se muestran las concentraciones de los aniones HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} del área de Manantiales Behr (MB).

En referencia a la concentración del ión HCO_3^- (**Fig. 42**) se encuentra distribuido arealmente aunque su alta concentración se ubica en el sector inferior izquierdo del mapa, alcanzando unos 380 mg/l; y en el sector NE su concentración es menor, llegando a un poco más de 90 mg/l. En aguas dulces el ion HCO_3^- puede variar entre 50 a 350 mg/l.

La concentración del ion HCO_3^- posiblemente esté vinculada a los depósitos de Rodados Patagónicos; los cuales presentan una matriz de cemento carbonático. Al entrar en contacto con el agua infiltrada ocurre una disolución del carbonato que al hidrolizarse con el agua forma HCO_3^- . De esta manera el ion bicarbonato (HCO_3^-) se forma mediante el proceso de hidrólisis y es cuando existe una reacción entre el mineral y el agua; es muy efectiva con sales de ácidos o bases débiles tales como la calcita (CO_3Ca), la hidrólisis de un ion de un ácido débil aumenta el pH, esto se observa en los datos químicos analizados (**Anexos**). En la siguiente fórmula se explica dicho proceso:



Por último, en la **Fig. 44**, se observa que la concentración de SO_4^- se ubica en el sector NE del mapa, con valores entre 50-70 mg/l; alcanzando 74 mg/l en el pozo C-72-A. El ion SO_4^- tiene como característica de ser moderadamente a muy solubles en aguas naturales, aunque es menos soluble que los cloruros. Las sales sulfatadas pueden variar entre 2 y 150 mg/l en aguas dulces. La concentración sulfato en este sector del área podría vincularse a un tiempo de tránsito lento y asociado a un posible contacto del agua con depósitos de ambiente marino o costero de las Fm. Chenque.

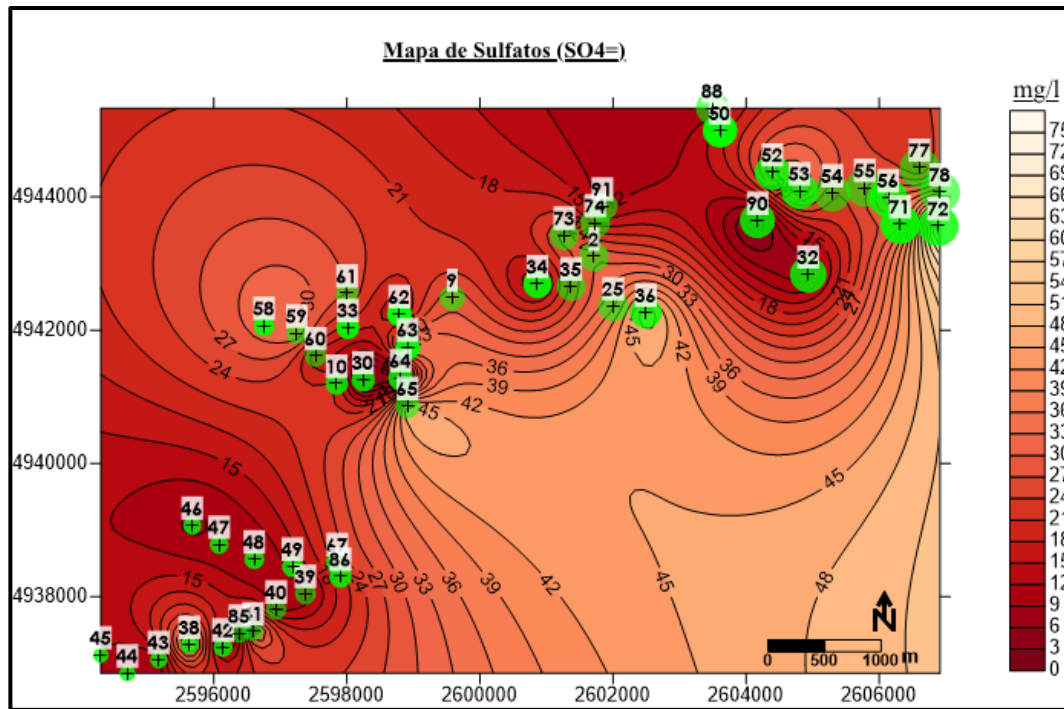


Figura 44. Distribución espacial de SO_4^- en MB.

La Tabla 18 presenta los datos de conductividad eléctrica obtenidos durante el relevamiento de campo en el área de Manantiales Behr, cuya ubicación se detalla en la **Sección 3, Figura 5**. Las mediciones registraron valores máximos de 708 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dada la proporcionalidad directa entre la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos (STD), la aceptabilidad de estos valores se fundamenta en las normativas del Código Alimentario Argentino (CAA, Ley 18.284). Por otra parte, se observa un incremento en los valores a medida que se avanza hacia el sur de la zona de estudio, lo cual es evidente en los mapas de STD elaborados para todos los pozos analizados, que serán presentados con mayor detalle a continuación.

Pozos	Fecha	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$
C-01-A	22-11-23	408
C-02-A	22-11-23	419
C-10-A	22-11-23	543
C-33-A	22-11-23	446
C-42-A	22-11-23	603
C-45-A	22-11-23	529
C-46-A	22-11-23	708
C-63-A	22-11-23	548
C-71-A	22-11-23	422
C-77-A	22-11-23	427
C-90-A	23-11-23	390
La Corona (galería)	23-11-23	382
Captación Elwing	23/11/23	394

Tabla 18. Datos de conductividad eléctrica observado durante el relevamiento de campo en el área de Manantiales Behr.

Seguidamente, se representan los *mapas de sólidos totales disueltos* (STD) correspondientes a diversos lapsos temporales estudiados, considerando la dirección de flujo regional ilustrado en la **Fig. 36**.

El mapa subsiguiente (**Fig. 45**) comprende datos correspondientes a los primeros análisis de agua realizados en el área de Manantiales Behr, abarcando el periodo 1945-1947. Tal como se evidencia, los sólidos totales disueltos (STD) presentan valores mínimos de 150 mg/l y máximos de 670 mg/l. En la representación gráfica de los STD se constata un incremento en las proximidades del pozo C-25-A, seguido de un descenso en dirección sureste, mientras que en el resto del mapa se registran valores mínimos. En la tabla que se presenta a continuación, se detallan los análisis fisicoquímicos correspondientes a cada uno de los pozos:

Análisis de pozos de agua de 1945 a 1947	
Pozos/Fecha	STD (mg/l)
C-04-A (16-05-1945)	310
C-10-A (17-04-1947)	300
C-21-A (17-11-1946)	263
C-25-A (17-11-1946)	411
C-32-A (17-11-1946)	290
C-33-A (1-01-1947)	255

Tabla 19. Parámetro hidroquímico de STD de los años 1945 a 1947.

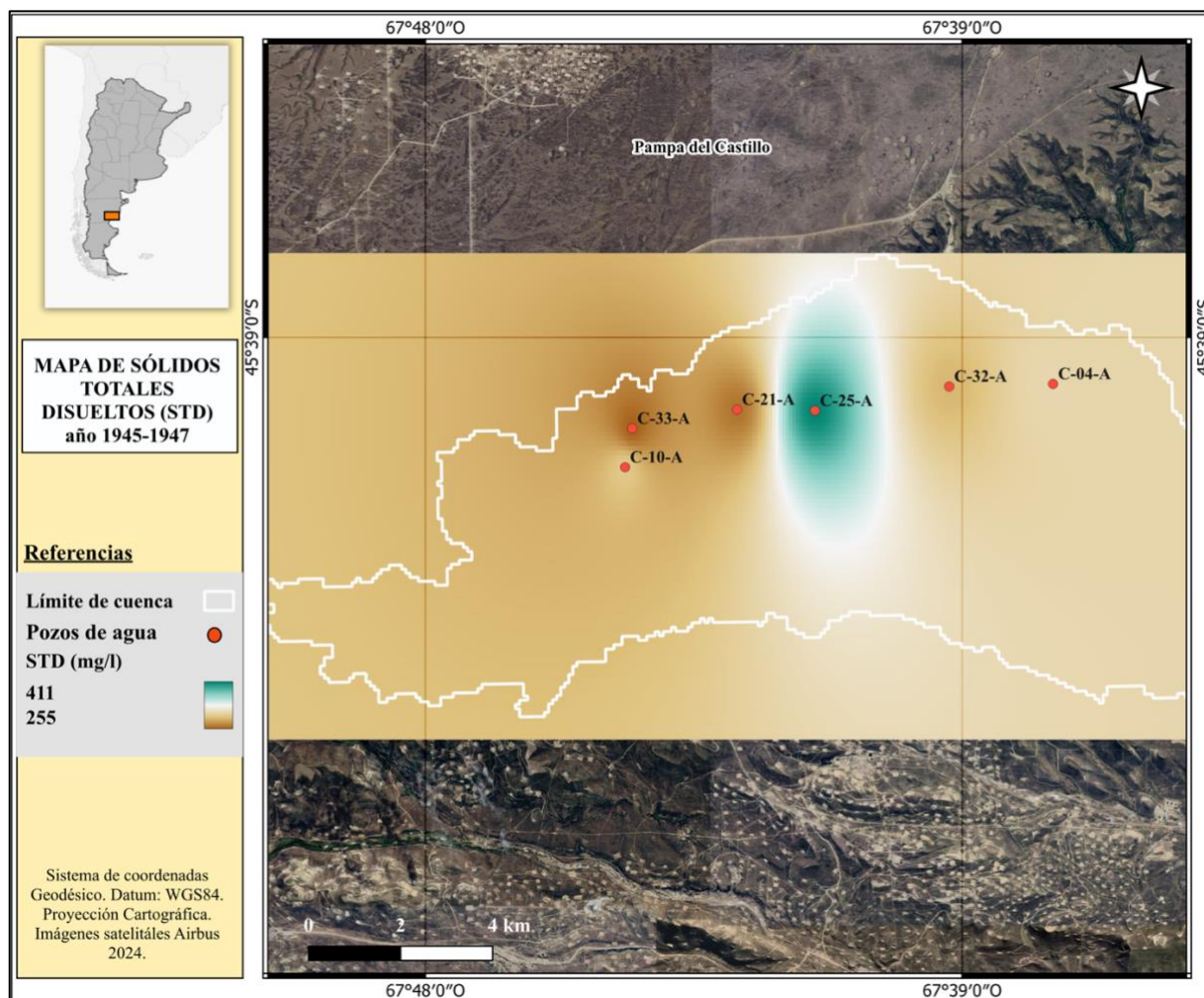


Figura 45. Mapa de sólidos totales disueltos del área de Manantiales Behr, se observa valores máximos en las proximidades del pozo C-25-A aunque disminuyen en sentido SE.

Los valores de sólidos totales disueltos (STD) correspondientes al periodo 2004-2007, representados en el mapa subsiguiente (**Fig. 46**), presentan una variación entre 305 mg/l y 613 mg/l. La representación gráfica de los STD evidencia un incremento en los pozos C-30-A, C-58-A, C-46-A y C-47-A, localizados en el sector sudoccidental del área, seguido de una disminución hacia el sureste; en el resto del área, los valores se sitúan por debajo de los 400 mg/l. En la tabla que se presenta a continuación, se detallan los datos correspondientes a los análisis fisicoquímicos de los pozos.

Análisis de pozos de agua de 2004 y 2007	
Pozos/Fecha	STD (mg/l)
C-10-A (1-12-07)	591
C-30-A (7-07-04)	613
C-32-A (1-12-07)	315
C-33-A (1-12-07)	371
C-34-A (13-09-07)	335
C-35-A (13-09-07)	490
C-36-A (13-09-07)	420

C-45-A (20-09-07)	305
C-46-A (20-09-07)	589
C-47-A (20-09-07)	580
C-50-A (20-09-07)	356
C-52-A (19-09-07)	370
C-58-A (20-09-07)	560
C-62-A (19-09-07)	378
C-71-A (13-09-07)	396
C-73-A (13-09-07)	382
C-77-A (13-09-07)	400

Tabla 20. Parámetro hidroquímico de STD de los años 2004 a 2007.

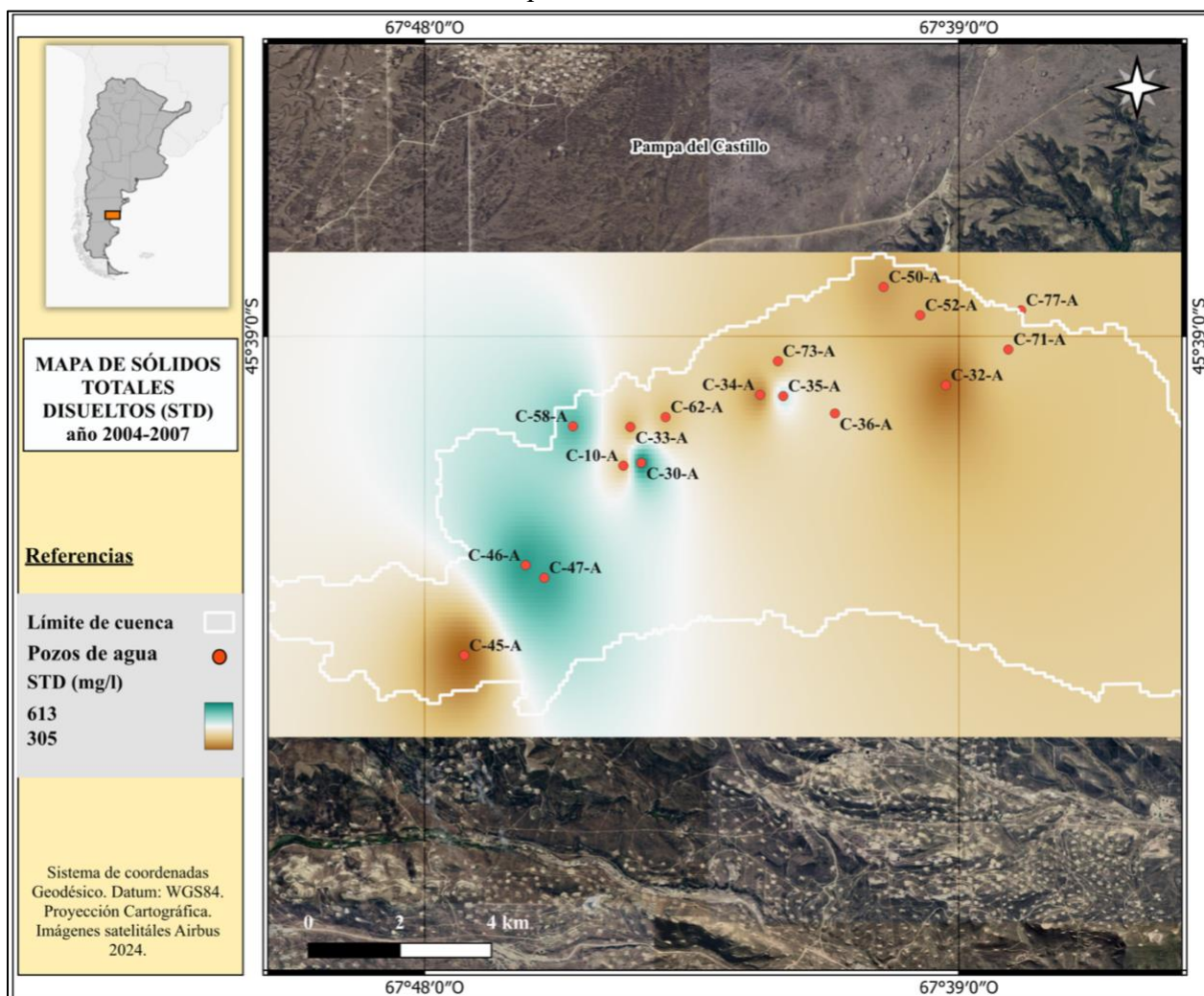


Figura 46. Mapa de sólidos totales disueltos de los años 2004 a 2007; se observan valores máximos en el sector SO y valores por debajo de 400 mg/l en el resto del área.

En el mapa de sólidos totales disueltos (STD) correspondiente al año 2011 (Fig. 47), los valores presentan una variación entre 288 mg/l y 419 mg/l. Asimismo, se constata que los valores máximos de STD se localizan en el sector sudoccidental, abarcando una porción significativa de dicha área, mientras que los valores mínimos se registran en el sector nororiental. En la tabla que se presenta a continuación, se detallan los análisis fisicoquímicos correspondientes a los pozos:

Análisis de pozos de agua año 2011	
Pozos	STD (mg/l)
C-09-A	412
C-10-A	389
C-25-A	314
C-34-A	308
C-39-A	347
C-42-A	404
C-43-A	412
C-44-A	381
C-48-A	397
C-49-A	350
C-59-A	419
C-62-A	290
C-63-A	393
C-86-A	365

Tabla 21. Parámetro hidroquímico de STD del año 2011.

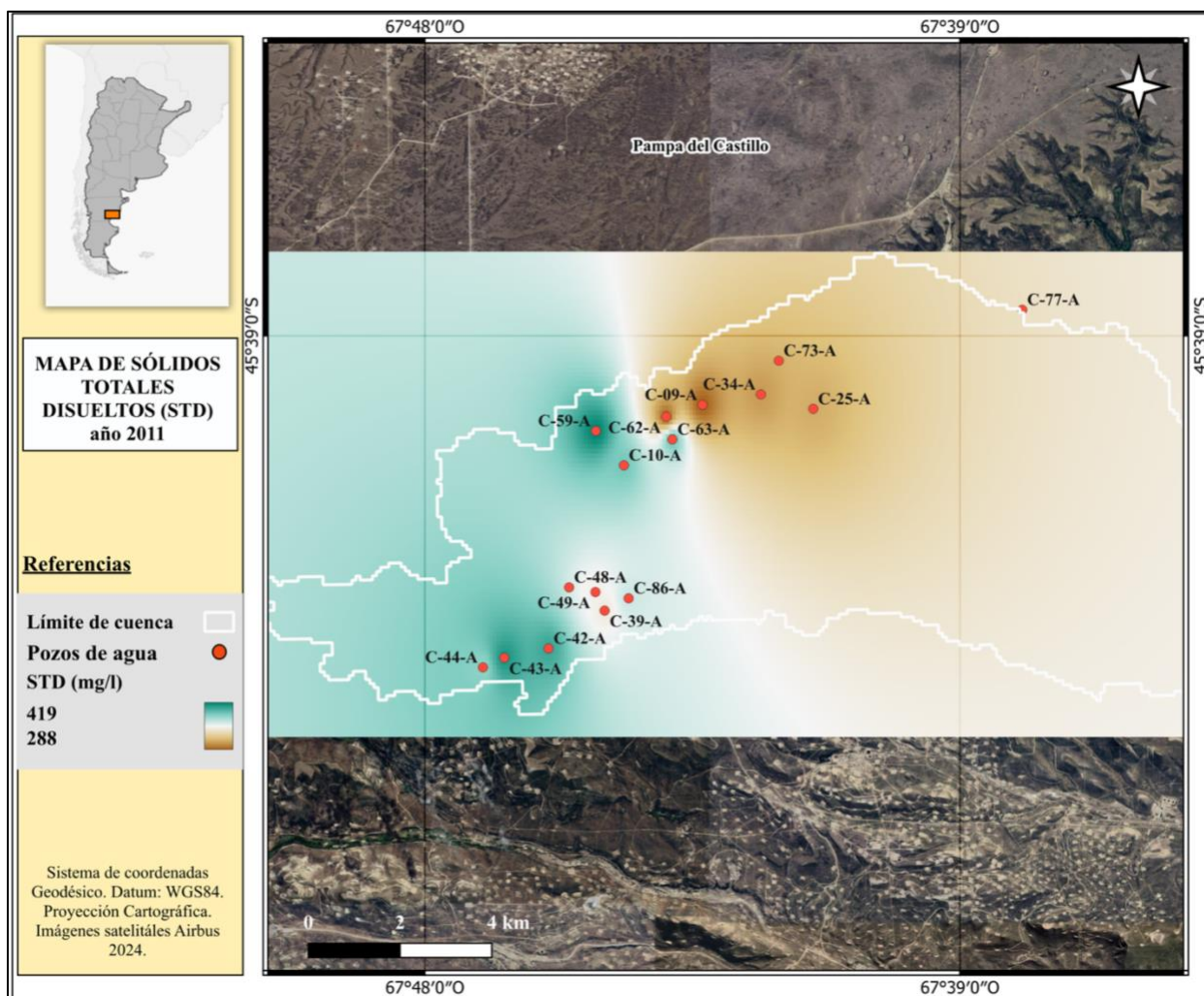


Figura 47. Mapa de sólidos totales disueltos del año 2011 donde se observa valores máximos en el sector SO del área.

El mapa de sólidos totales disueltos (STD) correspondiente al período 2014-2015 (**Fig. 48**) revela valores comprendidos entre 202 mg/l y 394 mg/l. Los valores en los sectores nororiental y sudoccidental se mantienen inferiores a 300 mg/l, aunque se constata un incremento de la salinidad en una porción significativa del área en dirección sur. En la tabla que se presenta a continuación, se detallan los análisis fisicoquímicos correspondientes a los pozos:

Análisis de pozos de agua del año 2014 y 2015	
Pozos/Fecha	STD (mg/l)
C-40-A (27-11-14)	394
C-41-A (27-11-14)	358
C-42-A (18-11-14)	359
C-44-A (27-11-14)	235
C-45-A (18-11-14)	235
C-50-A (26-2-14)	250
C-54-A (30-12-14)	284
C-56-A (12-01-15)	255
C-62-A (12-01-15)	372
C-63-A (16-12-14)	273
C-72-A (12-1-15)	392
C-78-A (30-12-14)	304
C-88-A (30-12-14)	202

Tabla 22. Parámetro hidroquímico de STD de los años 2014 y 2015.

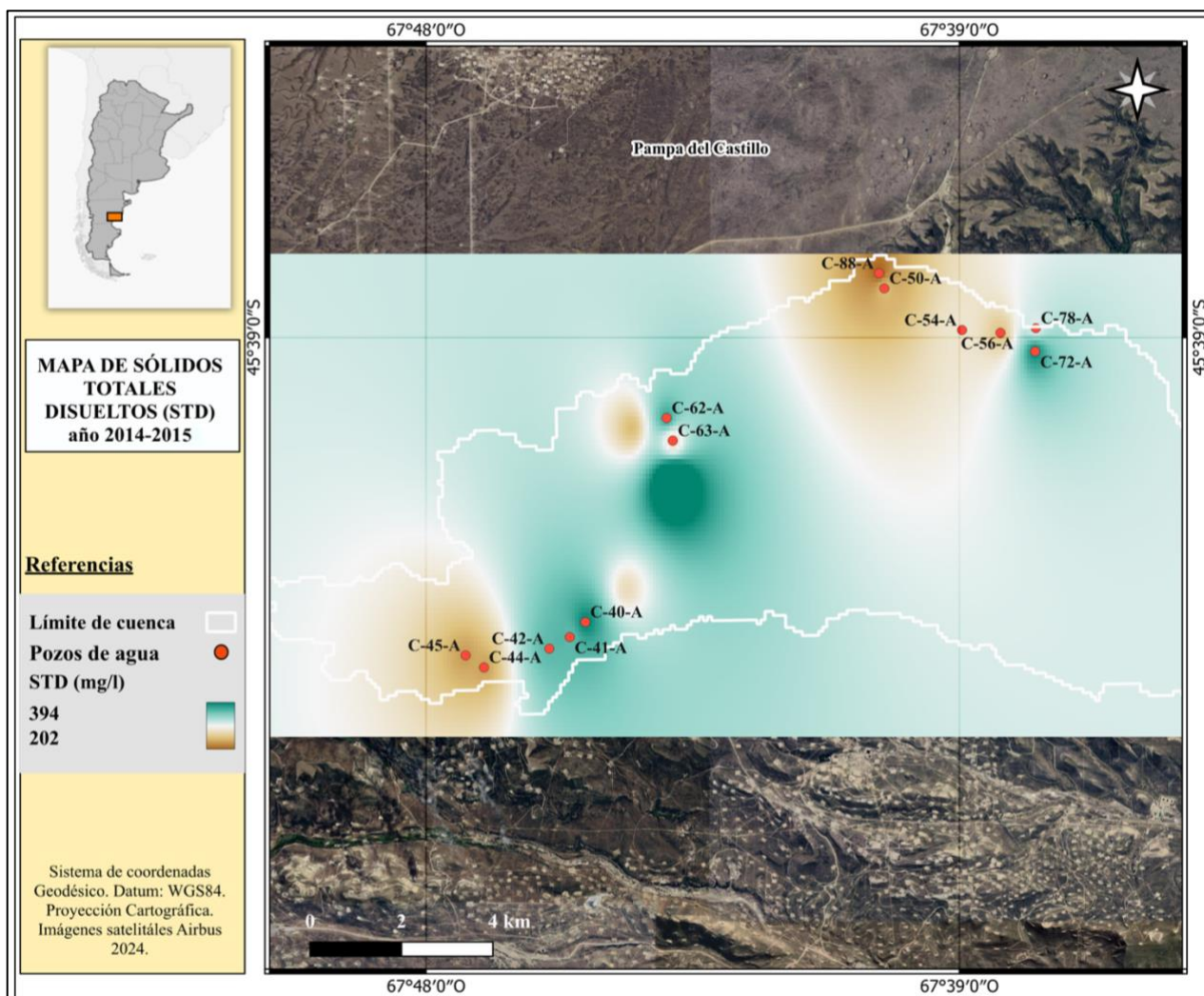


Figura 48. Mapa de sólidos totales disueltos del año 2014 y 2015, en el cual se observa un aumento significativo en gran parte del área.

Finalmente, el mapa de sólidos totales disueltos (STD) correspondiente al período 2021-2022 (**Fig. 49**) revela valores mínimos de 185 mg/l y máximos de 400 mg/l. Asimismo, se constata una disminución en la salinidad en dirección sur o sureste; adicionalmente, se observa que la porción central del mapa exhibe valores mínimos. En la tabla que se presenta a continuación, se detallan los análisis fisicoquímicos correspondientes a los pozos:

Análisis de los pozos de agua del año 2021 y 2022	
Pozos/Fecha	STD (mg/l)
C-32-A (30-05-22)	300
C-34-A (27-01-22)	200
C-48-A (7-03-22)	400
C-49-A (1-12-21)	363
C-58-A (18-02-22)	320
C-60-A (3-02-22)	224
C-74-A (27-01-22)	200
C-90-A (30-05-22)	350
C-91-A (27-01-22)	185

Tabla 23. Parámetro hidroquímico de STD del año 2021 y 2022.

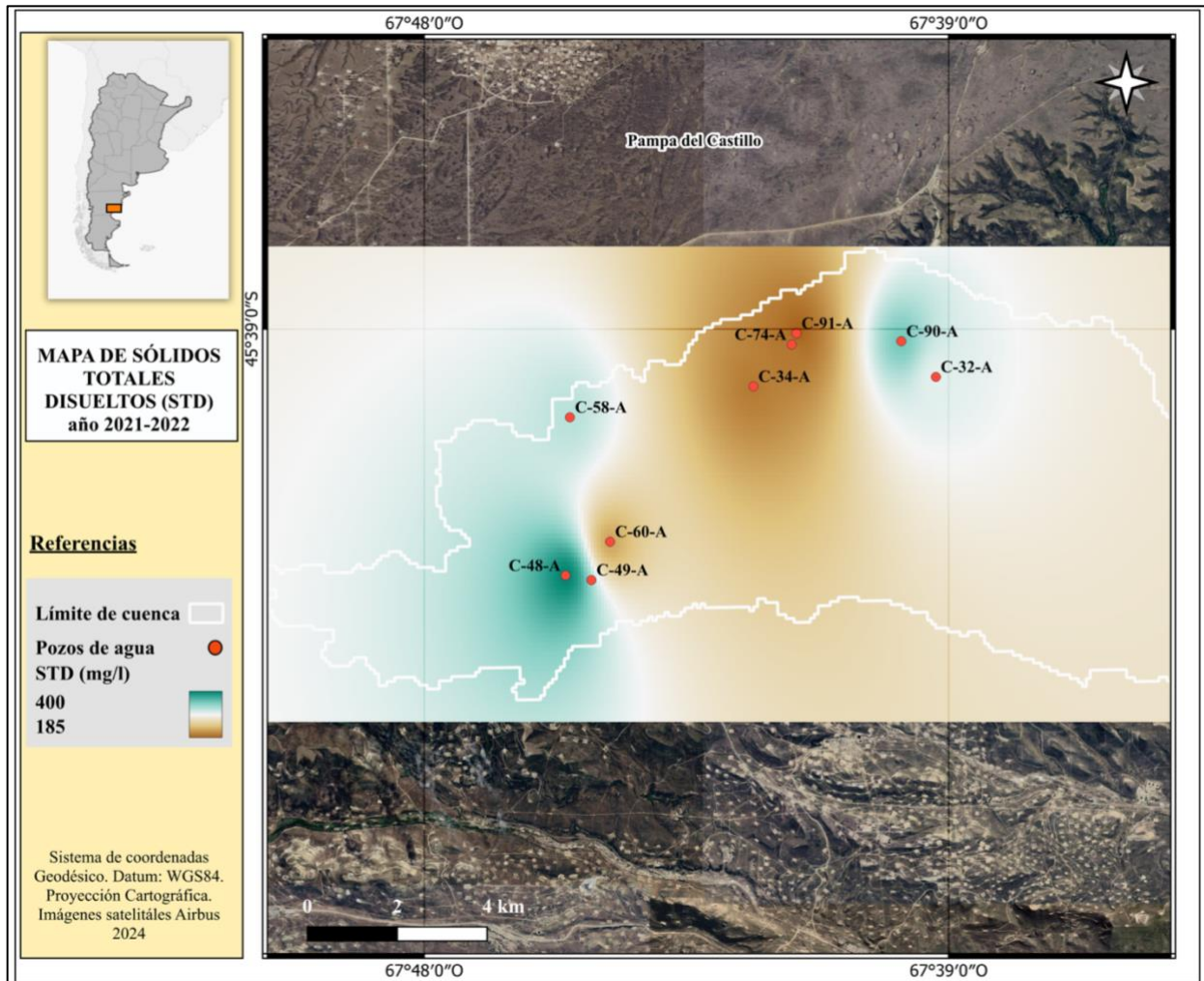


Figura 49. Mapa de sólidos totales disueltos para los años 2021 y 2022.

Los sólidos totales disueltos (STD) han experimentado variaciones a lo largo de los años, desde la década de 1940 hasta la actualidad. No obstante, la dirección del flujo regional se mantiene con una orientación constante, noroeste-sureste (NO-SE), tal como se ilustra en las representaciones equipotenciales del presente estudio; si bien pueden existir variaciones locales en el flujo. El incremento en la salinidad podría atribuirse a un extenso periodo de contacto con las rocas pertenecientes a las formaciones Santa Cruz y Chenque.

8. DISCUSIÓN

En el presente apartado se efectúa una comparación entre los resultados obtenidos en el presente trabajo final y aquellos derivados de investigaciones previas llevadas a cabo en la zona de Manantiales Behr.

Los niveles estáticos del Acuífero Multiunitario Superior en el área de Manantiales Behr exhiben, de manera general, una tendencia al descenso; solo algunos pozos analizados presentan un leve incremento en sus niveles piezométricos. La profundidad de los niveles estáticos varía desde algunas decenas de metros hasta un máximo de 120 metros (C-32-A, año 2019). Estas variaciones podrían deberse a: 1) Una recarga hídrica insignificante durante los últimos setenta años, lo cual resulta difícilmente verificable debido a la ausencia de estaciones meteorológicas en la Pampa del Castillo y la carencia de estudios de infiltración en la zona. 2) Una potencial sobreexplotación del Acuífero Multiunitario Superior en el área de Manantiales Behr, donde la tasa de extracción supera la capacidad de recarga. 3) Variaciones en la transmisividad (T) asociadas a las diferentes litologías presentes, en las cuales existirían zonas de menor permeabilidad que otras, y por consiguiente, una circulación hídrica reducida hacia pozos con menores columnas de agua; esto se debería principalmente a que el agua circula desde pozos con potenciales hidráulicos más elevados hacia aquellos con potenciales más bajos.

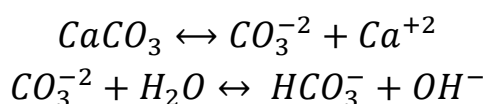
El mapa equipotencial correspondiente al año 2019 (**Fig. 36**) posibilita la determinación del movimiento del agua subterránea y, por ende, el establecimiento de su dirección de flujo subterráneo. En el presente estudio se constata que la tendencia del flujo subterráneo se orienta en sentido noroeste-sureste (NO-SE), en concordancia con lo sugerido por autores [Salvioli et al. \(1987\)](#) y [Auge \(2007\)](#). A su vez, se observa que los niveles estáticos se sitúan entre los 16 metros bajo boca de pozo (mbbp) y los 100 metros bajo boca de pozo (mbbp). Adicionalmente, se advierte que las líneas equipotenciales presentan un escaso espaciamiento en el sector próximo a la Pampa del Castillo y una mayor separación en dirección sureste; dicha distribución se explica debido a que la permeabilidad se encuentra directamente vinculada a los potenciales hidráulicos (columnas de agua) del acuífero, y donde las velocidades del flujo tienden a disminuir en zonas de baja permeabilidad, generando un mayor distanciamiento de las líneas equipotenciales. Este comportamiento, observado en el sector sureste del área, podría relacionarse con la baja transmisividad identificada en los pozos estudiados por [Salvioli et al. \(1987\)](#) y [Auge \(2007\)](#).

Por otra parte, los niveles estáticos del acuífero en la zona de Manantiales Behr se localizarían en niveles correspondientes a la Formación Santa Cruz y la Formación Chenque.

La caracterización química de las aguas subterráneas, mediante los diagramas de Piper y Schoeller-Berkaloff, posibilita la determinación del tipo de agua subterránea presente en el área de estudio. Las aguas subterráneas del Acuífero Multiunitario Superior, en la zona de Manantiales Behr, han sido clasificadas predominantemente como bicarbonatadas sódicas, donde los iones bicarbonato (HCO_3^-) y sodio (Na^+) son los mayoritarios; se registran algunas excepciones minoritarias de aguas cloruradas sódicas para los pozos C-30-A, C-59-A y C-65-A. Si se evidencia una anomalía en los pozos C-30-A y C-65-A, dado que en análisis precedentes el agua presentaba una composición bicarbonatada sódica, esta observación podría corroborarse mediante la identificación de la familia hidroquímica correspondiente en futuros muestreos. El posible cambio en la composición química del agua podría vincularse con cambios temporales en la profundidad de captación del agua en los pozos debido a cambios en la bomba, error en la cadena de custodia, entre otros.

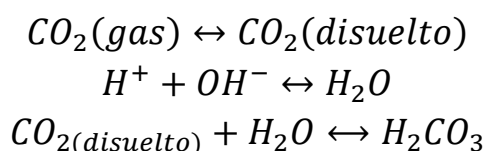
Otro aspecto relevante a destacar en el presente estudio es la ausencia de variaciones químicas significativas desde el año 1945 hasta la actualidad, con la salvedad de algunas excepciones previamente mencionadas.

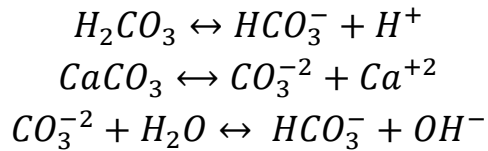
El dominio del ion HCO_3^- en el acuífero del área de Manantiales Behr, viene dado principalmente por la interacción del agua con los carbonatos presentes en los Rodados Patagónicos; los cuales tienen una gran distribución areal en la zona. Se debe principalmente al proceso de hidrólisis, donde los iones presentes en el agua H^+ y OH^- actúan como reactivos químicos; es decir que los carbonatos son hidrolizados formando HCO_3^- . Dicho proceso se explica en la siguiente fórmula:



La presencia de ácido carbónico (H_2CO_3) disuelto favorece la hidrólisis de los carbonatos y también genera un aumento en el pH. Esto último queda evidenciado en los valores de pH de las muestras analizadas en el presente trabajo, el cual indica junto a la alcalinidad (TAC), la presencia de CaCO_3 (ver tablas 9-10-11-12).

A su vez la mayor concentración del ión bicarbonato en el sector SO del área de estudio (**Fig. 42**) también se deba a una reacción entre el CO_2 atmosférico y el agua subterránea, sumado al proceso de hidrólisis de los carbonatos. Como puede observarse en la siguiente fórmula, el CO_2 disuelto genera protones por la disociación del ácido carbónico, éstos protones van a reaccionar con los hidroxilos (OH^-) provenientes de la hidrólisis del carbonato de tal forma, que al combinarse para formar agua, se va a favorecer en ambos casos la formación de HCO_3^- :





De esta manera la disolución de los carbonatos, dando hidroxilos, y la del CO₂, dando protones, contribuyen al aumento de la solubilidad del carbonato de calcio; siendo así una vez que el agua llega a la superficie se produce la evaporación de CO₂ y la precipitación de CaCO₃.

Los mapas de sólidos totales disueltos (STD) han evidenciado variaciones en la salinidad de las aguas desde el año 1945 hasta la actualidad. El incremento de la salinidad podría atribuirse a cambios en la permeabilidad o transmisividad, lo que permitiría extensos períodos de contacto con las rocas de las formaciones, es decir, el agua encontraría áreas hidráulicamente desconectadas, generando la concentración de sales. Dicha afirmación, se podría atribuir a los datos de T (transmisividad) y S (coeficiente de almacenamiento) obtenidos por los ensayos de bombeos realizados por [Salvioli et al. \(1987\)](#) y [Auge \(2007\)](#). Ambos autores registran bajas transmisividades para los pozos C-03-A y C-90-A, coincidentes con algunos de los sectores de elevados valores de STD observados en diversos períodos del presente trabajo final. Sin embargo, [Auge \(2007\)](#) obtuvo valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento coincidentes con las características de acuífero libre en el pozo C-86-A, lo cual coincide con una disminución en la salinidad observada en el sector suroeste del área de estudio a excepción del año 2004-2007.

Por último, en base a la clasificación del agua de riego (**Fig. 39**) mayormente se caracteriza por presentar bajos a moderados niveles de peligrosidad de alcalinización siendo así aptos para su uso, tanto como de riego como para consumo ganadero.

9. CONCLUSIONES

- De acuerdo a la composición química analizada del Acuífero Multiunitario Superior en el área de Manantiales Behr, se concluye que no se han registrado variaciones químicas significativas durante los últimos 70 años, caracterizándose mayoritariamente por ser aguas del tipo bicarbonatadas sódicas. Sin embargo, se identificaron excepciones minoritarias donde se observa aguas cloruradas sódicas.
- El predominio de iones bicarbonatos en el agua se debe al proceso de hidrólisis en los carbonatos presentes en la Formación Rodados Patagónicos y también a la presencia de CO₂ disuelto. Ambos eventos generan grandes concentraciones del HCO₃⁻ en el agua subterránea de la zona de estudio.
- La ubicación de los niveles freáticos y el predominio de aguas bicarbonatadas sódicas junto con los parámetros hidroquímicos analizados, permiten concluir que el Acuífero Multiunitario Superior en el área de Manantiales Behr se ubica en niveles de la Formación Santa Cruz y Formación Chenque.
- Con respecto a los niveles estáticos observados en el Acuífero Multiunitario Superior en Manantiales Behr, se advierten descensos desde sus inicios hasta la actualidad posiblemente debido a sobreexplotación, una escasa recarga en el sistema o bien a tiempos de tránsito lentos. Trabajos futuros deberían realizar estudios hidrodinámicos y la realización de ensayos de bombeos e infiltración de agua en el área de Manantiales Behr.
- Conforme a lo observado en los mapas de sólidos totales disueltos existe una gran concentración de sales hacia el sector SO o NE del área de estudio, de forma preliminar se atribuye a cambios en la transmisividad a lo largo del acuífero. Asimismo, la dirección de flujo ilustrada en el mapa equipotencial correspondiente al año 2019 mantiene una orientación noroeste-sureste (NO-SE), con variaciones locales.
- Por último, el reservorio de agua de la zona de Manantiales Behr, aun siendo explotado los últimos 70 años, muestra valores óptimos para consumo humano, agrícola y ganadero, debido a que los resultados de los análisis químicos se encuentra dentro de los parámetros establecidos por el Código Alimentario Argentino (CAA).

10. BIBLIOGRAFÍA

- Ameghino, F.** 1889. Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. Actas de la Academia Nacional de Córdoba 6: 1-1028. Córdoba.
- Ameghino, F.** 1906. Les formations sedimentaires du Cratacé supérieur et du Tertiaire de Patagonie. Anales Mus. Nac. Hist, 8:1-568.
- Andreis, R.R., Mazzoni, M.M., y Spalletti, L.A.** 1975. Estudio estratigráfico y paleoambiental de las sedimentitas terciarias entre Pico Salamanca y Bahía Bustamante, provincia del Chubut, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 30 (1): 85-103. Buenos Aires.
- Andreis, R.R.** 1977. Geología del área de Cañadón Hondo, Departamento Escalante, provincia del Chubut, República Argentina. Rev. Mus. La Plata, 4 (Geol.) 77-102.
- Auge, M.** 2007. Estudio hidrogeológico de acuíferos superior, almacenamiento subterráneo de gas natural Diadema. Manantiales Behr, Comodoro Rivadavia, Chubut. Inédito.
- Barreda, V.** 1989. Palinología estratigráfica de las sedimentitas terciarias del «Patagoniano» en los alrededores de Comodoro Rivadavia, Chubut y Santa Cruz. Universidad de Buenos Aires, Tesis doctoral inédita: 1-362. Buenos Aires.
- Barreda, V.D., Palamarczuk, S.** 2000a. Palinoestratigrafía del Oligoceno tardío-Mioceno, en el área sur del Golfo San Jorge, provincia de Santa Cruz, Argentina. Ameghiniana 37: 103-117.
- Belloso, E.S.** 1987. Litoestratigrafía y Sedimentación del Patagoniano en la Cuenca San Jorge, Terciario del Chubut y Santa Cruz. Universidad de Buenos Aires, tesis doctoral. 252 pp. Inédita.
- Belloso, E.S.** 1990 a. Formación Chenque: registro de la transgresión patagoniana en la Cuenca San Jorge. 11º Congreso de Geología Argentina, 2: 57-60.
- Belloso, E.S., Barreda, V.D.** 1993. Secuencias y palinología del Terciario medio en la Cuenca San Jorge, registro de oscilaciones eustáticas en Patagonia. 12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, 1:78-86.
- Belloso, E.S.** 1995. Paleogeografía y cambios ambientales de la Patagonia Central durante el Terciario Medio. Boletín de Informaciones Petroleras 44, 50-83. Buenos Aires.
- Belloso, E.S., Jalfin, G.** 1996. Sedimentación en la planicie costera Santacrucense-Superpatagoniana (Mioceno Inferior-Medio, Cuenca San Jorge). 6th Reunión Argentina de Sedimentología, pp. 181-186. Bahía Blanca.
- Belloso, E.S. y Sciutto, J. C.** 2002. Laguna Palacios Formation (San Jorge Basin, Argentina): an Upper Cretaceous loess-paleosol sequence from Central Patagonia. Resúmenes de la IX Reunión Argentina de Sedimentología, Córdoba. p.15.
- Bouza, P.J., Del Valle, H.** 2014. Capítulo 8: Propiedades y genesis de las acumulaciones de carbonatos en Aridisoles del centro-oeste del Chubut, in Imbellone, P. (Ed), suelos con acumulaciones calcáreas y yesíficadas. Asociación Argentina de Ciencia del Suelo. Buenos Aires-Argentina, pp. 199-219.

- Camacho, H.H., Fernández, J.A.** 1956. The Patagonian transgression on the Atlantic coast between Comodoro Rivadavia and the lower course of the Chubut River.
- Casal, G.A., Allard, J.O., Foix, N.** 2015. Análisis estratigráfico y paleontológico del Cretácico superior en la cuenca del Golfo San Jorge: nueva unidad litoestratigráfica para el Grupo Chubut. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* 72 (1), 77–95.
- Castrillo, Grizinik, E.M. y Amoroso, A.** 1984. “Contribución al conocimiento hidrogeológico de los alrededores de Comodoro Rivadavia, Chubut”. IX Congreso Geológico Argentino. Actas VI. 393-406. San Carlos de Bariloche. Río Negro.
- Cátedra de Hidrogeología.** 1982. Geohidrología de la región Sureste de provincia del Chubut. Cátedra de Hidrogeología UNPSJB-DGRH Inf. Inédito, 46 p. Comodoro Rivadavia.
- Césari, O., Simeoni, A. y Berós, C.** 1986. Geomorfología del Sur del Chubut y Norte de Santa Cruz. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. *Revista Universidad Abierta*, 1: 18-36.
- Césari, O. y Simeoni, A.** 1994. Planicies fluvioglaciales terrazadas y bajos eólicos de Patagonia Central, Argentina. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie. Teil*, 1993 (1/2): 155-163. Stuttgart.
- Coronato, A., Coronato, F., Vásquez, M., Mazzoni, E.** 2017. Patagonia: una síntesis de su Geografía Física. 1ª ed. Rio Gallegos; Universidad Nacional Patagonia Austral.
- Cuitiño, J.I., Scasso, R., Ventura Santos, R., Mancini, L.** 2015. Sr ages for the Chenque Formation in the Comodoro Rivadavia region (Golfo San Jorge basin, Argentina): stratigraphic implications. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 22 (1), 3-12.
- Custodio, E. y Llamas, M.** 1966. Hidrología Subterránea. T I y II. Omega. España.
- Darwin, C.** 1846. Geological observations on South America. Being the third part of the geology of the voyage of the Beagle, under the command of Capt. Fitzroy, R.N. during the years 1832 to 1836. Smith Elder and Co. London., 280 p.
- Figari, E., Stelkov, E.E, Laffitte, G., Cid de la Paz, M., Courtade, S., Celaya, J., Vottero, A., Lafourcade, P., Martínez, R., Villar, H.** 1999. Los sistemas petroleros de la Cuenca del Golfo San Jorge: Síntesis estructural, estratigráfica y geoquímica. 4º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, 197-237. Buenos Aires.
- Feruglio, E.** 1938. Relaciones estratigráficas entre el Patagoniano y el Santacruciano en la Patagonia Austral. *Revista Museo La Plata*, (N.S.) 1 Sec. Geol.:129-159.
- Feruglio, E.** 1949. Descripción geológica de la Patagonia. Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Vol. 2:1-349. Buenos Aires.
- Fidalgo, F. y Riggi, J.C.** 1970. Consideraciones geomórficas y sedimentológicas sobre los rodados Patagónicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. XIV, 4. pp. 430 -443. Buenos Aires.
- Foix, N., Allard, J., Ferreira, M.L., Atencio, M.** 2020. Spatio-temporal variations in the Mesozoic sedimentary record, Golfo San Jorge Basin (Patagonia, Argentina): Andean vs cratonic sources. *Revista Elsevier* 98 (2020) 102464.

- Gelfo, J.N. y Pascual, R.** 2001. *Peligrotherium tropicalis* (Mammalia, Dryolestida) from the early Paleocene of Patagonia, a survival from a Mesozoic Gondwanan radiation. *Geodiversitas* 23: 369-379.
- Genise, J.F., Sciutto, J.C., Laza, J.H., Gonzalez, M.G., Bellosi, E.S.** 2002. Fossil bee nests, coleopteral pupal chambers and tuffaceous paleosols from the Late Cretaceous Laguna Palacios Formation, Central Patagonia (Argentina). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 177(3-4):215-235.
- Guerra, G., Aguil, B., Sánchez, F., González, D., Torres, F. y Olivera, M.** 2022. Aporte de tomografías de resistividad eléctrica (ter) en la determinación de niveles estáticos y dinámicos de pozos productores de agua en Manantiales Behr, provincia de Chubut, Argentina. Inédito.
- Grizinik, M. y Amoroso, A.** 1988. "Groundwater Recharge and Subsurface Flow at the Comodoro Rivadavia area, Chubut Province – Argentina. Isotopic and Hydrochemical Study". Workshop on estimation of natural groundwater recharge. *Actas* 377-393. Antalya – Turquía.
- Grizinik, M., Correia, P. y Farías, L.** 2021. Análisis y Evaluación de alternativas para un aprovechamiento integral de los acuíferos en las áreas, El Trébol y Manantiales Behr, a fin de incrementar el caudal de abastecimiento a la ciudad de Comodoro Rivadavia, Chubut. *Inf. Inédita*, 75 p.
- Grizinik, M. y Correia, P.** 2022. Análisis hidrogeológico del Acuífero Multiunitario Superior y su relación con la explotación intensiva de agua, Chubut. Argentina, *Revista Argentina de Hidrogeología*, 1: 31-46.
- Grizinik, M. y Sonntag, C.** 1994. Sobre algunas edades de las aguas subterráneas del Sistema Acuífero Multiunitario del Sudeste de la provincia del Chubut, Argentina. *Revista Naturalia Patagónica. Ciencias de la Tierra*. 2: 1-12.
- Hernández, M., González, N., Hernández, L.** 2017. Hydrogeology of a large oil-and gas basin in central Patagonia, San Jorge Gulf Basin, Argentina. *Springer Briefs in Latin American Series*, Springer, 95 p, Cham, Switzerland.
- Ihering, H. Von.** 1907. Les mollusques fossiles du Tertiaire et du Cretace superieur de l'Argentine. *Anales del Museo Nacional de Historia Natural de Buenos Aires*, 3, VII: 1-611. Buenos Aires.
- Keidel, J.** 1917. Uber das Patagonische Tafelland gerölle und Ihrebe ziehungen zu den geologischen erscheinungen in Argentinischen Andengebiet und Litoral. *Zeitschr. Deutsch. Wiss. Ver.*, 3 (5-6): 219-245.
- Krause, J.M., Bellosi, E.S. y Raigemborn, M.S.** 2010. Lateritized tephric paleosols from Central Patagonia, Argentina: a southern high-latitude archive of Paleogene global greenhouse conditions. *Sedimentology* 57:1721-1749.
- Legarreta, L., Uliana, M., Torres, M.** 1990. Secuencias deposicionales cenozoicas de Patagonia Central: sus relaciones con las asociaciones de mamíferos terrestres y episodios marinos epicontinentales. In: 3rd Simposio del Terciario de Chile 135-176. Concepción.

- Legarreta, L., Uliana, M.** 1994. Asociaciones de fósiles y hiatos en el Supracretácico-Neógeno de Patagonia: una perspectiva estratigráfico-secuencial. *Ameghiniana*, 31(3): 257-281.
- Lesta, P., Ferello, R.** (1972) Región Extra-andina del Chubut y norte de Santa Cruz. En *Geología Regional Argentina: Academia Nacional de Ciencias: 601-654*, Córdoba.
- Levin, M., Panarello, H. Albero, M. Castrillo, E., Grizinik, M. y Amoroso, A.** 1987. Groundwater Recharge and Subsurface Flow in the Comodoro Rivadavia Area, Chubut Province Argentina. Isotopic and Hydrochemical study. In *Estimation of Natural Groundwater Recharge*. Pp 377-393. Antalya, Turquía.
- Ley 18.284.** Código Alimentario Argentino. Art. 982 (1969). Publicada en el Boletín Oficial, 28 de Julio de 1969. Argentina.
- Ley 24051.** Residuos peligrosos. Anexo II (1993). Publicada en el Boletín Nacional, 03 de Mayo de 1993. Argentina.
- Martínez, O.A., Kutschker, A.** 2011. The “Rodados Patagónicos” (Patagonian shingle Formation) of eastern Patagonia: environmental conditions of gravel sedimentation. *Biological Journal of the Linnean Society* 103, 336-345.
- Martínez, O., González, M., Toppazzini, M., Kutschker, A.** 2014. Mantos de grava y evolución del paisaje en el suroeste de la provincia del Chubut (Argentina), desde el Mioceno hasta el presente. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 27(2), 39–50.
- Malumian, N., Ardolino, A. A., Franchi, M., Remesal, M. y Salani, F.** 1999. La sedimentación y el volcanismo terciarios en la Patagonia Extraandina. En *Caminos, R. (Ed.) Geología Argentina Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales* 29(18): 557-612.
- Matheos, S.D., Brea, M., Lourenco, F. y Beilinson, E.** 2003. Composition and diagenesis of limestones from Salamanca Formation, Lower Tertiary, southeast of Patagonia, Argentina. 3° Latin American Congress of Sedimentology, Actas: 41, Belem.
- Mercerat, A.** 1893. Un viaje a la Patagonia austral. *Boletín Instituto Geográfico Argentino*, 14. Buenos Aires.
- Oporto, F.E.** 2020. Sedimentología y arquitectura de alta resolución de un sistema duna-interduna, Formación Santa Cruz (Mioceno Medio), Cuenca del Golfo San Jorge, Tesis de Grado, Depto. de Geología, FCNyCS, UNPSJB (inédita), pp. 1-136.
- Oporto, F.E., Paredes, J.M. y Foix, N.** 2019. Sistemas depositacionales eólicos de la Formación Santa Cruz (Mioceno Medio), Flanco norte de la cuenca del Golfo San Jorge. En: *Resúmenes VII Jornadas de las Ciencias de la Tierra “Dr. Eduardo Musacchio”* (Eds. De Sosa Tomas, A. y Casal, G.), p. 32-33, Comodoro Rivadavia, Argentina.
- Oporto Romero, F.E. y Paredes, J.M.** 2022. Arquitectura estratigráfica de sistemas eólicos-fluviales: un ejemplo de la Formación Santa Cruz (Mioceno medio) en la cuenca del Golfo San Jorge, Argentina. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 79 (1): 1-29.
- Oporto, F.E., Paredes, J.M., Allard, J.O., Foix, N., Valle, M.N., Cortés, M., Rodríguez, A.R., Buetti, S.** 2023. Arquitectura y análisis cinemático de fallas mesoscópicas: Formación

Chenque (Mioceno inferior-medio) en el Sector Oriental de la cuenca del Golfo San Jorge. *Revista Asociación Geológica Argentina*, vol. 80 (3): 511-530.

Oporto, F.E., Paredes, J.M., Allard, J.O., Genini, B., Turra, J.M., Almada, N. 2024. Sedimentología de alta resolución de la sucesión continental miocena de la Región Oriental de la cuenca del Golfo San Jorge: ciclicidad estratigráfica e inferencias paleoclimáticas. XI Jornadas de las Ciencias de la Tierra “Dr. Eduardo Musacchio”, pp. 61-62, Comodoro Rivadavia.

Paredes, J. 2002. Asociaciones de facies y correlación de los sedimentos de la Formación Chenque (Oligoceno-Mioceno) de los alrededores de Comodoro Rivadavia, Cuenca del Golfo San Jorge, Argentina. *Asociación Argentina de Sedimentología- Revista*, vol. 9 n° 1: 53-64.

Paredes, J.M. 2003. A sequence stratigraphy scheme in a tide-dominated estuary: The Chenque Formation, Miocene of the Golfo San Jorge Basin, Argentine. 3rd Latin American Congress of Sedimentology, Abstract Book: 135-137, Belem, Brazil.

Paredes, J.M., Oporto, F.E., Valle, M.N. 2024. Storm-related deposits in the Chenque Formation (Lower-Middle Miocene, Golfo San Jorge Basin): indirect evidence of the Mid Miocene Climatic Optimum in shallow-marine settings? XI Jornadas de las Ciencias de la Tierra “Dr. Eduardo Musacchio”, pp. 65-67, Comodoro Rivadavia.

Paredes, J.M. 2009. Sedimentary Evolution of the Golfo San Jorge Basin, Central Patagonia, Argentina. En: Ibañez, L.M., Moyano, M.S., Aceñolaza, G.F. (Eds.) *Argentinean Fluvial Basins: Ancient and present day examples. Excursion Guide Book*, 9th International Conference on Fluvial Sedimentology, Basin Analysis Series, I: 187-275. San Miguel de Tucumán.

Paredes, J.M., Plazibat, S., Crovetto, C., Stein, J., Cayo, E., Schiuma, A. 2013. Fault kinematics and depocenter evolution of oil-bearing, continental successions of the Mina del Carmen Formation (Albian) in the Golfo San Jorge basin, Argentina. *J.*

Paredes, J.M. 2019. Comodoro Rivadavia y la catástrofe de 2017, visiones múltiples para una ciudad en riesgo. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, 305 pág.

Paredes, J.M., Ocampo, Foix, N., Olazábal, S.X., Valle, M.N., Montes, N., Allard, J.O. 2020. Precipitaciones extremas e inundaciones repentinas en ambiente semiárido: impactos del evento de marzo-abril de 2017 en Comodoro Rivadavia, Chubut. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 77 (2): 294-316.

Raigemborn, M.S., Krause, J.M., Bellosi, E., Matheos, S.D. 2010. Redefinición estratigráfica del Grupo Río Chico (Paleógeno Superior), en el norte de la cuenca del Golfo San Jorge, Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67, 239-256.

Ramos, V.A. 2015. Evolución de la cuenca Golfo San Jorge: su estructuración y régimen tectónico. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* 72 (1), 16–24.

Rodríguez, J.F.R., Littke, R. 2001. Petroleum generation and accumulation in the Golfo San Jorge Basin, Argentina: a basin modeling study. *Mar. Pet. Geol.* 18, 995–1028.

Russo, A. 1953. Levantamiento geológico al norte de Pico Salamanca entre el mar y la Pampa del Castillo, Salamanca y Malaspina, escala:100000 (Departamento de Camarones y Pico

Salamanca). Gobernación militar de Comodoro Rivadavia. YPF., (J-165). Buenos Aires. Inédito.

Sánchez San Román, F.J. 2012. Universidad de Salamanca, Departamento de Geología. España.

Salvioli, G., Zambrano J., Mercado., Victoria, J., Guimaraes., Nally, J. 1987. Estudio Hidrogeológico del acuífero explotado Manantiales Behr- Comodoro Rivadavia. CRAS. San Juan. Inf. Inéd: 1-66.

Sciutto, J.C. 1981. Geología del Codo del Rio Senguer, Chubut, Argentina. Actas del VIII Congreso Geológico Argentino, 3: 203-219. - 1999. El Grupo Chubut al oeste de la Sierra de San Bernardo, provincia de Chubut. Actas del XIV Congreso Geológico Argentino 1: 452-455.

Sciutto, J. 2000. Hoja Geológica 4566-III. Comodoro Rivadavia. 1:250.000. Segemar. Bol. 244: 1-53. Buenos Aires.

Simeoni, A. 1986. “Estudio hidrogeológico de Manantiales Behr, Comodoro Rivadavia”. Dirección General de Estudios y Proyectos. MESOP. Provincia de Chubut.

Simeoni, A. 2005. Monitoreo de aguas subterráneas. ASGN Diadema–Repsol YPF. Comodoro Rivadavia, Chubut. Inf. Inéd.: 1-18.

Simeoni, A. 2008. Mesetas y bajos de la Patagonia central extraandina. La Inversión del Relieve. In: Sitios de Interés Geológico de la República Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino. Tomo II – Sur. pp. 729–745.

Sosa, D.S., Krause, J.M., Bellosi, E.S. 2022. Estratigrafía del Mioceno continental de Patagonia Central. In: 21th Congreso Geológico Argentino, pp. 84-85 Puerto Madryn.

Sylwan, C.A. 2001. Geology of the Golfo san Jorge Basin, Argentina. J. Iber. Geol. 27, 123–157.

Tejedo, A., Pereyra, F., Anielli, C., Jones, M. 2000. Carta de Peligrosidad Geológica 4566-III, Comodoro Rivadavia. 1:250.000. Segemar. Boletín N° 305, Buenos Aires.

Vallati, P. 2013. A mid cretaceous palynoflora with Tucanopollis crisopolensis from D- 129 formation, san Jorge Gulf basin, Argentina. Rev. Bras. Palaontol. 16, 237–244.

Vogt, T., Del Valle, H. 1994. Calcretes and Cryogenic structures in the area of Puerto Madryn (Chubut, Patagonia, Argentina). Geografiska Annaler, 76 A, 1-2: 57-75.

11. ANEXOS

TABLA DE ANALISIS QUIMICOS Y RELACIONES IONICAS (IONES MAYORITARIOS)								
ACCION	si	si	si	si	si	si	si	si
Coord Coord	16-may-45 C-04-A	17-abr-47 C-10-A	17-nov-46 C-21-A	17-nov-46 C-25-A	17-nov-46 C-32-A	1-ene-47 C-33-A		
CE uS/cm	484,37	468,75	410,94	642,19	453,12	398,44		
pH								
TAC	171,00	191,00		287,00	191,00	138,00		
DUR								
TSD	310,00	300,00	263,00	411,00	290,00	255,00		
aniones	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
HCO3-	213,00	238,00	161,00	357,00	213,00	170,00		
SO4=	28,00	14,00	39,00	24,00	20,00	20,00		
Cl-	48,00	41,00	27,00	46,00	48,00	39,00		
NO3-								
sum aniones	289	293	227	427	281	229	0	0
cationes	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na+	97,00	84,00	87,00	122,00	84,00	92,00		
K+								
Ca++	26,00	34,00	13,00	47,00	33,00	0,85		
Mg++	0,47	11,00	0,35	15,00	10,00	0,19		
sum cationes	123,47	129	100,35	184	127	93,04	0	0
NH4+	0,68	5	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Cl+NO3-	48	41	27	46	48	39	0	0
Na+ + K+	97	84	87	122	84	92	0	0
aniones (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
HCO3-	3,49	3,90	2,64	5,85	3,49	2,79	0,00	0,00
SO4=	0,58	0,29	0,81	0,50	0,42	0,42	0,00	0,00
Cl-	1,35	1,15	0,76	1,30	1,35	1,10	0,00	0,00
NO3-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl+NO3-	1,35	1,15	0,76	1,30	1,35	1,10	0,00	0,00
sum aniones	5,43	5,35	4,21	7,65	5,26	4,30	0,00	0,00
cationes (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Na+ + K+	4,22	3,65	3,78	5,30	3,65	4,00	0,00	0,00
Na+	4,22	3,65	3,78	5,30	3,65	4,00	0,00	0,00
K+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca++	1,30	1,70	0,65	2,35	1,65	0,04	0,00	0,00
Mg++	0,04	0,91	0,03	1,24	0,83	0,02	0,00	0,00
sum cationes	5,56	6,26	4,46	8,89	6,13	4,06	0,00	0,00
aniones (%)	%	%	%	%	%	%	%	%
HCO3-	64,34	72,95	62,66	76,52	66,38	64,78	#DIV/0!	#DIV/0!
SO4=	10,75	5,45	19,29	6,54	7,92	9,69	#DIV/0!	#DIV/0!
Cl-	24,91	21,59	18,06	16,94	25,70	25,54	#DIV/0!	#DIV/0!
NO3-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!
Cl+NO3-	24,91	21,59	18,06	16,94	25,70	25,54	#DIV/0!	#DIV/0!
sum aniones	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	#DIV/0!	#DIV/0!
cationes (%)	%	%	%	%	%	%	%	%
Na+ + K+	75,90	58,33	84,78	59,64	59,59	98,57	#DIV/0!	#DIV/0!
Na+	75,90	58,33	84,78	59,64	59,59	98,57	#DIV/0!	#DIV/0!
K+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!
Ca++	23,40	27,15	14,57	26,42	26,92	1,05	#DIV/0!	#DIV/0!
Mg++	0,70	14,52	0,65	13,94	13,49	0,39	#DIV/0!	#DIV/0!
sum cationes	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	#DIV/0!	#DIV/0!
Relaciones iónicas								
rNa/rK	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
rMg/rCa	0,03	0,53	0,04	0,53	0,50	0,37	#DIV/0!	#DIV/0!
rSO4/rCl	0,43	0,25	1,07	0,39	0,31	0,38	#DIV/0!	#DIV/0!
rCl/rHCO3	0,39	0,30	0,29	0,22	0,39	0,39	#DIV/0!	#DIV/0!
icb	-2,12	-2,16	-3,97	-3,09	-1,70	-2,64	#DIV/0!	#DIV/0!
Kr	2,51	2,96	1,65	4,32	2,72	0,69	0,00	0,00
INDICE SAR	5,2	3,2	6,5	4,0	3,3	23,4	#DIV/0!	#DIV/0!
Error (%)	1,51	7,86	2,87	7,53	7,62	-2,92	#DIV/0!	#DIV/0!
Laboratorio	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament
icb=(rCl-(rNa+rK))/rCl		kr=(rCa*(rHCO3)^2)^(1/3)				Error(%)=100*(rCat-rAn)/(rCat+rAn)		

ANEXO 1. Tabla de datos hidroquímicos pozos C-04-A hasta C-33-A, EASY-QUIM.

TABLA DE ANALISIS QUIMICOS Y RELACIONES IONICAS (IONES MAYORITARIOS)																								
ACCION		no	si	no	si	si	si	no	si	si	si	si	no	si	si	si	si	no	no	no	si	si	si	
Coord	Fecha	16-dic-14	20-ene-11	1-dic-07	20-ene-11	20-ene-11	7-jul-04	14-mar-22	1-dic-07	30-may-22	1-dic-07	20-ene-11	16-dic-14	13-sept-07	20-ene-11	27-ene-22	13-sept-07	13-sept-07	20-ene-11	20-ene-11	6-nov-19	20-ene-11	27-nov-14	
Coord	Pozo	C-02-A	C-09-A	C-10-A	C-10-A	C-25-A	C-30-A	C-30-A	C-32-A	C-32-A	C-33-A	C-33-A	C-33-A	C-34-A	C-34-A	C-34-A	C-35-A	C-36-A	C-36-A	C-38-A	C-38-A	C-40-A	C-42-A	
x		4943104.35	4942486.17	4941197.16	4941197.16	4942360.32	4941251.51	4941251.51	4942036.97	4942036.97	4942036.97	4942036.97	4942036.97	4942694.14	4942694.14	4942694.14	4942656.59	4942262.39	4942262.39	4937279.08	4937279.08	4937807.67	4937482.64	
y		2601712.81	2599582.67	2597847.54	2597847.54	2602002.53	2598240.23	2598240.23	2598014.44	2598014.44	2598014.44	2598014.44	2598014.44	2600863.13	2600863.13	2600863.13	2601369.66	2602494.82	2602494.82	2595631.71	2595631.71	2597376.34	2596936.92	
	CE uS/cm	474.00	407.00	756.00	703.00	496.00	1143.00	618.00	406.00	540.00	468.00	544.00	388.00	396.00	424.00	576.00	508.00	525.00	463.00	490.00	570.00	616.00	560.00	
	pH	8.28	8.80	8.90	8.90	8.70	8.90	8.90	8.60	8.50	8.20	8.30	8.30	9.30	9.30	9.30	9.30	9.30	9.30	9.30	9.30	8.40	8.21	8.24
	TAC	156.00		205.00			251.00	96.00	106.00	131.00		127.00	137.00	326.00	241.50	158.00	164.00			145.00	269.00	206.00		
	DUR	40.00	23.70	25.00	17.60	35.10	9.10	47.00	202.00	30.00	25.50	36.00	40.90	6.70	57.20	24.00	24.00	23.80	59.30	60.00	29.90	17.00	93.00	
	TSD	303.00	288.00	591.00	389.00	314.00	613.00	200.00	315.00	300.00	371.00	365.00	248.00	335.40	482.00	200.00	490.00	420.00	342.00	250.00	313.60	347.00	358.00	
	aniones	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
	HCO3-	145.00	155.00	208.00	202.00	172.00	179.00	176.70	100.00	198.20	141.00	234.00	123.00	167.00	111.00	181.80	180.00	175.00	170.00	204.00	143.00	298.00	269.00	
	SO4=	30.00	28.60	22.00	31.80	34.90	32.50	38.00	7.00	17.00	20.00	20.10	15.00	11.00	35.50	20.00	25.00	27.00	40.50	12.00	21.00	10.20	5.00	
	Cl-	35.00	32.70	114.00	91.70	48.30	222.00	57.29	41.00	51.60	45.00	37.80	31.00	38.00	54.20	33.24	76.00	51.00		41.50	33.00	31.80	37.00	
	NO3-	2.00	2.00	2.00	2.00	1.88	1.00	2.29	2.00	1.88	1.00	2.29	2.00	2.00	1.40	2.00	2.00	2.00			4.40	4.40	4.40	
	sum aniones	210	216.3	346	325.5	255.2	433.5	271.99	150	268.68	207	291.9	171.29	218	200.7	236.44	283	255	210.5	257.5	197	340	315.4	
	cationes	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
	Na+	96.00	96.00	96.00	146.00	90.00	228.00	147.17	50.00	67.18	80.00	120.00	79.00	70.00	110.00	79.18	119.00	107.00	110.00		33.00	124.00	117.00	
	K+				2.20	1.52				1.06		1.40			0.50	0.59						1.40	117.00	
	Ca++	9.00	9.00	5.70	3.60	8.10	3.60	10.00	24.96	8.00	4.60	9.00	3.00	2.20	12.68	6.00	8.00	6.40	12.20	12.80	2.20	9.00	15.00	
	Mg++	4.00	4.00	2.30	2.10	3.60	0.70	4.00	10.55	3.00	3.40	3.00	4.00	0.30	6.21	2.00	1.00	1.90	7.00	7.00	4.60	10.00	13.00	
	sum cationes	109	109	104	151.7	129.4	234.8	151.91	65	103.72	91	121.4	91	83.6	113	98.656	127	116	118.3	19.2	52.8	133	136	
	NH4+	0.68	5	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	
	Cl+NO3-	35	32.7	116	91.7	48.3	222	57.29	43	53.48	46	37.8	33.29	40	54.2	34.64	78	53	0	41.5	33	31.8	41.4	
	Na+ + K+	96	96	96	146	90	230.2	148.69	50	68.22	80	121.4	79	70	110.5	79.766	119	107	110	0	33	124	117	
	aniones (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	
	HCO3-	2.38	2.54	3.41	3.31	2.82	2.93	2.90	1.64	3.25	2.31	3.84	2.02	2.74	1.82	2.98	2.95	2.87	2.79	3.34	4.89	4.41	3.38	
	SO4=	0.63	0.60	0.46	0.66	0.73	0.68	0.79	0.42	0.35	0.42	0.31	0.23	0.44	0.74	0.28	0.52	0.56	0.80	0.24	0.21	0.10	0.81	
	Cl-	0.99	0.92	3.21	2.58	1.36	6.25	1.61	1.15	1.45	1.27	1.06	0.87	1.07	1.53	0.94	2.14	1.44	0.00	1.17	0.93	1.04	1.21	
	NO3-	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.04	0.03	0.03	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	
	Cl+NO3-	0.99	0.92	3.24	2.58	1.36	6.25	1.61	1.19	1.48	1.28	1.06	0.91	1.10	1.53	0.96	2.17	1.47	0.00	1.17	0.93	1.11	1.28	
	sum aniones	3.99	4.06	7.11	6.56	4.91	9.87	5.30	2.97	5.09	4.01	6.56	3.24	4.10	4.09	4.36	5.64	4.90	3.63	4.76	3.71	5.99	5.47	
	cationes (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	
	Na+ + K+	4.17	4.17	4.17	6.35	3.91	9.97	6.44	2.17	2.95	3.48	5.25	3.43	3.04	4.80	3.40	5.17	4.65	4.78	0.00	1.43	5.39	4.00	
	Na+	4.17	4.17	4.17	6.35	3.91	9.91	6.40	2.17	2.92	3.48	5.22	3.43	3.04	4.78	3.44	5.17	4.65	4.78	0.00	1.43	5.39	4.00	
	K+	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Ca++	0.45	0.45	0.29	0.18	0.41	0.20	0.43	0.13	0.50	0.40	0.23	0.45	0.41	0.11	0.63	0.30	0.40	0.32	0.61	0.64	0.22	0.45	
	Mg++	0.33	0.33	0.19	0.17	0.30	0.06	0.05	0.41	0.87	0.25	0.28	0.25	0.36	0.02	0.51	0.17	0.08	0.16	0.58	0.38	0.83	1.07	
	sum cationes	4.95	4.95	4.65	6.70	4.62	10.22	6.62	3.09	5.07	4.13	5.76	4.13	3.86	4.93	4.60	5.64	5.13	5.26	1.19	2.65	5.99	6.36	
	aniones(%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
	HCO3-	59.61	62.62	47.95	50.50	57.46	29.75	54.63	55.15	63.87	57.62	72.11	62.25	67.27	44.53	68.42	52.28	58.55	76.76	70.21	63.16	81.51	78.37	
	SO4=	15.67	14.68	6.44	10.10	14.82	6.86	5.63	4.91	6.96	10.39	9.65	5.63	11.79	18.10	9.57	11.48	23.24	5.25	11.79	3.55	1.85	14.85	
	Cl-	24.72	22.70	45.15	39.39	27.73	63.39	30.44	38.86	28.57	31.60	20.02	26.96	26.30	37.37	21.50	37.93	29.32	0.00	24.54	25.05	14.95	18.52	
	NO3-	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.40	0.00	0.14	0.00	0.52	0.57	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	1.30	
	Cl+NO3-	24.72	22.70	45.61	39.39	27.73	63.39	30.44	39.94	29.17	32.00	20.02	28.10	27.10	37.37	22.01	38.50	29.98	0.00	24.54	25.05	14.95	19.78	
	sum aniones	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	cationes(%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
	Na+ + K+	84.25	84.25	89.78	94.72	84.78	97.53	97.24	70.42	58.17	84.30	91.14	83.11	78.77	97.27	75.09	91.75	90.60	90.93	0.00	54.08	89.98	79.94	
	Na+	84.25	84.25	89.78	94.72	84.78	96.98	96.66	70.42	57.63	84.30	90.51	83.11	78.77	97.01	74.76	91.75	90.60	90.93	0.00	54.08	89.98	79.94	
	K+	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	0.59	0.00	0.54	0.00	0.62	0.00	0.00	0.26	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Ca++	9.08	9.08	6.13	2.69	8.77	1.91	1.93	16.20	24.62	9.69	3.99	10.89	12.03	2.23	13.77	5.32	7.79	6.08	51.32	24.12	3.67	7.07	
	Mg++	6.67	6.67	4.09	2.59	6.45	0.57	0.82	13.39	17.21	6.01	4.87	6.00	9.20	0.50	11.15	2.93	1.61	2.99	48.68	21.80	6.35	12.99	
	sum cationes	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
	Relaciones iónicas	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	
	rNa/rK																							
	rMg/rCa	0.73	0.73	0.67	0.73																			

TABLA DE ANALISIS QUIMICOS Y RELACIONES IONICAS (IONES MAYORITARIOS)																								
ACCION	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	
	27-nov-14	20-nov-11	20-nov-11	27-nov-14	20-nov-11	18-nov-14	20-sept-07	16-dic-14	20-sept-07	16-dic-14	20-nov-11	7-mar-22	20-nov-11	1-dic-21	20-sept-06	26-feb-14	30-dic-14	26-jul-16	20-sept-17	19-sept-07	21-nov-19	20-nov-11	21-nov-19	30-dic-14
Fecha	C-42-A	C-43-A	C-44-A	C-44-A	C-45-A	C-45-A	C-46-A	C-46-A	C-47-A	C-47-A	C-48-A	C-48-A	C-49-A	C-49-A	C-50-A	C-50-A	C-50-A	C-50-A	C-52-A	C-52-A	C-52-A	C-53-A	C-53-A	C-54-A
Coord x	4937482.64	4937050.83	4936848.92	4936848.92	4937119.92	4937119.92	4933063.94	4933063.94	4938781.66	4938781.66	4938560.41	4938560.41	4938448.96	4938448.96	4944999.34	4944999.34	4944999.34	4944999.34	4944370.71	4944370.71	4944370.71	4944088.09	4944088.09	4944058.83
Coord y	2596589.60	2595170.23	2594700.96	2594700.96	2594302.48	2594302.48	2595675.77	2595675.77	2596079.34	2596079.34	259607.60	259607.60	2597181.89	2597181.89	2603604.90	2603604.90	2603604.90	2603604.90	2604394.60	2604394.60	2604394.60	2604803.36	2604803.36	2605294.75
CE uS/cm	561.00	707.00	663.00	367.00	336.00	364.00	649.00	407.00	633.00	583.00	680.00	540.00	608.00	576.00	406.00	391.00	382.00	419.00	406.00	470.00	401.00	508.00	513.00	459.00
pH	8.04	8.40	7.90	8.39	8.30	8.13	8.60	8.15	8.60	8.07	8.30	7.50	8.50	8.20	8.60	8.19	7.20	8.18	8.60	9.10	8.06	9.20	8.04	7.40
TAC	204.00			143.00	132.00	133.00	211.00	176.00	284.00	246.00			360.00	315.00	128.00	153.00	146.00	133.00	128.00	105.00	123.00		183.00	153.00
DUR	79.00	17.50	79.00	58.00	49.00	62.00	64.00	66.00	49.00	82.00	43.70	70.70	26.30	62.00	45.00	63.00	75.10	35.00	45.00	11.00	20.00	23.40	6.00	92.40
TSD	359.00	412.00	381.00	235.00	305.00	233.00	589.00	260.00	580.00	373.00	397.00	400.00	350.00	363.00	356.00	250.00	281.00	268.00	356.00	370.00		322.00		284.00
aniones																								
HCO3-	201.00	382.00	382.00	137.00	161.00	130.00	234.00	174.00	325.00	246.00	322.00	274.10	299.00	309.90	139.00	151.00	146.00	131.00	139.00	97.00	121.00	134.00	179.00	153.00
SO4=	5.00	9.00	9.00	17.00	12.00	10.00	8.00	5.00	10.00	5.00	9.00	19.00	13.50	4.00	17.00	12.00	12.00	17.00	33.00	33.00	14.00	37.20	13.00	24.30
Cl-	47.00	38.10	31.20	25.00	26.00	22.00	41.00	24.00	44.00	35.00	58.00	33.79	42.00	33.79	34.00	22.00	21.80	26.00	34.00	54.00	33.00	1.36	35.00	34.90
NO3-	4.40	1.38		4.40	1.00	4.40	2.00	0.38	2.00			1.34		0.45	2.00	4.40	5.00	2.00	2.20	2.00	5.00		5.00	5.00
sum aniones	257.4	430.48	422.2	183.4	200	166.4	285	203.38	381	286	389	326.81	354.5	348.14	192	189.4	184.8	159	192.2	186	173	172.56	232	217.2
cationes																								
Na+	94.00	143.06	131.00	60.00	58.00	52.00	98.00	79.00	138.00	116.00	140.00	114.70	138.00	96.97	65.00	61.00	62.90	73.00	65.00	90.00		105.00		71.90
K+		2.01										2.31		1.97		0.50								0.70
Ca++	15.00	16.15	12.50	13.00	10.00	12.00	12.00	12.00	10.00	13.00	6.30	11.52	4.10	10.89	7.00	13.00	20.50	8.00	7.00		6.00	5.10	21.00	23.50
Mg++	10.00	10.00	11.60	6.00	6.00	7.00	8.00	9.00	6.00	12.00	6.80	10.19	3.90	8.38	6.00	7.00	5.80	4.00	6.00	3.00	1.00	2.60		8.20
sum cationes	119	171.22	155.1	79	74	71	118	100	154	141	153.1	138.72	146	118.21	78	81	89.7	85	78	93	7	112.7	21	104.3
aniones (meq/l)																								
HCO3-	3.30	6.26	6.26	2.25	2.64	2.13	3.84	2.85	5.33	4.03	5.28	4.49	4.90	5.08	2.28	2.48	2.39	2.15	2.28	1.59	1.98	2.20	2.93	2.51
SO4=	0.10	0.19	0.19	0.35	0.25	0.21	0.10	0.10	0.21	0.10	0.19	0.40	0.28	0.08	0.35	0.25	0.25	0.60	0.69	0.29	0.78	0.27	0.51	0.51
Cl-	1.32	1.07	0.88	0.70	0.73	0.62	1.15	0.68	1.24	0.99	1.63	0.91	1.18	0.95	0.96	0.62	0.61	0.73	0.96	1.52	0.93	0.04	0.99	0.98
NO3-	0.07	0.02	0.00	0.07	0.02	0.07	0.03	0.01	0.03	0.00	0.02	0.00	0.01	0.03	0.02	0.08	0.03	0.04	0.03	0.08	0.00	0.08	0.08	0.08
Cl-+NO3-	1.39	1.10	0.88	0.78	0.75	0.69	1.19	0.68	1.27	0.99	1.63	0.93	1.18	0.96	0.99	0.69	0.69	0.76	0.99	1.55	1.01	0.04	1.07	1.06
sum aniones	4.79	7.55	7.33	3.38	3.64	3.03	5.19	3.64	6.81	5.12	7.10	5.82	6.37	6.12	3.62	3.42	3.34	2.91	3.63	3.83	3.29	3.01	4.27	4.08
cationes (meq/l)																								
Na++K+	4.09	6.27	5.70	2.61	2.52	2.26	4.26	3.43	6.00	5.04	6.09	5.05	6.00	4.27	2.83	2.65	2.75	3.17	2.83	3.91	0.00	4.57	0.00	3.14
Na+	4.09	6.22	5.70	2.61	2.52	2.26	4.26	3.43	6.00	5.04	6.09	5.05	6.00	4.22	2.83	2.65	2.73	3.17	2.83	3.91	0.00	4.57	0.00	3.13
K+	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
Ca++	0.75	0.81	0.63	0.65	0.50	0.60	0.60	0.60	0.50	0.65	0.32	0.58	0.21	0.54	0.35	0.65	1.03	0.40	0.35	0.30	0.26	1.05	1.18	
Mg++	0.83	0.83	0.96	0.50	0.58	0.66	0.74	0.50	0.99	0.56	0.84	0.32	0.69	0.50	0.58	0.48	0.33	0.50	0.25	0.08	0.21	0.00	0.68	
sum cationes	5.66	7.91	7.28	3.75	3.52	3.44	5.52	4.78	7.00	6.69	6.96	6.46	6.53	5.50	3.67	3.88	4.25	3.90	3.67	4.16	0.38	5.04	1.05	5.00
aniones(%)																								
HCO3-	68.73	83.00	85.45	66.54	72.55	70.33	73.91	78.39	78.26	78.72	74.35	77.17	77.00	82.97	62.90	72.46	71.70	73.74	62.84	41.51	60.37	72.98	68.69	61.50
SO4=	2.17	2.48	2.56	10.49	6.87	6.88	3.23	2.86	3.06	2.03	2.64	6.80	4.42	1.36	9.78	7.32	7.49	0.00	9.77	17.95	8.88	6.34	12.41	12.41
Cl-	27.62	14.22	11.99	20.86	20.13	20.45	22.25	18.58	18.21	19.25	23.01	15.66	18.58	15.55	26.44	18.14	18.40	25.15	26.41	39.71	28.29	1.27	23.08	24.11
NO3-	1.48	0.29	0.00	2.10	0.44	2.34	0.62	0.17	0.47	0.00	0.00	0.37	0.00	0.12	0.89	2.08	2.42	1.11	0.98	0.84	2.45	0.00	1.89	1.98
Cl-+NO3-	29.10	14.52	11.99	22.97	20.58	22.79	22.87	18.75	18.68	19.25	23.01	16.03	18.58	15.66	27.33	20.22	20.81	26.26	27.39	40.55	30.75	1.27	24.97	26.08
sum aniones	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
cationes(%)																								
Na++K+	72.16	79.33	78.24	69.48	71.69	65.73	77.16	71.88	85.76	75.44	87.41	78.06	91.92	77.52	76.96	68.34	64.62	81.29	76.96	94.04	0.00	90.67	0.00	62.92
Na+	72.16	78.68	78.24	69.48	71.69	65.73	77.16	71.88	85.76	75.44	87.41	77.15	91.92	76.61	76.96	68.34	64.32	81.29	76.96	94.04	0.00	90.67	0.00	62.56
K+	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36
Ca++	13.24	10.21	8.59	17.31	14.21	17.44	10.87	12.56	7.15	9.72	4.52	8.91	3.14	9.89	9.53	16.75	24.11	10.24	9.53	0.00	78.40	5.06	100.00	23.52
Mg++	14.59	10.45	13.17	13.21	14.10	16.82	11.97	15.57	7.09	14.83	8.07	13.03	4.94	12.58	13.50	14.91	11.27	8.47	13.50	5.96	21.60	4.27	0.00	13.56
sum cationes	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Relaciones iónicas																								
rNa/rK	#/DIV/0!	121.00	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	84.41	#/DIV/0!	83.68	#/DIV/0!	#/DIV/0!	213.86	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	#/DIV/0!	174.61
rMg/rCa	1.10	1.02	1.53	0.76	0.99	0.96	1.10	1.24	0.99	1.53	1.78	1.46	1.57	1.27	1.42	0.89	0.47	0.83	1.42	#/DIV/0!	0.28	0.84	0.00	0.58
rSO4/rCl	0.08	0.17	0.21	0.50	0.34	0.34	0.14	0.15	0.17	0.11	0.11	0.43	0.24	0.09	0.37	0.40	0.41	0.00	0.37	0.45	0.31	20.23	0.27	0.51
rCl/rHCO3	0.40	0.17	0.14	0.31	0.28	0.29	0.30	0.24	0.23	0.24	0.31	0.20	0.24	0.19	0.42	0.25	0.26	0.34	0.42	0.96	0.47	0.02	0.34	0.39
icb	-2.09	-4.84	-5.48	-2.70	-2.44	-2.65	-2.69	-4.08	-3.84	-4.12	-2.73	-4.53	-4.07	-3.48	-1.95	-3.28	-3.47	-3.33	-1.95	-1.57	1.00	-118.17	1.00	-2.20
Kr	2.01	3.16	2.90	1.49	1.52	1.40	2.07	1.70	2.42	2.19	2.06	2.27	1.70	2.41	1.22	1.59								

TABLA DE ANALISIS QUIMICOS Y RELACIONES IONICAS (IONES MAYORITARIOS)																										
ACCION		si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si			
Coord Coord y	Fecha Pozo x y	13-sept-07 C-55-A 4944137.03 2605783.85	12-ene-15 C-56-A 4943984.36 2606136.04	12-ene-15 C-56-A 4943984.36 2606136.04	20-sept-07 C-58-A 4942066.52 2596754.37	26-jul-16 C-58-A 4942066.52 2596754.37	18-feb-22 C-58-A 4942066.52 2596754.37	20-ene-11 C-59-A 4941950.48 2597246.21	3-feb-22 C-60-A 4941612.83 2597246.21	20-nov-19 C-61-A 4942552.55 2598003.70	19-sept-07 C-62-A 4942240.96 2598787.15	20-ene-11 C-62-A 4942240.96 2598787.15	3-dic-14 C-62-A 4942240.96 2598787.15	12-ene-15 C-62-A 4942240.96 2598787.15	12-ene-15 C-62-A 4942240.96 2598787.15	20-ene-11 C-63-A 4941743.61 2598914.16	16-dic-14 C-63-A 4941743.61 2598914.16	26-jul-16 C-63-A 4941743.61 2598914.16	26-jul-16 C-64-A 4941279.92 2598807.44	2-dic-19 C-64-A 4941279.92 2598807.44	7-jul-64 C-65-A 4940862.92 2598911.89	3-dic-14 C-65-A 4940862.92 2598911.89	12-ene-15 C-67-A 49438520.27 2597854.68	13-sept-07 C-71-A 4943590.08 2606312.78	12-ene-15 C-71-A 4943590.08 2606312.78	
	CE uS/cm		428.00	398.00	397.00	654.00	549.00	563.00	753.00	465.00	420.00	407.00	430.00	385.00	393.00	563.00	580.00	426.00	461.00	628.00	315.00	792.00	775.00	429.00	455.00	434.00
pH		8.50	8.57	8.60	9.00	8.05	7.95	8.50	8.08	8.03	8.60	8.80	8.32	8.29	8.30	8.70	8.35	8.25	8.80	8.26	8.80	9.07	8.58	8.60	8.65	
TAC		174.00	107.00	133.00	215.00	158.00	195.00		170.40	146.00	146.00		137.00	135.00	209.00		130.00	137.00	155.00	162.00		143.00	143.00	125.00	118.00	
DUR		30.00	24.00	56.30	18.00	64.00	119.00	99.40	62.60	30.00	29.00	26.30	34.00	35.00	106.00	26.40	40.00	31.00	10.00	8.00		9.00	32.00	12.00	30.00	
TSD		377.00	255.00	265.00	560.00	351.00	320.00	419.00	224.00		378.00	290.00	246.00	252.00	372.00	393.00	273.00	295.00	402.00		448.00	496.00	275.00	396.00	278.00	
aniones	mg/l	190.00	94.00	123.00	212.00	158.00	158.70	188.00	159.20	144.00	162.00	146.00	125.00	124.00	197.00	150.00	124.00	129.00	90.00	146.00	167.00	113.00	126.00	134.00	92.00	
SO4=	mg/l	26.00	36.00	18.50	32.00		5.00	33.50	15.00	27.00	15.00	30.60	16.00	16.00	10.00	40.20	28.00		87.00	41.60	48.00		28.00	28.00	33.00	
Cl-	mg/l	60.00	38.00	29.20	70.00	54.00	83.77	116.00	46.89	27.00	29.00	34.30	24.00	25.00	46.70	73.40	34.00	34.00	58.00	42.00	108.00	141.00		44.00	38.00	
NO3-	mg/l	2.00	3.34	4.40	2.00		1.99		6.18		2.00		2.43	2.49	4.40		3.09	1.50			0.26			2.00		
sum aniones	mg/l	278	171.34	175.1	316	212	249.46	337.5	227.27	198	208	210.9	167.43	167.49	258.1	263.6	189.09	164.5	148	275	316.6	302.26	126	208	163	
cationes	mg/l	114.00	84.00	67.10	148.00	91.00	69.02	120.00		77.92		78.00	84.20	74.00	77.00	85.90	120.00	83.00	83.00	131.00		162.00	154.00		90.00	87.00
Na+	mg/l	0.90					0.92			4.53		0.82			0.90	1.30					1.30					87.00
K+	mg/l	6.00	6.00	16.10	5.00	14.00	27.73	28.10	14.93	8.00	8.00	6.20	7.00	7.00	22.40	6.30	8.00	8.00	2.00	3.00	3.50	2.00	5.00	3.00	6.00	
Ca++	mg/l	4.00	2.00	3.90	2.00	7.00	12.14	7.10	6.70	2.00	2.00	2.50	4.00	4.00	12.20	2.60	5.00	3.00	1.00		0.80	1.00	5.00	1.00	3.00	
Mg++	mg/l	124	92	88	155	112	109.71	155.2	101.08	10	88	92.9	85	88	121.4	130.2	96	94	134	3	167.6	157	10	94	96	
NH4+	mg/l	0.68	5	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	
Cl+NO3-	mg/l	62	41.34	33.6	72	54	85.76	116	53.07	27	31	34.3	26.43	27.49	51.1	73.4	37.09	35.5	58	42	108	141.26	0	46	38	
Na+ + K+	mg/l	114	84	68	148	91	69.84	120	79.45	0	78	84.2	74	77	86.8	121.3	83	83	131	0	163.3	154	0	90	87	
aniones (meq/l)	meq/l	3.11	1.54	2.02	3.48	2.59	2.60	3.08	2.61	2.36	2.66	2.39	2.05	2.03	3.23	2.46	2.03	2.11	1.48	2.39	2.74	1.85	2.07	2.20	1.51	
HCO3-	meq/l	0.54	0.75	0.39	0.67	0.00	0.10	0.70	0.31	0.56	0.31	0.64	0.33	0.33	0.21	0.84	0.58	0.00	0.00	1.81	0.87	1.00	0.00	0.58	0.69	
SO4=	meq/l	1.69	1.07	0.82	1.97	1.53	2.36	3.27	1.32	0.76	0.82	0.97	0.68	0.70	1.32	2.07	0.96	1.63	3.04	3.97	1.18	3.04	3.97	1.07	1.07	
Cl-	meq/l	0.03	0.05	0.07	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	0.04	0.07	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	
NO3-	meq/l	1.72	1.12	0.89	2.00	1.52	2.39	3.27	1.42	0.76	0.85	0.97	0.72	0.74	1.39	2.07	1.01	0.98	1.63	1.18	3.04	3.98	0.00	1.27	1.07	
sum aniones	meq/l	5.38	3.42	3.30	6.15	4.11	5.10	7.05	4.34	3.68	3.82	4.00	3.10	3.11	4.82	5.36	3.62	3.10	3.11	5.39	6.65	6.83	2.07	4.05	3.27	
cationes (meq/l)	meq/l	4.96	3.65	2.94	6.43	3.96	3.02	5.22	3.43	0.00	3.39	3.66	3.22	3.35	3.76	5.25	3.61	3.61	5.70	0.00	7.08	6.70	0.00	3.91	3.78	
Na+ + K+	meq/l	4.96	3.65	2.94	6.43	3.96	3.02	5.22	3.43	0.00	3.39	3.66	3.22	3.35	3.76	5.25	3.61	3.61	5.70	0.00	7.08	6.70	0.00	3.91	3.78	
Na+	meq/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	
K+	meq/l	0.30	0.30	0.81	0.25	0.70	1.39	1.41	0.75	0.40	0.40	0.31	0.35	0.33	1.12	0.32	0.40	0.40	0.10	0.15	0.18	0.10	0.25	0.15	0.30	
Ca++	meq/l	0.33	0.17	0.32	0.17	0.58	1.00	0.59	0.55	0.17	0.17	0.21	0.33	0.33	1.01	0.21	0.41	0.25	0.08	0.00	0.07	0.08	0.41	0.08	0.25	
Mg++	meq/l	5.59	4.12	4.07	6.85	5.24	5.41	7.21	4.73	0.57	3.96	4.18	3.90	4.03	5.89	5.78	4.42	4.26	5.88	0.15	7.32	6.88	0.66	4.15	4.33	
aniones(%)	%	57.91	45.12	61.19	56.55	63.00	51.04	43.73	60.09	64.08	69.57	59.88	66.15	65.35	66.94	45.84	56.10	68.29	47.45	44.41	41.19	27.13	100.00	54.22	46.18	
HCO3-	%	10.07	21.96	11.70	10.85	0.00	2.04	9.90	7.20	15.27	8.19	15.95	10.76	10.72	4.32	15.61	16.10	0.00	0.00	33.63	13.04	14.64	0.00	14.40	21.05	
SO4=	%	31.42	31.34	24.96	32.08	37.00	46.29	46.37	30.41	20.65	21.40	24.17	21.82	22.64	27.27	38.55	26.43	30.93	52.55	21.95	45.77	58.17	0.00	30.59	32.77	
Cl-	%	0.60	1.58	2.15	0.52	0.00	0.63	0.00	2.30	0.00	0.85	0.00	1.27	1.29	1.47	0.00	1.38	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	
NO3-	%	32.02	32.92	27.11	32.61	37.00	46.92	46.37	32.71	20.65	22.24	24.17	23.09	23.93	28.74	38.55	27.81	31.71	52.55	45.77	58.23	0.00	31.39	32.77		
sum aniones	%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
cationes(%)	%	88.71	88.70	72.29	93.94	75.58	55.84	72.37	72.49	0.00	85.71	87.63	82.54	83.11	63.84	90.83	81.61	84.78	96.89	0.00	96.71	97.34	0.00	94.39	87.35	
Na+ + K+	%	88.71	88.70	72.29	93.94	75.58	55.84	72.37	72.49	0.00	85.71	87.63	82.54	83.11	63.84	90.83	81.61	84.78	96.89	0.00	96.71	97.34	0.00	94.39	87.35	
Na+	%	0.00	0.00	0.57	0.00	0.00	0.39	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.58	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K+	%	5.37	7.29	19.79	3.65	13.37	25.62	19.49	15.79	70.76	10.11	7.42	8.98	8.69	19.03	5.45	9.05	9.40	1.70	100.00	2.49	1.45	37.69	3.62	6.93	
Ca++	%	5.92	4.01	7.92	2.41	11.05	18.54	8.14	11.71	29.24	4.18	4.95	8.21	8.21	17.13	3.72	9.34	5.82	1.41	0.00	0.90	1.20	62.31	1.99	5.73	
Mg++	%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
sum cationes	%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Relaciones iónicas		#/DIV!'	#/DIV!'	126.74	#/DIV!'	#/DIV!'	143.09	#/DIV!'	86.58	#/DIV!'	#/DIV!'	#/DIV!'	#/DIV!'	#/DIV!'	162.26	156.92	#/DIV!'	#/DIV!'	#/DIV!'	#/DIV!'	211.85	#/DIV!'	#/DIV!'	#/DIV!'	#/DIV!'	
rNa/rK		1.10	0.55	0.40	0.66	0.83	0.72	0.42	0.74	0.41	0.41	0.67	0.94	0.94	0.90	0.68	1.03	0.62	0.83	0.00	0.38	0.83	1.65			

TABLA DE ANALISIS QUIMICOS Y RELACIONES IONICAS (IONES MAYORITARIOS)																
ACCION	si		si		si		si		si		si		si		si	
	12-ene-15	12-ene-15	12-ene-15	13-sept-07	27-ene-22	13-sept-07	30-dic-14	18-nov-14	20-ene-11	1-nov-19	30-dic-14	26-jul-16	30-may-22	27-ene-22		
Fecha	C-71-A	C-72-A	C-72-A	C-73-A	C-74-A	C-77-A	C-78-A	C-85-A	C-86-A	C-86-A	C-88-A	C-90-A	C-90-A	C-91-A		
Coord x	4943590.08	4943564.18	4943564.18	4943419.80	4943607.43	4944439.91	4944073.02	4937448.45	4938301.17	4938301.17	4945332.19	4943644.66	4943644.66	4943855.79		
Coord y	2806312.78	2806889.09	2806889.09	2801266.62	2801266.62	2806605.38	2806912.96	2896384.40	2597904.03	2597904.03	2803496.47	2604173.68	2604173.68	2601839.84		
CE uS/cm	419.00	580.00	604.00	446.00	425.00	441.00	491.00	565.00	544.00	354.00	352.00	484.00	504.00	400.00		
pH	8.50	8.27	8.32	8.80	7.83	8.20	7.80	8.09	8.64	8.34	7.49	8.04	8.70	7.95		
TAC	149.00	140.00	268.00	123.00	197.70	137.00	137.00	232.00		153.00	138.00	155.00	94.70	187.00		
DUR	48.30	54.00	77.70	27.00	50.60	53.00	69.80	59.00	25.50	34.00	31.90	84.00	178.20	59.40		
TSD	251.00	371.00	392.00	382.00	200.00	400.00	304.00	362.00	365.00		202.00	310.00	350.00	185.00		
aniones	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
HCO3-	134.00	131.00	254.00	125.00	187.70	167.00	137.00	221.00	234.00	147.00	138.00	155.00	188.50	184.20		
SO4=	22.90	74.00	10.00	29.00	17.00	20.00	38.50	5.00	20.10	20.10	5.00	14.00	11.00			
Cl-	26.80	48.00	34.30	45.00	34.12	42.00	43.20	36.00	37.80	32.00	19.00	33.00	48.02	26.59		
NO3-	2.00	6.59	5.00	2.00	1.46	2.00	2.00	3.00					1.46	1.42		
sum aniones	185.7	259.59	303.3	201	240.28	231	220.7	265	291.9	199.1	162	188	251.98	223.21		
cationes	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Na+	77.50	112.00	113.00	85.00	85.39	73.00	87.80	105.00	120.00		67.90	67.00	61.84	68.32		
K+	1.20		1.02		0.74		0.80		1.40		0.40		0.88	0.75		
Ca++	12.60	12.00	16.10	6.00	12.04	13.00	18.30	10.00	4.80	6.00	7.50	18.00	21.06	14.40		
Mg++	4.10	5.00	9.10	3.00	4.99	5.00	5.50	8.00	3.40	4.00	3.20	10.00	10.23	5.70		
sum cationes	95.4	129	139.22	94	103.16	91	113	124	129.4	10	79	95	94.01	89.17		
NH4+	0.68		0.35	0.35		0.35	0.35	0.35	0.35	0.35		0.35		0.35		
Cl-+NO3-	28.8	54.59	39.3	47	35.58	44	45.2	39	37.8	32	19	33	49.48	28.01		
Na+ + K+	78.7	112	114.02	85	86.13	73	88.6	105	121.4	0	68.3	67	62.72	69.07		
aniones (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
HCO3-	2.20	2.15	4.16	2.05	3.08	2.74	2.25	3.62	3.84	2.41	2.26	2.54	3.09	3.02		
SO4=	0.48	1.54	0.21	0.60	0.35	0.42	0.80	0.10	0.42	0.42	0.10	0.00	0.29	0.23		
Cl-	0.75	1.35	0.97	1.27	0.96	1.18	1.22	1.01	1.06	0.90	0.54	0.93	1.35	0.75		
NO3-	0.03	0.11	0.08	0.03	0.02	0.03	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02		
Cl-+NO3-	0.79	1.46	1.05	1.30	0.98	1.22	1.25	1.06	1.06	0.90	0.54	0.93	1.38	0.77		
sum aniones	3.46	5.15	5.42	3.95	4.42	4.37	4.30	4.79	5.32	3.73	2.90	3.47	4.76	4.02		
cationes (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Na+ + K+	3.40	4.87	4.94	3.70	3.73	3.17	3.84	4.57	5.25	0.00	2.96	2.91	2.71	2.99		
Na+	3.37	4.87	4.91	3.70	3.71	3.17	3.82	4.57	5.22	0.00	2.95	2.91	2.69	2.97		
K+	0.03	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02		
Ca++	0.63	0.60	0.81	0.30	0.60	0.65	0.95	0.50	0.23	0.30	0.38	0.90	1.05	0.72		
Mg++	0.34	0.41	0.75	0.25	0.41	0.41	0.45	0.74	0.28	0.33	0.26	0.83	0.85	0.47		
sum cationes	4.37	5.88	6.50	4.24	4.75	4.24	5.24	5.81	5.76	0.63	3.60	4.64	4.61	4.18		
aniones(%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
HCO3-	63.47	41.72	76.84	51.84	69.68	62.65	52.26	75.64	72.11	64.61	77.97	73.22	64.95	75.10		
SO4=	13.78	29.95	3.84	15.28	8.02	9.54	18.67	2.17	7.87	11.23	3.59	0.00	6.13	5.70		
Cl-	21.81	26.27	17.83	32.07	21.77	27.07	28.32	21.17	20.02	24.17	18.44	26.78	28.43	18.63		
NO3-	0.93	2.06	1.49	0.82	0.53	0.74	0.75	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	0.57		
Cl-+NO3-	22.74	28.33	19.32	32.88	22.30	27.81	29.07	22.18	20.02	24.17	18.44	26.78	28.92	19.20		
sum aniones	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
cationes(%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Na+ + K+	77.83	82.78	76.03	87.09	78.63	74.91	73.28	78.59	91.14	0.00	82.25	62.79	58.82	71.51		
Na+	77.12	82.78	75.63	87.09	78.23	74.91	72.89	78.59	90.51	0.00	81.96	62.79	58.33	71.05		
K+	0.70	0.00	0.40	0.00	0.40	0.00	0.39	0.00	0.62	0.00	0.28	0.00	0.49	0.46		
Ca++	14.42	10.20	12.39	7.07	12.68	15.34	18.04	8.61	3.99	47.58	10.41	19.40	22.84	17.22		
Mg++	7.76	7.02	11.58	5.84	8.69	9.75	8.68	12.80	4.87	52.42	7.34	17.81	18.34	11.27		
sum cationes	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
Relaciones iónicas																
rNa/rK	109.79	#DIV/0!	188.33	#DIV/0!	196.17	#DIV/0!	186.58	#DIV/0!	145.71	#DIV/0!	288.58	#DIV/0!	119.46	154.86		
rMg/rCa	0.54	0.69	0.93	0.83	0.69	0.64	0.48	1.49	1.22	1.10	0.71	0.92	0.80	0.65		
rSO4/rCl	0.63	1.14	0.22	0.48	0.37	0.35	0.66	0.10	0.39	0.46	0.19	0.00	0.22	0.31		
rCl/rHCO3	0.34	0.63	0.23	0.62	0.31	0.43	0.54	0.28	0.28	0.37	0.24	0.37	0.44	0.25		
ich	-3.50	-2.60	-4.11	-1.92	-2.88	-1.68	-2.15	-3.50	-3.93	1.00	-4.54	-2.13	-1.00	-2.99		
Kr	1.45	1.40	2.41	1.08	1.79	1.70	1.68	1.87	1.50	1.20	1.24	1.80	2.16	1.87		
INDICE SAR	4.8	6.8	5.6	7.1	5.2	4.4	4.6	5.8	10.3	0.0	5.2	3.1	2.8	3.8		
Error (%)	12.02	6.67	9.04	3.54	3.60	-1.54	9.86	9.62	4.01	-71.08	10.77	14.41	-1.58	1.95		
Laboratorio	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament	Ajuntament		
$icb = (rCl - (rNa + rK)) / rCl$ $kr = (rCa * (rHCO3)^2) / (1/3)$ $Error(\%) = 100 * (rCat - rAn) / (rCat + rAn)$																

ANEXO 5. Tabla de datos hidroquímicos para los pozos C-71-A hasta C-91-A, EASY-QUIM. Los análisis químicos con errores >10% se encuentran en color rojo.