



FACULTAD DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

Universidad Nacional de La Pampa

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

**“Caracterización hidrogeológica en un sector ubicado al sur de la
región de la Planicie Pampeana Central”**

Viñas, Patrick

Tesina presentada para obtener el título de grado académico de
LICENCIADO EN GEOLOGÍA

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2023

Prólogo

Esta tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Licenciado en Geología de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo durante el periodo comprendido entre el 11 de marzo de 2022 y el bajo la dirección de la Dra. Lorena Ceballo y la Codirección de la Mg. Claudia Carina Arroyo.

(Firma del/la Tesinista)

(Fecha)

.....

Agradecimientos

- A la UNLPam y FCEyN, por permitir desarrollarme como profesional.
- A mi directora, la Dr. Lorena Ceballo y a mi codirectora, la Mg. Claudia Carina Arroyo, por guiarme en esta última etapa como estudiante, por la transmisión de los conocimientos y la predisposición.
- Al jurado, Dr. Eduardo Mariño y Lic. Carlos Mario Camiletti por responder a mis dudas durante la tesina y a lo largo de la carrera.
- A la Secretaria de Recursos Hídricos y a la Administración Provincial del Agua por dar acceso a información y bibliografía.
- Al INTA por facilitar los datos climáticos.
- A todos los docentes, que compartieron su experiencia y transmitieron conceptos, en especial a Viviana Martínez.
- A mi familia por su apoyo incondicional y por esforzarse siempre para que yo pueda estudiar.
- A mi novia, por estar al lado mío y por aconsejarme en todo momento.
- A mis amigos y compañeros, por acompañarme siempre.

Resumen

Esta tesis consistió en plantear el funcionamiento del sistema hidrogeológico en un sector ubicado al noreste de la localidad de Anguil, provincia de La Pampa, específicamente al sur de la región hídrica de la Planicie Pampeana Central. La misma se destaca por la presencia de una planicie uniforme, suavemente ondulada donde existen planicies arenosas y algunas áreas bajas, que funcionan en muchos casos como reservorios de agua. Antecedentes en la zona, arrojan valores de conductividad hidráulica de 0,64 m/d, transmisividad de 50 m²/d y coeficiente de almacenamiento de 1×10^{-2} .

La profundidad del nivel freático varió entre 2,5 y 7,5 m, mientras que la dirección predominante del flujo subterráneo es hacia el NE y SE, destacándose en el sector central del área de estudio el desarrollo de una zona de recarga. En este sector, las aguas son de tipo bicarbonatada sódica, en tanto que hacia las zonas de descarga aumenta la evolución en el campo aniónico, hacia aguas cloruradas. La conductividad eléctrica varió entre 765 y 6180 $\mu\text{S}/\text{cm}$, registrándose los valores más altos en el extremo SE.

Finalmente, la aptitud del agua subterránea para consumo humano está limitada principalmente por las concentraciones de fluoruro, que en algunas muestras alcanzan valores de 5,62 mg/l. La recopilación e interpretación de antecedentes y la actualización de la información hidrodinámica e hidroquímica realizada en esta tesina se espera contribuyan en el conocimiento hidrogeológico de un sector donde el agua subterránea es utilizada para distintos usos en las localidades aledañas.

Abstract

This thesis aimed to investigate the functioning of the hydrogeological system in a sector located to the northeast of Anguil, La Pampa province, specifically south of the hydric region of the Central Pampas Plain. The area is characterized by a uniformly, gently undulating plain, where there are sandy flats and some low areas, which often function as water reservoirs. Previous research in the area reports hydraulic conductivity values of 0,64 m/d, transmissivity of 50 m²/d, and a storage coefficient of 1×10^{-2} .

The depth of the water table varied between 2,5 and 7,5 m, while the predominant groundwater flow direction is towards the NE and SE, with the development of a recharge zone in the central sector of the study area. In this sector, the waters are of the sodium bicarbonate-type, while towards the discharge zones, the evolution in the anionic field increases towards chloride waters. Electrical conductivity varied between 765 and 6180 $\mu\text{S}/\text{cm}$, with the highest values recorded at the SE.

Finally, the suitability of groundwater for human consumption is mainly limited by fluoride concentrations, which in some samples reach values of 5,62 mg/l. The collection and interpretation of previous research, along with the hydrodynamic and hydrochemical information gathered in this thesis, are expected to contribute to the hydrogeological knowledge of an area where groundwater is used for various purposes in nearby towns.

Índice

Resumen	4
Abstract	5
Índice de figura.....	7
Capítulo 1: Introducción.....	8
1.1. Antecedentes	8
1.2. Ubicación del área de estudio.....	9
1.3. Objetivos de la investigación	10
1.4 Metodología aplicada	11
Capítulo 2: Climatología	12
Capítulo 3: Geología, geomorfología y suelo.....	15
3.1. Geología	15
3.2 Geomorfología y suelos.....	19
Capítulo 4: Hidrogeología	22
4.1. Características Generales	22
4.1.1. Piezometría.....	23
Capítulo 5. Hidroquímica y calidad de agua	25
5.1. Composición físico-química del agua subterránea.....	25
5.2. Variación espacial de los componentes principales	26
5.3. Clasificación hidroquímica.....	29
5.4. Aptitud del agua para los distintos usos	33
5.4.1. Consumo humano.....	33
5.4.2. Consumo ganadero y riego.....	36
Capítulo 6: Conclusiones.....	38
Bibliografía.....	40
Anexo	43

Índice de figura

Figura 1. Ubicación del área de estudio.	10
Figura 2. Histograma de las temperaturas registradas en el periodo 1973-2021.....	12
Figura 3. Histograma de las precipitaciones anuales registradas en el periodo 1973-2021.	13
Figura 4. Histograma de las precipitaciones mensuales registradas en el periodo 1973-2021.....	14
Figura 5. Balance de agua en el suelo. Tomado de Belmonte et al. (2017).	15
Figura 6. Columna estratigráfica y características hidráulicas del pozo B. Cutting realizado por el autor.	18
Figura 7. Perfil litológico entre los pozos de exploración B-A-F.	19
Figura 8 A y B. Fotos tomadas sobre un camino vecinal donde se observan las dos subregiones geomorfológicas.	20
Figura 9. A: Imagen de un cuerpo de agua superficial en la intersección de la ruta Nacional N° 5 y la ruta Provincial N° 7. B: Imagen en la cual se aprecia una lomada medanosa sobre la vera de la ruta Provincial N° 7, dentro del área de estudio.	21
Figura 10. Perfil de suelo típico del área de estudio.....	22
Figura 11. Esquema de flujo subterráneo donde se observa dirección de flujo y transectas realizadas para la determinación del gradiente hidráulico.	24
Figura 12. Relación entre algunos de los principales componentes del agua subterránea (Valores en mg/l).	26
Figura 13. Mapa de variabilidad espacial de Residuo Seco (mg/l).	27
Figura 14. Mapa de variabilidad espacial de fluoruro (mg/l).	28
Figura 15. Mapa de variabilidad espacial de arsénico (mg/l).	29
Figura 16. Diagrama de Piper para las muestras de agua. Rombo rojo: Clorurada y/o sulfatada sódica. Rombo verde: Bicarbonatada sódica. Rombo gris: Bicarbonatada cálcica y/o magnésica. Rombo celeste: Clorurada y/o sulfatada cálcica y/o magnésica.	30
Figura 17. Diagramas de Stiff del área de estudio.....	31
Figura 18. Ubicación de los siete pozos de exploración.	32
Figura 19. Diagrama de Schoeller para las muestras de agua de los pozos A, B y F en los distintos niveles ensayados.	33
Figura 20. Diagrama de Wilcox para determinar potencial de salinidad del suelo.	37

Índice de tabla

Tabla 1. Estratigrafía del área de estudio. Tomado y modificado de Wisner (2012).	17
Tabla 2. Descripción estadística de las variables analizadas en el área de estudio (Valores en mg/l). ..	25
Tabla 3. Aptitud de las muestras de agua subterránea.....	34
Tabla 4. Pozos muestreados por la APA en las diferentes secciones filtrantes.	35
Tabla 5. Clasificación de las muestras para uso ganadero. Bavera (2001).....	36

Capítulo 1: Introducción

1.1. Antecedentes

Los recursos hídricos son imprescindibles para el sostén de la vida y/o para satisfacer cualquier necesidad básica, como su utilización para consumo humano, para la ejecución de actividades productivas de tipo agrícola, ganadera o industrial. En áreas donde el agua es escasa, es de gran importancia conocer la calidad y cantidad del recurso, siendo indispensable un estudio previo del mismo para conocer sus características y limitaciones.

En la provincia de La Pampa, los escasos recursos hídricos superficiales en la mayor parte de su territorio generan una gran dependencia del recurso subterráneo, que a su vez cuenta con limitaciones como valores elevados de sales totales o de elementos como el fluoruro o arsénico (Mariani, 2011). En el área de estudio el acuífero freático se corresponde con el sector centro-norte del acuífero Toay-Santa Rosa-Anguila-Catrilló definido por Cavalié (1979), conformado por una serie de lentes inconexas que se extiende entre las localidades antes citadas. A su vez, los lentes mencionados se hallan dentro de la Planicie Pampeana Central descrita por Giraut *et al.* (2006).

Los aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos del área de estudio están expuestos en los varios trabajos. En 1977, Malán y Ruíz llevaron a cabo el trabajo denominado “Estudio hidrogeológico y determinación de las fuentes con el fin de abastecer de agua potable a la localidad de Anguil, dpto. Capital, provincia de La Pampa”. Para tal fin, realizaron un censo de pozos en esta localidad y en los sectores aledaños para elaborar los mapas hidroquímicos y, además, ejecutaron un pozo de exploración de 60 metros de profundidad.

Luego, entre 1979 y 1983, Cavalié realizó varios estudios en el área de trabajo y en zonas aledañas. De ellos, resultan relevantes para esta tesina el trabajo ejecutado en 1981 denominado “Principales características hidrogeológicas de los acuíferos ubicados entre las localidades de Anguil y Catrilló”, donde efectuó un censo de pozos y confeccionó los mapas de isocontenidos para sales totales, flúor y arsénico delimitando varias áreas con concentraciones bajas. Además, en la zona más cercana a la localidad de Anguil realizó seis pozos de exploración, uno de 115 m de profundidad y el resto osciló entre los 50 y 80 m de profundidad. De dichos pozos, resultó que a mayor profundidad disminuyen los contenidos de flúor en el agua subterránea.

Posteriormente, al año siguiente (1982) como continuación del estudio antes mencionado, Cavalié, efectuó el trabajo titulado “Estudio hidrogeológico para el área Anguil-Catrilló”, el cual

concluye con la delimitación de cinco lentes, teniendo en cuenta los tenores de salinidad y contenidos de flúor, menores a 2000 mg/l y 3000 mg/l respectivamente.

Entre los estudios realizados en la última década, se encuentra Wisner (2012), quien elaboró un modelo conceptual que caracterizó hidroquímica e isotópicamente los lentes que se desarrollan entre las localidades de Santa Rosa y Uriburu. Por su parte, Pérez (2016), contribuyó a la evaluación de los recursos hídricos subterráneos en el sector suroccidental del acuífero Anguil-Uriburu. Para ello, realizó sondeos eléctricos verticales, que permitieron distinguir capas del subsuelo con diferentes resistividades, relacionados con cambios litológicos (sedimentos arenosos y tosca) y/o variación en el contenido salino del agua subterránea.

Por último, Arroyo y Soto (2021) para la APA, efectuaron un trabajo denominado “Tareas exploratorias en la lente 2 de Cavalié”. Para ello, ejecutaron siete perforaciones de exploración en el área de estudio, con el objetivo de determinar caudal y calidad a distintas profundidades de la sección superior, que incluye los primeros 80 metros del acuífero libre. Los resultados alcanzados demostraron que hasta la profundidad estudiada no se encontró agua apta para consumo humano en ninguno de los niveles ensayados.

1.2. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada al noreste y noroeste de Anguil y Uriburu respectivamente, presentando una forma irregular que comprende una superficie de 60 km². El principal acceso es mediante la ruta provincial N° 7, distante 14 km al norte de la ruta nacional N° 5 (Figura 1). Desde el punto de vista de las regiones hídricas, se localiza al sur de la Planicie Pampeana Central (Giraut *et al.*, 2006).

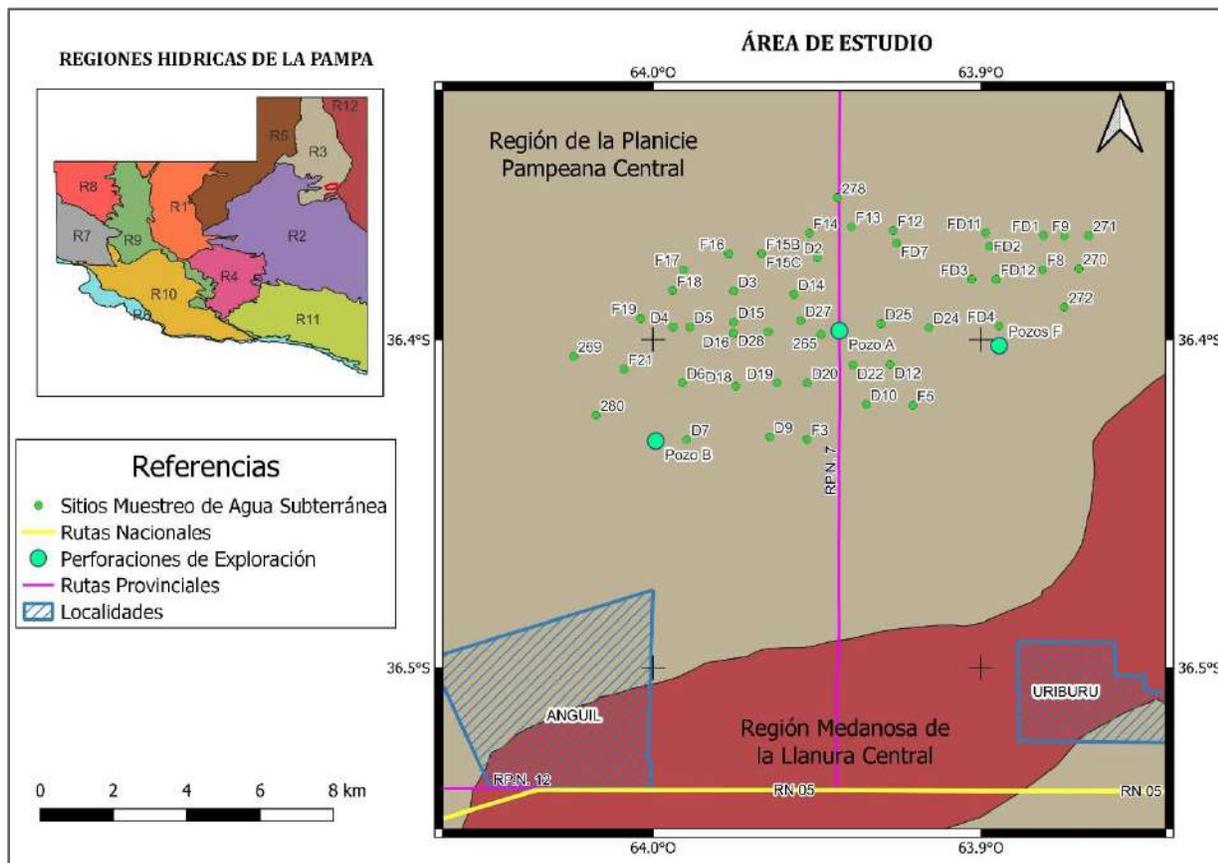


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

1.3. Objetivos de la investigación

El objetivo general de esta tesina es plantear el funcionamiento del sistema hidrogeológico en un sector ubicado al sur de la región hídrica de la Planicie Pampeana Central, al noreste de la localidad de Anguil, provincia de La Pampa.

Los objetivos específicos son:

- Interpretar el comportamiento hidrodinámico del sistema.
- Analizar la variación espacial de los tipos químicos del agua subterránea.
- Evaluar la aptitud del agua subterránea para los distintos usos (consumo humano, ganadero y riego).

1.4 Metodología aplicada

Las tareas realizadas incluyen las siguientes etapas:

- Tareas de Gabinete inicial

La descripción del área de estudio fue realizada a partir de la recopilación y análisis de la información existente relacionada con la climatología, geomorfología, geología e hidrogeología del área de estudio, procesando datos e información de distintos autores e instituciones. A su vez, mediante la utilización de Google Earth y QGIS v.3.20.0, se confeccionó el mapa base y se identificaron sitios de medición de nivel freático y muestreo de agua subterránea.

- Tareas de Campo

A partir del mapa base confeccionado se determinó la localización del área de estudio y se realizó un reconocimiento general de la zona, ubicando los sitios de muestreos de aguas subterráneas (n= 53), provista por la Secretaría de Recursos Hídricos (SRH) y las perforaciones de exploración (n=3) realizadas por la Administración Provincial del Agua de La Pampa (APA).

- Tareas de Laboratorio

En el pabellón de Geología del Campus de la UNLPam se realizó la descripción del cutting procedente de 3 perforaciones de exploración realizadas por la APA, utilizando una lupa binocular de 10X de aumento. En base a los resultados obtenidos, se confeccionaron los perfiles litológicos utilizando el software CorelDraw 19.

Las determinaciones físico - químicas en las 53 muestras de agua subterránea fueron realizadas en el laboratorio de la APA y consistieron en la determinación de iones mayoritarios (cloruro, sulfato, bicarbonato, calcio, magnesio, sodio), nitrato, arsénico, fluoruro, pH, conductividad eléctrica (CE), residuo seco (RS), dureza y alcalinidad.

- Tareas de Gabinete final

Para el tratamiento de los datos químicos se empleó el software Easy Quim, a partir del cual se obtuvieron los diagramas hidroquímicos de Piper, Schoeller-Berkaloff, Wilcox y Stiff. Estos últimos fueron procesados con el software Golden Surfer Software 16 y posteriormente con el software QGIS v.3.20.0, con el fin de obtener mapas con información hidroquímica.

Capítulo 2: Climatología

En La Pampa, los elementos y los factores del clima de mayor influencia son la temperatura (elevada) y las precipitaciones (bajas), siendo grandes limitantes en el ámbito hídrico. A su vez, la acción negativa de los vientos (erosión y/o incremento del déficit hídrico) es una limitante muy notoria (Casagrande y Conti, 1980).

El área de trabajo corresponde a la subregión de las planicies con tosca (Cano et. al., 1980). Esta subregión presenta una extensión N-S manifestando diferencias en los regímenes de temperaturas (N-S) y de humedad (W-E). Según los datos brindados por la Estación Experimental del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Anguil (INTA), la temperatura media anual para el periodo 1973-2021 fue de 15,4°C, con valores promedios máximos en enero (23°C), y mínimos en julio (7,4°C) (Figura 2).

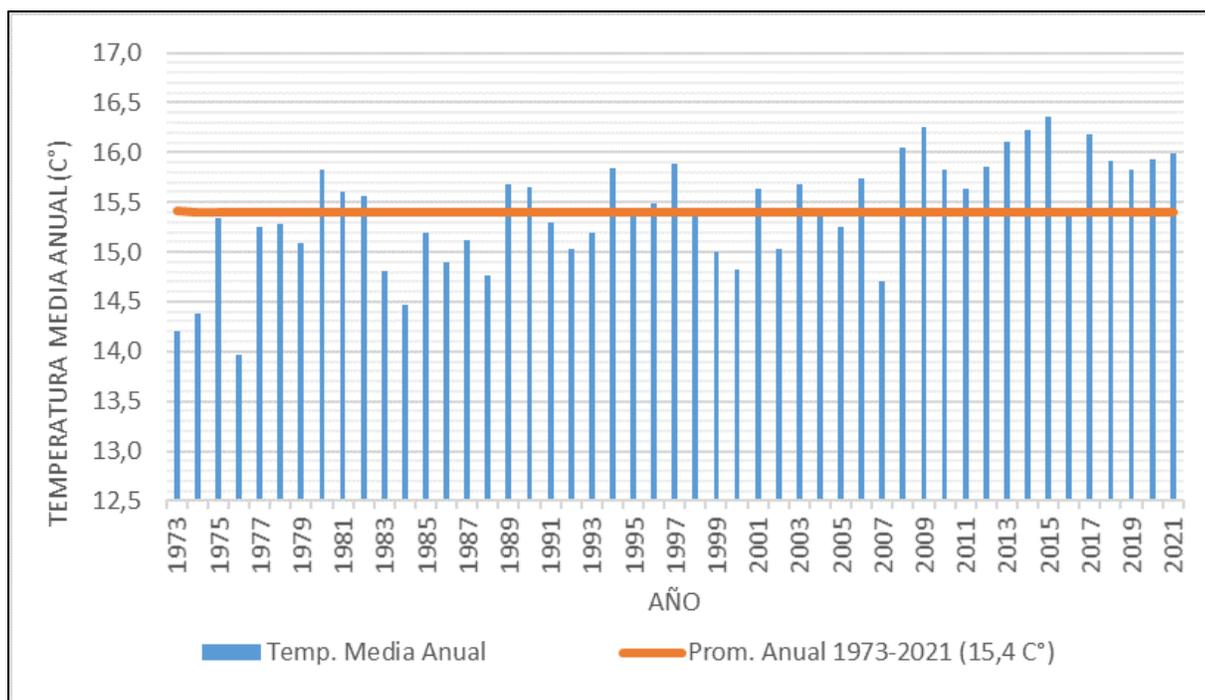


Figura 2. Histograma de las temperaturas registradas en el periodo 1973-2021.

Los vientos tienen una predominancia en las direcciones N-NE y S-SW, comportamiento similar al observado en toda la provincia (Cano et. al., 1980). Acorde a las características de regiones semiáridas, las precipitaciones presentan variaciones muy amplias tanto en los totales mensuales como en los anuales. Según los registros pluviales, también brindados por el INTA Anguil para el periodo 1973-2021, se observó que la precipitación media anual en las áreas cercanas a las instalaciones de la

estación fue de 768,7 mm. El análisis de los datos refleja períodos disímiles entre sí, siendo 2001 (1149,6 mm) el año más lluvioso y 2003 (449,6 mm) el más seco (Figura 3).

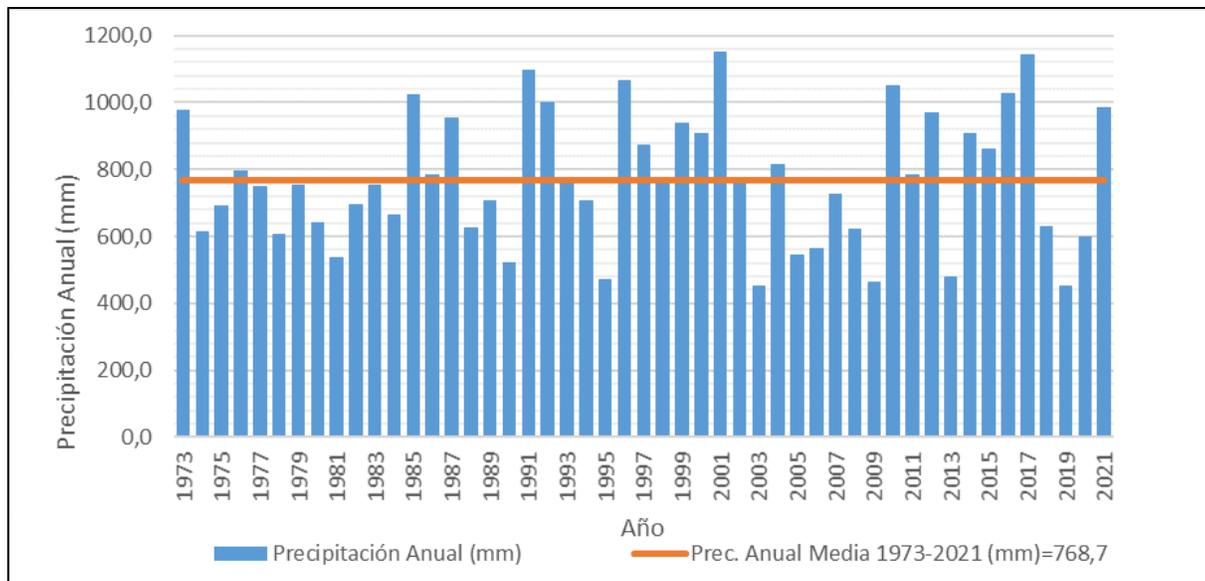


Figura 3. Histograma de las precipitaciones anuales registradas en el periodo 1973-2021.

Con respecto a la estacionalidad de las precipitaciones, en la Figura 4 se pueden diferenciar dos épocas:

- Primavera-verano, donde se producen las mayores precipitaciones, siendo marzo el mes donde se registran los mayores volúmenes.
- Otoño-invierno, disminuyen las lluvias, dándose en junio el menor registro.

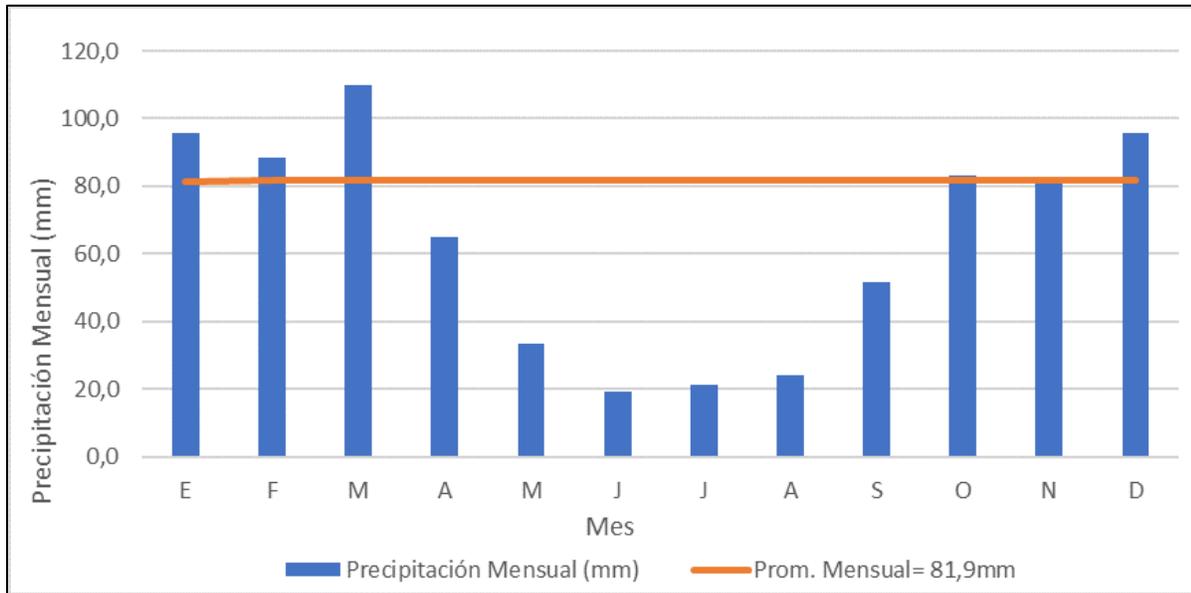


Figura 4. Histograma de las precipitaciones mensuales registradas en el periodo 1973-2021.

De acuerdo a Belmonte *et al.* (2017), para la zona de Anguil la evapotranspiración potencial (ETP) media anual es de 1146 mm y la evapotranspiración real (ETR) es de 970 mm, lo que produce un déficit hídrico del orden de 350 mm, concentrado en su mayoría en los meses estivales. En la Figura 5 se muestran los resultados del cálculo, donde puede observarse que enero presenta la máxima ETP (183,3 mm) en coincidencia con el mes de máxima temperatura (23,1°C). En las estaciones de primavera y verano se registran los valores de ETP más altos, en tanto que los mismos disminuyen hacia el otoño y el invierno.

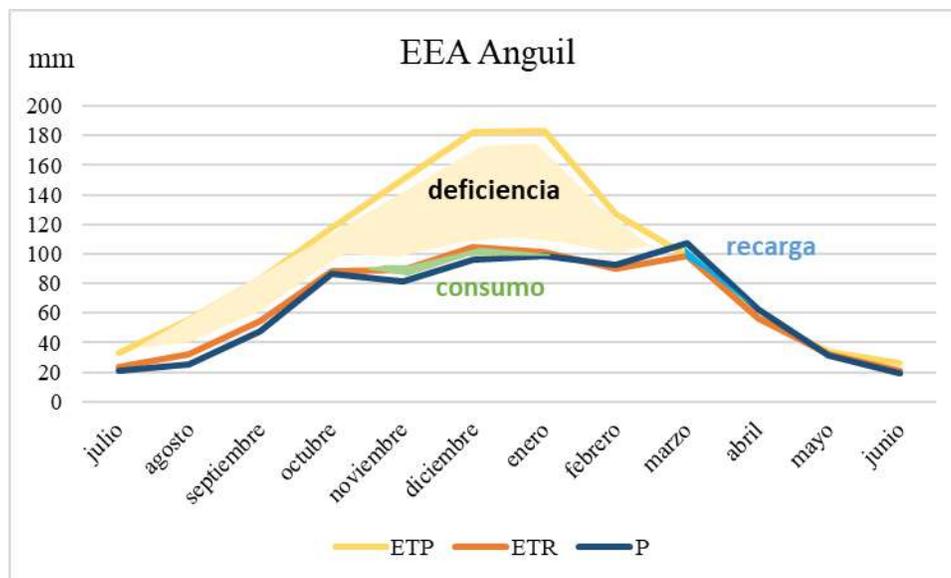


Figura 5. Balance de agua en el suelo. Tomado de Belmonte *et al.* (2017).

Capítulo 3: Geología, geomorfología y suelo

3.1. Geología

Tectónicamente, la zona se emplaza en el ámbito del depocentro Uriburu, uno de las más importantes de la Cuenca de Macachín, estructura originada por procesos extensionales ocurridos durante el Jurásico medio al Cretácico inferior, relacionados con la fragmentación de Gondwana y la apertura del océano Atlántico (de Elorriaga, 2010).

El basamento cristalino ha sido alcanzado por varias perforaciones y se encontró a una profundidad de 2417 m en la localidad de Uriburu (Salso, 1966). Presenta carácter ígneo metamórfico similar en edad y composición al de las Sierras Pampeanas Orientales (Camino, 1979), en el sector central de la provincia, mientras que hacia el este se constituye por sedimentitas paleozoicas relacionadas al cratón del Río de la Plata (de Elorriaga, 2010; Apud Higonet, 2015).

Sobre el basamento se encuentra depositada la Formación Arata, con un espesor variable en toda su distribución, pero de acuerdo a datos sísmicos de Herrero Ducloux (1978) es de 550 m en la localidad de Anguil. Salso (1966), diferenció un nivel inferior conformado por areniscas finas a medianas, gris rojizo y violáceo, con escasa mica y yeso, y un nivel superior compuesto por arcillas compactas, de color predominantemente violáceo y gris verdoso con mica, yeso y carbonato de calcio. Salso (1966) la asignó al Permo-Triásico, difiriendo de estudios posteriores que la atribuyen al Cretácico (Yrigoyen, 1975).

A continuación, se depositó la Formación Abramo, asignada al Cretácico superior por Salso (1966), correlacionándola a los “Estratos con Dinosaurios”. Se trata de limoareniscas pardo rojizo y areniscas finas más claras con niveles de arcillas, con un espesor de 300 metros (Salso, 1966).

Posteriormente, yace la Formación Macachín, compuesta de areniscas pardo-rojizas alternantes con fangolitas y arcillitas arenosas, en su nivel basal, que serían el inicio de una ingresión marina. Hacia su techo la secuencia incluye areniscas gruesas, conglomerádicas con matriz arenosa y cemento arcilloso. En todo su espesor (500 metros en su máximo registro) hay presencia de yeso y anhidrita, propios de un mar mediterráneo, y en menor proporciones, de carbonatos y material piroclástico (Salso 1966).

Por encima del mismo, se apoya en discordancia la Formación Cerro Azul (Llambías, 1975; Linares et al., 1980; Visconti *et al.*, 2010), homogénea en el ámbito regional, aunque localmente se observan heterogeneidades. Está compuesta por areniscas finas limosas y limolitas arenosas con intercalaciones arcillosas dispersas y carbonato de calcio en casi toda su dimensión. El espesor es variable y alcanza, en la localidad de Anguil, un máximo de 154 metros (Salso, 1966) y muestra distintas estructuras (conglomerádica, concrecional, lajosa y hasta finamente estratificada), lo que revela diferentes condiciones de movilización y sedimentación del carbonato de calcio (Carballo y Sbrocco, 1996), afectando la infiltración y facilitando el escurrimiento sub-superficial.

Sobre esta última se apoyan en discordancia depósitos cuaternarios de origen eólico y espesor variable con un máximo de 32 metros (Salso, 1966), denominada informalmente “Formación Meauco” (Giai, 1975). Puede contener intercalaciones calcáreas en distintos niveles y compone el material parental de los suelos (ver tabla 1).

Tabla 1. Estratigrafía del área de estudio. Tomado y modificado de Wisner (2012).

Período	Unidad Litoestratigráfica	Litología
Reciente	Suelos	
Pleistoceno tardío-Holoceno	Fm. Meauco	Arenas medias a finas
Mioceno	Fm. Cerro Azul	Areniscas finas limosas y limolitas arenosas
	Fm. Macachín	Areniscas con intercalaciones de fangolitas y arcillitas arenosas
Cretácico	Fm. Abramo	Limoareniscas-Areniscas finas
	Fm. Arata	Areniscas finas a medianas
Proterozoico tardío-Paleozoico	Basamento	Centro: Anfibolitas-Gneisses-Rocas Graníticas Este: Sedimentitas paleozoicas

En el plano local, la descripción litológica se realizó en base al cutting de una de las perforaciones de exploración de la APA. Cabe aclarar que, si bien la APA realizó 7 pozos de exploración, en esta tesina se describieron texturalmente 3 pozos, denominados A, B y F (ver descripción en anexo, Figura 1 y 2). En la Figura 6, se expone el perfil litológico elaborado para el pozo B y la información hidráulica aportada por la APA. Luego en la Figura 7 se muestra una correlación litológica preliminar ejecutada entre los pozos B-A-F, donde se observa que el terreno presenta una inclinación de oeste (Pozo B= 164 msnm) a este (Pozo F=151 msnm). La columna estratigráfica remata en sedimentos arenosos cuaternarios de origen eólico. Por debajo se encuentran areniscas finas limosas con presencia de carbonato. Por último, se observan areniscas muy finas limosas con patinas de manganeso. Puntualmente en el pozo B, entre los 6 y 12 metros, se halla un nivel de limolita, mientras que en el pozo F, en los últimos 10 metros se encuentra material volcánico (triza).

POZO B

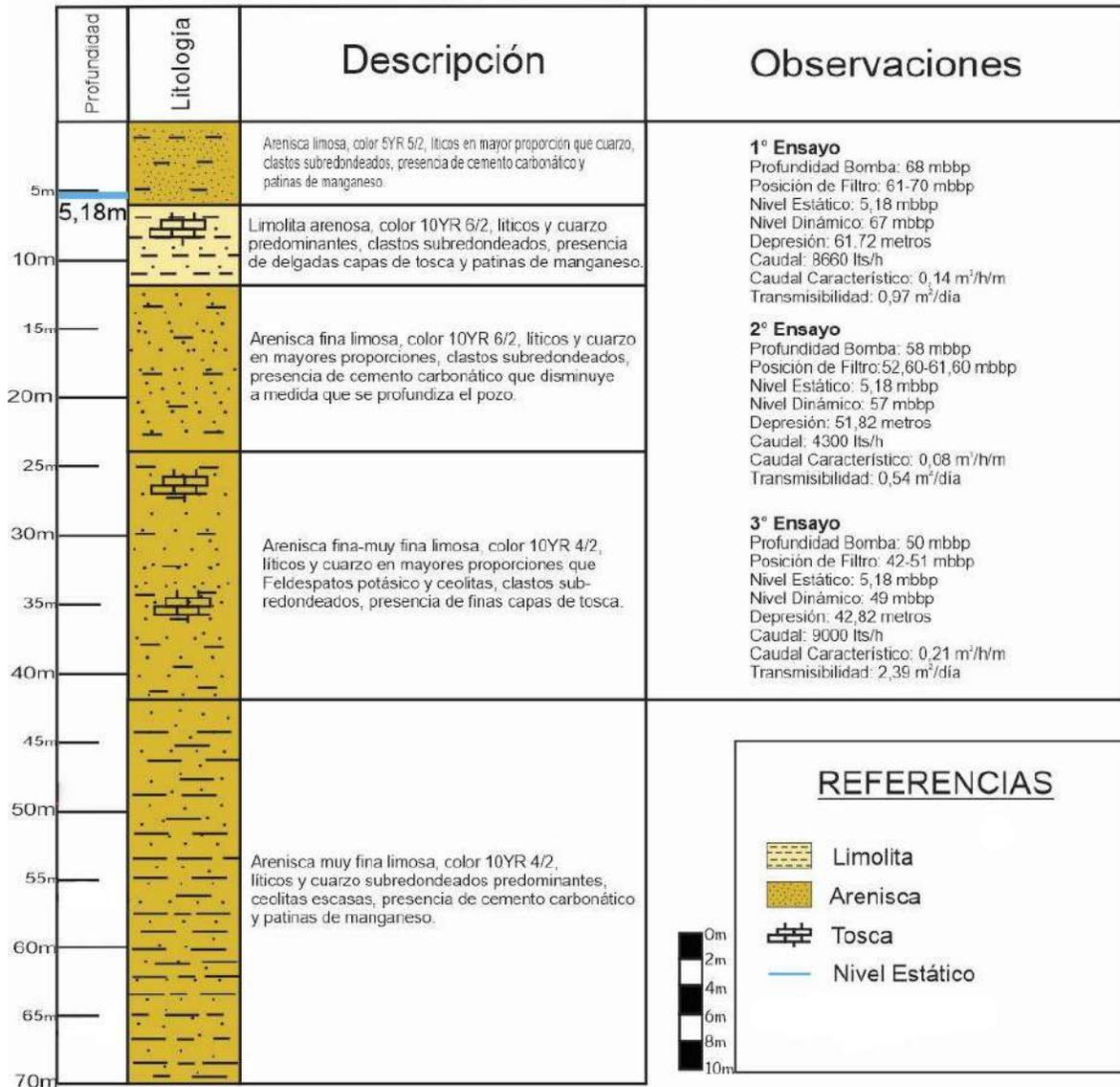


Figura 6. Columna estratigráfica y características hidráulicas del pozo B. Cutting realizado por el autor.

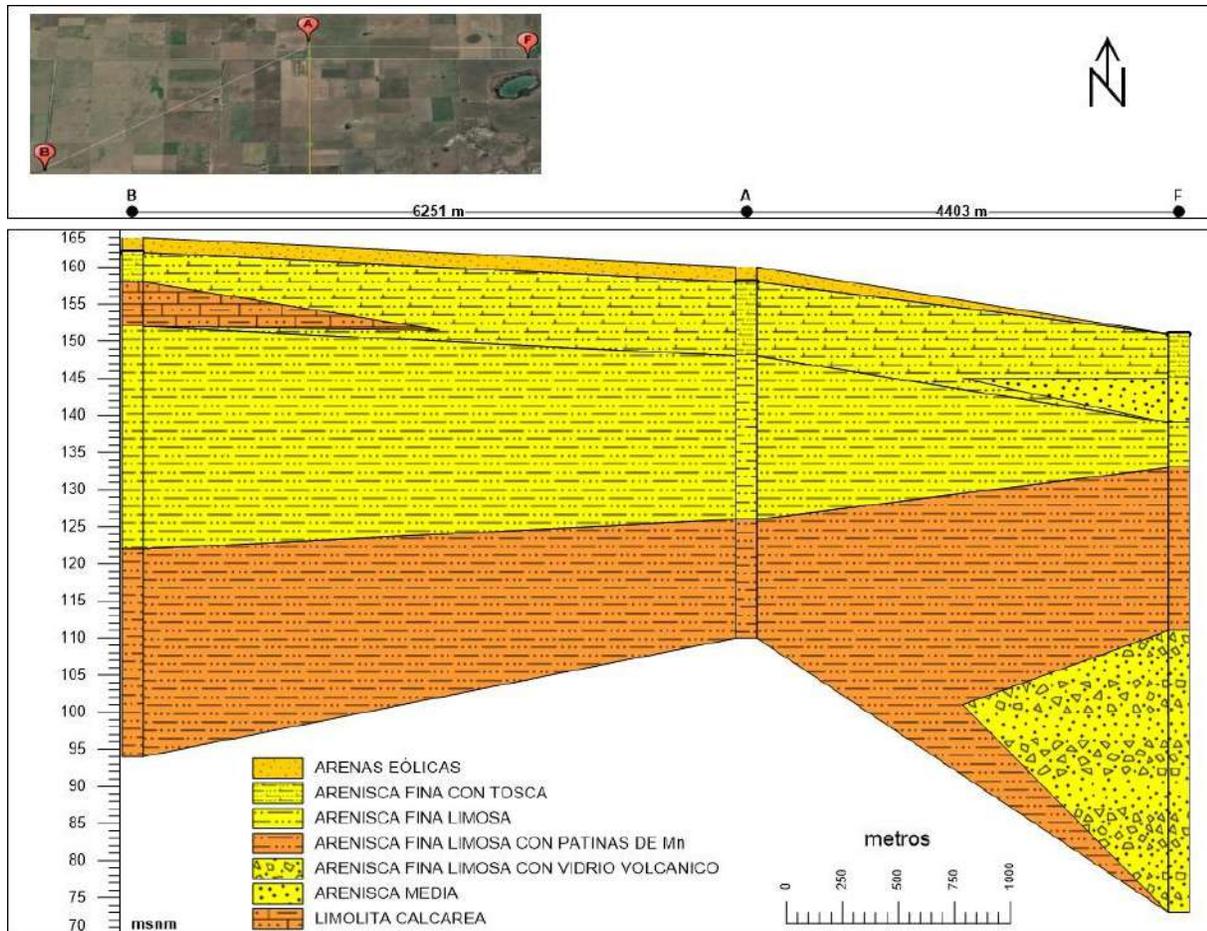


Figura 7. Perfil litológico entre los pozos de exploración B-A-F.

3.2 Geomorfología y suelos

El área de trabajo se encuentra en una zona de transición entre dos subregiones geomorfológicas: Subregión de las planicies con tosca y Subregión de las planicies medanosas (Cano *et al.*, 1980). En las Figuras 8A y 8B se observa la transición entre las subregiones mencionadas. Las imágenes fueron tomadas sobre una calle vecinal que tiene dirección E-O, en cercanías al pozo de exploración F de APA, en el sector oriental del área de estudio.

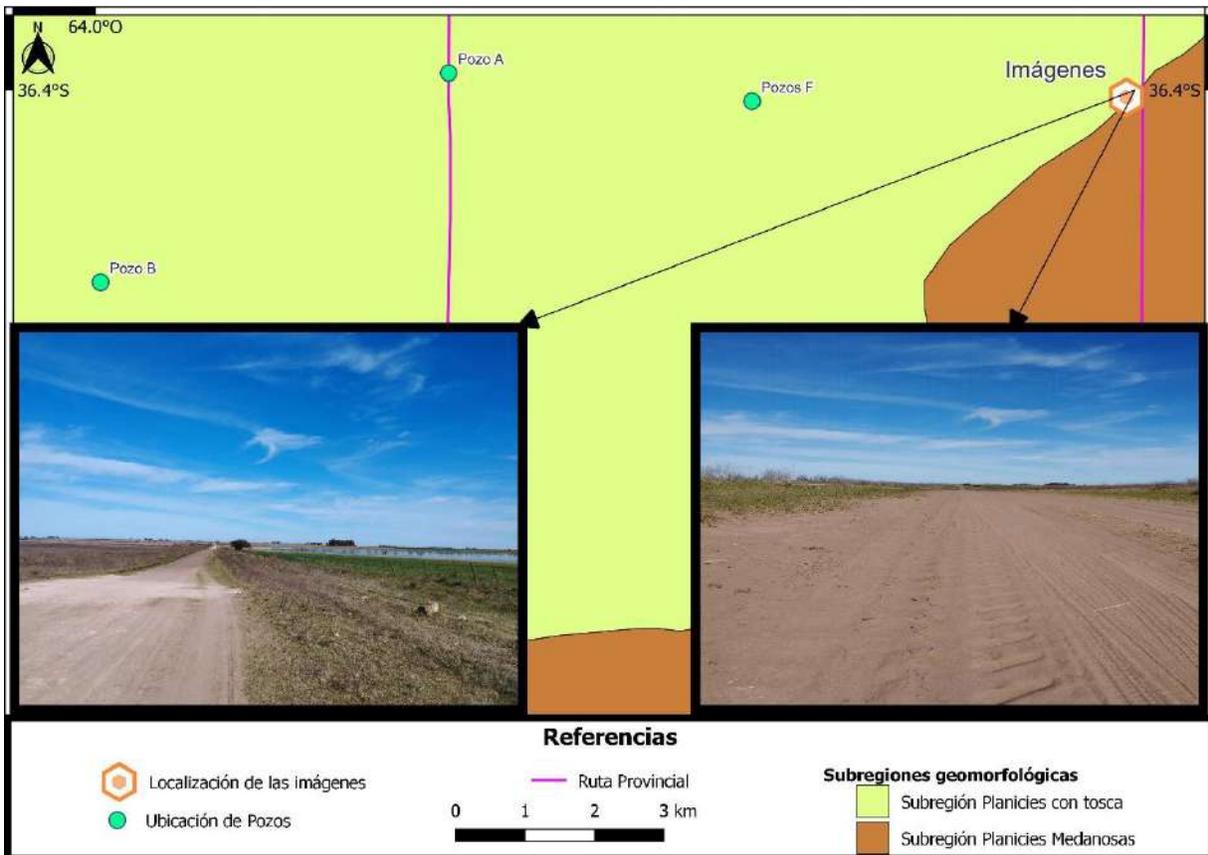


Figura 8 A y B. Fotos tomadas sobre un camino vecinal donde se observan las dos subregiones geomorfológicas.

Foto A: Vista hacia el O. Subregión: Planicie con tosca.

Foto B: Vista hacia el E. Subregión: Planicies Medanosas.

La primer Subregión mencionada se caracteriza por la presencia de una costra calcárea difundida y originada por acciones hídricas de escurrimiento difuso en épocas pasadas que subyace por debajo de un manto arenoso depositado por acción eólica (Cano *et al.*, 1980). Dicha costra calcárea es continua y potente, con espesores entre 0,40 y 2 m, y se encuentra por encima de la formación Cerro Azul con una pendiente regional al E. La Subregión de las planicies medanosas está definida por ondulaciones arenosas con sentido NE-SW y médanos aislados, intercaladas con planicies arenosas de aproximadamente 3 a 4 km de ancho. El sedimento arenoso presenta una potencia de 3 m en el O y alcanza unos 6 m en el E, siendo un excelente receptor de aguas meteóricas. En las partes elevadas desprovistas de la capa arenosa, el proceso de recarga se ve restringida generando escurrimiento del agua hacia bajos vecinos. Se encuentran acumulaciones de ceniza volcánica, suelos enterrados y paleohorizontes (Cano *et al.*, 1980).

El micro relieve está compuesto por pequeñas depresiones y lomas (Figura 9 A y B). Intercaladas entre las ondulaciones existen planicies arenosas y algunas áreas bajas, que funcionan en

muchos casos de reservorios de agua circunstanciales, temporarios o permanentes, de distinta importancia.



Figura 9. A: Imagen de un cuerpo de agua superficial en la intersección de la ruta Nacional N° 5 y la ruta Provincial N° 7.
B: Imagen en la cual se aprecia una lomada medanosa sobre la vera de la ruta Provincial N° 7, dentro del área de estudio.

Con respecto al suelo, el paisaje se compone de llanos ondulados que forman un paisaje de antiguos médanos que en la actualidad se encuentran bastante rebajados. Los suelos poseen poca evolución genética, presentando un sencillo perfil del tipo A-AC-C, aumentando los carbonatos en profundidad (Cano *et al.*, 1980). En la Figura 10 se expone un perfil típico de la subregión planicie con tosca, donde se observa un horizonte de 0,90 m de sedimentos eólicos que se apoyan sobre una costra calcárea (tosca).



Figura 10. Perfil de suelo típico del área de estudio.

El escaso nivel evolutivo de los suelos se debe al drenaje natural excesivo, baja capacidad de retención, erosión eólica moderada y en algunos casos existe peligro de erosión hídrica. Se clasifican mayoritariamente como Haplustol Éntico, familia franco gruesa mixta, térmica y en menor proporción Ustipsament típico, familia silíceo, térmica (Cano *et al.*, 1980). El uso de la tierra se orienta a la agricultura y la ganadería, condicionado por el clima y sus factores principales que actúan en el área.

Capítulo 4: Hidrogeología

4.1. Características Generales

En el área de trabajo el acuífero libre se aloja dentro de la región hidrogeológica Llanura Chaco pampeana árida (Auge, 2004) y en la provincia de La Pampa se corresponde con la región de la Planicie Pampeana Central (Giraut *et al.*, 2006), dominada por la presencia de una costra calcárea

cubierta por sedimentos de origen eólico. El esquema hidrogeológico de la zona se basa en datos de la perforación de exploración de 748,30 metros de profundidad denominada Uriburu N°1, ejecutada en 1970 por la Dirección Nacional de Geología y Minería. La misma, es una de las más profundas realizadas en la zona. Solo la sección superior del perfil, hasta aproximadamente los 80-100 metros, presenta características interesantes, con aguas de buena calidad y con rendimientos muy superiores a las capas infrayacentes. Las secciones acuíferas ensayadas por debajo de los 100 metros muestran contenidos salinos que oscilan entre 49,8 y 92,2 g/l, conclusiones alcanzadas posteriormente también por otros autores (Cavalié, 1982; Giai y Tullio, 1998).

Geológicamente, se encuentra en los depósitos sedimentarios de Fm. Cerro Azul, constituidos por limolitas, areniscas finas y arcillas, con intercalaciones calcáreas (tosca) en forma de nódulos o planchas. En dicha formación, las variaciones laterales y verticales en el aspecto litológico, pueden ser notables a corta distancia, lo que determina variaciones en la permeabilidad y consecuentemente en los caudales factibles de extraer en las obras de captación (Malán *et.al.*, 1977), predominando las condiciones de acuífero a acuitardo. En función de la densidad, aquellas aguas con mayor contenido salino ocupan los niveles más profundos, lo cual de acuerdo a Cavalié (1981) genera una estratificación. A ello se suma la presencia de una intercalación arcillosa que, dependiendo de las zonas, actúa como basamento técnico para el acuífero aprovechable en la región. Dicho autor determinó también que localmente las zonas de mayor relieve constituyen las áreas de recarga con valores menores de salinidad, mientras que los bajos actúan como áreas de descarga, con aumentos graduales y notorios del tenor salino.

De acuerdo a la información recopilada del área de investigación, el nivel freático ha variado en las últimas décadas, encontrado en los estudios más recientes a profundidades de entre 2,5 y 7,5 metros. En relación a los parámetros hidráulicos del acuífero, Cavalié (1983) indicó valores de transmisibilidad (T) de 50 m²/día y un coeficiente de almacenamiento (S) de 1x10⁻². En base a la información aportada en la Figura 6, se observa que el caudal característico oscila entre 0,08 m³/h.m y 0,21 m³/h.m, obteniéndose los mayores caudales en el sector ensayado entre los 42 y 51 mbbp.

4.1.1. Piezometría

Para la elaboración del mapa piezométrico de la zona se utilizaron los niveles estáticos medidos en pozos y/o perforaciones de los establecimientos ganaderos (SRH), donde se registró que el nivel freático osciló entre 2,5 y 7,5 m de profundidad. Las cotas topográficas han sido establecidas a partir de un modelo digital del terreno MDT. Esta información permitió generar la red de flujo subterráneo

que se muestra en la Figura 11, donde se observa el desarrollo de una zona de recarga en el sector central del área de estudio, en coincidencia con el desarrollo de la RP7. Hacia el este de esta ruta, la dirección del flujo subterráneo a partir de la isopieza de 160 msnm, es divergente hacia el NE y hacia el SE, en coincidencia con la presencia de bajos inundables, los cuales actúan como áreas de descarga del flujo subterráneo. Así entre las isopiezas de 160 msnm y 142 msnm se observan los mayores gradientes hidráulicos y particularmente en la transecta A-A' se obtienen valores de 0,6 % (transecta A-A'). Hacia el oeste de la RP7 la componente dominante muestra un sentido de escurrimiento SO-NE, excepto en el extremo sur donde el flujo subterráneo es hacia el SE. Los gradientes hidráulicos son menores, con valores de 0,19 % (transecta B-B'). En base a estos gradientes hidráulicos y considerando una conductividad hidráulica de 0,64 m/d (García, 2017), la velocidad de Darcy es de 0,38 cm/d en el sector oriental y de 0,12 cm/d hacia el oeste del área de estudio.

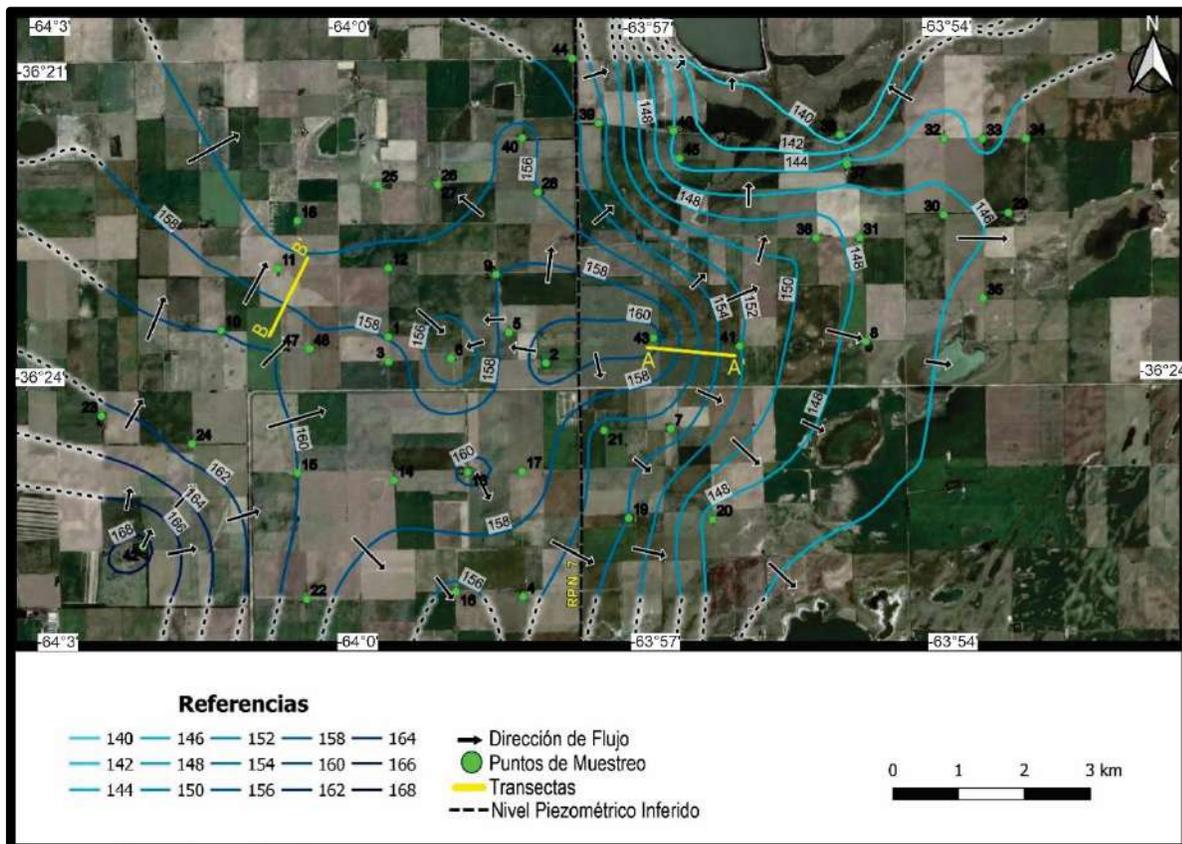


Figura 11. Esquema de flujo subterráneo donde se observa dirección de flujo y transectas realizadas para la determinación del gradiente hidráulico.

Capítulo 5. Hidroquímica y calidad de agua

5.1. Composición físico-química del agua subterránea

En base a los resultados físico-químicos de las 48 muestras de agua subterránea, se obtuvieron los principales estadísticos (Tabla 2), a partir de los cuales se observa:

- Gran variación en la CE, indicador de la salinidad del agua, donde el máximo valor registrado supera en 8 veces el valor mínimo hallado.
- La alcalinidad se encuentra representada básicamente por bicarbonatos, lo cual es coherente con los pH hallados (ver Figura 10, en anexo).
- La concentración de Cl^- está comprendida entre 24 y 1520 mg/l, con una media de 248,42 \pm 290,98, lo cual evidencia gran dispersión en este componente.
- El ion Na^{++} presenta un comportamiento similar al Cl^- , fluctuando en un rango de 95 y 900 mg/l.
- Los tenores de F^- presentan una media de 1,64 mg/l, presentando valores mínimo y máximo de 0,6 mg/l y 5,62 mg/l, respectivamente.

Tabla 2. Descripción estadística de las variables analizadas en el área de estudio (Valores en mg/l).

VARIABLES	N	Mínimo	Máximo	Medio	Desv. Estand.	Mediana
Residuo Seco	48	514,00	3728,00	1223,25	764,63	890,00
C.E.	48	765,00	6180,00	1825,60	1125,70	1360,50
Alcalinidad Total	48	248,00	680,00	360,92	78,85	338,00
Dureza Total	48	120,00	1060,00	298,42	189,15	231,00
pH	48	7,31	8,51	7,85	0,19	7,86
HCO_3^-	48	248,00	680,00	360,92	78,85	338,00
SO_4^-	48	37,00	1050,00	216,34	213,62	125,75
Cl^-	48	24,00	1520,00	248,42	290,98	128,00
NO_3^-	8	3,90	155,10	55,79	63,87	27,45
Na^+	48	95,00	900,00	263,73	197,14	175,00
Ca^{++}	48	27,20	176,00	67,80	33,14	57,60
Mg^{++}	48	7,80	150,70	31,33	27,73	20,90
F^-	48	0,55	5,62	1,64	0,90	1,38
As Total	48	0,03	0,13	0,03	0,02	0,03

La relación entre los componentes del agua subterránea se analizó mediante gráficos de dispersión lineal, alguno de los cuales se exponen a continuación (Figura 12). En ellos puede observarse una relación directa entre CE y Cl^- con un R de 0,8, así como también en la relación Na^+ vs Cl^- ($R=0,89$) y Mg^{+2} vs. Ca^{+2} ($R=0,84$). Por otro lado, para la relación F^- vs Residuo Seco no se encontró una relación directa, lo cual indica que un incremento en la salinidad del agua no necesariamente implica un aumento en la concentración de este elemento.

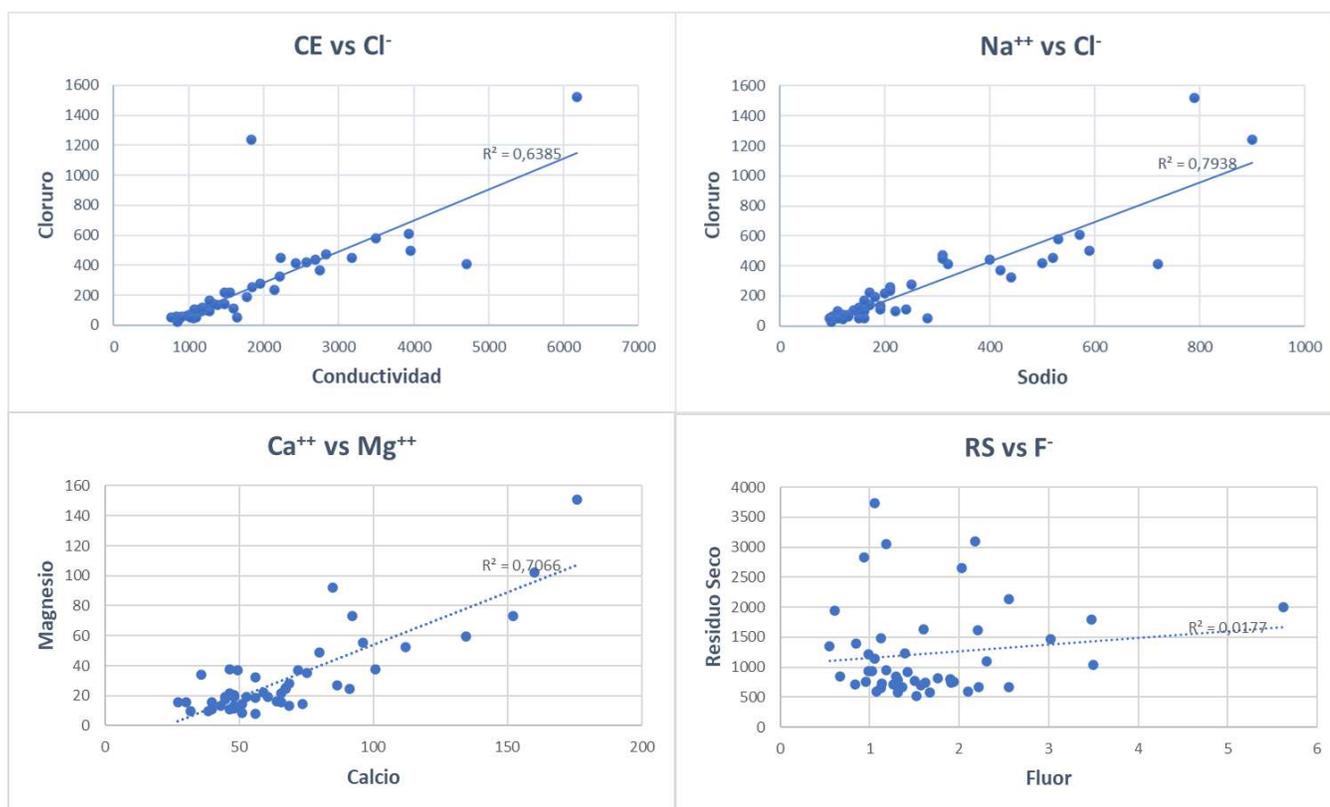


Figura 12. Relación entre algunos de los principales componentes del agua subterránea (Valores en mg/l).

5.2. Variación espacial de los componentes principales

Se seleccionaron algunas de las variables hidroquímicas para hacer un análisis de su distribución espacial. En el caso de la alcalinidad total, presenta menores concentraciones en las zonas SO y SE del área estudiada, con valores inferiores a 300 mg/l (ver mapa en Figura 7, Anexo). Con respecto a la variación de residuo seco (Figura 13), se registra un incremento en esta variable en coincidencia con los sectores deprimidos del relieve (bajos inundables), particularmente hacia el SE con una curva

de 3400 mg/l. En el caso del fluoruro (Figura 14), se observó que las concentraciones mínimas se encuentran en el cuadrante SO, donde también se registran bajos valores de conductividad eléctrica (curvas de 600 a 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (ver Figura 9, en anexo). Finalmente, en cuanto a las concentraciones de arsénico (Figura 15), gran parte ($n=31$ muestras) de los valores obtenidos se corresponden con un valor de 0,025 mg/l, lo cual dificulta trazar curvas de isocontenido por debajo de dicho valor. Ello se debe al límite de detección de la metodología empleada.

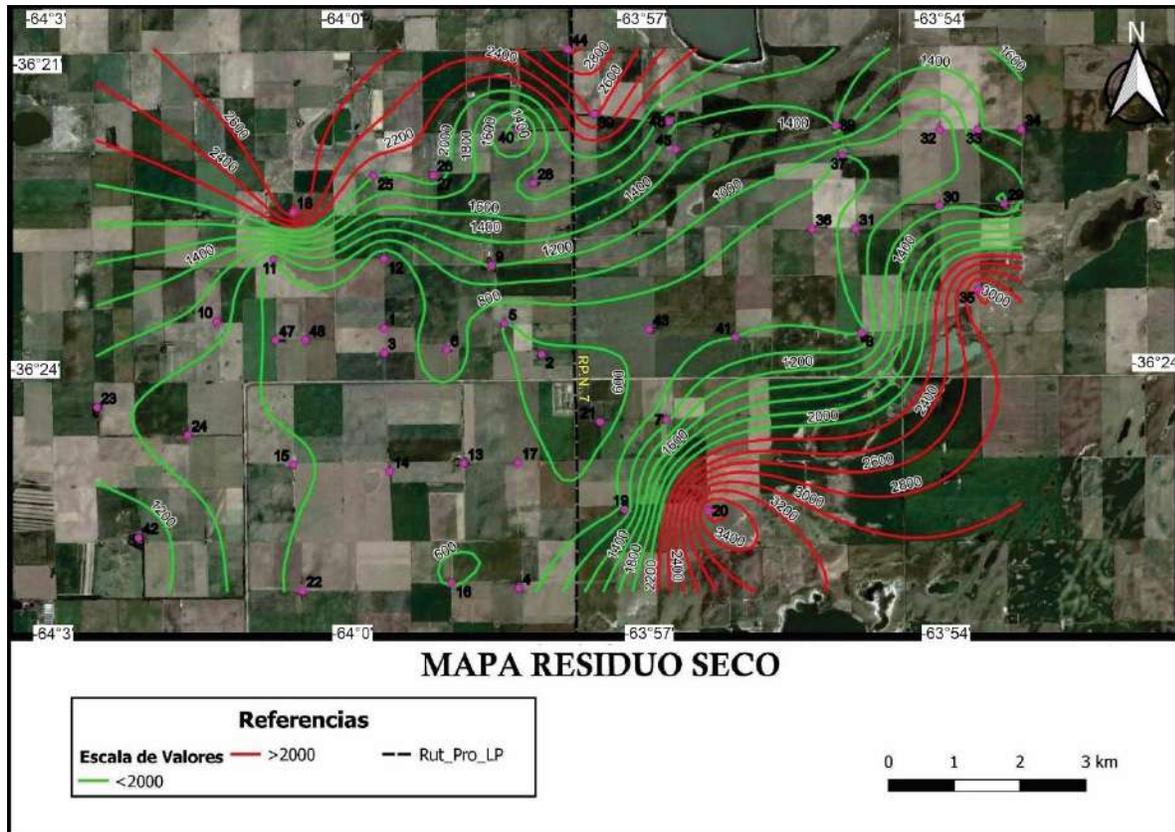


Figura 13. Mapa de variabilidad espacial de Residuo Seco (mg/l).

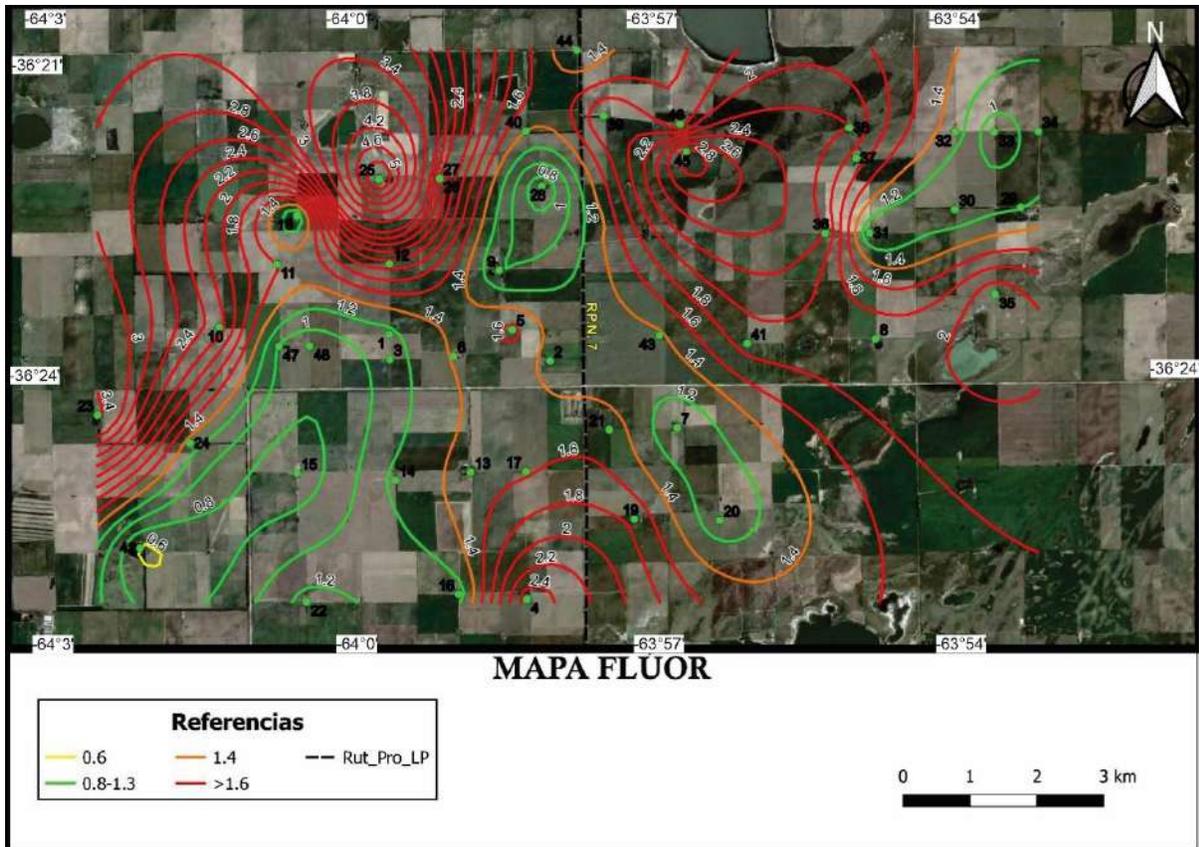


Figura 14. Mapa de variabilidad espacial de fluoruro (mg/l).

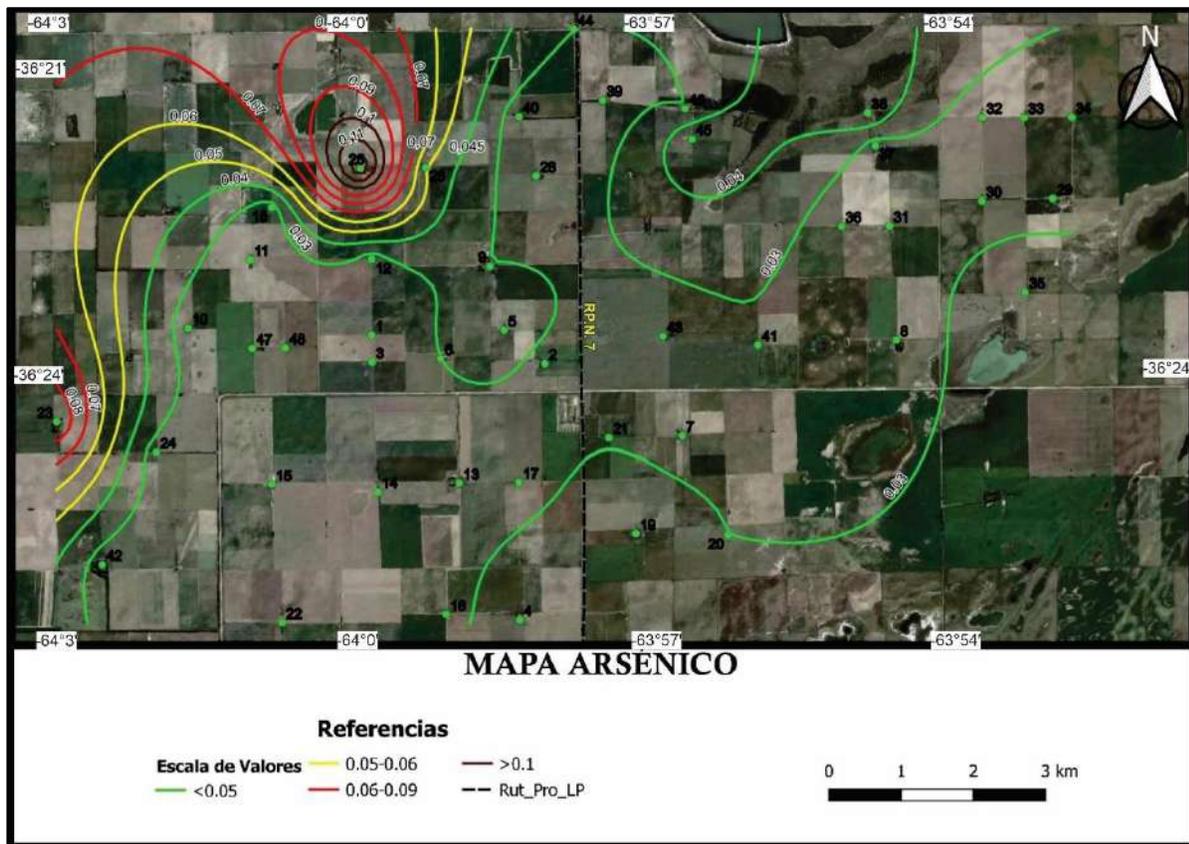


Figura 15. Mapa de variabilidad espacial de arsénico (mg/l).

5.3. Clasificación hidroquímica

Los análisis físico-químicos de las muestras, se procesaron mediante el programa Easy Quim. 5.0 y se obtuvieron los diagramas de Piper y Stiff. Para ello, se expone una breve descripción de los diagramas utilizados y su finalidad.

- Diagrama de Piper: se representan, en porcentajes, las concentraciones de los principales iones de diferentes muestras simultáneamente, agrupando en áreas definidas las aguas geoquímicamente similares (Figura 16).
- Diagrama de Stiff: permite una visualización geográfica rápida de los iones mayoritarios en una muestra de agua, dando a conocer los diferentes tipos de agua y grado de mineralización presente en el área de importancia. Los polígonos obtenidos se muestran en la Figura 17.

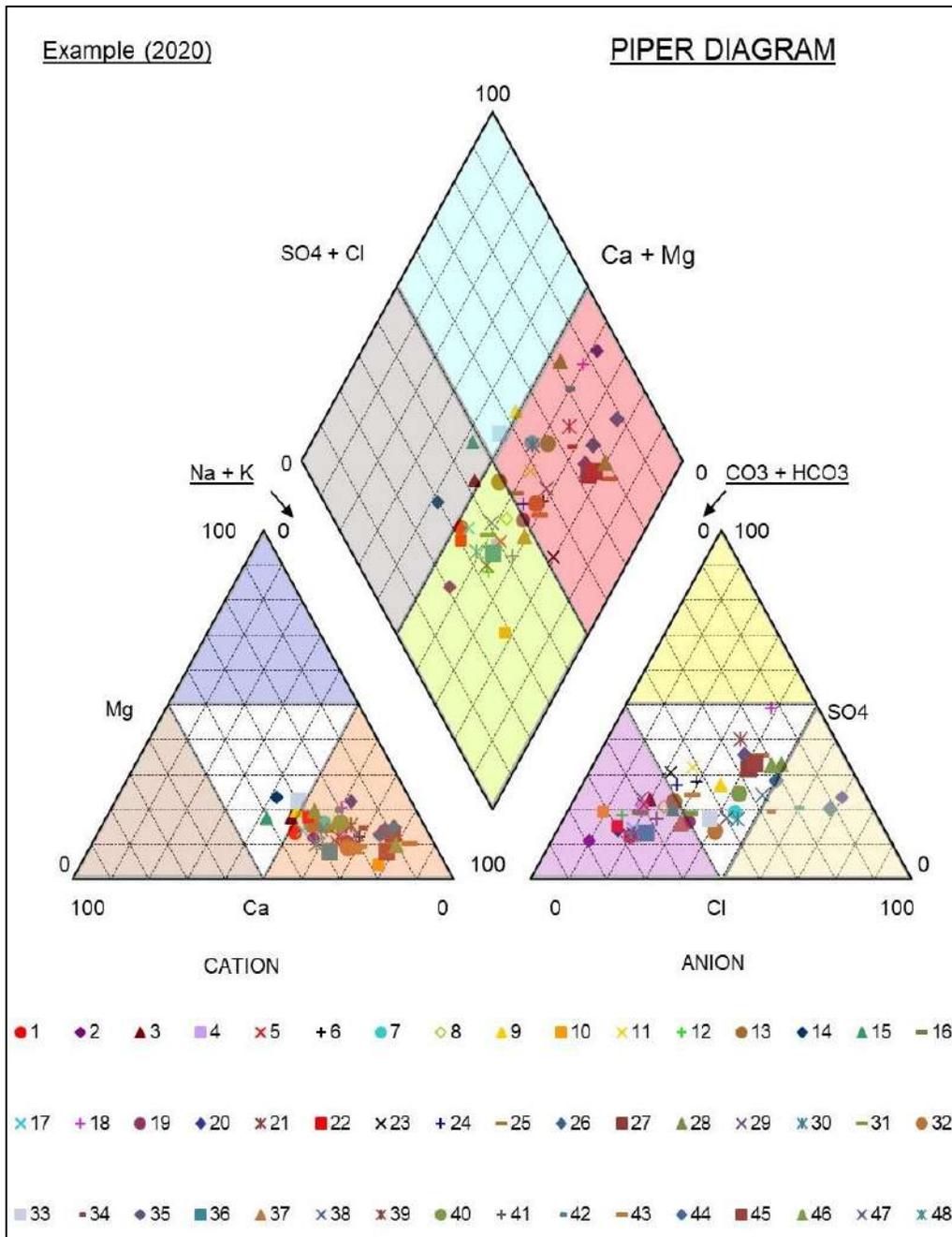


Figura 16. Diagrama de Piper para las muestras de agua. Rombo rojo: Clorurada y/o sulfatada sódica. Rombo verde: Bicarbonatada sódica. Rombo gris: Bicarbonatada cálcica y/o magnésica. Rombo celeste: Clorurada y/o sulfatada cálcica y/o magnésica.

En el diagrama de Piper (Figura 16) se observa que, en el campo aniónico, la mitad de las muestras no presenta una composición aniónica dominante (n=21), en tanto que 20 muestras son de tipo bicarbonatadas y 7 muestras son cloruradas y/o sulfatadas. En el campo catiónico, el ion dominante es el sodio, excepto en 5 muestras (muestras 3, 9, 14, 15 y 33). Finalmente, en el rombo

central se observa que el 54,17 % de las muestras corresponde al tipo cloruradas y/o sulfatadas sódica. El 35,42% pertenecen al grupo genético bicarbonatadas sódicas, el 6,25% corresponde a bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas y el 4,16% a sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas.

En la Figura 17, se exponen los diagramas de Stiff del área de estudio. Aquí se observa que hacia el norte y hacia el SE las muestras presentan mayor concentración salina, siendo en general del tipo clorurada sódica y sulfatada sódica. Esta tipificación hidroquímica es coherente con el comportamiento hidrodinámico de esta zona, dominada por flujos subterráneos de descarga (Figura 10). En la zona central, se encuentran muestras más diluidas con una tipificación hidroquímica que oscila entre aguas bicarbonatadas sódicas y bicarbonatadas sódico cálcicas. Estas muestras se asocian a un área de recarga, que se desarrolla a ambos lados de la RP7.

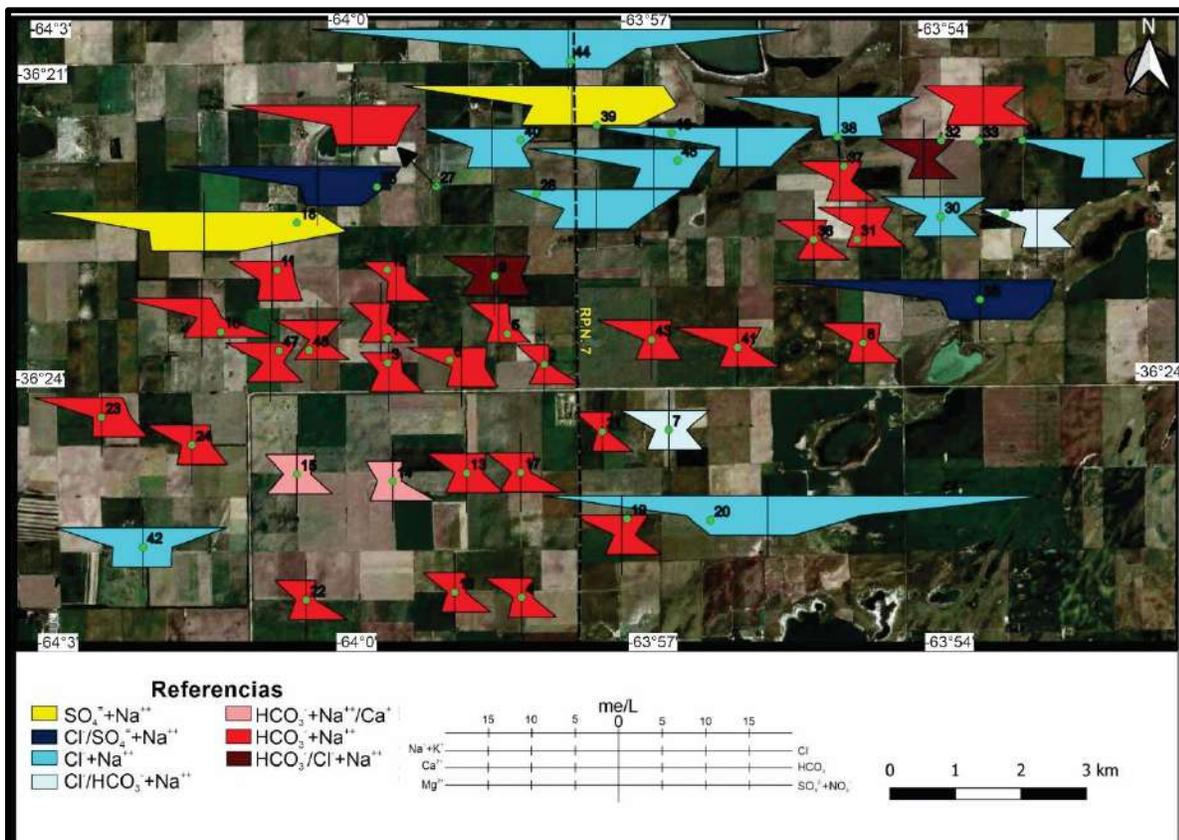


Figura 17. Diagramas de Stiff del área de estudio.

A partir de la información generada en las tareas de exploración ejecutadas por la APA en el área, se determinó el caudal y la calidad del agua a distintas profundidades en los primeros 80 metros

del acuífero libre. Los pozos de exploración se ubicaron sobre calles vecinales y a la vera de la ruta provincial n° 7 (Figura 18), principalmente desde el centro del área de la lente hacia el oeste, dado que hacia el noreste y sureste se encuentran áreas topográficamente más bajas que se comportan como zonas de descarga local del acuífero libre.

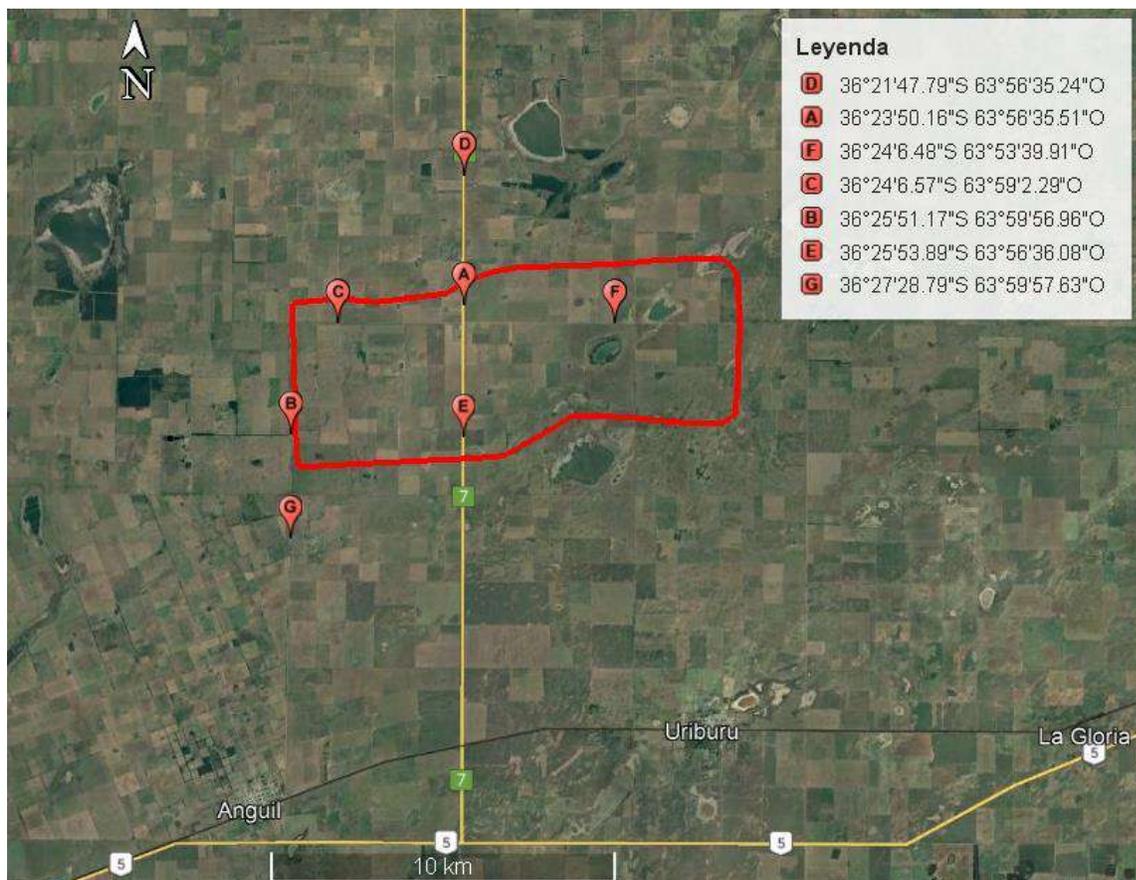


Figura 18. Ubicación de los siete pozos de exploración.

Finalmente, con la información de los análisis fisico-químicos aportados por la APA, se efectuó la clasificación hidroquímica de los distintos niveles ensayados en cada pozo de exploración. En este sentido, en el diagrama de Schoeller (Figura 19) se visualiza que en profundidad los niveles explorados tienen el mismo tipo químico de agua. Particularmente, el pozo A tiene en todos sus niveles agua de tipo bicarbonatada sódica, en tanto que en los pozos B y F son de tipo clorurada sódica.

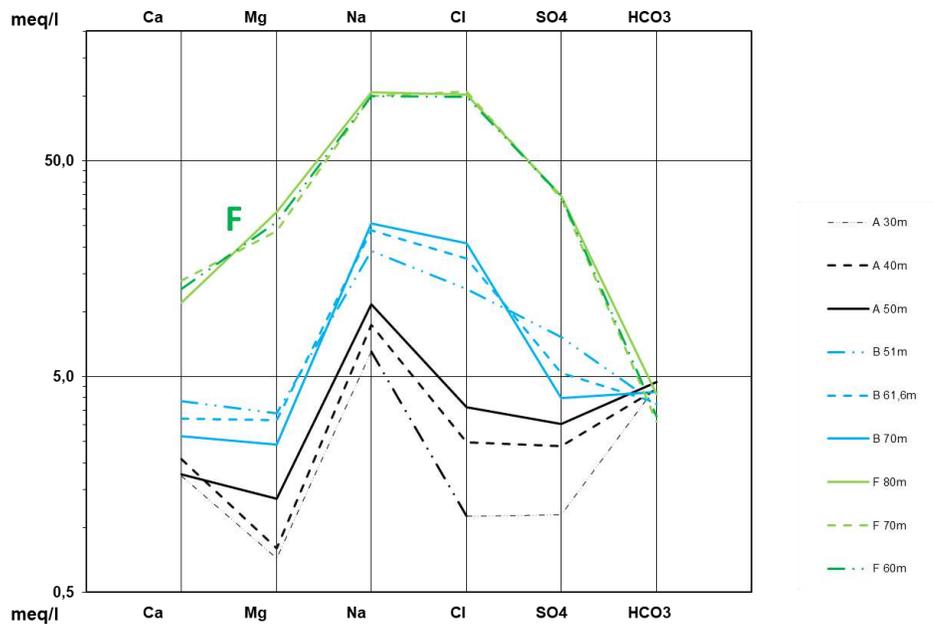


Figura 19. Diagrama de Schoeller para las muestras de agua de los pozos A, B y F en los distintos niveles ensayados.

5.4. Aptitud del agua para los distintos usos

5.4.1. Consumo humano

La calidad del agua es esencial para la salud humana y ganadera, como así también para el riego, por lo cual resulta importante conocer la aptitud de las muestras tomadas para los diferentes posibles consumos. Para consumo humano existen diferentes normativas que sugieren los límites de elementos disueltos en el agua. En la Tabla 3, se establece la aptitud de las muestras de esta tesina de acuerdo a los valores guías consignados en el Art. 982 del Código Alimentario Argentino (CAA, 2021).

Tabla 3. Aptitud de las muestras de agua subterránea.

Parámetros	Valores Guía CAA (mg/l)	Cantidad de Muestras	
		Aptas	No Aptas
Arsénico	0,05	31	17
Bicarbonatos	400*	38	10
Cloruros	350	35	13
Dureza	400	39	9
Flúor	0,8-1,3	18	30
Residuo Seco	1500	37	11
Sodio	200**	27	21
Sulfatos	400	40	8

*Valor tomado de la Ley N°1027 y Decreto Reglamentario N°193
 **Valor tomado de la Organización Mundial de la Salud, 2017. Guías para la calidad del agua de consumo humano. 4^{ta} ed.

A partir de la tabla expuesta se determinó que, de las 48 perforaciones muestreadas, solo 12 muestras tienen valores aptos para consumo humano, siendo la limitante el oligoelemento flúor. En particular, este elemento presenta tenores por debajo del límite permitido en 18 muestras y, es oportuno mencionar que en 3 muestras tiene concentraciones menores a 0,8 mg/l. En cuanto al arsénico, si se considera el límite máximo de 0,05 mg/l, el 64,58% de las muestras son aptas para consumo humano. El residuo seco es otro de los parámetros que restringe la calidad del agua para consumo humano en el 23% de las muestras, especialmente en el sector NO y SE del área de estudio (Figura 13).

Finalmente, de la observación de los análisis físico-químicos de las perforaciones de exploración, se desprende que hasta la profundidad estudiada no se encontró agua apta para consumo humano en ninguno de los niveles ensayados en cada uno de los siete pozos efectuados, según el CAA (2007) (ver tabla 4). Cabe mencionar que en los pozos A, B, C y D (descripción litológica de C y D

en anexo, Figura 3 y 4) los tenores de flúor aumentan con la profundidad, condición que generalmente se cumple a escala regional pero que se diferencia de los pozos E, F, G, (descripción litológica de E y G en anexo, Figura 5 y 6) y de los pozos exploratorios efectuados en la denominada “lente 1” (Cavalié, 1981) donde se observa que, a mayor profundidad, menor contenido de flúor.

Tabla 4. Pozos muestreados por la APA en las diferentes secciones filtrantes.

Pozos	Nivel	Sección Filtrante (m)	Residuo Seco (mg/l)	Flúor (mg/l)	Arsénico (mg/l)	Dureza (mg/l)
Pozo A	1	41-50	794	2,37	0,06	156
	2	31-40	643	2,35	0,05	144
	3	21-30	514	2,36	0,04	132
Pozo B	1	61-70	1216	1,62	0,03	252
	2	52,60-61,60	1784	1,44	0,03	316
	3	42-51	1548	1,34	0,03	360
Pozo C	1	61-70	993	2	0,07	156
	2	53-62	972	2,02	0,05	136
	3	41,70-50,70	748	1,84	0,03	176
Pozo D	1	41-50	2052	2,75	0,07	250
	2	31-40	1830	2,67	0,06	204
	3	21-30	1124	2,29	0,04	164
Pozo E	1	61-70	5272	0,70	0,04	1400
	2	37-46	3888	0,74	<0,03	1120
Pozo F	1	71-80	8580	0,74	0,05	2000
	2	61-70	8452	0,93	0,04	1880
	3	51-60	8336	0,94	0,04	1940
Pozo G	1	71-80	1878	3,69	>0,76	108
	2	55-64	1768	4,12	>0,84	116
	3	47-56	1774	4,74	>0,65	120

5.4.2. Consumo ganadero y riego

Ganadero

Con respecto a la clasificación de las aguas para consumo ganadero, se utilizó la clasificación propuesta por Bavera (2001). Debido a que las necesidades y el consumo del animal varían constantemente, así como la relación suelo-planta, no se puede establecer un tenor ideal de concentración de los elementos que se encuentran presentes. En la Tabla 5, se observan los valores utilizados por Bavera para clasificar las aguas para consumo ganadero bovino.

Tabla 5. Clasificación de las muestras para uso ganadero. Bavera (2001).

Sistema			Concentraciones (en mg/L)			
Cría	Invernada	Tambo	Residuo Seco	Cloruro (de sodio)	Sulfato	Magnesio
Deficiente	Deficiente	Deficiente	<1000	---	---	---
Muy Buena	Muy Buena	Buena	1000-2000	600-1200	500-1000	200-250
Buena	Aceptable	Aceptable	2000-4000	1200-2400	1000-1500	250-300
Aceptable	Mala	Mala	4000-7000	2400-4200	1500-2500	300-400
Mala	-----	-----	7000-11000	>4200	>2500	>400

Mediante los datos tratados y su respectiva comparación con la clasificación de Bavera (2001), se puede definir que el 41,67% de las muestras presentan valores buenos a muy buenos de residuo seco para los tres sistemas de producción, mientras que las muestras restantes son deficientes con respecto a alguno de los elementos químicos contemplados. Así, el porcentaje de muestras óptimas

para consumo bovino desciende abruptamente si se analiza cloruro (6,25% categoría buena) y sulfato (10,41% categoría buena).

Riego

La aptitud de los recursos hídricos para riego depende principalmente de la cantidad y tipo de sales que se encuentren presentes, siendo fundamental el conocimiento de las mismas para una adecuada elección del método de riego, manejo y cultivo a implementar. Los parámetros tomados en cuenta para la clasificación de las muestras de agua son la conductividad eléctrica (ver Figura 9, en anexo) y la relación de adsorción de sodio (RAS)(ver Figura 8, en anexo), que definen el peligro de salinización y el peligro de sodificación del suelo, respectivamente. Para ello, se utilizó el software Easy Quim.5.0 donde se obtuvo el diagrama de Wilcox (1955) (Figura 20).

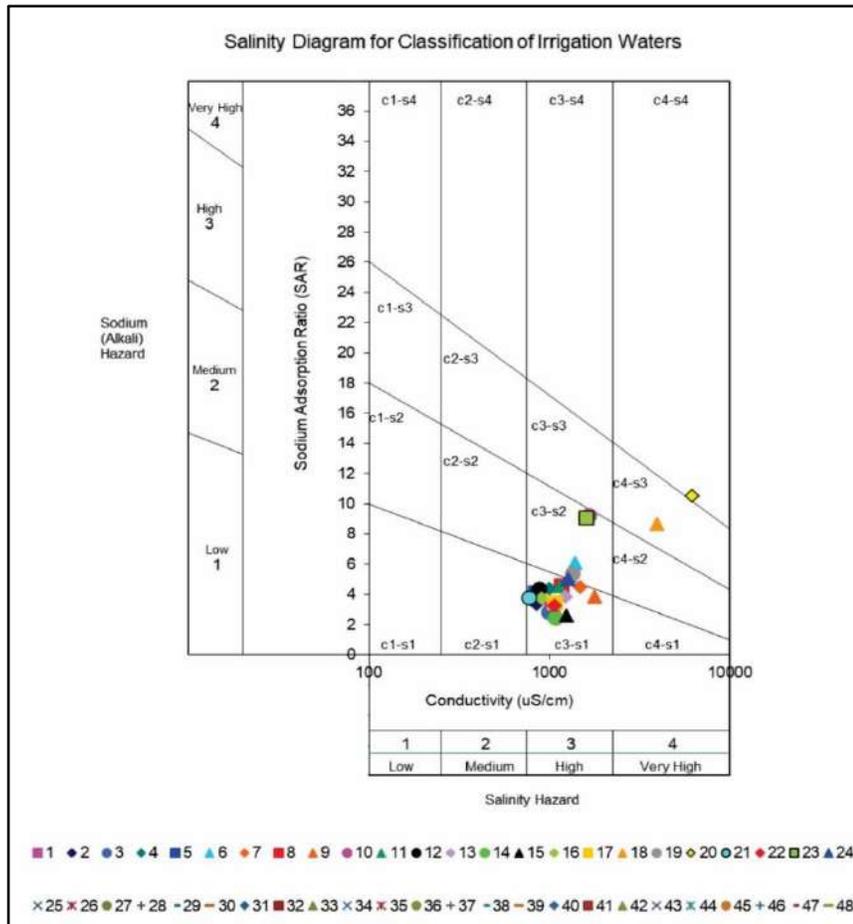


Figura 20. Diagrama de Wilcox para determinar potencial de salinidad del suelo.

En este diagrama se observa que todas las aguas muestreadas poseen un alto potencial para salinizar los suelos de la zona de estudio, ya que la mayoría pertenece a la clase C3, por lo tanto, puede

emplearse en suelos con buen drenaje y en cultivos tolerantes a la salinidad. A su vez, teniendo en cuenta el potencial de sodificación, casi la totalidad de las muestras presentan un bajo riesgo de sodificación (clase S1), lo cual indica que el agua puede emplearse para riego.

Capítulo 6: Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta tesina permitieron profundizar el conocimiento del sistema hidrogeológico en un sector ubicado al noreste de la localidad de Anguil, provincia de La Pampa, específicamente al sur de la región hídrica de la Planicie Pampeana Central. Desde el punto de vista hidrogeológico resultan relevantes las formaciones superiores del perfil litológico (Fm. Meauco y Fm Cerro Azul), por ser portadoras del espesor acuífero aprovechable, hasta aproximadamente 80 m de profundidad.

El mapa de isopiezas obtenido pone de manifiesto que las direcciones dominantes del flujo subterráneo son hacia el NE y SE, destacándose en el sector central (en coincidencia con la traza de la RP7) el desarrollo de una zona de recarga, mientras que la presencia de bajos inundables alineados en sentido NE-SE, determina zonas de descarga local. Para el sector oriental del área de estudio se obtuvo una velocidad de Darcy de 0,38 cm/d, la cual disminuye a 0,12 cm/d hacia el oeste. Este descenso en la velocidad se atribuye al bajo gradiente hidráulico y a la presencia de la costra calcárea que dificulta el movimiento del agua subterránea. La profundidad del nivel freático varió entre 2,5 y 7,5 m en los sitios muestreados en esta tesina.

En el mapa de distribución espacial de la conductividad eléctrica se observa que hacia el NO y SE se encuentran los sectores con mayor salinidad y en coincidencia con la presencia de los bajos inundables citados anteriormente. El empleo de diagramas hidroquímicos permitió identificar principalmente dos tipos químicos: aguas bicarbonatadas sódicas y aguas cloruradas sódicas. Las muestras correspondientes a la primera categoría en general presentan menor concentración iónica que el resto de las muestras, están asociadas a sitios de recarga y se ubican en la zona central del área, a ambos lados de la RP7. Las muestras cloruradas sódicas se corresponden con muestras localizadas en zonas de descarga del flujo subterráneo y con valores de conductividad eléctrica superiores a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En cuanto a la composición hidroquímica registrada a distintas profundidades en los pozos de exploración de la APA, no se observaron diferencias en los distintos niveles ensayados. En los pozos de exploración A y B, localizados en zona de recarga, los tipos químicos en estos niveles corresponden

a aguas bicarbonatadas sódicas, en tanto que en el pozo F (ubicado en un sector de descarga del flujo subterráneo), las muestras obtenidas a distintas profundidades fueron cloruradas sódicas.

Respecto a la aptitud del agua subterránea para consumo humano está limitada principalmente por la concentración de fluoruro que alcanza un valor máximo de 5,62 mg/l en el sector norte. A ello se suman registros de residuo seco superiores a los valores guías del CAA (1500 mg/l) hacia el SE y el NO del área de estudio. En cuanto a la aptitud del agua para consumo bovino, la mayoría de las muestras se clasifican como deficientes para este uso, debido a los bajos valores de los parámetros necesarios para nutrición animal. En relación al uso del agua para riego, se determinó mediante el diagrama de Riverside que existe una alta probabilidad de salinización y un bajo potencial de sodificación, ante un uso intensivo del agua.

Los resultados obtenidos destacan el rol clave de las formaciones medanosas como reservorios de agua subterránea con bajos tenores salinos, aunque también deja en evidencia que las concentraciones de fluoruro limitan la calidad del agua para consumo humano en amplios sectores de la zona. Los pozos exploratorios de la APA ponen evidencia el comportamiento errático de este elemento en profundidad, coincidentemente con estudios previos. Es necesario aclarar que, las conclusiones arribadas en aquel momento, no pueden ser aplicadas en la actualidad debido a las modificaciones en estándares de calidad para consumo humano.

Finalmente, la recopilación e interpretación de antecedentes y la actualización de la información hidrodinámica e hidroquímica realizada en esta tesina contribuyen en el conocimiento hidrogeológico de un sector donde el agua subterránea es utilizada para distintos usos en las localidades aledañas.

Bibliografía

- Apud Higonet, L., (2015). Reprocesamiento de la Línea de Sísmica de reflexión N° 25144 (Santa Rosa – Uriburu, Provincia de La Pampa): Análisis e interpretación de los resultados. Tesina de grado, 49 pp. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UNLPam.
- Arroyo, C. y Soto, F., (2021). Tareas exploratorias en la lente 2 de Cavalié. Informe inédito. Ministerio de Obras Públicas, Administración Provincial del Agua. Santa Rosa (L.P.).
- Auge, M., (2004). Regiones Hidrogeológicas de la República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe. <http://www.gl.fcen.uba.ar/Hidrogeologia/auge/Reg-Hidrogeo.pdf> último acceso marzo 2009.
- Bavera, G., (2001). Clasificación de las aguas para bebida de bovinos. Manual de aguas y aguadas para el ganado, 2ª ed., Río Cuarto, 99.101 p. www.produccionanimal.com.ar
- Belmonte, M.L.; Casagrande, G.A; Deanna, M.E; Olguín Páez, R.; Farrell, A.; Babinec, F.J. 2017. “Estadísticas agroclimáticas de la EEA Anguil. 1973-2016”. Ediciones INTA.
- Caminos, R., (1979) b. Sierras Pampeanas Noroccidentales Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. En Turner, J.C.M. (ed.) Segundo Simposio de Geología Regional Argentina, Tomo 1, pp. 225-291. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- Cano, E, Casagrande, G., Conti, H.A., Fernández, B., Hevia, R., Lea Plaza, J.C., Maldonado Pinedo, D., Martínez, H., Montes, M.A., Peña Zubiato, C., (1980). Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. INTA - Gobierno de La Pampa - UNLPam, Santa Rosa, 493 pp.
- Carballo, O. y Sbrocco, J., (1996). Caracterización litoestratigráfica del área comprendida en la hoja IGM 3763-31 “Hucal” provincia de La Pampa. 6° Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Actas: 49-55. Santa Rosa,
- Casagrande, G. y Conti, H., (1980). Clima de la provincia de La Pampa. En Cano, E. (coordinador) Inventario Integrado de los Recursos Naturales de La Provincia de La Pampa. INTA, Buenos Aires. Argentina.
- Cavalié, C., (1979). Estudio hidrogeológico para la provisión de agua potable a la ciudad de Santa Rosa. Acuíferos Santa Rosa-Anguil y Santa Rosa-Toay. Recursos Hídricos. 41 pp. Santa Rosa (L.P.), Argentina.

- Cavalié, C., (1981). Principales características hidrogeológicas de los acuíferos ubicados entre localidades de Anguil y Catrilo. Informe inédito. Ministerio de Obras Públicas, Administración Provincial del Agua. 10 pp +mapas. Santa Rosa (L.P.).
- Cavalié, C., (1982). Estudio hidrogeológico Anguil-Catrilo. Informe inédito. Ministerio de Obras Públicas, Administración Provincial del Agua. 24 pp. Santa Rosa (L.P.)
- Cavalié, C., (1983). Estudio hidrogeológico Santa Rosa – Anguil y Santa Rosa – Toay. 1º Jornadas de Biología y 2º Jornadas de Geología de La Pampa. UNLPam. Actas: 66-72 + 5 mapas. Santa Rosa.
- de Elorriaga, E.E., (2010). Evaluación de los depocentros de la cuenca de Macachín, provincias de La Pampa y Buenos Aires, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur (inédita) 225 pp. y anexo 31 pp. Bahía Blanca.
- García, H. L., (2012). Actualización del modelo conceptual en una zona del acuífero Santa Rosa-Anguil, provincia de La Pampa, Argentina. Tesis de Maestría en Ciencias Hídricas, Universidad Nacional de La Pampa. 129 p.
- Gaii, S., (1975). Plan de Investigación de Aguas subterráneas (PIAS). Informe preliminar. APA. Informe preliminar inédito, 56 pp., 25 Figuras y 6 mapas. Biblioteca APA. Santa Rosa.
- Giraut M., Lupano C., Schulz C. y Rey C. (2006). Cartografía Hídrica Superficial de la provincia de La Pampa. Tercer Congreso de la Ciencia Cartográfica y X Semana Nacional de Cartografía, Buenos Aires.
- Herrero Ducloux, H., (1978). Estudio geofísico del este de La Pampa, Administración Provincial del Agua, Provincia de La Pampa, Argentina. (Inédito).
- Malán, J. y de Elorriaga, E., (2010). Prospección geoeléctrica y análisis hidrogeológico para aprovechamiento de agua subterránea con fines de riego en el establecimiento La Esperanza, Dpto. Capital (La Pampa). Informe inédito.
- Mariani, D., (2011). El agua en La Pampa: Introducción a la problemática hídrica. Subsecretaría de Ecología. Provincia de La Pampa; 48 pp.
- Pérez, M. J., (2016). Contribución a la evaluación de los recursos hídricos subterráneos en el sector suroccidental del acuífero Anguil - Uriburu. Tesina inédita, UNLPam, 44p.
- Piper, A., (1944). A graphical procedure in the geochemical interpretation of wáter análisis. United States Geological Survey Groundwater. Note 12.

- Salso, J., (1966). La Cuenca de Macachín, provincia de La Pampa. Nota preliminar. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 21 (4): 107-117.
- Visconti, G., Melchor, R., Montalvo, C., Umazano, A. y de Elorriaga, E., (2010). Análisis litoestratigráfico de la Formación Cerro Azul (Mioceno Superior) en la provincia de La Pampa. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 67 (2): 257-265.
- Yrigoyen, M., (1975). Geología del subsuelo y plataforma continental. VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio. Geología de la provincia de Buenos Aires: 139-168.
- Wilcox, L., (1955). Classification and use of irrigation water. United States Department of Agriculture Archives. 969:19.
- Wisner, L., (2012). Caracterización hidroquímica e isotópica del sistema acuífero libre Santa Rosa-Anguila-Uriburu. Tesis de Maestría en Ciencias Hídricas, Universidad Nacional de La Pampa. 101 p.

Anexo

Tabla 1. Resultados físico-químicos de las variables analizadas en el área de estudio.

ID	PUNTO	RS	CONDUCT	pH	CLORURO	SUFATO	CARBONATO	BICARBONATO	ALCAL TDT	DJR TDT	CALCO	MAGNESIO	NITRATO	FLUOR	As TOTAL	SODIO	RMS	
1	D15	729.0	1085.0	7.8	52.0	44.8	0.0	308.0	308.0	228.0	65.6	15.6	1.1	0.025	110.0	110.0	3.2	
2	D16	590.0	850.0	7.9	24.0	37.0	0.0	336.0	336.0	160.0	46.4	10.7	1.3	0.025	98.0	98.0	3.4	
3	D28	657.0	884.0	7.9	64.0	100.3	0.0	320.0	320.0	282.0	60.8	19.4	1.1	0.025	100.0	100.0	2.8	
4	D27	674.0	1022.0	7.3	60.0	83.4	0.0	324.0	324.0	164.0	40.0	15.6	2.6	0.040	130.0	130.0	4.4	
5	D65	576.0	842.0	8.0	56.0	85.5	0.0	300.0	300.0	136.0	38.4	9.7	1.7	0.040	110.0	110.0	4.1	
6	F3	927.0	1380.0	7.9	136.0	173.4	0.0	336.0	336.0	184.0	44.8	17.5	1.4	0.030	190.0	190.0	6.1	
7	D12	929.0	1474.0	7.9	220.0	130.7	0.0	320.0	320.0	272.0	67.2	25.3	1.0	0.025	170.0	170.0	4.5	
8	FD4	757.0	1169.0	8.0	92.0	106.4	0.0	352.0	352.0	200.0	48.0	19.4	1.9	0.025	150.0	150.0	4.6	
9	D14	1216.0	1779.0	7.6	192.0	194.4	0.0	336.0	336.0	408.0	100.8	37.9	1.0	0.030	180.0	180.0	3.9	
10	F19	1104.0	1645.0	8.0	52.0	145.1	0.0	680.0	680.0	172.0	56.0	7.8	2.3	0.025	280.0	280.0	9.3	
11	F18	750.0	1143.0	7.9	104.0	171.0	0.0	280.0	280.0	204.0	46.4	21.4	1.6	0.025	150.0	150.0	4.6	
12	D6	594.0	875.0	8.0	44.0	73.6	0.0	340.0	340.0	140.0	30.4	15.6	2.1	0.025	120.0	120.0	4.4	
13	D19	773.0	1223.0	7.8	104.0	120.0	0.0	348.0	348.0	252.0	65.6	21.4	1.5	0.025	140.0	140.0	3.8	
14	D18	720.0	1078.0	7.9	52.0	62.1	0.0	336.0	336.0	288.0	68.8	28.2	1.3	0.025	95.0	95.0	2.4	
15	D6	853.0	1288.0	7.6	100.0	100.7	0.0	332.0	332.0	328.0	91.2	24.3	0.7	0.025	110.0	110.0	2.6	
16	D9	589.0	905.0	7.9	60.0	83.0	0.0	336.0	336.0	164.0	43.2	13.6	1.1	0.025	110.0	110.0	3.7	
17	D20	704.0	1071.0	7.8	72.0	72.3	0.0	416.0	416.0	228.0	64.0	16.5	1.6	0.025	120.0	120.0	3.4	
18	F17	2630.0	3940.0	7.9	610.0	1050.0	0.0	336.0	336.0	820.0	160.0	102.1	0.9	0.025	570.0	570.0	8.6	
19	D10	822.0	1341.0	7.8	140.0	97.0	0.0	372.0	372.0	188.0	51.2	14.6	1.8	0.040	170.0	170.0	5.4	
20	F5	3728.0	6180.0	7.6	1520.0	688.0	0.0	248.0	248.0	1060.0	176.0	150.7	1.1	0.030	790.0	790.0	10.5	
21	D22	514.0	765.0	8.5	52.0	43.6	0.0	288.0	288.0	120.0	32.0	9.7	1.5	0.030	96.0	96.0	3.8	
22	D7	736.0	1063.0	7.8	48.0	64.5	0.0	380.0	380.0	212.0	52.8	19.4	1.3	0.025	110.0	110.0	3.3	
23	D8	1042.0	1588.0	8.2	112.0	214.0	0.0	428.0	428.0	132.0	27.2	15.6	3.5	0.090	240.0	240.0	9.0	
24	F21	853.0	1267.0	7.9	100.0	147.1	0.0	332.0	332.0	192.0	44.8	19.4	1.3	0.025	160.0	160.0	5.0	
25	F16	2000.0	3170.0	8.1	452.0	512.0	0.0	404.0	404.0	290.0	96.0	34.0	5.6	0.130	520.0	520.0	14.9	
26	F5/AVADO	2138.0	3300.0	7.7	580.0	441.0	0.0	424.0	424.0	400.0	80.0	48.6	2.6	0.050	530.0	530.0	11.5	
27	F5/BOMBA	1796.0	2750.0	8.1	368.0	386.8	0.0	416.0	416.0	272.0	46.4	37.9	3.5	0.050	420.0	420.0	11.0	
28	D2	1948.0	2830.0	7.8	472.0	427.9	0.0	296.0	296.0	580.0	134.4	59.3	0.6	0.025	310.0	310.0	5.6	
29	D78	949.0	1544.0	7.9	216.0	120.8	0.0	348.0	348.0	204.0	48.0	20.4	1.2	0.025	200.0	200.0	6.1	
30	F8	1148.0	1845.0	7.7	256.0	130.7	0.0	380.0	380.0	328.0	86.4	27.2	1.1	0.025	210.0	210.0	5.0	
31	FD12	931.0	1479.0	7.7	140.0	112.6	0.0	364.0	364.0	240.0	59.2	22.4	11.7	1.3	0.025	170.0	170.0	4.8
32	FD1	795.0	1280.0	8.0	168.0	76.0	0.0	312.0	312.0	168.0	48.0	22.4	1.0	0.025	160.0	160.0	5.4	
33	F9	1402.0	2140.0	7.7	236.0	143.0	0.0	488.0	488.0	486.0	112.0	52.5	0.9	0.025	220.0	220.0	4.1	
34	F21	1487.0	2450.0	7.8	412.0	209.6	0.0	380.0	380.0	382.0	72.0	36.9	1.1	0.025	320.0	320.0	7.8	
35	F22	3094.0	4710.0	8.1	410.0	516.2	0.0	484.0	484.0	530.0	92.0	72.9	2.2	0.040	720.0	720.0	13.5	
36	F03	672.0	1011.0	8.0	72.0	55.9	0.0	332.0	332.0	164.0	51.2	8.7	2.2	0.025	130.0	130.0	4.4	
37	FD2	737.0	1184.0	7.9	120.0	82.6	0.0	344.0	344.0	144.0	40.0	10.7	1.9	0.025	150.0	150.0	5.4	
38	FD11	1615.0	2690.0	7.9	440.0	291.4	0.0	420.0	420.0	276.0	49.6	36.9	2.2	0.050	400.0	400.0	10.4	
39	F13	2652.0	3990.0	7.8	500.0	774.0	0.0	616.0	616.0	680.0	152.0	72.9	2.0	0.025	590.0	590.0	9.8	
40	F14	1227.0	1568.0	7.7	276.0	219.1	0.0	372.0	372.0	332.0	75.2	35.0	1.4	0.025	250.0	250.0	5.9	
41	D24	796.0	1276.0	7.7	96.0	92.5	0.0	336.0	336.0	216.0	56.0	18.5	58.3	1.9	0.030	220.0	220.0	6.5
42	D80	1357.0	2220.0	7.6	448.0	211.7	0.0	284.0	284.0	264.0	96.0	55.4	11.4	0.6	0.025	310.0	310.0	6.2
43	D25	668.0	1069.0	7.8	108.0	118.4	0.0	280.0	280.0	176.0	48.0	13.6	3.9	1.4	0.025	190.0	190.0	6.2
44	F28	3058.0	1830.0	7.7	1240.0	496.5	0.0	352.0	352.0	592.0	84.8	92.3	16.7	1.2	0.030	900.0	900.0	16.0
45	FD7	1474.0	2210.0	7.8	324.0	345.2	0.0	328.0	328.0	268.0	67.2	24.3	38.2	3.0	0.050	440.0	440.0	11.7
46	F12	1639.0	2570.0	8.0	420.0	395.8	0.0	320.0	320.0	272.0	56.0	32.1	7.6	1.6	0.030	500.0	500.0	13.1
47	D4	757.0	1098.0	8.0	52.0	92.5	0.0	300.0	300.0	244.0	73.6	14.6	155.1	1.0	0.025	160.0	160.0	4.4
48	D5	719.0	1028.0	7.9	52.0	44.4	0.0	300.0	300.0	228.0	68.8	13.6	155.1	0.8	0.025	150.0	150.0	4.3

POZO A



Figura 1. Columna estratigráfica y características hidráulicas del pozo A. *Cutting* realizado por el autor.

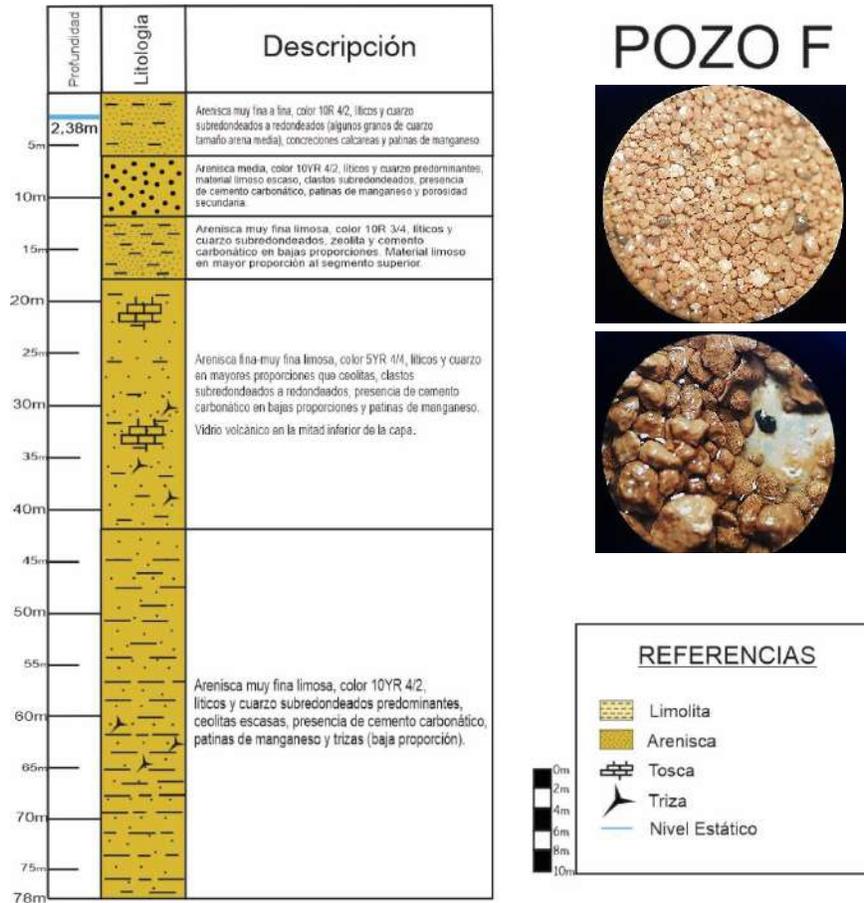


Figura 2. Columna estratigráfica del pozo F. *Cutting* realizado por el autor.

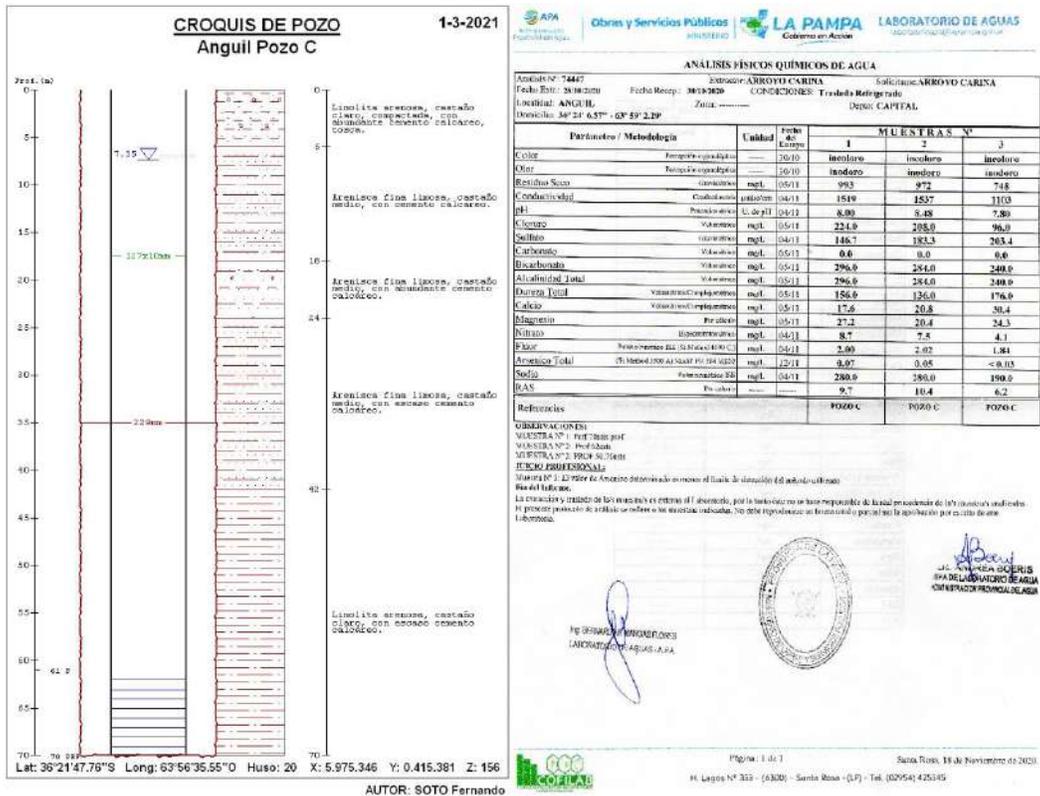


Figura 3. Croquis de Pozo C del APA.

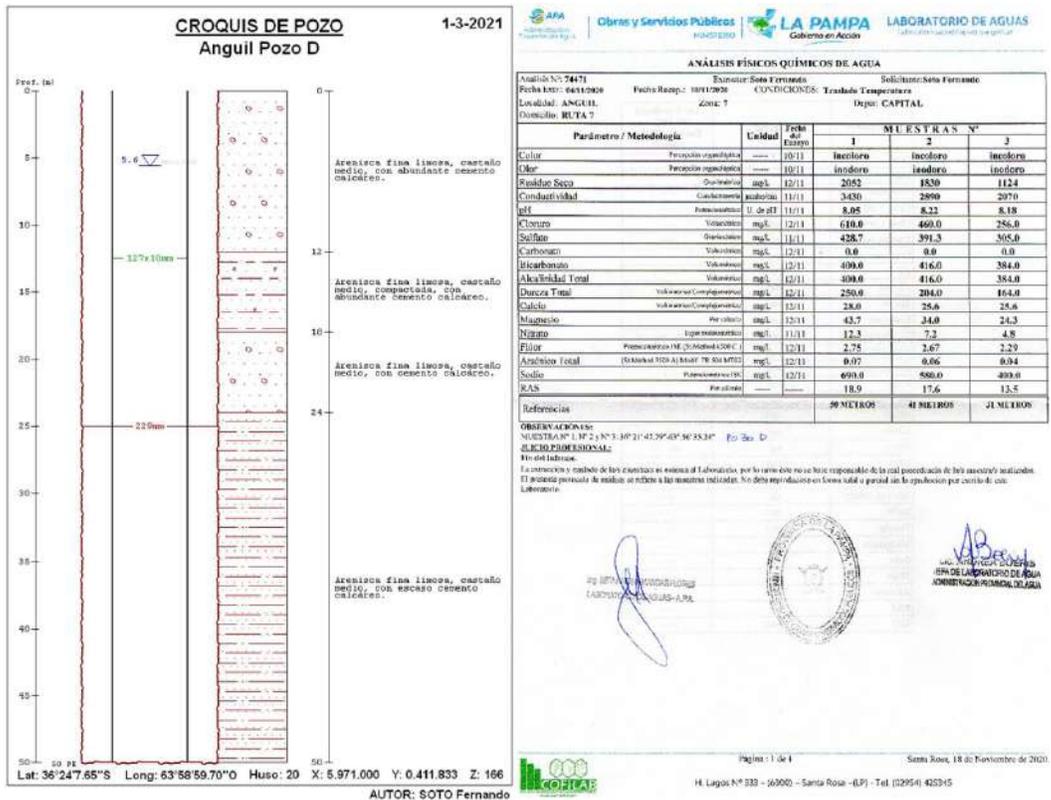
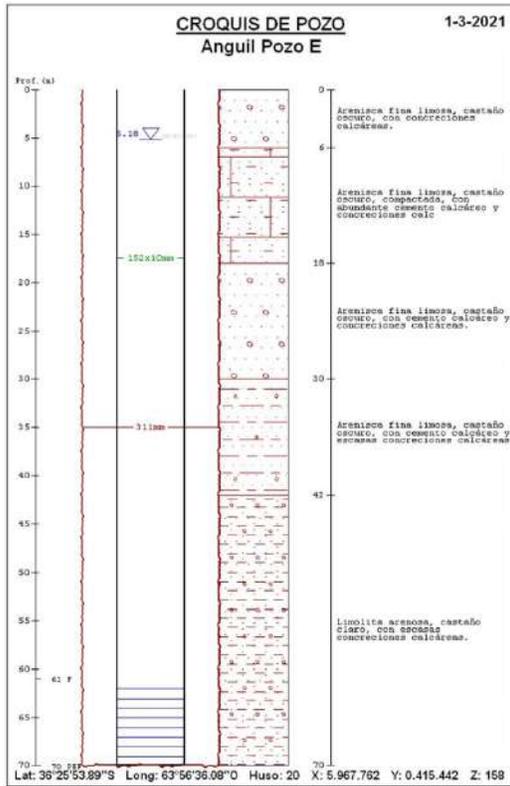


Figura 4. Croquis de Pozo D del APA.



ANÁLISIS FÍSICOS QUÍMICOS DE AGUA

Análisis N°: 74662 Fecha Recop: 06/03/2021 Extensión: El Interés Tratamiento: Tratado Refrigerado Solicitud: AFA - Estudios Hidrog. Dependiente: CAPITA Responsable: Soto Fernando

Localidad: ANGUIL Zona: 7 Dpto: CAPITAL

Parámetro / Metodología	Unidad	Fecha del Análisis	MUESTREAS N°	
			1	2
Color	Prozopicap. neapetricas	18.02	Incoloro	Incoloro
Olor	Prozopicap. neapetricas	18.02	Indoloro	Indoloro
Residuo Seco	Gravimetrica	11.02	3888	5772
Conductividad	Conductimetrica	10.02	5390	6800
pH	potenciometrica	11.02	7.98	7.61
Cloruro	Volumetrica	10.02	1480.0	2020.0
Sulfato	Gravimetrica	10.02	301.5	965.0
Carbonato	Volumetrica	10.02	0.0	0.0
Ricarbunato	Volumetrica	10.02	176.0	160.0
Alcalinidad Total	Volumetrica	10.02	176.0	160.0
Dureza Total	Volumetrica/Gravimetrica	10.02	1120.0	1490.0
Calcio	Volumetrica/Gravimetrica	10.02	168.0	240.0
Magnesio	Por dif. calc.	10.02	170.1	194.4
Nitrato	Espectrofotometrica	10.02	36.8	35.3
Fosforo	Fotometrica (Dif. Dif. 485.0)	11.02	0.74	0.70
Arsenico Total	(Dif. Dif. 200 Al. 404.0) IR 156.46302	25.02	< 0.03	0.04
Sodio	Fotometrica 238	11.02	980.0	1200.0
RAS	Por calculo	-----	12.7	13.9

Referencias: por 16 ml por 70 ml

Observaciones: MUESTRA N° 1: 10/21 33.40 - 6750 11.02 MUESTRA N° 2: 06/27 53.89 - 4750 10.02

Elaborado por: SOTO FERNANDO

Muestra N° 1: El valor de Arsénico determinado es menor al límite de detección del método utilizado. No del informe.

Muestra N° 2: El valor de Nitrato determinado es menor al límite de detección del método utilizado. No del informe.

La información y resultado de los resultados se entrega al Laboratorio, por lo tanto éste no hace responsable de la real procedencia de los resultados obtenidos. El presente protocolo de análisis se refiere a las muestras indicadas. No debe reproducirse en forma total o parcial sin la aprobación por escrito de este Laboratorio.

LABORATORIO DE AGUAS - A.P.A.

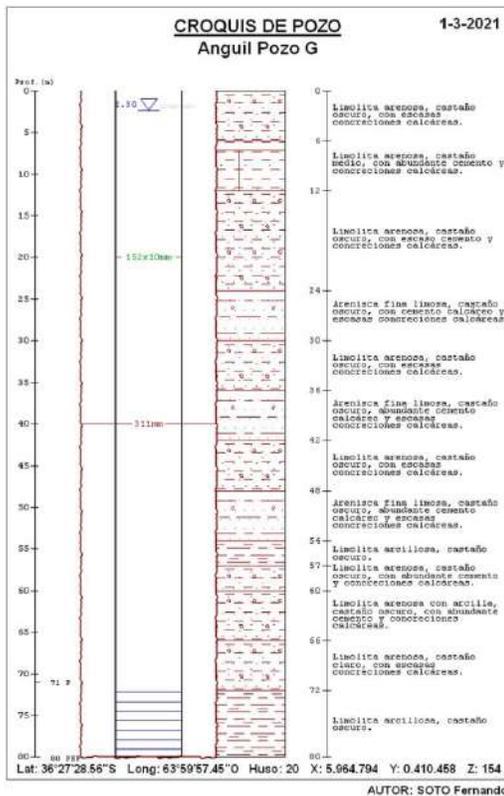
Ing. SOTO FERNANDO

Ing. ANA CHARALDO

Página: 1 de 1

H. Lagos N° 333 - (6300) - Santa Rosa - (B.P.) - Tel. (02954) 425475

Figura 5. Croquis de Pozo E del APA.



ANÁLISIS FÍSICOS QUÍMICOS DE AGUA

Análisis N°: 74667 Fecha Recop: 06/03/2021 Extensión: ARROYO Curias Tratamiento: Curias Arroyo Solicitud: Curias Arroyo Dependiente: CAPITA Responsable: Curias Arroyo

Localidad: ANGUIL Zona: Rural anguil Dpto: CAPITAL

Parámetro / Metodología	Unidad	Fecha del Análisis	MUESTREAS N°		
			1	2	3
Color	Prozopicap. neapetricas	18.02	Incoloro	Incoloro	Incoloro
Olor	Prozopicap. neapetricas	18.02	Indoloro	Indoloro	Indoloro
Residuo Seco	Gravimetrica	23.02	1878	1774	1768
Conductividad	Conductimetrica	23.02	3410	2905	2580
pH	potenciometrica	24.02	8.29	8.11	8.09
Cloruro	Volumetrica	21.02	258.0	256.0	244.0
Sulfato	Gravimetrica	24.02	399.5	424.4	401.1
Carbonato	Volumetrica	18.02	0.0	0.0	0.0
Ricarbunato	Volumetrica	18.02	580.0	612.0	620.0
Alcalinidad Total	Volumetrica	18.02	580.0	612.0	620.0
Dureza Total	Volumetrica/Gravimetrica	18.02	108.0	120.0	116.0
Calcio	Volumetrica/Gravimetrica	18.02	30.4	40.0	32.0
Magnesio	Por dif. calc.	18.02	7.8	4.0	8.7
Nitrato	Espectrofotometrica	17.02	8.9	103.8	47.8
Nitrato	potenciometrica	19.02	< 0.070	-----	-----
Fosforo	Fotometrica (Dif. Dif. 485.0)	25.02	3.69	4.74	4.12
Arsenico Total	(Dif. Dif. 200 Al. 404.0) IR 156.46302	25.02	> 0.76	> 0.65	> 0.84
Sodio	Fotometrica 238	25.02	620.0	660.0	610.0
RAS	Por calculo	-----	23.8	24.6	24.6

Referencias: por 16 ml por 50 ml por 60 ml

Observaciones: MUESTRA N° 1: Pozo G de exploración, 6 las horas anguil 13° 27' 28.76" - 63° 59' 57.45"

MUESTRA N° 2: H. m. m. El Interés.

MUESTRA N° 3: perforación de 4 m

Elaborado por: SOTO FERNANDO

Muestra N° 1: El valor de Nitrato determinado es menor al límite de detección del método utilizado. No del informe.

Muestra N° 2: El valor de Nitrato determinado es menor al límite de detección del método utilizado. No del informe.

La información y resultado de los resultados se entrega al Laboratorio, por lo tanto éste no hace responsable de la real procedencia de los resultados obtenidos. El presente protocolo de análisis se refiere a las muestras indicadas. No debe reproducirse en forma total o parcial sin la aprobación por escrito de este Laboratorio.

LABORATORIO DE AGUAS - A.P.A.

Ing. SOTO FERNANDO

Ing. ANA CHARALDO

Página: 1 de 1

H. Lagos N° 333 - (6300) - Santa Rosa - (B.P.) - Tel. (02954) 425475

Figura 6. Croquis de Pozo G del APA.

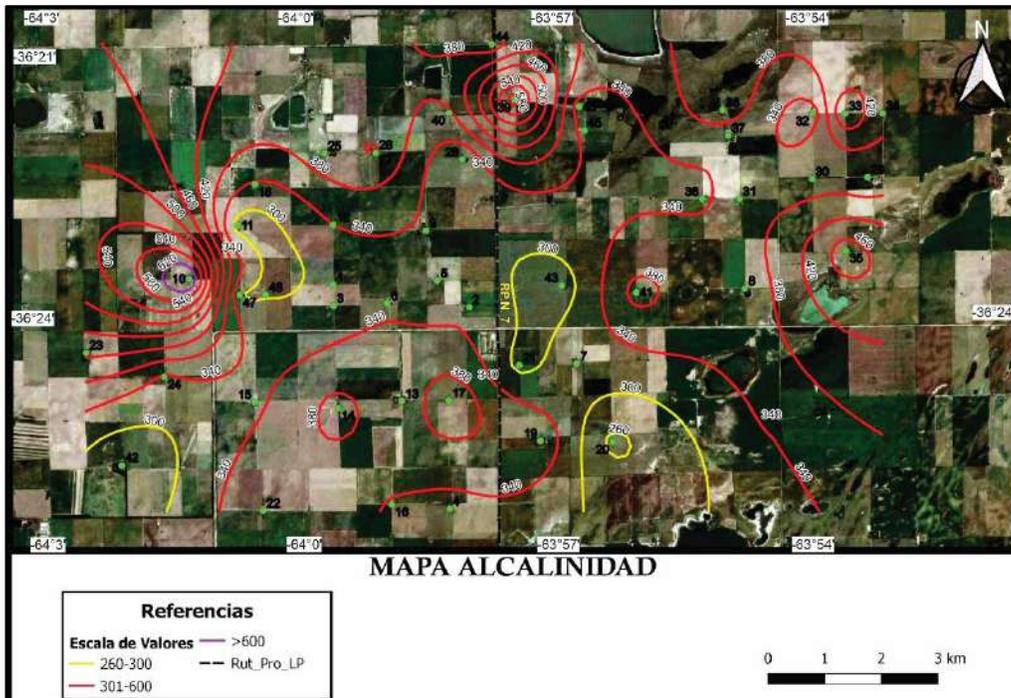


Figura 7. Mapa de variabilidad espacial de Alcalinidad (mg/l).

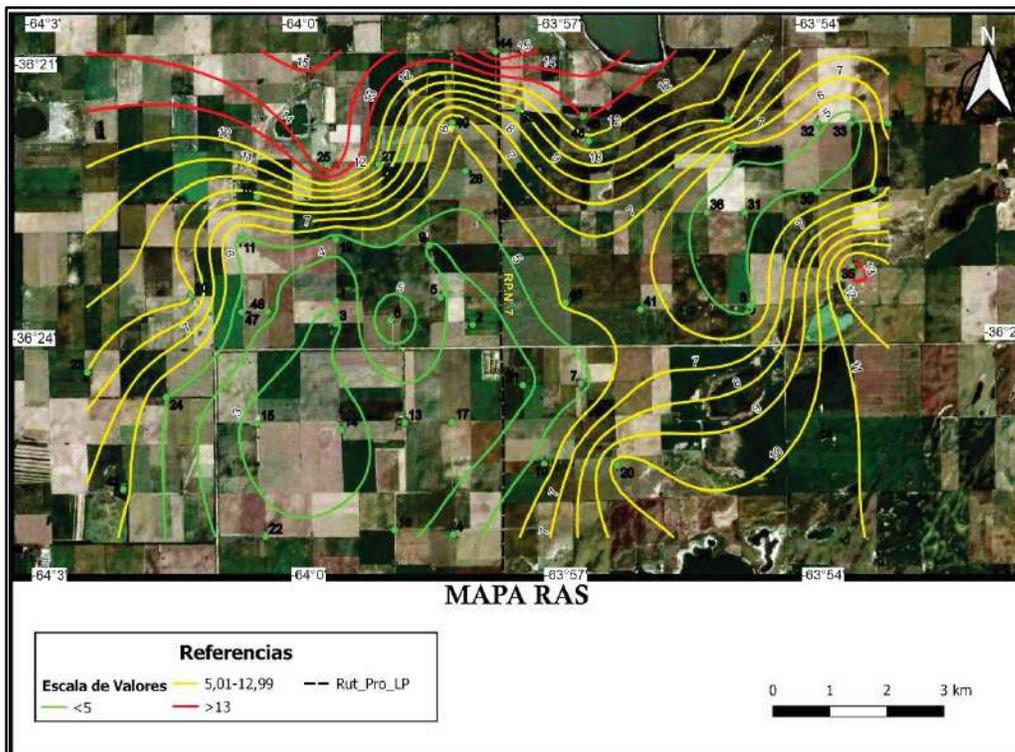


Figura 8. Mapa de variabilidad espacial de RAS.

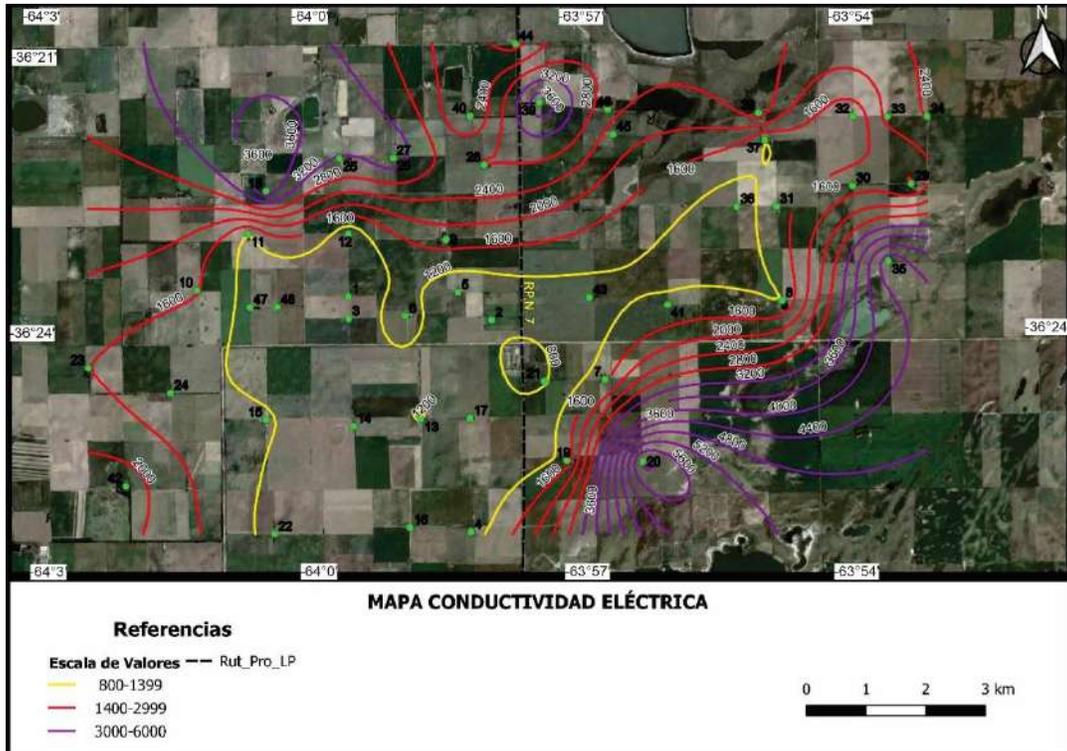


Figura 9. Mapa de variabilidad espacial de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

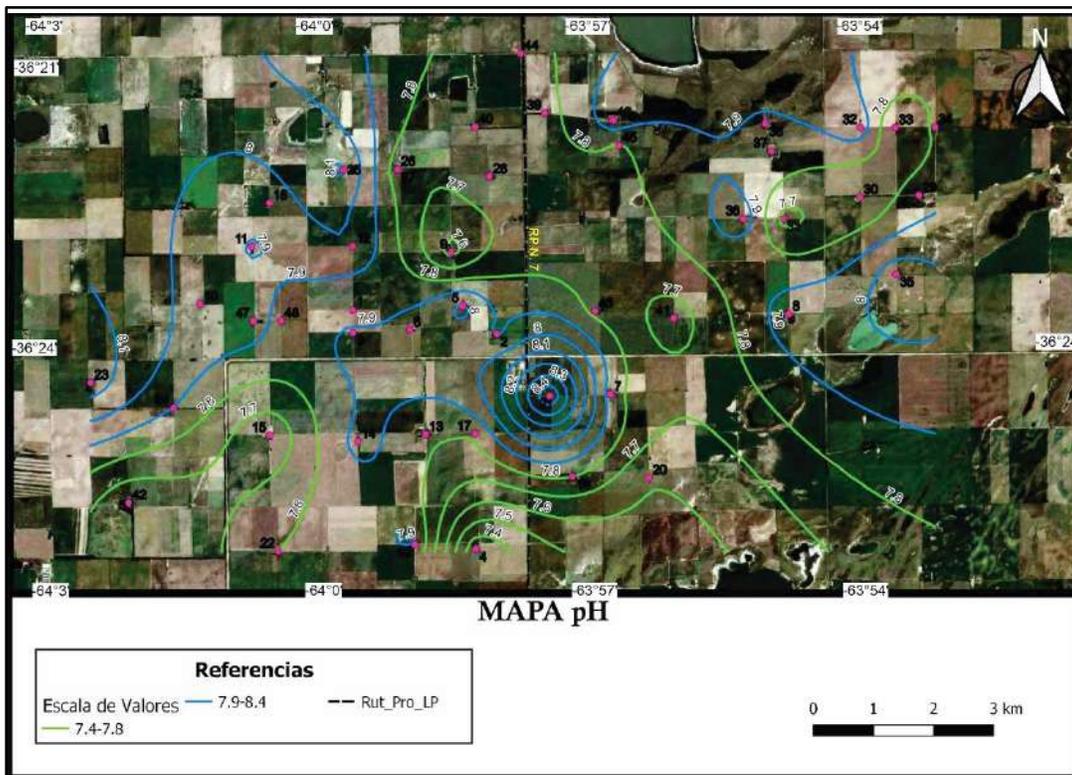


Figura 10. Mapa de variabilidad espacial de pH.

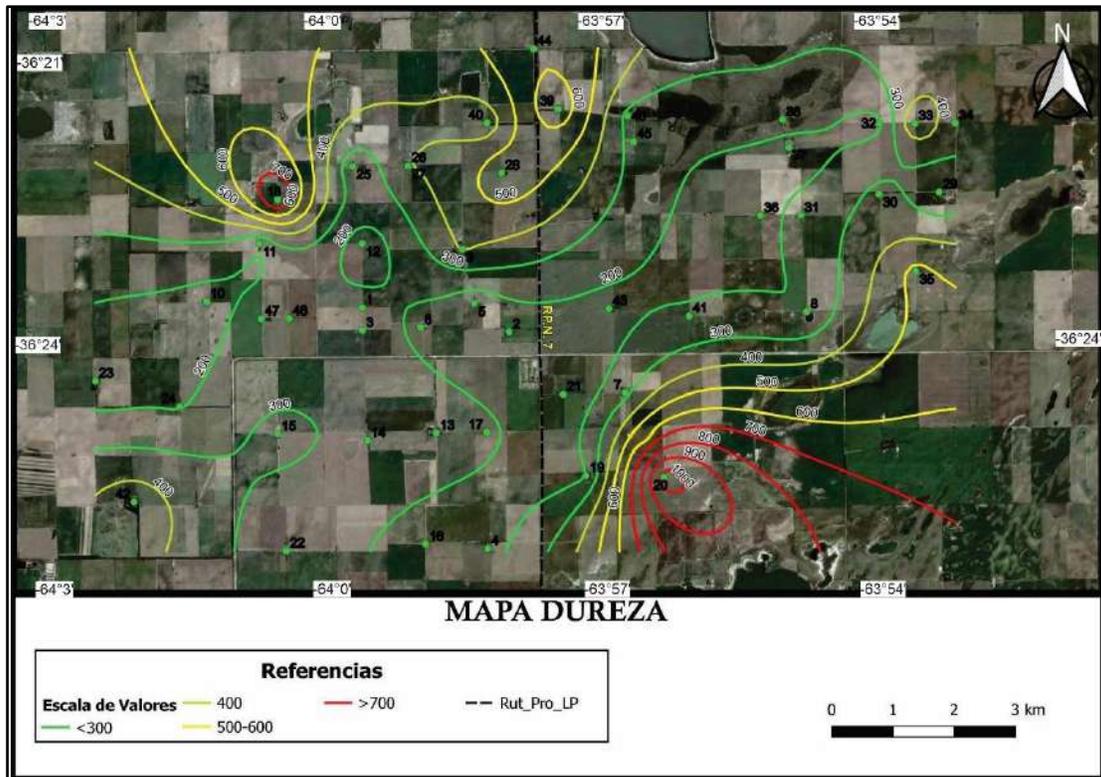


Figura 11. Mapa de variabilidad espacial de Dureza (mg/l).

Código Alimentario Argentino. Capítulo XII: Agua Potable

Características físicas:

Turbiedad: máx. 3 N T U;

Color: máx. 5 escala Pt-Co;

Olor: sin olores extraños.

Características químicas:

pH: 6,5 - 8,5;

pH sat.: $\text{pH} \pm 0,2$.

Substancias inorgánicas:

Amoníaco (NH_4^+) máx.: 0,20 mg/l;

Antimonio máx.: 0,02 mg/l;

Aluminio residual (Al) máx.: 0,20 mg/l;

Arsénico (As) máx.: 0,01 mg/l;

Boro (B) máx.: 0,5 mg/l;

Bromato máx.: 0,01 mg/l;

Cadmio (Cd) máx.: 0,005 mg/l;

Cianuro (CN^-) máx.: 0,10 mg/l;

Cinc (Zn) máx.: 5,0 mg/l;

Cloruro (Cl^-) máx.: 350 mg/l;

Cobre (Cu) máx.: 1,00 mg/l;

Cromo (Cr) máx.: 0,05 mg/l;

Dureza total (CaCO_3) máx.: 400 mg/l;

Fluoruro (F^-): para los fluoruros la cantidad máxima se da en función de la temperatura promedio de la zona, teniendo en cuenta el consumo diario del agua de bebida:

- Temperatura media y máxima del año ($^{\circ}\text{C}$) 10,0 - 12,0, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,9: límite superior: 1,7;

- Temperatura media y máxima del año ($^{\circ}\text{C}$) 12,1 - 14,6, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,8: límite superior: 1,5;

- Temperatura media y máxima del año ($^{\circ}\text{C}$) 14,7 - 17,6, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,8: límite superior: 1,3;

- Temperatura media y máxima del año (°C) 17,7 - 21,4, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), Límite inferior: 0,7: límite superior: 1,2;
- Temperatura media y máxima del año (°C) 21,5 - 26,2, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,7: límite superior: 1,0;
- Temperatura media y máxima del año (°C) 26,3 - 32,6, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,6; límite superior: 0,8: Hierro total (Fe) máx.: 0,30 mg/l;
- Manganeso (Mn) máx.: 0,10 mg/l;
- Mercurio (Hg) máx.: 0,001 mg/l;
- Níquel (Ni) máx.: 0,02 mg/l;
- Nitrato (NO₃ -) máx.: 45 mg/l;
- Nitrito (NO₂ -) máx.: 0,10 mg/l;
- Plata (Ag) máx.: 0,05 mg/l;
- Plomo (Pb) máx.: 0,05 mg/l;
- Selenio (Se) máx.: 0,01 mg/l;
- Sólidos disueltos totales, máx.: 1500 mg/l;
- Sulfatos (SO₄ =) máx.: 400 mg/l;
- Cloro activo residual (Cl) mín.: 0,2 mg/l.