



Universidad Nacional de Río Cuarto
Facultad de Ciencias Exactas, Físico- Químicas y Naturales
Departamento de Geología
Tesis de licenciatura

Hidrodinámica e hidrogeoquímica general y de elementos traza del acuífero sedimentario de los valles de la Sierra de las Peñas y entorno pedemontano, provincia de Córdoba, Argentina

Graciela Sara Iacomussi



Directora: Dra. Edel Matteoda.
Co- Directora: Dra. Mónica Blarasin.

2019

"Hay una fuerza motriz
más poderosa que el
vapor, la electricidad y
la energía atómica: la
voluntad" Albert
Einstein.

A mis padres, Nora y Francisco.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	1
CAPÍTULO 1	2
INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	2
1.1 Introducción	2
1.1.1 Antecedentes y fundamentación	2
1.2 Hipótesis	4
1.3 Objetivos	4
1.4 Ubicación y aspectos generales del área de estudio	5
CAPÍTULO 2	8
MATERIALES Y MÉTODOS	8
2.1 Metodología	8
2.1.1 Etapa de gabinete inicial	8
2.1.2 Etapa de campo	8
2.1.3 Etapa de laboratorio	11
2.1.4 Etapa de gabinete final	14
CAPÍTULO 3	16
GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	16
3.1 Introducción	16
3.2 Geología Regional	17
3.2.1 Sierras Pampeanas	17
3.2.2 Llanura Chaco- Pampeana	19
3.3 Características Geológicas y Estratigráficas	19
Proterozoico- Paleozoico	19
Mesozoico	21
Cenozoico	21
3.4 Características Estructurales	23
3.5 Geomorfología	26
D - Sistema Sierras Pampeanas	27
A - Llanura Pampeana	28

CAPÍTULO 4	30
GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL	30
4.1 Introducción	30
4.2 Análisis morfotectónico local	30
4.3 Estructuras	31
4.4 Geología	33
4.4.1a Sierra de las Peñas Sur	37
4.4.1b Valles intraserranos	39
4.4.2 Llanura pampeana	46
4.4.3 Características mineralógicas y geoquímicas	49
4.5 Perfiles geológicos esquemáticos	52
4.6 Geomorfología Local	56
4.6.1 Unidad I: Sierra de las Peñas	58
4.6.2 Unidad II: Llanura pedemontana	62
4.7 Evolución geológica para del área de estudio	67
CAPÍTULO 5	70
OCUPACIÓN Y USO DEL TERRITORIO	70
5.1 Introducción	70
5.2 Ocupación y uso del territorio	70
5.2.1 Áreas naturales de la sierra con ganadería extensiva	72
5.2.2 Agricultura de secano con ganadería extensiva/intensiva subordinada en valles intraserranos	72
5.2.3 Agricultura de secano y/o riego con ganadería extensiva/intensiva subordinada en pedemonte y llanura proximal.	75
CAPÍTULO 6	83
HIDROMETEOROLOGÍA	83
6.1 Aspectos Climáticos Regionales	83
6.2 Aspectos Climáticos Locales	85
6.2.1 Recopilación de datos hidrometeorológicos	85
6.2.2 Cálculo de precipitación media por el método de la media aritmética.	86

6.2.3 Cálculo de precipitación media para el área de estudio mediante el método de los polígonos de Thiessen	87
6.2.4 Análisis de precipitaciones.....	88
6.2.5 Balance Hídrico Modular	96
6.2.6 Balance Hídrico Seriado.....	100
CAPÍTULO 7	105
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA	105
7.1 Hidrología Regional.....	105
7.1.1 Hidrología Superficial	105
7.1.2 Hidrología Subterránea	106
7.2 Hidrología Local.....	111
7.2.1 Aspectos hidrográficos e hidrodinámicos del agua superficial	111
7.2.2 Hidrología Subterránea	115
CAPÍTULO 8	126
HIDROGEOQUÍMICA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA	126
8.1 Introducción	126
8.2 Hidrogeoquímica general	126
8.2.1 Principales constituyentes químicos de aguas superficiales y subterráneas	126
8.3 Hidrogeoquímica Regional	128
8.3.1 Hidrogeoquímica superficial.....	128
8.3.2 Hidrogeoquímica subterránea	128
8.4 Hidrogeoquímica Local	129
8.4.1 Hidrogeoquímica de agua superficial	129
8.4.2 Hidrogeoquímica subterránea	135
CAPÍTULO 9	161
HIDROGEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MINORITARIOS Y TRAZAS (Fe Mn y Zn)	161
9.1. Introducción	161
9.1.1 Concentración y distribución de elementos minoritarios/traza a nivel mundial	164
9.1.2 Fuentes antrópicas de elementos trazas	165
9.1.3 Geoquímica del hierro	166

9.1.4 Geoquímica del manganeso	167
9.1.5 Geoquímica del zinc	168
9.2 Movilidad de elementos traza en suelos y aguas	169
9.2.1 Comportamiento de elementos traza en aguas superficiales y subterráneas	171
9.3 Metales pesados y elementos traza en el área de estudio: resultados, discusión e interpretaciones	173
9.3.1 Fuentes naturales	173
9.3.2 Fuentes antrópicas	174
9.3.3 Fe Mn y Zn en aguas superficiales.....	175
9.3.4 Fe Mn y Zn en aguas subterráneas	177
9.3.5 Valores para Fe Mn y Zn en la zona de estudio	180
9.3.6 Relación entre pH y OD con los metales Fe Mn y Zn	187
9.3.7 Ensayos tipo Batch para determinar liberación de Fe, Mn y Zn	190
9.3.8 Relación de metales Fe Mn y Zn con relieve, litología, uso del territorio y actividades asociadas a las captaciones	195
9.3.9 Relación entre valores obtenidos de OD con actividades asociadas a las captaciones	199
CAPÍTULO 10.....	201
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	201
10.1 Conclusiones	201
10.2 Recomendaciones	204
ANEXOS	205
Anexo I: Balances hídricos seriados: Elena y Las Peñas Sur	205
Anexo II: Cálculo de gradientes hidráulicos y Velocidad efectiva real.....	221
Anexo III: Análisis físico- químicos de aguas superficiales y subterráneas. Sierra de las Peñas Sur.....	222
Bibliografía.....	224

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Río Cuarto por darme la oportunidad de formarme tanto en lo profesional como en lo personal, haciendo de ella mi segundo hogar.

A los docentes del Departamento de Geología que han sido varios y han sabido acompañarme y apoyarme en todo el transcurso universitario. A la Dra. Edel Matteoda por su infinita paciencia y tiempo en la corrección de esta tesis. A la Dra. Mónica Blarasin por su apoyo y predisposición al momento de la corrección. A la Lic. Verónica Lutri que aportó datos relevantes y brindó su apoyo en reiteradas ocasiones. A la Dra. Susana Degiovanni por su contribución en la descripción geomorfológica de la zona de estudio. A la gente de aguas en general, que de alguna u otra forma acompañaron este aprendizaje. Al Lic. Alejandro Demichelis por su colaboración a la hora de evaluar esta tesis.

A mi familia, lo más importante de mi vida: mis viejos amados, quienes hicieron todo lo posible para que llegue hasta aquí, siempre brindando su incondicional apoyo y amor pese a las dificultades; hice de ustedes, mis pilares para seguir. A mi hermano, Francisco. A mis sobrinos, Lautaro y Agustina. A mi ahijado, Fausto.

A Anita, mi compañera en este viaje, gracias por tu amor, comprensión, tolerancia e incondicional apoyo en esta etapa tan importante de mi vida.

A mis amigos del pueblo, los de toda la vida: Yamila, Melisa, Gastón, Marianela, Maico, gracias por su eterna amistad.

A los mejores compañeros y amigos de esta hermosa universidad: Pía, Facundo, Luciano, Melinda, Lorena, Gabriela, Josefina, Juan y Matías. A los pibes de siempre: Bruno, Tadeo, Lucas, Lulo, Eze y Walter, gracias por ser parte de esta etapa y por tantos lindos momentos.

A los amigos que me brindó esta ciudad: Elisa, Analía, Jessica, Florencia, Rocío, Julia. Gracias por los momentos compartidos.

A mi amiga y compañera de zona de tesis, Paz M., quien hizo más ameno, didáctico y divertido el desarrollo de este trabajo.

Se agradece a los pobladores del ámbito de la Sierra de las Peñas y alrededores, quienes hicieron una enorme colaboración de antecedentes pluviométricos para lograr un mejor tratamiento e interpretación de los datos a partir de los distintos análisis correspondientes: Hortal Bianchi y CIA. S.A, Sr Emiliano Schifani, Sr Javier Schifani, Sr Victor Fogliatti y Cooperativa agrícola- ganadera de la localidad de Elena.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

1.1.1 Antecedentes y fundamentación

El agua es de trascendental importancia para el desarrollo humano porque además de ser fuente de recursos, posee capacidad de sumidero y forma parte de procesos vitales en todos los ecosistemas. Las aguas naturales adquieren su composición química mediante procesos complejos, donde intervienen factores químicos- físicos, geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos y biológicos. Así, es necesario dedicar especial atención al estudio de su dinámica y calidad, para definir con criterio científico pautas para su uso, manejo y protección, una de las bases fundamentales para el desarrollo sustentable, objetivo primordial de la Cumbre Mundial de Johannesburgo (2002).

Entre la bibliografía clásica internacional que trata sobre la composición química del agua y la relación con relieves y litologías con los que la misma está en contacto merecen citarse Garrels y Christ (1965); Stumm y Morgan (1981); Drever (1982) y Nordstrom y Muñoz (1986), entre otros. La aplicación a las aguas subterráneas ha sido desarrollada por Schoeller (1962); Davis y De Wiest (1966); Hem (1986); Freeze y Cherry (1979); Custodio y Llamas (1983), Domenico y Schwartz, (1990), Appelo y Postma (1996) y Deustch (1997). Entre trabajos más nuevos merece citarse: Thyne et al. (2004). Matteoda, (2012), Matteoda et al. (2010), (2011), Zabala et al. (2016). Matteoda y Blarasin (2013, 2014 a y b, 2016), Gill (2014), Becher Quinodoz et al. (2019), entre otros.

Además de aquellos aspectos naturales de la composición físico química del agua, la contaminación de aguas es un problema de gran importancia en el mundo, siendo vinculada principalmente al desarrollo de actividades agropecuarias, una de las más extendidas y perjudiciales, aspecto que se refleja también en el sector rural de la llanura pampeana Argentina (Blarasin et al., 2014) dado que en las últimas décadas se han producido importantes cambios en el uso de la tierra. Estos cambios pueden ser reconocidos por indicadores generales como el aumento en cloruros, COD, HCO_3^- y NO_3^- (Edmunds, 1996) pero también, aunque en menor medida, podría ocurrir el incremento de otros elementos como Fe, Mn y Zn, entre otros, asociados al uso de agroquímicos, principalmente de fertilizantes fosfatados y a productos farmacéuticos utilizados en

establecimientos ganaderos llegando al acuífero, procedentes de purines (Adriano, 2001; Coma y Bonet, 2004; Kabata-Pendias, 2011; Mello, 2013).

La llegada de contaminantes al acuífero libre depende en gran medida del potencial de atenuación de la zona no saturada, es decir, la capacidad para degradar, adsorber, dispersar, o retardar contaminantes mediante procesos físicos, químicos y biológicos. La ocurrencia e intensidad de estos procesos varía en el subsuelo. Así, en la zona edáfica, los compuestos químicos son parcialmente degradados o retenidos por microorganismos y plantas o por procesos físicos y químicos. La zona no saturada tiene como rol retardar y/o reducir la llegada de contaminantes al acuífero mediante la hidrólisis, volatilización, complejación, precipitación, intercambio iónico, reacciones redox, sorción, transformaciones bioquímicas, entre otras, mientras que en la zona saturada, sumadas a éstas, cobra importancia el transporte advectivo de los solutos disueltos y la dispersión hidrodinámica (Foster e Hirata, 1988).

Por otra parte, los contaminantes no pueden ser medidos ni evaluados desconociendo el contexto hidrogeológico, hidrodinámico e hidrogeoquímico del acuífero. La hidrogeoquímica es una herramienta importante para estos fines ya que provee información sobre la distribución y evolución espacio-temporal de los elementos químicos resultantes de la interacción agua-medio sólido-gaseoso u otro fluido en un sistema hidrológico (Custodio, 1993; Raju, 2009; Rajaveni et al., 2015).

En cuanto a la movilidad de los metales en el agua subterránea, ésta depende de una serie de procesos tales como la formación de complejos acuosos, la precipitación y disolución de minerales y otras reacciones que tienen lugar en la superficie de los sólidos. Todos estos procesos están fuertemente influenciados por dos propiedades del agua, el pH y Eh. Para el estudio del transporte de contaminantes, a nivel de laboratorio se han desarrollado una serie de métodos que permiten deducir el comportamiento hidrogeoquímico de determinados solutos (orgánicos e inorgánicos) ante la presencia de una matriz sólida que puede ser los minerales, materia orgánica, etc. Entre estas técnicas se encuentran los ensayos de adsorción-desorción, tales como los ensayos Batch o los ensayos de flujo a través de columnas (Rao 1974; Tyler 1981; Rao et al. 1993; Wang et al. 1998, entre otros). Estos ensayos permiten evaluar la capacidad de adsorción y desorción, la influencia de la relación sólido/concentración, la adsorción en función del tiempo y conocer la capacidad efectiva del material para retener la masa de metal

adsorbida en diferentes situaciones físico químicas (Appelo y Postma, 1993, Deutsch, 1997, Šraček y Zeman. 2004).

La llegada de contaminantes a los acuíferos libres en ecosistemas rurales y la movilidad de los mismos ha sido estudiada por numerosos autores como Fairchild (1990), (Deutsch, 1997), Argoss, (2002), Edmunds (2004), Razowska-Jaworek y Sadurski (2005), Mascioli et al. (2005), Giordano y Villholth (2007), Spellman y Whiting (2007), Kouamé et al (2013), Al-Najar et al. (2015), entre otros. Además de los antecedentes ya citados, otras investigaciones realizadas en la provincia de Córdoba y en las que se relaciona la calidad físico-química del agua con concentraciones de nitratos y/o elementos traza son las de Blarasin (2003), Blarasin *et al*, (2005, 2006, 2008, 2010, 2014 a y b), Giuliano Albo *et al.*, (2010, 2014), Giuliano Albo, 2013, Giuliano Albo y Blarasin (2014), Matteoda *et al.*, (2005, 2008, 2009, 2010, 2013) Matteoda (2012), Matteoda y Blarasin (2014 a y b, 2016), entre otros.

Un aspecto a destacar es que numerosos estudios de los mencionados en el párrafo anterior, se han realizado en plena llanura, dado el interés de conocer diversos aspectos geohidrológicos de estos ambientes, en los que el agua subterránea es recurso fundamental para todo tipo de usos, mientras que aquellos realizados en ambientes serranos, son más regionales y generales. Dada la fundamental importancia de las Sierras Pampeanas como ambiente de recarga a los sistemas hidrológicos (Blarasin et al., 2014), sugiere la necesidad de conocer el acoplamiento de los diversos procesos hidrológicos entre cuencas alta medias y bajas, por lo que en esta tesis se decide estudiar, en el marco de los proyectos de investigación que la contiene, los valles de la sierra de las Peñas y su entorno. De este modo se plantean las siguientes hipótesis:

1.2 Hipótesis

- La dinámica del agua subterránea del área seleccionada y consecuentemente su calidad natural, están fundamentalmente controladas en los valles y en el pedemonte por el relieve, y, en menor grado, por las litologías presentes.
- La calidad natural del agua presenta modificaciones derivadas de las actividades agropecuarias que se desarrollan en la región, incrementando la concentración de nitratos y de algunos metales como Fe, Mn y Zn por encima de su fondo natural.

1.3 Objetivos

A continuación, se plantean los objetivos generales y específicos de este trabajo:

1.3.1 Objetivo General

Realizar la caracterización hidrodinámica e hidrogeoquímica del acuífero libre alojado en los valles del extremo sur de la Sierra de las Peñas y su entorno pedemontano, estableciendo origen y procesos que controlan el comportamiento de solutos mayoritarios y algunos elementos traza de interés.

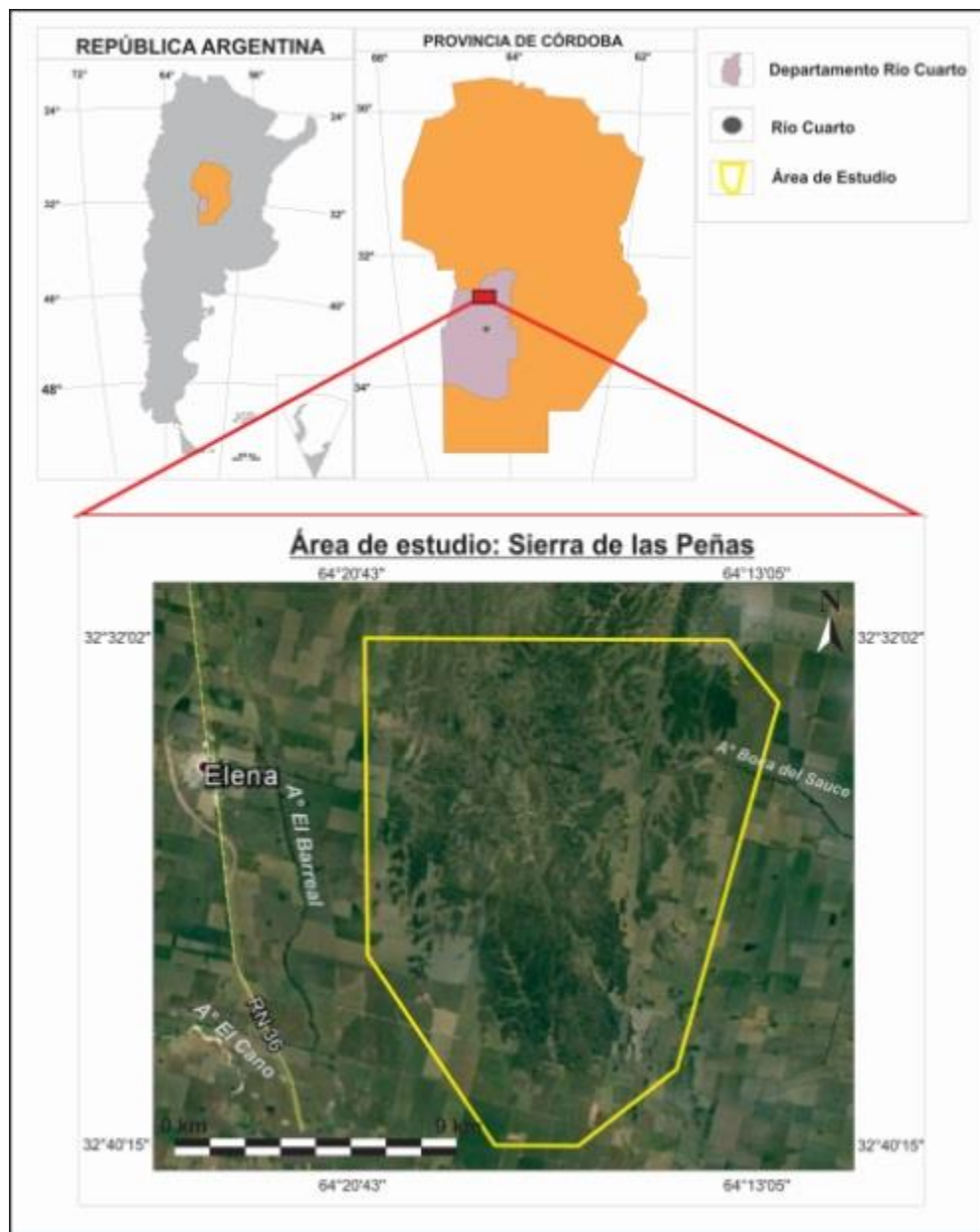
1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los aspectos geológicos y geomorfológicos del área de estudio.
- Evaluar e interpretar la información hidrometeorológica para analizar su influencia sobre los recursos hídricos.
- Identificar el uso del territorio y actividades humanas que puedan generar cambios en la calidad y dinámica del agua subterránea.
- Caracterizar el comportamiento hidrogeoquímico del agua subterránea y sus condicionantes en el área seleccionada.
- Evaluar específicamente los nitratos en aguas subterráneas y su relación con actividades de uso del territorio.
- Estudiar y cuantificar la presencia de Fe, Mn y Zn y su vinculación con el origen mineral o el derivado de contaminación.

1.4 Ubicación y aspectos generales del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el extremo sur de la Sierras Chicas de Córdoba, más precisamente en la Sierra de las Peñas, su entorno pedemontano y llanura proximal, dentro de la provincia de Córdoba, en el Departamento Río Cuarto a unos 75 km aproximadamente de la ciudad de Río Cuarto. Se accede al lugar a través de la Ruta Nacional N° 36 (Autovía Río IV- Córdoba), hasta llegar a la altura de la localidad de Elena, donde se realiza un desvío hacia el Este a través de caminos rurales que permiten el ingreso a la zona, desembocando directamente en los valles que conforman estas sierras, principal objetivo de estudio del presente trabajo de tesis (Fig. N° 1.1).

El área enmarcada comprende una superficie de 150 km², correspondientes a las Hojas del IGN (Instituto Geográfico Nacional) Elena 3363-7-3, Las Peñas Sur 3363-7-4 y Alcira 3363-13-1. Esta superficie se encuentra comprendida aproximadamente entre los 32°32'- 32°40' de latitud Sur, y los 64°20'- 64°13' de longitud Oeste.



Según Carignano et.al (2014), las Sierras Chicas, incluida la de Las Peñas, son el resultado de una prolongada y compleja historia de evolución geomorfológica caracterizada por la alternancia de extensos períodos de estabilidad, con exposición de la roca a los agentes de meteorización, eventos de alzamiento tectónico y exhumación, con la subsecuente activación de los procesos de erosión. Poseen un perfil marcadamente asimétrico con escarpa al occidente y superficie estructural al oriente, sobre la que aparecen restos de paleo-superficies. La Sierra de Las Peñas está constituida por rocas

del basamento cristalino, encontrándose actualmente en proceso de exhumación (Demichelis, 1986). Se observan valles fluviales con fuerte control estructural y direcciones variables, con rellenos sedimentarios de origen eólico y aluvio-coluvial. De acuerdo a los estudios realizados por Matteoda (2012) y teniendo en cuenta el funcionamiento hidrogeológico regional de la provincia de Córdoba descrito en Blarasin et al. (2014), este sector, por su posición topográfica, es una típica área de recarga hidrológica. Es un ambiente caracterizado por la coexistencia de un medio rocoso fracturado y el sedimentario de los valles. El agua subterránea de éstos últimos está siendo explotada con captaciones pequeñas y usos restringidos, mientras que en el medio sedimentario del pedemonte hay mayor densidad de explotaciones y de mayor porte (Matteoda 2012).

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Metodología

La metodología utilizada para la realización de este trabajo constó de varias etapas, las que son descriptas a continuación:

2.1.1 Etapa de gabinete inicial

Se llevó a cabo la recopilación y análisis de antecedentes bibliográficos, cartográficos, geológicos, geomorfológicos, hidrometeorológicos, etc., del área y temática a investigar. Elaboración de una cartografía geológica, geomorfológica, hidrológica preliminar sobre la base de cartas topográficas 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN) e imágenes satelitales tomadas a partir del software *Google Earth*. Además, se definió una red preliminar de inventario de pozos con densidad 8-10 km² adecuada para el área seleccionada.

2.1.2 Etapa de campo

Se realizó un control a campo de las principales características geológicas, geomorfológicas y ambientales del área de trabajo, con el fin de elaborar una cartografía definitiva. Se relevaron actividades de uso de la tierra, se evaluó la presencia de prácticas de riego, uso de agroquímicos, ubicación de tambos y/o feed-lots, etc., lo que permitió realizar interpretaciones en relación a la dinámica y calidad del agua. Se recopiló información disponible respecto de los materiales del subsuelo atravesados por las perforaciones censadas y sobre el diseño de las captaciones.

Se extrajeron muestras de suelos y sedimentos de perfiles aflorantes para análisis granulométricos y para realizar ensayos de laboratorio tipo Batch con el fin de determinar la presencia y liberación al agua superficial y subterránea de los metales hierro, manganeso y zinc.

Se realizó un relevamiento y actualización de la información meteorológica disponible, en los establecimientos visitados y aledaños, tal fue el caso de la serie Elena (1975-2017), resultando la más completa para el área de estudio, como así también las series Las Peñas Sur (1990- 2015), la Morocha (2004- 2014), Don Vincenzo (1998- 2016) y Gigena (1988- 2017).

Se realizó un relevamiento de escurrimientos superficiales y se practicaron aforos con el método del flotador.

Para el censo de perforaciones preexistentes, se determinaron in situ niveles estáticos y/o dinámicos del acuífero libre con sonda piezométrica de señal lumínica y sonora Solinst (Fig. N° 2.1), se midieron in situ parámetros físico- químicos de calidad del agua tales como pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica (CE) y Oxígeno Disuelto (OD), todos con sonda multiparamétrica WTW, calibrada previo al uso.



Figura N° 2.1: Medición de nivel freático sonda piezométrica de señal lumínica y sonora.

La figura N° 2.1 muestra la técnica para medición del nivel freático en un pozo de gran diámetro en desuso y en una perforación (con antepozo) con molino instalado.

Se censaron 3 arroyos ubicados en distintos valles de la sierra, de los cuales se obtuvieron 6 muestras de aguas superficiales. Por otra parte, se censaron 25 pozos para mediciones de niveles freáticos, distribuidos también en valles y el entorno pedemontano, de los que se extrajeron 21 muestras de aguas subterráneas de perforaciones que captan de los primeros 10- 15 m del acuífero libre.

Las muestras de aguas superficiales y subterráneas se utilizaron para posteriores análisis físico-químicos de elementos mayoritarios, minoritarios y algunos elementos traza de interés.

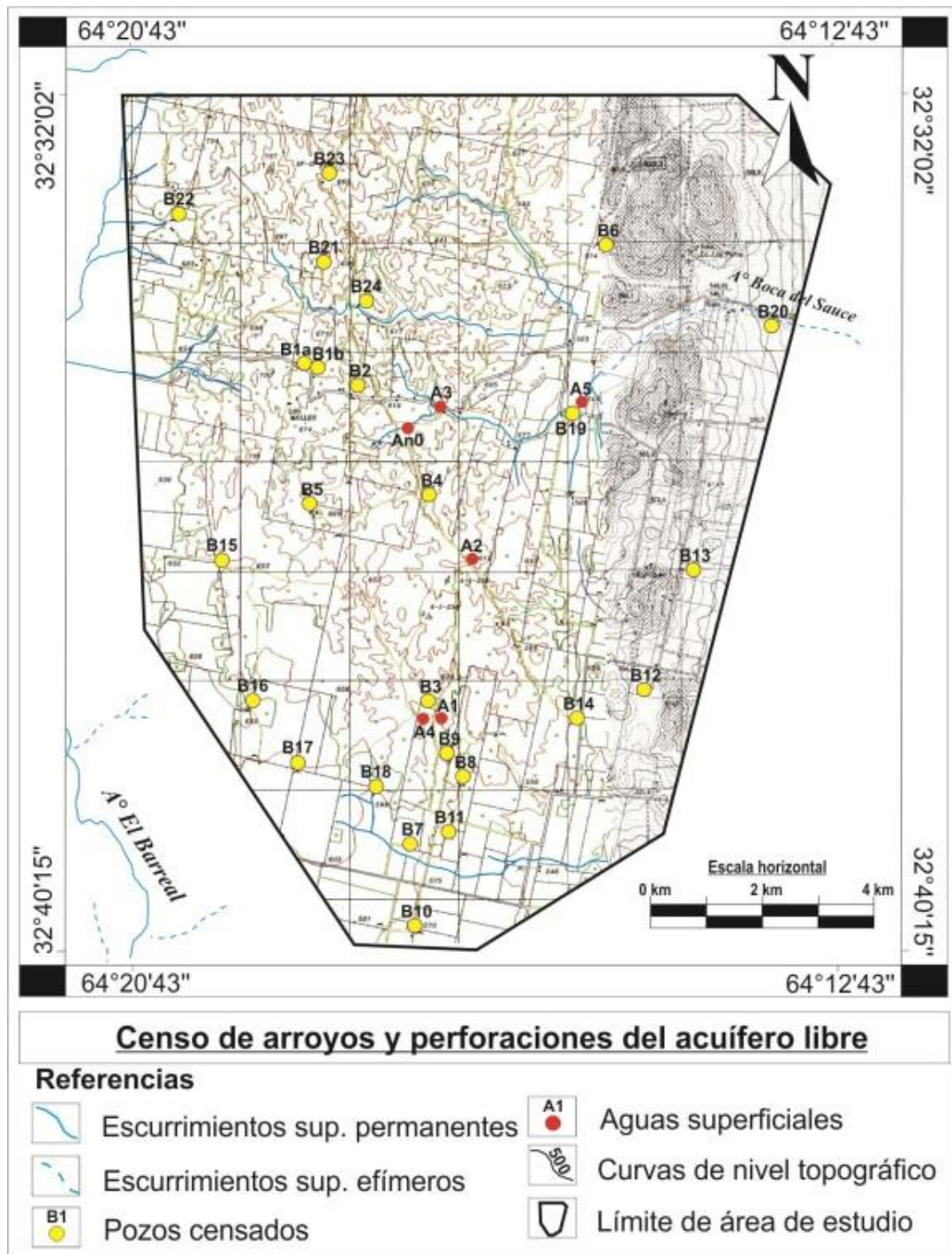


Figura N° 2.2: Censo de perforaciones de arroyos y niveles freáticos en valles de la Sierra de las Peñas y entorno pedemontano.

Debe destacarse la gran dificultad para ingresar en algunos valles ya sea por el abandono y/o la poca a nula accesibilidad en los caminos rurales. También la escasa población y la migración de muchos ruralistas hacia las localidades vecinas jugaron un rol

desfavorable a la hora de obtener mayor información de la zona.

Todos los puntos de medición quedaron registrados geográficamente a través de la implementación de un GPS, para luego ser volcados en los mapas correspondientes de manera georreferenciada.

2.1.3 Etapa de laboratorio

Las muestras de sedimentos recolectadas en los diferentes perfiles aflorantes fueron sometidas a análisis texturales con tamices ASTM (escala Udden- Wendworth). En primer

lugar se disgregaron las muestras en un mortero de goma, luego se volcaron en los tamices a utilizar y se colocaron en un agitador durante 15 minutos con la finalidad de separar según tamaño de grano (Fig. N° 2.3). Una vez terminado el proceso, se tomó la fracción de sedimento recolectada en cada tamiz, y se pesó (en gramos) para



Figura N° 2.3: a- muestra a tamizar; b- mortero de goma; c- tamices colocado en agitador.

luego insertar los datos en una planilla de cálculo y así obtener diferentes histogramas con las fracciones granulométricas que constituyen la muestra.

Todas las muestras de aguas superficiales y subterráneas obtenidas en campo fueron tratadas y analizadas en el Laboratorio de Geoquímica perteneciente al Dpto. de Geología de la Universidad Nacional de Río Cuarto, mediante técnicas convencionales.

Se realizaron los respectivos análisis físico- químicos de iones mayoritarios, donde se midieron los siguientes variables químicas: carbonatos y bicarbonatos (CO_3^{2-} y HCO_3^-) mediante titulación potenciométrica con electrodo Thermo, sulfatos (SO_4^{2-}) a partir de turbidimetría con centrífuga Macrotronic, cloruros (Cl^-) mediante titulación volumétrica con nitrato de plata; calcio y magnesio (Ca^{++} y Mg^{++}) mediante titulación volumétrica con EDTA,

por sodio y potasio (Na^+ y K^+) por fotometría de llama con fotómetro digital Metrolab 315. En cuanto a componentes minoritarios, nitritos y nitratos (NO_2^- y NO_3^-) se midieron con tests Merck en campo, y con electrodo de ión selectivo sólo para nitratos en laboratorio.

Para determinar la presencia de los iones metálicos Fe, Mn y Zn se efectuaron técnicas de análisis mediante kits comerciales de alta sensibilidad acompañados de lecturas con fotómetros (Fig. N° 2.4):

a) uso de fotómetro compacto PF-12 Nanocheck (rango 340- 860 nm) para mediciones de soluciones Visicolor (ECO), con distintos rangos de medición: Fe= 0,04- 2 mg/L; Mn= 0,1- 5 mg/L; Zn= 0,1- 3 mg/L.

b) tests colorímetros Visicolor (HE) con diferentes rangos de medición para cada uno: Fe= 0,01-0,2 mg/L, Mn= 0,03-0,5 mg/L y para Zn= 0,5-3 mg/L.

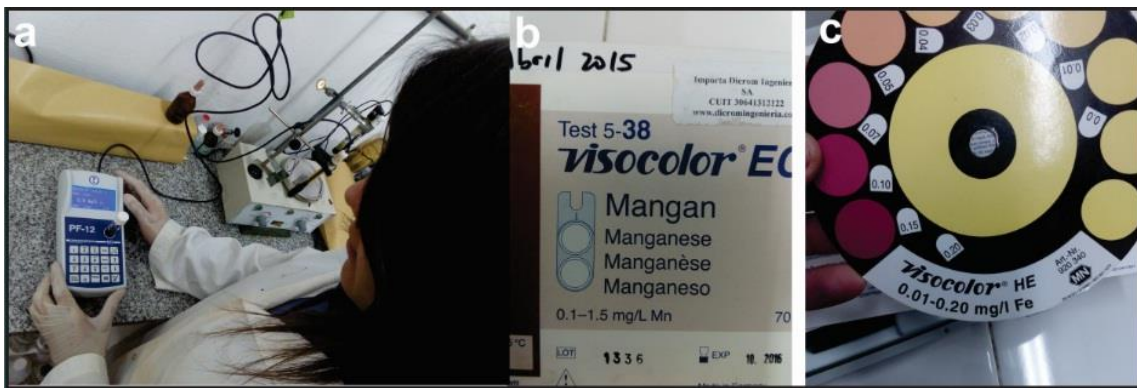


Figura N° 2.4: a- Medición con fotómetro PF-12 (ECO); b- test colorímetro Visicolor ECO para Mn; c- test colorímetro Visicolor HE para Fe.

Los ensayos de desorción/liberación fueron realizados en el laboratorio de Geoquímica de aguas de la UNRC y consistieron en poner en contacto soluciones preparadas en laboratorio con sedimentos de distintas características (que se indican en cap. 9), a distintos pH y tiempos. En tal caso, se midió la cantidad de masa metálica liberada desde el sedimento hacia la solución, para luego realizar las interpretaciones correspondientes.

El ensayo constó de las siguientes etapas:

I. Se prepararon dos tipos de soluciones (tabla N° 2.1):

Tabla N° 2.1: Propiedades de las soluciones utilizadas en los ensayos.

	H2O destilada	CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	pH	Mn $\mu\text{g}/\text{L}$	Fe $\mu\text{g}/\text{L}$	Zn $\mu\text{g}/\text{L}$	HCO_3^- mg/L
Sol. 1	Si	0	6,15	<0,1/0	<0,04/0	0	0
Sol. 2	Si	31	8,45	<0,1/0	<0,04/0	0	25

II. Se realizaron 24 ensayos, los que consistieron en poner en contacto sedimentos y solución en recipientes de iguales volúmenes (Fig. N° 2.4 A), con un peso de 75 g por muestra: 12 recipientes con sedimentos coluvio-aluviales (gruesos) y 12 con eólicos (finos). Se tomaron doce recipientes (6 con finos y 6 con gruesos), y se agregaron 150 mL de solución 1, y 150 mL de solución 2 a los doce restantes. Se rotuló la tapa de cada envase con: la solución contenida, el rango de pH indicado y la cantidad de días de ensayo ($n = N^{\circ}$ de días que estarán en contacto sólido/líquido).

III. Se colocó cada recipiente en el agitador y se midió el pH inicial de cada uno con peachímetro (Fig. N° 2.5 B). Se llevó cada muestra a su pH rotulado disminuyéndolo con ácido nítrico diluido al 10% o aumentándolo con hidróxido de sodio (NaOH) de 1 mol. Lograda dicha indicación, se dejó reposar la muestra hasta medirse en el día n asignado.



Figura N° 2.5: A- recipientes con sedimentos; B- muestra colocada en agitador con peachímetro.

IV. En el día n , se extrajo la solución contenida y se colocó en tubos dentro de una centrífuga durante 5 minutos (Fig. N° 2.6). Luego, se vertió el líquido en vasos de precipitados, se midieron las CE y además los metales Fe, Mn y Zn por el método colorimétrico con lectura en el fotómetro compacto PF-12 (ECO) (Fig. N° 2.7).



Figura N° 2.6: Tubos colocados en centrífuga.



Figura N° 2.7: Medición de los metales con fotómetro compacto PF-12.

V. Finalizada la etapa de medición de metales y obtenidos los valores, se volcaron en una panilla de cálculo (Excel) y con los valores medidos se calculó el **Sd**, que es la masa de metal desorbida ($\mu\text{g/L}$) por volumen de la solución utilizada (L) en relación a la masa del sedimento (kg):

$Sd(x) = \frac{\text{cc (ensayo)} \times \text{vol}}{\text{gr sedimentos}}$	VOLUMEN= 150 ml	0,15 L
	Sedim= 75 grs	0,075 Kg
	Cc (ensayo)=	$\mu\text{g/Kg}$ por muestra

Estos resultados se agruparon en una tabla con datos como número de ensayo, rango de pH asignado, t (días de ensayo), etc. y se elaboraron distintos gráficos para cada metal medido, para luego ser interpretados.

2.1.4 Etapa de gabinete final

En esta etapa se elaboraron los mapas de morfoisohipsas, geológico y geomorfológico definitivos pertenecientes al área de estudio.

Mediante la información obtenida de antecedentes y el análisis textural de las muestras sedimentarias obtenidas en los perfiles aflorantes relevados, se caracterizaron los aspectos litológicos y estratigráficos del área de estudio, principalmente en los valles, lo que también permitió una mejor ilustración de los perfiles geológicos.

Se elaboró un mapa de uso del territorio y la consecuente evaluación de las actividades que se desarrollan allí, con el fin de correlacionarlas con las posibles fuentes contaminantes.

Se realizó el tratamiento e interpretación estadística de los datos hidrometeorológicos obtenidos en las etapas anteriores mediante la determinación de los balances hídricos modulares (Thornthwaite) y seriados (PDIWin. Ravelo y Herrero, 1999) correspondiente a las series de años analizadas.

Se llevó a cabo la elaboración de una cartografía hidrogeológica a la fecha del inventario realizado, mapa de escurrimientos superficiales, mapa equipotencial del acuífero libre, mapa de isopropundidad del nivel freático y mapas hidroquímicos. Se procedió a la elaboración de los diagramas Piper- Hill y de Stiff (software ROCKSTAT, 1994) a partir de los resultados de los análisis de aguas.

Todos los mapas fueron digitalizados mediante el programa Corel Draw. X5.

Se realizó el tratamiento estadístico univariado (estadísticos principales, diagramas de cajas), bivariado (correlaciones entre pares de variables) y multivariado (cluster) de los datos químicos utilizando el software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*).

Se procedió al análisis de fondo natural para diversos elementos y compuestos, con especial énfasis en Fe, Mn y Zn.

Se efectuó el tratamiento de la información obtenida en laboratorio de las concentraciones desorbidas de estos elementos en los ensayos tipo Batch.

Finalmente se procedió al análisis integral de los resultados obtenidos, para así obtener el modelo hidrogeológico conceptual del área, redactándose luego la versión final de la tesis de Licenciatura.

CAPÍTULO 3

GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

3.1 Introducción

El área en la que se ubica la zona de estudio de la presente tesis de licenciatura comprende dos grandes provincias geológicas, Sierras Pampeanas y Llanura Chaco-Pampeana. En cuanto a Sierras Pampeanas, abarca el sector más austral de la Sierra Chica de Córdoba, precisamente el correspondiente a la Sierra de las Peñas y su entorno pedemontano (Fig. N° 3.1).

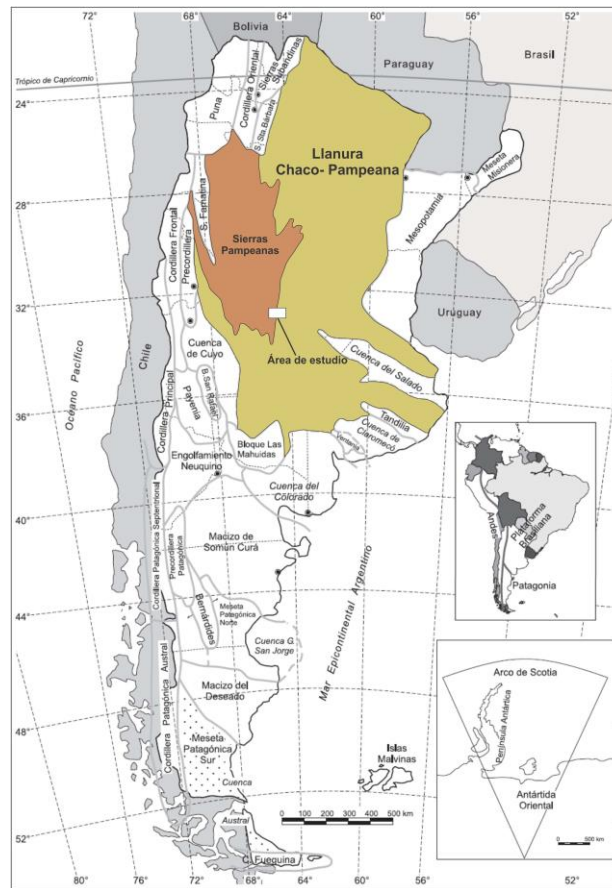


Figura N° 3.1: Mapa de las Provincias Geológicas de la República Argentina. Extraído de Ramos (1999) donde se resaltan las provincias de interés.

La reconstrucción geológica que se presenta aquí fue realizada en base a la recopilación e interpretación de diferentes estudios efectuados por diversos, los que son citados en los párrafos posteriores.

3.2 Geología Regional

3.2.1 Sierras Pampeanas

Se efectuaron diversos estudios realizados por diferentes autores sobre esta provincia geológica; la descripción inicial denominó a esta provincia como una unidad morfoestructural, conformada por una serie de sierras formadas por esquistos cristalinos o metamórficos que emergen de las pampas circundantes (Stelzner, 1873). Trabajos posteriores evidenciaron la presencia de un basamento precámbrico – eopaleozoico en las rocas metamórficas de la unidad (Rasmuss, 1916). Este basamento forma una serie de terrenos que se desarrollaron y acrecieron en el margen occidental convergente del cratón del Río de la Plata (Ramos, 1988); dicho basamento fue parcialmente cubierto por sedimentitas de edades neopaleozoicas, mesozoicas y cenozoicas. Se han propuesto diferentes divisiones para esta provincia geológica, pero en este caso se toma la caracterización definida por Ramos (1999), quien las subdivide en Sierras Pampeanas Orientales y Sierras Pampeanas Occidentales. La primera de ellas es la que comprende el área de estudio de interés. Corresponden a un orógeno generado durante el Proterozoico, con una colisión cercana al límite Precámbrico- Cámbrico, que sería responsable del magmatismo y metamorfismo de esa edad. Abarcan las Sierras Norte, Grande y Chica de Córdoba, y Sierra de Comechingones (Ramos, 1999).

3.2.1.1 Sierras Pampeanas de Córdoba

El área de estudio se enmarca en el ámbito correspondiente a la Sierra de las Peñas, la cual forma parte de las Sierras Pampeanas de Córdoba. Estas sierras son la entidad orográfica más oriental dentro del marco regional de las Sierras Pampeanas (Gordillo y Lencinas, 1979). Está definida por un conjunto de cordones montañosos de orientación submeridiana que se extienden por más de 500 km de longitud, entre los 29° y los 33°30' de latitud sur. Se caracterizan como un bloque de fallas separados por valles longitudinales, con basculamiento hacia el este, dando como resultado una morfología asimétrica con ladera oriental tendida y occidental escarpada (González Bonorino, 1950; Gordillo y Lencinas, 1979). Dentro del ámbito de esta unidad, puede subdividirse en tres unidades:

➤ Sierra Norte: nace al sur y al este del valle de Deán Funes, extendiéndose hacia Santiago del Estero como una altiplanicie de 700- 1000 m de altura.

➤ Sierra Grande (o de Achala): se encuentra en el margen más occidental de las Sierras de Córdoba; su punto más alto es el Cerro Champaquí (2884 m), desde donde la

sierra continúa hacia el sur, dándole la denominación de *Sierra de Comechingones* (Gordillo y Lencinas, 1979).

➤ Sierra Chica: comienza al norte con la sierra de Masa y culmina hacia el sur con la *Sierra de las Peñas* donde se efectúa el trabajo de investigación de esta tesis de licenciatura (Fig. N° 3.2).

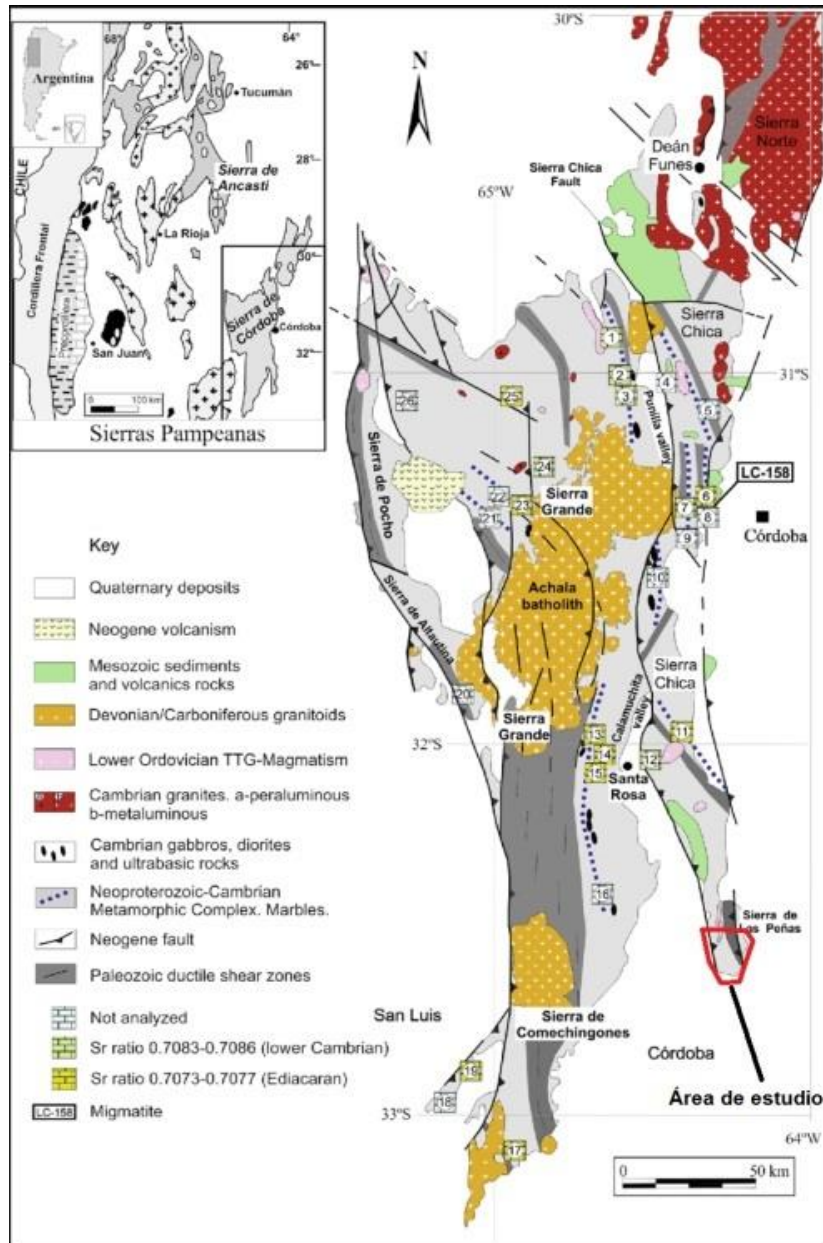


Figura N° 3.2: Mapa geológico de las Sierras Pampeanas de Córdoba. Tomado de Murra et al. 2016 (modificado de Martino, 2003 y Baldo et al., 2014).

3.2.2 Llanura Chaco- Pampeana

La descripción de esta provincia se efectuó en base a trabajos de Cantú (1992), Degiovanni (2005) y Chebli et al. (1999), entre otros; la reconstrucción Cuaternaria se realizó en base a trabajos de Cantú (1992), Santa Cruz (1972) y Bonalumi et al. (2005); y la descripción geológica- geomorfológica del sur de la provincia de Córdoba fue realizada en base a Degiovanni et al. (2005), Degiovanni et al. (2003), Carignano et al., (1999), Degiovanni y Cantú, (1997), Iriondo (1990a, b y c; 1997), Cantú y Degiovanni (1984); Carignano (1996, 1997a y b, 1999); Iriondo y Krohling (1996, 2007) y Blarasin et al. (2000).

La llanura Chacopampeana fue descrita como provincia geológica por primera vez por Groeber (1938) quien la caracterizó como una extensa planicie desarrollada entre las Sierras Subandinas y las Sierras Pampeanas al oeste, y el río Paraná al este. Su límite sur se extiende hasta el río Colorado, hundiéndose en la plataforma continental.

Chebli et al. (1999) define a la Llanura Chacopampeana como una parte poco móvil de la corteza, de tendencia negativa, donde en el pasado geológico se acumularon espesas series sedimentarias continentales y marinas. Evidencias estratigráficas, sedimentológicas y sísmicas permiten interpretar para el subsuelo la existencia de grandes depresiones separadas por altos estructurales.

Forma parte de una unidad mucho más extensa que atraviesa todo el continente sudamericano, desde los llanos de Colombia y Venezuela al norte, hasta las pampas de la República Argentina al sur (Degiovanni, 2005), constituyendo un gran antepaís que recibió, desde el Mioceno, sedimentos provenientes del levantamiento andino y que hoy constituye el lugar de tránsito de esos sedimentos hacia la plataforma y talud continental atlánticos (Chebli et al. 1999).

3.3 Características Geológicas y Estratigráficas

Proterozoico- Paleozoico

➤ Basamento cristalino

El basamento de las Sierras Pampeanas de Córdoba se corresponde con un complejo metamórfico- migmático en facies de anfibolita granulita, formado por migmatitas, gneises biotíticos hornbléndicos de edad Neoproterozoica a Paleozoica inferior (Gordillo y Lencinas, 1979), intruído por granitoides de composición intermedio- máfica a los 575 Ma, y de composición trondhjemiticos durante la orogenia Famatiniana (490- 450 Ma). Se

definió un origen para el basamento derivado de protolitos predominantemente sedimentarios (equivalentes a *Fm Puncoviscana*) constituido por grauvacas, pelitas, cuarcitas y calizas- dolomías derivando en gneises, esquistos filíticos, filitas, mármoles, para- anfibolitas, metacuarcitas; y en menor proporción por metamorfitas (ortogneises y ortoanfibolitas) derivadas de rocas ígneas plutónicas y/o volcánicas como granitos, granodioritas, tonalitas y basaltos tipo MORB (Guereschi y Baldo 1993; Otamendi 1995; Mutti 1997; etc.).

Demichelis (1986) describió a la geología de la Sierra de las Peñas como un complejo ígneo- metamórfico perteneciente a las terminaciones australes de la Sierra Chica de Córdoba, de edad precámbrica- paleozoica inferior, formando parte de uno de los principales sistemas orográficos descritos por Gordillos y Lencinas en 1979. Está constituido por rocas metamórficas tales como gneises, esquistos y migmatitas, y en menor medida por intercalaciones calcáreas dolomíticas generalmente de gran pureza, anfibolitas de diversos orígenes, cuarcitas y granulitas. Se formaron en facies metamórfica de anfibolita variando a facies de granulita; el grado metamórfico aumenta de oeste a este y hacia el centro (Gordillo y Lencinas, 1979).

Durante el Paleozoico inferior a medio, los emplazamientos básicos, mesosilíceos y ácidos se implantaron en la parte superior- media de la corteza continental ya formada e intruyeron a todas las rocas anteriores, formando grandes cuerpos tales como el Batolito de Achala, filones, diques y pegmatitas (Gordillo y Lencinas, 1979).

En el Paleozoico Superior, la mayoría de las Sierras Pampeanas eran elementos positivos en el terreno, por lo que la sedimentación se vio restringida en parte y sólo se concentró en algunos sectores como en cuencas continentales aledañas a cordones montañosos. Dado ésto, la cobertura sedimentaria que descansa sobre las Sierras de Córdoba se apoya en discordancia sobre su basamento, y conforma una estrecha faja en el borde occidental y extremo sur de las Sierras Pampeanas (Gordillo y Lencinas, 1979).

A finales del Paleozoico, el basamento ya presentaba la rigidez actual ocupando parte de la corteza continental elevada que no permitió ser invadida por el mar. De aquí en adelante, predominó la fracturación en bloques, originados por los esfuerzos deformacionales que actuaron en la faja móvil cordillerana y que generaron, a su vez, cuencas sedimentarias aledañas a cordones positivos del basamento cristalino (Demichelis 1986).

Mesozoico

A fines del Mesozoico, algunos sectores de la Sierra de Córdoba actuaron como depresiones, donde se acumularon sedimentos clásticos, principalmente conglomerados y areniscas, intercalados con coladas basálticas (traquibasaltos) de edad Cretácica (120 M.a) (tomado de Demichelis, 1986). Estos depósitos cretácicos en la provincia de Córdoba quedan evidenciados por estratos rojos pertenecientes a un ambiente continental asociados a coladas basálticas alcalinas, donde están mejor representados en el borde oriental de la Sierra Chica (Gordillo y Lencinas, 1979). Además, se pueden observar afloramientos de basaltos en el extremo sur de la Sierra de los Cóndores, los cuales están asociados a un vulcanismo alcalino de intraplaca continental, vinculado con el desarrollo de un rift cretácico intracontinental (Sanchez y Bermudes 1997).

Cenozoico

Durante el Cenozoico inferior, más precisamente en el Oligoceno- Mioceno (Criado Roqué et. al., 1981) con el comienzo de la Orogenia Andina se reinstala un ambiente compresivo donde las Sierras Pampeanas alcanzan su conformación actual de bloques limitados por fracturas, donde las estructuras principales son fallas inversas de alto ángulo (Gordillo y Lencinas, 1979), dando lugar a su aspecto actual de bloques fallados y basculados hacia el Este.

Estas reactivaciones tectónicas compresivas en el área, producto de esfuerzos de orientación oeste- este principalmente, generaron cuencas de depositación fundamentalmente clásticas, con aportes piroclásticos y un vulcanismo sólo importante al norte de Pampa de Pocho. Estos esfuerzos reactivaron antiguas estructuras y formaron otras nuevas, lo que en conjunto con las últimas fases del Orógeno Ándico (Plio-Pleistoceno), le dan esa actual fisonomía a las sierras, de bloques fallados y basculados hacia el este, con ladera tendida al este y escarpada al oeste (tomado de Demichelis, 1986).

En la culminación de la columna estratigráfica que caracteriza al sector sur de la Sierra Chica de Córdoba, las unidades del Cuaternario que podrían distinguirse en el área de estudio, ámbito de la Sierra de las Peñas, son:

Formación Estancia Belgrano (Pleistoceno Inferior): representada por conglomerados medianos a gruesos y areniscas finas limosas. La unidad fue descripta originalmente por Santa Cruz (1972). Se la homologa a la unidad similar descripta por Cantú (1992) como Formación Alpa Corral. Son depósitos de piedemonte formados por capas de rodados y

arenas fluviales friables, que cubren discordantemente al basamento y a sedimentitas cretácicas y terciarias. Está compuesta por capas de conglomerados clasto sostén, mediano a grueso, con matriz de arenas medianas a gruesas, intercaladas con cuerpos tabulares a lentiformes de areniscas medianas a gruesas. Se disponen en estratos gruesos, mayoritariamente tabulares, con estratificación subhorizontal poco marcada, entrecruzada planar o entrecruzada en artesa (Bonalumi et al., 2005).

Formación Pampiano (Pleistoceno Medio): constituida por loess, loess retransportado, limos y limos arenosos con abundantes arcillas, y un alto porcentaje de concreciones calcáreas y fragipanes distribuidos en los niveles superiores. Aflora en todo el área del piedemonte oriental de la Sierra Chica de Córdoba y valles intermontanos (Cantú, 1992). Esta unidad se la homologa con la *Formación Toro Muerto* (Bonalumi et al., 2005).

Formación Chocancharava (Pleistoceno Superior): acumulaciones originadas en un clima húmedo vinculada al período intersticial del Wisconsin medio (Cantú, 1992), Se trata de espesores fluviales de moderada a alta energía, localmente lagunares en la llanura. En sectores cercanos a las sierras, se compone de conglomerados medios a finos con matriz arenosa; en sectores medios a distales comprende limos arenosos y limos loésicos con paleocanales rellenos de arenas gruesas.

Formación La Invernada (Holoceno Inferior- Medio): es un loess típico que cubre gran parte del sector de llanura. Compuesta por limos medianos a finos con arenas finas a muy finas subordinadas. Es masivo y poco laminado en niveles basales. En techo, se reconocen restos de un horizonte Bt de paleosuelo muy desarrollado (Cantú, 1992).

Formación Arroyo Las Lajas (Holoceno Medio): sedimentos limosos (loessoides) que forman abanicos aluviales depositados por los ríos de la zona serrana en el sector de transición entre el pie de monte y la llanura (Cantú, 1992).

Formación Laguna Oscura (Holoceno Medio- Superior): originalmente fue descrita por Cantú (1992) y aflora en todo el borde sur de la Hoja Villa María. Representa la cubierta eólica que presenta una importante extensión areal en el sector sur de la provincia. Está compuesta por arenas finas a muy finas limosas de color grisáceo, masivas sin estructuras internas, en las que mineralógicamente domina el cuarzo, feldespatos y vidrio volcánico (Cantú, 1992). La sección superior actualmente aflorante puede presentarse edafizada.

3.4 Características Estructurales

La estructura que presentan las Sierras de Córdoba son el resultado de sobreimposición de eventos metamórficos y dinámicos, donde las principales fases deformacionales ocurrieron durante los ciclos orogénicos Pampeano, Famatiniano, Achaliano y Andino. El estilo de deformación de cada uno de estos ciclos originó un complejo diseño de elementos expuestos en las sierras, medianamente sincrónicos con los episodios dinamotérmicos ocurridos, y se agrupan en tres: Estilo estructural Precámbrico- Paleozoico (desarrollados en ciclo Pampeano), Estilo estructural Famatiniano- Achaliano y Estilo estructural Terciario, desarrollado durante el ciclo Andino (Gordillos y Lencinas, 1979). Algunos datos geológicos de las Sierras de los Cóndores y Las Peñas que definen el entorno regional fueron tomados de la Hoja Geológica Villa María (Bonalmi et al., 2005)

Desde el punto de vista morfoestructural, las sierras de Córdoba presentan dos tectónicas superpuestas:

a) Una tectónica extensional que habría desarrollado una serie de hemigrabens asimétricos hacia el oeste (Kay y Ramos, 1996; Ramos, 1995), rellenados con sedimentitas continentales rojas asociadas a derrames y basálticos de edad cretácica inferior (Gordillo y Lencinas, 1979; Poire et al. 1988; Sánchez et al. 1990).

b) Una tectónica compresional, caracterizada por un fallamiento inverso de alto y bajo ángulo (Kraemer y Martino, 1993; Kraemer et al. 1996) producida durante el Terciario, relacionada al levantamiento de los Andes. Esta tectónica habría reactivado estas fallas directas provocando la inversión de las cuencas cretácicas y el alzamiento y conformación de las Sierras Pampeanas tal como se presentan hoy en día.

Demichelis (1986) a partir del estudio e interpretación de imágenes satelitales de escala 1:250.000, con apoyo en las de 1:500.000, del sector central sur de sierra de Comechingones, sur de la sierra Chica, sierra de los Cóndores y sierra de las Peñas, observó que las grandes estructuras que afectan a esta zona en general y las que lo hacen de manera directa en el ámbito de estudio son:

- Fractura con rumbo NNE-SSO que marca el límite norte con las sierra de Los Cóndores.
- La fractura del Valle Las Peñas, con rumbo submeridiano y ubicada al este.
- Faja compuesta por diversas fallas pequeñas que en conjunto adquieren importancia al oeste.

En general, observó un mayor desarrollo de grandes fracturas en sentido meridional a submeridional, y subordinadamente aparecen las fracturas de sentido transversal, con rumbo E-O, que en conjunto generan bloques que basculan algunos grados hacia el este (Demichelis, 1986). Las fallas principales que afectan a las demás unidades orográficas no estarían directamente influyendo en la Sierra de las Peñas, por lo que se deduce que ésta se habría comportado como un bloque independiente o bien como una serie de bloques limitados por fracturas de rumbo submeridional, siguiendo el estilo tectónico de la provincia geológica y seccionados por otras transversales (Demichelis, 1986).

Las *estructuras de carácter frágil* presentes en el ámbito de estudio (Fig. N° 3.3) de la Sierra de las Peñas, piedemonte y llanura proximal donde las principales fallas y lineamientos están relacionados a la tectónica de la zona y son:

- *Falla de la Sierra Chica*: es una de las fallas más importantes de las Sierras de Córdoba, extendiéndose su escarpa de falla por más de 200 kilómetros desde la localidad de Capilla del Monte hasta las cercanías del lineamiento Los Cóndores (Stewart y Hancork, 1991), a la altura de la localidad de Berrotarán. Tiene un rumbo general N-S aunque presenta inflexiones. Se ramifica en una serie de lineamientos, de rumbo NO-SE y traza curva.

- *Lineamiento Berrotarán*: lineamiento de traza curva con rumbo N 300°. Produce una extensa quebrada que atraviesa la sierra de las Peñas, controlando el cauce del arroyo que lleva su nombre.

- *Falla Las Peñas*: es una falla orientada N 10°, con su bloque bajo hacia el oeste, que afecta a la Sierra de las Peñas en su flanco oriental. Posee una escarpa muy erosionada y cubierta por los sedimentos cuaternarios. Presenta un intenso fracturamiento paralelo a su rumbo donde probablemente se deba a estructuras desarrolladas al mismo tiempo que la falla (Bonalumi et al., 2005).

Se destaca el evidente e intenso control estructural por fracturas en diferentes direcciones que constituyen los valles de la Sierra de las Peñas, ya sea con escarpa de mayor o menor exposición, de alto o bajo ángulo (Demichelis, 1986). Otra estructura frágil que afecta al conjunto en sí es un fuerte diaclasado (Bonalumi et al., 2005).

En relación a la *dinámica de las estructuras dúctiles*, se han definido diferentes tipos de dominios estructurales en la hoja geológica Villa María que enmarca la zona de estudio. El más importante a nuestro interés es el "Dominio Las Peñas", ya que es el que afecta en su totalidad a la Sierra de las Peñas y está caracterizado por una foliación milonítica que

se dispone conformando una estructura plegada reclinada (Dagan, 1980). A su vez, este pliegue muestra repliegues internos de la foliación milonítica que han sido descriptos como figuras de interferencia (Demichelis, 1986).

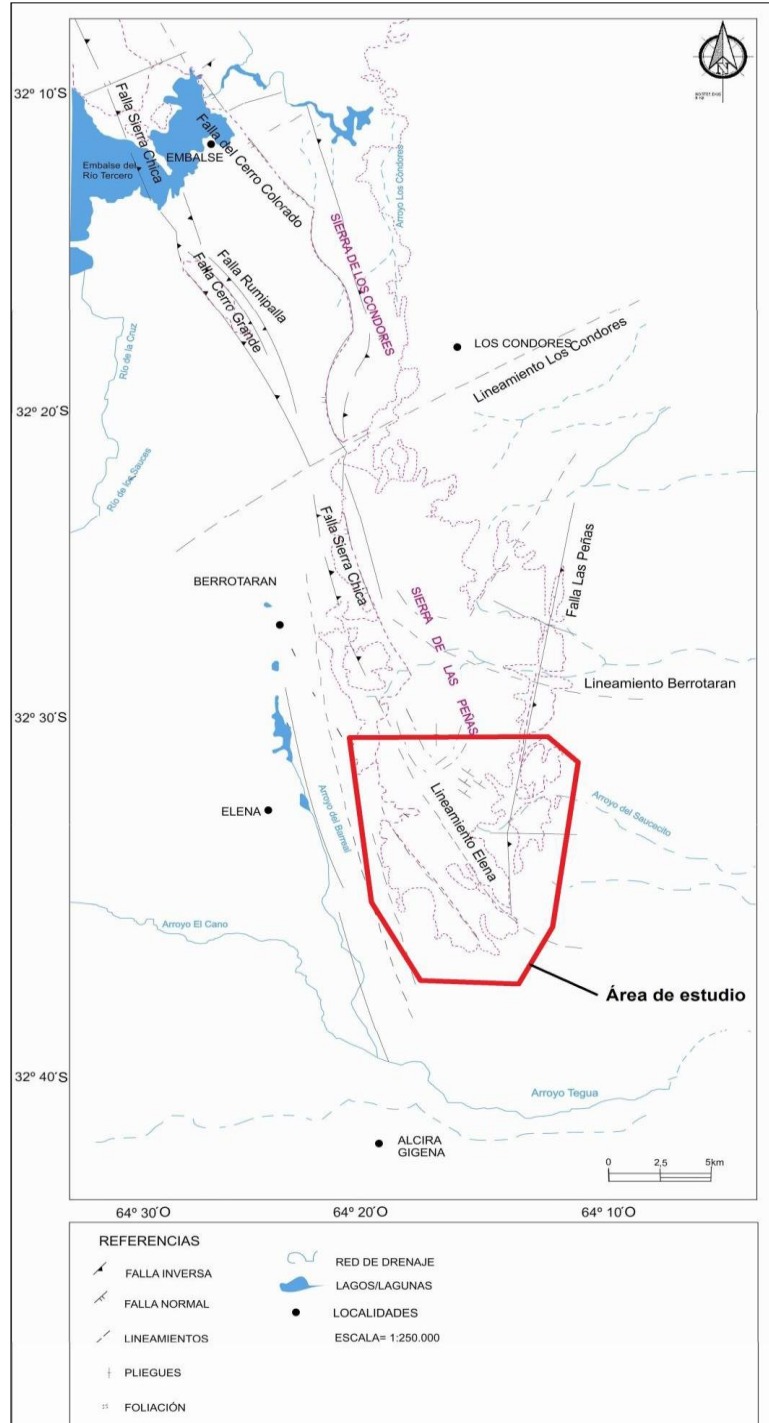


Figura N° 3.3: Mapa de estructuras principales ubicadas en el área de estudio. Tomado de Gallo (2011).

3.5 Geomorfología

La provincia de Córdoba, en general, se compone de dos regiones geomorfológicas principalmente, una zona de montañas y un área de llanuras (Iriondo, 1990a y b).

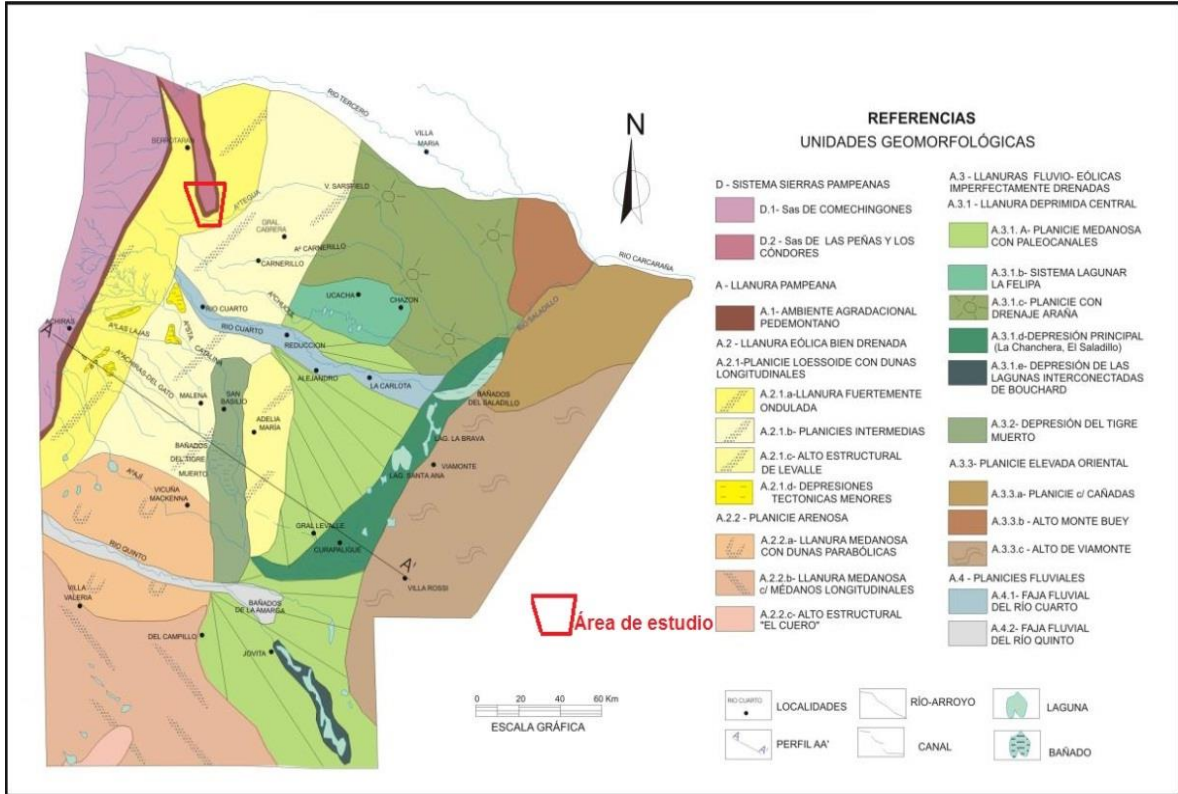


Figura N° 3.4: Mapa geomorfológico del sur de la provincia de Córdoba. Extraído de Degiovanni et al. (2005).

La primera abarca la parte más oriental de la provincia geomorfológica de Sierras Pampeanas, Sierras de Córdoba más precisamente, la cual se subdivide en distintas unidades donde las más importantes a destacar son las Sierras Grandes- Comechingones y Sierras Chicas- Las Peñas, siendo esta última la más relevante para la zona de estudio. La segunda se corresponde con planicies ubicadas en la provincia de Córdoba, quedando enmarcadas dentro de lo que corresponde a la provincia geomorfológica de la Llanura Chacopampeana, donde también se divide en subunidades, destacándose principalmente los ambientes: pedemontano, de planicies fluvioeólicas y de planicies areno- eólicas respectivamente.

A partir del mapa geomorfológico realizado por Degiovanni et.al (2005) para el sur de la provincia de Córdoba (Fig. N° 3.4), se describen las unidades geomorfológicas enmarcadas para el área de estudio:

➤ **D - Sistema Sierras Pampeanas**

Forman una macrounidad morfoestructural reconocida en varias provincias del centro-oeste de Argentina. Integran una sucesión de megabloques de basamento ígneo-metamórfico (Precámbrico- Paleozoico inferior), que presentan una marcada asimetría debido a la presencia de una gran escarpa de falla en su borde occidental. Estos megabloques exhiben una compleja historia denudativa, modificada por la Orogenia Andina, donde coexisten relieves heredados con otros que son productos de la sustitución parcial y/o total de éstos con posterioridad a este evento tectónico (Degiovanni et al. 2003). Orográficamente, pueden ser divididas en cuatro cordones principales, donde los más destacados son:

D1- Sierras de Comechingones: posee un rumbo NNE- SSO y ancho variable que se reduce hacia el sur, donde el rechazo de la falla de Comechingones disminuye y la escarpa queda sepultada por depósitos cuaternarios (Degiovanni et al. 2003). Constituye una unidad morfoestructural que está limitada por un conjunto de fallas inversas buzantes hacia el oeste y este, respectivamente (Carignano et al., 1999).

D2- Sierras de Las Peñas y Los Cóndores: Constituyen las estribaciones de las Sierras Chicas de Córdoba, con alturas que varían desde 750 a 650 m aproximadamente, de N-S, conforme la tasa de levantamiento disminuye y la escarpa de falla occidental pierde expresión.

La Sierra de las Peñas constituye una unidad morfoestructural muy particular en el entorno de la sierra Chica; es un macizo muy regular en altitud que presenta muchas áreas semiplanas en su parte superior donde, aparentemente, el fallamiento cenozoico tiene escasa participación morfogenética. Casi toda la sierra es un bloque de basamento aplanado y con muy escasa inclinación, donde la escarpa occidental está muy evolucionada (Degiovanni y Cantú, 1997).

El relieve de estas serranías puede interpretarse como una peneplanicie poligénica muy poco sustituida, que fue sepultada en algunos períodos del Cuaternario, y que actualmente se encuentra en exhumación (Degiovanni et al. 2005).

➤ **A - Llanura Pampeana**

Consiste en una extensa llanura con relieve suave a moderadamente ondulado (Degiovanni, 2005), que se ubica al este del área serrana. Se caracteriza por presentar un paisaje plano o casi plano dominado por ríos que lo atraviesan de oeste a este; los ríos han construido amplias planicies aluviales donde los cursos principales han ocupado diversas posiciones en los últimos siglos. La planicie se caracteriza por una gran acumulación de sedimentos loésicos, removilizados por acción fluvial y arenas eólicas. Es un complejo ambiente donde el depósito primario eólico fue alterado por los ríos con significativa capacidad de transporte de sedimentos. Esto originó depósitos con apariencia eólica con evidencias de acción fluvial. En general, está dominada por depósitos eólicos pleistocenos y holocenos que conforman un potente manto que cubre la mayor parte de su superficie (Iriondo 1990a, b y c; 1997).

En las últimas etapas del Pleistoceno, toda la región sufrió una secuencia de episodios áridos y húmedos (Cantú y Degiovanni 1984; Carignano 1996, 1997a y b, 1999; Iriondo y Krohling 1996, 2007) que condicionaron la dinámica geomorfológica y los rasgos morfológicos que destacan a esta llanura.

Los principales ambientes geomorfológicos que se distinguen son:

A.1- Ambiente agradacional pedemontano: se compone de una estrecha faja que se caracteriza por presentar afloramientos de materiales coluviales, aluviales y relictos de basamentos en forma de lomadas, cubiertos por depósitos eólicos limo- arenosos donde muestra una fuerte incisión hídrica en cárcavas. En general, son llanuras que presentan un relieve moderado a fuertemente ondulado que van bordeando las sierras, el cual se debe a la fuerte participación de los bloques de basamento cercanos a la superficie, a la generación y posterior disección de la cubierta pedemontana fluvio- eólica cuaternaria. Estas bajadas falladas y disectadas constituyen una serie de lomadas compuestas por secuencias de abanicos pleistocenos, separadas con valles de relleno holoceno y cubiertas por depósitos loésicos (Degiovanni et al., 2005).

A.2- Llanura eólica bien drenada: este ambiente varía en sectores cercanos a las sierras desde fuertemente ondulado a planos hacia el este, y presentan un buen drenaje con importante zona de aireación y sistemas de escurrimientos superficiales bien desarrollados (Degiovanni et al., 2005).

A.2.1 – Planicie loessoide con dunas longitudinales: está ampliamente representada en todo el ámbito centro- sur de la provincia de Córdoba. Exhibe un relieve

fuertemente ondulado bordeando la zona periserrana, y hacia el este- sureste se va haciendo más suave con pendientes entre los 3- 7 % y <1%, respectivamente. Los sedimentos que afloran corresponden a la Formación Laguna Oscura (Cantú, 1992), los cuales se componen de arenas finas que constituyen dunas longitudinales con rumbo NNE- SSO discontinuas y disipadas, con algunos sectores reactivados, originadas en el Holoceno medio. A pesar de la potente cubierta sedimentaria, el relieve de la llanura refleja la tectónica en bloques del basamento siendo numerosos los altos y bajos de este origen.

CAPÍTULO 4

GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL

4.1 Introducción

La descripción de la geología local se efectuó sobre la base de perforaciones y perfiles aflorantes realizadas por Demichelis (1986), Degiovanni y Cantú (1997), Matteoda (2012), Lutri (2013) y las propias de esta tesis.

Como ya se explicó, el área de estudio se enmarca dentro del sector austral perteneciente a la Sierra de las Peñas (constituida por un basamento ígneo-metamórfico), cuyos valles intramontanos están rellenos por depósitos sedimentarios (Demichelis, 1986), su pedemonte y llanura proximal.

4.2 Análisis morfotectónico local

Desde el punto de vista del análisis morfotectónico, la zona de estudio está caracterizada por una serie de bloques basculados y diferencialmente ascendidos (Fig. N° 4.1), limitados por fallas de alto ángulo, que condicionan los procesos actuantes y las formas resultantes del paisaje actual, con adaptación de las redes de drenaje (Degiovanni y Cantú, 1997; Matteoda 2012).



Figura N° 4.1: Morfología y disposición de la Sierra de las Peñas Sur. Perfil transversal O-E del área de trabajo. Imagen satelital Google Earth.

Para una mejor interpretación de los datos, se llevó a cabo un análisis topográfico de la zona, basado en la metodología propuesta por Orbera Hernández y Fernández (1977), fundada en el análisis de una cartografía topográfica y obtención de mapas de morfoisohipsas (mapas hipsométricos) a partir del uso de una cartografía base integrada por cartas topográficas, en este caso, de escala 1:50.000 (IGN).

Para la generación del mapa de morfoisohipsas, se agruparon curvas de nivel en intervalos constantes, con una equidistancia de 20 metros distinguiéndose entre sí mediante la utilización de diferentes colores. En el mapa hipsométrico, se observa con mayor facilidad, la morfología en planta que adoptan lomas y valles topográficos (longitud, ancho, dirección, etc.) cambios de pendientes y posibles estructuras y/o lineamientos que condicionen las mencionadas características (Fig. N° 4.2).

De acuerdo al resultado, y dado que se trata de una zona ya estudiada de perspectivas estructurales y geomorfológicas, las trazas de las fallas más importantes que se evidencian son las ya marcadas o citadas por otros autores, a los que se han sumado en este caso lineamientos pequeños que condicionan valles de interés hidrogeológico.

4.3 Estructuras

La Sierra de las Peñas se enmarca dentro de la provincia geológica de Sierras Pampeanas, más precisamente en las Sierras de Córdoba. Su estilo tectónico característico se debe a una serie de bloques levantados y basculados por medio de fallas regionales de rumbo meridional, en su mayoría inversas (Gordillo y Lencinas, 1979).

Demichelis (1986) en un estudio más detallado de la zona (1:40.000), observó que está dominada por dos rasgos estructurales esenciales que afectan a los afloramientos de la Sierra de las Peñas Sur y a los sedimentos que componen el pedemonte y llanura, los cuales se describen a continuación:

✚ *Complejo sistema de plegamientos:* las diferentes litologías que componen las serranías están afectadas por esfuerzos que han originado un gran pliegue recto vertical, cuya nariz apunta hacia el sur y los flancos se abren al NNO y NNE. Demichelis (1986) observó e interpretó detalladamente a través del uso de imágenes satelitales y fotografías aéreas, este "gran pliegue" que abarca casi la totalidad de las serranías.

✚ *Juego de fallas- fracturas muy densas y complejas:* toda el área está afectada por un gran número de fallas y fracturas. Demichelis (1986) las agrupa según sus trazas en las de rumbo E-O, NNO y NNE-NE, que al intersectarse generan bloques de secciones trapezoidales, triangulares y cuneiformes.

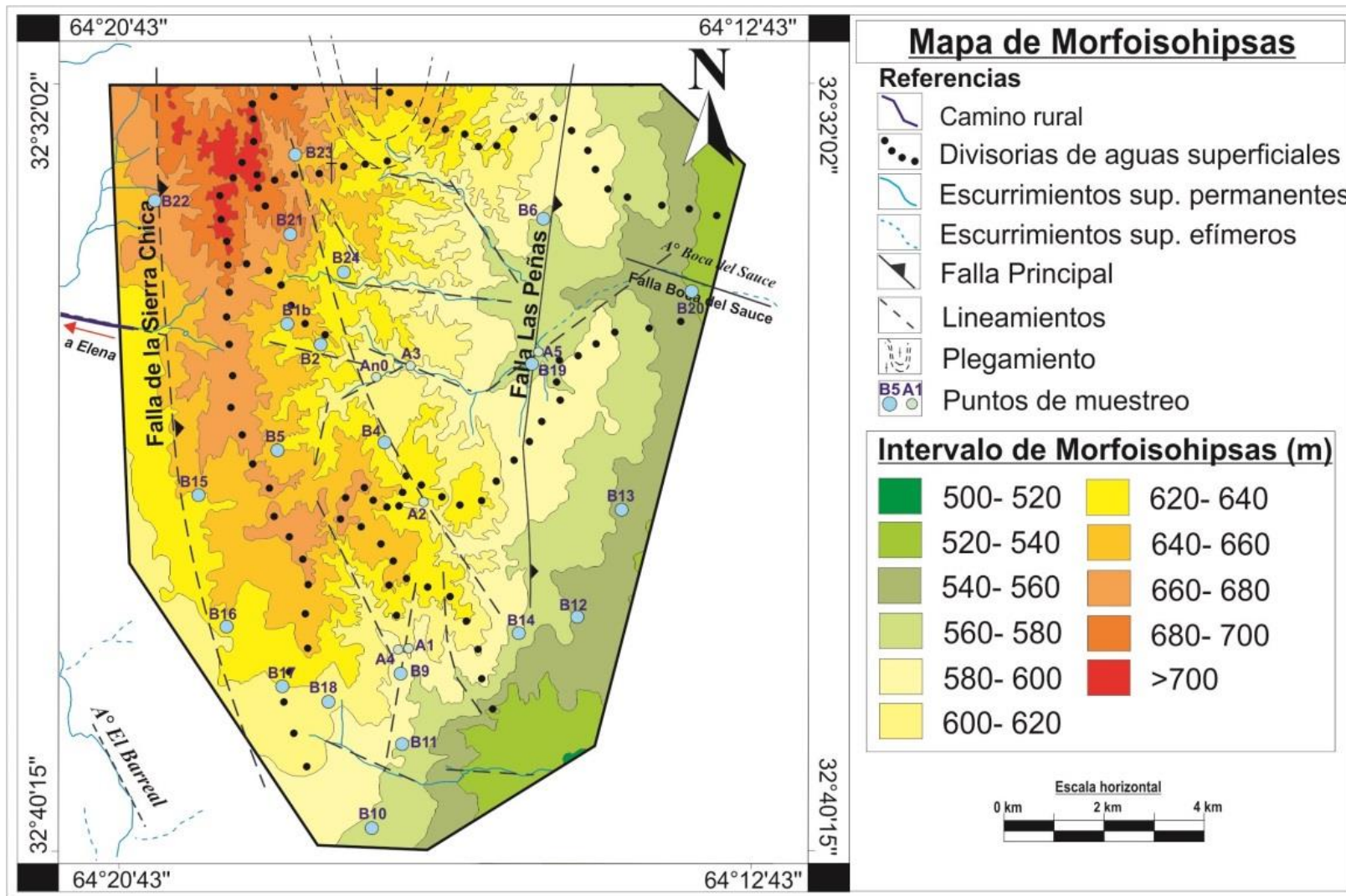


Figura N° 4.2: Mapa de Morfoisohipsas.

La falla de la Sierra Chica es otra de las más importantes de la zona estudiada ya que es la que levanta a toda la sierra, posee un rumbo general N-S y desde el lineamiento Los Cóndores, a la altura de Berrotarán, se ramifica en una serie de lineamientos ubicados en el faldeo occidental de la Sierra de las Peñas (Bonalmi et al. 2005 en Sagripanti et al. 2012).

La falla del Valle Las Peñas es una de las más importantes en la zona de estudio, ya que no es intersectada por ninguna otra y afecta a todas las demás. Esta falla produce una escarpa de falla orientada al oeste con un resalto entre 10 a 60 m aproximadamente. Tiene una pendiente suave hacia el este, resultando de un basculamiento que sería originado por la horizontalización en profundidad del plano de falla del Valle Las Peñas (González Bonorino, 1950).

Otras de las discontinuidades estructurales planas subverticales que fueron generadas a partir de la falla del Valle Las Peñas son las que se encuentran representadas en la Unidad Granítica Esquistosa y Complejo Migmatítico Central – Norte dentro de la sierra; son fracturas generadas de manera semejante a su clivaje de fractura.

Las fallas de rumbo E-O son las más pequeñas de la zona de estudio y están cercanas al camino El Tala del Descanso (Demichelis, 1986), uno de los principales para ingresar a las sierras.

En resumen, la Sierra de las Peñas posee características propias en cuanto fracturación y fallamiento, que la diferencia de las demás unidades aflorantes en las sierras de Córdoba, comportándose de manera independiente pero conservando su estilo tectónico. Además, los desplazamientos relativos y bloques producidos en el Cuaternario no poseen las magnitudes que se encontraron en el resto de la provincia geológica a la que pertenecen (Demichelis, 1986).

4.4 Geología

Como ya se mencionó, el área de estudio se enmarca dentro del sector austral perteneciente a la Sierra de las Peñas, su pedemonte y llanura proximal; está constituido por un basamento ígneo- metamórfico, cuyos valles intraserranos están rellenos por depósitos sedimentarios (Demichelis, 1986), que constituyen el principal ámbito de interés de la presente tesis de licenciatura.

En las descripciones comprendidas en la hoja geológica Villa María 3363-I realizada por Bolanumi et al. (2005), el **Complejo Metamórfico Sierra de las Peñas** se encuentra

al sur de la Sierra Chica de Córdoba. Posee heterogeneidad, tanto petrológica como estructural, y se reconocen las siguientes litologías principales (Fig. N° 4.3):

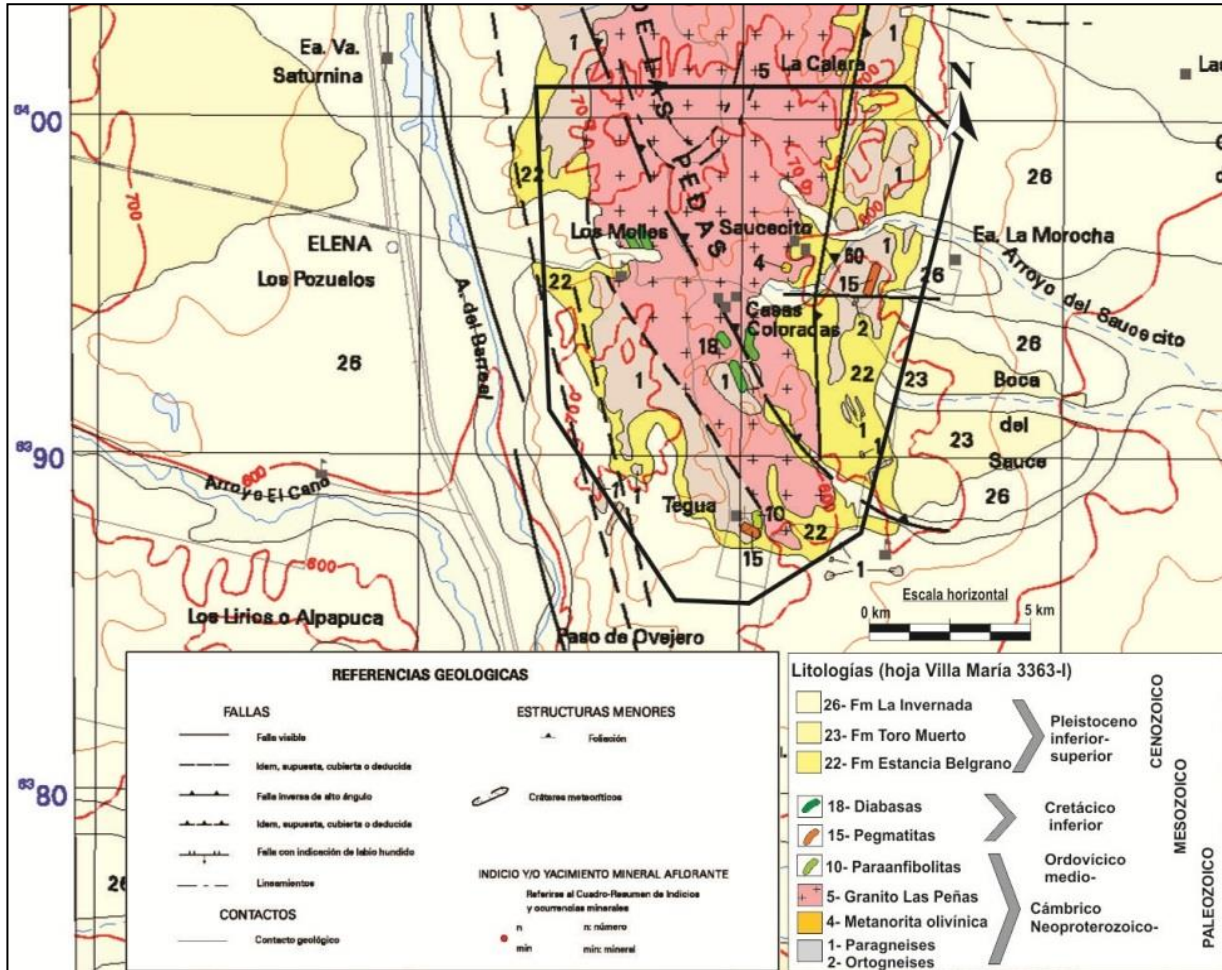


Figura N° 4.3: Mapa geológico correspondiente a sección de la hoja Villa María 33-63-I enmarcando la zona de estudio.

- *Paragneises biotíticos, granatíferos, hornblendíferos y de dos micas*: afloramientos continuos de 1 km de ancho en los bordes oriental y occidental de la sierra. Conforman pequeñas lomadas longitudinales, casi siempre controladas por estructuras submeridionales (Bonalumi et al. 2005). Los gneises biotíticos presentan una fuerte foliación.

- *Ortogneises hornblendíferos y biotíticos*: se reconocen en el extremo sur y centro norte del borde oriental de la sierra de las Peñas. Los del extremo sur presentan

contactos pocos claros. La roca está muy deformada y presenta signos de metasomatismo (Bonalumi et al. 2005).

- *Ortoanfíbolitas*: son muy abundantes, afloran en toda la sierra, en bancos de variables dimensiones de orientación submeridional. Son comunes las pegmatitas y filones de cuarzo, y suelen contener pequeñas concentraciones de sulfuros de hierro y cobre (Bonalumi et al. 2005).

- *Granito Las Peñas*: cuerpo plutónico de dimensiones batolíticas y composición granítica, parcialmente concordante y enmarcado por las rocas gnéissicas del Complejo Metamórfico Sierra de las Peñas. Sus límites laterales coinciden con dos megafacturas: al este con la falla de Las Peñas y al oeste con la falla de la Sierra Chica. Es un granitoide singenético, muy deformado y con alto contenido en magnetita (Bonalumi et al. 2005). Se encuentra milonitizado, es de color rosado y posee bajo porcentaje en biotita.

A continuación, se muestran las unidades más destacadas descriptas y mapeadas por Demichelis (1986) para el área estudiada (Fig. N° 4.4):

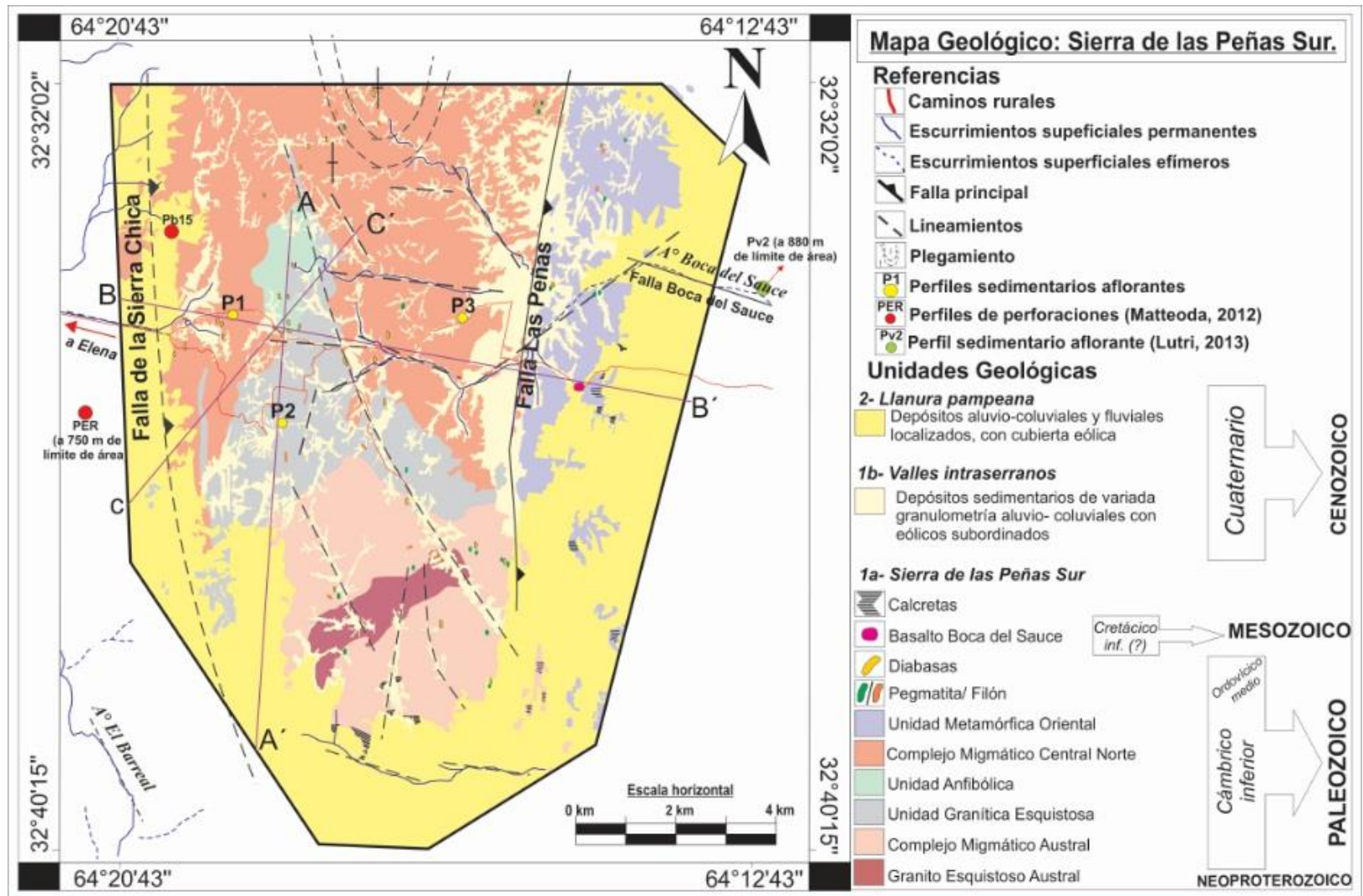


Figura N° 4.4: Mapa geológico de la Sierra de las Peñas Sur, obtenido a partir de Demichelis (1986) luego digitalizado por Villalba, D. (2006). Se adicionaron las principales estructuras del área de estudio (tomadas de Bolanumi et. al, 2005 y Sagripanti et al, 2012) y se unificó una litología general para el relleno de los valles intraserranos.

4.4.1a Sierra de las Peñas Sur

Se han identificado diferentes unidades litológicas durante el estudio de los cuerpos aflorantes realizado por Demichelis (1986) y Schiavo et al. (2014), las cuales poseen características propias de estas serranías. Estas unidades corresponden a:

➤ *Unidad Metamórfica Oriental*: se ubica en el sector oriental de la zona de estudio. Posee una elongación meridiana a submeridiana. El contacto entre los cuerpos se produce mediante una falla, sobre la cual se desarrolla el Valle de las Peñas; al norte, este y sur los afloramientos de esta unidad se pierden por debajo de la llanura. Las rocas más abundantes son esquistos migmáticos, gneises cuarzo biotíticos con inyecciones de pegmatitas, gneises migmáticos y migmatitas con desarrollo de pliegues. Se intercalan bancos, de poca potencia, de anfíbolitas bandeadas, cuarcitas feldespáticas, esquistos cuarzosos, mármoles brucíticos, mármoles silíceos y metabasitas. Afloran algunos intrusivos metamorizados como metatonalitas y otros ácidos, que corresponden a granitos esquistosos; aparecen algunos cuerpos pegmatíticos y diques diabásicos (Demichelis, 1986).

➤ *Complejo Migmático Central Norte*: ubicada en el centro- norte de las serranías, abarcando gran parte de los afloramientos del área de estudio. Limita hacia el este con la Unidad Metamórfica Oriental por medio de una falla. Los contactos con las unidades vecinas son graduales o por medio de falla. Su litología se compone de granitos esquistosos, similares a los descritos en la unidad homónima, ortoanfíbolitas, gneises, migmatitas, diabasas noríticas y fajas miloníticas derivadas del retrabajo de las rocas anteriores. Subordinadamente, aparecen protomilonitas, gneises miloníticos y milonitas (Demichelis, 1986).

➤ *Unidad Anfibólica*: esta unidad se ubica en el centro del área de estudio; su contacto con los cuerpos aflorantes es por medio de fallas o contactos medianamente netos. Las rocas que componen a esta unidad en general son ortoanfíbolitas derivadas de dioritas, tonalitas y/o gabros. Además, se intruyen una serie de diques básicos y también afloran pegmatitas de escaso desarrollo asociadas a zonas de debilidad. Todo el conjunto litológico presenta un alto grado de fracturamiento y diaclasamiento, dando lugar a bloques relativamente pequeños (Demichelis, 1986).

➤ *Unidad Granítica Esquistosa*: esta unidad se distingue como una estrecha faja que se prolonga hacia el sur donde se va ensanchando y tomando mayor dimensión.

Litológicamente, se compone de un granito esquistoso de origen migmatítico, con algunos relictos de gneises y lo intruyen diques de diabasas. En general, es de grano medio, compuesto por cuarzo, microclino, plagioclasa y biotita, principalmente. Esta unidad está muy afectada por algunas estructuras como fallas (Demichelis, 1986).

➤ *Complejo Migmatítico Austral*: se ubica al sur del área de estudio. A esta unidad la intruye el Granito Esquistoso Austral en sentido ENE. Litológicamente, se compone de gneises, migmatitas, anfibolitas, esquistos migmatíticos y granitos esquistosos. Todas estas rocas se encuentran milonitizadas en distintos grados. La presencia de pegmatitas y diques cuarzosos también es evidente en esta unidad. En general, se encuentran afectados tectónicamente mostrando plegamientos y fracturación; el control estructural es intenso al igual que su diaclasamiento (Demichelis, 1986).

➤ *Granito Esquistoso Austral*: se encuentra en el sector sur donde intruye al Complejo Migmatítico Austral, dejándolo seccionado en dos partes. Se trata de un granito esquistoso bandeado y milonitizado, que está intercalado con algunos cuerpos granodioríticos, gneises migmatíticos, diabasas y algunas pegmatitas de pocas dimensiones alojadas en sus fracturas (Demichelis, 1986).

➤ *Basalto Boca del Sauce*: se ubica en el sector centro- sur de la Unidad Metamórfica Oriental, al sudeste de Boca del Sauce. La colada corresponde a un basalto olivínico y está cubierto por sedimentos eólicos y aluviales, con una capa de tosca de poca potencia (10- 30 cm). Tiene un color marrón rojizo a negro rojizo, con manchas en tonos intensos, muy alterado y con fuertes desferrizaciones de los mafitos. Las diaclasas y fracturas son numerosas y están rellenas con carbonatos provenientes del lavado de los sedimentos que suprayacen (Demichelis, 1986).

➤ *Calcretas*: no son continuas en toda la superficie de la sierra, se disponen en áreas de cientos de metros cuadrados tanto en el faldeo occidental como oriental en los planos altos y media loma alta desapareciendo en la media loma baja, coincidiendo con el aumento de la cobertura de los materiales modernos. Yacen sobre la roca de basamento y sobre materiales coluviales. Presentan una morfología masiva en la mayor parte del cuerpo calcáreo y laminar en superficie. Desde la localidad de Elena hacia la sierra, las calcretas desaparecen pero los granitoides están muy carbonatados en sus fisuras. En el sur de la sierra, las calcretas aparecen con mayor desarrollo; en el borde oriental se observan relictos en su parte cuspidal, con espesores de más de 2 m claramente expuestos por neotectonismo (Schiavo et al. 2014).

4.4.1b Valles intraserranos

4.4.1b.1 Descripción de perfiles sedimentarios aflorantes

En algunas unidades se relevaron diferentes perfiles sedimentarios aflorantes. Los materiales que rellenan los valles intraserranos que integran este sector de estudio se componen de sedimentos cuaternarios. Gran parte de esta cobertura sedimentaria fue descrita por Demichelis (1986), pero con posterioridad se adiciona la información obtenida a partir de investigaciones realizadas por distintos autores como Cantú (1992), Matteoda (2012), y la relevada para esta tesis.

Los sedimentos que integran los valles de la Sierra de las Peñas, de manera generalizada, se describen como *depósitos sedimentarios aluvio-coluviales de variada granulometría con eólicos subordinados*.

A continuación, se describen los perfiles sedimentarios aflorantes (Fig. N° 4.4) en caminos rurales y cárcavas:

Perfil sedimentario N° 1 (P1)

Se ubica en el flanco occidental de la zona de estudio, situado en un área donde hubo una cantera al que se ingresa por un camino (Fig. N° 4.5). Posee una potencia de 1.50 metros aproximadamente (Fig. N° 4.6) y se reconocieron 3 niveles principales. La base se encuentra cubierta totalmente por derrubios. El nivel 1 de unos 0,70 m posee un fuerte diaclasado y está compuesto por rocas con un alto porcentaje (%) en cuarzo (con cierta orientación) y feldespato potásico en su composición. Por encima, descansa un cuerpo de 0,70 m (Nivel 2), de coloración pardo-rojizo y poca selección en los materiales que lo forman compuesto en un 70% de gravas y cantos rodados, con matriz arenosa (Fig. N° 4.7). El tamaño de los



Figura N° 4.5: Ubicación geográfica de perfil sedimentario P1 (Google Earth).

clastos oscila entre 0.5 hasta 10 cm de longitud respecto a su eje principal, y en menor proporción aparecen sábulos.

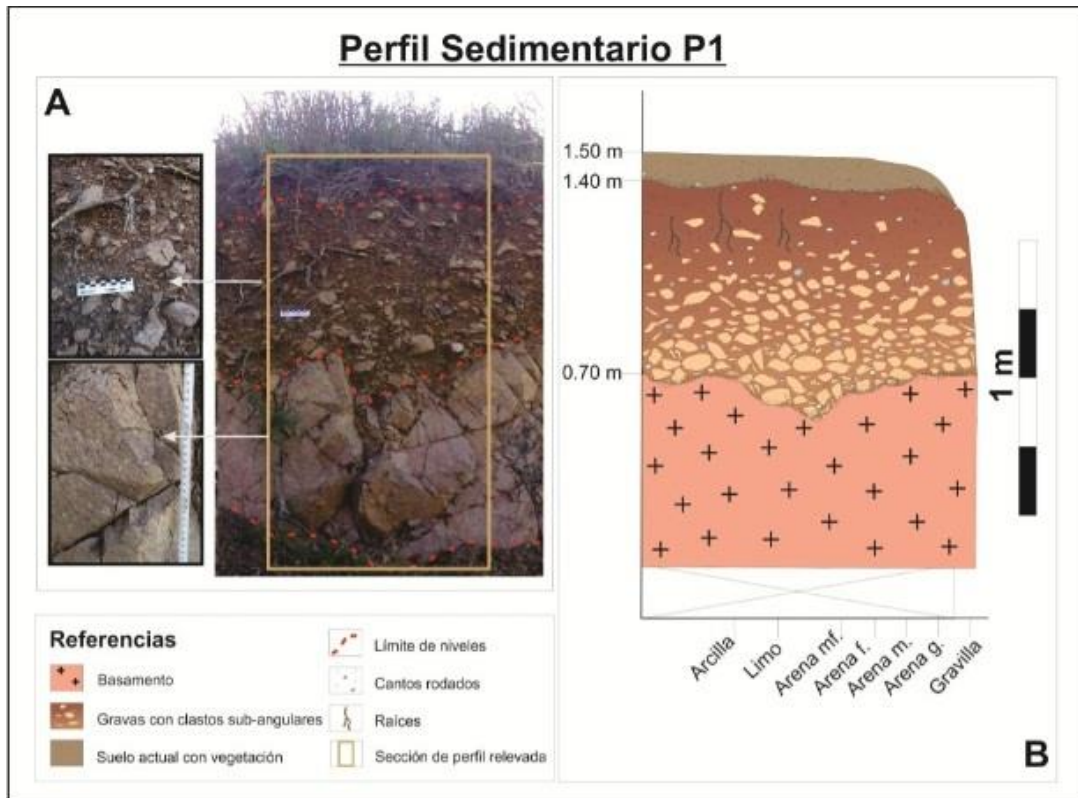


Figura N° 4.6: **A-** Imagen de P1 con ampliación de nivel 1 y 2. **B-** Esquema de perfil sedimentario P1.

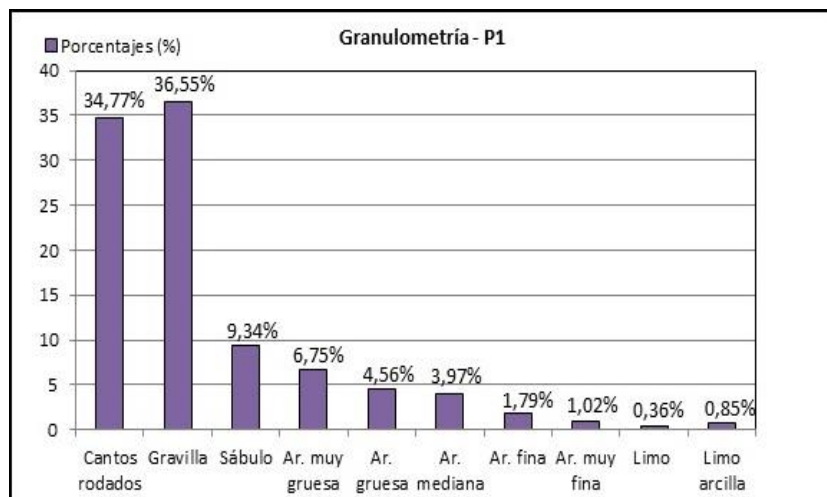


Figura N° 4.7: Gráfico de barras con los porcentajes correspondientes al Nivel 2- Perfil 1.

Hacia el techo de la columna, se reconocen unos 0,10 m de sedimentos arenosos finos limosos con vegetación.

El paquete sedimentario se interpreta como el resultado de flujos detríticos de moderada- alta energía que retransportaron y depositaron durante el Holoceno material *coluvial* sobre el basamento Proterozoico superior- Paleozoico inferior. La escasa potencia de sedimentos de la parte superior de la columna se corresponde con removilizaciones aluvio- coluviales históricas de sedimentos esencialmente finos fijados en la actualidad por vegetación y en proceso de edafización.

Perfil sedimentario N° 2 (P2)

Se encuentra aflorando en un valle en el sector centro- oeste de la Sierra de Las Peñas; se accede mediante caminos rurales y se ingresa por un establecimiento privado donde se realizó el relevamiento del perfil en una cárcava (Fig. N° 4.8), de 6 m de ancho y 20 m de longitud.

Posee una potencia de 0,75 m (Fig. N° 4.9), es de color grisáceo, textura masiva y la base del perfil está cubierta. Se distinguen dos niveles: el nivel 1 mide 0,35 m de potencia aproximadamente, y el nivel 2 mide 0,40 m. Éste último (N2) se compone principalmente de materiales arenosos muy finos y finos; en proporciones menores

presenta arenas medias y gruesas, y algunas gravillas dispersas (Fig. N° 4.10).

Estos sedimentos, de manera general, se encontraron muy cementados y especialmente en la parte superior bioturbados.



Figura N° 4.8: Ubicación de P2 (Google Earth).

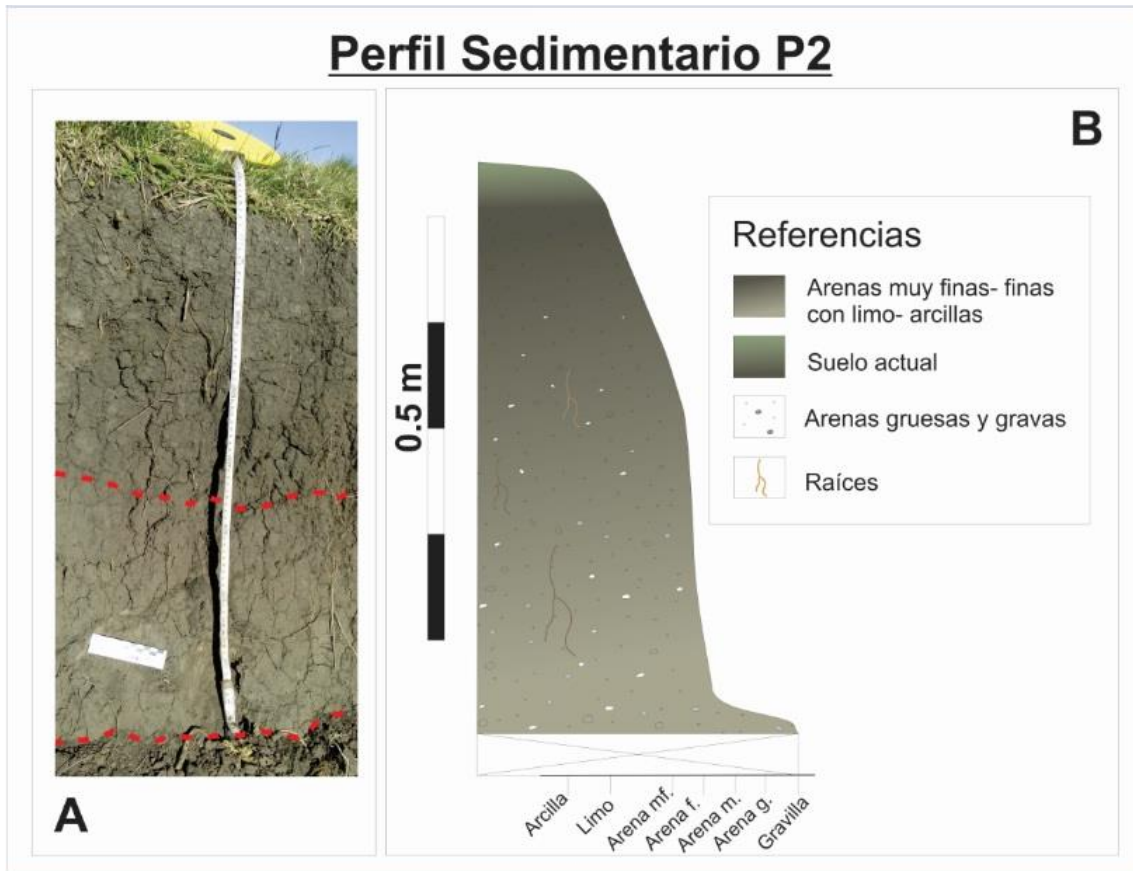


Figura N° 4.9: **A-** Fotografía del perfil P2 en campo. **B-** Esquema representativo de P2.

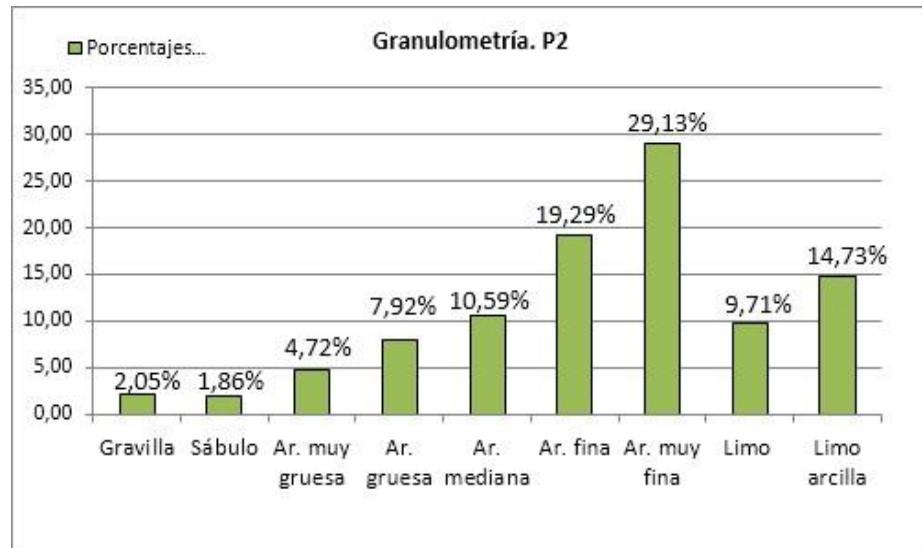


Figura N° 4.10: Porcentajes correspondientes a los sedimentos del nivel 2- Perfil 2.

El perfil se interpreta como el resultado de depósitos de materiales arenosos finos limosos con gravas dispersas típico de flujos hiperconcentrados de valles en estos sistemas montañosos, los que podrían corresponder a períodos áridos coluvio- aluviales del Holoceno superior. El distintivo color gris del paquete es indicio de la presencia de materia orgánica, muy uniformemente distribuida, esto puede indicar incremento del contenido de humedad post-depositación, especialmente en la parte superior del perfil donde además se observa más bioturbado. Sobre la parte superior se están desarrollando el suelo bajo las condiciones climáticas actuales.

Perfil sedimentario N° 3 (P3)

Se ubica en un valle en el sector oriental de la sierra, aflorando en el margen norte del camino El Tala del Descanso (Fig. N° 4.11).

Posee un espesor de 2,2 m (Fig. N° 4.12) y la base se encuentra cubierta en parte por la vegetación (Nivel 1), conformando un espesor de 0,40 m aproximadamente.

Por encima, se apoya en discordancia erosiva un cuerpo de 0,60 m (Nivel 2) de materiales arenosos muy finos con sedimentos limoarcillosos, y subordinadamente aparecen algunas gravas dispersas (Fig. N° 4.13); muestra un aspecto textural de granulometría fina y no se observan estructuras relevantes.

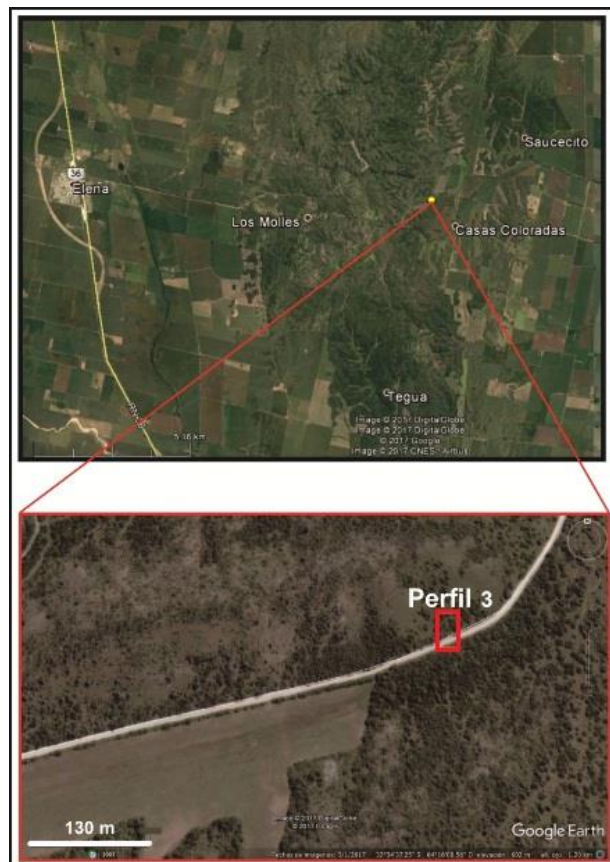


Figura N° 4.11: Ubicación de P3.

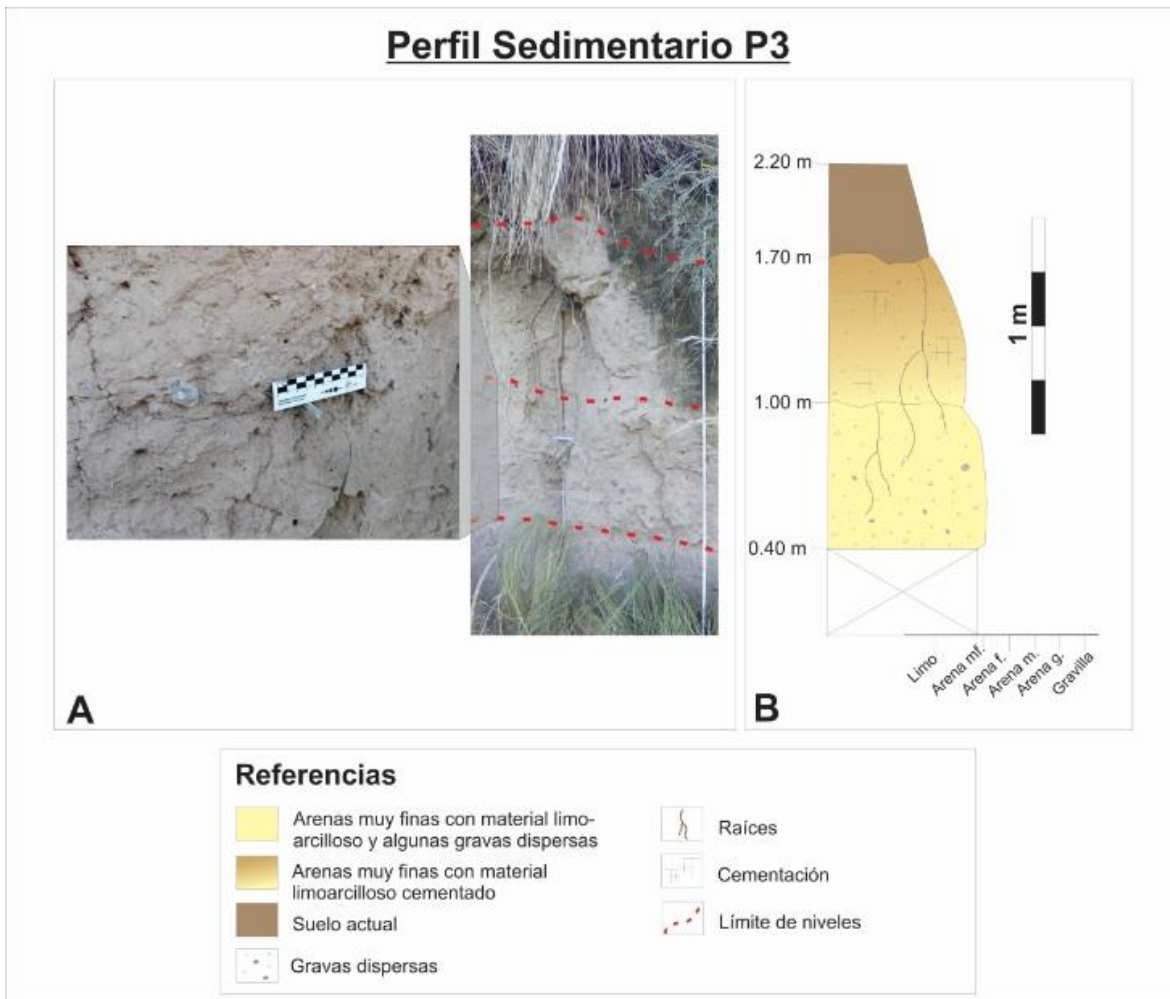


Figura N° 4.12: **A-** Fotografía del perfil P3 con ampliación de nivel 2. **B-** Representación esquemática de P3.

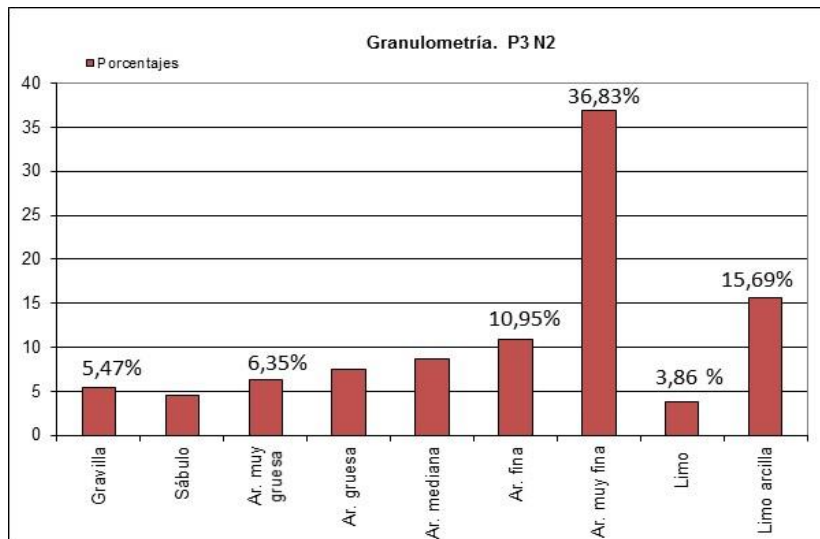


Figura N° 4.13: Porcentajes granulométricos de Nivel 2- Perfil 3.

Hacia el techo, se reconoce otro cuerpo (Nivel 3) de 0,70 m, presenta cierta cementación y sobreyace al anterior por medio de contacto erosivo; el análisis granulométrico por tamizado muestra que se compone de materiales arenosos muy finos y limoarcillosos; se destacan además algunas gravillas dispersas (Fig. N° 4.14).

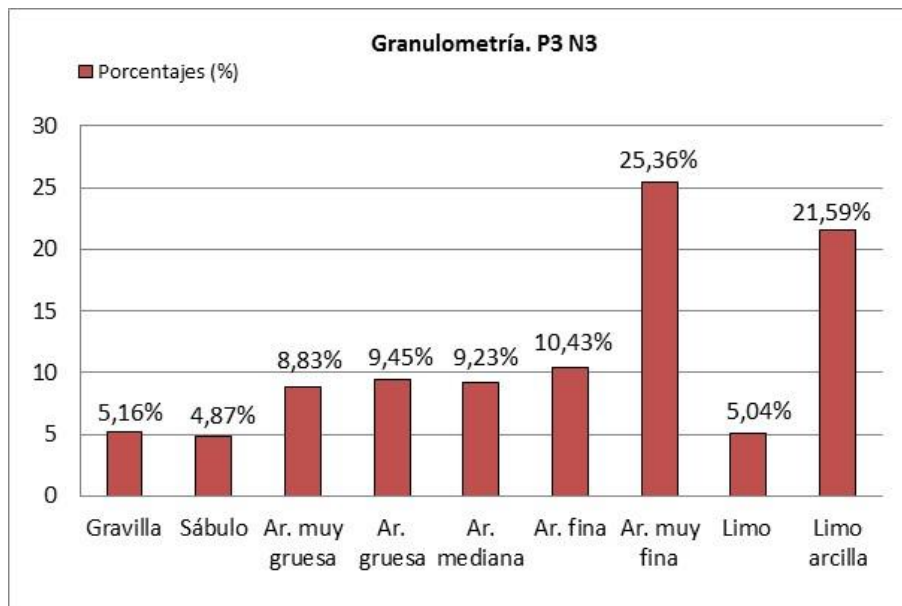


Figura N° 4.14: Porcentajes granulométricos que integran el Nivel 3- Perfil 3.

Hacia la parte superior del perfil, se reconocen unos 0,50 m de sedimentos arenosos finos limosos bioturbados.

Los materiales que integran este perfil pueden interpretarse como los clásicos depósitos que se observan en valles, donde la abundancia de finos con gravillas

dispersas permiten inferir procesos de flujos hiperconcentrados donde no se observan estructuras fluviales típicas, sino que tienen un aspecto muy masivo en general, interpretándose un origen coluvio-aluvial que en la actualidad se está edafizando. Podrían ser depósitos coetáneos a los sedimentos eólicos de la *Formación Laguna Oscura* (Holoceno superior), descrita por Cantú (1992), aunque ésta es típicamente eólica. Estos sedimentos componen la mayor parte de la cubierta sedimentaria de los valles correspondientes al área de estudio.

4.4.2 Llanura pampeana

Esta unidad se extiende rodeando todos afloramientos serranos, cubriéndolos discordantemente. En general, se caracteriza por presentar sedimentos provenientes de ambientes fluviales y aluviales- coluviales con un importante aporte de los materiales eólicos (Demichelis, 1986).

Son numerosos los autores que han estudiado las formaciones pertenecientes a la llanura Chacopampeana, principalmente las del sur de la provincia de Córdoba como Cantú (1992), Blarasin (2003), Degiovanni (2008), Cabrera (2009), entre otros. Aquí se toman las descripciones realizadas por Matteoda (2012) y Lutri (2013) de las características litológicas provenientes de perforaciones y de un perfil sedimentario aflorante, ambos realizados en inmediaciones cercanas al área de estudio.

Desde el punto de vista composicional, presenta las siguientes composiciones:

✓ ***Vertiente occidental***

Perfil de perforación Ea. La Esterlina (PER)

Aquí se muestra el perfil realizado según la descripción de litologías (Fig. N° 4.15) aportadas por el perforista (Matteoda, 2012).

La perforación se ubica en el flanco occidental de la Sierra de Las Peñas y como puede observarse no se alumbró basamento a pesar de la proximidad a la Sierra y de poseer una profundidad de 170 m.

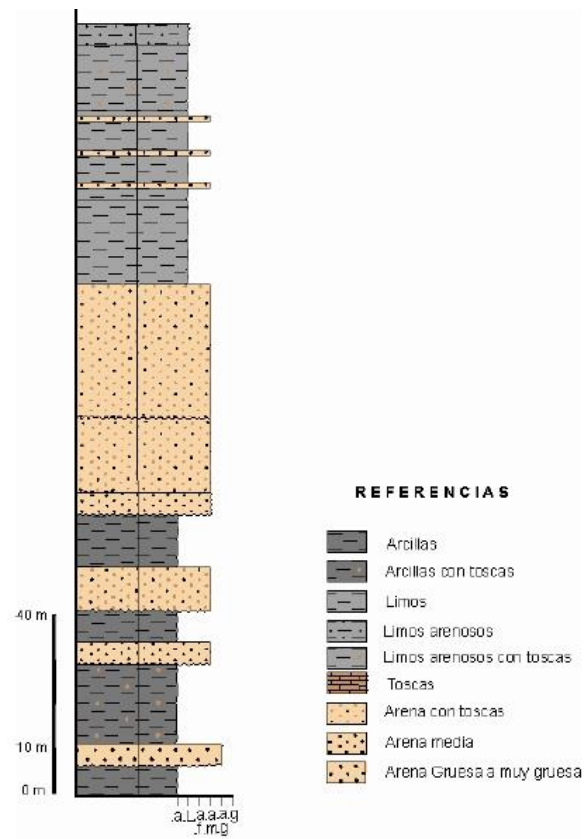


Figura N° 4.15: Perfil Ea. La Esterlina (PER) Matteoda, 2012.

Perfil de perforación B15 (Matteoda, 2012)

Se ubica al pie de las sierra, en el flanco occidental. En esta perforación se alumbro basamento a una profundidad de 10,5 metros y principalmente se compone de sedimentos arenosos finos.

✓ **Vertiente oriental:**

Perfil sedimentario Pv2 (Lutri, 2013).

Se ubica en el piedemonte proximal. Posee base parcialmente cubierta por derrubios y vegetación. Desde la base hasta los 3 metros está constituido por un cuerpo tabular, en general homogéneo, de sedimentos areno- limosos de color pardo claro, con gravillas dispersas. El análisis granulométrico de una muestra representativa de este sedimento arrojó un contenido de arena gruesa del 26%, y semejante porcentaje (27%) de arcilla-limo, estando conformado el resto por arenas muy finas a medias.

Por medio de un contacto erosivo ondulado, el cuerpo está separado de otro que yace por encima, de tipo tabular, de 0.50 m, con colores más oscuros debido a un mayor contenido de materia orgánica, pero también predominantemente areno- limoso.

En la parte superior, se observa un aumento de MO y bioturbaciones en un cuerpo de 0.50 m (Fig. N° 4.16).

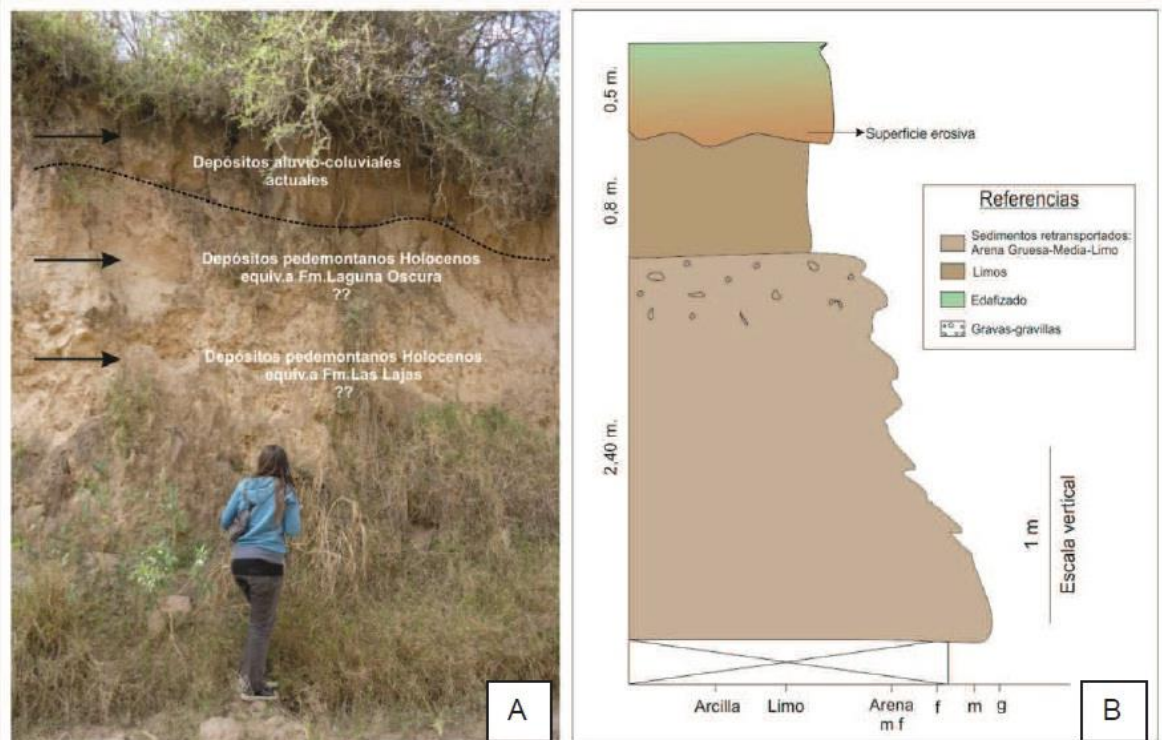


Figura N° 4.16: Perfil sedimentario Pv2 en el piedemonte proximal. A- Foto de perfil Pv2. B- Esquema perfil Pv2 (Lutri, 2013).

Estos depósitos periserranos involucran arenas- limos retransportados con gravillas y a veces estructuras de flujo, indicando que parte del loess serrano fue removido por procesos aluviales (en manto y encauzados) y gravitatorios (Lutri, 2013). Estos sedimentos se asumen equivalentes desde el punto de vista temporal a facies fluviales de la *Fm Las Lajas*, de edad holocena, correspondiente a un período más húmedo, desde la base hacia la parte media del perfil, donde se observan algunas capas con clastos más gruesos, mientras que la parte superior del cuerpo se correspondería con un aumento de granulometrías finas coetáneas con la época de depositación de la *Fm Laguna Oscura*, un período más seco del Holoceno superior.

La parte superior del perfil se interpreta en general como constituido por sedimentos aluvio- coluviales históricos vinculados a la paleoactividad aluvial de la bajada periserrana, luego en proceso actual de edafización (Lutri, 2013).

Como se observa en la perforación más profunda que se describe en Fig. 4.15, los depósitos típicamente fluviales aparecen en profundidad por debajo de los 50 m aproximadamente. En la actualidad, depósitos fluviales de canal más gruesos aparecen asociados a las fajas fluviales que bajan de las serranías.

4.4.3 Características mineralógicas y geoquímicas

En el área de estudio se cuenta con análisis geoquímico y descripción mineralógica de muestras correspondientes a sedimentos de origen eólico y fluvial (Matteoda 2012) del pedemonte occidental y descripción mineralógica de rocas aflorantes en la Sierra de Las Peñas (Demichelis 1986).

4.4.3.1 Mineralogía del basamento de la Sierra de las Peñas

4.4.3.1.1 Descripción mineralógica de litologías aflorantes

Se presentan en la tabla N° 4.1 las descripciones realizadas por Demichelis (1986) para las unidades presentes en el área de estudio, definiendo principalmente a los minerales que resultan de interés a esta tesis:

Tabla N° 4.1: Principales minerales presentes en las litologías del área de estudio.

Unidades litológicas aflorantes	Principales minerales en las rocas de estas unidades
<i>Unidad Metamórfica Oriental</i>	> % Qtz, Pl, Bt (desferrizada formando óxidos de Fe); Grt (Mn y Fe), Epidoto (Fe), Ms, etc.
<i>Comp. Migmat. Central- Norte</i>	Qtz, Pl, Kfs, Op (pirita - Fe), Hbl (Fe), Grt (Mn y Fe), Hipersteno (Fe), Chl, etc.
<i>Unidad Anfibólica</i>	Hbl (Fe), Pl y Op (sulfuros de Fe y Cu?), Bt, < % Qtz.
<i>Unidad Granítica Esquistosa</i>	Qtz, Mc, Pl, Bt (desferrizada), < Ol y Op.
<i>Complejo Migmatítico Austral</i>	Qtz, Kfs, Bt (Fe), Pl, y Grt (Fe y Mn).
<i>Granito Esquistoso Austral</i>	Pl, Qtz, Mc, Bt (desferrizada), Op (pirita y calcopirita), Chl, etc.
<i>Basalto Boca del Sauce</i>	Pl, Ol (Fe), Px (variedades de Augita con Mn y Fe) y > % Op.

Abreviaturas: Qtz= cuarzo; Pl= plagioclasas; Kfs= feldespatos potásicos; Bt= biotita; Grt= granate; Ms= muscovita; Op= opacos; Hbl= homblenda; Chl= clorita; Mc= microclino; Ol= olivino; Px= piroxeno.

4.4.3.2 Mineralogía de los sedimentos

4.4.3.2.1 Descripción mineralógica de sedimentos de origen eólico y fluvial

En todos los casos se analizó la fracción retenida en el tamiz 270 (53 a 63 μ). Las modas determinadas se observan en la Tabla 4.2.

Tabla N° 4.2: Porcentajes (%) mineralógicos en sedimentos eólicos y fluviales del pedemonte occidental (Matteoda, 2012).

Muestra/Mineralogía	Qz	Pl	Kfs	Bt	Cpx	Opx	Anf. V	Anf. P	Op	Ap	Zr	V1	V2	V3	ZV	Cc	Gr	Otros
Fluvial	9,5	5,4	3	1,3	5	0,1	2,8	1,2	8,2	0,2		9,6	46,5	7,2	63,3			
Eólica	7,7	9,8	4,5	1,5	4,1	0,1	2,2	1,2	6	0,2	0	22,4	25	15,1	62,6	0,1		0,2

Qz= cuarzo; Pl= plagioclasa; Kfs= feldespato potásico; Bt= biotita; Cpx= clinopiroxeno; Opx= ortopiroxeno; Anf= anfíboles; Op= opacos; Ap= apatita; Zr= zircón; V= vidrio; Cc= calcita; Gr= granate.

Como se desprende de la tabla de modas (Tabla 4.2), la participación de vidrio volcánico supera el 50 % en volumen. Este componente es altamente heterogéneo en cuanto a las características que presenta (color, alteraciones, recristalizaciones, texturas, contenidos en microfenocristales y otras inclusiones, vesicularidad, etc.) y por tal motivo, se los ha agrupado en 3 tipos fundamentales (Demichelis, 2010, en Matteoda 2012).

Vidrio tipo 1 (V1): este tipo de vidrio es incoloro, sin recristalizaciones, inalterado y sin inclusiones de fases cristalinas. La composición estimada a partir de las características ópticas es dacítico- riolítico.

Vidrio tipo 2 (V2): es el tipo más abundante. Se presenta en fragmentos irregulares, con bordes agudos, coloreados, y con diferentes grados de recristalizaciones y alteraciones. Los que se encuentran en mayor proporción son de colores pardos, sin burbujas y recristalizaciones parciales a nulas. Las alteraciones son del tipo palagonítico (proceso de hidratación e hidrólisis del vidrio, con oxidación del Fe, pérdida de Si, Na, Mg e incremento de K, Fe, Mg, según la temperatura), oxidaciones pardo- rojizas y otras argiláceas. Los vidrios tipo 2 poseen escasas a nula vesicularidad. La composición estimada a partir de características ópticas es basáltico- basandesítico.

Vidrio tipo 3 (V3): se presenta en fragmentos irregulares, con bordes angulosos a redondeados, fuertemente coloreados y prácticamente opacos. La composición estimada a partir de características ópticas es basáltico rico en hierro.

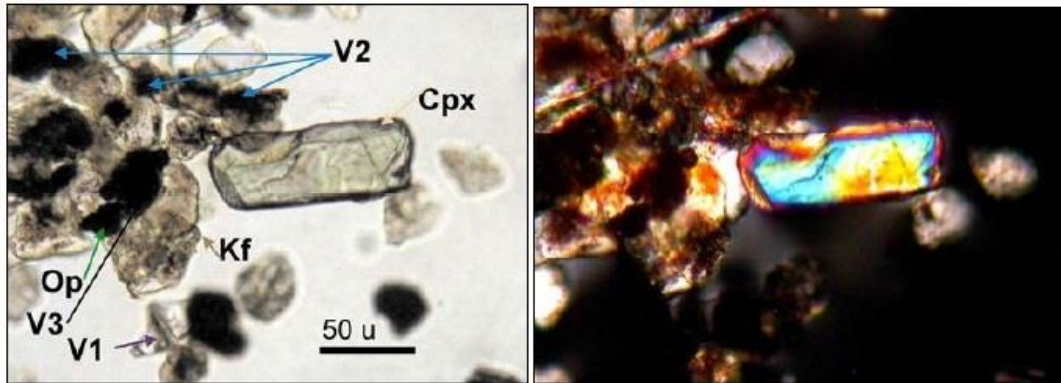


Figura N° 4.17: Mineralogía de sedimentos fluviales (Matteoda, 2012). Flanco occidental S° de Las Peñas. Nicoles: a) paralelos b) cruzados.

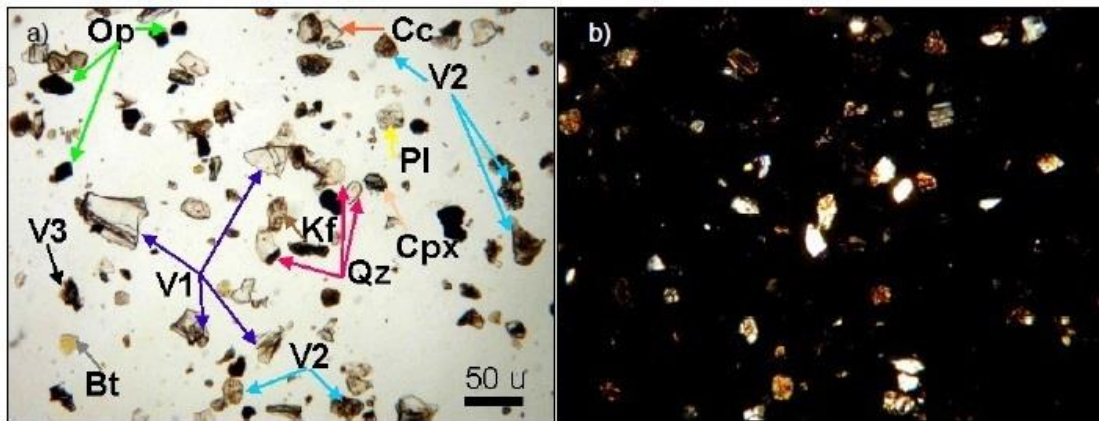


Figura N° 4.18: Mineralogía de sedimentos eólicos (Matteoda, 2012). Flanco occidental S° de Las Peñas. Nicoles a) paralelos b) cruzados.

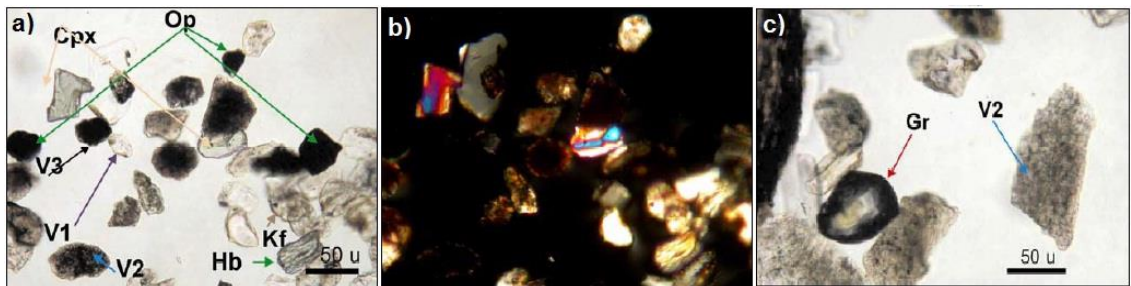


Figura N° 4.19: Mineralogía de sedimentos fluviales (Matteoda, 2012). Flanco occidental S° de Las Peñas. Nicoles a) paralelos b) cruzados c) Granate, Las Peñas.

4.4.3.3 Geoquímica de los sedimentos eólicos

Los análisis geoquímicos de sedimentos eólicos (Matteoda, 2012) corresponden a la fracción < a 125 µ. Estos fueron analizados con FUS-ICP, MULT INAA / TD-ICP MULT INAA/FUS-ICP, TD-ICP e INAA (ICP: Inductively Coupled Plasma, INAA: Instrumental

Neutron Activation Analysis, FUS: Fusion, TD: Total Digestion, MULT: Multiple) en el laboratorio Actlabs (Canadá).

Tabla N° 4.3: Análisis geoquímico en sedimentos eólicos (Matteoda, 2012).

Análisis	Unidad	Eólico
Fe ₂ O ₃ (T)	%	4,27
MnO	%	0,08
Zn	ppm	58

4.5 Perfiles geológicos esquemáticos

En base a la información obtenida de campo o aquella que brindaron los dueños y/o encargados de los establecimientos visitados sobre la profundidad a la que se encuentra el basamento mediante sus perforaciones y, teniendo en cuenta la geología del área, se logró construir tres perfiles geológicos esquemáticos (ver figura N° 4.4) transversales a las sierras de direcciones N-S (Fig. N° 4.20), O-E (Fig. N° 4.21) y SO-NE (Fig. N° 4.22),

Es importante aclarar que para este trabajo de tesis no se contaron con datos provenientes de SEV (Sondeos Eléctricos Verticales) ni se efectuaron mediciones a campo de la orientación de las estructuras, por lo que muchas de ellas fueron interpretadas e inferidas a partir de la bibliografía utilizada, principalmente del estudio realizado por Demichelis (1986), la hoja geológica Villa María 3363-I (SEGEMAR) y los realizados por Sagripanti et al. (2012).

En general, el basamento presenta una morfología asimétrica de bloques elevados y descendidos, formando entre sí valles rellenos de sedimentos que solapan de manera discordante a los afloramientos rocosos, tal como ocurre para el resto de las serranías que conforman la provincia geológica de Sierras Pampeanas, mencionado ya en apartados anteriores.

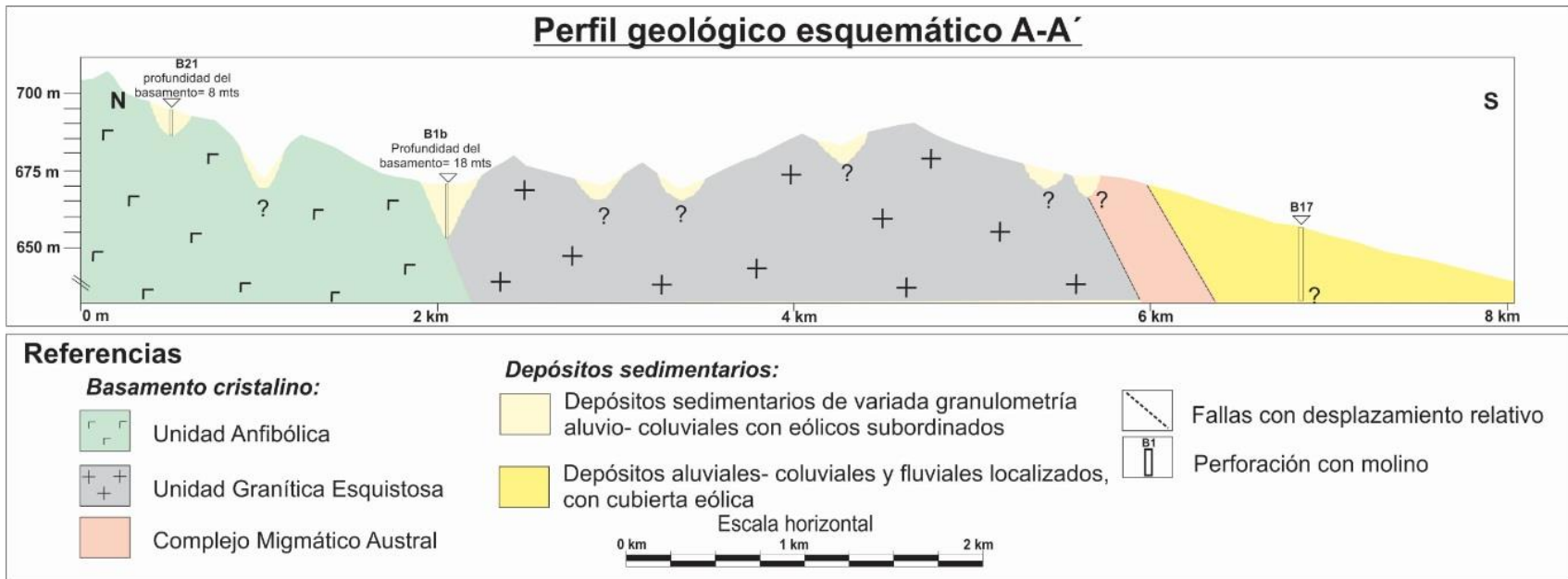


Figura N° 4.20: Perfil geológico esquemático A-A' mostrando disposición sugerida de bloques, estructuras y correlación de sedimentos en valles intraserranos.

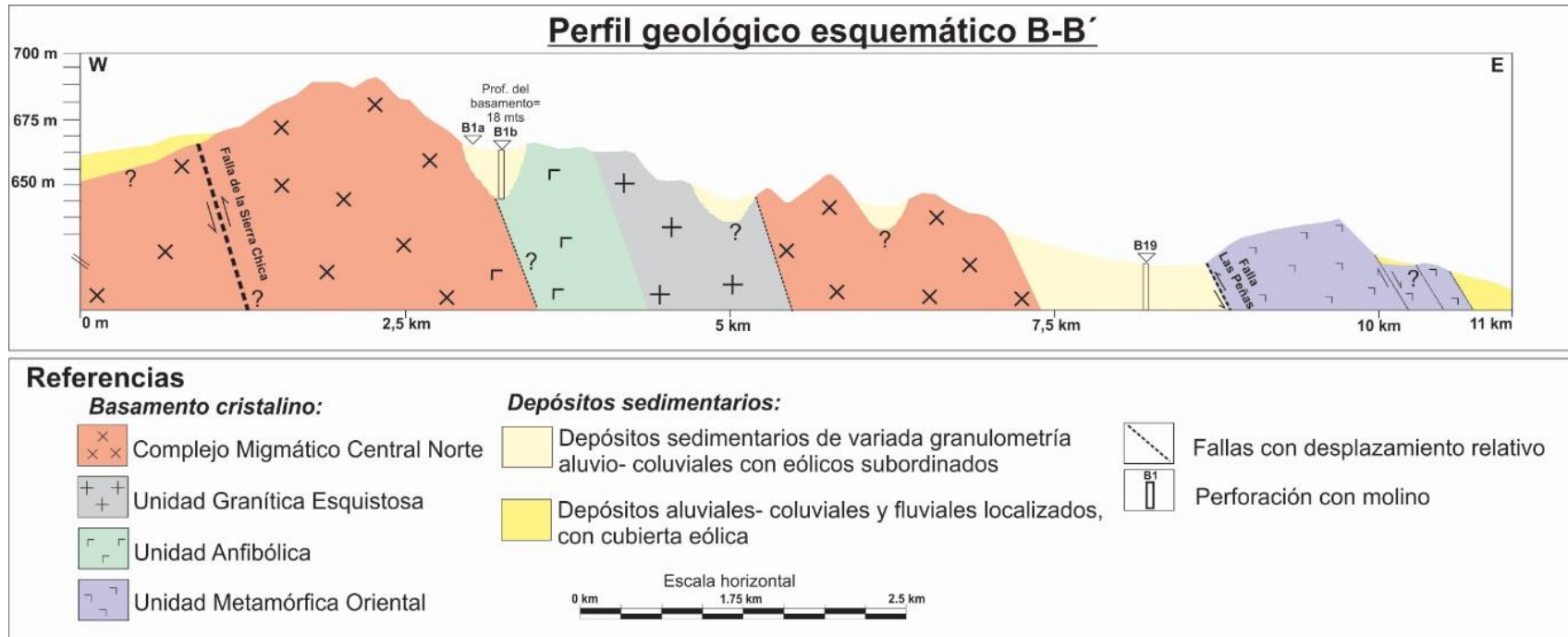


Figura N° 4.21: Perfil geológico esquemático B-B' con basculamiento hacia el Este.

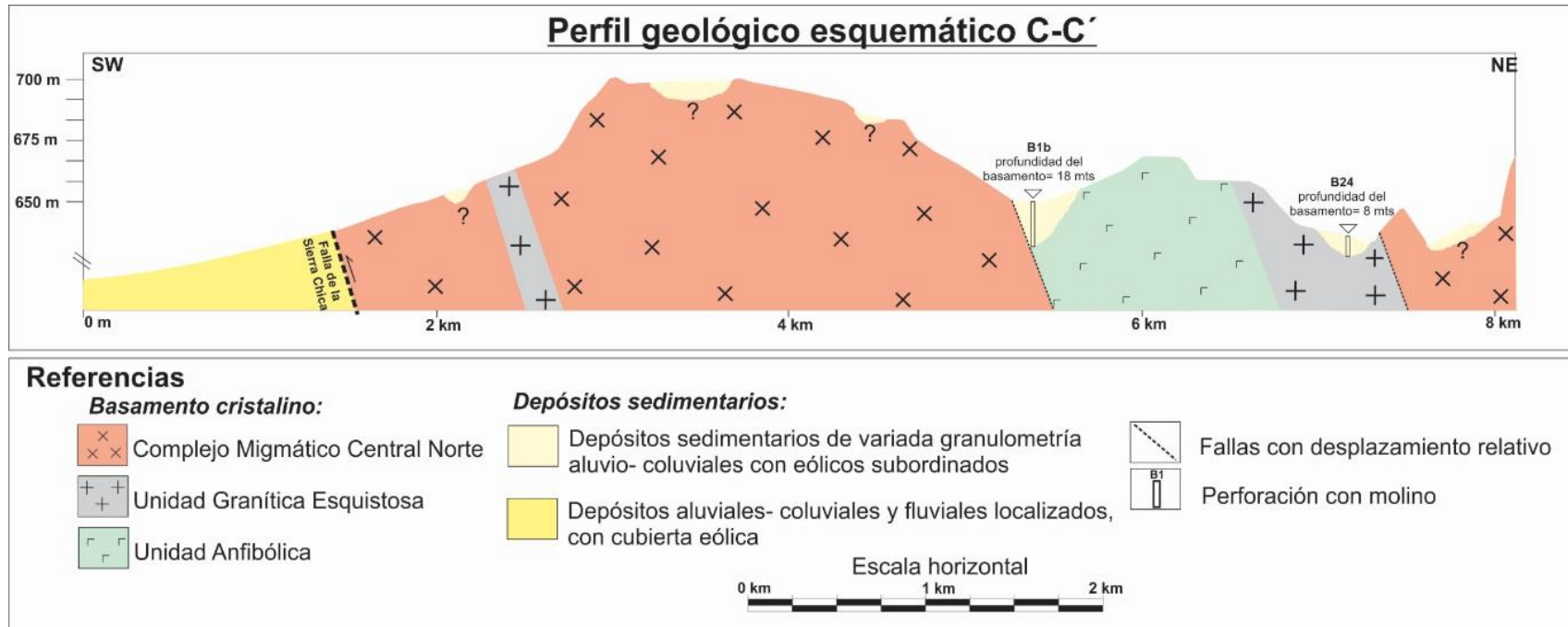


Figura N° 4.22: Perfil geológico esquemático C-C'.

4.6 Geomorfología Local

La morfología presente en las Sierras de Córdoba exhibe dos sectores bien diferenciados: un sector serrano y un área de llanura pedemontana con aporte de sedimentos modernos (Iriondo, 1990 a y b) los que se subdividen en distintas unidades de acuerdo a sus características morfo-estructurales.

El área de estudio presenta características propias que permiten diferenciarlas del resto de las Sierras Pampeanas. Los rasgos geomorfológicos están controlados por las estructuras (fallas, esquistosidad, plegamientos, etc.) y en menor medida por la litología (Demichelis, 1986).

La zona se caracteriza por pequeñas lomadas suaves, con escasa altura y baja altitud, vertientes evolucionadas, ápices redondeados a chatos y valles cubiertos por depósitos sedimentarios, expuestos en las barrancas y cárcavas (Demichelis, 1986). Tanto las lomadas como las depresiones están controladas por las estructuras y orientadas según las mismas; pero cuando eso no sucede a gran escala, la magnitud de los cuerpos litológicos, la orientación y la densidad de estructuras menores tienen mayor efecto (Demichelis, 1986).

La siguiente interpretación geomorfológica para el área de estudio fue realizada en base a diversos trabajos de investigación, como los estudios de Demichelis (1986), Degiovanni y Cantú (1997), Degiovanni (2005), Bolanumi et al. (2005), Matteoda (2012), Lutri (2013), Carignano et al. (2014) y los propios de esta tesis (Figura N° 4.23 y 4.24).

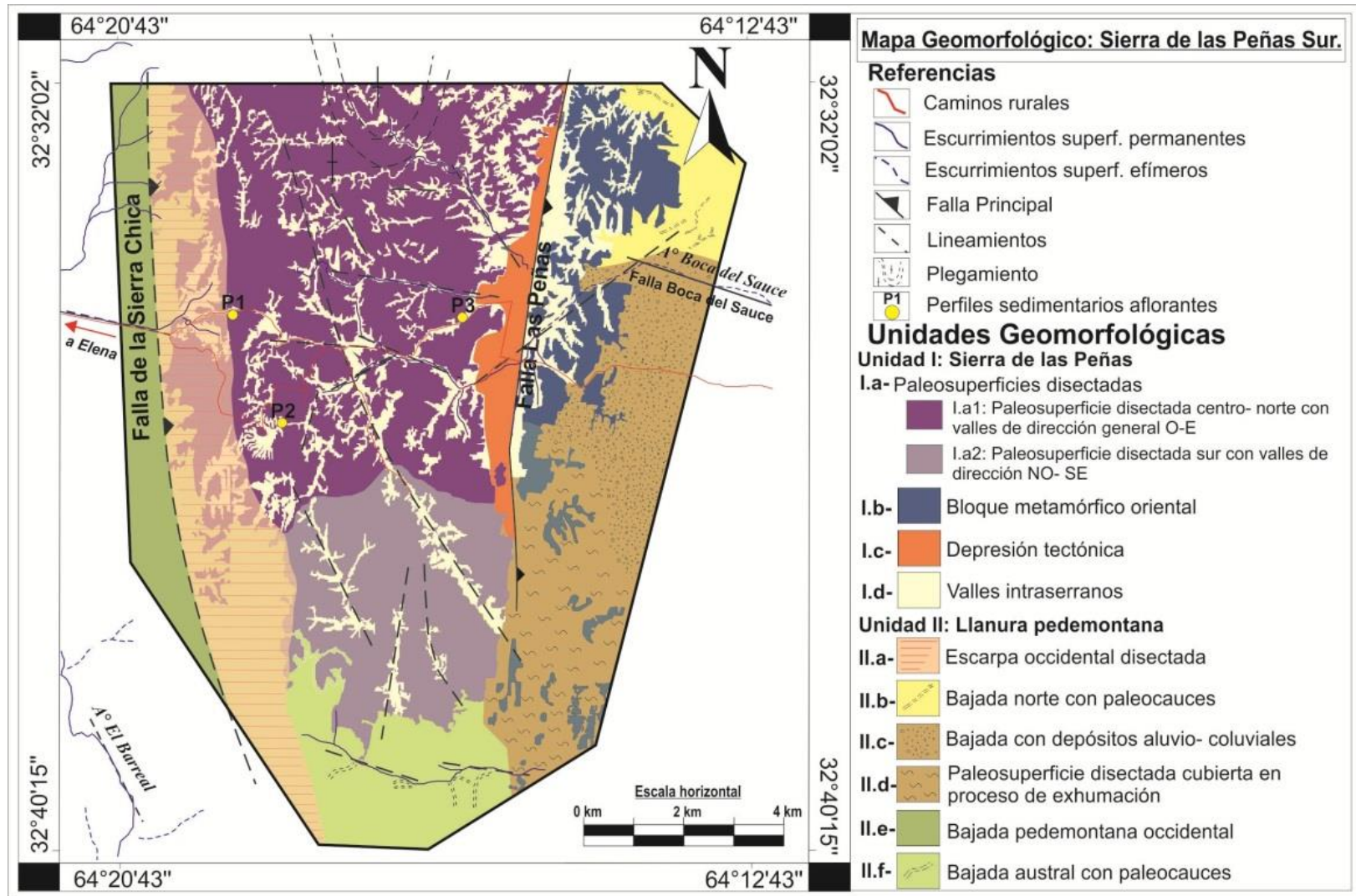


Figura N° 4.23: Mapa geomorfológico de la Sierra de las Peñas Sur, pedemonte y llanura proximal.

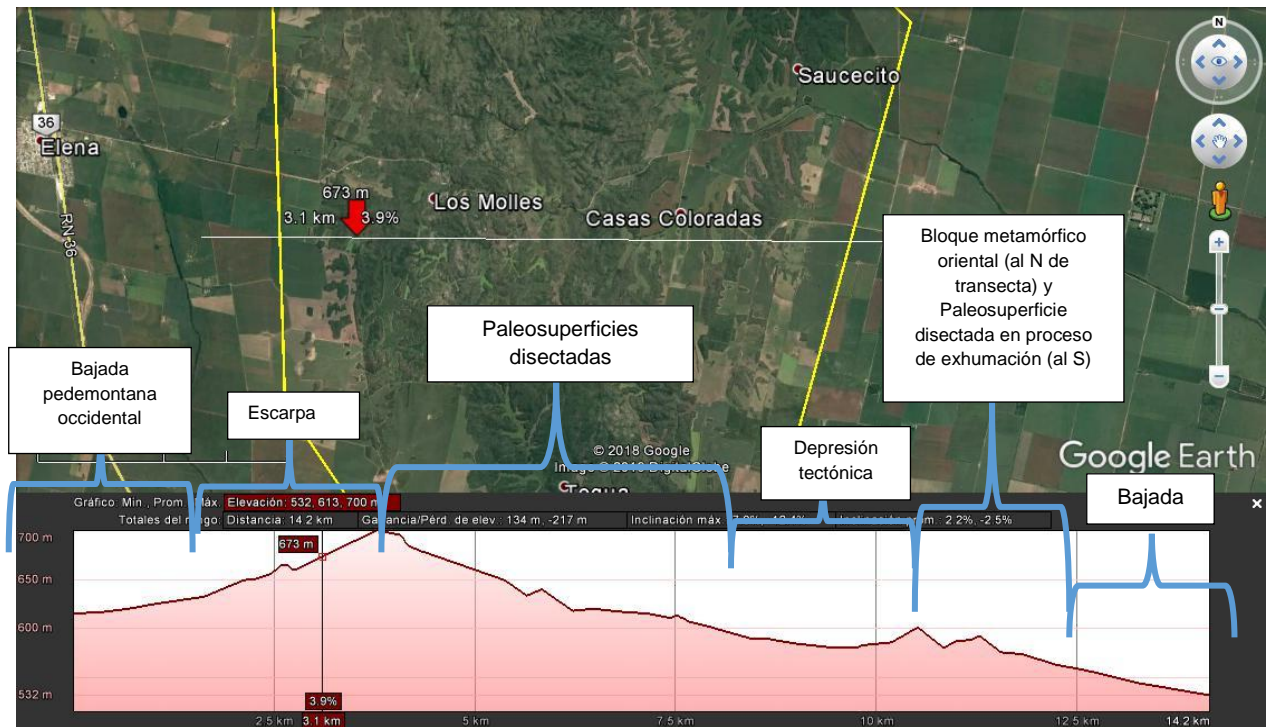


Figura N° 4.24: Perfil transversal mostrando algunas unidades geomorfológicas del área de estudio.

4.6.1 Unidad I: Sierra de las Peñas

Posee una elongación meridiana con una longitud de 30 km y un ancho promedio de 10 km, aproximadamente (Demichelis, 1986).

Las mayores altitudes de la sierra (entre 750 y 840 m.s.n.m), se ubican en su borde occidental. En sección transversal presenta un perfil asimétrico, con suave pendiente hacia el este y escarpada al oeste, integrado por pequeñas lomadas redondeadas de escasa altura separadas por valles elongados y surcados por gran cantidad de cauces, en su mayoría esporádicos. En algunos sectores, se observaron taffonis y erosión en bolas, aunque esta micromorfología es poco común en la Sierra de las Peñas (Demichelis, 1986).

Casi toda la sierra se comporta como un bloque de basamento aplanado y con muy escasa inclinación. Hacia el norte, este y sur pierden altura paulatinamente hasta desaparecer bajo la cubierta sedimentaria cenozoica, mientras que al oeste presenta un discreto desnivel. Internamente presenta restos de una superficie de erosión con un elevado grado de disección (Bolanumi et al. 2005).

Unidad I.a: Paleosuperficies disectadas

Son restos de antiguas superficies de erosión, cuya posición queda evidenciada por la alineación regular en las cimas de cerros y lomas; en muchos casos tienen formas convexas muy suaves o casi aplanadas (Bolanumi et al. 2005).

I.a1- Paleosuperficie disectada centro- norte con valles en dirección general O- E: comprende la mayor superficie en el área de estudio.

Los valles en general poseen una dirección O- E, siguiendo la dirección del flanco oriental de la sierra hacia la depresión tectónica. Presentan dimensiones promedios de 1.300 metros de longitud y hasta 300 metros de ancho aproximadamente en la parte central, formándose sobre una litología más granítica esquistosa que el resto de la unidad. Hacia el norte, donde las rocas son de composición más metamórfica, los valles son prolongados y angostos, con longitudes y anchos promedios de 1.500 m y 100 m respectivamente; hacia el este los valles presentan mayores dimensiones (Fig. N° 4.25).

El relleno de los valles está compuesto por sedimentos aluvio- coluviales con eólicos subordinados, algunos con mayor cementación principalmente hacia el sector occidental (ver perfil sedimentario N° 2).

El basamento se encontró a diferentes profundidades en distintos valles, con valores entre 18 m (punto B1) y 8 m hacia el sector norte (puntos B21 y B24).

Las redes de drenaje adoptan una morfología del estilo dendrítica, donde los escurrimientos llevan sus aguas hacia el flanco oriental, hacia los colectores que integran el arroyo Boca del Sauce.

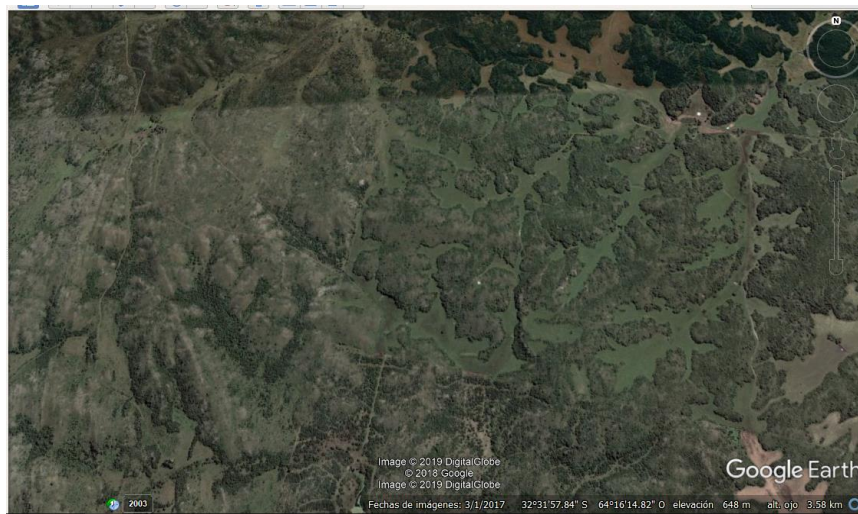


Figura N° 4.25: Detalles de la paleosuperficie serrana disectada.

I.a2- Paleosuperficie disectada sur con valles de dirección general NO- SE: la mayor diferencia con la unidad anterior es que ésta paleosuperficie se hunde hacia el sur y los valles, también con fuerte control estructural, presentan en esta unidad una dirección general NO- SE. Las longitudes de los más destacados son mayores a 2.200 m y el ancho general es de 200 m aproximadamente (Fig. N° 4.26).

En la parte central, los valles se forman sobre una litología más granítica que metamórfica, intercalada con cuerpos granodioríticos, diques, pegmatitas, etc., con cierto grado de milonitización dando lugar a una morfología de valles más longitudinales con colectores más pequeños. En esa sección, el relieve es más bochiforme y redondeado.

La morfología de las redes de drenaje es del estilo enrejada, dado el evidente control estructural principalmente hacia el este, a dendrítica por sectores.



Figura N° 4.26: valles más destacados de la paleosuperficie disectada sur.

Unidad I.b: Bloque metamórfico Oriental

Este bloque de orientación meridiana a submeridiana abarca gran parte de los afloramientos rocosos. Su límite occidental con los demás afloramientos es por medio de la falla Las Peñas. Esta falla en conjunto con otras estructuras menores de rumbos subparalelos a ésta o NO, NE y E-O generan una serie de bloques que componen a esta

unidad, con pendientes más tendidas hacia el este y al oeste poseen vertientes más cortas y abruptas.

El paisaje posee cimas planas a redondeadas, vertientes convexas generalmente y disectadas por una gran cantidad de cauces controlados estructuralmente por fallas; en planta presentan forma circular, ovoidal e irregular, con bordes lobulados (Demichelis, 1986). Las rocas más abundantes son esquistos y gneises, con anfibolitas y cuarcitas intercaladas (Fig. N° 4.27).

Unidad I.c: Depresión tectónica

Esta depresión tectónica se forma a partir de la falla Las Peñas que da origen al Valle Las Peñas. Este valle es el más destacado y de mayor extensión areal de la zona de tesis. Es el resultado de una falla de rumbo variable entre los 25°-30° al N y 350° al sur (Falla Las Peñas), sobre la que se desarrolla este valle. Presenta un gran desarrollo meridional a submeridional, mientras que en sentido transversal varía su extensión desde pocos metros más de 1000 metros, abriéndose hacia la llanura en los extremos N y S. Esta depresión genera una escarpa de falla que mira al oeste en su borde oriental y posee un resalto topográfico de unos 10 a 60 metros aproximadamente (Demichelis, 1986). Posee una longitud de 8500 m y un ancho variable entre 700- 2000 m aproximadamente (Fig. N° 4.27).

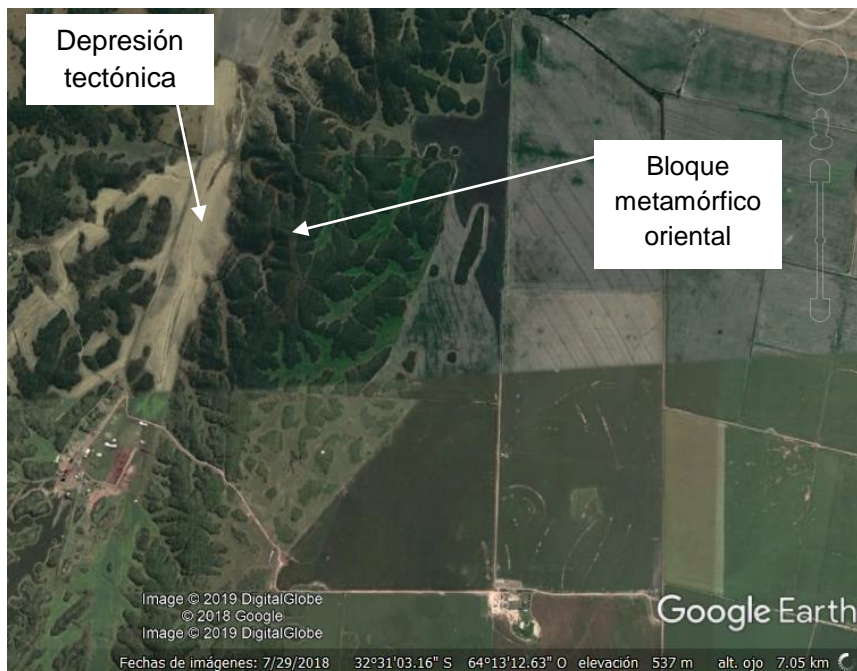


Figura N° 4.27: Sección norte de la depresión tectónica y bloque Metamórfico Oriental.

Unidad I.d: Valles intraserranos

La morfología de los valles está condicionada por la dinámica hídrica de los cursos de aguas que descienden de la sierra y la actividad neotectónica (Bolanumi et al. 2005).

En general, se presentan alargados, con un ancho variable de acuerdo a la litología sobre la cual se labran con direcciones variadas, como se indica, debido al control estructural. El más destacado evidentemente es el valle Las Peñas que abarca la mayor superficie en el área de estudio.

4.6.2 Unidad II: Llanura pedemontana

Unidad II.a: Escarpa occidental disectada

Este tipo de escarpas de falla que limitan a los cordones serranos se caracterizan por presentar pendientes empinadas, originadas por fallas inversas que elevaron las sierras.

En general, presentan las máximas alturas en su parte central disminuyendo progresivamente los resaltos hacia los extremos.

La escarpa de la Sierra de las Peñas, como se observa en los perfiles, nace al pie de la sierra y se extiende hasta la divisoria de aguas. En general se encuentra muy disectada por cursos efímeros que bajan hacia el valle de La Cruz con acumulaciones de pie de talud en las partes bajas. La escarpa de la falla de la Sierra Chica se encuentra parcialmente cubierta; hacia el norte muestra mayores superficies descubiertas (Fig. N° 4.28). En la mitad más alta de la escarpa se observa basamento aflorante y además se ve el escalonamiento de la escarpa como resultado del control de estructuras menores (Fig. N° 4.29).

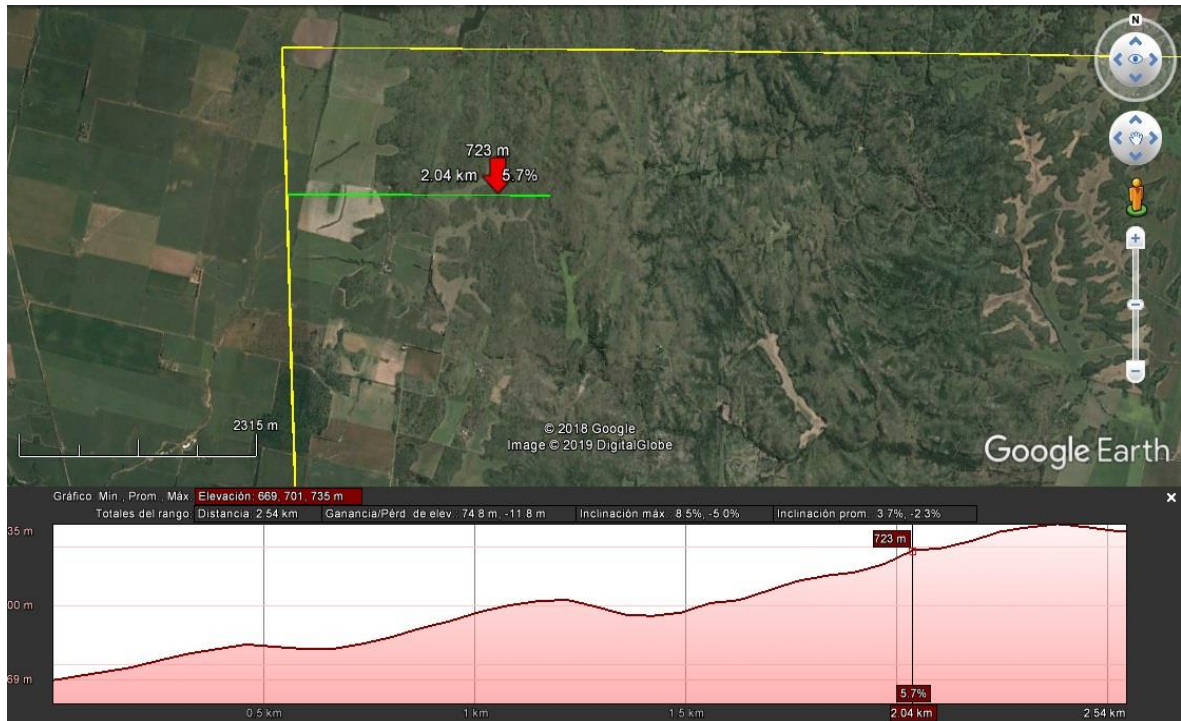


Figura N° 4.28: Perfil transversal norte de la escarpa occidental disectada. Google Earth.



Figura N° 4.29: Perfil transversal central de la escarpa occidental disectada. Google Earth.

Unidad II.b: Bajada norte con paleocauces

Es un relieve fuertemente ondulado, con valores de pendientes que van desde 6 % a 0,9% al norte del arroyo Boca del Sauce. El relieve topográfico responde fundamentalmente al control estructural y la presencia de bloques de basamento cercanos a la superficie. Los materiales aflorantes son arenosos muy finos limosos con gravilla dispersas, y se observan algunos surcos y cárcavas (Lutri, 2013).

Se observan evidencias de paleocauces sepultados a diferentes profundidades, algunos con evidencias de reactivaciones en épocas de lluvias intensas generando vías de escurrimientos temporarios.

A la salida del arroyo Boca del Sauce, hacia el NE, estos paleocauces integran una sección del antiguo paleoabánico cubierto descrito por Lutri (2013) en su tesis de licenciatura (Fig. N° 4.30 A). Hacia el norte de la sierra, los paleocauces quedan evidenciados en la figura N° 4.30 (B).



Figura N° 4.30: A- Paleocauces del antiguo paleoabánico cubierto. B- paleocauces del sector norte de la bajada.

Unidad II.c: Bajada con depósitos aluvio- coluviales

Es el producto de los distintos procesos aluviales, coluviales y eólicos que fueron depositando secuencias de materiales al pie de las sierras. El relieve es fuerte a moderadamente ondulado, con grandes lomadas en sentido O- E. Presenta gradientes

topográficos del orden de 3,6 % a 1,6 % al sur del arroyo Boca del Sauce. Los procesos de erosión hídrica son activos en casi todo el sector del pedemonte (Lutri, 2013).

Unidad II.d: Paleosuperficie disectada cubierta en proceso de exhumación

Se trata del borde sudoccidental de la sierra cubierto por depósitos cuaternarios (Degiovanni y Cantú, 1997). El relieve puede ser interpretado como un sector de la sierra que actualmente se encuentra en proceso de exhumación, en el que se distinguen claramente numerosos afloramientos relícticos de las sierras (Degiovanni 2005). Los materiales sedimentarios se caracterizan por su origen aluvio-coluvial, evidenciándose algunos paleocauces importantes (Fig. N° 4.31).



Figura N° 4.31: Distintas secciones de la paleosuperficie disectada en vía de exhumación; se observan los afloramientos relícticos.

Unidad II.e: Bajada pedemontana occidental

Bordea a toda la sierra por el flanco oeste; el mayor porcentaje de los materiales que la componen son de granulometría areno- limosa con gravillas dispersas de diferente tamaño. El origen es principalmente de flujos hiperconcentrados aluvio- coluviales con intercalaciones de clastos más gruesos los que pueden deberse a eventos de crecidas asociados. En general hay una cubierta eólica somera en la parte más distal, Su relieve presenta un gradiente topográfico promedio de 4 % a 2,3 % aproximadamente. Son evidentes los procesos de erosión hídrica con episodios de cárcavamiento profundos y reactivaciones posteriores (Matteoda, 2012).

Unidad II.f: Bajada austral con paleocauces

Esta unidad posee un relieve más tendido que los anteriores, con gradientes topográficos que van del orden 1,6 % a 0,5 % aproximadamente.

Este ambiente de pedemonte, en general, comprende diferentes depósitos aluvio coluviales que se acumularon durante el Pleistoceno inferior- medio, Pleistoceno superior. Principalmente están compuestos por sedimentos limosos y arenas aluvio coluviales con algo de cubierta loessoide. Se encuentra muy disectado formando lomas muy amplias, achatadas y de escasa altura (Bolanumi et al. 2005). Una de sus principales características es la presencia de paleocauces. (Fig. N° 4.32)



Figura N° 4.32: Bajada austral mostrando gran cantidad de paleocauces.

4.7 Evolución geológica para del área de estudio

A continuación se hace descripción de la historia geológica para el área de estudio basada en confecciones anteriores realizadas por Gordillo y Lencinas (1979), Criado Roque et al. (1981), Demichelis (1986), Jordan y Almendinger (1986), Cantú (1992), Iriundo (1999), Bonalumi et al (2005), Matteoda (2012) y Carignano et al (2014).

La Sierra de las Peñas se encuentra enmarcada dentro del ámbito correspondiente a las Sierras Chicas de Córdoba; se constituyen de un basamento ígneo- metamórfico de edad Precámbrica- Paleozoica inferior, con protolitos integrados por grauvacas y semipelitas metamorizadas en facies de anfibolitas que gradan a granulitas, que se encuentra intruído por cuerpos granitoides y graníticos (Gordillo y Lencinas, 1979). A finales del Paleozoico, todo el complejo ya presentaba la rigidez que muestra actualmente ocupando un sector de la corteza continental, donde a partir de aquí fue fracturándose en bloques como producto de los esfuerzos tectónicos que actuaron en la faja móvil cordillerana (Gordillo y Lencinas, 1979).

A partir del Mesozoico, la tectónica distensiva vinculada a la apertura del Océano Atlántico generó procesos de rifting provocando la inversión de estructuras mayores y dando lugar a la generación de cuencas a nivel regional rellenas con sedimentos continentales intercaladas con algunas coladas de composición traquibasálticas (Gordillo y Lencinas, 1979).

En el Cenozoico se generaron reactivaciones tectónicas de las antiguas estructuras como producto de los esfuerzos producidos por la Orogenia Andina (Oligoceno- Mioceno hasta el Plioceno- Pleistoceno (Criado Roque et al., 1981), donde se instala un ambiente compresivo y las sierras alcanzan su conformación actual a través de viejas fracturas y generación de otras nuevas, dando como resultado una estructura en bloques fallados y basculados hasta el Este, representando un perfil transversal con pendiente suave al naciente y abrupta escarpa al poniente (Demichelis, 1986).

La segmentación de los Andes producida durante el Mioceno- Plioceno como consecuencia de la horizontalización de la Placa de Nazca (a la latitud de 32°S) generó la inversión tectónica de antiguas zonas de suturas y fallas normales donde se transformaron la mayoría en fallas inversas de alto ángulo buzantes hacia el Este; esto fue evidenciado por un menor engrosamiento cortical y acortamiento de los orógenos (Jordan y Almendinger, 1986).

Durante el Cuaternario, toda la región se sometió a drásticos cambios climáticos, produciéndose el dominio de climas áridos y semiáridos con un desarrollo generalizado de procesos eólicos intercalados con climas húmedos que edafizaron los procesos eólicos y generaron la reinstalación de los procesos fluviales (Cantú, 1992).

Durante el Pleistoceno medio a superior, se depositó la *Fm. Pampiano*, cuyos cambios faciales señalan que transicionalmente las condiciones se fueron tornando más áridas hasta alcanzar un grado que permitió la cementación carbonática de los distintos materiales depositados. A partir del Pleistoceno superior, el clima se tornó más húmedo dando lugar a la depositación de la *Fm. Chocancharava* (depósitos fluviales de moderada a alta energía) (Cantú, 1992).

Hacia el límite Pleistoceno– Holoceno, en la planicie argentina se instaló un ambiente muy árido que generó la depositación de una potente secuencia de materiales loésicos de gran extensión areal, correspondientes a la *Fm. La Invernada* (Cantú, 1992). Durante este período se obliteraron los sistemas fluviales menores de la zona, mientras que algunos de régimen intermedio generaron abanicos en la salida extraserrana.

Durante el Holoceno Bajo- Medio, ocurrieron condiciones más húmedas, que dieron lugar a la reinstalación de redes de drenaje (Cantú, 1992). Las secuencias fluviales son de mediana a baja energía y granodecrecientes como la *Fm. Las Lajas*, la que se encuentra rellenando gran parte de los valles pleistocenos, indicando una tendencia a la menor disponibilidad de agua y una aridización del clima (Cantú, 1992).

Ya en el Holoceno Superior, con condiciones climáticas secas y semiáridas, se depositaron las secuencias limo- arenosas muy finas correspondientes a la *Fm. Laguna Oscura*, la cual se caracteriza por cubrir casi toda la región y presenta una morfología de dunas longitudinales actualmente bastante disipadas y discontinuas. Iriondo (1999) sostuvo que este período seco se extendió entre 3.500 a 1.400 años AP, a partir del cual se instalarían las condiciones climáticas actuales posteriores, predominantemente húmedas. Esto favoreció la formación de suelos de mediano desarrollo en los interfluvios y la reinstalación de las redes de drenaje actuales.

Los sedimentos hallados en los valles y pedemonte de estas sierras muestran una secuencia que responde a las características de los depósitos pleistocenos y holocenos descritos, aunque exhiben peculiaridades que no permite nominarlos desde el punto de vista formacional como a las secuencias de los perfiles típicos descritos por Cantú (1992) en la llanura, aunque son coetáneos temporalmente y expresan estos cambios

climáticos mencionados. En general se trata de facies aluvio- coluviales tanto en valles como en pedemonte muy vinculadas al funcionamiento serrano, con cubierta loessoide moderna.

Con la instauración del clima actual se instalan las nuevas redes de drenaje y se desarrollan suelos en los interfluvios. En los años secos, los vientos actuales dominantes remobilizan los sedimentos aflorantes (Matteoda, 2012).

CAPÍTULO 5

OCUPACIÓN Y USO DEL TERRITORIO

5.1 Introducción

Dada la importancia que tienen las actividades humanas en su interacción con el medio natural, es imprescindible realizar un análisis de la ocupación y uso del territorio con el objeto de relacionar estos aspectos y verificar su incidencia, como factor de presión sobre el medio físico, en los procesos de dinámica, distribución y calidad del agua superficial y subterránea. De esta relación, medio natural/medio socio-económico cultural, surgen problemas ambientales entre los que pueden mencionarse aquellos impactos producidos directamente por las actividades antrópicas como la contaminación de cuerpos de agua por vertido de efluentes o la ocurrencia de riesgos naturales y/o mixtos derivados de procesos naturales y potenciados, en la mayoría de los casos, por el uso del territorio como anegamiento, inundación, erosión hídrica y eólica, entre otros (Matteoda, 2012).

5.2 Ocupación y uso del territorio

En el área de estudio se destacaron principalmente los sectores: 1- Áreas naturales de la sierra con ganadería extensiva; 2- agricultura de secano con ganadería extensiva/intensiva subordinada en valles intraserranos; 3- agricultura de secano y/o riego con ganadería extensiva/intensiva subordinada en pedemonte y llanura proximal (Fig. N° 5.1). Se adiciona además una breve descripción de la Capilla del Teguá, por ser un patrimonio nacional que se incluye en un punto de muestreo, y su cementerio aledaño al final de este capítulo.

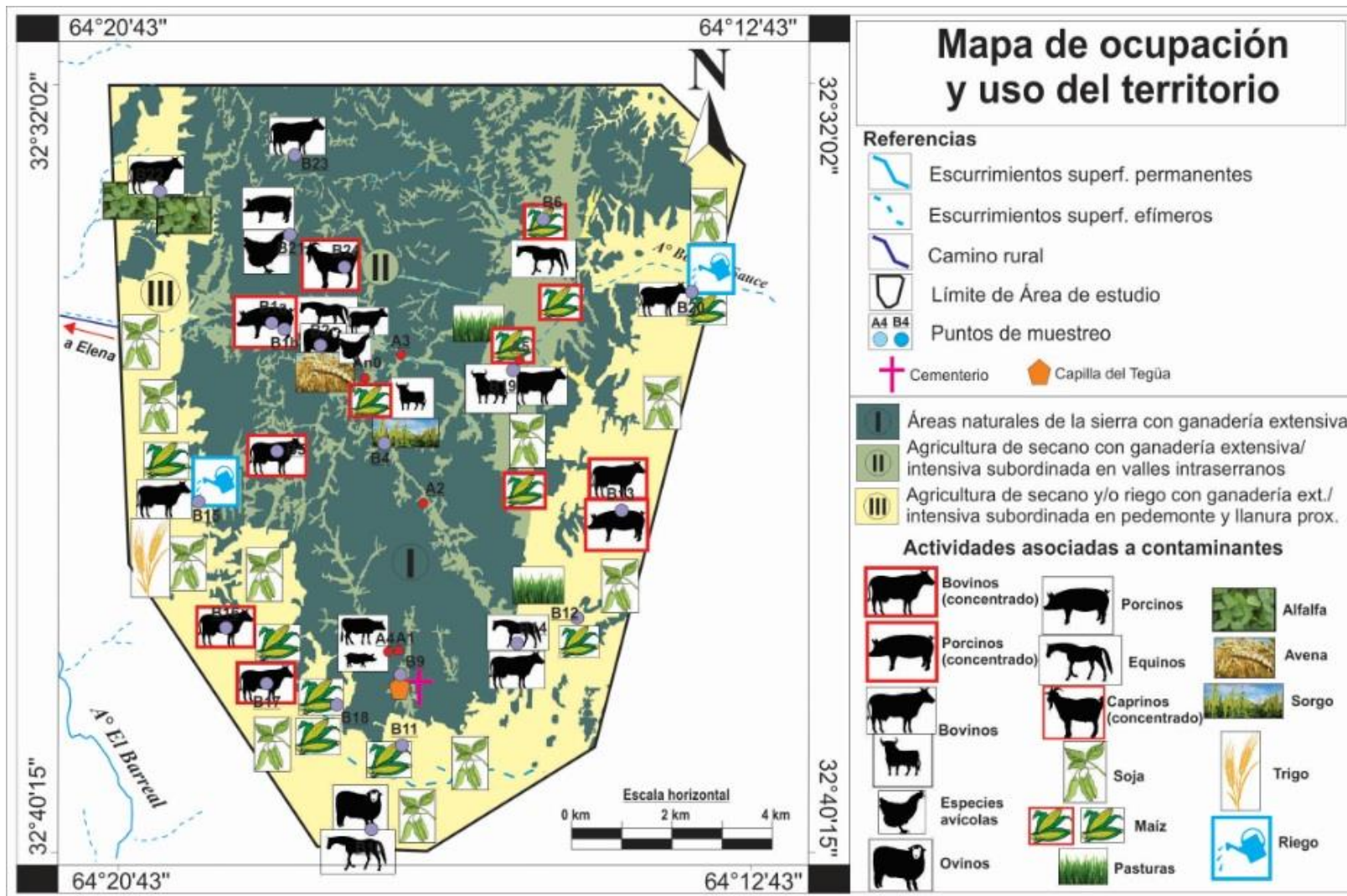


Figura N° 5.1: Mapa de Ocupación y uso del territorio abarcando a la Sierra de las Peñas Sur, pedemonte y llanura proximal.

5.2.1 Áreas naturales de la sierra con ganadería extensiva

El sector de la sierra que responde a un carácter natural hace referencia a la vegetación característica y autóctona de la Sierra de las Peñas Sur (Fig. N° 5.2), que ha sido estudiada por J. J. Cantero (en Demichelis, 1986), quien distingue distintos tipos de fisonomías florísticas:

- Monte bajo de *acacia caven*: la especie dominante es la acacia caven (espinillo) que se encuentra estratificada en tres estratos y posee una cobertura variable entre el 30 – 80 %.

- Bosque de *Prosopis nigra* y *Schinus fasciculatus*: las especies dominantes son *Prosopis nigra* (algarrobo rojo) y *Schinus fasciculatus* (moradillo). También estratificada en tres estratos y posee una cobertura variable entre 60 y 80 %.

- Arbustal de *Heterothalamus alienius*: la especie dominante es *Heterothalamus alienius* (romerillo), se encuentra estratificada en dos estratos y posee una cobertura entre 30 y 80 %.

- Pastizal de *Stipa sp*: la especie dominante es *Festuca hieronymi* (paja común), estratificada también en dos estratos con una cobertura variable entre 30 y 80 %.

- Monte de *Geofroea decorticans*: la especie dominante es *Geofroea decorticans* (chañar), se encuentra estratificada en tres estratos bien definidos y posee una cobertura variable entre 40 y 80 %.



Figura N° 5.2: Vegetación típica de las sierras.

En estas áreas naturales, además, suele encontrarse ganado vacuno y porcino disperso por sectores.

5.2.2 Agricultura de secano con ganadería extensiva/intensiva subordinada en valles intraserranos

En esta unidad, la agricultura de secano es la principal actividad ya que todos los valles se encuentran sembrados; domina el cultivo de maíz en la mayoría de ellos, con ganado

bovino disperso (Fig. N° 5.3), y en otros sectores se cultiva avena, como es el caso del punto de muestro B2, y sorgo en cercanías a B4.



Figura N° 5.3: Ganado bovino disperso en medio de lote de maíz en un pequeño valle.

En el "Valle Las Peñas", se destaca la siembra de maíz principalmente (Fig. N° 5.4), y de manera subordinada aparecen lotes de soja y pastizales hacia el sur.



Figura N° 5.4: Cultivo de maíz en Valle Las Peñas (punto de muestro B6).

La ganadería (extensiva/intensiva) desarrollada en asentamientos dentro de los valles, está subordinada a la agricultura. Se destacan principalmente las actividades asociadas a criaderos de ganado bovino, porcino, ovino, caprino, establecimientos con equinos y producción avícola. Los establecimientos visitados responden a criaderos con animales

en su mayoría dispersos, a excepción de sitios de muestreo como B5 (Fig. N° 5.5) donde los animales rodeaban a la captación concentrados en un corral (ganado vacuno estilo feed-lot).



Figura N°5.5: Ganadería bovina en punto de muestreo B5.

En el punto de muestreo B1, los corrales cuentan con 100 cabezas de cerdos ubicados a 200 metros aproximadamente aguas arriba de la perforación (Fig. N° 5.6), donde su propietario informó que suelen estar sueltos y rodeando a la captación, inclusive había excretas de animales alrededor del molino y pérdida de agua por el caño camisa.



Figura N° 5.6: Corrales de cerdos en punto de muestreo B1.

La ganadería dentro del Valle Las Peñas es variable; hacia el sur del punto de muestreo B6 se observó ganado equino disperso, y en el punto de muestreo B19 el ganado bovino rodeaba la captación (Fig. N° 5.7).



Figura N° 5.7: Ganadería bovina en punto de muestreo B19.

La palabra "concentrado" utilizada en el mapa hace referencia a crías pequeñas intensivas o corrales donde se recogen los animales.

5.2.3 Agricultura de secano y/o riego con ganadería extensiva/intensiva subordinada en pedemonte y llanura proximal.

Esta sección pertenece al ámbito pedemontano y llanura proximal del área de estudio, tanto del sector occidental como oriental. Es una región donde la actividad agropecuaria es la predominante, casi sin cobertura vegetal natural (original) ya que ha sido desplazada por estas actividades para nuevos fines, a excepción de orillas de caminos rurales y zonas donde aflora basamento que aún conservan relictos de vegetación autóctona. En la mayoría de los casos, esta práctica no es realizada por sus propios dueños sino que los campos son alquilados (Matteoda, 2012).

Si bien las actividades agrícolas que se realizan están asociadas principalmente a la agricultura de secano, en algunos sectores se cultiva soja bajo riego artificial, como en los sitios de muestreo B15 y B20.

La principal actividad es el cultivo de soja mediante el método de siembra directa; frecuentemente aparecen lotes cultivados de maíz distribuidos hacia el oeste (Fig. N° 5.8- A), sur y este de la zona de estudio. Eventualmente, aparecen cultivos de alfalfa hacia el noroeste, en el punto de muestreo B22 (Fig. N° 5.8- B), como así también cultivo de trigo en la Estancia La Esterlina (B15).

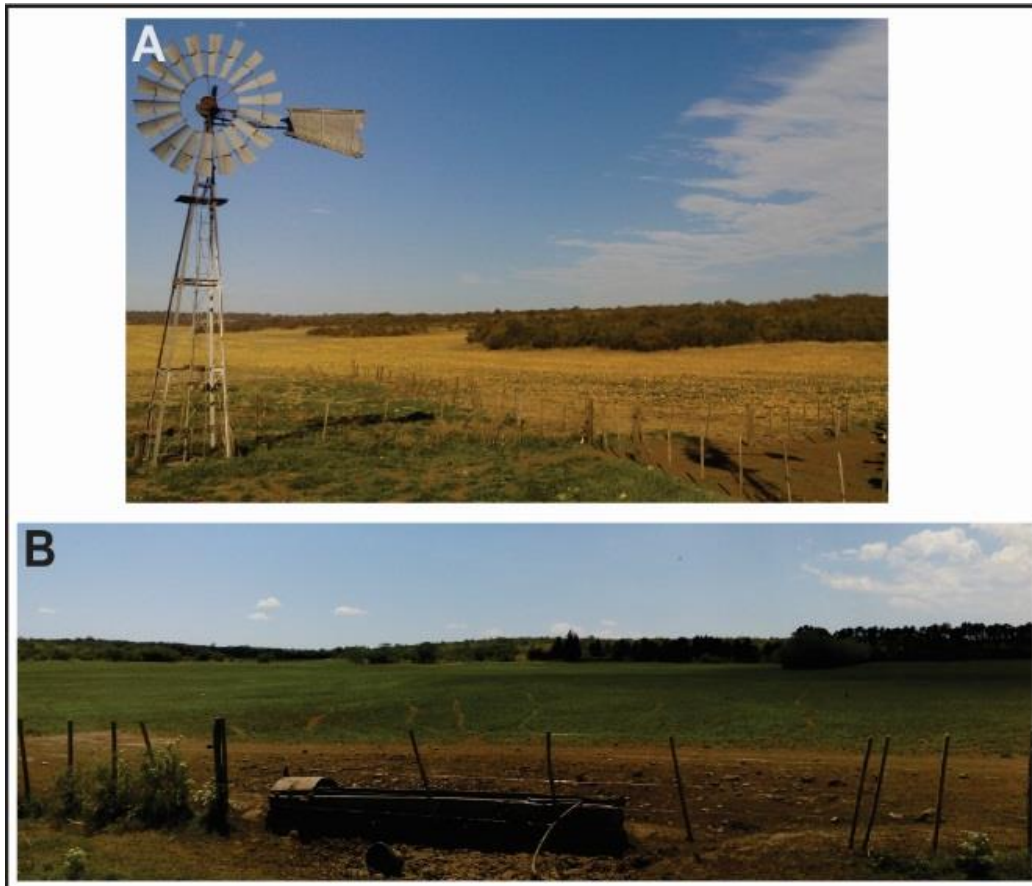


Figura N° 5.8: A- Cultivo de maíz (punto de muestreo B16). B- Alfalfa (punto de muestreo B22).

En algunos sitios de muestreo visitados como B12, B19 y B20, se encontraron contenedores vacíos de fertilizantes y herbicidas (Fig. N° 5.9, 5.10 y 5.11), algunos cercanos a las captaciones, que son descriptos en la Tabla N° 5.1.

En lotes cultivados que rodean al establecimiento de B13, se utiliza urea (fertilizante orgánico) para el maíz y en menor proporción fósforo (P), potasio (K) y nitrógeno (N) en la forma de NPK.

Tabla N° 5.1: Herbicidas y fertilizantes utilizados en establecimientos comprendidos en el ámbito pedemontano y llanura proximal.

Acción	Principio activo	Producto	Empresa	Fórmula
Herbicidas	Glifosato	Potenza full xtra	ASP S.A	sal potásica de glifosato (equivalente: ácido N-fosfonometil glicina= C ₃ H ₈ NO ₅ P)
		Sulfosato Touchdown	Syngenta	sal potásica del ácido-[N-(fosfonometil) glicina]
		La Tijereta BOX	La tijereta	Acido N-(fosfonometil) glicina
	Atrazina	Trac 50 FC	Atanor S.C.A	2-cloro-4-etilamino-6-isopropilamino-triazina (C ₈ H ₁₄ ClN ₅)
		Atrazina 90 WG	La Tijereta	2,cloro-4-(etilamino)-6-(isopropilamino)s-triazina
	Quizalofop p-etil	Sheriff max	DuPont Agro	etil (R)-2-[4-[(6-cloro-2-quinoxalilil)oxy] fenoxi] propionato
S- metalocloro	Dual Gold	Syngenta	(S)-2-cloro-N-(2-etil-6-metil-fenil)-N-(2-metoxi-1-metil-etil)-acetamida	
Fertilizantes	Urea	-	-	Nitrógeno (N)= 46%, Fósforo 0% como P ₂ O ₅ , Potasio 0% como K ₂ O
	NPK	-	-	N= 22%; P ₂ O ₅ = 10%; K ₂ O= 6%; B= 0,03%; Mg= 0,05%; Mo= 0,002%; Zn= 0,07%; Contiene trazas de : Cu, Mg, Fe y Co.



Figura N° 5.9: Herbicidas utilizados en punto de muestreo B19.



Figura N° 5.10: Herbicidas al lado de captación en sitio de muestreo B19.



A y B: fotografías tomadas en punto de muestreo B12.
C: fotografías (herbicidas) tomadas en establecimiento correspondiente a punto de muestreo B20.

Figura N° 5.11: Distintos herbicidas desechados en los sitios B12 y B20.

Además de los fertilizantes y herbicidas utilizados en diferentes sitios visitados, en el punto de muestreo B19 se encontraron contenedores vacíos de *Carminativo NF Brouwer*, el cual es un preventivo anti-espumoso para bovinos, que contiene cada 100 ml: 10 gr de macrogol lauril éter (polímero) y excipientes varios (100 mL).

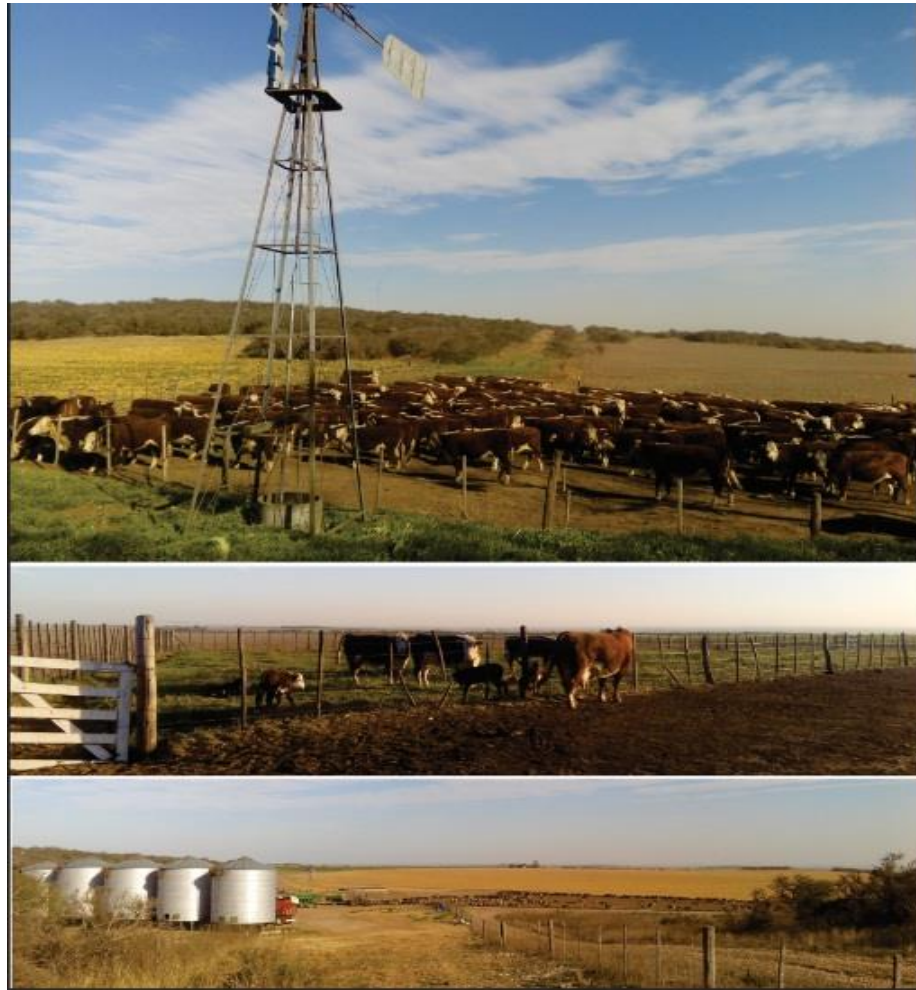


Figura N° 5.12: Actividad ganadera desarrollada en diferentes sectores de estancia La Esterlina.

La actividad ganadera que se desarrolla en esta unidad se encuentra subordinada a la agricultura (Fig. N° 5.12). La cría de ganado genera desechos como purines y excrementos sólido/líquidos que mezclados con aguas residuales pueden aportar al suelo y al acuífero compuestos químicos derivados de esos desechos, con adición de posibles productos que son aplicados durante la crianza (Matteoda, 2012) generando un foco de contaminación continuo si prevalece la actividad. Los más comunes suelen ser

suplementos como el sulfato de Zinc ($ZnSO_4$) y otros conocidos como Adaptador® Min (Mn y Zn), Suplenut® (Zn), etc.

En el sitio de muestreo B10, en el sur de la zona de estudio, hay presencia de corrales con ganado ovino y algunos equinos dispersos. Hacia el ámbito oriental, predomina la producción bovina y equina subordinada; además se encuentran establecimientos de producción porcina y bovina rodeando a la captación, tal es el caso del punto de muestreo B13 (Fig. N° 5.13), que puede constituirse en fuente de contaminantes para el acuífero, derivados de los desechos orgánicos de los animales de cría que se incorporan al suelo y agua.

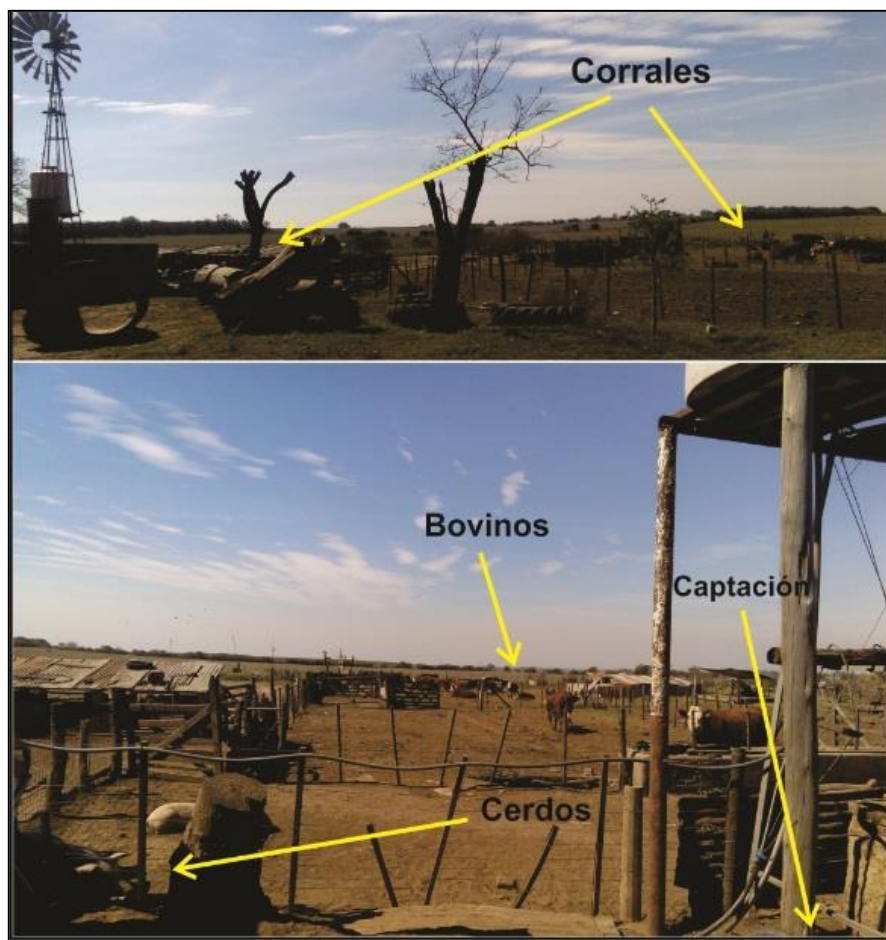


Figura N° 5.13: Corrales de cerdos y ganado vacuno rodeando la perforación (punto de muestreo B13).

En el pedemonte nororiental, hay corrales con bovinos rodeando la captación (punto de muestreo B20); por otro lado, hacia el sector noroccidental (punto de muestreo B22) hay presencia de bovinos pero dispersos y lejos de la captación.

Capilla del Tegüa

La capilla Nuestra Señora del Rosario del Tegua fue construida en 1696 por el alférez Miguel Fernández Montiel cumpliendo la última voluntad de su padre, devoto de la Virgen del Rosario, y fue sede de uno de los curatos más al sur de la provincia de Córdoba. En 1798 fue remodelada y en 1976 fue declarada "Patrimonio Histórico Nacional" (decreto N°1256/76). La capilla se ubica en el paraje Tegua (Fig. N° 5.14), Departamento de Río Cuarto, próxima a Ruta Nacional N° 36 entre las localidades de Elena y Alcira Gigena, encontrándose al norte de la ciudad cabecera (Río Cuarto).

En 2014 no se encontraba en buen estado de conservación, lo que motivó la preocupación pública reclamando atender este problema (Ceccarello, Ana Regina, en sitio web: todopatrimonio.com; Busilli, Graciela en Guía Cultural, enlace web: guiacultural.com).



Figura N° 5.14: Capilla del Tegua. Fotografía: G. Matteoda.

En abril de 2018 y luego de varios años de trabajo de restauración, se reinauguró y abrió al público. El proyecto inicial de esta restauración fue realizado por la Secretaria de Arquitectura de la provincia y ejecutado por la Agencia Córdoba Turismo, siguiendo

lineamientos y sugerencias profesionales de los organismos competentes en conservación y restauración de patrimonio. Todo el proceso fue acompañado con las aprobaciones y sugerencias de la Comisión de Monumentos Históricos Nacionales. Las tareas financiadas por el Gobierno de Córdoba para la recuperación y puesta en valor del lugar supusieron una inversión de 4.392.651 pesos (Córdoba Turismo, web: www.cordobaturismo.gov.ar).

Cementerio del "Tegua"

Frente a la Capilla del Tegua, se encuentra un cementerio dentro de las inmediaciones del ejido de la construcción histórica, donde alberga los nichos de diferentes ancestros, con las imágenes del Corazón de Jesús y San José. Este cementerio forma parte de la construcción arquitectónica histórica nacional.

HIDROMETEOROLOGÍA

6.1 Aspectos Climáticos Regionales

La provincia de Córdoba, debido a su altitud, se encuentra situada íntegramente dentro de la zona de climas templados de Argentina, con caracteres específicos de una provincia mediterránea. El clima está regido por cuatro centros de acción, permanentes o semipermanentes, dos de alta presión, el anticiclón del Atlántico y el del Pacífico, y dos de baja presión, los ciclones de las depresiones del Noroeste y las extremidades Sur del país (Capitanelli, 1979).

En función de variantes de relieve, procedencia de masas de aire y procesos meteorológicos es posible distinguir variaciones en las condiciones climáticas. En general, el Sur provincial se caracteriza por una gran uniformidad térmica y una concentración estival de las precipitaciones. El **régimen térmico** se caracteriza por un invierno riguroso y un verano medianamente cálido, registrándose heladas importantes desde mayo hasta septiembre

(Capitanelli, 1979).

En relación a las temperaturas, para el Sur de la provincia de Córdoba (sector de llanura) la temperatura media anual (Fig. N° 6.1) es de 17°C, con máximas de 25°C y mínimas de 10°C; en el sector serrano las temperaturas medias son de

16°C, con máximas de 20°C y mínimas de 9°C que decrecen hacia el nivel de las

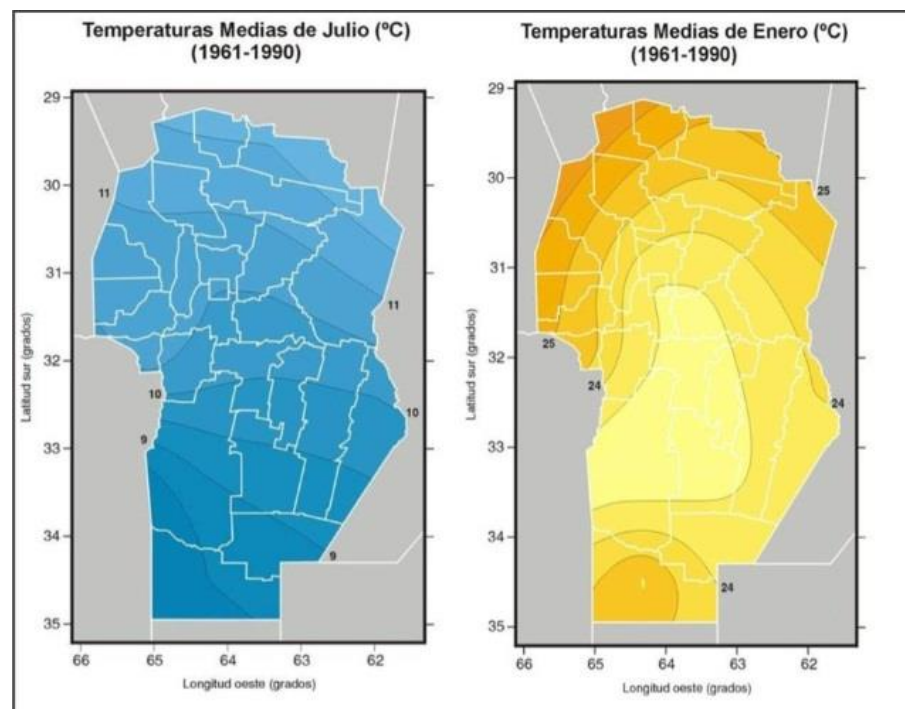


Figura N° 6.1: Temperaturas medias anuales para los meses de Julio y Enero. Extraído de "El clima de la provincia de Córdoba" (Fuente: Dr. Andrés Ravelo).

altiplanicies a 10°C, con 14°C y 5°C respectivamente. En todo el Sur de la provincia de Córdoba, el verano térmico (temperatura media de más de 20 °C en verano) se extiende entre los meses de Octubre- Noviembre y Marzo- Abril, mientras que el invierno térmico (temperatura media inferior a 10°C en invierno) lo hace entre Junio y mediados de Agosto (Capitanelli, 1979). A continuación, en la figura N° 6.2 se muestran los valores de precipitaciones medias anuales para una serie de años entre 1961-2000.

Las **precipitaciones** de la provincia de Córdoba provienen principalmente del anticiclón del Atlántico, correspondiendo el 70% de la precipitación media anual de la provincia a los procesos frontales, es decir con la intervención de más de una masa de aire (Capitanelli, 1979). El proceso frontal que más agua produce es el de frente caliente y le sigue el de frente frío; los procesos afectados por el relieve producen los porcentajes más bajos. Como valor promedio para la región, este mismo autor establece que del total de lluvia anual, el 82% se concentra en primavera- verano, mientras que en otoño- invierno sólo precipita el 18% restante.

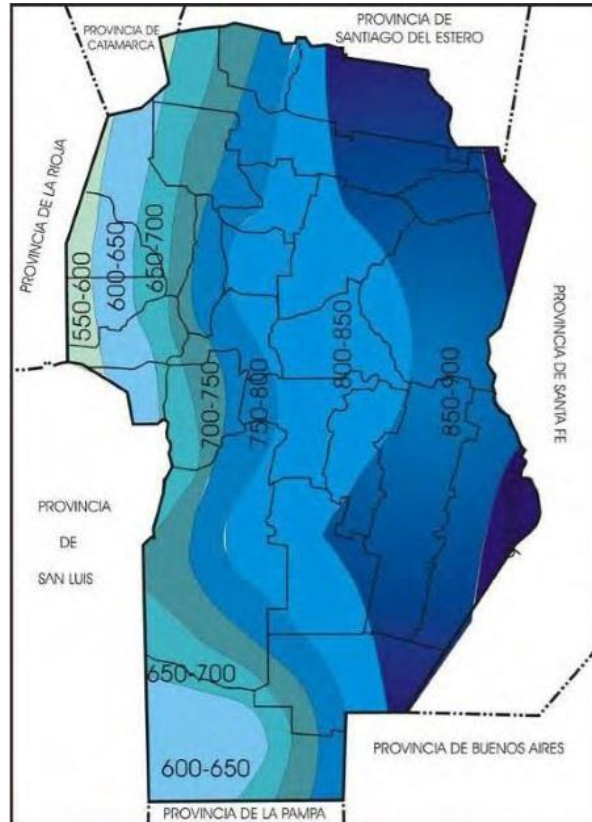


Figura N° 6.2: Precipitación media anual (mm). Serie: 1961- 1990. Provincia de Córdoba. Fuente: Gorgas et al. (2003).

Los resultados presentados por Cantú (1998), Fili et al. (2000) y Blarasin (2003)

muestran un notorio incremento en las precipitaciones en la segunda mitad del siglo pasado en relación al período anterior, fundamentalmente en los últimos 25 años.

La **evapotranspiración potencial** (ETP) media anual para toda la llanura y el piedemonte del Sur provincial es del orden de 820 mm, con excepción del sector sudoeste en donde las necesidades de agua superan los 850 mm (Capitanelli, 1979). En las sierras, los valores obtenidos en función de las temperaturas registradas y de la variabilidad de factores geomorfológicos, de altitud y exposición, varía entre 688 y 794 mm, observándose una disminución hacia las cumbres y altiplanicies. En la figura N° 6.3 se

observan los valores obtenidos de Evapotranspiración potencial (ETP) y Evapotranspiración real (ETR) de la provincia de Córdoba para la serie 1961- 1990.

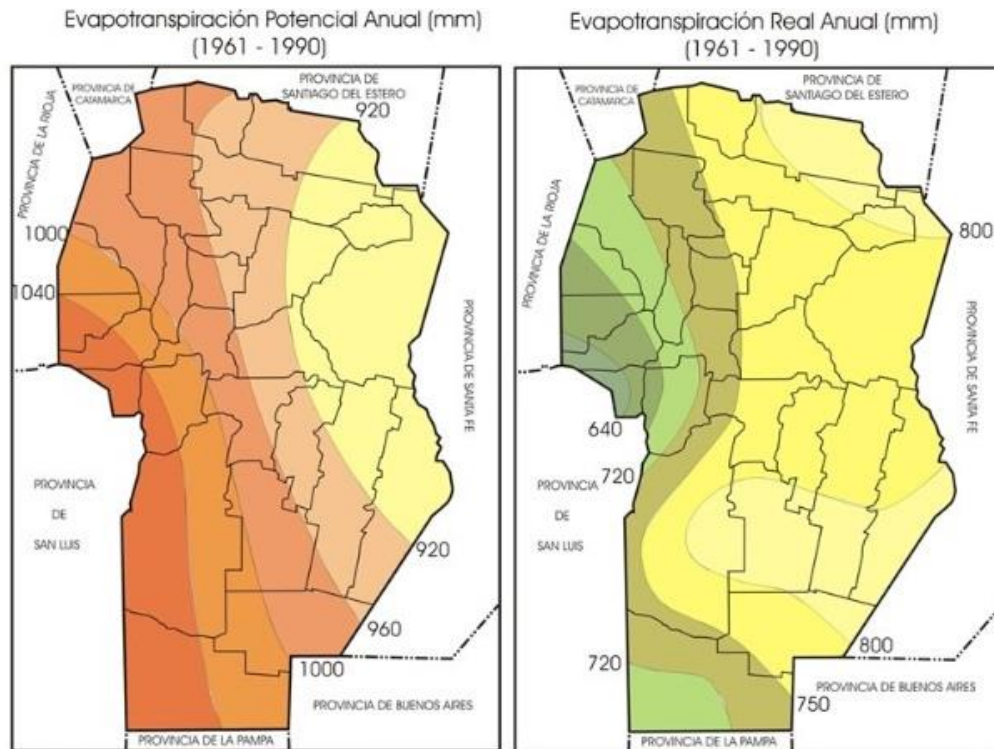


Figura N° 6.3: Valores obtenidos de Evapotranspiración Potencial y Real anual para la provincia de Córdoba. Fuente: Gorgas et al. 2003.

En la región se observa que más del 80% de los días son ventosos con una concentración máxima a finales de invierno- primavera. Predominan los vientos provenientes de los cuadrantes N/NE-S/SE con velocidades medias que, en la mayoría de los meses, superan los 10 km/h, pudiendo producirse ráfagas en temporales de más de 100 km/h (Capitanelli, 1979).

6.2 Aspectos Climáticos Locales

6.2.1 Recopilación de datos hidrometeorológicos

Los datos de precipitaciones que se utilizaron para la realización de los cálculos hidrometeorológicos fueron proporcionados por diferentes entidades: a- Serie Elena (1975- 2017) aportada por la Cooperativa agrícola- ganadera de dicha localidad; b- Serie Las Peñas Sur (1990- 2015), provista por Hortal Bianchi y CIA. S.A; c- Serie Don Vincenzo (1998- 2016) facilitada por el Sr. Emiliano Schifani, ruralista y propietario de ese establecimiento ubicado en el ámbito pedemontano oriental de la Sierra de las Peñas; d-

Serie La Morocha (2004- 2014) proporcionada por el Sr. Javier Schifani; y e- Serie Gigena (1988- 2017) facilitada por el Sr. Víctor Fogliatti (Fig. N° 6.4).



Figura N° 6.4: Ubicación geográfica de las series pluviométricas utilizadas para el respectivo análisis de precipitaciones.

Los datos de temperaturas que se utilizaron para este análisis, debido a su confiabilidad y uniformidad del parámetro para el Sur de la provincia de Córdoba, corresponden a los provistos por la Universidad Nacional de Río Cuarto ya que no se obtuvieron registros propios del área de estudio ni de zonas aledañas.

6.2.2 Cálculo de precipitación media por el método de la media aritmética.

A continuación, se presenta la Tabla N° 6.1 con los promedios de las precipitaciones anuales para cada serie analizada. Posteriormente en el apartado 6.2.4 se harán los análisis de precipitaciones para cada serie involucrada, mostrando los gráficos con la distribución anual de los valores de precipitaciones que comprenden estos períodos.

Tabla N° 6.1: Comparación de promedios de precipitaciones anuales para las series consideradas.

Serie analizada	Período comprendido	Longitud de la serie analizada (años)	Precipitación media anual (mm)
Elena	1975 - 2017	43	801,5
Don Vincenzo	1998 - 2016	19	763,5
Las Peñas Sur	1990- 2015	26	757,5
La Morocha	2004- 2014	11	767,6
Gigena	1988- 2017	30	784,6
Media aritmética para todas las series= 774,9 mm.			

6.2.3 Cálculo de precipitación media para el área de estudio mediante el método de los polígonos de Thiessen

Para establecer las áreas de los polígonos, se tuvieron en cuenta las series Gigena, Elena y Las Peñas Sur (Fig. N° 6.5) debido a sus extensiones temporales, para un período comprendido entre 2004- 2014. Se presenta la tabla N° 6.2 con los valores obtenidos.

Tabla N° 6.2: Áreas y precipitaciones ponderadas. (Michelli, 2019).

Estacion	% sup	Sup Km²	P media anual	Precip ponderada = Sup (Km²) x PMA (mm)
Elena	73,5	109,9	834,9	91736,9
Las Peñas	15,0	22,5	757,4	17010,7
Gigena	11,4	17,1	784,6	13393,8
Área total	149,4	Media ponderada= (S precip ponder/area total)		817,5
Media aritmética para las 3 estaciones= 792,3 mm				

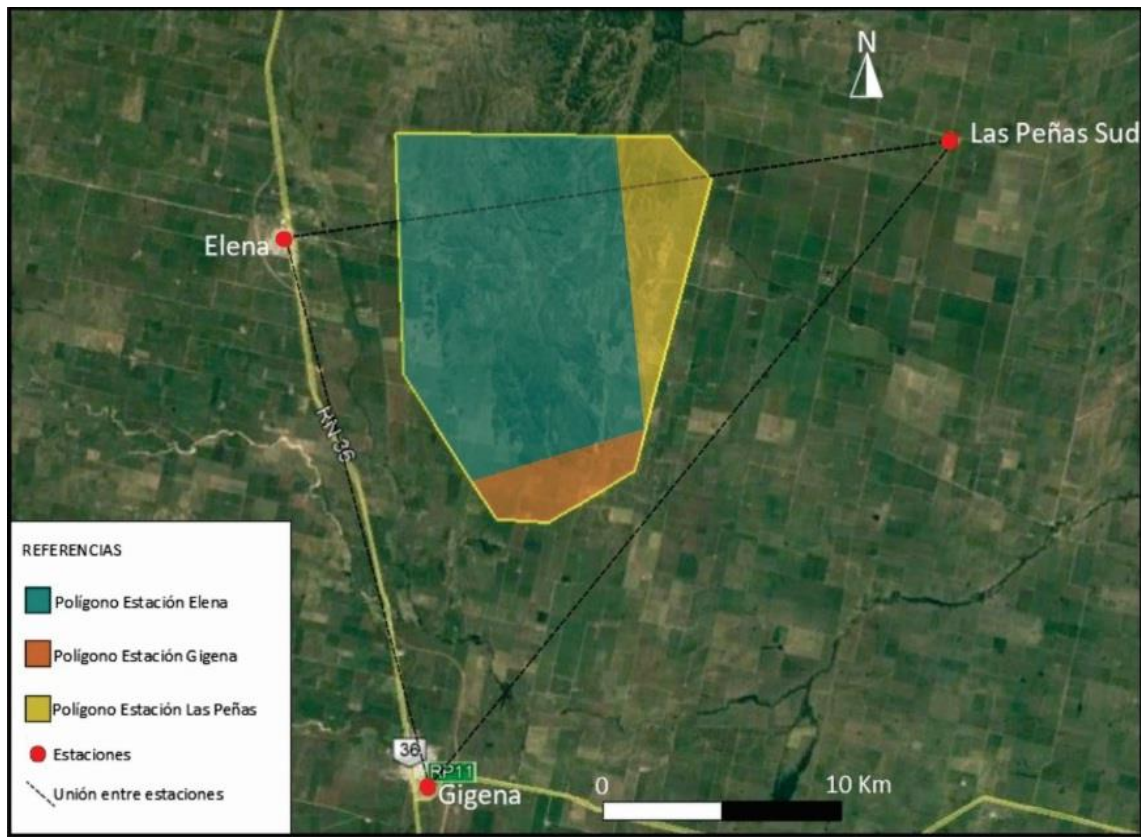


Figura N° 6.5: Polígonos de Thiessen (Michelli, 2019).

Mediante el cálculo de los Polígonos de Thiessen se aprecia que, si bien todas las estaciones aportan precipitaciones a la zona de estudio, la de mayor influencia es la perteneciente a la Estación Elena debido a su proximidad geográfica y mayor superficie.

El valor ponderado por el área mediante el uso de polígonos para las 3 estaciones seleccionadas y para la longitud de años elegida es de **817,5 mm** mientras que la media aritmética dio **792,3 mm**. La diferencia entre los valores es de 25,2 mm, aspecto condicionado fundamentalmente por la cercanía de la serie Elena, como evidencian los polígonos y posiblemente haya una influencia de la sierra, aunque las diferencias de altura no son tan grandes, aspecto que podría dilucidarse con series de lluvias medidas dentro del mismo sistema montañoso.

6.2.4 Análisis de precipitaciones

6.2.4. a- Análisis de precipitaciones: serie Elena (1975- 2017)

La precipitación media anual (PMA) para este período es de 801,5 mm, pudiéndose observar en la curva de distribución una alternancia entre ciclos húmedos y secos; en la media móvil calculada que se usa para 4 años, se ve una tendencia al incremento de las

precipitaciones a lo largo de toda la serie. En general, la gráfica muestra tres períodos (Fig. N° 6.6): uno más seco desde 1975-1990 con promedio anual de 729,7 mm, con un valor mínimo de precipitaciones para toda la serie de 482 mm en el año 1982. Un período más húmedo que comienza en 1991 con una concentración de lluvias a partir de ese año, siendo notorio el aumento en las precipitaciones hasta 2001, donde 1992 es el año más húmedo, con un valor máximo para toda la serie de 1.175 mm; el promedio anual de precipitaciones para este período es de 897,7 mm. El tercer período registra un descenso en las precipitaciones respecto al anterior pero con tendencia hacia un aumento paulatino, que va desde 2002 a 2017 con un promedio de 807,1 mm.

Entre los años más secos se reconocen: 1980, 1982, 1989 y 2003 con 494 mm, 482 mm, 547 mm y 578 mm respectivamente. Entre los años más húmedos, se destacan: 1991, 1992, 1999 y 2015 con 1080 mm, 1.175 mm, 1.094 mm y 1.057 mm respectivamente.

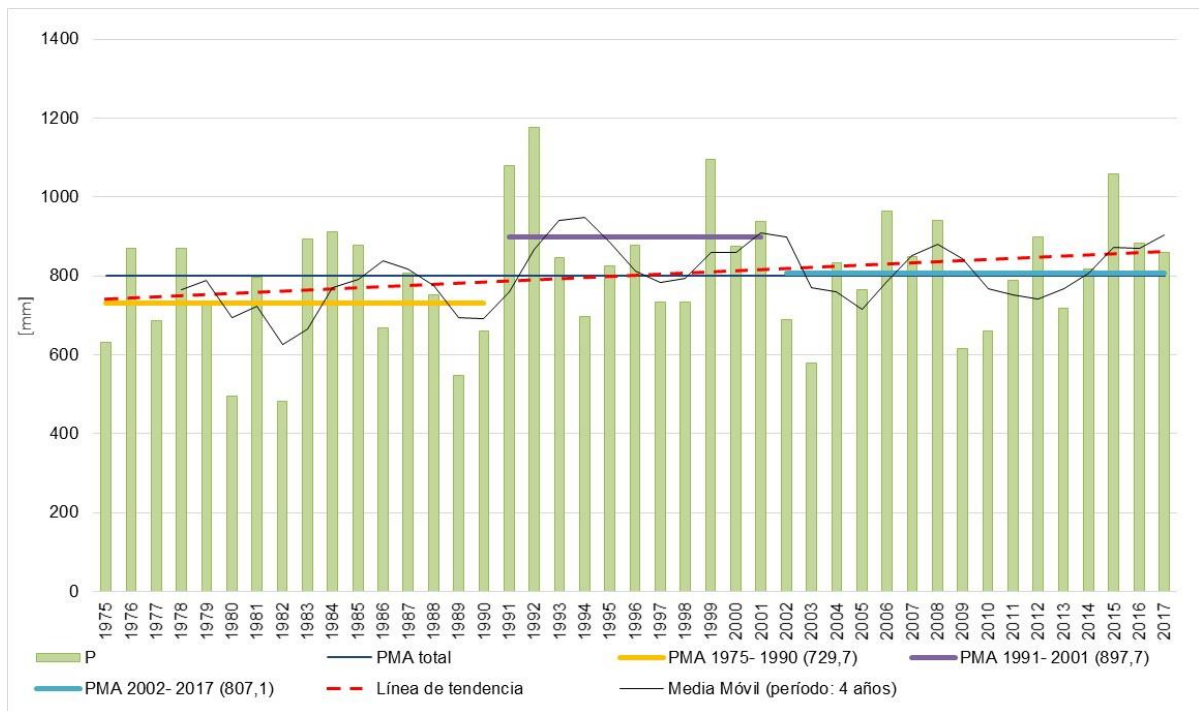


Figura N° 6.6: Precipitaciones medias anuales para la Serie Elena (1975-2017).

En relación a la distribución de las precipitaciones medias mensuales para la serie analizada, se observa una mayor concentración de las lluvias en los meses de Primavera-Verano (desde Noviembre a Marzo, en un 75,6 %) con precipitaciones que superan los 100 mm (Figura N° 6.7), siendo Diciembre el mes más húmedo con 137,1 mm; el 24,4 %

restante se distribuye en los meses correspondientes a las estaciones de Otoño- Invierno, siendo Junio el más seco (9,6 mm).

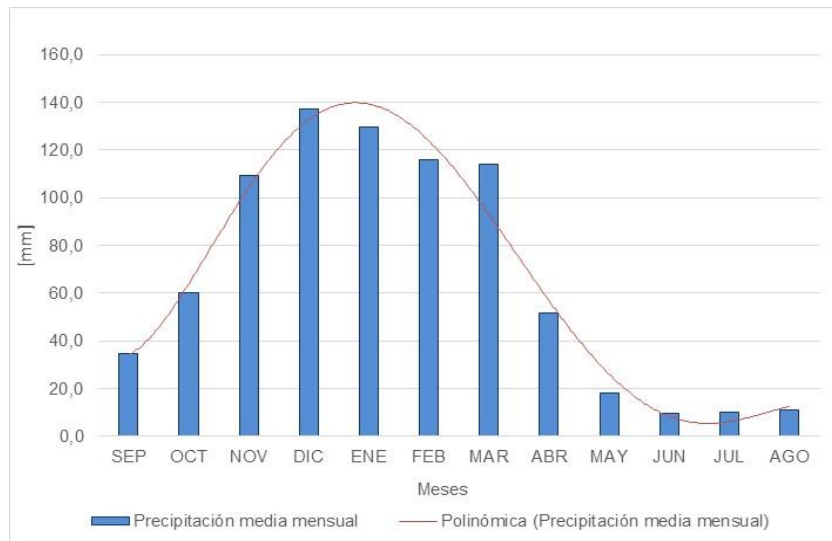


Figura N° 6.7: Curva de distribución media mensual de precipitaciones para la Serie Elena (1975-2017).

6.2.4. b- Análisis de Precipitaciones: Serie Don Vincenzo (1998- 2016)

El valor de precipitaciones medias anuales (PMA) para esta serie es de 763,5 mm. La serie Don Vincenzo también muestra tres períodos (Fig. N° 6.8): uno con una leve tendencia positiva (más húmedo) desde 1998- 2008, con un promedio de precipitaciones de 780,6 mm. Otro más seco desde 2009 hasta 2013, donde es notable la disminución de las lluvias, con un valor promedio de precipitaciones anuales de 631,6 mm. El tercer período abarca desde 2014 a 2016 en el que ocurre un incremento en las precipitaciones dando como resultado un valor promedio de 920,3 mm, ampliamente por encima de la PMA.

Entre los años más secos dentro de la serie, 2003 y 2010 fueron los de menores precipitaciones con valores de 555 mm (el más bajo) y 590 mm respectivamente; entre los años más húmedos se destacan 1999 y 2015 con valores de 1035 y 1048 respectivamente, siendo este último el de mayor concentración de lluvias.

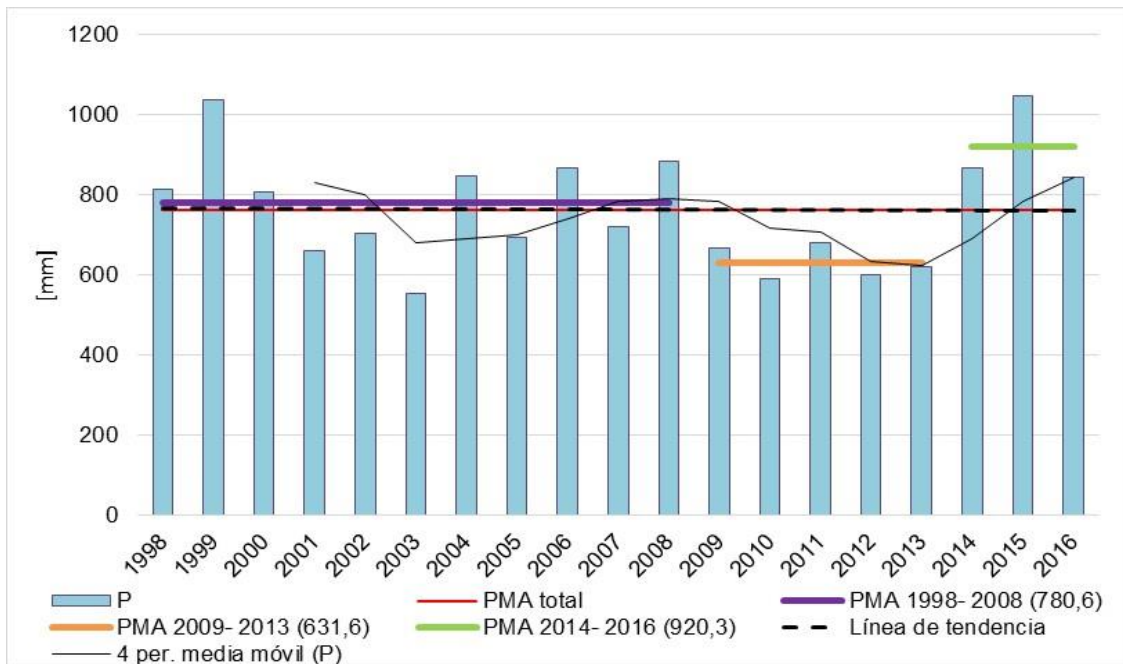


Figura N° 6.8: Precipitaciones medias anuales para la Serie Don Vicente (1998-2016).

En cuanto a la distribución de las precipitaciones medias mensuales, se observa una mayor ocurrencia de las lluvias en los meses desde Noviembre hasta Abril con valores que superan los 100 mm, mostrando un máximo en el mes de Diciembre de 120 mm. En los meses restantes, se muestra un decrecimiento notable en las precipitaciones. Es decir, aproximadamente el 84,2 % de las lluvias se concentran en los meses de Primavera- Verano y primer período de Otoño, y 15,8 % restante lo hace en los meses restantes de Otoño y en Invierno (Figura N° 6.9).

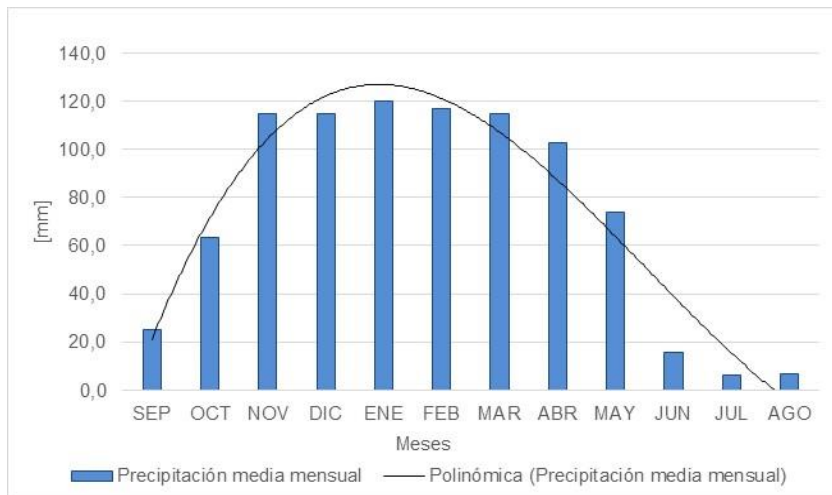


Figura N° 6.9: Curva de distribución media mensual de precipitaciones para la Serie Don Vicente (1998-2016).

6.2.4. c- Análisis de Precipitaciones: Serie Las Peñas Sur (1990- 2015)

Para esta serie pluviométrica, se obtuvo como resultado una precipitación media anual (PMA) de 757,5 mm. Se destacan dos períodos: uno más seco que va desde 1990- 1998, en donde las precipitaciones se concentran con menor grado de humedad, con promedio de lluvias anuales de 725,4 mm. El segundo período abarca desde 1999 hasta 2015, con una precipitación media anual de 774,4 mm, evidenciando un aumento paulatino en las concentraciones de lluvias (Fig. N° 6.10).

Se destaca a 1994 como el año más seco de la serie con 593 mm, y a 1999 como el año más lluvioso con 1067 mm.

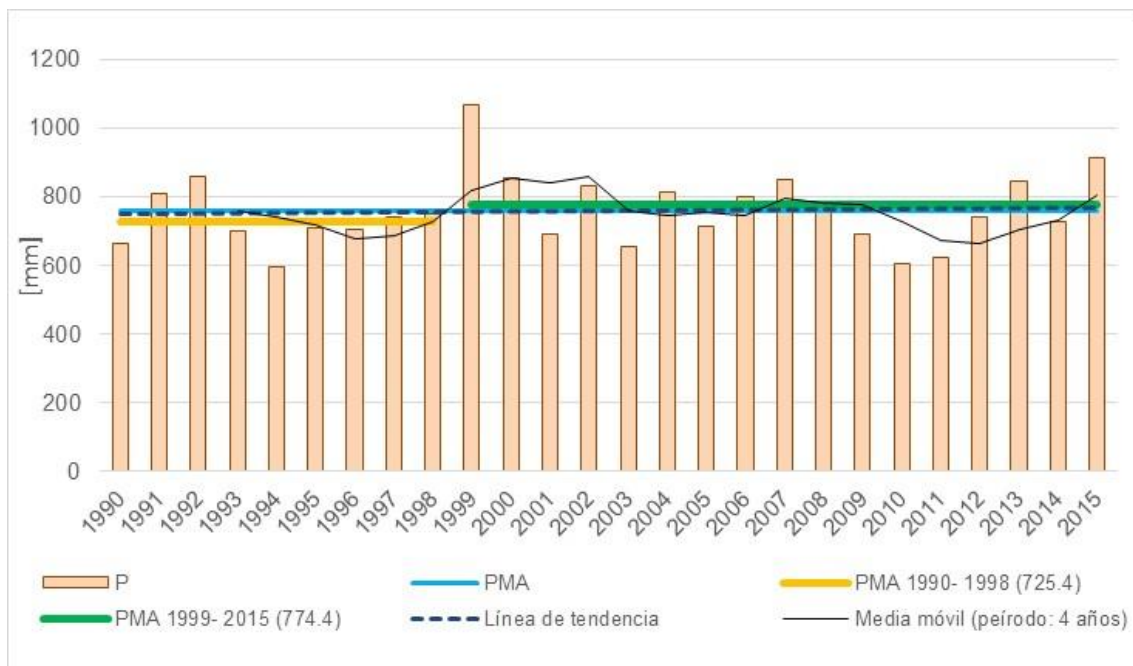


Figura N° 6.10: Precipitaciones medias anuales para la Serie Las Peñas Sur (1990-2015).

En concordancia a la distribución de precipitaciones medias mensuales, en el gráfico se observa cómo la curva de distribución toma un estilo gaussiano concentrando los mayores valores en los meses de Noviembre hasta Marzo principalmente, con Enero como el mes de mayor precipitación (136,5 mm). Entonces, el 76,3 % de las precipitaciones se concentraron en los meses de Primavera- Verano, mientras que el 23,7% restante en los meses de Otoño e Invierno (Figura N° 6.11).

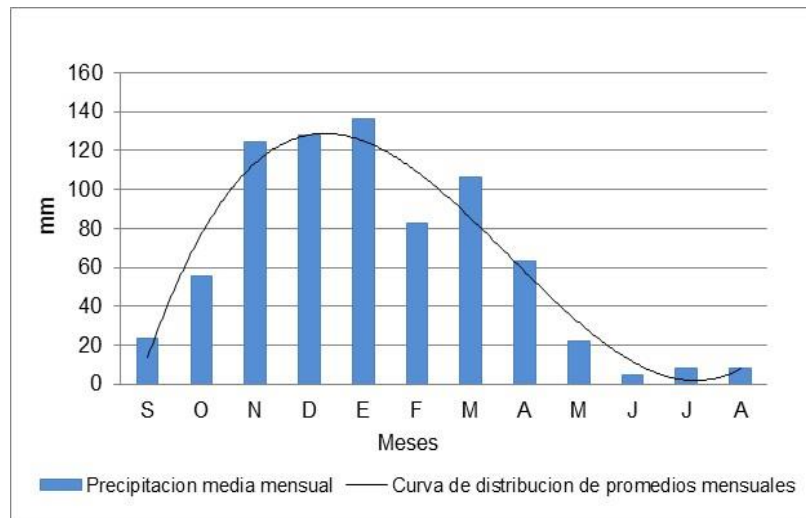


Figura N° 6.11: Curva de distribución media mensual de precipitaciones para la Serie Las Peñas Sur (1990-2015).

6.2.4. d- Análisis de Precipitaciones: Serie La Morocha (2004- 2014)

Esta serie se encuentra a unos 12 km del área de estudio en la llanura oriental; presenta un valor de precipitación media anual (PMA) de 767,6 mm. En general, es un registro corto que evidencia una tendencia hacia una menor concentración de humedad a medida que avanzan los años dentro de la serie pluviométrica (Figura N° 6.12).

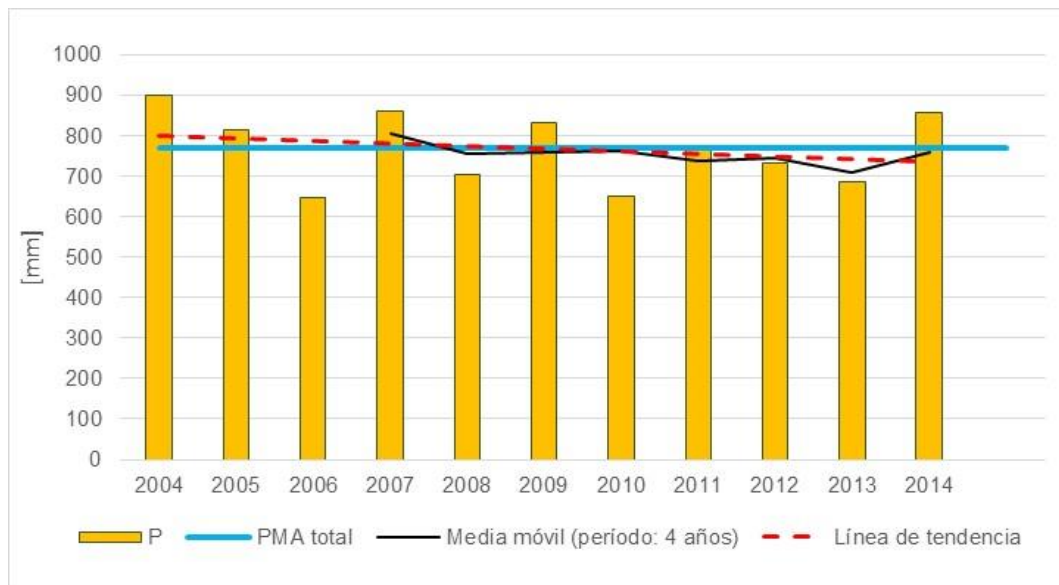


Figura N° 6.12: Precipitaciones medias anuales para la Serie La Morocha (2004-2014).

En la figura N° 6.13 se observa la variación de las precipitaciones promedios a lo largo de los meses del año, afirmando una acumulación de las lluvias que superan los 100 mm desde Noviembre hasta Marzo, correspondiendo con los meses de Primavera – Verano y

siendo equivalentes al 85,7 % de las precipitaciones medias mensuales de toda la serie. El 14,3 % restante se acumuló en los meses de Otoño- Invierno. El mes de mayor precipitación fue Febrero con un valor promedio de 136 mm.

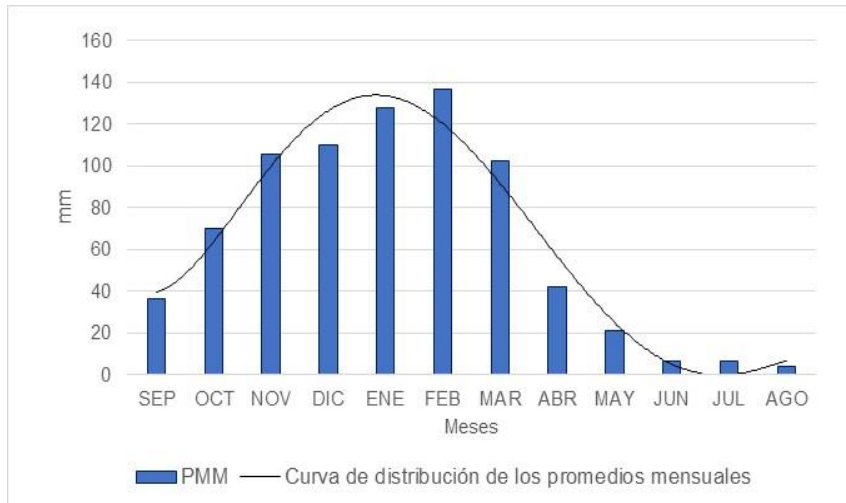


Figura N° 6.13: Curva de distribución media mensual de precipitaciones para la Serie La Morocha (2004-2014).

6.2.4. e- Análisis de Precipitaciones: Serie Gigena (1988- 2017)

Esta serie pertenece a la localidad de Alcira Gigena, ubicada a unos 11 km al suroeste del área de estudio. Presenta un valor de precipitación media anual (PMA) de 784,6 mm y en ella se destacan tres períodos (Fig. N° 6.14): el primero muestra una menor concentración de las precipitaciones desde 1988 hasta 1994, resultando éste último el año más seco con un valor de 533 mm y 1991 el año de mayor humedad (1.015 mm) para todo el registro; este ciclo posee una media de 777,8 mm. El segundo período evidencia un aumento en las lluvias desde 1995 hasta 2008, con un promedio de 819,2 mm. El tercer período marca un descenso paulatino en las precipitaciones de la serie, con un valor promedio de 736,1 mm.

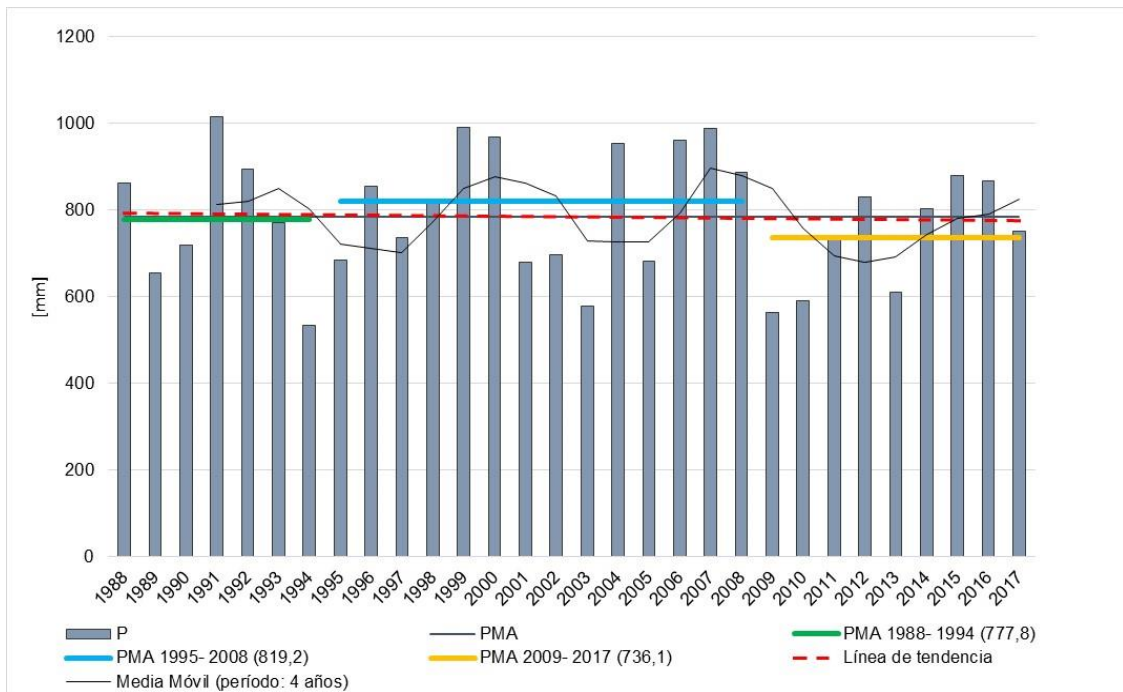


Figura N° 6.14: Precipitaciones medias anuales para la Serie Gigena (1988- 2017).

En relación a las precipitaciones medias mensuales, se observa que las mayores concentraciones se dan desde Noviembre hasta Marzo con valores que superan los 100 mm, siendo Diciembre el mes más húmedo con 127,2 mm. Por lo tanto, el 73,4% de las precipitaciones medias mensuales se concentran en los meses de Primavera- Verano, mientras que el 26,6% restante se distribuye en los meses de Otoño- Invierno y primer período primaveral (Septiembre- Octubre) (Fig. N° 6.15).

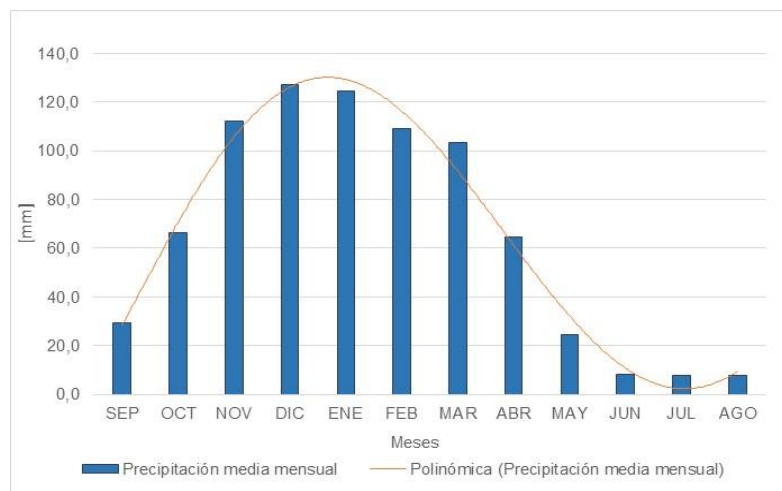


Figura N° 6.15: Curva de distribución media mensual de precipitaciones para la Serie Gigena (1988- 2017).

6.2.5 Balance Hídrico Modular

En función de los resultados obtenidos anteriormente, y considerando la fuerte influencia areal de la serie Elena, los cálculos de los Balances Hídricos Modulares se realizaron a partir de las Series Elena (1975- 2017), por lo ya indicado, y Las Peñas Sur (1990- 2015), como representativas del pedemonte. Ambas, son las más completas en relación a cantidad de años registrados, confiables y representativas de la zona de estudio.

En primer lugar, se procedió al cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP) para cada una de ellas, de acuerdo al método propuesto por Thornthwaite y Mather (1955) mediante el uso de una planilla Excel de la Universidad de Salamanca, España (<http://hidrologia.usal.es/>). Los datos de temperaturas utilizados fueron los registrados por la estación meteorológica de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Se obtuvo el valor de evapotranspiración potencial media mensual tanto para la Serie Elena como para la Serie Las Peñas Sur, y se realizó el balance modular correspondiente. Se dispuso como variables de entrada del área de estudio los valores de precipitaciones medias mensuales de las series pluviométricas analizadas y la evapotranspiración potencial media mensual calculada previamente para cada una.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para ambas series en la Tabla N° 6.3 y N° 6.4 respectivamente:

Tabla N° 6.3: A- cálculo de la Evapotranspiración potencial. B- cálculo del Balance hídrico Modular para la Serie Elena (1975-2017); basado en Thornthwaite y Mather (1955).

A	Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
	T°C	23	22	20	16,5	13	10	9	11,5	13,5	17	19,5	22	197
	icm	10,08	9,42	8,16	6,10	4,25	2,86	2,43	3,53	4,50	6,38	7,85	9,42	74,97
	ETP sin corr	106,0	98,4	83,8	60,5	40,5	26,0	21,8	32,9	43,2	63,7	80,2	98,4	
	n°días mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
	n° horas luz	9,7	10,6	12	13,3	14,4	15	14,7	13,7	12,5	11,2	10	9,4	
	ETP corr.	136	96	92	56	36	22	19	29	42	77	97	125	827

B	Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
	P	129,4	115,9	114,3	51,7	18,1	9,6	10,2	11	34,9	60,1	109,2	137,1	801,5
	ETP corr.	136	96	92	56	36	22	19	29	42	77	97	125	827
	Déficit	0	0	0	0	0	0	0	1,5	7,1	16,9	0	0	25,5
	Reserva	17,7	37,6	59,9	55,6	37,7	25,3	16,5	0	0	0	12,2	24,3	
	Excedentes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ETR	136	96	92	56	36	22	19	27,5	34,9	60,1	97	125	801,5

ETR + Exc : 801,5

P = 801,5

ETP - Déf = 801,5

ETR = 801,5

100 x excesos de agua - 60 x deficiencia de agua

$$\text{Índice hídrico} = \frac{100 \times \text{excesos de agua} - 60 \times \text{deficiencia de agua}}{\text{Necesidad de agua}} = -1,85$$

Necesidad de agua = ETP = 827

Deficiencia de agua = ETP - ETR = 827 - 801,5 = 25,5

Excesos de agua = P - ETR = 801,5 - 801,5 = 0

Tabla N° 6.4: A- cálculo de la Evapotranspiración potencial. B- cálculo del Balance hídrico Modular para la Serie Las Peñas Sur (1990-2015); basado en Thornthwaite y Mather (1955).

A	Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
	T°C	23	22	20	16,5	13	10	9	11,5	13,5	17	19,5	22	197
	icm	10,08	9,42	8,16	6,10	4,25	2,86	2,43	3,53	4,50	6,38	7,85	9,42	74,97
	ETP sin corr	106,0	98,4	83,8	60,5	40,5	26,0	21,8	32,9	43,2	63,7	80,2	98,4	
	nºdías mes	31	28,25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
	nº horas luz	9,7	10,6	12	13,3	14,4	15	14,7	13,7	12,5	11,2	10	9,4	
	ETP corr.	136,0	96,0	92,0	56,0	36,0	22,0	19,0	29,0	42,0	77,0	97,0	125,0	827,0

B	Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
	P	122,5	95,9	103,6	62,3	19,7	5,1	6,2	7,3	27,2	61,2	121,1	125,5	757,6
	ETP corr.	136	96	92	56	36	22	19	29	94,95	77	97	125	827
	Déficit	0	0	0	0	0	4,3	12,8	21,7	14,8	15,8	0	0	69,4
	Reserva	11,1	11	22,6	28,9	12,6	0	0	0	0	0	24,1	24,6	0
	Excedentes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ETR	136	96	92	56	36	17,7	6,2	7,3	27,2	61,2	97	125	757,6

$$ETR + Exc = 757,6$$

$$P = 757,6$$

$$ETP - Déf = 757,6$$

$$ETR = 757,6$$

$$\text{Índice hídrico} = \frac{100 \times \text{excesos de agua} - 60 \times \text{deficiencia de agua}}{\text{Necesidad de agua}} = -5,04$$

$$\text{Necesidad de agua} = ETP = 827$$

$$\text{Deficiencia de agua} = ETP - ETR = 827 - 801,5 = 69,4$$

$$\text{Excesos de agua} = P - ETR = 801,5 - 801,5 = 0$$

A partir de los cálculos realizados para ambas series, se conocen los valores de Evapotranspiración Real media mensual para cada una, además de los excesos y déficits hídricos medios mensuales que éstas presentan. El balance para las dos series arrojó los siguientes resultados (tabla N° 6.5):

Tabla N° 6.5: Resultados del Balance Hídrico Modular, series Elena y Las Peñas S.

Series analizadas	PMA (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)
Serie Elena (1975-2017)	801,5	827	801,5
Serie Las Peñas Sur (1990-2015)	757,6	827	757,6

Los resultados obtenidos muestran un déficit hídrico correspondiente a 25,5 mm para la Serie Elena y a 69,4 mm, notoriamente más alto, para la Serie Las Peñas Sur, con ausencia de excesos hídricos en ambas. A continuación, se presentan dos gráficos, uno para la Serie Elena (Figura N° 6.16) y otro para la Serie Las Peñas Sur (Figura N° 6.17) donde se plasmaron los valores de precipitaciones, evapotranspiración potencial y evapotranspiración real obtenidos para cada una:

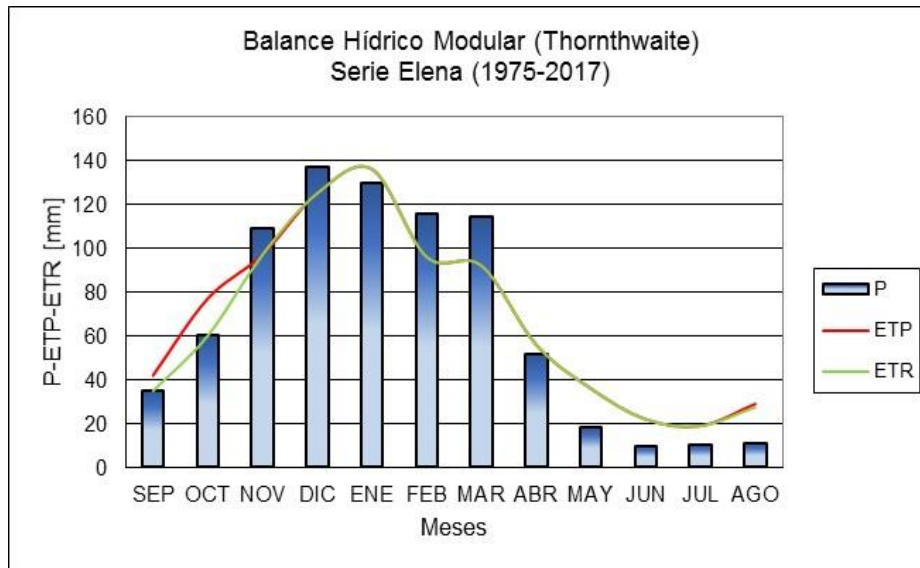


Figura N° 6.16: Balance Hídrico Modular para la Serie Elena (1975-2017).

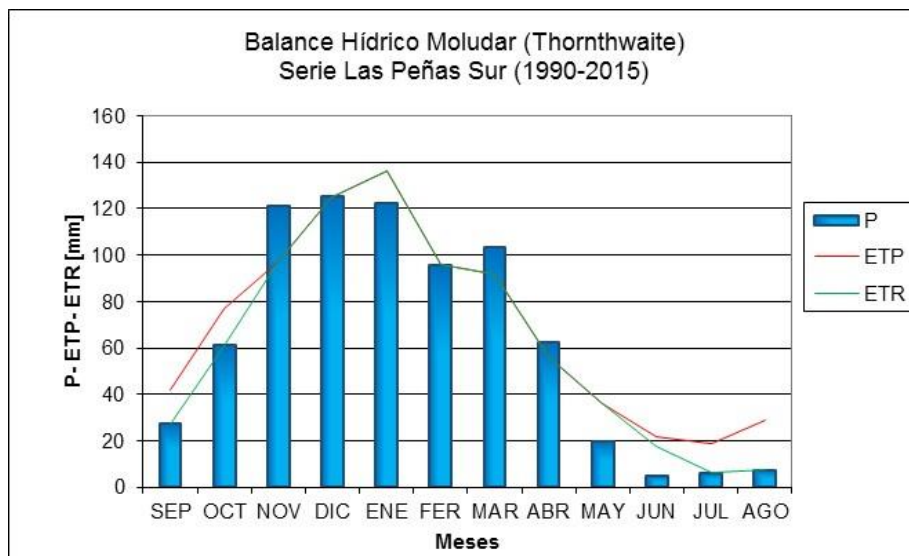


Figura N° 6.17: Balance Hídrico Modular para la Serie Las Peñas Sur (1990-2015).

A partir de los resultados de los obtenidos en ambos balances, se caracterizó climáticamente a la zona de estudio mediante la clasificación de Thornthwaite (1949), en función de sus **índices hídricos** como un *clima Subhúmedo Seco-Mesotermal* (Fig. N° 6.18) con ausencia de excesos hídricos.

Si bien este tipo de balance ofrece la posibilidad de clasificar climáticamente la zona de estudio, al tratarse de datos promediados no representa precisamente la realidad de lo que ocurre con el agua en el suelo debido a que al haber ausencia

TIPO	DESCRIPCION	CONDICION
E	Árido	$-40 \geq Im > -60$
D	Semiárido	$-20 \geq Im > -40$
C ₁	Seco subhúmedo	$0 \geq Im > -20$
C ₂	Subhúmedo	$20 \geq Im > 0$
B ₁	Húmedo	$40 \geq Im > 20$
B ₂		$60 \geq Im > 40$
B ₃		$80 \geq Im > 60$
B ₄		$100 \geq Im > 80$
A	Perhúmedo	$Im > 100$

TIPO	DESCRIPCION	CONDICION
E'	Helada permanente	$142 \geq ETP$
D'	Tundra	$285 \geq ETP > 142$
C' ₁	Microtémico	$427 \geq ETP > 285$
C' ₂		$570 \geq ETP > 427$
B' ₁	Mesotémico	$712 \geq ETP > 570$
B' ₂		$855 \geq ETP > 712$
B' ₃		$997 \geq ETP > 855$
B' ₄		$1140 \geq ETP > 997$
A'	Megatémico	$ETP > 1140$

Figura N° 6.18: Tipo de clima según el índice hídrico y ETP (Thornthwaite, 1949).

de excesos hídricos, no habría escurrimientos superficiales ni recarga en el acuífero. Es por este motivo que se realiza el Balance Hídrico Seriado, debido a que trabaja de manera más meticulosa con los valores registrados en cada mes de cada año, respetando y utilizando la humedad antecedente del suelo.

6.2.6 Balance Hídrico Seriado

Para la realización de este balance, se empleó el programa PDIWin (Ravelo y Herrero, 1999) que utiliza como variables de entrada los valores mensuales de precipitaciones de años de las series involucradas anteriormente (a excepción del primero de cada serie que se omite), el contenido de humedad en el suelo (sea para este caso 150 mm correspondiente a suelos francos arenosos finos con profundidad de enraizamiento de 1 m, según datos de las cátedras de Climatología y Fenología Agrícola de la UNRC) y la Evapotranspiración Potencial de cada mes. Como variables de salida más relevantes se obtienen la evapotranspiración real, los excesos y déficits. A continuación, se presentan los gráficos correspondientes al balance para cada serie con los resultados obtenidos

(Figura N° 6.19, 6.20, 6.21 y 6.22). Las planillas de resultados obtenidos se presentan en Anexo I.

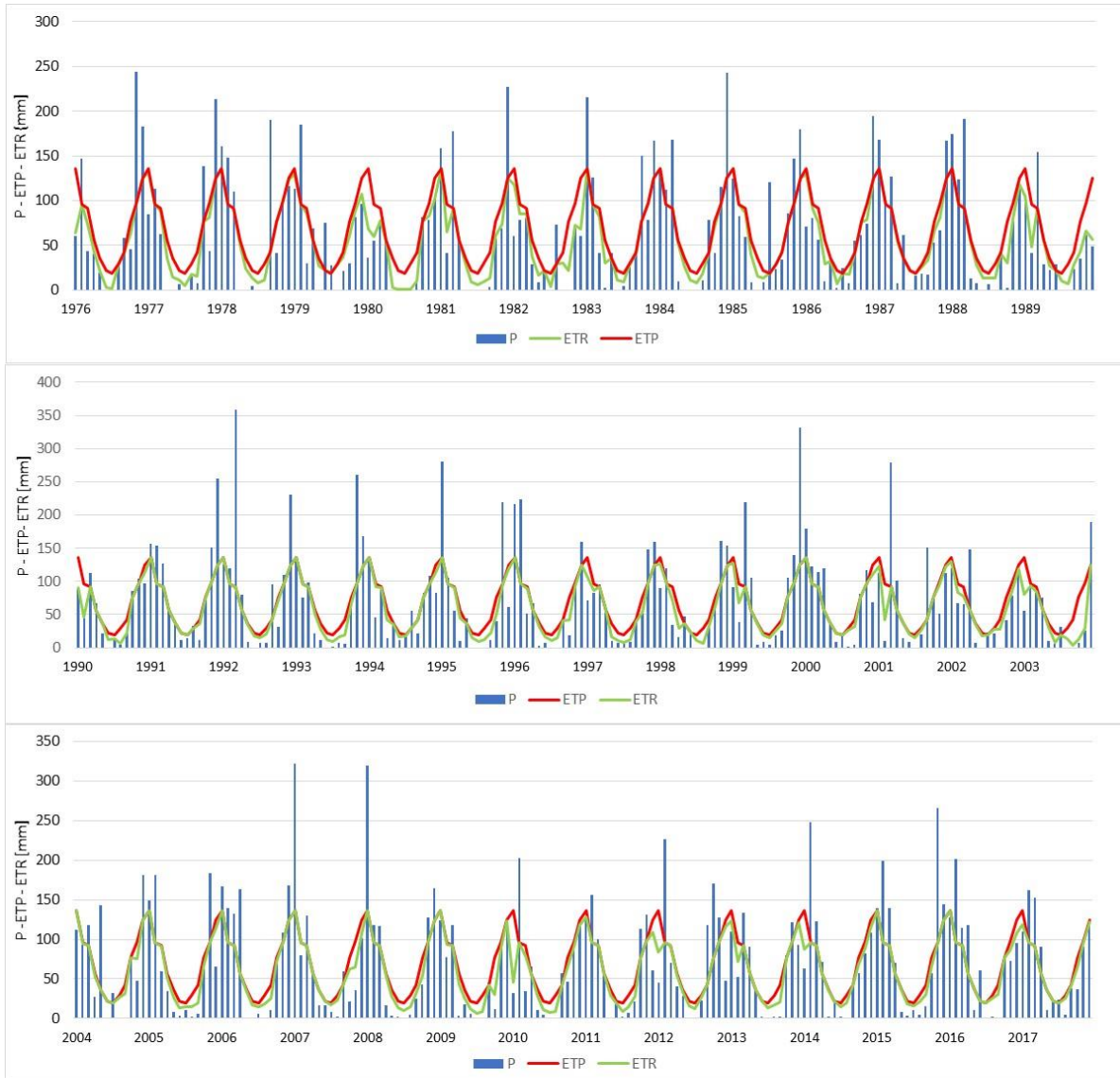


Figura N° 6.19: Balance Hídrico Seriado para la Serie Elena (1975-2017).

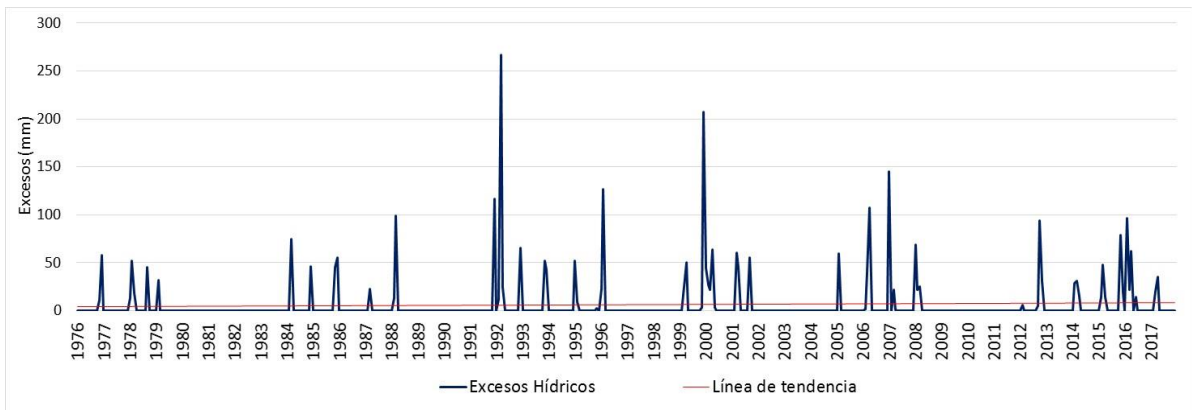


Figura N°6.20: Excesos Hídricos anuales. Serie Elena (1975-2017).

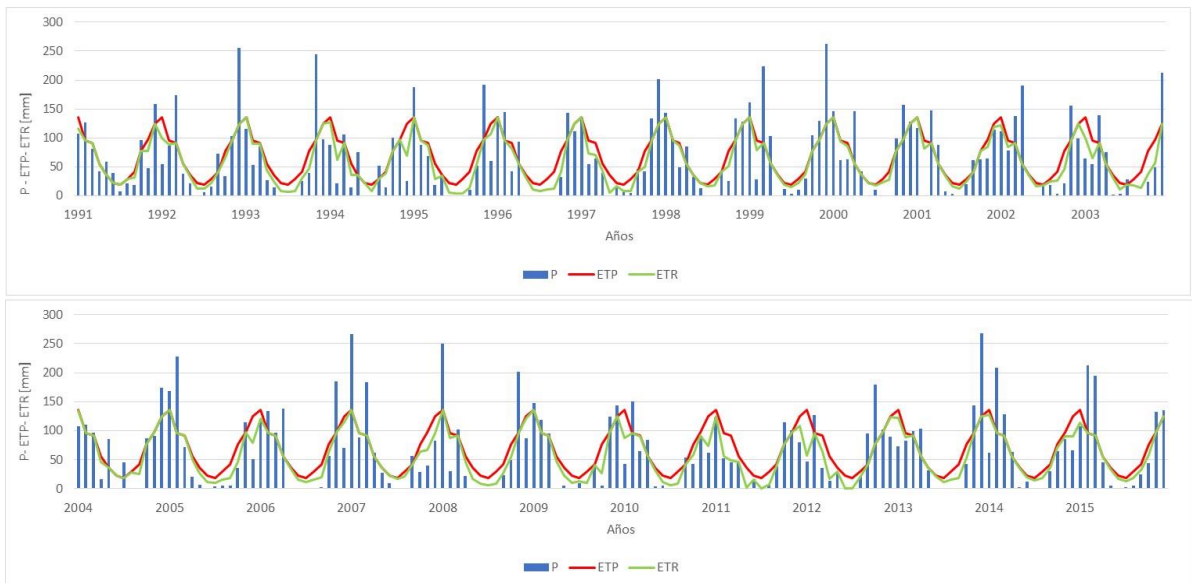


Figura N° 6.21: Balance Hídrico Seriado para la Serie Las Peñas Sur (1990-2015).

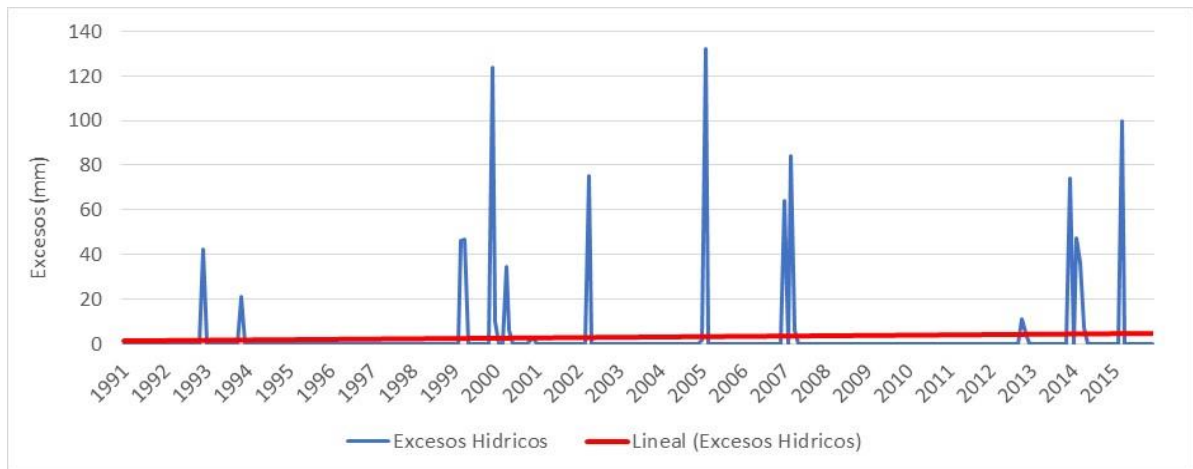


Figura N° 6.22: Excesos Hídricos anuales. Serie Las Peñas Sur (1990-2015).

En general, a partir de las planillas y los gráficos de [P-ETP-ETR] y de excesos hídricos obtenidos tanto para la Serie Elena como para la Serie Las Peñas Sur, se interpreta que los períodos de excesos hídricos ocurridos en ambas de los años establecidos tienen lugar, en general, durante los meses de Primavera- Verano, mientras que los déficits hídricos fundamentalmente ocurren durante la época de Invierno. Hay excepciones en que los déficits ocurren durante todo el año, ejemplo de ello son los años 2011 y 2012 de la serie Elena.

Para la *Serie Elena* (1975- 2017), la más prolongada en relación a su registro pluviométrico, se observan 6 importantes ciclos de excesos hídricos y 6 ciclos secos, en los aproximadamente 40 años de registro (tabla N° 6.6). Los excesos hídricos más relevantes van desde 1992- 1996 y 1999- 2002, con un porcentaje de exceso hídrico de 15,31 % y 16,88 % respectivamente. Se evidencian otros excesos a partir del año 2005 pero son inferiores, dando la sensación de que la serie va en transición hacia un descenso paulatino de los excesos que se reflejará en los años posteriores. Las etapas de déficits más importantes son entre 1975- 1977, 1986- 1991 y 2009- 2012.

Tabla N° 6.6: Alternancia entre ciclos secos y húmedos. Serie Elena (1975- 2017).

Período	Años y tipo de ciclo	Precipitación (mm)	Excesos (mm)	Déficit (mm)	Excesos como % de P
1975- 1977	3- seco	2187	68,6	295,9	3,14
1978- 1979	2- húmedo	1599	160,4	126,1	10,03
1980- 1983	4- seco	2664	0	729,8	0,00
1984- 1985	2- húmedo	1788	219,9	100,8	12,30
1986- 1991	6- seco	4517	251,6	696,6	5,57
1992- 1996	5- húmedo	4422	676,8	310,3	15,31
1997- 1998	2- seco	1466	0	232,9	0,00
1999- 2002	4- húmedo	3594,5	606,6	250	16,88
2003- 2004	2- seco	1410	0	309,1	0,00
2005- 2008	4- húmedo	3519	491,9	277,7	13,98
2009- 2012	4- seco	2962	135,6	454,8	4,58
2013- 2017	5- húmedo	4334	633,1	316,8	14,61

Finalmente, para la *Serie Las Peñas Sur (1990- 2015)* se observaron 3 períodos de excesos hídricos y 3 períodos de déficit (tabla N° 6.7). El período de mayor humedad comprende al año 2007 siendo el de mayor exceso hídrico, con 18,18 % de precipitación. La época de déficit más notoria fue en el período 2003- 2006, con 4,49 % de precipitación.

Tabla N° 6.7: ciclos secos y húmedos. Serie Las Peñas Sur (1990- 2015).

Período	Años y tipo de ciclo	Precipitación (mm)	Excesos (mm)	Déficit (mm)	Excesos como % de P
1990- 1998	9- seco	6529	63,7	854,5	0,98
1999- 2002	4- húmedo	3440	347,5	201,1	10,10
2003- 2006	4- seco	2979	133,9	470,8	4,49
2007	1- húmedo	847	154	82,6	18,18
2008- 2013	6- seco	4263	90	907,3	2,11
2014- 2015	2- húmedo	1635	190,1	154,7	11,63

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

7.1 Hidrología Regional

7.1.1 Hidrología Superficial

Degiovanni y Blarasin (2005) manifiestan que en el sur de la provincia de Córdoba, se definen dos grandes ambientes hidrológicos interconectados: I) El correspondiente a la región serrana, planicies onduladas e intermedias caracterizado por la presencia de redes de drenaje organizadas, en general de carácter permanente y nivel freático medianamente profundo, y II) El asociado a las áreas planas o deprimidas donde el drenaje es anárquico, el nivel freático se encuentra a poca profundidad o aflorando y proliferan los cuerpos lagunares o de bañados (Fig. N° 7.1).

La mayor parte de los sistemas fluviales derraman en las llanuras deprimidas del centro-este de la provincia de Córdoba, que también constituyen áreas de descarga de flujo subterráneo y, por sus dimensiones, son importantes colectoras de lluvias locales. Esta gran unidad morfotectónica aloja un gran número de cuerpos lagunares y de bañados que constituían el nivel de base terminal de los principales cursos de agua y que hoy solamente conservan de manera parcial su función de receptoras de agua y sedimentos ya que conforman redes de flujos

en tránsito hacia las depresiones mayores o ríos colectores. Arroyos como el Teguá,

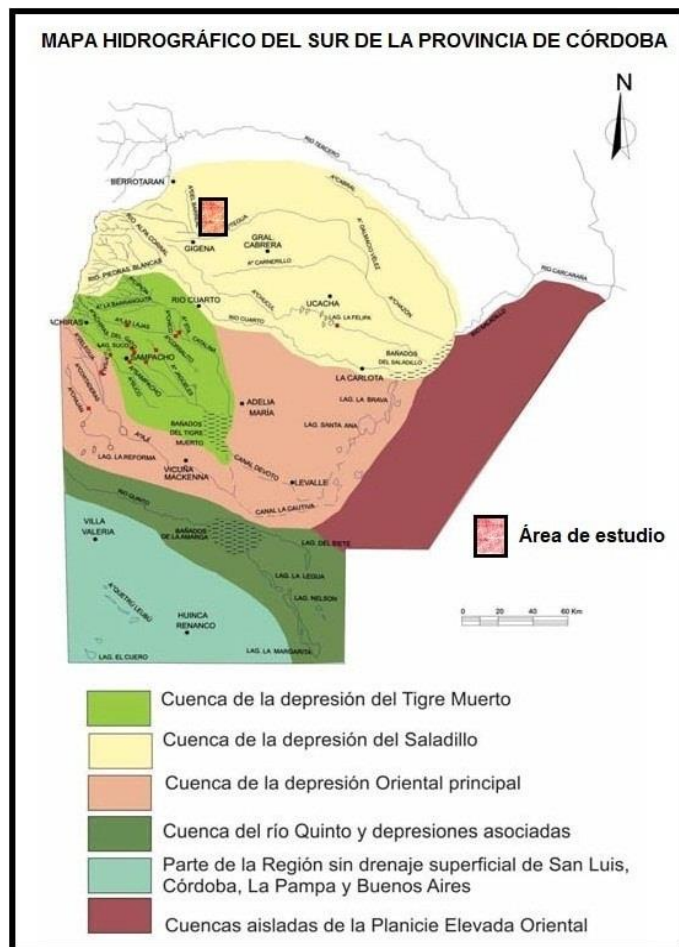


Figura N° 7.1: Principales cuencas hidrográficas del Sur de Córdoba. Tomado de Degiovanni y Blarasin (2005).

Carnerillo y Chucul integran los Bañados del Saladillo como consecuencia de diferentes intervenciones (Degiovanni y Blarasin, 2005).

Las sierras constituyen una zona receptora de precipitaciones, de vital importancia para el funcionamiento hidrogeológico ya que la mayoría de los ríos y arroyos que la drenan se infiltran al salir de la sierra, y alimentan los acuíferos de pedemonte y llanuras onduladas cercanas, con aguas de muy baja salinidad (< 0,5 g/L) (Blarasin et al., 2014).

7.1.2 Hidrología Subterránea

7.1.2.1 Características hidrolíticas e hidroestratigráficas

Para lograr una comprensión hidroestratigráfica, Blarasin (2003) dio a conocer un esquema regional de acuerdo a la estratigrafía de los depósitos aflorantes encontrados y a los materiales identificados a 400 metros de profundidad (Fig. N° 7.2):

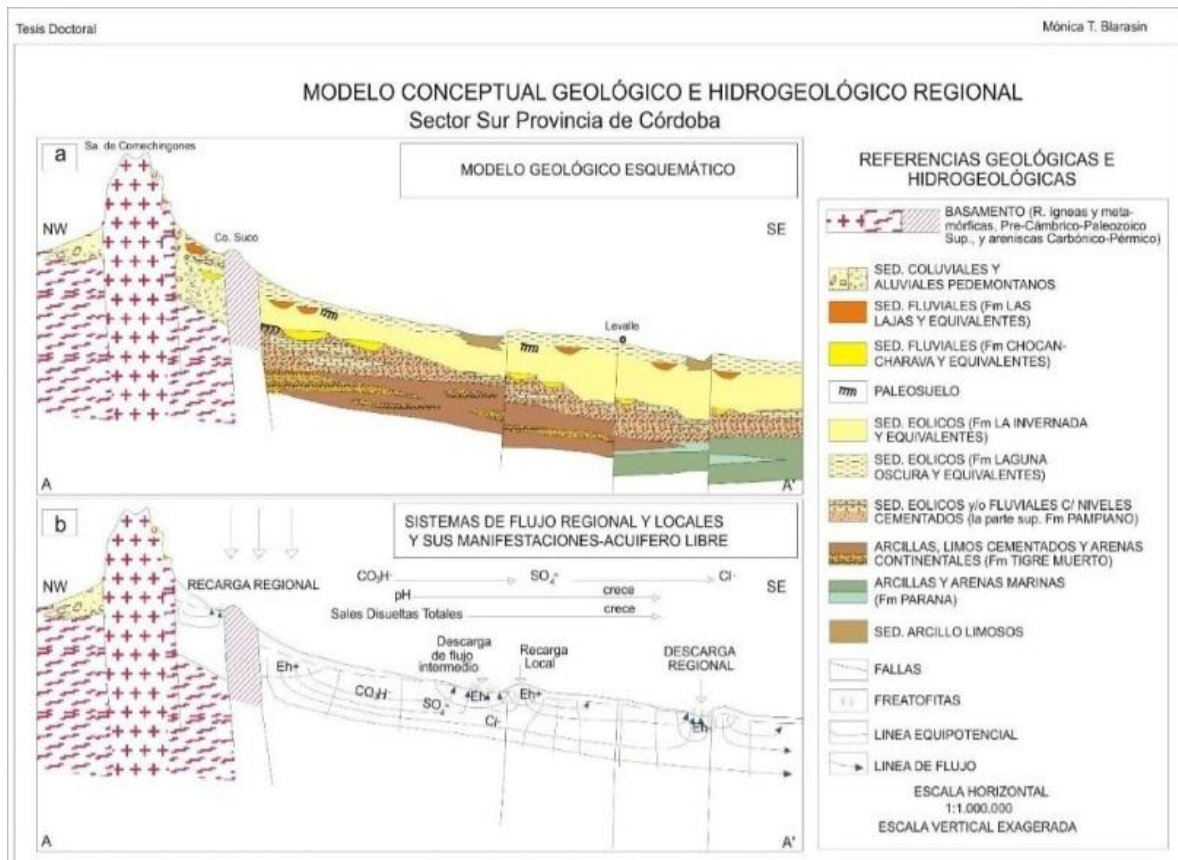


Figura N° 7.2: Esquema geológico- hidrogeológico del Sur de la provincia de Córdoba. Tomado de Blarasin (2003).

En el presente esquema, el acuífero libre se aloja en los materiales Cuaternarios eólicos y fluviales de origen continental. Los materiales de mejor aptitud acuífera (Fm. Chocancharava, Fm. Las Lajas, entre otros) con alta conductividad hidráulica y

transmisividad, están vinculados principalmente a las fajas fluviales de los ríos y arroyos; el resto de los materiales, eólicos y aluviales finos, aloja un acuífero libre con características pobres (Fm. La Invernada, Fm. Laguna Oscura, etc.). Algo a destacar es que a mayor profundidad, se distinguen dos ambientes sedimentarios diferentes, uno de origen marino para el sector oriental y otro de origen continental para el sector occidental de la provincia, cuyos sedimentos de edad terciaria alojan los principales acuíferos confinados de la región (Fm. Tigre Muerto y Fm. Paraná). (Blarasin, 2003).

La base del acuífero libre se conoce de manera general para sectores mayores y con mejor detalle para otros. En relación a los datos aportados por las perforaciones disponibles, se trata de una formación acuícluda de materiales arcillosos yacente a una profundidad variable. En algunos casos puede estar constituido directamente por el basamento, principalmente en áreas pedemontanas de las Sierras de Comechingones y Las Peñas, donde la base del acuífero se encuentra a distintas profundidades como resultado del fuerte control estructural a nivel regional (Matteoda 2012, Blarasin et al. 2014).

Una síntesis de la información hidroestratigráfica de la llanura provincial al este de la Sierra de Comechingones, se muestra en la figura N° 7.3 correspondiente a un perfil hidrogeológico que incluye a la zona de estudio (Blarasin et al 2014).

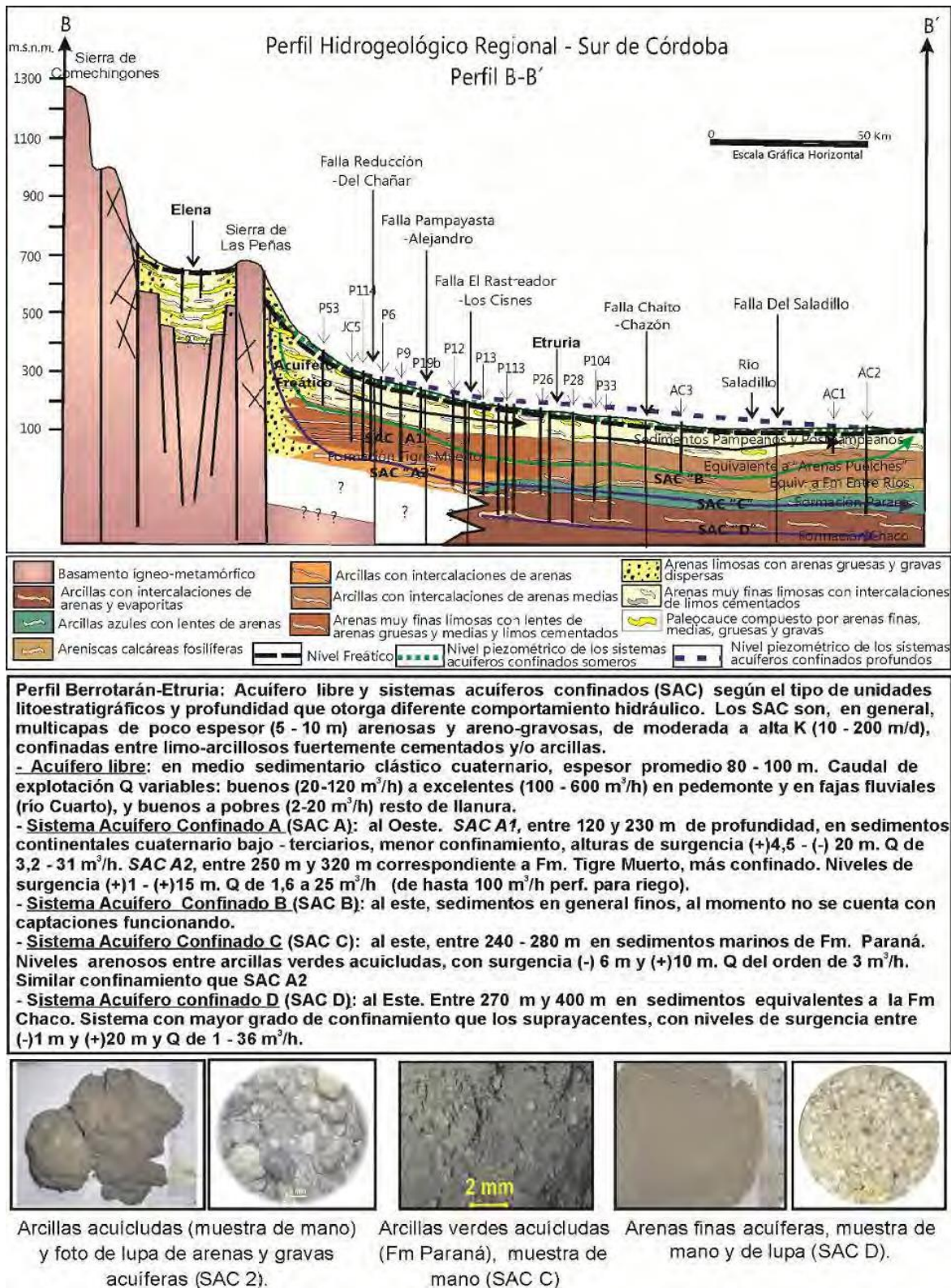


Figura N° 7.3: Perfil hidrogeológico regional del Sur de la provincia de Córdoba. Tomado de Blarasin et al. (2014).

7.1.2.2 Características hidrogeológicas del acuífero libre

7.1.2.2.1 Acuífero libre

En relación a sus características hidrogeológicas, potencialidades y restricciones de uso, los acuíferos para el sur de la provincia de Córdoba pueden sub-dividirse en dos (Blarasin et al., 2014):

7.1.2.2.1a Acuífero libre en zona serrana

- *Acuífero en medio fracturado*

Este tipo se aloja en sistemas de fracturas y diaclasas que poseen las rocas del basamento aflorante de las sierras, donde da origen a un sistema acuífero con permeabilidad secundaria, libre (niveles freáticos virtuales), de cualidades pobres en cuanto a su capacidad para conducir el fluido, pero de importancia en la dinámica hidrológica regional y local y en sus características químicas. El agua que circula en la roca aporta al medio clástico alojado en los valles y además da lugar a manantiales, permanentes o temporarios, de escaso caudal. El agua, dulce y bicarbonatada cálcica, es poco aprovechada para uso humano debido a que las perforaciones en roca son escasas, aunque es de excelente calidad.

- *Acuífero en medio clástico*

Está constituido por los sedimentos de edad cuaternaria que rellenan los valles intermontanos y se alimenta de la infiltración de lluvias locales y del aporte de agua de las rocas circundantes. Los materiales que rellenan los valles tienen espesores variables, son limo-arenosos, arenosos y areno-gravosos y de acuerdo a sus características se estiman conductividades hidráulicas medias a altas (1–10 m/día),

7.1.2.2.1b Acuífero libre en zona de llanura

De acuerdo a sus características geológicas, se desarrollan en dos ambientes principalmente:

- *Acuífero en fajas fluviales más importantes*

Se trata de sectores que bordean el río Cuarto y otros tramos vinculados. En general, los materiales son gruesos (arenas finas, gruesas y gravas) que están vinculados a paleocauces y alojan un acuífero excelente debido a su eficaz rendimiento y calidad. En relación a sus grandes espesores (20- 40 m) y a la alta conductividad hidráulica (5- 50 m/día) y transmisividad (100- 4000 m²/día) que caracteriza a estos depósitos, sus caudales de extracción son potencialmente altos (Blarasin y Cabrera, 2005).

- *Acuífero en el resto de la llanura cordobesa*

Corresponde a sedimentos fluviales en posiciones medias y distales y planicies intermedias, deprimidas y mal drenadas compuestas por materiales eólicos. Aquí, los acuíferos son bastantes homogéneos y están compuestos por materiales predominantemente arenosos finos, limosos y limo- arcillosos, con abundantes niveles de cementaciones con carbonatos (calcretos o toscas). Sus espesores son variables y están a diferentes profundidades. Se trata de formaciones de origen eólico de tipo loésico.

Las conductividades hidráulicas se encuentran comprendidas en el orden de 10- 3 hasta 1 m/día, donde los valores más bajos se compensan con potentes materiales de varias decenas de metros que dan lugar a una mayor transmisividad (Blarasin y Cabrera, 2005).

7.1.2.2 Acuíferos confinados

Los acuíferos confinados yacen a distintas profundidades, por lo general debajo de los 120 metros, y poseen características hidráulicas y químicas muy variables, condicionadas por la historia geológica de la región (Blarasin et al., 2014).

7.1.2.3 Hidrodinámica subterránea regional

En el sur de la provincia de Córdoba, el agua del acuífero libre circula con dirección general NW- SE (Fig. N° 7.4) y como en todos los sistemas de flujo de agua subterránea en regiones con relieve ondulado, se observa una jerarquización de los flujos distinguiéndose niveles locales, intermedios y regionales.

La morfología de la superficie freática es muy variable y varía en función de las características de cada sector. Los gradientes hidráulicos del agua subterránea son variables, fuertemente condicionados por la topografía, los más altos se ubican en la faja pedemontana, inmediatamente cercana a la sierra, con valores de 5,0- 4,0 %. En las llanuras fuertemente onduladas los gradientes disminuyen a valores de 1,0- 0,4%. En las planicies loésicas y fluvioeólicas son del orden de 0,4- 0,2 %, mientras que en las llanuras más tendidas y áreas mal drenadas los valores son muy bajos, del orden de 0,07 %. (Blarasin et al. 2014).

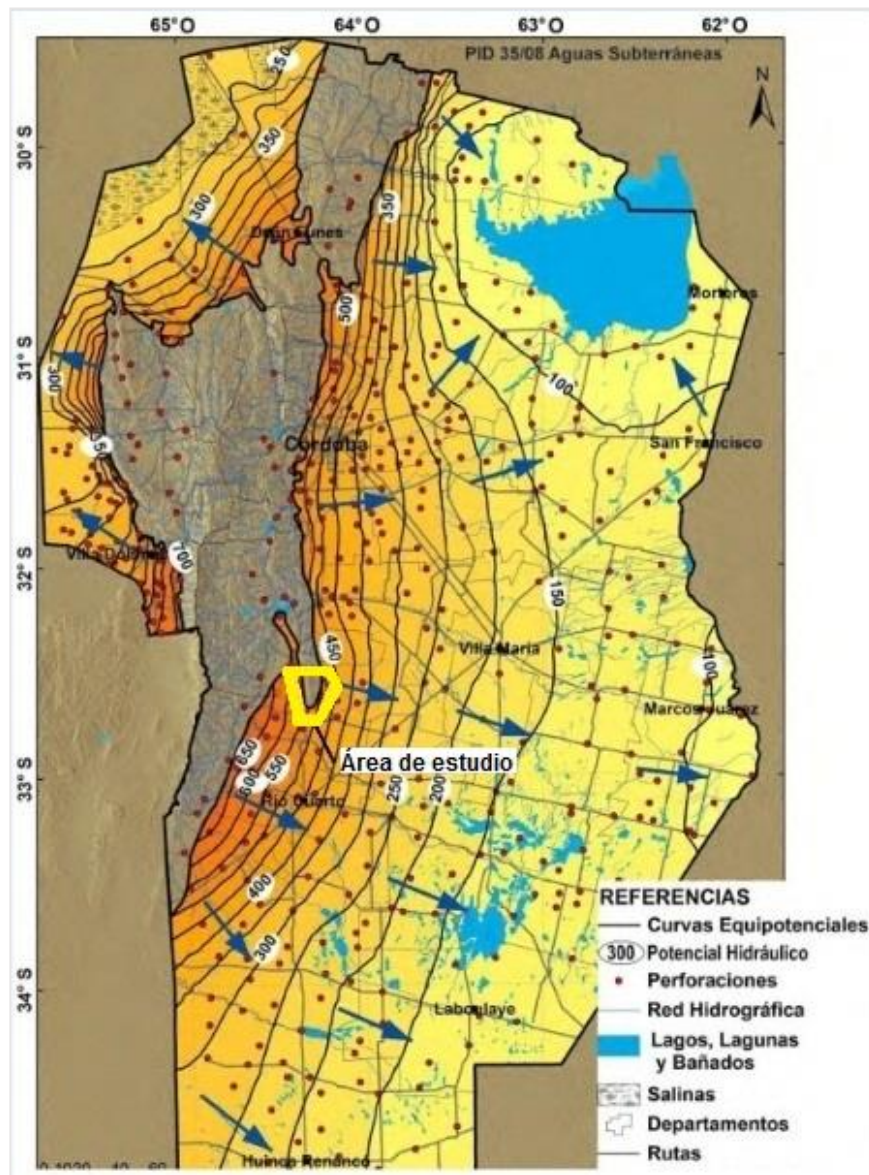


Figura N° 7.4: Mapa de equipotenciales del acuífero libre de la provincia de Córdoba. Año 2013 (Blarasin et al., 2014)

7.2 Hidrología Local

En la región de estudio, la configuración geológica- geomorfológica en bloques que basculan hacia el este- sudeste, es el principal condicionante de los flujos intermedios y regionales del agua subterránea que definen las principales áreas de recarga y descarga, así como los principales procesos hidroquímicos (Matteoda 2012).

7.2.1 Aspectos hidrográficos e hidrodinámicos del agua superficial

Para lograr una caracterización de las redes de drenaje que se distinguen en el área de estudio, se llevó a cabo un análisis teniendo en cuenta los bajos topográficos que se

lograron discernir en el sector serrano, en el pedemonte y llanura proximal de acuerdo a la escala de trabajo utilizada, como así también de los altos o lomas que permitieron delimitar subcuencas en la sierra.

Se marcaron las divisorias de aguas más importantes y, teniendo en cuenta los bajos topográficos en los que ocurren los escurrimientos superficiales luego de las lluvias, se marcaron todos los discernibles a la escala utilizada.

Aún no teniendo el valle un cauce definido, en épocas de tormentas el agua circula por los valles, por lo que los escurrimientos en estos casos se consideran escurrimientos **efímeros**, mientras que en aquellos casos en que se detectaron cauces fueron indicados como **temporarios y/o permanentes** (Fig. N° 7.5).

En las cartas topográficas utilizadas, algunos arroyos se indican como *permanentes*, coincidente con la información recolectada en campo.

El diseño de las redes de drenaje, en general, es dendrítico, principalmente en el sector centro- norte del área de estudio donde el agua escurre en sentido O- E, desembocando en los colectores del arroyo Boca del Sauce. Aquí, es evidente tanto el control litológico como el estructural, ya que la mayoría de las rocas que integran a estas unidades se ven muy afectadas tanto por las fracturas como el diaclasamiento que manifiestan.

En el sector sur, donde el control estructural es más evidente debido a la disposición marcada de los valles principales con sentido longitudinal NO- SE, el agua circula por lo tanto en la misma dirección; los colectores principales poseen longitudes mayores a 2.000 metros y desembocan principalmente en el pedemonte austral. El diseño que adopta la red de drenaje responde a una morfología del tipo subdendrítica-enrejada.

El agua que llega al área pedemontana desde la sierra adopta una modalidad de escurrimiento del tipo mantiforme o concentrada en los bajos topográficos, lo que produce, en épocas de lluvias, concentración de caudales produciendo importantes procesos de erosión hídrica como profundización de caminos, surcos, cárcavas, etc., tanto en el pedemonte oriental (Lutri, 2013) como occidental (Matteoda, 2012).

Si bien se observa una predisposición marcada de los escurrimientos hacia el sector oriental de la sierra siguiendo la tendencia regional, localmente su flanco occidental muestra una circulación de los escurrimientos hacia el oeste acorde a la morfología de la escarpa, constituyendo parte de la zona de recarga de la cuenca del A° El Barreal estudiada por Matteoda (2012).

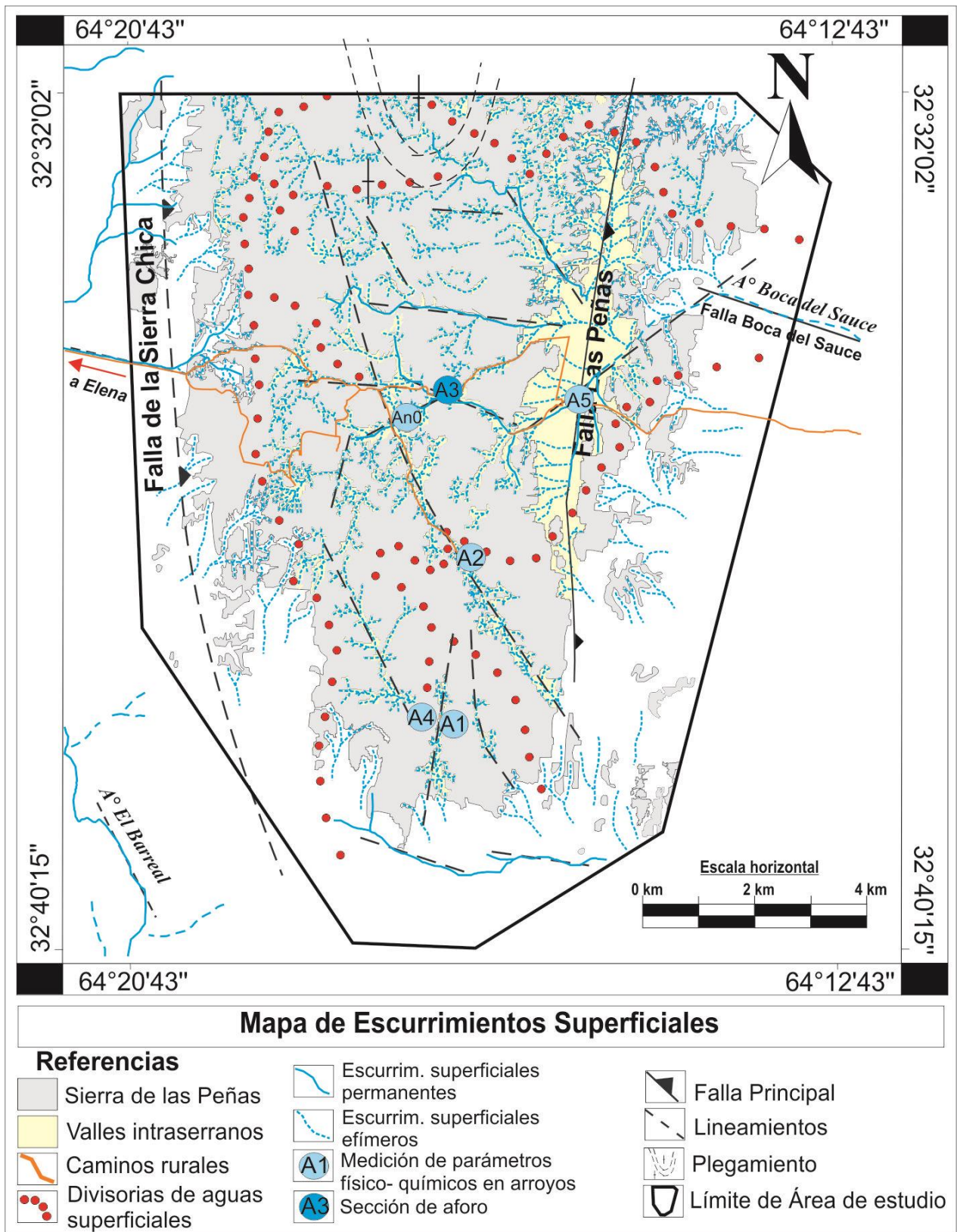


Figura N° 7.5 Mapa de escurrimientos superficiales.

En resumen, los escurrimientos superficiales (Fig. N° 7.6) para el sector sur de la Sierra de las Peñas conforman una red de drenaje dendrítica que drena hacia ambos flancos de la sierra con mayor desarrollo hacia el flanco oriental. Los escurrimientos, mantiformes y/o encauzados están condicionados por el fuerte control estructural. Como resultado de esta modalidad de esorrentía son frecuentes los procesos de erosión fluvial en cauces y de erosión hídrica en valles y pedemonte ya sea en surcos y cárcavas (ver Capítulo 4: Geomorfología local).

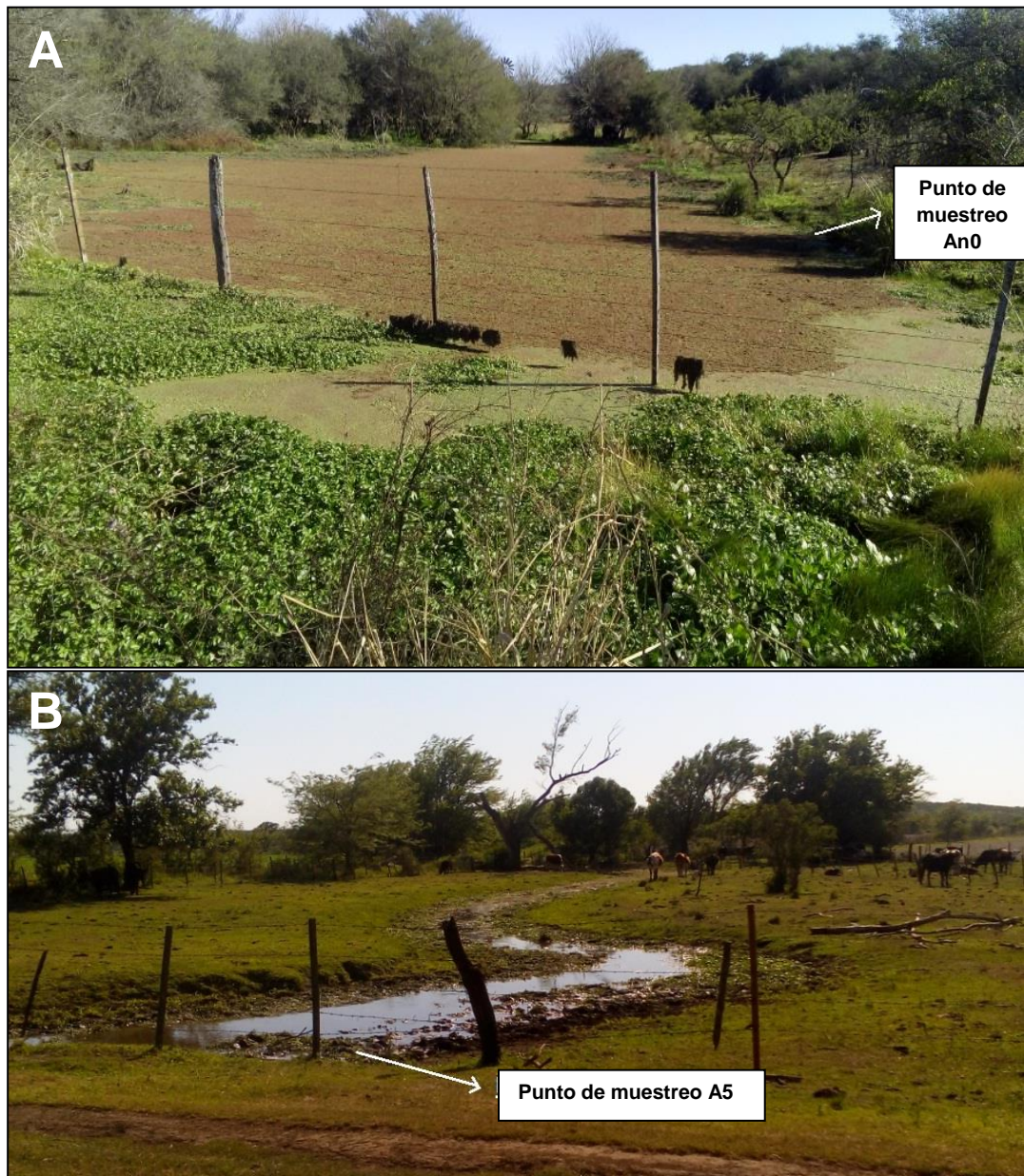


Figura N° 7.6: **A-** Punto de muestreo An0 (naciente de A3), arroyo eutrofizado por explosión algal; **B-** Punto de muestreo A5 con ganado alrededor.

De los sistemas fluviales identificados dentro del área de estudio se censaron 3, aspecto fuertemente condicionado por la accesibilidad: los puntos de muestreo An0 (naciente de A3), A3 y A5 forman parte del mismo sistema que desemboca sus aguas en distintos colectores del arroyo Boca del Sauce; los puntos An0 y A3 responden a una dinámica de escurrimiento del tipo permanente, mientras que el punto A5 muestra un comportamiento efímero. El segundo sistema incluye a los sitios A1 y A4, ambos de escurrimientos efímeros, cuyos arroyos drenan hacia el sur de la sierra y pedemonte austral. El punto de muestreo A2 se ubica en un curso de agua que desemboca en uno de los valles longitudinales destacados de dirección NO- SE en el sector suroriental de la sierra. Presenta un escurrimiento temporario.

Se realizó un aforo en el sitio de muestreo A3, en el mes de Junio mediante el método del flotador calculándose un caudal de $0.0024 \text{ m}^3/\text{s}$ (Fig. N° 7.7):

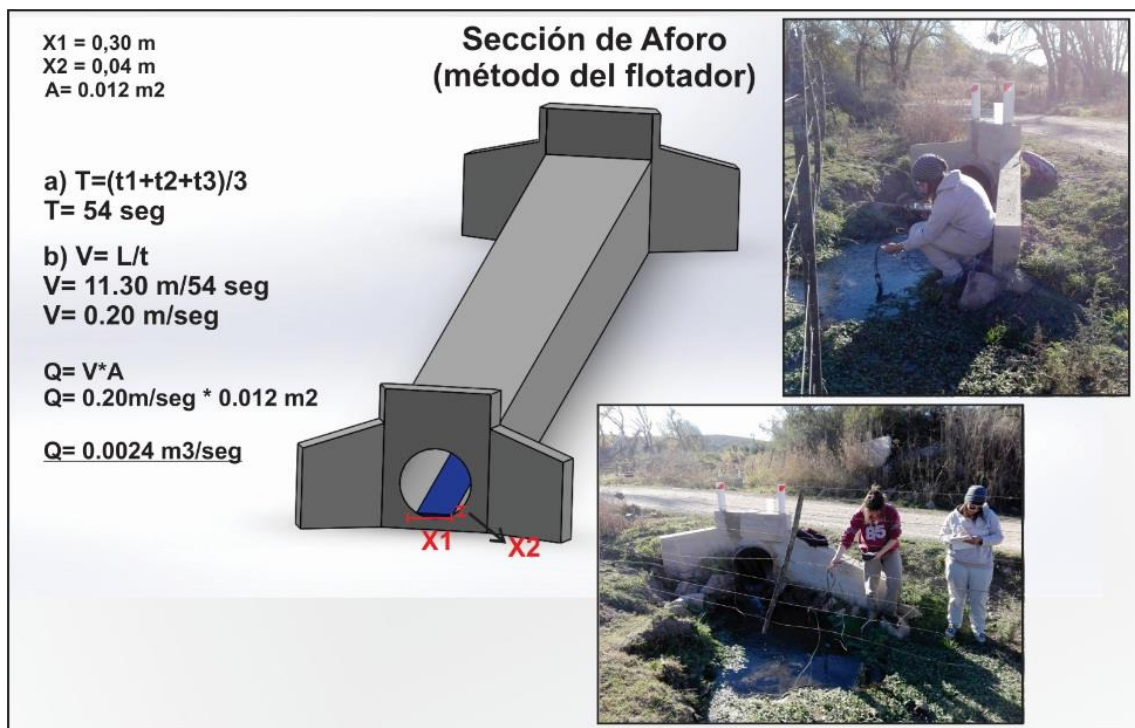


Figura N° 7.7: Sección de aforo (A3) y cálculo mediante el método del flotador. Esquema representativo del alcantarillado elaborado a partir del software "Solidworks".

7.2.2 Hidrología Subterránea

El estudio hidrogeológico se basó principalmente en el conocimiento del acuífero libre que integra los valles intraserranos que componen la Sierra de las Peñas Sur, al igual que aquel alojado en el entorno pedemontano de la zona de estudio. Este acuífero se

compone fundamentalmente de materiales aluvio- coluviales con eólicos subordinados en los valles intraserranos, y en el pedemonte de depósitos aluvio- coluviales y fluviales localizados y cubierta eólica (ver Capítulo 4 - Geología Local).

7.2.2.1 Perfiles hidrogeológicos esquemáticos

Del análisis del mapa equipotencial, de la topografía presente en la zona, de los antecedentes litológicos- geomorfológicos y la información relevada, se elaboraron sobre la base de los perfiles geológicos ya mostrados (Cap. 4) perfiles hidrogeológicos esquemáticos con el fin de lograr un mejor entendimiento sobre el funcionamiento del acuífero libre en el medio sedimentario, con énfasis en los valles que conforman la sierra.

Para ello, sobre la base del relevamiento hidrogeológico de campo, se rediseñaron los perfiles geológicos esquemáticos utilizados en el Capítulo 4 de Geología Local (A-A', B-B' y C-C') y se les asignó la profundidad del nivel freático y categorías hidrolitológicas.

Perfil hidrogeológico esquemático A-A'

Este perfil, de orientación N-S, ubicado en el sector central del área de estudio, interseca a las litologías incluidas en la Unidad Anfibólica, Unidad Granítica Esquistosa y en el Complejo Migmatítico Austral. Son rocas con fracturas y diaclasamiento como se indica que pueden calificarse como *acuífero pobre- acuitardo* (Custodio y Llamas, 1993).

En los valles, el material sedimentario es de variable granulometría pero desde la perspectiva de su permeabilidad o conductividad hidráulica, los sedimentos son capaces de recibir, contener y transmitir el agua, aportando a los arroyos colectores y a las propias captaciones, por lo que pueden clasificarse como *acuíferos buenos* (a partir de las granulometrías y valores de K vinculados (Custodio y Llamas, 1993). En las perforaciones censadas en los valles intersectados por la transecta de este perfil, el nivel freático se encuentra a 3,67 m y 7,35 m de profundidad. Estas perforaciones censadas alumbran el basamento a profundidades de 8 m y 18 m, respectivamente.

En el pedemonte proximal no se obtuvo información acerca de la profundidad del basamento (B17); el espesor de la zona no saturada se incrementa y la profundidad del nivel freático se encontró a 25,96 metros (Figura N° 7.8).

Perfil hidrogeológico esquemático B-B'

Este perfil con orientación O-E, se realizó paralelo al camino "El Tala del Descanso" que cruza en esa dirección toda la sierra. Incluye al Complejo Migmatítico Central Norte, U. Granítica Esquistosa, U. Anfibólica y U. Metamórfica Oriental.

Entre los valles más importantes, este perfil intersecta al Valle Las Peñas. En todos los valles involucrados, el nivel freático se encuentra a profundidades relativamente bajas (en los sitios muestreados), entre 3,67 m y 8,72 m (Figura N° 7.9).

Las clasificaciones hidrolíticas son similares a las mencionadas para la transecta anterior.

Perfil hidrogeológico esquemático C-C'

Posee una orientación SO- NE y abarca parte del pedemonte suroccidental (Fig. N° 7.10). Intersecta a los valles intramontanos que integran al Complejo Migmatítico Central Norte, U. Granítica Esquistosa y U. Anfibólica; quedan representados los puntos de muestro B1 (b) y B24, ambos con profundidad de basamento conocidas de 18 m y 8 m respectivamente. En ambas perforaciones, los niveles freáticos se encontraron 3,67 m y 5,61 m de profundidad respectivamente. Las clasificaciones hidrolíticas son similares a las mencionadas para la transecta anterior.

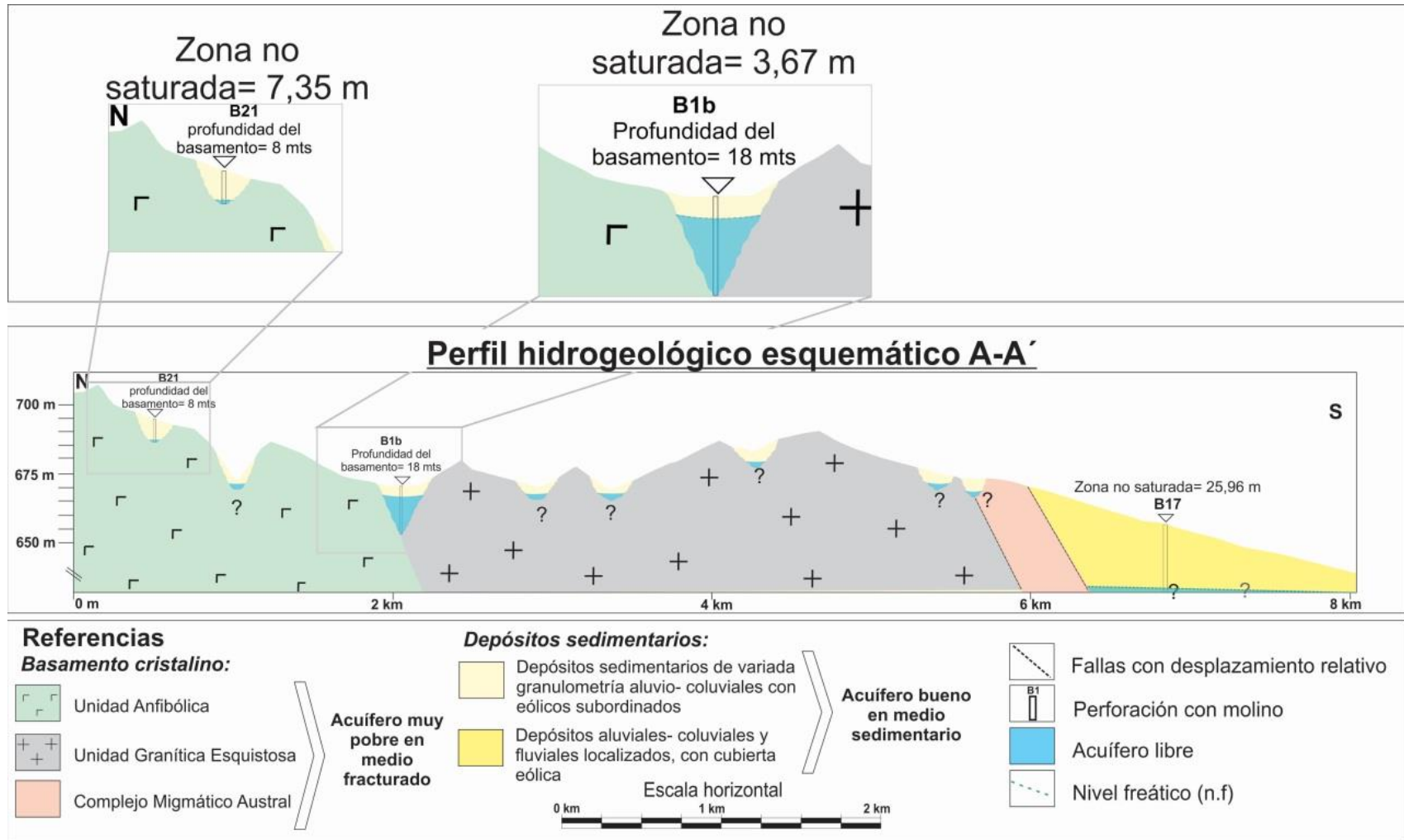


Figura N° 7.8: Perfil hidrogeológico esquemático A-A' con rumbo N-S.

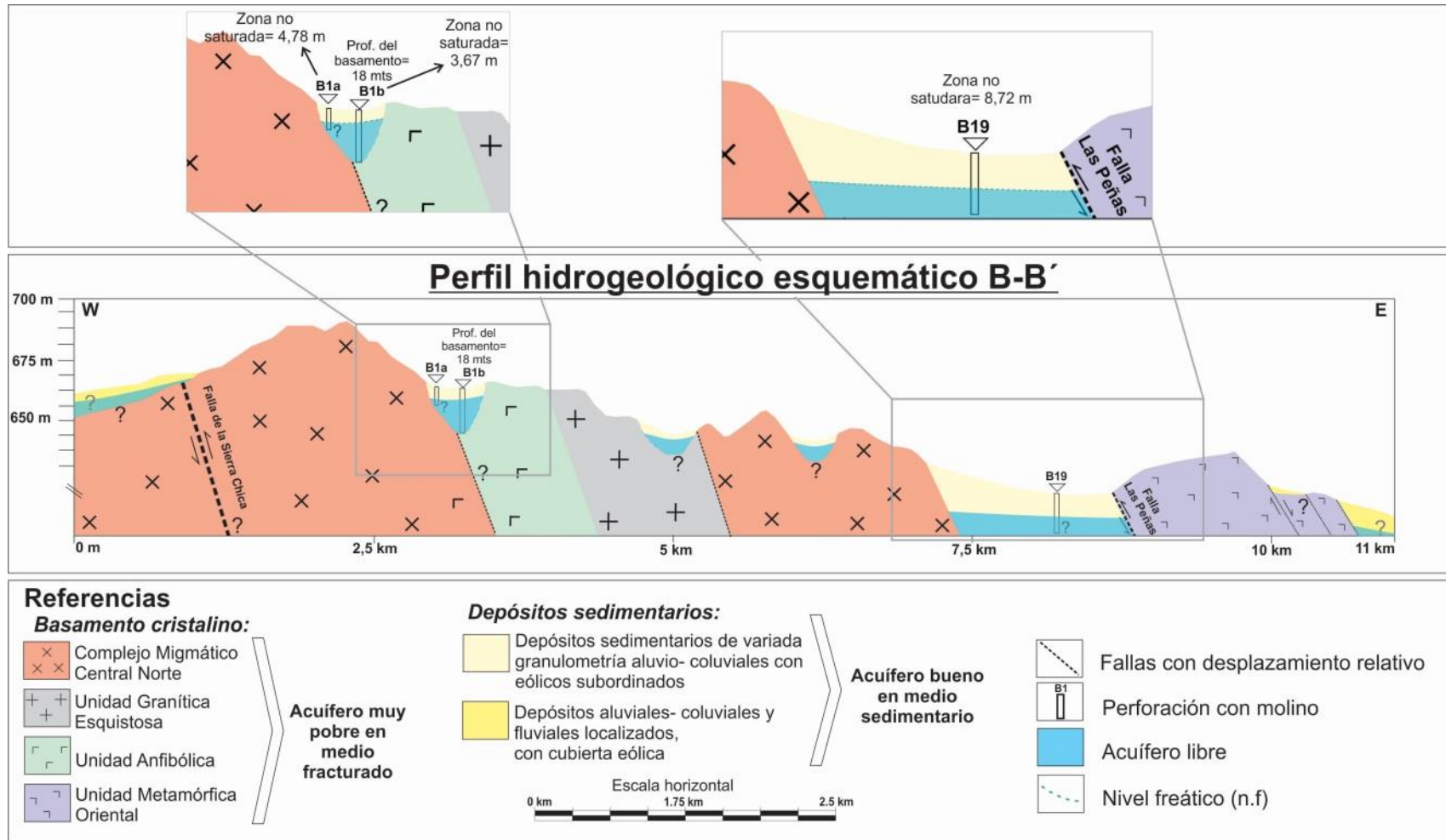


Figura N° 7.9: Perfil hidrogeológico B-B' con rumbo O-E.

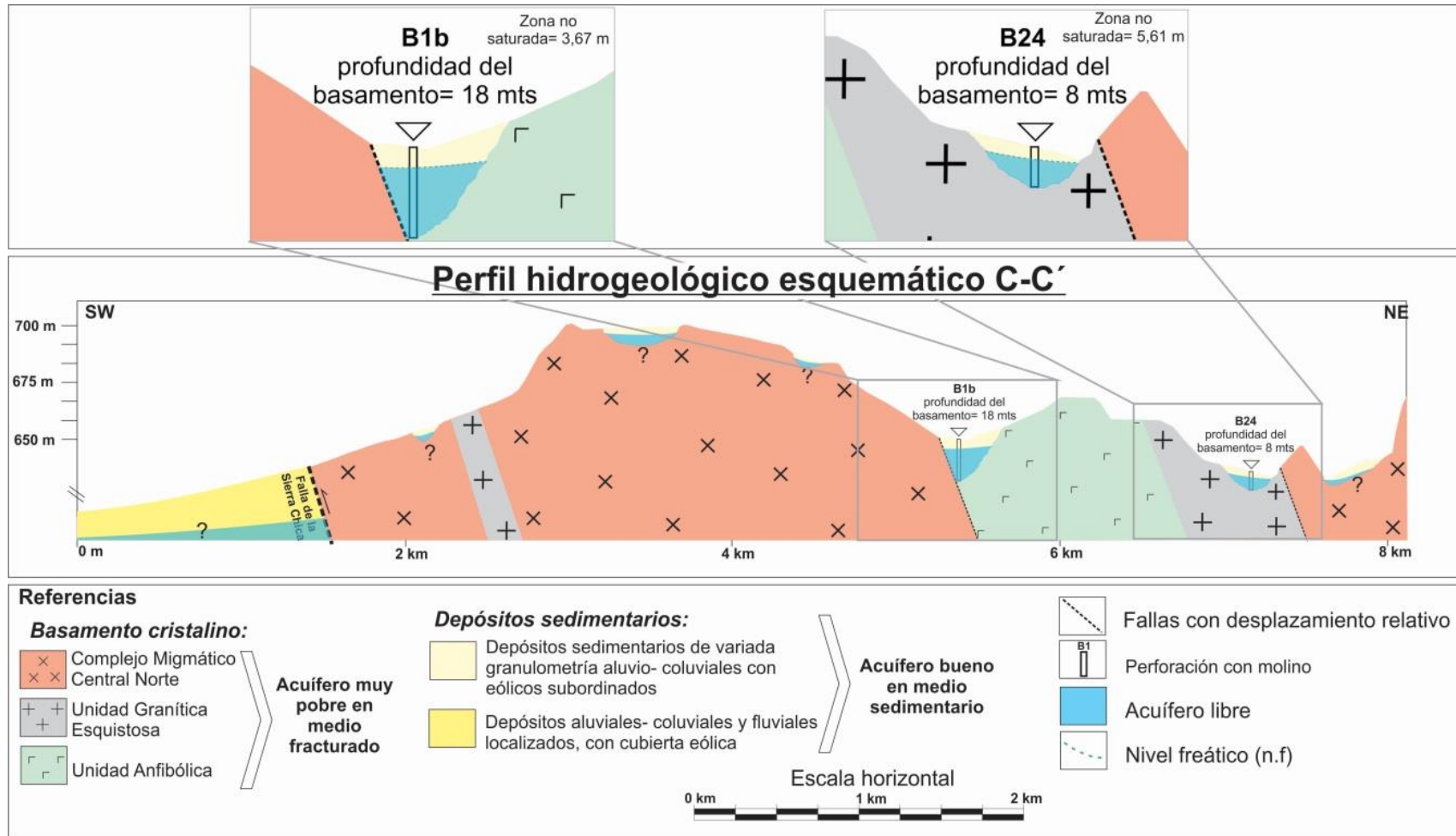


Figura N° 7.10: Perfil hidrogeológico C-C' con rumbo SO-NE.

7.2.2.2 Hidrodinámica del acuífero libre

7.2.2.2.1 Profundidad del nivel freático

En base a la profundidad del nivel freático medido en cada pozo censado, se elaboró un mapa de profundidad que permite conocer cómo varía el espesor de la zona no saturada en diferentes sectores. Como se observa en el mapa de la figura N° 7.11, los valles presentan una profundidad de nivel que varía en sentido centrípeto. Las menores profundidades están en cercanía de las divisorias y las mayores en los bordes de la sierra, haciéndose más grandes aún en el pedemonte.

En los valles intraserranos, la zona no saturada posee un espesor que varía entre 1,8 m y 8,7 m, resultando en diferentes profundidades a las que se encontró el nivel freático. En éstos, las profundidades a la que se encontró basamento en valles fueron entre 8 m y 18 m. En la zona de los flancos, aumenta el espesor de la zona no saturada y por ende la profundidad del nivel freático, quedando por debajo de los 10 m. Hacia el pedemonte y llanura proximal, la profundidad del nivel freático varía entre 8,2 m en sectores adyacentes al pie de la sierra o cercanos a afloramientos rocosos aún no exhumados, hasta 26,9 m en establecimientos ubicados a menos de 2 km aproximadamente del cordón serrano.

La profundidad del nivel freático se asume como un aspecto condicionado por las estructuras que, a su vez condicionan el relieve, es decir fuertemente controlado por la tectónica en bloques y por la morfología escalonada de la zona. Así, los valles más pequeños, menos profundos, con menor espesor de relleno y basamento cercano, tienen un nivel freático somero.

Por su parte, a medida que aumenta la profundidad del basamento y consecuentemente el espesor sedimentario, aumenta la profundidad del nivel, ya que similares entradas de agua para las precipitaciones de la región encuentran más espacio de poros para alojarse. Esto se manifiesta aún más en el pedemonte donde el basamento, debido al control estructural, se encuentra profundo y los espesores sedimentarios son importantes. Además la gran profundidad del nivel freático en el pedemonte, responde al relieve y a la posición hidrológica, es decir recibe agua de la sierra pero a su vez, por el relieve de lomas pronunciadas a cotas elevadas, es zona de recarga regional.

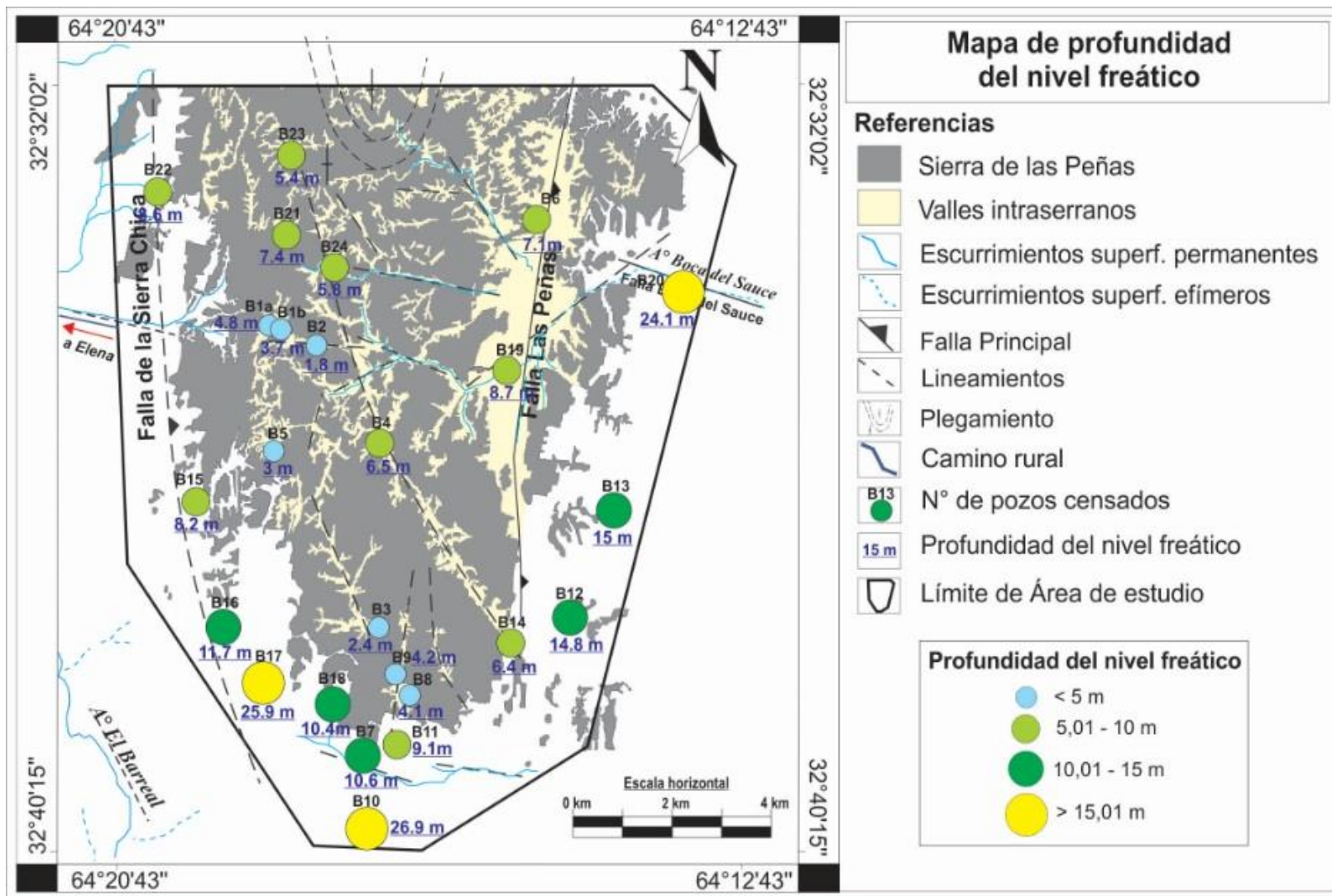


Figura N° 7.11: Mapa de profundidad del nivel freático en valles de la Sierra de las Peñas, entorno pedemontano y llanura proximal.

7.2.2.2 Potenciales hidráulicos del acuífero libre

Los potenciales hidráulicos calculados para el área de estudio se presentan en el mapa de la figura N° 7.12. No se determinaron líneas equipotenciales dentro de los valles intraserranos ya que no se obtuvo información suficiente. Para el basamento no se dispuso de información de niveles dado que no hay perforaciones que lo involucren.

Como se observa en el mapa de la Figura 7.12, y análogo al mapa de escurrimientos superficiales, el agua subterránea circula en forma radial desde la sierra hacia la periferia indicando, mediante las líneas de flujo, cómo todo el macizo serrano es zona de alimentación de aguas subterráneas del sistema hidrogeológico de la llanura.

Los mayores gradientes hidráulicos, del orden de 3,5 % a 2,7 % se encuentran en el sector occidental de la Sierra de las Peñas, coincidiendo con la escarpa de las sierras. Los gradientes más bajos se encuentran en el sector oriental y son del orden de 2,8 % a 1,5 % (ver Anexo II).

Las velocidades de escurrimiento del agua subterránea en el flanco de la escarpa son del orden de 0,9 m/d, y en el flanco oriental y pedemonte son del orden de 0,42 m/d aproximadamente (ver Anexo II).

Los valles intraserranos se alimentan de la infiltración de precipitaciones locales y del aporte de agua por parte de las rocas circundantes, por lo que ambos serían las principales entradas de agua al sistema. Las rocas ceden el agua a través de diferentes fracturas y diaclasas, las que le otorgan conductividad hidráulica que varía según el grado de fracturamiento. El agua que circula por la roca le aporta al medio clástico alojado en los valles, y alimenta a ríos o arroyos (Blarasin et al. 2014). Con el aporte de las lluvias y de la roca circundante, los valles almacenan una cantidad determinada de agua en el acuífero. Aquellos que poseen cursos permanentes y/o temporarios en épocas en las que no llueve, se interpreta que reciben aporte freático. Eso pudo interpretarse, por ejemplo, en uno de los sitios muestreados (punto An0) donde el arroyo a pesar de ser época invernal, se encontraba con agua, lo que permite interpretar el aporte del medio subterráneo.

El agua que integra los distintos arroyos serranos fluye a través de la escorrentía superficial llegando a la zona pedemontana, donde se infiltra a la salida de la sierra alimentando el acuífero libre del sector pedemontano.

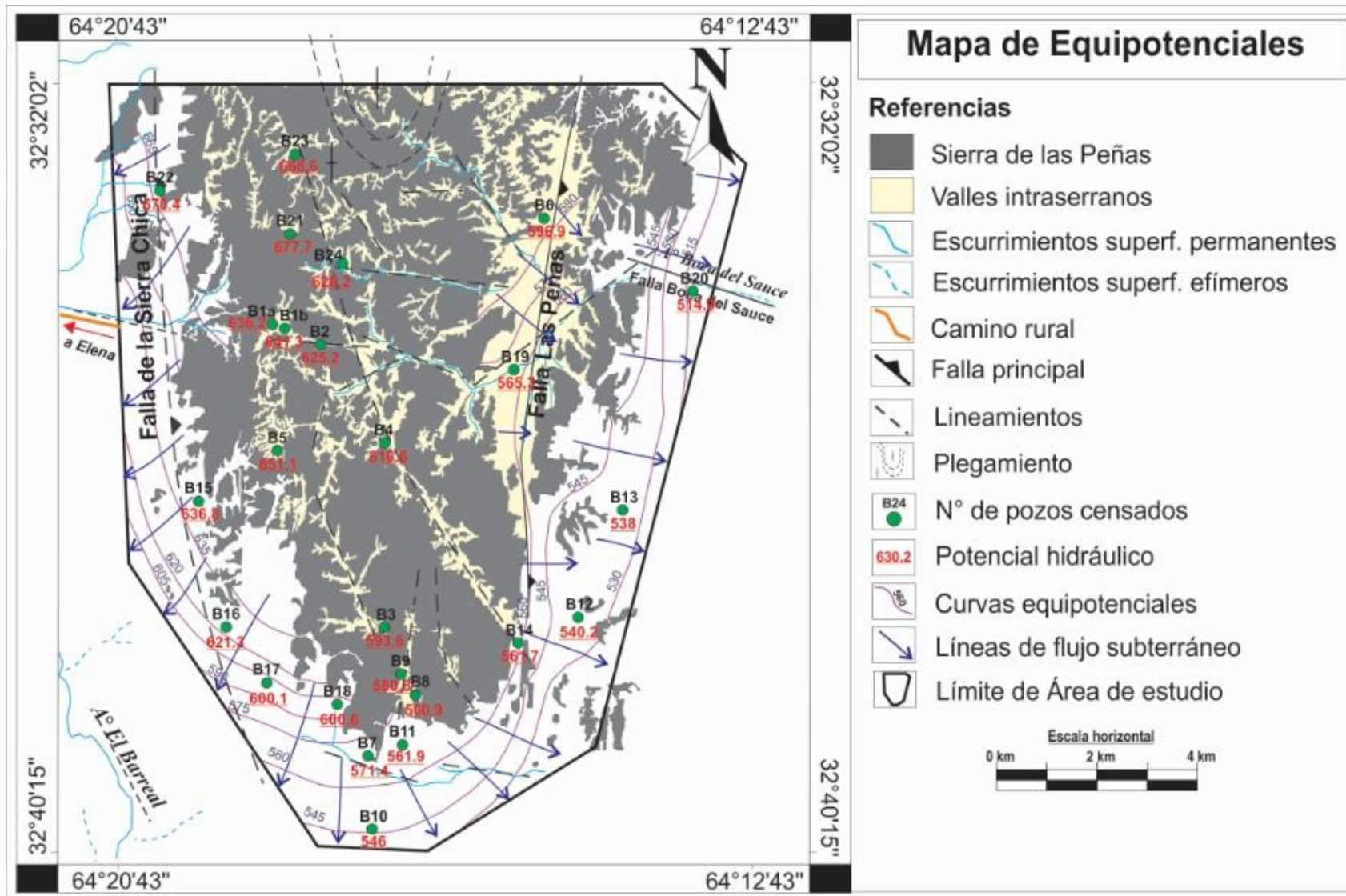


Figura N° 7.12: Mapa de equipotenciales hidráulicos. Acuífero libre.

El sector pedemontano actúa como receptor y transmisor de la llegada de agua superficial desde el cordón serrano, donde la infiltración de importantes cantidades de agua procedente de la sierra ingresa a los materiales del subsuelo constituidos por granulometrías medias/gruesas. Además de la importante función de recarga que cumple el ambiente pedemontano de la llanura más alejada de las sierras, como muestran las direcciones de flujo del agua en el mapa de potenciales hidráulicos, también el acuífero se recarga localmente a partir del agua de lluvias (Blarasin et al. 2014).

CAPÍTULO 8

HIDROGEOQUÍMICA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

8.1 Introducción

En condiciones naturales, la composición química de las aguas superficiales y subterráneas está determinada por la suma de los componentes derivados de la litología que atraviesan, por los aportes biosféricos y atmosféricos específicamente en aguas subterráneas, de las reacciones que tienen lugar a lo largo de las trayectorias de flujo en la zona saturada, siendo de suma importancia la variabilidad de los espesores de zona no saturada, las conductividades hidráulicas, los gradientes hidráulicos, la recarga y las características geológico-geomorfológicas que influyen en la dinámica y en la calidad del agua (Edmunds y Shand, 2008; Matteoda, 2012).

La adquisición de solutos está determinada por una serie de procesos y reacciones que ocurren dentro del ciclo hidrológico en escalas de tiempo de días a milenios. El suelo y la zona no saturada pueden proporcionar un entorno altamente reactivo para la disolución de minerales, cambios de alcalinidad, procesos redox, movilización de metales pesados, existencia de poblaciones microbianas capaces de catalizar reacciones químicas a poca profundidad, producción biológica de CO₂, entre otros (Edmunds y Shand, 2008).

8.2 Hidrogeoquímica general

8.2.1 Principales constituyentes químicos de aguas superficiales y subterráneas

A pesar de la variabilidad y concentración de los elementos que constituyen las aguas superficiales y subterráneas, pueden ser clasificados teóricamente, según Freeze and Cherry (1979), de acuerdo a la frecuencia en que aparecen y su valor de concentración decreciente en: *constituyentes mayoritarios o fundamentales*: aniones como HCO₃⁻, CO₃⁻², Cl⁻, SO₄⁻²; cationes tales como Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺²; *constituyentes minoritarios o secundarios*: aniones como F⁻, S⁻², NO₃⁻² y NO₂⁻², PO₄⁻², etc; cationes: Fe^{+2/+3}, Al⁺³, etc. y por último, *constituyentes trazas*: Mn⁺², Zn⁺², As^{+3/+5}, Cu⁺², Pb⁺², Ni⁺², Cr^{+3/+6}, etc. La descripción de los constituyentes más significativos que definen la calidad química natural del agua subterránea, se muestra en la tabla N° 8.1.

Se debe tener en cuenta que, en condiciones particulares un elemento minoritario puede alcanzar concentraciones dentro del rango de los mayoritarios.

Tabla N° 8.1: Principales constituyentes químicos mayoritarios del agua subterránea. Conceptos tomados de Matteoda (2012) y de "La composición química de las aguas subterráneas naturales" (aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1_1.pdf).

Constituyentes	Descripción general	
Mayoritarios o fundamentales	Bicarbonatos y Carbonatos ($\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$)	Su presencia en aguas subterráneas depende de los valores de pH. Los carbonatos aparecen disueltos a pH >8.3, a pH más bajos no hay CO_3 en agua; pueden precipitar a cualquier pH bajo la condición de que hayan superado el índice de saturación.
	Sulfatos (SO_4^{2-})	El ión sulfato es muy estable, forma sales solubles a muy solubles (Kps intermedios, mayores que los bicarbonatos/carbonatos pero menores que los cloruros), y su precipitación en las aguas naturales es muy difícil, principalmente cuando existe concentración por procesos de evaporación.
	Cloruros (Cl^-)	El Cl^- forma sales muy solubles, es un ión muy estable en disolución y muy difícilmente precipitable ya que posee un Kps (producto de solubilidad) muy elevada. El Cl^- en aguas subterráneas no se oxida, ni reduce, ni precipita, ni se adsorbe. Es muy variable, desde 10 mg/L a más de 2000-3000 mg/L.
	Sodio (Na^+)	Es un ión de alta solubilidad y difícilmente precipitable, el que se ve muy afectado por el intercambio catiónico (principalmente con Ca^{++}). Puede ser liberado por la meteorización de silicatos como la albita, de la disolución de rocas sedimentarias de origen marino o bien de evaporitas con NaCl.
	Potasio (K^+)	Al igual que el Na^+ , el K^+ es altamente soluble y difícil de precipitar, y se ve muy afectado por el cambio de bases y es fuertemente absorbido por las arcillas en formación para formar parte de su estructura, contrario al Na^+ , por lo que las aguas naturales tiene menos cantidad de K^+ que de Na^+ .
	Calcio (Ca^{+2})	Suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su abundancia en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Es un elemento formador de sales solubles a muy solubles, precipita fácilmente como CaCO_3 y cuando ocurren cambios de pH puede precipitar o disolverse con facilidad.
	Magnesio (Mg^{+2})	Este ión procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomías, calizas, evaporitas, etc.) y de la alteración de algunos silicatos ferromagnesianos. Puede formar sales solubles hasta muy solubles y es fácil de precipitar. Suele asociarse a iones carbonatos o bicarbonatos, como por ejemplo la magnesita (MgCO_3) que es mucho más soluble que la calcita en aguas subterráneas naturales.

Las actividades humanas pueden dar lugar a composiciones de aguas que exceden los rangos de concentraciones de las aguas naturales.

La composición química natural o *fondo natural del agua* es el rango o intervalo de concentraciones de iones, isótopos o compuestos químicos en disolución que procedan en su totalidad de fuentes naturales, geológicas, biológicas y/o atmosféricas en condiciones tal que no sean perturbadas por las actividades antrópicas (Edmunds y Shand 2008). Sin embargo, cuando se realizan estudios cuali-cuantitativos de "fondo natural", deben realizarse estudios más específicos para saber si los elementos pueden proceder de fuentes naturales o antrópicas y si se está determinando un fondo natural o en realidad podría ser el "fondo actual" en el que ya hay una participación de aportes

humanos que no logran poder separarse. El estudio se realiza en base a un análisis estadístico de detalle, donde uno de los pasos más importantes para conocer el fondo natural de los componentes del agua es saber cuáles son las mejores distribuciones teóricas de la variable química analizada con el fin de obtener una estimación óptima de valores de fondo y posibles anomalías (Manzano et al., 2003; Blarasin et al., 2006, 2008; Matteoda et al., 2008; 2009; 2010; Matteoda y Blarasin, 2013; 2014; 2016). Luego los valores hallados en cada estudio se contrastan contra valores asumidos como naturales para interpretar la existencia o no de contaminación.

8.3 Hidrogeoquímica Regional

8.3.1 Hidrogeoquímica superficial

En relación a las aguas superficiales, la mayoría de los ríos y arroyos del Sur de la provincia de Córdoba muestran aguas dulces, con valores entre 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en sector serrano y 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en áreas de descarga. Presentan una evolución geoquímica normal, en función del sentido de escurrimiento NO- SE (Blarasin et al., 2005).

Son aguas bicarbonatadas en todo su trayecto, aunque en cuenca media y baja aumentan el contenido de sulfatos y cloruros, debido también a su interacción con el agua subterránea. En áreas serranas y pedemontanas, son del tipo bicarbonatadas cálcicas haciéndose más sódicas en sectores más bajos de la llanura. En algunos sectores, se observa cierta degradación de los cuerpos de aguas superficiales debido a las actividades antrópicas (Blarasin, 2003).

8.3.2 Hidrogeoquímica subterránea

En la red de flujo de aguas subterráneas del acuífero libre de la provincia, el agua exhibe una circulación natural desde las zonas más elevadas, ubicadas en las sierras, hasta las más deprimidas situadas al este y oeste provincial. Esta circulación condiciona una evolución química con un aumento en las sales disueltas totales (SDT) en el sentido del flujo. La salinidad del agua, expresada por el parámetro conductividad eléctrica (CE) se observa en la Figura N° 8.1. En los ambientes hidrogeológicos vinculados a las sierras (valles intermontanos y medio rocoso fracturado), pedemonte, áreas fuertemente onduladas y fajas fluviales- abanicos proximales, la CE no supera los 1.000- 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Blarasin et al., 2014).

Cabe destacar que asociado a un aumento de la salinidad, también suele darse un exceso en los tenores de As y F^- , un problema habitual en la región. La presencia de

estos elementos está vinculada a factores naturales como una baja velocidad de circulación de las aguas a través del material loésico, valores de pH elevados, entre otros (Blarasin et al., 2014).

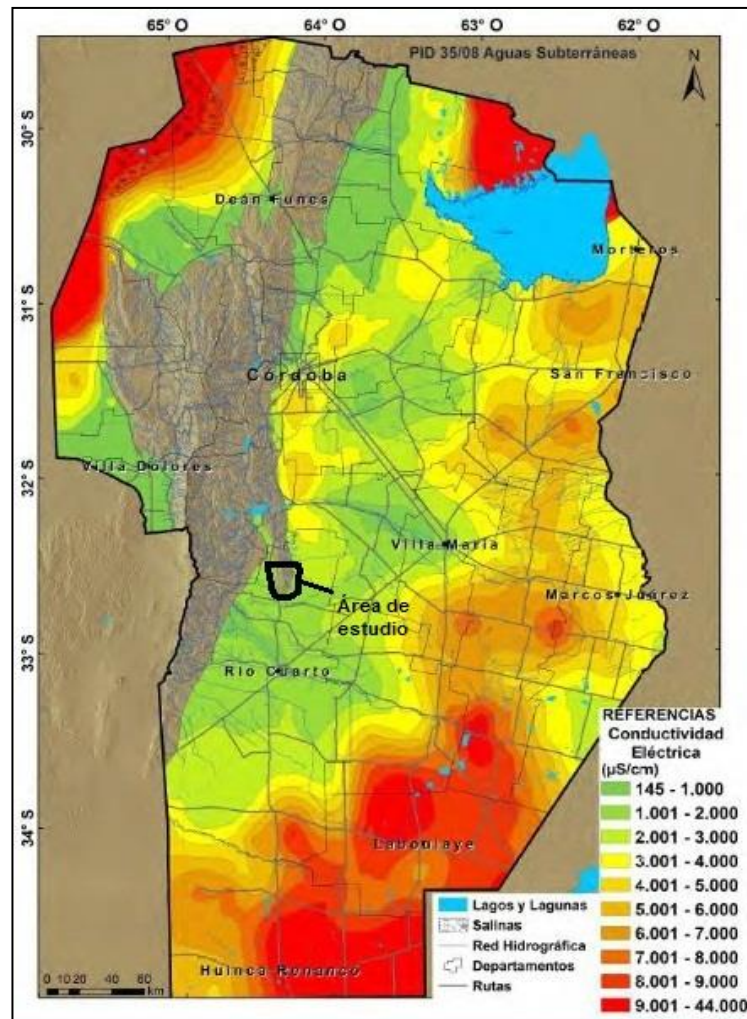


Figura N° 8.1: Distribución de la conductividad eléctrica del agua del acuífero libre de la provincia de Córdoba (Blarasin et al., 2014).

8.4 Hidrogeoquímica Local

8.4.1 Hidrogeoquímica de agua superficial

Como ya se indicara, se recolectaron 6 muestras de aguas superficiales en el área de estudio (Fig. N° 8.2), correspondientes a diferentes sistemas fluviales: los puntos An0, A3 y A5 conforman el primer sistema; los puntos A1 y A4 el segundo, y el punto A2 pertenece a un tercer sistema (ver Capítulo 7- Hidrología superficial).

Los resultados de los análisis se muestran en la tabla N° 8.2. Los estadísticos más importantes se muestran en la tabla N° 8.3.

Tabla N° 8.2: Análisis físico- químico de las muestras de aguas superficiales obtenidas en arroyos.

N° Muestra	pH	CE [μS/cm]	OD [mg/L]	SDT [mg/L]	CO ₃ ⁼ [mg/L]	CO ₃ H ⁻ [mg/L]	SO ₄ ⁼ [mg/L]	Cl ⁻ [mg/L]	Na ⁺ [mg/L]	K ⁺ [mg/L]	Ca ⁺² [mg/L]	Mg ⁺² [mg/L]	NO ₃ ⁻ [mg/L]
AN0	6,9	623,0	4,0	436,1	0,0	390,0	26,4	20,0	20,2	5,3	92,0	13,7	0,2
A1	7,4	814,0	9,8	569,8	0,0	477,5	31,9	31,4	54,6	9,8	94,4	20,0	17,0
A2	8,4	777,0	10,9	543,9	4,8	477,5	28,3	31,4	67,7	11,3	96,8	22,0	0,5
A3	7,1	833,0	7,2	583,1	0,0	482,5	33,8	37,1	29,3	7,2	111,2	24,9	5,0
A4	8,8	811,0	10,0	567,7	26,7	432,5	24,8	37,1	65,2	11,6	100,0	26,3	30,0
A5	7,9	658,0		460,6	0,0	342,1	38,9	20,0	34,4	8,9	83,2	20,5	2,3

Tabla N° 8.3: Estadísticos descriptivos de las aguas superficiales de arroyos.

Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Típ
pH		6,9	8,8	7,8	7,7	0,7
CE	(μS/cm)	623	833	752,7	794	89,4
OD	(mg/L)	4	10,9	8,4	9,8	2,8
SDT	(mg/L)	436,1	583,1	526,9	555,8	62,6
CO ₃ ⁼	(mg/L)	0	26,7	5,3	0	10,7
CO ₃ H ⁻	(mg/L)	482,5	342,1	433,7	455	57,5
SO ₄ ⁼	(mg/L)	24,8	38,9	30,7	30,1	5,3
Cl ⁻	(mg/L)	20	37,1	29,5	31,4	7,8
Na ⁺	(mg/L)	20,2	67,7	45,2	44,5	20
K ⁺	(mg/L)	5,3	11,6	9	9,4	2,4
Ca ⁺²	(mg/L)	83,2	111,2	96,3	95,6	9,3
Mg ⁺²	(mg/L)	13,7	26,3	21,2	21,2	4,5
NO ₃ ⁻	(mg/L)	0,2	30	9,2	3,6	12

En general, se caracterizan por ser aguas dulces con valores máximos y mínimos de CE de 833 μS/cm y 623 μS/cm respectivamente, con una CE promedio de 752,7 μS/cm.

Los valores bajos de SDT responden a un corto tiempo de residencia de las aguas superficiales, es decir que en general son aguas recientemente recargadas a partir de las lluvias locales y que han estado poco tiempo en contacto con los sedimentos que componen los valles como para incorporar demasiados iones en solución, por lo que su salinidad es baja. Por otro lado, parte del agua puede haber llegado desde el medio fracturado en el que también las posibilidades de que el agua se cargue en solutos son bajas por la alta impermeabilidad de la roca y su menor posibilidad de aportar solutos a

partir de la meteorización en comparación con los sedimentos, ya que éstos últimos poseen alta superficie específica.



Figura N° 8.2: Aguas superficiales. A- Pto de muestreo A5; B- Pto. A2; C- Pto An0 (naciente de A3); D- Pto. A1.

Las aguas analizadas son **bicarbonatadas** donde, del total analizadas, el 66,7 % de ellas son cálcicas (4) y el 33,3 % restante (2) son bicarbonatadas cálcica- sódicas. El tipo geoquímico hallado es acorde con la entrada reciente de agua al sistema acuífero, cargada en CO₂ procedente de la atmósfera, lo que genera bicarbonatos. A su vez, el tipo cálcico dominante está vinculado a la posibilidad de disolver carbonatos que se encuentran en las litologías presentes en el lecho del arroyo. En el caso de las que tienen tipo cálcica- sódica, el aumento de Na⁺ se da por intercambio en los propios materiales del sedimento.

Algunos de estos arroyos atraviesan caminos rurales y quedan rodeados de parcelas con animales sueltos o corrales, lo que puede generar cierta contaminación.

En relación al contenido de nitratos, los valores máximos y mínimos encontrados fueron de 0,2 mg/L y 30 mg/L, asociados a las muestras An0 y A4 respectivamente. El alto tenor de nitratos obtenido en la muestra A4, con oxígeno disuelto (OD) relativamente alto de 10 mg/L, podría relacionarse a la presencia de materia fecal animal que se observó en los márgenes.

En la figura N° 8.3, se observan los contenidos de OD encontrados en las aguas superficiales en relación a las concentraciones de nitratos. Aquí se puede apreciar que la misma no es buena. Esto se debe a que, aún en aguas con bajos valores de OD (> a 1 mg/L), pueden mantenerse los nitratos en solución.

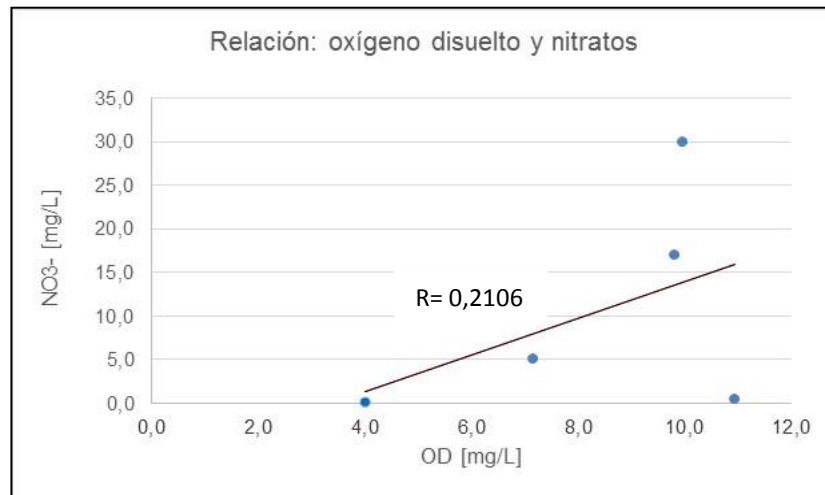


Figura N° 8.3: Relación entre valores de OD y NO₃⁻. Aguas superficiales

Se encontraron valores anómalos de pH y OD en la muestra An0, siendo su pH el más bajo de las seis muestras (6,9), al igual que su contenido de OD (4 mg/L). Este sitio estaba ligado a la ganadería ya que había animales asentados en sus márgenes, y además presentaba una gran eutrofización y explosión algal. Luego, la degradación de la MO procedente de las propias algas que mueren, acidifican el medio y bajan el valor de oxígeno.

Los pH medidos son débilmente alcalinos, como se observa en la tabla correspondiente. El máximo valor de pH registrado fue de 8,8 perteneciente a la muestra A4, que posee un OD de 10 mg/L; esta muestra también posee la mayor concentración de

CO₃⁻² en solución de 26,7 mg/L, y es un pH típico de aguas superficiales en contacto con el CO₂ del aire y con carbonatos dispersos, no afectada por la posible acidificación que provoca la llegada de MO. Otra de las muestras que presentó carbonatos en solución fue A2 con un valor de 4,85 mg/L a un pH de 8,4.

Respecto al contenido en **OD**, el máximo tenor corresponde a la muestra A2 con 10,9 mg/L (a pH 8,4). El valor mínimo corresponde a la muestra An0 (4 mg/L). Los valores de OD se relacionan a la turbulencia del flujo y al impacto o no de llegada de contaminantes, especialmente la MO que es agente reductor. Como se observa en la figura N° 8.4, la actividad ganadera demuestra su impacto al bajar los valores de oxígeno, el cual es usado para oxidar la MO.

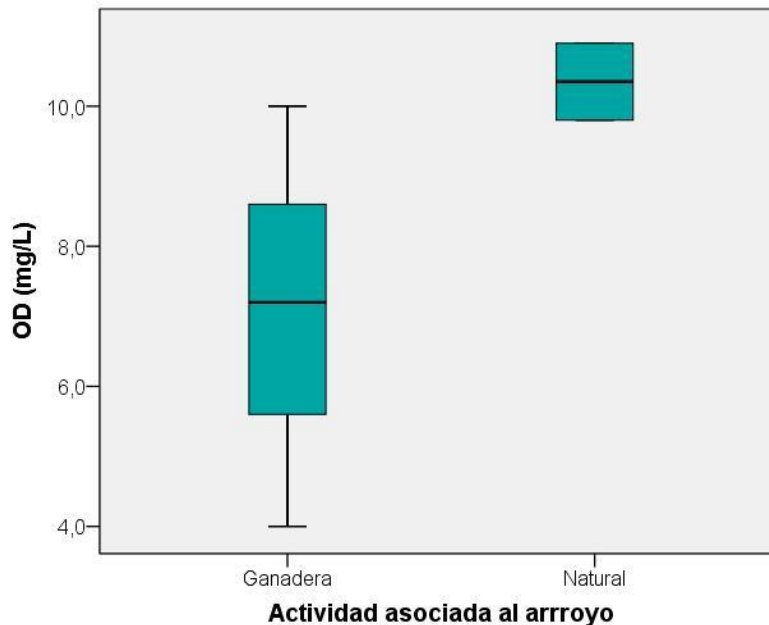


Figura N° 8.4: Distribución de valores de OD según la actividad asociada al arroyo. Aguas superficiales

Los arroyos con menor impacto local de actividades antrópicas muestran los valores más altos de OD ya que no es consumido en la oxidación de MO, a excepción del punto A4 que mostraba intervenciones animales y a partir de ello se encontró la presencia de nitratos, el más alto registrado para aguas superficiales.



Figura N° 8.5: Ganado bovino en márgenes del arroyo. Punto de muestreo An0.

En la figura N° 8.6, se reflejan los resultados obtenidos de OD en diagramas de cajas tanto para muestras de aguas superficiales como subterráneas a modo de comparación.

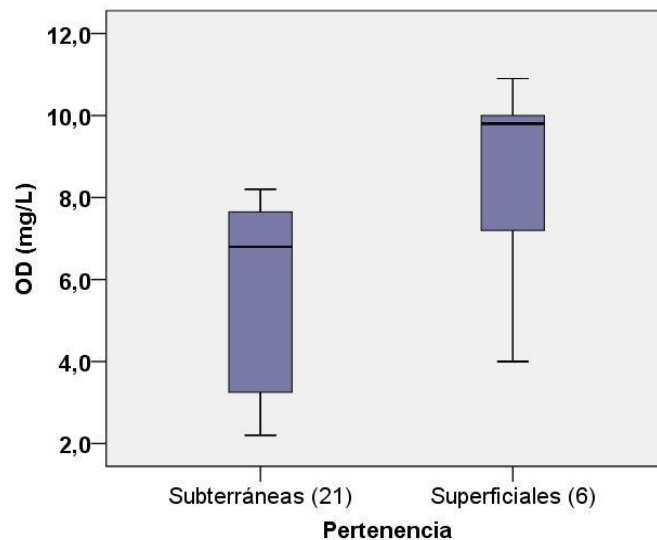


Figura N° 8.6: Distribución de los valores de OD en aguas superficiales y subterráneas de la zona de estudio.

Como se observa, las muestras de agua subterránea muestran una mediana de 7 mg/L, valor normal para un acuífero libre en general no impactado y con velocidad de agua subterránea intermedia, mientras que las aguas superficiales en contacto con la atmósfera poseen valores más altos (mediana de aprox. 10 mg/L).

A continuación, se presentan los mapas de CE y clasificación geoquímica de las aguas superficiales para la zona de estudio (Fig. 8.7 y 8.8). Los intervalos representados en los mapas se implementarán también en los correspondientes para las aguas subterráneas.

8.4.2 Hidrogeoquímica subterránea

Los valores obtenidos de iones en solución se muestran en la tabla N° 8.4 y los estadísticos más importantes en la tabla N° 8.5.

Tabla N° 8.4: Análisis físico- químicos de las muestras de aguas subterráneas. Acuífero libre.

N° Muestra	pH	CE [μS/cm]	OD [mg/L]	SDT [mg/L]	CO ₃ ⁼ [mg/L]	CO ₃ H ⁻ [mg/L]	SO ₄ ⁼ [mg/L]	Cl ⁻ [mg/L]	Na ⁺ [mg/L]	K ⁺ [mg/L]	Ca ⁺² [mg/L]	Mg ⁺² [mg/L]	NO ₃ ⁻ [mg/L]
B1	6,8	919,0	2,2	643,3	0,0	495,0	38,9	31,4	22,2	10,5	120,0	24,9	83,0
B2	6,7	900,0	3,6	630,0	0,0	480,0	47,2	31,4	46,5	12,2	116,0	31,2	62,0
B4	6,8	698,0	2,2	488,6	0,0	440,0	21,2	20,0	20,2	5,1	112,8	14,1	3,0
B5	6,4	446,0	2,9	312,2	0,0	260,0	22,4	17,1	20,2	2,3	58,4	15,6	5,0
B6	6,9	1197,0	7,6	837,9	0,0	527,5	66,2	42,9	178,0	9,7	91,2	24,9	130,0
B9	7,6	1023,0	2,7	716,1	0,0	525,0	35,4	54,3	157,7	20,5	78,4	22,4	82,0
B10	8,1	2550,0	7,7	1785,0	0,0	790,0	698,3	54,3	550,1	19,0	22,4	15,1	65,0
B11	7,9	1188,0	7,3	831,6	0,0	637,5	51,7	40,0	293,2	11,0	21,6	14,6	62,0
B12	8,5	1093,0	8,2	765,1	10,9	581,3	20,1	34,3	275,0	8,1	25,6	11,7	58,0
B13	8,0	1978,0	4,5	1384,6	0,0	725,0	146,3	85,7	412,5	10,5	35,2	24,9	170,0
B14	7,8	1290,0	6,8	903,0	0,0	527,5	206,8	57,1	173,9	10,4	68,8	46,8	65,0
B15	7,7	741,0	6,4	518,7	0,0	357,5	31,5	20,0	36,4	11,3	93,6	30,7	85,0
B16	8,1	1310,0	8,2	917,0	0,0	682,5	45,2	28,6	319,5	14,4	24,0	8,8	77,0
B17	8,3	2660,0	7,7	1862,0	0,0	762,5	718,5	54,3	699,7	14,8	36,8	13,2	88,0
B18	8,0	1132,0	6,8	792,4	0,0	575,0	46,0	34,3	192,1	13,3	79,2	30,2	88,0
B19	7,4	766,0		536,2	0,0	388,1	27,9	24,3	55,6	11,4	93,2	10,0	6,5
B20	7,9	1674,0		1171,8	0,0	652,6	353,0	37,1	434,8	12,6	36,0	8,8	9,0
B21	7,4	472,0		330,4	0,0	264,5	25,6	8,6	15,2	5,1	76,8	9,3	0,4
B22	7,2	636,0		445,2	0,0	339,3	33,8	14,3	22,2	8,5	98,4	12,7	3,0
B23	7,3	546,0		382,2	0,0	313,4	26,4	11,4	29,3	6,3	66,4	24,4	0,0
B24	7,3	584,0		408,8	0,0	319,1	34,2	11,4	24,3	6,9	77,6	20,5	0,0

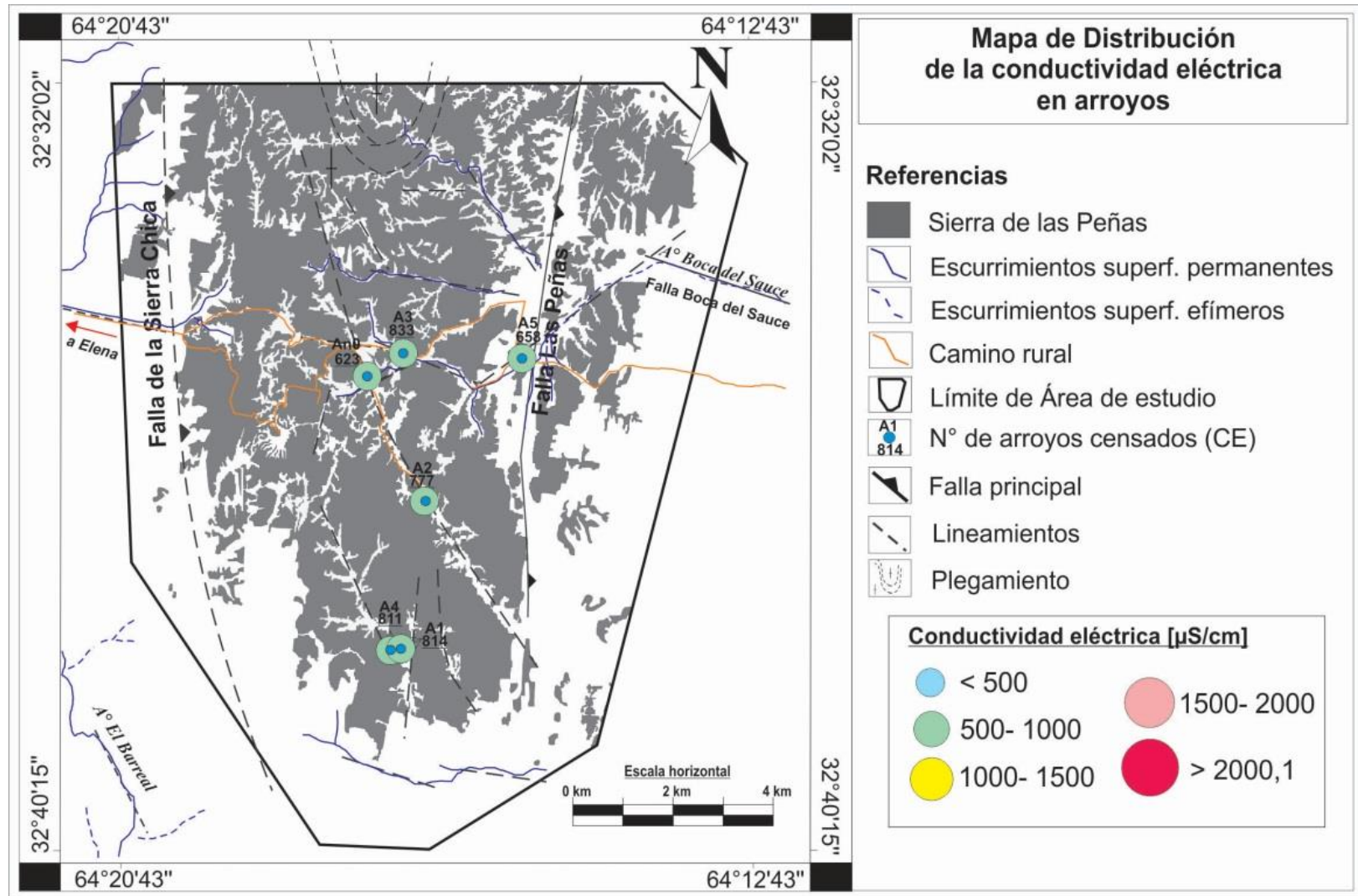


Figura N° 8.7: Mapa de distribución de la conductividad eléctrica en muestras de aguas superficiales pertenecientes a arroyos.

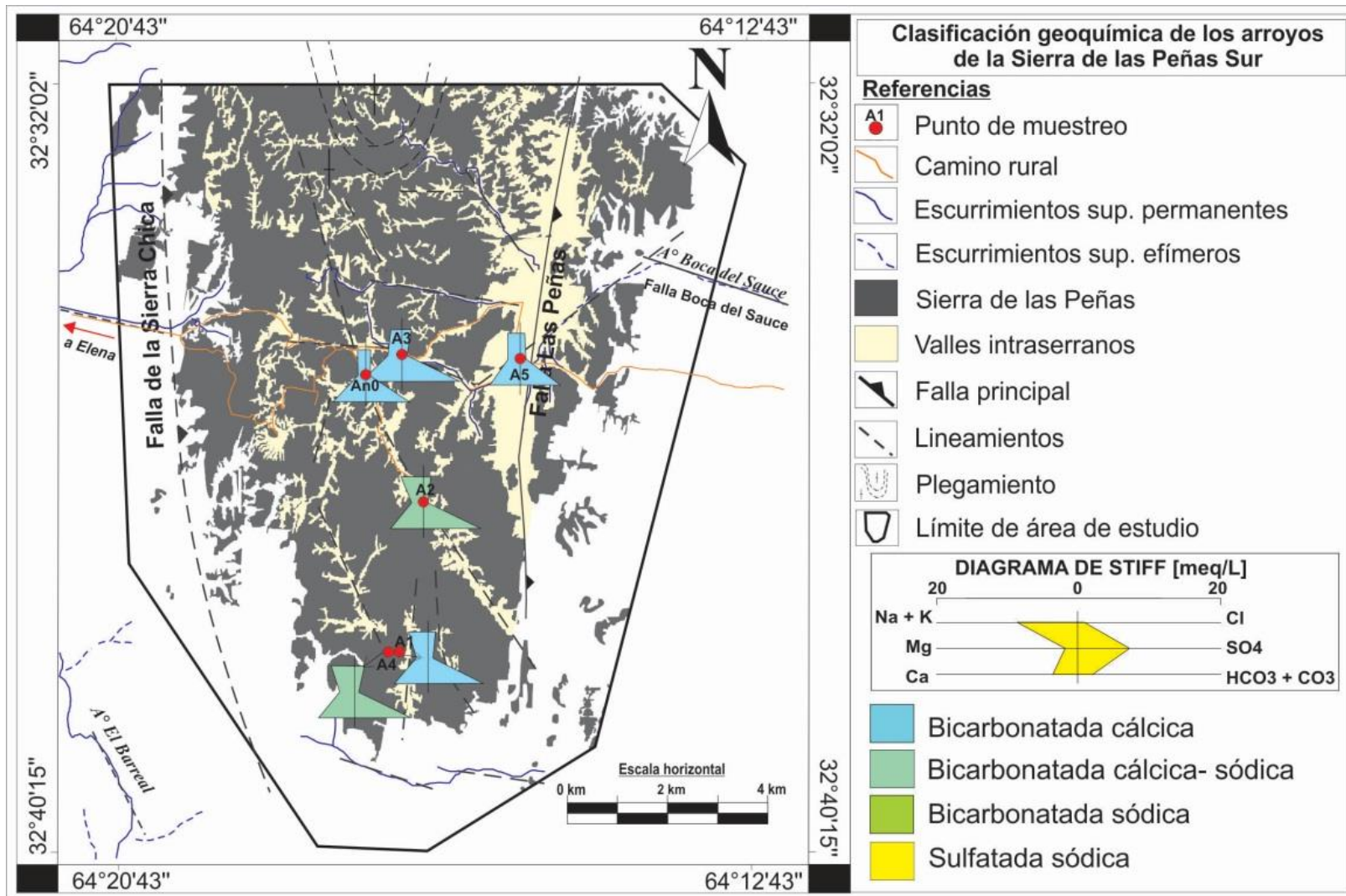


Figura N° 8.8: Diagramas de Stiff. Aguas superficiales.

Tabla N° 8.5: Estadísticos descriptivos de las aguas subterráneas.

Parámetros	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Típ
pH		6,4	8,5	7,5	7,6	0,6
CE	($\mu\text{S/cm}$)	446	2660	1133,5	1023	624,6
OD	(mg/L)	2,2	8,2	5,6	6,8	2,3
SDT	(mg/L)	312,2	1862	793,4	716,1	437,2
$\text{CO}_3^{=}$	(mg/L)	0	10,9	0,5	0	2,4
$\text{CO}_3\text{H}^{\cdot}$	(mg/L)	260	790	506,8	525	163,7
$\text{SO}_4^{=}$	(mg/L)	20,1	718,5	128,4	38,9	208,5
Cl^{\cdot}	(mg/L)	8,6	85,7	33,9	31,4	19,3
Na^{\cdot}	(mg/L)	15,2	699,7	189,5	157,7	199,4
K^{\cdot}	(mg/L)	2,3	20,5	10,7	10,5	4,4
Ca^{+2}	(mg/L)	21,6	120	68,2	76,8	32,6
Mg^{+2}	(mg/L)	8,8	46,8	19,8	15,6	9,8
NO_3^{\cdot}	(mg/L)	0	170	54,4	62	47,8

8.4.2.1 Conductividad eléctrica (CE)

Se efectuó un mapa de distribución de la conductividad eléctrica (Fig. N° 8.9), representado con círculos a intervalos de [500 $\mu\text{S/cm}$], en el que se observa que los valores más bajos se concentran en los valles intraserranos del sector centro-occidental del área de estudio.

Los valores menores a 500 $\mu\text{S/cm}$ que se presentan en valles incluyen a los puntos de muestreo B5 y B21, mientras que valores entre 500- 1.000 $\mu\text{S/cm}$ se distribuyen en los restantes valles centrales de la sierra y en el pedemonte próximo al flanco occidental. Esta disposición de las menores concentraciones de CE se debe a que son sectores altos desde el punto de vista topográfico en donde las aguas subterráneas derivan de recargas recientes de lluvias locales. Si bien los materiales que integran los valles poseen una granulometría variada, dominan arenas finas y muy finas y también hay sedimentos más gruesos, todo lo cual permite la infiltración de agua. Estos aspectos, los cortos recorridos del agua en el ambiente serrano y las mayores pendientes del mismo producen en general bajos tiempos de contacto con los sedimentos generando escasos procesos de incorporación de solutos al agua. Además, el medio rocoso cede agua de baja salinidad hacia el acuífero sedimentario a través de las fracturas y diaclasas (escaso contacto agua- roca). En el flanco occidental, en la zona de la escarpa, la circulación del agua subterránea con alto gradiente hídrico disminuye también la incorporación de solutos, por lo que en ese ambiente son aguas de baja salinidad.

Los sitios de muestreo incluidos en intervalos de 1.000- 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ocurren en los valles intraserranos más australes, en sitios ubicados en el pedemonte occidental austral y en el punto B6 ubicado en el valle Las Peñas, que es el de mayor tamaño. A medida que se produce un alejamiento desde la sierra es normal un aumento de la CE debido al contacto agua- sedimento a través del flujo y de la incorporación de iones en solución, principalmente en el pedemonte. Se destacan aquellos puntos localizados en valles cercanos al pedemonte austral/ oriental ya que posiblemente el incremento en la salinidad del agua resulte de una combinación de menores velocidades y/o influencia de actividades antrópicas.

En el pedemonte oriental, los valores de CE se encuentran entre 1.500- 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, vinculados a los puntos B13 y B20. Son sitios donde si bien predominan los materiales aluvio- coluviales y fluviales con cubierta eólica, las actividades agrícolas-ganaderas están vinculadas a las perforaciones, tal es el caso del punto B13 que se encontraba rodeado de corrales bovinos y porcinos y el punto B20 localizado en medio de lote sembrado con soja, por lo que pueden influir en la calidad natural del agua. No se descarta que el principal factor de la salinidad sea natural, es decir la presencia de materiales finos en el perfil litológico que aporten más solutos.

A la salida de las sierras hacia sur del área de estudio, en pleno pedemonte, los valores de CE se incrementan considerablemente. Son los casos de captaciones como B10 y B17 con valores entre 2.550 y 2.660 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, resultando los más altos para toda la zona de estudio.

Este modelo, en general, sigue la evolución hidrogeoquímica regional, donde la salinidad es baja en ambiente serrano y aumenta hacia los sectores de pedemonte y de llanura (Blarasin et al. 2014).

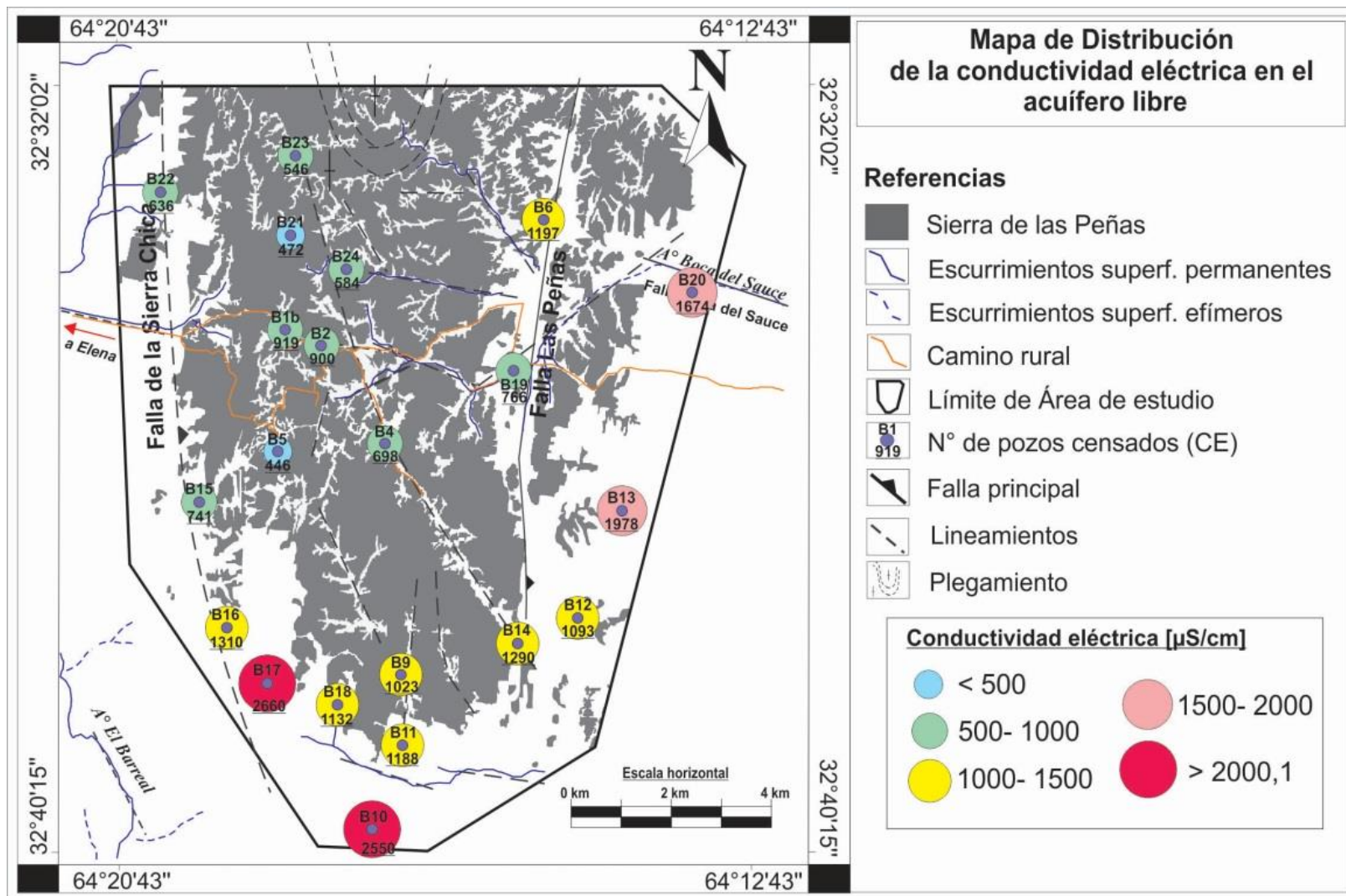


Figura N° 8.9: Mapa de distribución de la conductividad eléctrica en muestras de agua subterránea. Acuífero libre.

8.4.2.2 Análisis de los componentes disueltos

En esta sección, se analizan la composición química del agua subterránea del acuífero libre a partir del análisis de los diferentes componentes disueltos.

8.4.2.2.1 Análisis de los componentes mayoritarios

Bicarbonatos y Carbonatos

Se encontraron valores máximos y mínimos de HCO_3^- de 790 mg/L y 260 mg/L respectivamente, con una media de 506,8 mg/L. Las medianas más elevadas muestran mayores concentraciones en el pedemonte occidental y oriental, similares entre sí, aspecto vinculado al aumento del ión en el sentido del flujo en relación a lo que se disolvió en los valles, los que muestran la menor mediana.

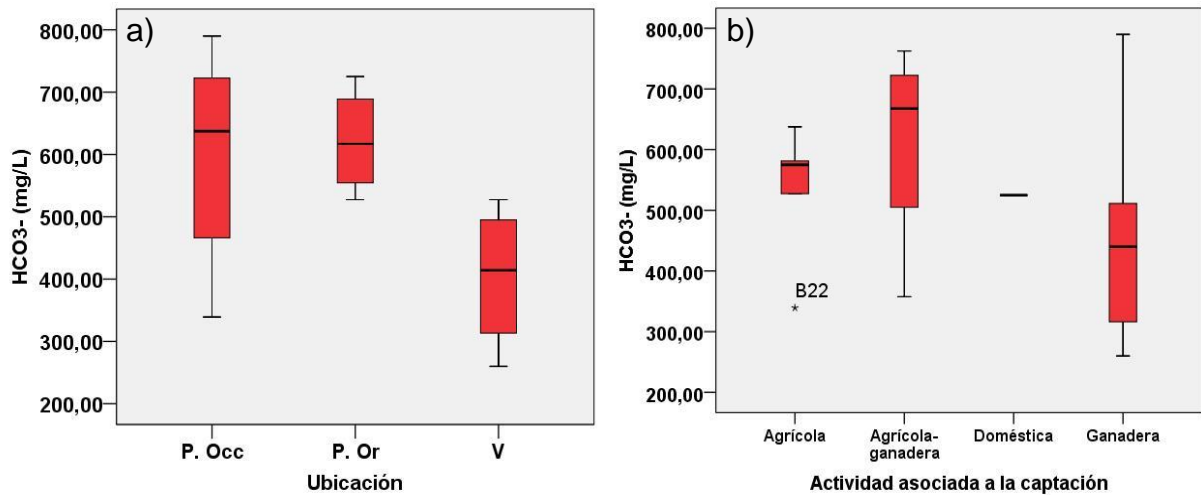


Figura N° 8.10: a) Contenido de HCO_3^- en aguas subterráneas según su ubicación; b) HCO_3^- según la actividad asociada a la captación. P.Occ= pedemonte occidental; P.Or= pedemonte oriental; V= valles intraserranos.

Si bien la mayor parte de los contenidos de bicarbonatos derivan de procesos naturales, tal como se observa en el gráfico de la fig. N° 8.10 (b), las mayores medianas se corresponden con las actividades agrícolas y agrícolas- ganaderas, por lo que se puede inferir que la concentración de este ión podría estar parcialmente influenciada por tal uso.

En relación a los contenidos de carbonatos en la zona de estudio, sólo la muestra B12 presentó iones CO_3^{2-} en solución con un valor de 10,9 mg/L (a pH= 8,5).

Sulfatos

Los valores de SO_4^{-2} en el acuífero se asumen que provienen de procesos naturales debido a la disolución de algunos minerales (ej.: yeso) o ser aportados por las lluvias, siendo este último origen el ya probado en la región como dominante, dada la poca posibilidad de que haya minerales que lo aporten (Blarasin et al., 2014).

En el caso de estudio se observa que los diagramas de cajas realizados para el ión SO_4^{-2} (figura N° 8.11 a) resultaron con mayor dispersión en muestras ubicadas en el área pedemontana, con valores máximos y mínimos de 718,5 mg/L y 20,1 mg/L respectivamente. La media para todas las muestras es de 128,4 mg/L, mientras que la caja del pedemonte oriental es más simétrica y con mayor mediana que en el occidental, respondiendo a un contenido homogéneo de sulfatos en esas muestras. En cambio, y aunque la mediana de SO_4^{-2} del flanco occidental es más pequeña, muestra una gran dispersión de valores siendo los más altos aquellos vinculadas a las 2 muestras del sector austral (B10 y B17).

En los valles, la mediana es la más baja y la caja más pequeña respondiendo a la escasez de este compuesto en el agua de esos sitios. Los aumentos observados se asumen como resultantes del ingreso del ión a la solución durante el flujo.

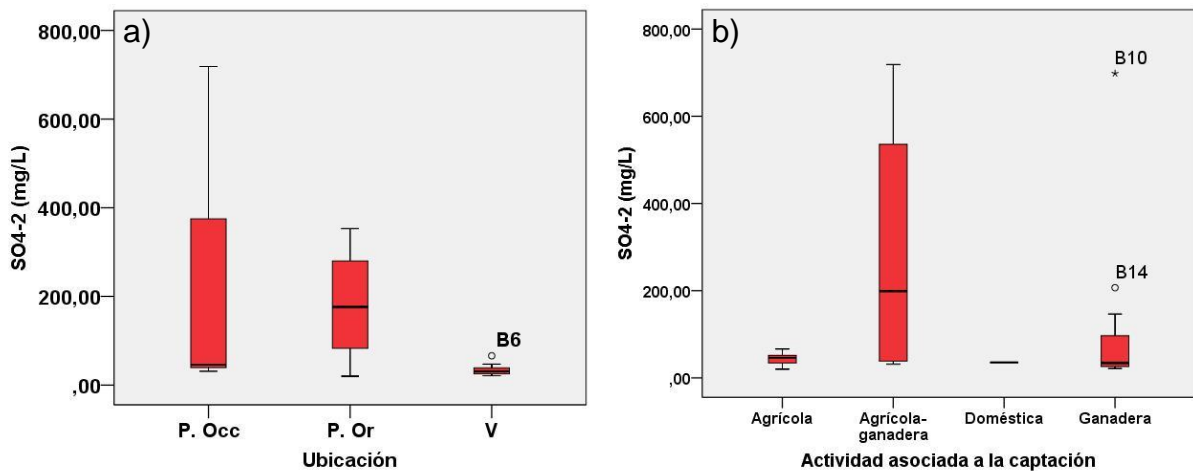


Figura N° 8.11: a) Contenido de SO_4^{-2} en aguas subterráneas según su ubicación; b) SO_4^{-2} según la actividad asociada a la captación.

Si se observa la distribución de este compuesto en la figura 8.11 (b) según uso del territorio, se observa que la mediana más alta es para la actividad agrícola-ganadera, por lo que podría haber algo de aporte a partir de dicho uso. En sitios donde resultó con valores anómalos como en los puntos B10 (outliers) y B17, el grado de aumento de este

ión puede vincularse a las actividades agrícolas- ganaderas (materia orgánica de los animales, posibles suplementos dietarios utilizados en el ganado, o bien a la implementación de determinados fertilizantes en la agricultura).

Cloruros

Los tenores de Cl^- encontrados responden a una procedencia natural a partir del agua de precipitaciones, ya que son iones que no son abundantes en áreas de sierras o medios porosos silico- clásticos, porque no hay minerales que lo aporten. Se van incorporando al agua subterránea a medida que ésta fluye a través los sedimentos del acuífero (Matteoda et al 2011; Blarasin et al. 2014).

Entre los aniones mayoritarios analizados, los Cl^- son los que presentan las menores concentraciones en el acuífero libre, dando como resultado un valor máximo de 85,7 mg/L y un mínimo de 8,6 mg/L; con un promedio total de 33,9 mg/L. Los mayores contenidos de cloruros, mostrando además mayor dispersión en los valores, se encuentran en el pedemonte oriental, aspecto resultante del flujo en un trayecto más largo desde los sectores más altos, que va recogiendo e incorporando este soluto al agua subterránea. Como en los demás compuestos mayoritarios, son notorios los menores valores concentrados en los valles serranos de zonas típicas de recarga (Fig. N° 8.12 a).

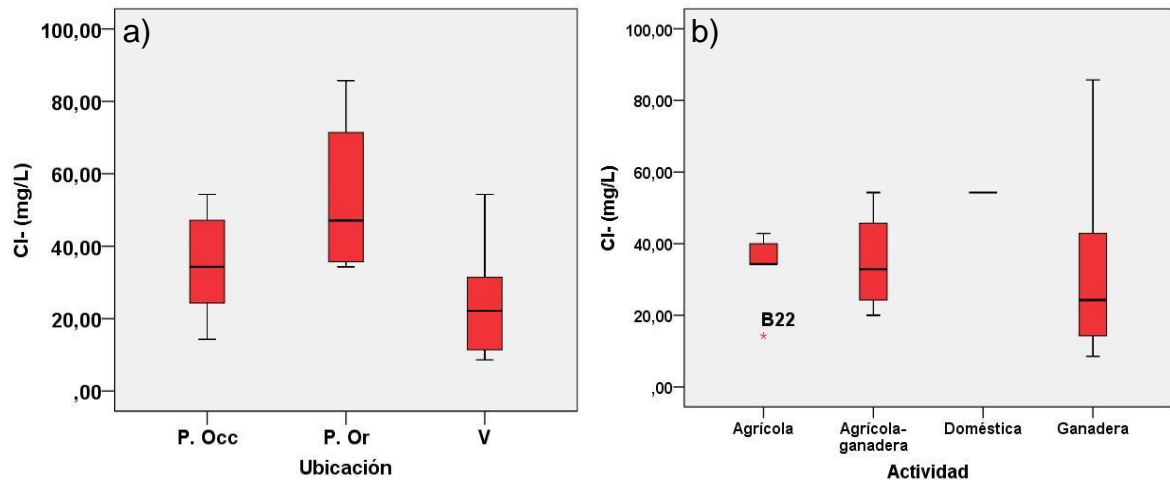


Figura N° 8.12: a) Contenido de Cl^- en aguas subterráneas según su ubicación; b) Cl^- según la actividad asociada a la captación.

En la figura 8.12 (b) se observa la vinculación entre el compuesto y las actividades humanas, destacándose nuevamente que se vinculan a la agrícola- ganadera y casi en igual medida a la ganadera. Algunos sitios de muestreo tenían sus corrales bovinos y/o porcinos rodeando o cercanos a la captación, tales son los casos de B13 y B5, en donde

el continuo aporte de excretas y purines animales al suelo puede haber infiltrado de manera efectiva, llegando iones al acuífero. Según Huala, (2012), las sales que poseen iones de sulfatos y cloruros en su composición, son aportadas al ganado por lo que podría asumirse que parcialmente estos compuestos podrían incrementarse en sitios agro-ganaderos. La única muestra asociada al uso doméstico que presenta un valor alto en cloruros es la del punto B9, obtenida en proximidad a la Capilla del Tegua, por lo que su tenor se asocia a la llegada de purines (desechos humanos) al acuífero desde algún pozo ciego.

Sodio, Potasio, Calcio y Magnesio

A continuación, se muestran los gráficos de cationes mayoritarios Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , y Mg^{+2} encontrados en las aguas subterráneas de la zona de estudio.

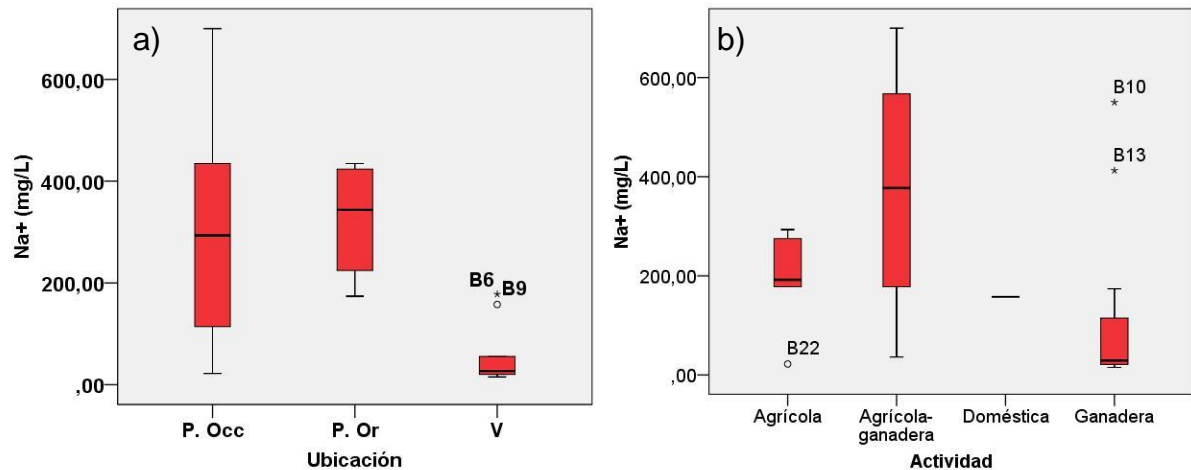


Figura N° 8.13: a) Contenido de Na^+ en aguas subterráneas según su ubicación; b) Na^+ según la actividad asociada a la captación.

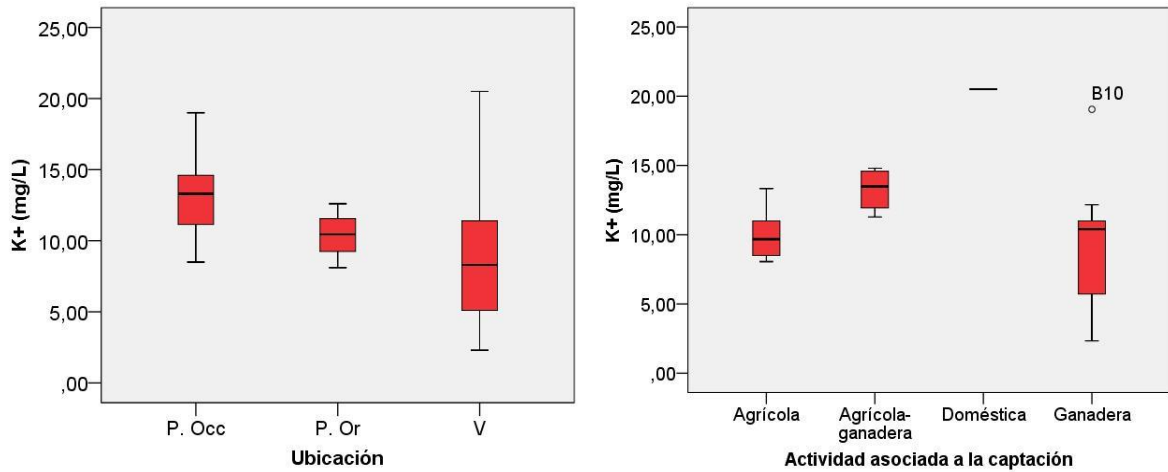


Figura N° 8.14: a) Contenido de K⁺ en aguas subterráneas según su ubicación; b) K⁺ según la actividad asociada a la captación

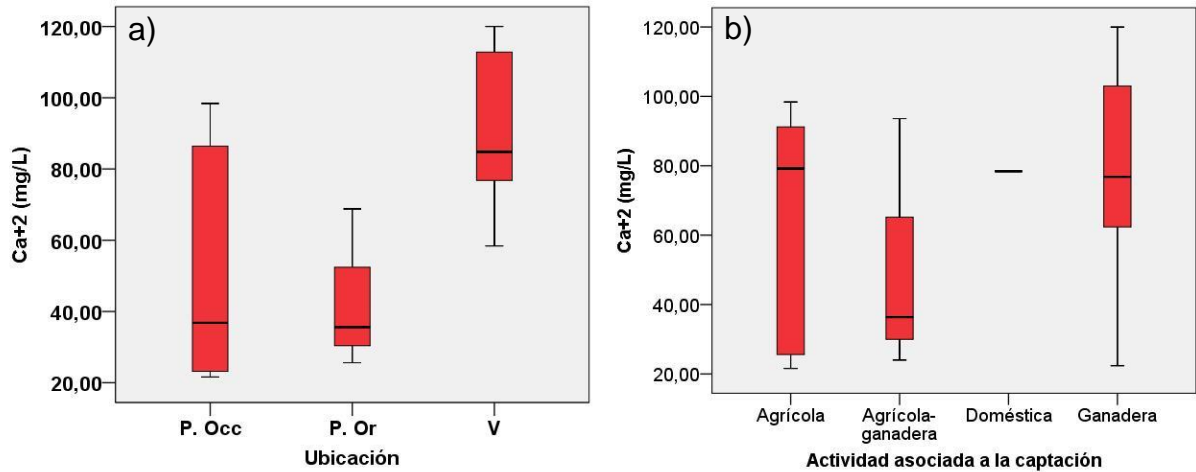


Figura N° 8.15: a) Contenido de Ca⁺² en aguas subterráneas según su ubicación; b) Ca⁺² según la actividad asociada a la captación.

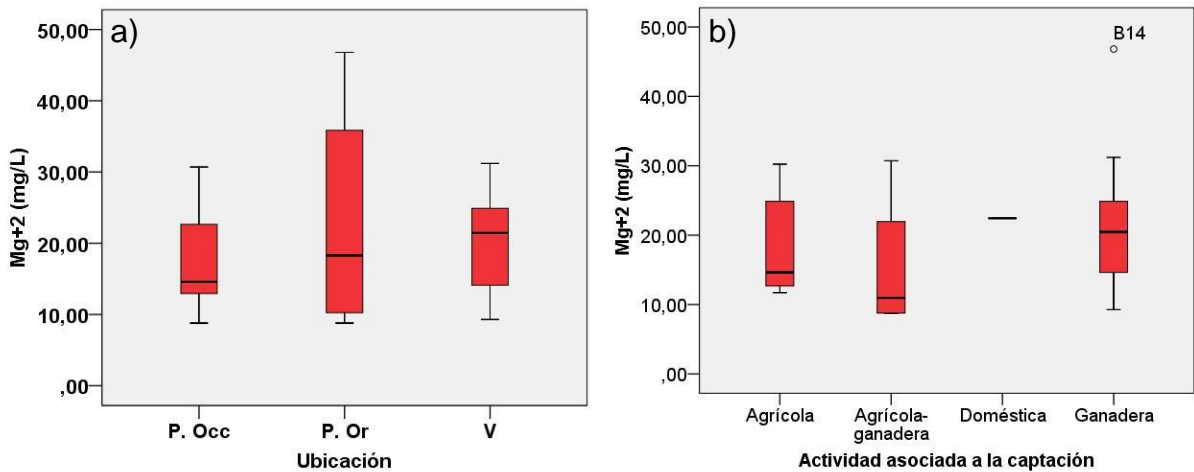


Figura N° 8.16: a) Contenido de Mg⁺² en aguas subterráneas según su ubicación; b) Mg⁺² según la actividad asociada a la captación.

En el caso de los cationes, y como puede observarse en los diagramas de caja de las figuras N° 8.13 (a), 8.14 (a), 8.15 (a) y 8.16 (a), los tenores de sodio y potasio son bajos en las muestras pertenecientes a los valles intraserranos y más elevados en los flancos, mientras que los de calcio y magnesio muestran las mayores medianas en los valles. Así, las aguas cálcico- magnésicas (derivadas de disolución carbonatos y parcialmente de hidrólisis de minerales, como por ejemplo plagioclasas, etc.) son características de los valles. Por otro lado, en el flujo radial del agua subterránea hacia las zonas pedemontanas, los procesos de intercambio iónico van generando aguas sódicas. Si bien todos estos compuestos aparecen naturalmente en el agua, el uso ganadero y agrícola podrían potenciarlos como lo indican los diagramas de cajas en los que se asoció estos iones al uso del territorio (figuras N° 8.13 b, 8.14 b, 8.15 b y 8.16 b).

8.4.2.2.1 Clasificación geoquímica

A partir de los resultados obtenidos en los análisis físicos- químicos (Tabla N° 8.4) de muestras de aguas subterráneas, se confeccionaron diagramas de Piper Hill (Fig. N° 8.17) para indicar la clasificación geoquímica de cada una de ellas. Se adicionan las muestras obtenidas de aguas superficiales.

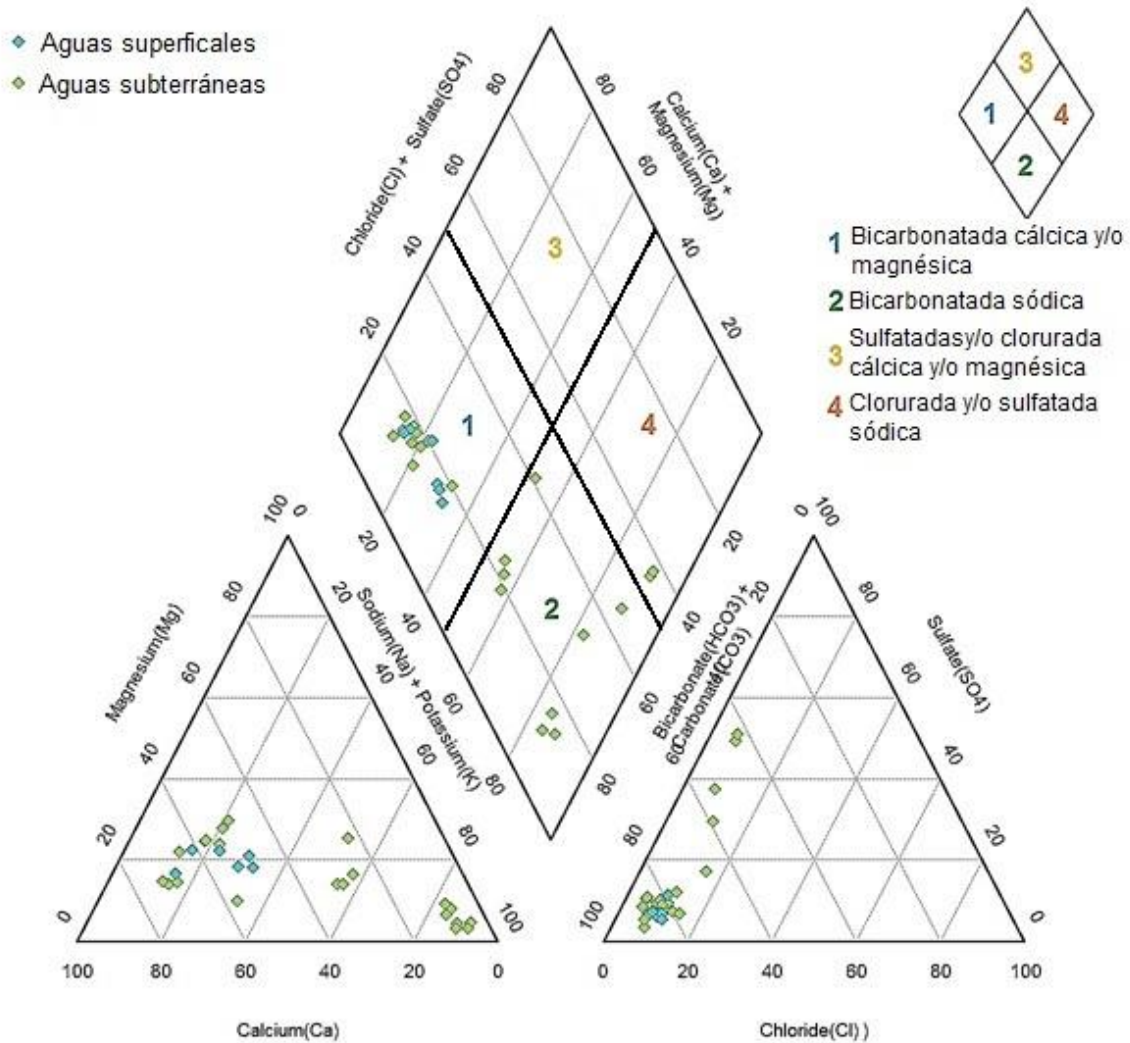


Figura N° 8.17: Diagramas de Piper Hill para muestras de aguas superficiales y subterráneas.

A partir de los resultados obtenidos, se observó que el 42,9 % de las muestras de aguas subterráneas son bicarbonatadas cálcicas (9 muestras), 42,9 % bicarbonatadas sódicas (9 muestras), un 9,5 % corresponden a aguas sulfatadas sódicas (2 muestras) y el 4,8 % restante (1 muestra) resultó ser bicarbonatada cálcica- magnésica.

Se elaboró un mapa con diagramas de Stiff (Fig. N° 8.18) para observar con mayor claridad cómo se distribuyen espacialmente las muestras de aguas subterráneas en el área en relación a su carácter geoquímico.

En los resultados obtenidos, se observa que, en relación a la distribución espacial las aguas **bicarbonatadas cálcicas y sódicas** son las dominantes, las primeras ubicándose

en los valles intraserranos centro- occidentales y en el pie de sierra, y las segundas principalmente en el pedemonte austral y oriental, inmediatas al cordón serrano.

El mapa deja claro los conceptos explicados en párrafos anteriores, es decir aguas dulces bicarbonatadas en áreas de recarga, influenciadas por el aporte del CO₂ y la disolución de carbonatos (dispersos o en capas), y luego en el sentido del flujo aguas que recogen sulfatos y cloruros, fundamentalmente aportados por lluvias aumentando el contenido de éstos, cambiando incluso el tipo geoquímico a sulfatado en el pedemonte austral en dos muestras.

Desde el punto de vista de los cationes, por las mismas razones, las aguas son cálcicas en las sierras y a lo largo del flujo por procesos de intercambio catiónico se hacen sódicas. La única muestra que responde a un carácter de agua *bicarbonatada cálcica-magnésica* (B23) se encuentra en el norte de la Sierra de las Peñas. Su aspecto puede tener control natural y/o de contaminación. El mapa de relaciones iónicas $r\text{HCO}_3^-/r\text{SO}_4^{-2}$ muestra una distribución que explica estos mismos aspectos (Figura N° 8.19).

8.4.2.2.2 Análisis de nitratos y oxígeno disuelto

Además de los elementos mayoritarios, durante los análisis físicos- químicos realizados en muestras de agua subterránea del acuífero libre se midió también un elemento minoritario como NO₃⁻, muy importante por ser usado como indicador de contaminación. Otros elementos medidos en la presente tesis fueron Fe, Mn y Zn, que se tratarán en el capítulo 9 debido a que conllevan un análisis más complejo.

En los siguientes párrafos, se establecerán intervalos de valores para NO₃⁻, teniendo en cuenta intervalos y valores característicos de fondo natural establecido por otro autor para la región en una zona aledaña y de similares características (Matteoda, 2012).

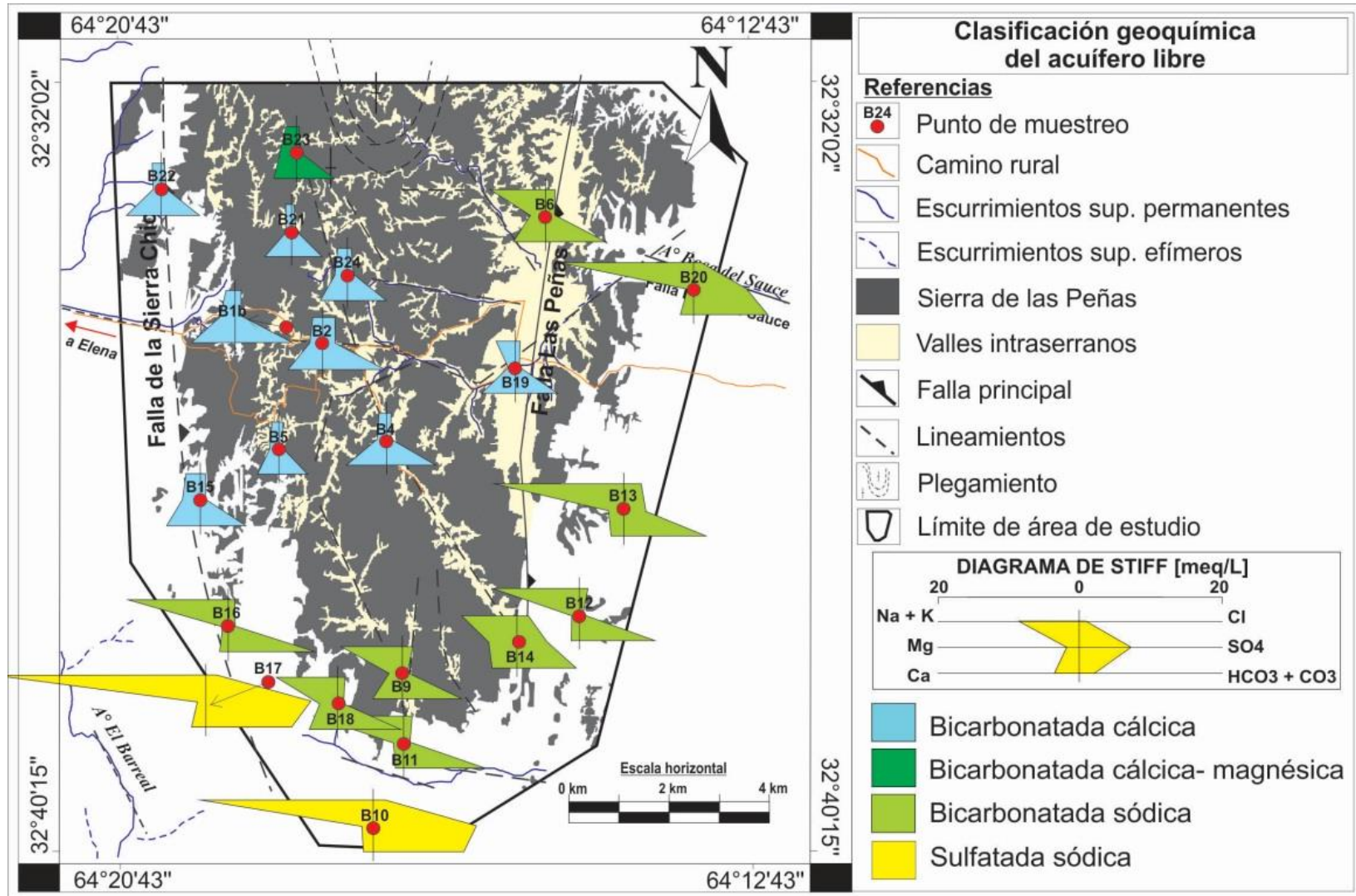


Figura N° 8.18: Diagramas de Stiff. Aguas subterráneas.

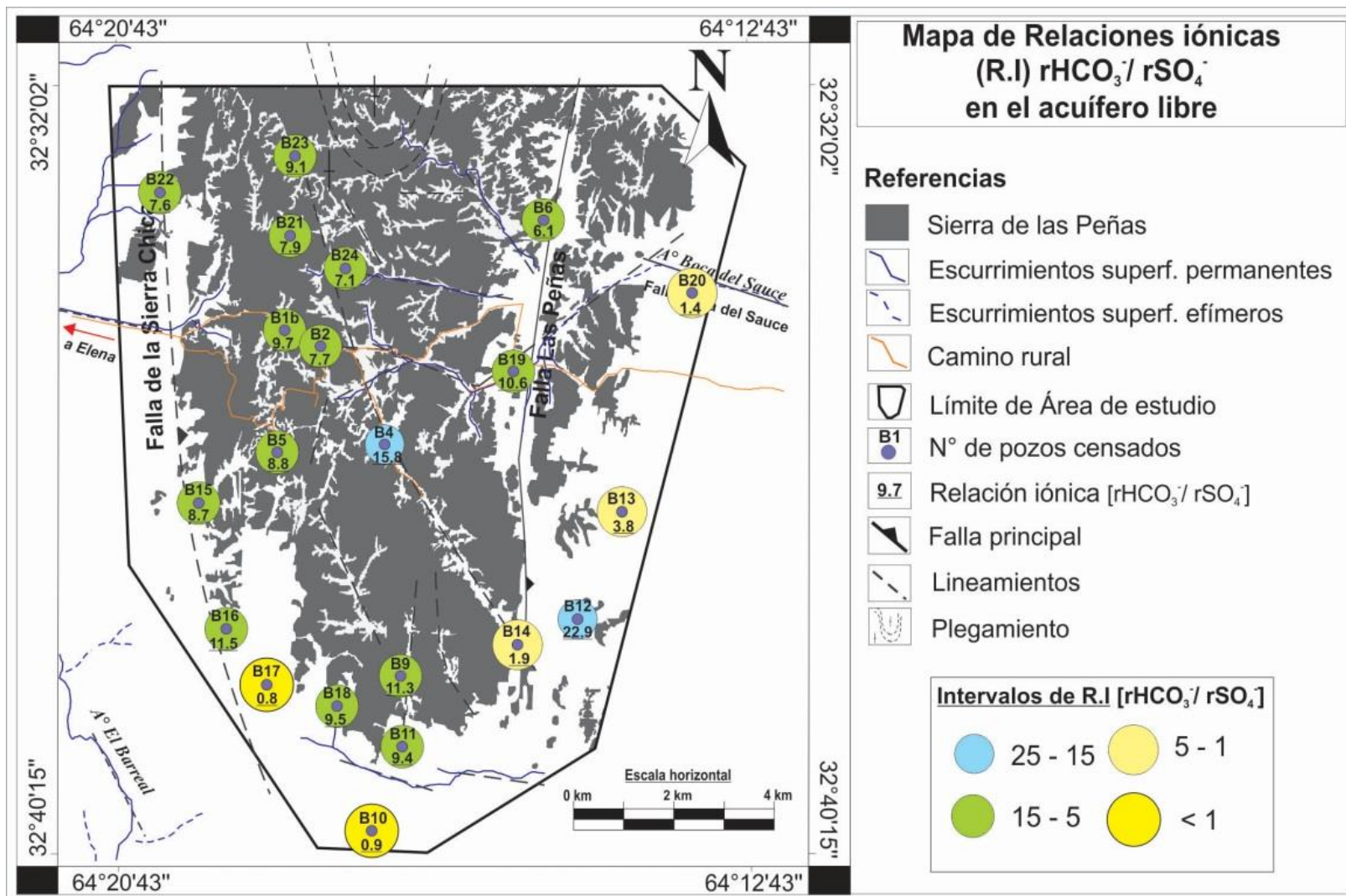


Figura N° 8.19: Mapa de relaciones iónicas $r\text{HCO}_3^-/r\text{SO}_4^-$ para las aguas subterráneas.

Nitratos (NO_3^-)

El nitrato es uno de los más problemáticos y difundidos potenciales contaminantes del agua subterránea (Keeney, 1986), en particular en áreas rurales debido a las actividades agrícolas-ganaderas (Guzik et al., 2005).

Su comportamiento es variable, por eso es indispensable determinar la fuente de incorporación del mismo al medio y su posterior evolución, como así también, las condiciones propias del medio natural, condiciones hidrogeológicas e hidrodinámicas, geomorfología local y regional que determina la infiltración, espesor y características del suelo presente (contenidos de humus, minerales arcillosos, pH, etc.), espesor de la ZNS, entre otras.

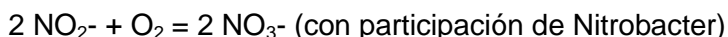
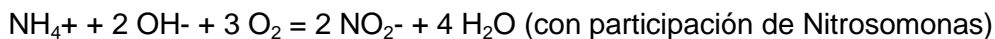
El nitrato puede ingresar a las aguas subterráneas por procesos naturales o por el efecto directo o indirecto de las actividades humanas. Los procesos naturales incluyen precipitación, el intemperismo de los minerales y la descomposición de la materia orgánica. La oxidación de la materia orgánica existente en los suelos, puede aportar bajos valores de nitratos hacia el acuífero (Blarasin et al, 2014). Por otro lado, su derivación a partir de los minerales es escasa en particular en este tipo de ambientes silico-clásticos, ya que no hay minerales que contengan este elemento químico. Los nitratos provenientes de las actividades humanas muestran en general valores más altos y proceden de la escorrentía de los terrenos cultivados, efluentes de lagunas y tanques sépticos, materia fecal animal, fertilización excesiva de nitrógeno, deforestación y el cambio de la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos (Heaton, 1986).

En la actualidad la incorporación de prácticas agrícolas y ganaderas se realizan, muchas veces, sin tener en cuenta la capacidad de soporte que pueden llegar a los sistemas en los que son vertidos, es por ésto que grandes concentraciones de N como por ej. fertilizantes, abonos, etc., son agregados al suelo y éste mediante procesos de lixiviación, escorrentía, erosión y pérdidas gaseosas es transportado hacia sistemas hidrológicos superficiales o a los acuíferos (Blarasin et al., 2006; Matteoda, 2012; Giuliano Albo, 2013).

La forma en que aparece el nitrógeno en el medio depende fuertemente de las condiciones redox. Los NO_3^- aparecen bajo condiciones oxidantes mientras que los NO_2^- lo hacen bajo condiciones reductoras o pueden proceder de contaminación reciente. El nitrógeno puede ingresar al subsuelo como N orgánico o inorgánico, dependiendo de la fuente de aporte. El N orgánico forma parte de aminoácidos, aminas, proteínas y

compuestos húmicos con bajos contenidos de N (Reddy y Patrick, 1981). Mientras que el N inorgánico se encuentra bajo la forma de N₂ gaseoso, amonio, amoníaco, nitrito y nitrato (y otros óxidos como NO, N₂O).

Cuando deriva de materia orgánica nitrogenada, la oxidación de los compuestos del nitrógeno se realiza a través de los siguientes pasos esenciales, mediados bacteriológicamente, hasta convertirse en NO₂⁻ y NO₃⁻ a través de las siguientes reacciones:



Los microorganismos que intervienen en estas reacciones son bacterias nitrificantes, quimioautótrofas y estrictamente aeróbicas, es decir, toman el oxígeno del medio para producir la oxidación del nitrógeno. Pueden hallarse también bacterias denitrificantes, que tienen un metabolismo aeróbico pero son capaces de sobrevivir en un ambiente anaeróbico, obteniendo el oxígeno del NO₃⁻, el cual es de esta manera reducido de distintas formas, alcanzando el estado final de N₂ gaseoso.

El contenido de **nitratos** en el área de estudio oscila en un rango de 0 a 170 mg/L, con una mediana de 62 mg/L. Los mayores tenores se encuentran distribuidos en el sector pedemontano y algunos valles. Al graficar los valores encontrados en un diagrama de barras (Fig. N° 8.20), teniendo en cuenta el rango superior de fondo natural de 15 mg/L obtenido de Matteoda (2012), se observa cuáles son las muestras que sobrepasan el límite del rango superior de fondo natural establecido (se añaden además las muestras de aguas superficiales). Al comparar con los valores de fondo natural los tenores encontrados en aguas subterráneas, se observa que son altos y se interpreta que están muy vinculados a las actividades agrícolas- ganaderas y subordinadamente a la agricultura (Fig. N° 8.21 a y b).

Se obtuvieron valores outliers correspondientes al punto B13, muy vinculado a la ganadería, mientras que el valor asociado al uso doméstico resultó también alto (Fig. N° 8.21 b).

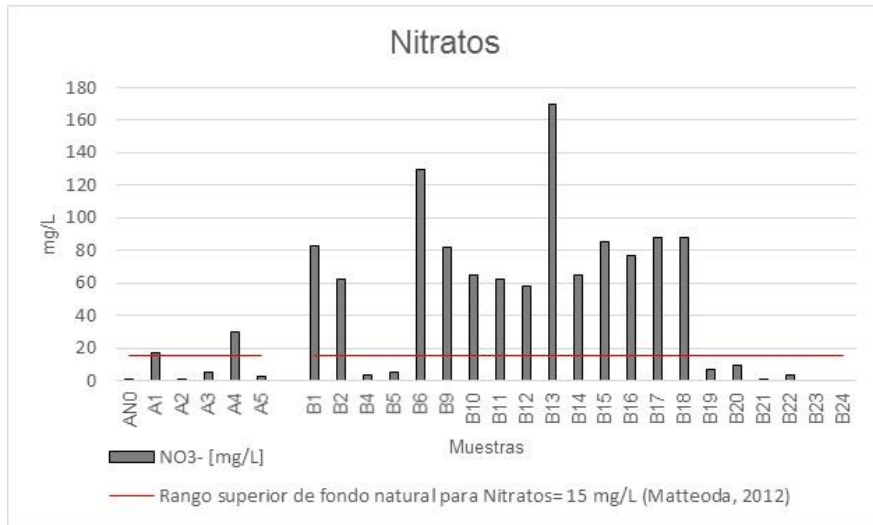


Figura N° 8.20: Concentraciones de nitratos en aguas superficiales y subterráneas del área de estudio.

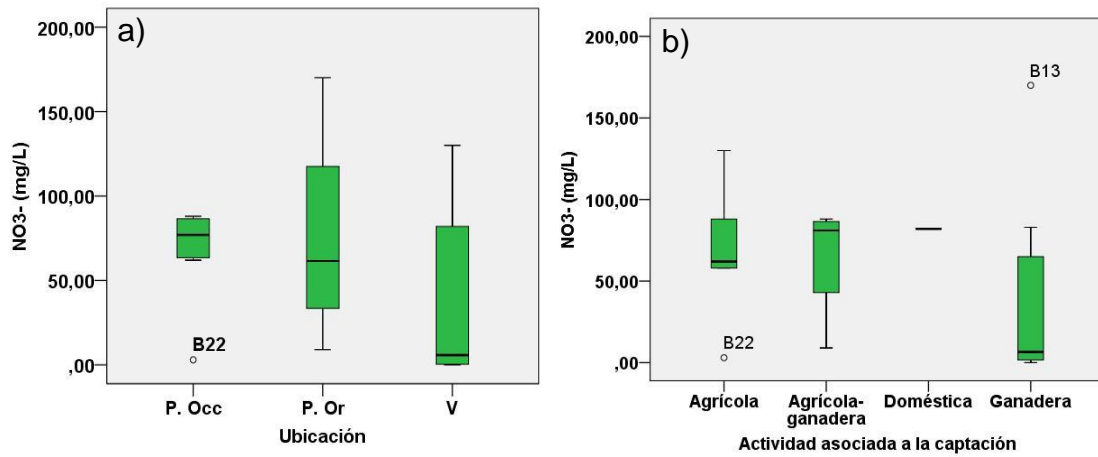


Figura N° 8.21: a) Contenido de NO₃⁻ en aguas subterráneas según su ubicación; b) NO₃⁻ según la actividad asociada a la captación.

Luego se agruparon en intervalos y se proyectaron en un mapa de distribución y concentración para nitratos (Fig. N° 8.22), adicionando también las muestras de aguas superficiales.

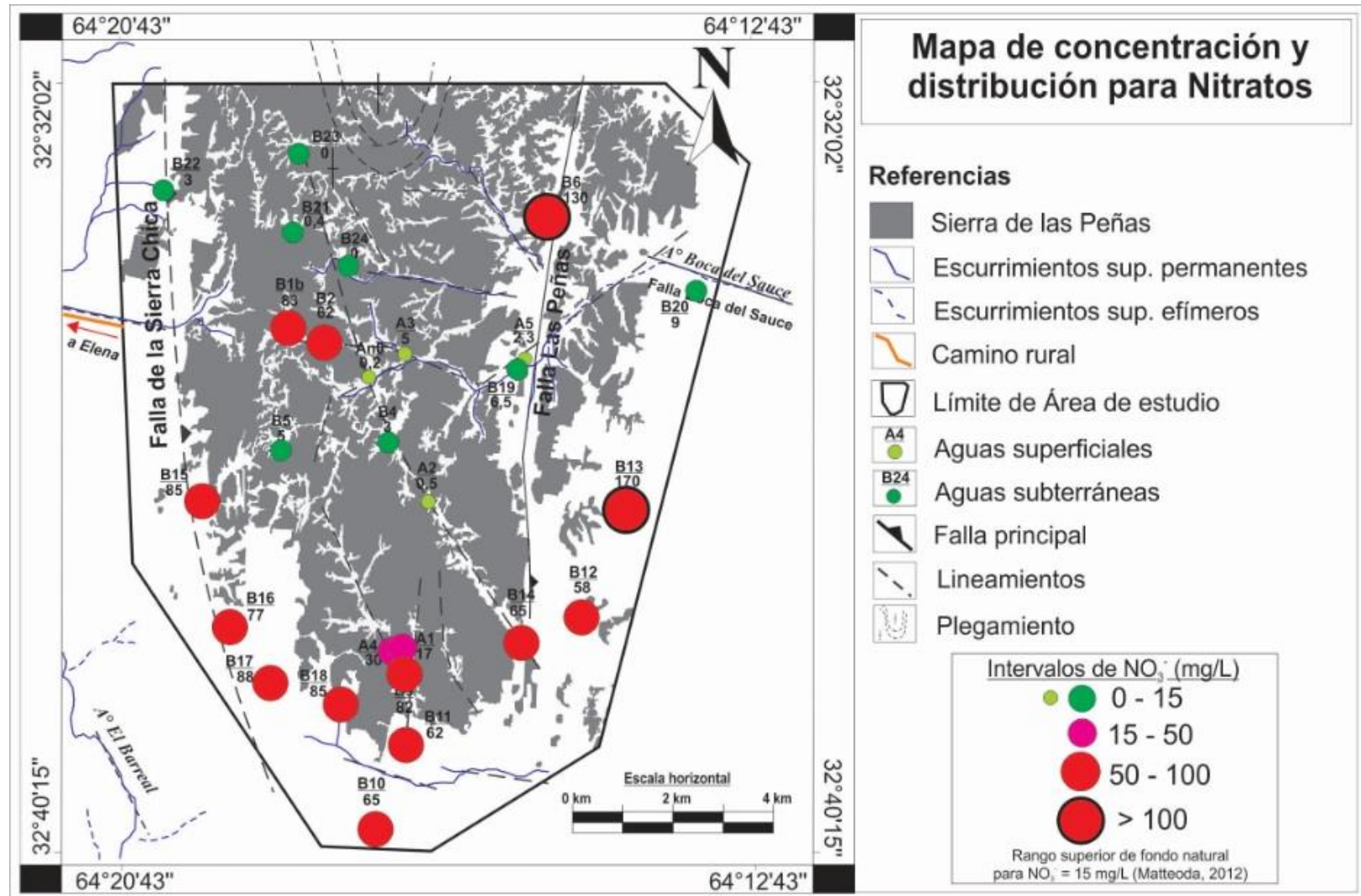


Figura N° 8.22: Mapa de concentración y distribución para Nitratos en el área de estudio. Aguas superficiales y subterráneas. Intervalos según el rango de fondo natural (Matteoda, 2012).

En el mapa de distribución y concentración de nitratos (Fig. N° 8.22), se aprecia que los menores tenores, en general, se agrupan en los valles del centro y noroeste de la sierra, mientras que las mayores concentraciones lo hacen en el ámbito pedemontano occidental y oriental. En los valles se destaca el punto B6 que contiene tenores muy elevados de nitratos, vinculados principalmente con el cultivo de maíz que rodeaba a la perforación (Fig. N° 8.23 A), por lo que deduce un posible origen antrópico a partir de la aplicación de fertilizantes. En los valles centro- occidentales que también muestran un alto contenido en nitratos (puntos B1b y B5), sus captaciones estaban rodeadas de corrales con animales por lo que se induce un aporte antrópico por parte de la ganadería.

La perforación del punto B13 (Fig. N° 8.23 B), que presenta el **valor máximo** de nitratos encontrados en la zona (170 mg/L), se sitúa en medio de un establecimiento de producción bovina y porcina en corrales. En este caso, la gran concentración de NO_3^- detectados en el agua subterránea se supone que resultan de la oxidación de la MO de procedencia animal, que llegan al acuífero a través del suelo y de la zona no saturada por infiltración de aguas residuales ganaderas.

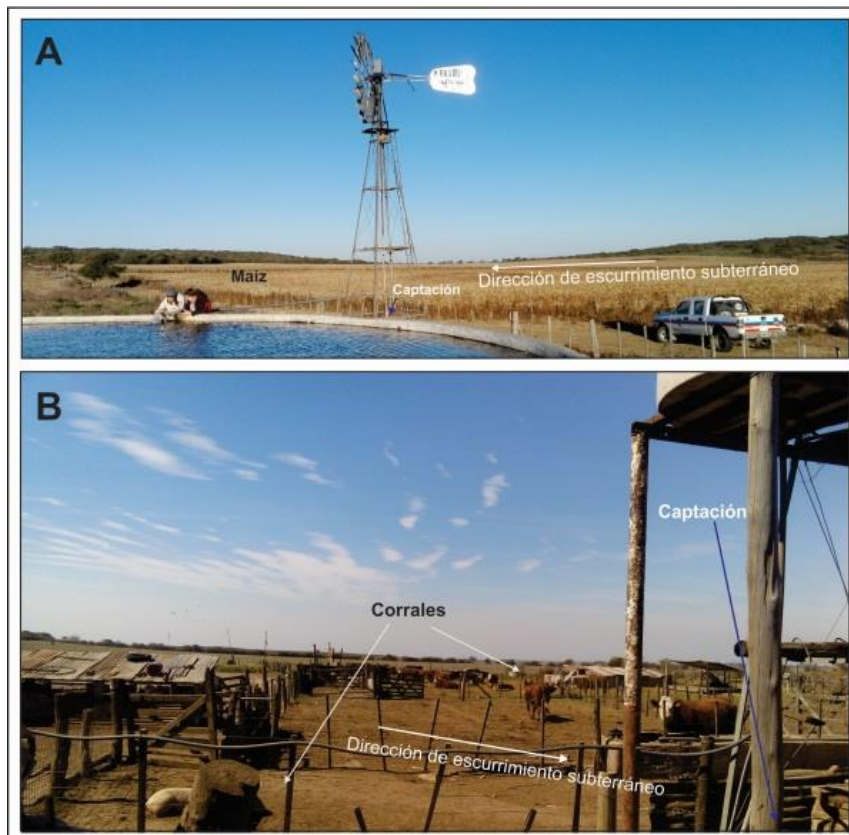


Figura N° 8.23: A- establecimiento perteneciente al punto B6. B- punto B13 con producción ganadera rodeando la captación.

Los bajos valores de NO_3^- en agua superficial en relación al agua subterránea, como se muestra en el mapa, están fuertemente vinculados a la mayor capacidad de dilución de solutos del curso de agua en relación al acuífero.

Oxígeno disuelto (OD)

Se obtuvo un valor promedio de OD de 5,6 mg/L para las aguas subterráneas, con un máximo de 8,2 mg/L (muestra B12) y un mínimo de 2,2 mg/L (muestras B1 y B4).

Se realizaron diagramas de cajas para OD en relación a su posición en la zona de estudio y actividad asociada a la perforación (Fig. N° 8.24).

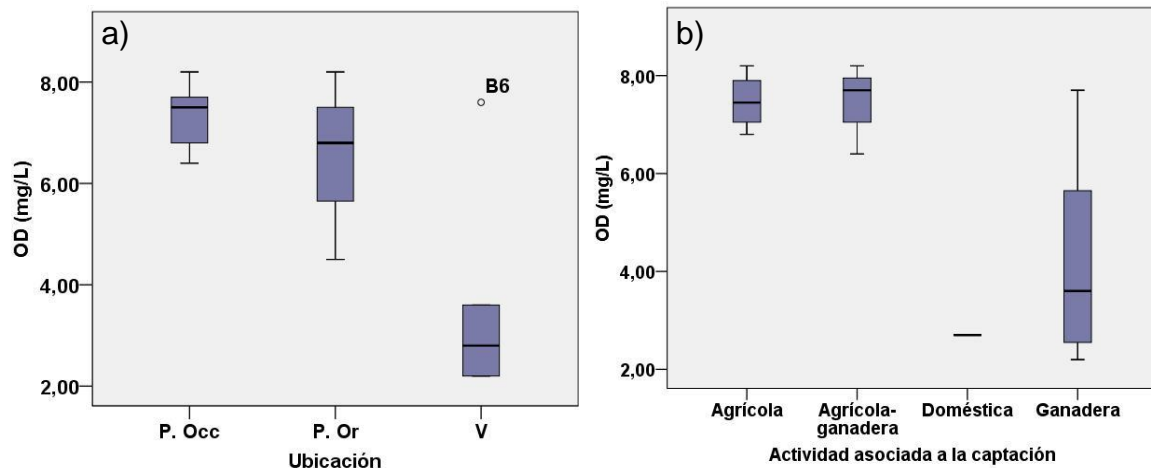


Figura N° 8.24: a) Concentración de OD en aguas subterráneas de acuerdo a su posición; b) Concentración de OD según la actividad vinculada a la captación.

El gráfico de la figura 8.24 (a) evidencian que las menores concentraciones de OD se encuentran principalmente en los **valles intraserranos**, vinculadas a sitios de muestreo donde la mayor actividad desempeñada es la ganadería (Fig. N° 8.24 b), lo que implica una mayor incorporación de materia orgánica al acuífero libre, donde las bacterias consumen el oxígeno y se dan procesos de nitrificación; reiteradas veces se observó excretas de animales rodeando a la captación o bien al ganado cerca. Uno de los ejemplos en valles fue el sitio B5, que mostró una baja concentración de OD (2,7 mg/L), con los animales localizados en un corral rodeando la captación (Fig. N° 8.25).

Otra muestra que arrojó bajo contenido en OD fue el punto B9 (2,9 mg/L), que se asocia al uso doméstico y se encuentra próximo a la Capilla del Teguá, donde su bajo tenor podría vincularse a la contaminación del agua subterránea por la llegada de aguas residuales provenientes de un pozo ciego.



Figura N° 8.25: Ganado bovino alrededor de captación. Sitio de muestreo B5.

Respecto a los contenidos de OD en muestras de aguas subterráneas relacionados con las concentraciones de nitratos, la relación no es muy buena (Fig. N° 8.26). Esto se debe a que aún en aguas con bajos valores de OD (aunque > 1 mg/L), pueden mantenerse los nitratos en solución, similar a lo hallado para aguas superficiales.

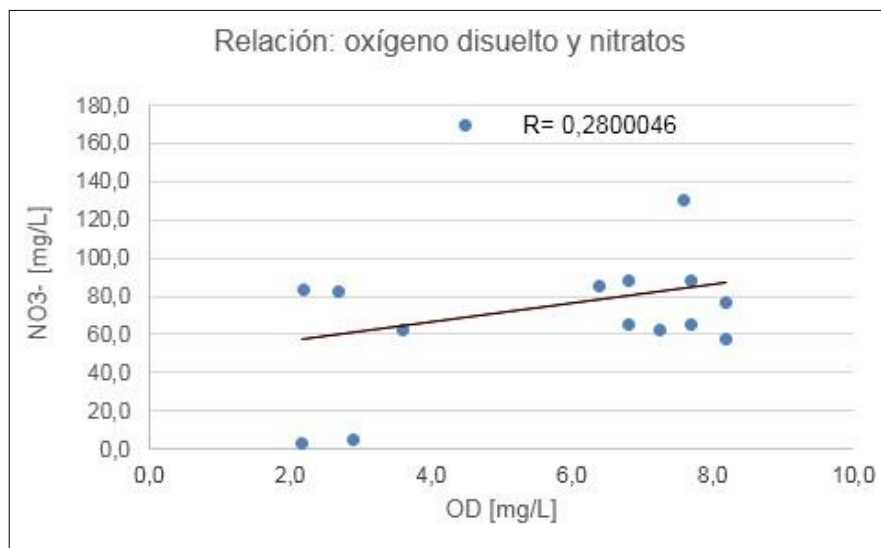


Figura N° 8.26: Relación entre los valores de OD y los de NO₃⁻. Aguas subterráneas.

8.4.2.2.3 Análisis estadístico multivariado.

El análisis multivariado es de sumo interés ya que involucra una serie de técnicas estadístico- matemáticas destinadas a realizar un estudio integrado de todos los datos para dilucidar las posibles vinculaciones entre ellos (Matteoda, 2012).

Se utilizaron las siguientes variables: pH, CE, HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} y NO_3^- . Aquí no se incluyen las SDT por tener en cuenta la CE ni los $\text{CO}_3^{=}$ por su obvia dependencia del pH.

Se aplicó el método de agrupamiento (Cluster) que permite determinar distintas agrupaciones a partir de la matriz de similitud resultante de este conjunto de datos.

El **dendrograma** obtenido (Fig. N° 8.27) evidencia la existencia de tres (3) conglomerados hidroquímicos principales:

Grupo 1: está conformado por CE, Na^+ , HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, pH y K^+ . En general, reúne a los elementos que definen los tipos geoquímicos dominantes del agua subterránea en la región estudiada, con un núcleo (CE , Na^+ , HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$) que explica, aunque todas las aguas son dulces, aquellas más saladas de tipo bicarbonatadas y sulfatadas sódicas fuertemente enlazadas con la CE (que expresa la salinidad).

Grupo 2: incluye a Cl^- y NO_3^- . Su vinculación presume un posible origen antrópico, por contaminación, asociados a las actividades ganaderas y/o agrícolas.

Grupo 3: el Ca^{++} y Mg^{++} , ambos, están relacionados por su derivación de similares litologías (carbonatos, silicatos) y en general están como solutos disueltos dominantes en aguas de recarga reciente, dado que luego a lo largo del flujo comienzan a ocurrir procesos de intercambio que liberan Na^+ al agua. Es decir que este grupo representa desde un punto de vista conceptual, las aguas dulces y cálcicas de las sierras.

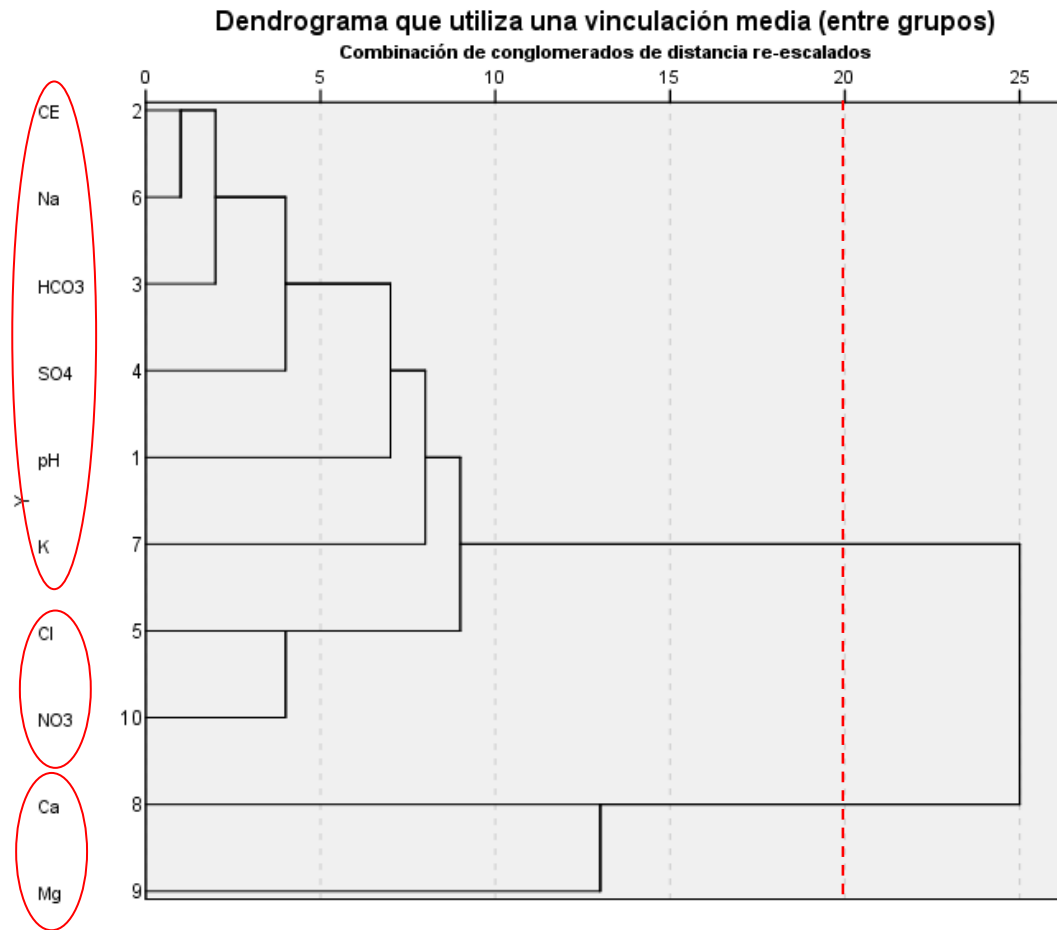


Figura N° 8.27: Dendrograma.

El diagrama de **Componentes principales** (Fig. N° 8.28), muestra similar distribución de las variables químicas analizadas, donde estas componentes explican el 77,75 % de la varianza de los datos.

Se destacan **2** componentes: el primero asocia CE, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄⁼ y pH explicando lo mismo que el grupo 1 del dendrograma (muestras más saladas bicarbonatadas y sulfatadas sódicas), y en forma opuesta y con signo negativo aparecen las variables Ca⁺⁺ y en menor proporción Mg⁺⁺, donde justamente explican las aguas cálcicas (y en menor medida las magnésicas), que son aquellas dulces de recarga reciente.

Por otro lado, la segunda componente reúne a elementos como NO₃⁻, Cl⁻ y Mg⁺⁺. Este aspecto es muy importante porque al hacer una mirada integral de las relaciones entre variables, está explicando una alta correlación entre NO₃⁻ y Cl⁻, y la posibilidad de que si hay modificaciones en la calidad de agua ésta tenga origen ganadero, asumiendo al

cloruro como derivado de purines. La variable Mg^{++} , que como ocurre en este tipo de métodos puede participar en ambas componentes, quedó altamente correlacionada con NO_3^- y Cl^- , por lo que puede asumirse que parte de ión podría parcialmente derivar de la descomposición de la MO que en ganadería está asociada a purines con alta concentración de Cl^- .

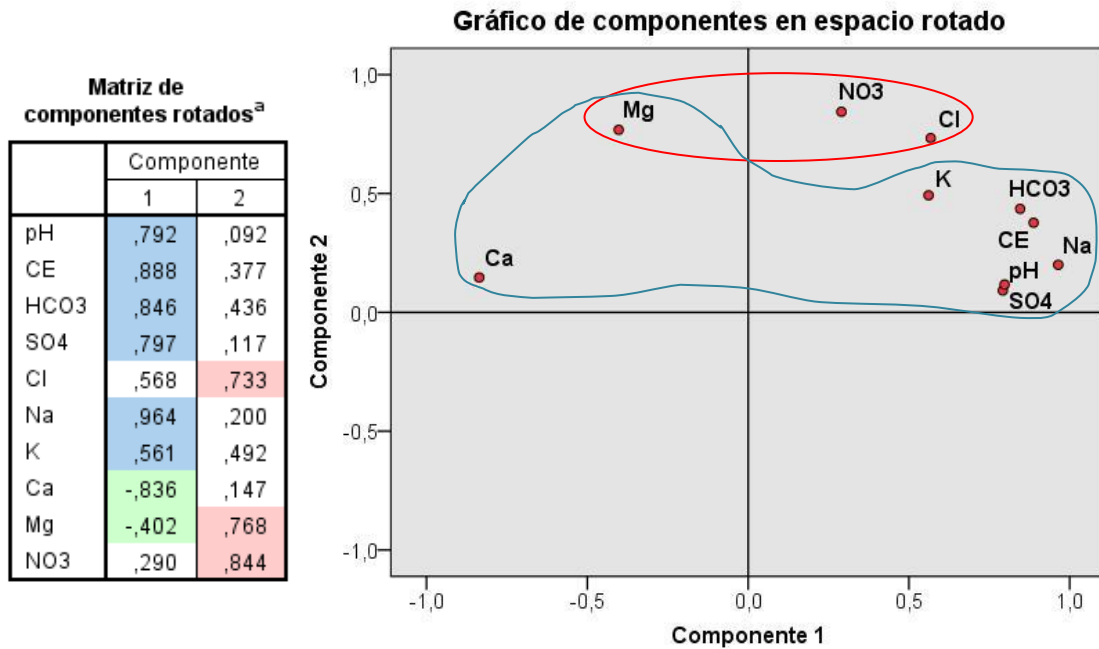


Figura N° 8.28: Componentes principales.

CAPÍTULO 9

HIDROGEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MINORITARIOS Y TRAZAS (Fe Mn y Zn)

9.1. Introducción

Este capítulo trata acerca de la hidrogeoquímica del hierro, manganeso y zinc, sus posibles orígenes, distribución en aguas superficiales y subterráneas y vinculación con los aspectos geológicos y antrópicos. Dados los numerosos antecedentes de impactos en aguas superficiales y subterráneas a partir de actividades antrópicas en esta región (Blarasin, 2003, Blarasin et al 2005, Matteoda 2012) incluyendo anomalías en metales pesados (Matteoda et al., 2009; Matteoda y Blarasin, 2013, 2014, 2016; Becher y Blarasin, 2016) se han seleccionado estos elementos químicos dado que, si bien se encuentran en el agua en cantidades pequeñas debido a causas naturales, en muchos casos los tres se movilizan en forma preferencial en situaciones de contaminación si hay aumento de MO en el agua, lo que puede bajar parcialmente el pH- Eh y así modificar su comportamiento.

Se definen como "elementos minoritarios y trazas" a una serie de elementos que ocurren de manera natural en pequeñas concentraciones. En general, los llamadas *traza* se encuentran en proporciones más pequeñas aún que aquellos denominados minoritarios. Estos últimos, como el flúor y especies del N, pueden aparecer con valores que son medibles en mg/L mientras que los trazas generalmente se miden en ug/L. Incluyen tanto a elementos químicos utilizados por los organismos en pequeñas cantidades para satisfacer sus necesidades fisiológicas (Fe, Zn, Cu, etc.) como así también a aquellos que resultan tóxicos para la vida en altas concentraciones (As por ejemplo, Bradford et al., 1996).

En la tabla 9.1 se muestran los elementos mayoritarios, minoritarios y traza en aguas según Langmuir (1997), donde se observan los valores de medianas en aguas superficiales y subterráneas para diferentes elementos y compuestos químicos, observándose que los valores medios para Fe, Mn y Zn son del orden de **100, 15 y 20** ug/L respectivamente.

Tabla N° 9.1: Valores medianos de elementos minoritarios y traza en aguas superficiales y subterráneas, según Langmuir (1997).

TABLE 8.8 Median values of pH and TDS and of major (>1 mg/L) constituents in surface waters and groundwaters

Major Constituents		
Constituent or parameter	Surface-water (mg/L)	Groundwater (mg/L)
HCO ₃ ⁻	58	200
Ca ²⁺	15	50
Cl ⁻	7.8	20
K ⁺	2.3	3
Mg ²⁺	4.1	7
Na ⁺	6.3	30
SO ₄ ²⁻	3.7	30
SiO ₂ (aq)	14	16
pH	—	7.4
TDS	120	350

Trace and Minor Elements			
Element	Median content (μg/L)	Element	Median content (μg/L)
Al	10	La	0.2
Ag	0.3	Li	3
As	2	Mn	15
Au	0.002	Mo	1.5
B	10	Nb	1
Ba	20	Ni	1.5
Be	5	P	20
Bi	0.005	Pb	3
Br	20	Rb	1
Cd	0.03	Sb	2
Co	0.1	Se	0.4
Cr	1	Sn	0.1
Cs	0.02	Sr	400
Cu	3	Th	0.1
F	100	Ti	3
Fe	100	W	0.03
Hg	0.07	U	0.5
I	7	V	2
		Zn	20

Note: Median values of minor elements (<1 mg/L and >1 μg/L), and trace elements (<1 μg/L) in both surface-waters and groundwaters.
 Source: Values after Turekian (1977).

Estos elementos están presentes en menos de 0,1% de abundancia en la corteza terrestre (Mitchell, 1964; Adriano, 2001). Desde una perspectiva general, conforme a las concentraciones de todos los elementos que se encuentran en la corteza terrestre, se pueden dividir en: *elementos mayoritarios*, que aparecen con concentraciones mayores a 10.000 mg/kg; *elementos intermedios* (10.000- 1000 mg/kg); *elementos minoritarios* (1000- 100 mg/kg) donde se encuentra el Fe; y por último los *elementos trazas* (< 100 mg/kg), que incluyen Mn y Zn.

En relación a la nomenclatura de metales pesados, categoría que no tiene una definición oficial como tal, su concepción va asociada a diferentes atributos, como son: el número atómico, el peso atómico, la densidad, algunas propiedades químicas e incluso su toxicidad. Así, diferentes autores los definen como "elementos químicos con alta densidad (mayor a 4 g/cm³), masa y peso atómico por encima de 20."; otros como "aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg), y que presentan un peso específico superior a 4 (g/cm³)", etc. Es decir que si bien hay confusión al respecto de aquellos denominados pesados, está claramente establecido cuales sí son aquellos denominados metales en la tabla periódica y cuáles no (tabla 9.2), y como se indica en la tabla 9.1 presentada en párrafos anteriores, cuales son aquellos que en aguas se comportan como minoritarios o trazas.

Tabla N° 9.2: Tabla periódica de los elementos.

Tabla periódica de los elementos. Incluye propiedades físicas y químicas de cada elemento, como masa atómica, número atómico, electronegatividad, y configuración electrónica. El elemento destacado es el Hierro (Fe) con un número atómico de 26 y una masa atómica de 55.845.

Propiedades físicas y químicas de los elementos:

- masa atómica
- número másico del isótopo más estable
- 1.ª energía de ionización en kJ/mol
- simbolo químico
- nombre
- configuración electrónica
- número atómico
- electronegatividad
- estados de oxidación más comunes en el agua
- metales alcalinos
- alcalinotérreos
- otros metales
- metales de transición
- actínidos
- metaloides
- no metales
- halógenos
- gases nobles
- elementos desconocidos
- masa de elemento radiactivamente inestable

Notas:

- por ahora, los elementos 113, 115, 117 y 119 no tienen número oficial designado por la IUPAC.
- 1 kJ/mol = 96.485 eV.
- todos los elementos tienen un estado de oxidación implícito cero.

Por esta razón, es mejor referirse a contaminación o eventualmente contaminación por "elementos trazas" aunque muchos trabajos están concentrados en los llamados metales pesados.

Estos elementos trazas tienden a acumularse en el ambiente, (lagos, estuarios, o sedimentos) pudiendo ser transportados y a bioacumularse en plantas y en órganos, y tejidos de peces y mamíferos (Merkel y Hasche-Berger, 2008). Los factores que afectan su concentración y distribución son el clima, material original, las propiedades/procesos

que ocurren en el suelo, manejo de la agricultura, tipo de actividades industriales, entre otros.

9.1.1 Concentración y distribución de elementos minoritarios/traza a nivel mundial

El rango y el promedio de algunos elementos traza presentes en la corteza, las rocas, sedimentos y los suelos del mundo se presentan en la tabla 9.3 (*Equivalencia: 1 mg/kg = 1 ppm*); en la tabla 9.4 se resumen las medidas de concentración y distribución de Mn y Zn en suelos de climas áridos y semiáridos de todo el mundo:

Tabla N° 9.3: Concentraciones de elementos trazas (mg/kg) en rocas de la corteza terrestre y suelos. Web: <https://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/GCSP/GCSL4CEMetalesPesados.htm>

Elemento	Granito	Basalto	Esquisto	Caliza	Arenisca	Suelos
Ag	0.04	0.1	0.07	0.12	0.25	0.05
Al	77000	88000	88000	90000	43000	71000
As	1.5	1.5	13	1	1	6
Cd	0.09	0.13	0.22	0.028	0.05	0.35
Co	1	35	19	0.1	0.3	8
Cr	4	90	90	11	35	70
Cu	13	90	39	5.5	30	30
Fe	27000	56000	48000	17000	29000	40000
Hg	0.08	0.012	0.012	0.18	0.29	0.06
Mn	400	1500	850	620	460	1000
Mo	2	1	2.6	0,16	0.2	1.2
Ni	0.5	150	68	7	9	50
Pb	24	3	23	5,7	10	35
Se	0.05	0.05	0.5	0,03	0.01	0.4
Sn	3.5	1	6	0,5	0.5	4
Zn	52	100	120	20	30	90

Tabla N° 9.4: Distribución y concentración de Zn y Mn en suelos mundiales asociados a climas áridos y/o semiáridos. (Han, F. X., 2007).

		Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Tipo de suelo/clima	Material original
África	Kenya	4 a 10	0,7- 39	semiárido	ígneo- volcánico
	Emiratos Árabes Unidos	12	-	árido	-
	Madagascar	105	700- 2400	vertisoles	aluviones/basalto
	Chad	90	60- 180	vertisoles	sedim. areno- arcillosos
Asia	India	60 -70	90- 730 (intercamb)	vertisoles	aluviones
	China	67	537	árido/semiárido	loess
Australia	Queensland y Tasmania	120	1250- 2700	vertisoles	diorita/basalto/aluviones
Europa y ex Unión Soviética	Bulgaria	42- 106	520- 850	chernozem	-
	Rusia	680	600- 1000	chernozem	-
	Romania/España/Otros	5- 669	340- 390	vertisoles	aluviones cuaternarios
Norte América	Arizona	70,5	-	árido/semiárido	-
	California	82,7	285- 640	árido/semiárido	-
	Texas	30,4	-	árido/semiárido	-
Medio Oriente	Israel	56,1- 28,7	367- 259,8	árido/semiárido	aluvial- coluvial
	Syria	0,4- 0,9	2,3- 12	-	-

9.1.2 Fuentes antrópicas de elementos trazas

A la ocurrencia en forma natural de metales en el ambiente se suma la incorporación debida a las actividades humanas.

En los ecosistemas agrícolas, las rutas principales para la entrada de contaminantes (metales y trazas) son la aérea y la terrestre, las que incluyen la aplicación de productos químicos como fertilizantes, herbicidas y plaguicidas (tabla 9.5). Estos compuestos contienen metales y metaloides que pueden generar un aumento en la concentración y acumulación en suelos agrícolas (Mortvedt, 1996; Kabata- Pendias, 2011).

Tabla N° 9.5: **A-** Concentración de elementos trazas en rocas y fertilizantes fosfatados (mg/kg). Kabata- Pendias (2011). **B-** Composición de alimentos y heces ganaderas, según Andriulo et al. (2003) en la llanura pampeana.

A	Element	Phosphate Rocks	Phosphate Fertilizers	B	Componente	Unidades	Alimento*	Heces**
		(98, 809, 1418, 1558)	(381, 554, 1362)					
	Ag	—	0.8–3		Humedad	(%)	3,2	84,2
	As	0.4–188	2–1200		pH	suelo:agua	6,4	6,8
	B	3–50	5–115		CE	(1:2,5)	5,4	3,8
	Ba	1–1000	200		MO	(%)	91,0	50,9
	Be	0.5–10	—		N	(%)	2,4	1,7
	Br	—	10–500		C/N		21,1	16,0
	Cd	0.01–0.100	7–170		P		0,7	0,7
	Ce	9–100	20		Ca	(%)	2,4	2,6
	Co	0.6–12	1–12		Mg	(%)	1,4	1,9
	Cr	2–1600	66–600		Na		1,0	1,6
	Cu	0.6–394	1–300		K		1,2	1,4
	F	31,000	8500–38,000		As	µg g ⁻¹	< 0,2	6,4
	Hg	0.2–1000	0.01–0.12		Pb	µg g ⁻¹	20,6	13,5
	I	0.2–280	—		Cu	µg g ⁻¹	25,4	12,8
	La	7–130	60–100		Zn	mg g ⁻¹	0,053	0,079
	Li	1–10	—					
	Mn	1–10,000	40–2000					
	Mo	0.03–138	0.1–60					
	Nb	—	20–570					
	Ni	0.2–1000	7–32					
	Pb	1–1000	7–225					
	Rb	—	90–200					
	Sb	0.2–10	—					
	Se	1–10	0.5–25					
	Sn	0.2–15	3–19					
	Sr	1000–2000	25–500					
	Ti	100–3000	—					
	U	8–1300	10–800					
	V	20–5000	2–180					
	Y	—	30–180					
	Yb	—	8–14					
	Zn	4–345	50–1450					
	Zr	10–800	50–1560					

(*): el alimento se obtuvo en los comederos de engorde.
(**): las heces obtenidas en los comederos de engorde fueron excretadas el día del muestreo.

El suelo y la zona no saturada, en general, actúan como una barrera protectora contra estos contaminantes para proteger otros sistemas que son más sensibles (como el hidrológico) filtrando, descomponiendo, neutralizando o almacenando contaminantes y evitando así su biodisponibilidad. Esta capacidad depuradora del suelo depende de su

porcentaje en materia orgánica, carbonatos y oxihidróxidos de Fe y Mn, tipo de minerales de arcillas, capacidad de intercambio catiónico, pH, Eh, permeabilidad y actividad microbiana. Este poder depurador de los suelos tiene un límite, y cuando se lo supera es cuando el mismo suelo actúa como fuente de contaminación, por ejemplo para el acuífero libre (Galán y Romero, 2008). También, autores como Salminen y Gregorauskiene (2000) y Andriulo et al. (2003), indican que las actividades agrícolas- ganaderas junto con los procesos formadores de suelos son los factores de mayor incidencia en la abundancia de muchos elementos en la primer capa de suelo. Establecen además que en cuanto a la ganadería, los metales y elementos traza tales como Fe, Mn y Zn, pueden proceder de estiércol y purines de animales (Tabla 9.5. B) debido al uso e ingesta de productos farmacéuticos veterinarios tales como antibióticos, vitaminas y diversos suplementos dietarios (energéticos, engorde), lo que se ve incrementado en las prácticas ganaderas intensivas (feed-lot). Estudios recientes reportan la presencia de metales pesados y metaloides tales como mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr) en hortalizas tales como la lechuga, repollo, calabaza, brócoli y papa (Singh et. al, 2010; Chen et. al, 2013). Esta contaminación, proviene, entre otros causales, del uso para riego de aguas afectadas (Singh et. al, 2010; Li et. al, 2015).

9.1.3 Geoquímica del hierro

El contenido de Fe en suelos templados varía entre 1 a 5%. Se encuentra de manera inorgánica formando minerales como olivino, hornblenda, biotita, que pueden liberarse por meteorización; en minerales secundarios en forma de hidróxidos, óxidos: hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4); carbonatos como siderita (CO_3Fe) y sulfuros como piritita (S_2Fe), puede incorporarse a la materia orgánica formando quelatos, adsorbidos en el complejo coloidal del suelo y soluble en la solución del suelo (García y García, 2013), también puede ser absorbido por la planta como Fe^{+2} o bien como quelato. Es un constituyente de varias enzimas, interviene en reacciones óxido- reducción, y ayuda a reducir nitratos y sulfatos.

En presencia de O_2 (Figura N° 9.1), el Fe^{+2} es oxidado rápidamente a Fe^{+3} , el cual es poco soluble en agua y precipita como óxidos de Fe. El hierro se comporta como catión básico cuando se encuentra en forma reducida y como ión anfotérico cuando está en la forma trivalente u oxidada. El distinto comportamiento de los iones Fe^{+2} y Fe^{+3} se manifiesta por el *grado de solubilidad* frente al pH. Por ejemplo, el Fe^{+3} es soluble a bajo pH del orden de 2, insolubilizándose a pH más alto; en cambio, el Fe^{+2} permanece en disolución hasta un pH de 6.7 aproximadamente, momento en que se inicia la precipitación de $Fe(OH)_2$ (Correns, 1952).

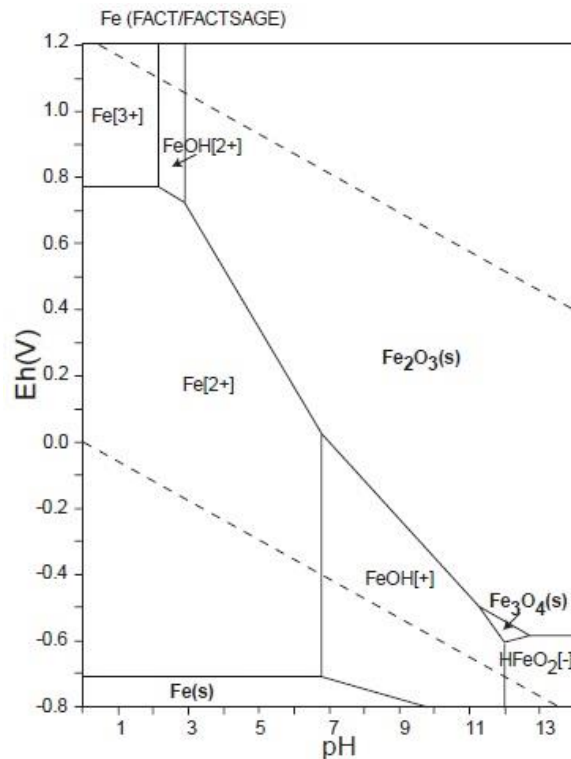


Figura N° 9.1: Diagrama de Eh- pH para sistema: Fe-O-H (Takeno, N., 2005).

La solubilidad del hierro en el suelo depende del contenido en MO. Las asociaciones del Fe con los agentes quelantes de la materia orgánica da lugar a la formación de complejos que incrementan su concentración y movilidad (Benavides, 2000).

9.1.4 Geoquímica del manganeso

El contenido de manganeso total en los suelos varía entre 200 y 300 mg/kg (Navarro Blaya, Navarro García, 2003). En los suelos se encuentra en forma inorgánica sustituyendo a los mayoritarios en bajas cantidades en minerales como olivino, hornblenda, augita; óxidos como pirolusita (MnO_2), hausmanita (Mn_3O_4) y oxo-hidróxido como manganita ($MnOOH$); puede estar disuelto en la solución del suelo, intercambiable, adsorbido al complejo coloidal o formando quelatos.

El manganeso existe en el suelo principalmente como dióxido de manganeso, el cual es muy insoluble en aguas que contienen CO_2 . Bajo condiciones anaeróbicas, el manganeso en su forma de dióxido es reducido de una valencia +4 a una +2 y entra en solución de la misma manera que con los óxidos ferrosos (Matteoda, 2012).

Las aguas con Fe y Mn al ser expuestas al aire, por acción del O_2 , se hacen turbias e inaceptables estéticamente debido a la oxidación del hierro y manganeso, Fe^{+3} y Mn^{+4} , los que forman precipitados coloidales. La tasa de oxidación es lenta y por ello el manganeso soluble puede persistir por algún tiempo en aguas aireadas, generalmente válido a $\text{pH} < 9$.

En aguas subterráneas (figura N° 9.2), la oxidación del manganeso disminuye la alcalinidad y puede tener un efecto pronunciado sobre el pH del agua. Los sedimentos del acuífero pueden contener grandes cantidades de Mn^{+4} con frecuencia en forma de oxihidróxidos, pudiendo producirse una reducción del Mn^{+4} (insoluble en agua) a Mn^{+2} (soluble). La presencia de elevados niveles de Mn^{+2} es indicativo de biodegradación anaerobia (Weiner, 2007 en Matteoda, 2012).

9.1.5 Geoquímica del zinc

El contenido de zinc en los suelos varía entre 60 y 90 mg/kg (Ratto y Miguez, 2006). En el suelo se encuentra en forma inorgánica sustituyendo a los mayoritarios en bajas cantidades en minerales como los del grupo de los espinelos, etc que pueden ser liberados por intemperización; puede estar disuelto en la solución del suelo, intercambiable, adsorbido al complejo coloidal y como quelatos. La forma que es absorbido por la planta es como Zn^{+2} o como quelato.

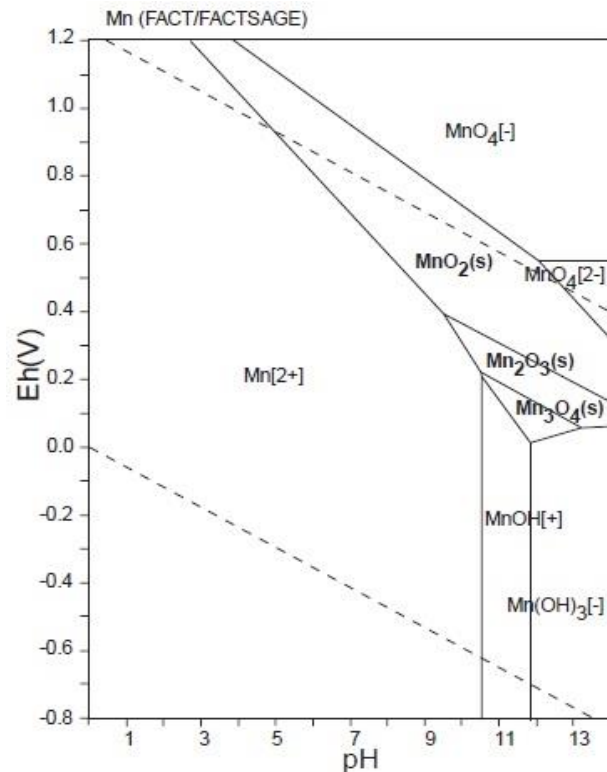


Figura N° 9.2: Diagrama de Eh- pH para sistema: Mn-O-H (Takeno, N., 2005).

La disponibilidad de este micronutriente varía según el pH del suelo. En condiciones excesivamente ácidas, a $\text{pH} < 5$ el Zn está más disponible pudiendo perderse por lixiviación. Al aumentar el pH de 6 a 7, la disponibilidad disminuye (Fig. N° 9.3). Los suelos arenosos o con bajo contenido en MO tienden a ser más propensos a la deficiencia de Zn. Las bajas temperaturas producen una disminución en la tasa de liberación de Zn a la solución del suelo (Ratto y Miguez, 2006).

En condiciones anaeróbicas, puede formarse sulfuro de zinc con forma poco soluble. Gran aporte de nitrógeno puede provocar deficiencia de zinc a causa del diferente ritmo de absorción por las plantas de estos elementos (García y García, 2013).

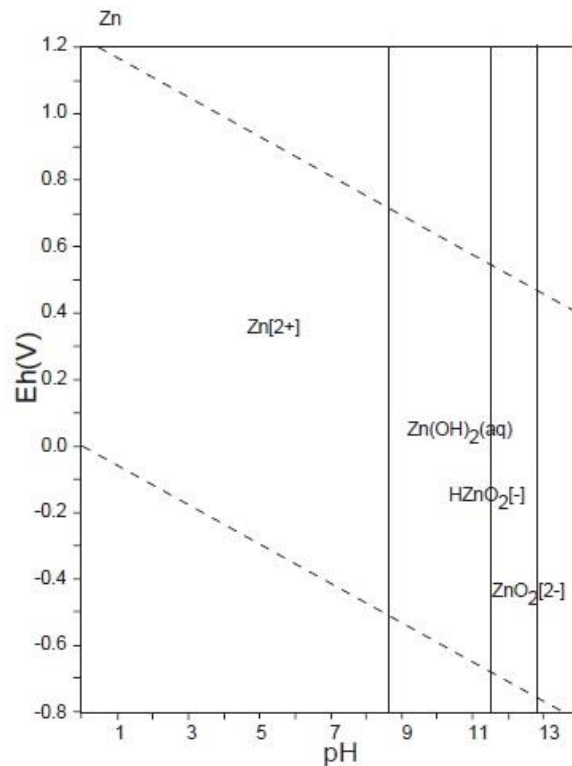


Figura N° 9.3: Diagrama de Eh- pH para sistema: Zn-O-H (Takeno, N., 2005).

9.2 Movilidad de elementos traza en suelos y aguas

Los elementos traza, especialmente los metales que se incorporan al suelo pueden seguir 4 vías diferentes: **a-** quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa, ocupando sitios de intercambio o adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo, asociados con MO, o precipitar; **b-** ser absorbidos por las plantas e incorporarse a la cadena trófica; **c-** pueden pasar a la atmósfera por volatilización (caso del mercurio); **d-** movilizarse hacia las aguas superficiales y subterráneas (Pagnanelli et al, 2004).

La llegada de contaminantes a un acuífero, si proceden desde superficie o el propio suelo, depende en gran parte del potencial de atenuación de la zona no saturada (ZNS), es decir su capacidad para adsorber, dispersar o retardar contaminantes mediante procesos físicos, químicos y biológicos.

La movilidad y fijación de los metales en el agua depende de una serie de procesos tales como la formación de complejos acuosos, la precipitación y disolución de minerales,

y otras reacciones que tienen lugar en la superficie de los sólidos en el propio acuífero. Todos estos procesos están fuertemente influenciados por dos propiedades del agua: el **pH** y el **Eh**.

El tipo de especies químicas en solución dependerá fuertemente del Eh y pH (figura N° 9.4) como también de las propiedades existentes en el sistema, tales como presencia de carbonatos, óxidos de Fe y Mn, materia orgánica, etc. influenciados en gran medida por el comportamiento de los elementos químicos.

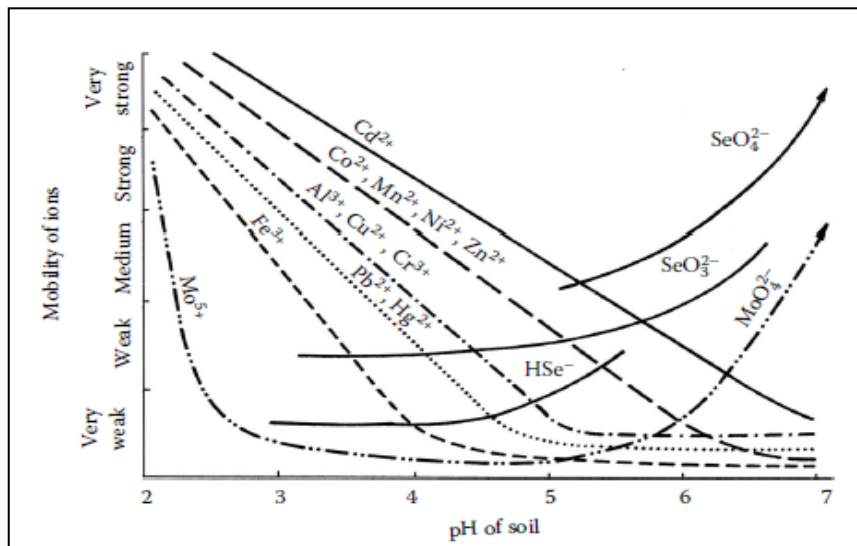
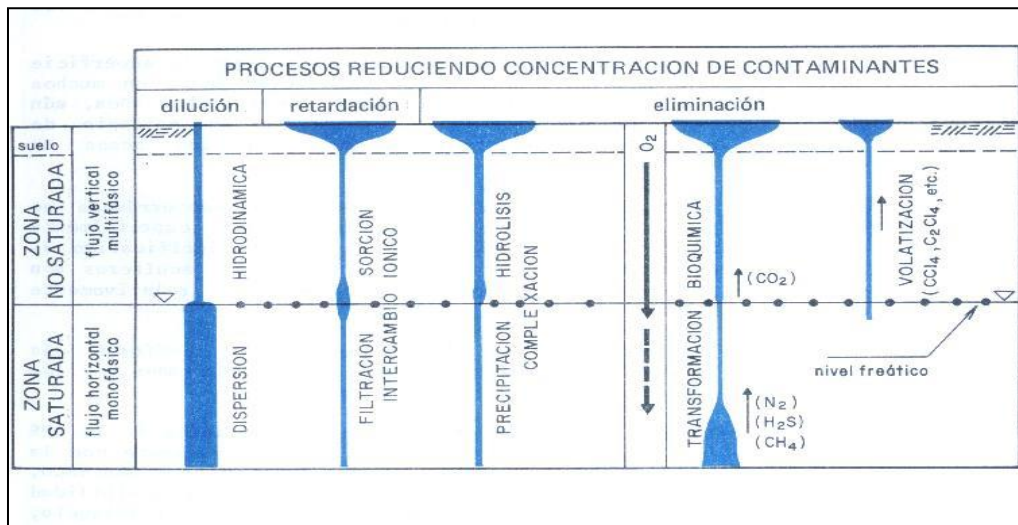


Figura N° 9.4: Movilidad en función del pH (Kabata Pendias, 2011).

La ocurrencia e intensidad de estos procesos varía en el subsuelo. Así, en la zona edáfica, algunos compuestos químicos son degradados o retenidos por microorganismos y plantas o por procesos físicos y químicos. La *zona no saturada* (Fig. N° 9.5) tiene como rol retardar y/o reducir la llegada de contaminantes al acuífero mediante la hidrólisis, volatilización, complejación, precipitación, intercambio iónico, reacciones redox, sorción, transformaciones bioquímicas, etc., mientras que en la *zona saturada* cobra importancia además el transporte advectivo de los solutos disueltos y la dispersión hidrodinámica (tomado de Matteoda, 2012).

Figura N° 9.5: Dinámica de contaminantes, entre ellos metales pesados en la ZNS y ZS. Foster e Hirata (2002).



La dispersión hidrodinámica (dispersión mecánica y difusión), provoca la extensión y ensanchamientos de la pluma contaminante en el sentido del flujo.

La advección es el proceso por el cual los solutos disueltos en el agua subterránea se mueven a la misma velocidad que el agua. Los solutos que se transportan advectivamente luego sufren dispersión, que es cuando el soluto se mueve en el medio poroso adoptando diferentes caminos y mezclándose con el agua del acuífero, generando dilución y disminución en su concentración (Fetter 1994).

En la difusión, las especies iónicas y moleculares disueltas en el agua se mueven desde un lugar donde su concentración es relativamente mayor hacia otro donde es menor, por efecto del movimiento aleatorio de las moléculas (Fetter 1994).

Las reacciones sorción- desorción por contacto entre los solutos y la superficie de los sólidos tiene un rol muy importante en el control y transporte de metales (Matteoda, 2012), aspectos que serán tratados en el apartado 9.3.7 (ensayo tipo Batch). Estas reacciones son las típicas de retardo en el medio acuífero, ya que pueden retardar los metales u otros compuestos en relación a la velocidad del agua.

9.2.1 Comportamiento de elementos traza en aguas superficiales y subterráneas

En las aguas de escorrentías de zonas contaminadas por metales, se producen reacciones de disolución en un sistema abierto donde el reactivo limitante es el agua que

está en contacto con el material de reacción un tiempo determinado, como si se tratase de una extracción continua (Navarro, 2004).

En las aguas subterráneas, el comportamiento de los metales pesados está en función de la composición del acuífero, de los materiales en suspensión y de la composición química del agua. De este modo, los acuíferos con mayores niveles de metales adsorbidos serán aquellos constituidos por arenas finas y limos. Sin embargo, los metales pesados tienen una gran afinidad por los ácidos húmicos, arcillas orgánicas y óxidos cubiertos de materia orgánica. La química del agua controla la tasa de adsorción/desorción hacia y desde el acuífero. La adsorción elimina el metal del agua y lo almacena en el acuífero; la desorción devuelve los metales al agua favoreciendo su movilización. La desorción de los metales suele producirse debido a cambios físico-químicos en el agua como: a- aumento de la salinidad, competencia entre metales y otros cationes por sitios de intercambio; b- disminución del potencial redox, bajo condiciones deficitarias de oxígeno; c- disminución del pH, incremento de la competitividad entre metales e iones de hidrógeno por rellenar espacios, además de generarse disolución de los complejos de metal- carbonato liberándose iones de metal en el agua. (López Gutiérrez et al., 2001).

En Argentina, en aguas subterráneas del sureste de la provincia de Tucumán (cuenca del río Salí) registraron valores de Mn que oscilan entre 600- 5600 µg/L en acuíferos loésicos cuaternarios (García et al., 2000). En Santa Fe (Esperanza), se registraron tenores de Mn en acuíferos en el orden de 1- 40 µg/L (Peruzzo et al., 2003).

La provincia de Misiones presenta innumerables problemas cualitativos con el abastecimiento de aguas debido a la presencia de sales de Fe y Mn, como consecuencia de la disolución de rocas y minerales cuando los flujos de aguas subterráneas, pluviales y superficiales entran en contacto con los suelos misioneros ricos en óxidos de Fe y Mn (Piris da Motta, 1998).

Las aguas subterráneas interactúan con el sedimento, por lo que se considera que integran un sistema multifase donde intervienen factores físicos y geológicos. Los factores físicos a tener en cuenta son el tiempo de residencia del agua y la dirección del flujo subterráneo del sistema, que están íntimamente relacionados porque afectan la composición química del agua (Galindo et al., 1997). Los factores geológicos son el tipo de suelo y litología de subsuelo y procesos de meteorización que aportan iones al agua. Estos factores son de especial importancia en la interpretación de estos resultados por la

gran incidencia que tienen los diferentes tipos de sedimentos presentes en la calidad química del agua subterránea. Otros factores que inciden son las fluctuaciones de los niveles freáticos como consecuencia de la variabilidad climática de la región (Galindo et al., 1997).

9.3 Metales pesados y elementos traza en el área de estudio: resultados, discusión e interpretaciones

9.3.1 Fuentes naturales

Como posibles fuentes naturales de metales pesados y/o elementos traza en la zona de estudio se mencionan las descritas en la mineralogía que compone tanto a la Sierra de las Peñas como a los sedimentos eólicos del pedemonte occidental.

En la descripción mineralógica de las litologías aflorantes realizado en base a estudios de Demichelis (1986) (ver apartado 4.4.3.1.1 en Capítulo 4- Geología y Geomorfología Local) se observa que muchos de los minerales que constituyen el basamento de las sierras son posibles portadores de **Fe** y **Mn** (tabla N° 9.6):

Tabla N° 9.6: Principales minerales presentes en las litologías del área de estudio.

Unidades litológicas aflorantes	Principales minerales en las rocas de estas unidades
<i>Unidad Metamórfica Oriental</i>	> % Qtz, Pl, Bt (desferrizada formando óxidos de Fe); Grt (Mn y Fe), Epidoto (Fe), Ms, etc.
<i>Comp. Migmat. Central- Norte</i>	Qtz, Pl, Kfs, Op (pirita - Fe), Hbl (Fe), Grt (Mn y Fe), Hipersteno (Fe), Chl, etc.
<i>Unidad Anfibólica</i>	Hbl (Fe), Pl y Op (sulfuros de Fe y Cu?), Bt, < % Qtz.
<i>Unidad Granítica Esquistosa</i>	Qtz, Mc, Pl, Bt (desferrizada), < Ol y Op.
<i>Complejo Migmatítico Austral</i>	Qtz, Kfs, Bt (Fe), Pl, y Grt (Fe y Mn).
<i>Granito Esquistoso Austral</i>	Pl, Qtz, Mc, Bt (desferrizada), Op (pirita y calcopirita), Chl, etc.
<i>Basalto Boca del Sauce</i>	Pl, Ol (Fe), Px (variedades de Augita con Mn y Fe) y > % Op.

Abreviaturas: Qtz= cuarzo; Pl= plagioclasas; Kfs= feldespatos potásicos; Bt= biotita; Grt= granate; Ms= muscovita; Op= opacos; Hbl= homblenda; Chl= clorita; Mc= microclino; Ol= olivino; Px= piroxeno.

Para el caso del **Zn**, si bien se conoce que existen diferentes minerales portadores de este metal como blenda, esfalerita (ambos sulfuros de zinc), piroxenos como la jeffersonita (variedad de Augita rica en zinc y manganeso), etc., no son mencionados específicamente en la descripción litológica en las rocas de la zona.

Sin embargo, el zinc aparece en la descripción de los sedimentos eólicos del pedemonte occidental realizada por Matteoda (2012), junto con óxidos de hierro y manganeso, dado que la presencia de estos metales en los materiales sedimentarios también constituyen una fuente natural para la zona (tabla N° 9.7):

Tabla N° 9.7: Análisis geoquímico en sedimentos eólicos (Matteoda, 2012).

Análisis	Unidad	Eólico
Fe ₂ O ₃ (T)	%	4,27
MnO	%	0,08
Zn	ppm	58

9.3.2 Fuentes antrópicas

Las actividades socio- económicas que se desarrollan en la zona pueden potencialmente influir en relación a los tenores de Fe Mn y Zn encontrados, principalmente la agricultura debido al uso de fertilizantes y/o herbicidas (tabla N° 9.8 y figura N° 9.6) y la ganadería con el uso de productos farmacéuticos- veterinarios, y con alimentos ganaderos de suplementación, a través de las excretas de animales.

Tabla N° 9.8: A- Herbicidas y fertilizantes utilizados en establecimientos de la zona.

Acción	Principio activo	Producto	Empresa	Fórmula
Herbicidas	Glifosato	Potenza full xtra	ASP S.A	sal potásica de glifosato (equivalente: ácido N-fosfonometil glicina= C ₃ H ₈ NO ₅ P)
		Sulfosato Touchdown	Syngenta	sal potásica del ácido-[N-(fosfonometil) glicina]
		La Tijereta BOX	La tijereta	Acido N-(fosfonometil) glicina
	Atrazina	Trac 50 FC	Atanor S.C.A	2-cloro-4-etilamino-6-isopropilamino-triazina (C ₈ H ₁₄ CIN ₅)
		Atrazina 90 WG	La Tijereta	2,cloro-4-(etilamino)-6-(isopropilamino)s-triazina
	Quizalofop p-etil	Sheriff max	DuPont Agro	etil (R)-2-[4-[(6-cloro-2-quinoxalini)oxy] fenoxi] propionato
S- metalocloro	Dual Gold	Syngenta	(S)-2-cloro-N-(2-etil-6-metil-fenil)-N-(2-metoxi-1-metil-etil)-acetamida	
Fertilizantes	Urea	-	-	Nitrógeno (N)= 46%, Fósforo 0% como P ₂ O ₅ , Potasio 0% como K ₂ O
	NPK	-	-	N= 22%; P ₂ O ₅ = 10%; K ₂ O= 6%; B= 0,03%; Mg= 0,05%; Mo= 0,002%; Zn= 0,07%; Contiene trazas de : Cu, Mg, Fe y Co.



Figura N° 9.6: Herbicidas al lado de captación en sitio de muestreo B19.

9.3.3 Fe Mn y Zn en aguas superficiales

Los resultados obtenidos se observan en la tabla N° 9.9, obtenidos mediante el uso de fotómetro compacto PF-12 (ECO) debido a su mayor precisión. En las muestras que no se pudo medir con fotómetro, se tomó la medición obtenida con el test colorimétrico. En ambos casos y según se indica en diversos trabajos y normativas (CEN, 1995), si el valor hallado resultó menor al límite de detección (<LD, es decir la más baja concentración de un analito que un procedimiento analítico puede detectar fidedignamente), para el tratamiento estadístico puede usarse la mitad del límite de detección empleado (LD inferior /2), que para Fe es de 5 µg/L, para Mn de 15 µg/L y para Zn de 50 µg/L en el caso de los métodos e instrumentos usados (usándose el valor más bajo entre ambos métodos). El valor LD/2 por supuesto es un artificio para los cálculos que puede sobre estimar o subestimar el valor verdadero.

En las tablas de resultados se colocan los valores hallados, incluyendo aquellos en que el resultado fue <LD, agregando entre paréntesis el valor LD/2 que se usó para todo el tratamiento cuantitativo y estadístico.

Tabla N° 9.9: **A-** Análisis de muestras de aguas superficiales; aquellos en que el resultado fue <LD, el valor entre paréntesis es LD/2 (en color en azul). **B-** Estadísticos descriptivos de metales.

A	Elemento	Fe	Mn	Zn
	Unidad	µg/L	µg/L	µg/L
	Límite de detección Método: test colorímetro	(10- 200 µg/L)	(30- 500 µg/L)	(500- 3000 µg/L)
	Límite de detección Método: fotómetro (ECO)	(40- 2000 µg/L)	(100- 5000 µg/L)	(100- 3000 µg/L)
	AN0	10	< LD (15)	< LD (50)
	A1	< LD (5)	< LD (15)	< LD (50)
	A2	< LD (5)	< LD (15)	< LD (50)
	A3	< LD (5)	100	< LD (50)
	A4	< LD (5)	< LD (15)	100
	A5	25	100	< LD (50)

B		Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Típ
		Fe (µg/L)	5	25	9,16	5
	Mn (µg/L)	15	100	43,33	15	43,9
	Zn (µg/L)	50	100	58,33	50	20,4

En las seis (6) muestras de aguas superficiales analizadas, los valores determinados son de pequeña magnitud y en la mayoría de los casos las concentraciones están por debajo del límite de detección del método empleado recordando que la concentración puede ser muy baja o mínima pero se usó el valor LD/2 con fines de tratamiento estadístico.

Los pH medidos para las muestras de aguas superficiales con metales están entre 6,9 y 8,8 (tabla N° 9.10), con mediciones máximas y mínimas de OD entre 4 mg/L y 10,9 mg/L.

Tabla N° 9.10: Valores de pH y OD para aguas superficiales.

N° Muestra	pH	OD (mg/L)
AN0	6,9	4,0
A1	7,4	9,8
A2	8,4	10,9
A3	7,1	7,2
A4	8,8	10,0
A5	7,9	
Promedio	7,8	8,4

La muestra de agua superficial del punto An0, en la que se midió Fe, presentó el menor valor de pH (6,9) y la menor concentración de OD (de 4 mg/L, que se corresponde con valores más bajos de Eh); tal como se discutió en el capítulo 8 de Hidrogeoquímica general, se prevé una fuerte participación de materia orgánica (heces animales) en este sitio ya que sobre los márgenes del arroyo se asentaba ganado vacuno y se encontraba potencialmente eutrofizado (algas). Su valor de pH permite la solubilidad del hierro en agua bajo la forma reducida Fe^{+2} (ver apartado 9.1.3).

La muestra perteneciente al punto A3 evidenció manganeso (Mn) en solución a un pH de 7,1 y a un valor de OD de 7,2 mg/L; el arroyo presentaba heces animales en los márgenes pero no se observó al ganado cerca.

En la muestra de agua superficial del punto A4 se encontraron iones Zn a un pH de 8,8 y una concentración de OD de 10 mg/L; se observaron animales sueltos alrededor del arroyo. Este punto muestreado posee el tenor más alto en nitratos medidos en aguas superficiales, que fue de 30 mg/L.

La muestra de agua superficial tomada en el punto A5 mostró un pH de 7,9 y se encontraron iones de Fe y Mn en solución; no se pudo medir la concentración de OD debido a que se rompió en ese momento el electrodo de OD, aunque por la cantidad de MO se estima que era bajo, atendiendo además a la concentración de Fe. El arroyo cruzaba un corral y quedaba rodeado de animales a ambos lados de sus márgenes.

Como se observa, hay cantidades mínimas o no detectables de los 3 elementos en aguas superficiales. Se asume que los valores están vinculados al fondo natural y a la composición de las rocas y sedimentos presentes y que, muy pequeñas anomalías, especialmente en A3 y A5, podrían eventualmente asociarse a contaminación. Los bajos o casi nulos valores hallados son típicos de aguas superficiales en zonas de recarga, muy vinculadas a las precipitaciones, medio que además posee fuerte poder de dilución.

9.3.4 Fe Mn y Zn en aguas subterráneas

Los resultados obtenidos se exponen en la Tabla N° 9.11:

Tabla N° 9.11: **A-** Análisis de muestras de aguas subterráneas; aquellos en que el resultado fue <LD, el valor entre paréntesis es LD/2 (en color en azul).
B- Estadísticos descriptivos de metales.

A	Elemento	Fe	Mn	Zn
	Unidad	µg/L	µg/L	µg/L
	Límite de detección	(10- 200 µg/L)	(30- 500 µg/L)	(500- 3000 µg/L)
	Método: test colorímetro			
	Límite de detección	(40- 2000 µg/L)	(100- 5000 µg/L)	(100- 3000 µg/L)
	Método: fotómetro (ECO)			
	B1	190	< LD (15)	< LD (50)
	B2	60	< LD (15)	< LD (50)
	B4	100	< LD (15)	< LD (50)
	B5	220	500	< LD (50)
	B6	15	100	800
	B9	5	15	< LD (50)
	B10	< LD (5)	< LD (15)	< LD (50)
	B11	60	100	< LD (50)
	B12	< LD (5)	100	< LD (50)
	B13	35	100	900
	B14	< LD (5)	100	< LD (50)
	B15	40	100	100
	B16	70	100	200
	B17	40	200	< LD (50)
	B18	10	400	< LD (50)
	B19	25	10	400
	B20	90	100	200
	B21	70	100	< LD (50)
	B22	50	< LD (15)	100
	B24	5	< LD (15)	< LD (50)

B		Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Típ
		Fe (µg/L)	5	220	55	40
	Mn (µg/L)	15	500	105,75	100	129,4
	Zn (µg/L)	50	900	167,5	50	249,4

En la tabla 9.12 se detallan los valores de pH y OD medidos para las muestras de aguas subterráneas.

Tabla N° 9.12: pH y OD en aguas subterráneas.

N° Muestra	pH	OD (mg/L)
B1	6,8	2,2
B2	6,7	3,6
B4	6,8	2,2
B5	6,4	2,9
B6	6,9	7,6
B9	7,6	2,7
B10	8,1	7,7
B11	7,9	7,3
B12	8,5	8,2
B13	8,0	4,5
B14	7,8	6,8
B15	7,7	6,4
B16	8,1	8,2
B17	8,3	7,7
B18	8,0	6,8
B19	7,4	
B20	7,9	
B21	7,4	
B22	7,2	
B23	7,3	
B24	7,3	
Promedio	7,5	5,6

En la figura N° 9.7, se destaca que los valores de metales son más altos en el acuífero que en aguas superficiales. Si se observan las medianas de los metales en ambas tablas, la del Fe y del Mn, son 10 veces más altas en aguas subterráneas y la del Zn es 5 veces más alta. Estos aspectos se vinculan a las características de cada sistema hidrológico evaluado, fundamentalmente a las velocidades de circulación del agua y sus posibilidades de incorporar iones. Así, en el sistema subterráneo, los tiempos de contacto con las partículas del terreno son mayores y los pH y OD promedio más bajos (7,5 y 5,6 mg/L respectivamente), mientras que en el agua superficial son de 7,8 y 8,4 mg/L, respectivamente. Estos valores de pH y OD en aguas superficiales y subterráneas son habituales en la región (Blarasin et al., 2014, Matteoda 2012, Becher Quinodoz, 2019), exceptuando casos concretos de anomalías por contaminación.

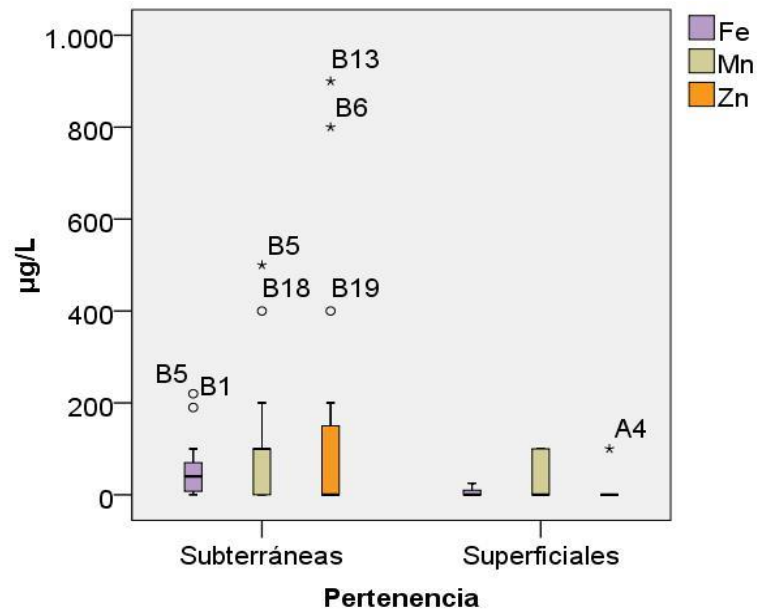


Figura N° 9.7: Distribución de Fe, Mn y Zn en aguas superficiales y subterráneas.

Las cajas muestran los aspectos explicados y aquellos valores anómalos en B5 y B1 para **Fe**, B5 y B18 para **Mn**, y B13, B6 y B19 para **Zn**, comportándose como valores outliers.

La distribución y anomalías en función del relieve (ubicación), litología y uso del territorio se explica en párrafos posteriores.

9.3.5 Valores para Fe Mn y Zn en la zona de estudio

A partir de los resultados obtenidos, se realizaron gráficos de barras con los valores de metales para aguas superficiales y subterráneas, adicionando como referencia líneas que representan el rango superior de fondo natural o bien valores de mediana, considerados representativos de fondo si no hay grandes dispersiones en los valores (Manzano et al. 2003, Matteoda, 2012, entre otros). Con esas referencias, los valores de metales obtenidos fueron agrupados en intervalos e interpretados a partir de la elaboración de un mapa de concentración y distribución espacial para cada metal.

Hierro

Se tomó el rango superior de referencia para hierro establecido por Langmuir (1997) de 100 µg/L, correspondiente a valores de medianas en aguas superficiales y subterráneas para diferentes elementos y compuestos químicos.

De total de las muestras de aguas subterráneas analizadas para Fe (20), el 10% (2) supera el valor de mediana establecido Langmuir (1997) y el 90 % restante (18) está por debajo de ese límite. Con respecto a las muestras de aguas superficiales, ninguna supera ese valor (Fig. N° 9.8). De igual manera, Galindo et al. (1997) usa el valor de 100 µg/L para Fe correspondiente a un estudio realizado sobre metales trazas en aguas subterráneas de la cuenca de Río Salado, provincia de Buenos Aires, con similitudes geológicas en el material sedimentario en relación al presente en el área de estudio, fundamentalmente para sedimentos tipo loésicos.



Figura N° 9.8: Concentraciones de hierro para muestras de aguas superficiales y subterráneas, relacionados con el valor de mediana.

En nuestro país, el límite de aptitud máximo de hierro según el Código Alimentario Argentino para consumo humano es de **300 µg/L** (0,30 mg/L), por lo que ninguna muestra de agua, tanto superficial como subterránea, lo supera.

Manganeso

Los valores que se utilizaron como referencia para Mn se tomaron de la tesis doctoral de Matteoda (2012) quien determinó un rango de fondo natural de 0,6 a 4,2 µg/L.

Del total de muestras de aguas subterráneas analizadas (20), el 100 % supera el rango superior de fondo natural establecido por Matteoda (2012) de 4,2 µg/L, mientras que si se considera la mediana general de Langmuir (1997) de 15 µg/L, el 60 % (12) la superan.

Para aguas superficiales, el 100 % superan el límite de rango superior establecido por Matteoda, mientras que si se considera el de Langmuir (1997), lo supera el 33,3 % (2) (Figura N° 9.9).

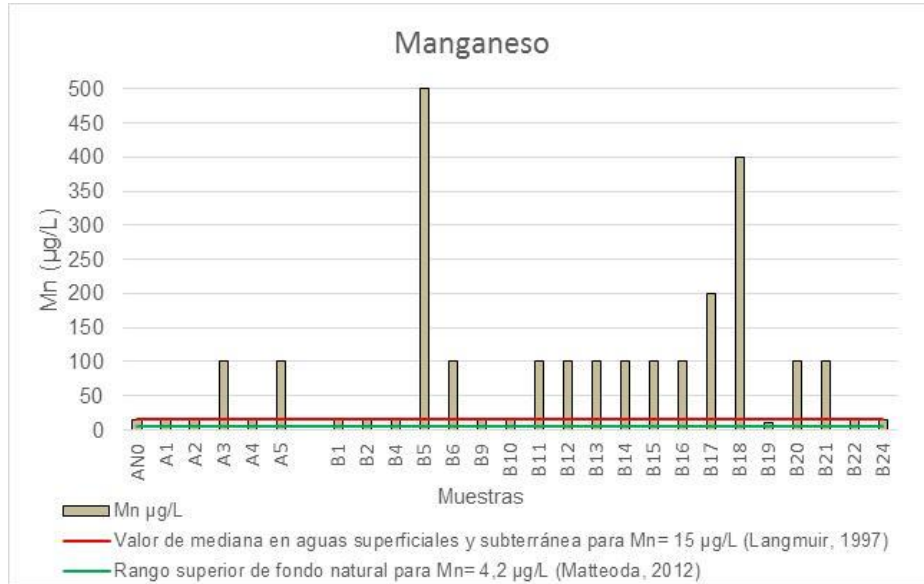


Figura N° 9.9: Concentraciones de manganeso para muestras de aguas superficiales y subterráneas, relacionados con rangos de fondo natural.

El límite de aptitud máximo según el Código Alimentario Argentino de manganeso para consumo humano es de **100 µg/L** (0,10 mg/L). Por lo tanto, del 100 % de las muestras de aguas subterráneas, el 15 % (3) lo supera, el 45 % (9) llegó justo al límite y el 40 % (8) está por debajo. De las muestras de aguas superficiales, ninguna lo supera pero sí el 33,3 % (2) llegó justo al límite.

Zinc

El valor de referencia, es decir la mediana establecida por Langmuir (1997) para Zn es de 20 µg/L. Para la zona de tesis, del total de muestras de aguas superficiales (6) y subterráneas (20) analizadas, el 100 % de ambas dos superan el valor sugerido por el mencionado autor (Figura N° 9.10).

Si se utilizase el límite del rango superior de fondo natural establecido por Galindo et al. (1997) de 100 µg/L para el Zn, sólo el 25% (5) de las muestras subterráneas lo superarían y el resto quedaría por debajo, incluyendo a las muestras superficiales.

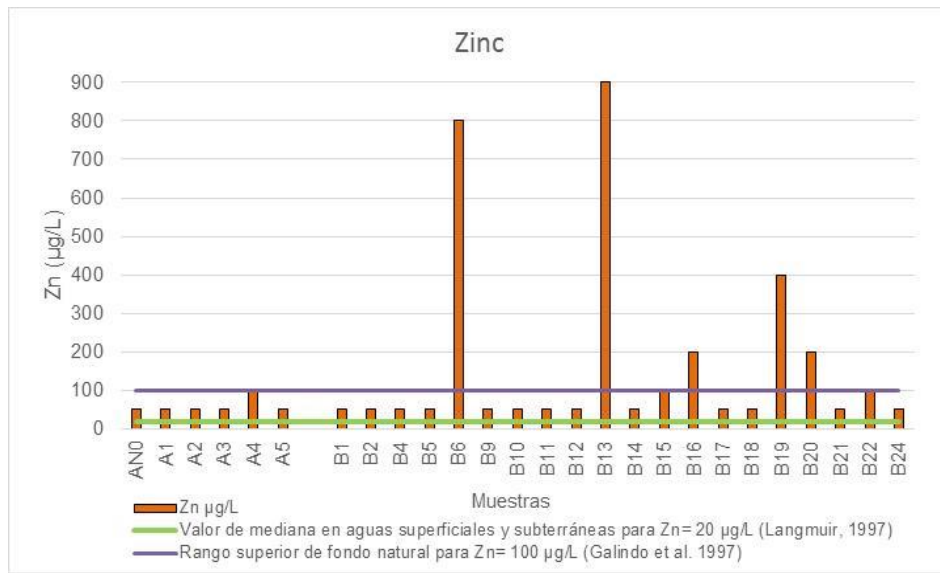


Figura N° 9.10: Concentraciones de zinc para muestras de aguas superficiales y subterráneas, relacionados con el valor de mediana.

El límite de aptitud máximo según el Código Alimentario Argentino de zinc para consumo humano es de **5000 µg/L** (5 mg/L). Por lo tanto, del 100 % de muestras de aguas superficiales y subterráneas, ninguna supera el límite establecido para este ión.

Los mapas de distribución areal y concentración para hierro manganeso y zinc encontrados en la zona de estudio aparecen en las figuras N° 9.11, 9.12 y 9.13 respectivamente.

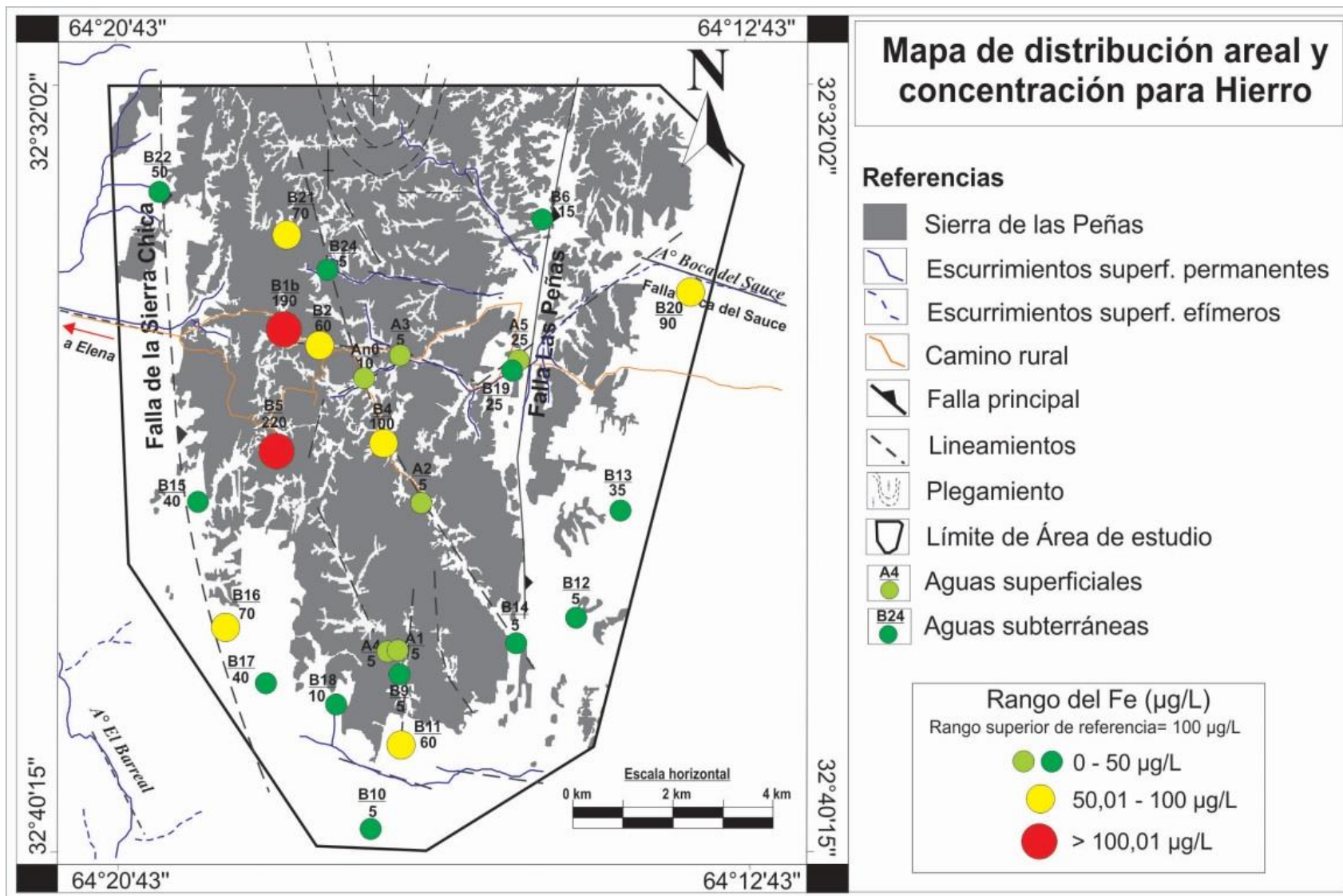


Figura N° 9.11: Mapa de distribución y concentración de Fe.

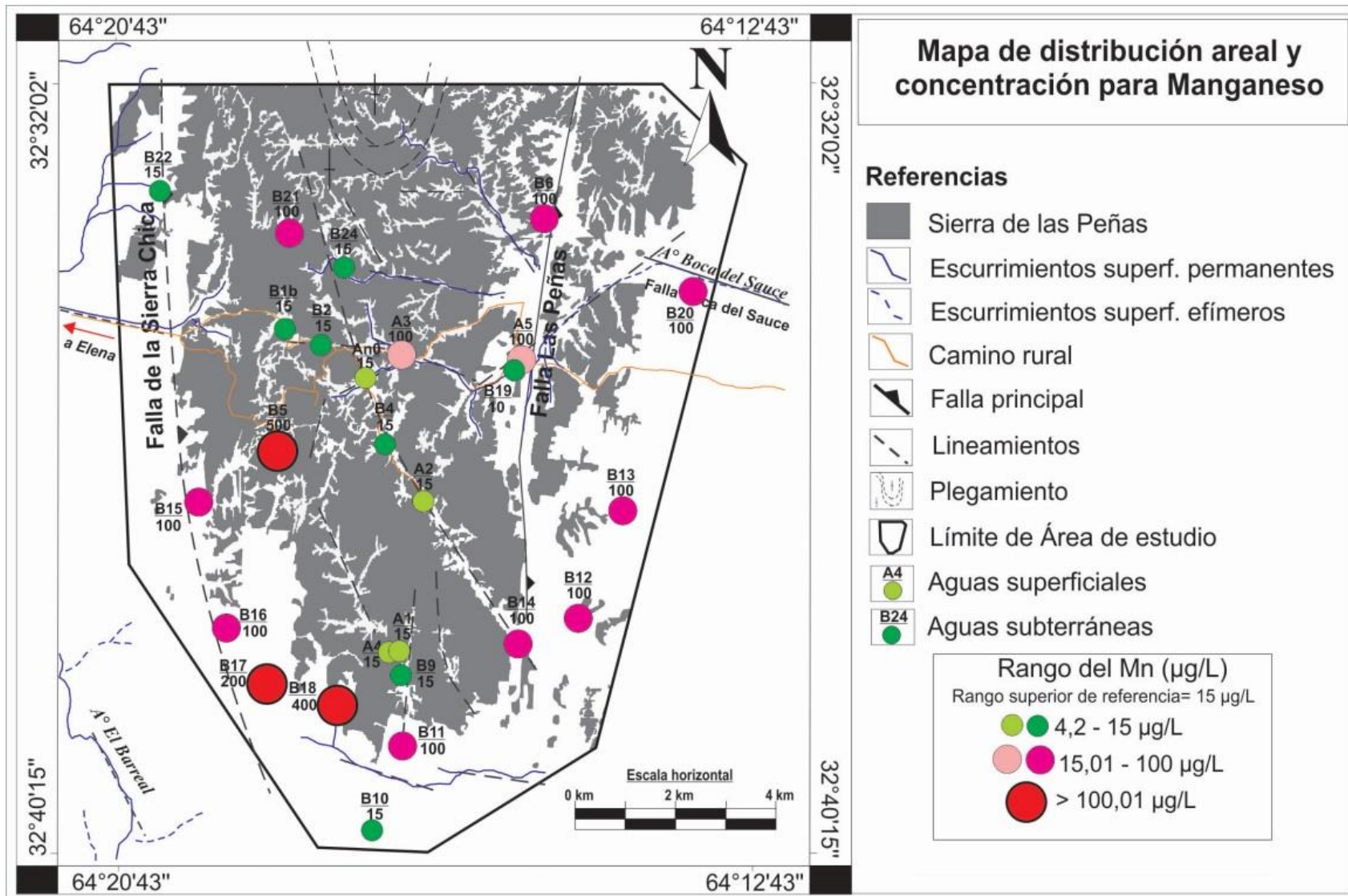


Figura N° 9.12: Mapa de distribución y concentración de Mn.

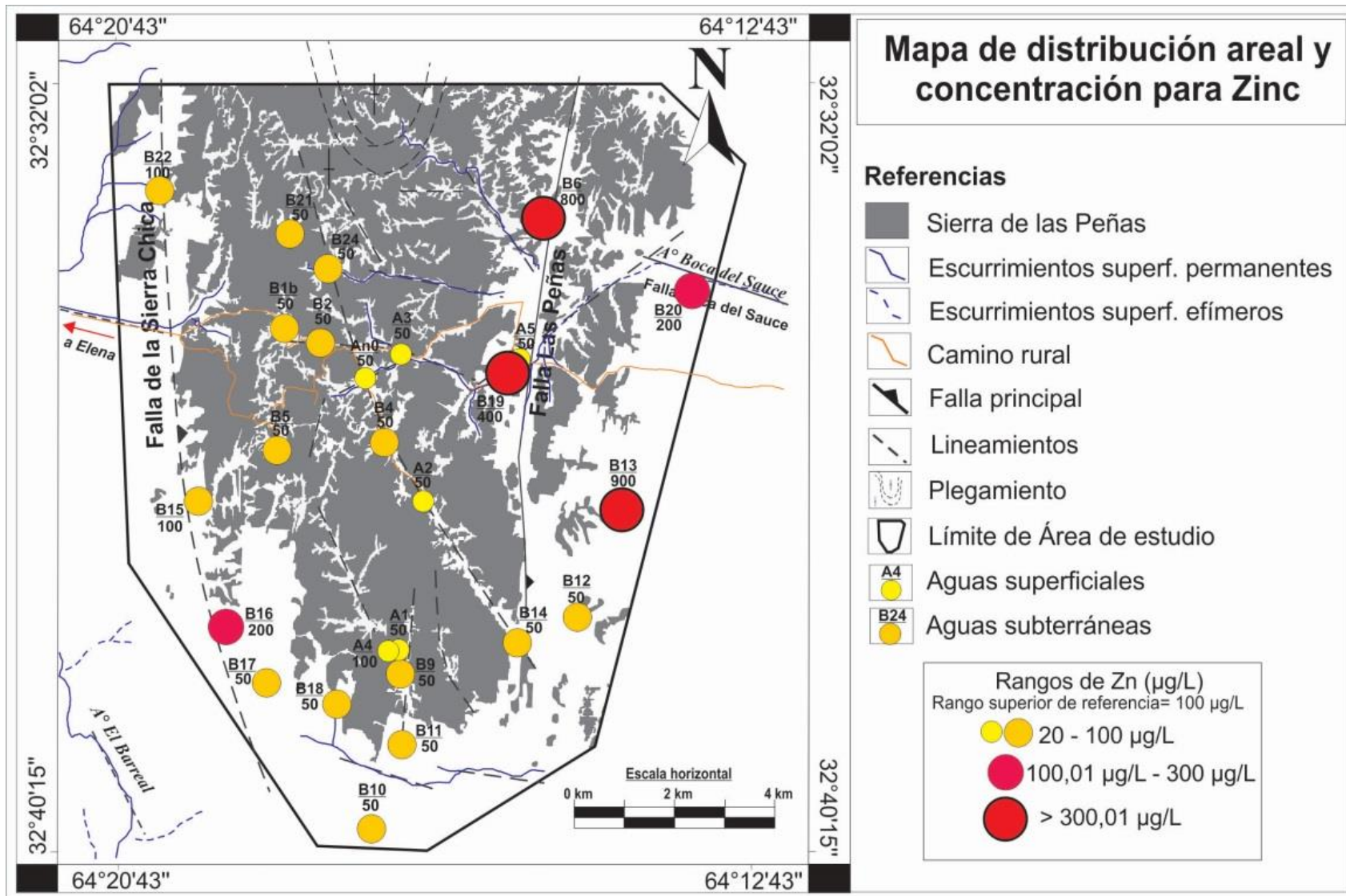


Figura N° 9.13: Mapa de distribución y concentración de Zn.

9.3.6 Relación entre pH y OD con los metales Fe Mn y Zn

En relación al pH, los metales muestran distintos comportamientos:

a- El hierro evidencia una tendencia negativa (Fig. N° 9.14) a medida que el pH incrementa, por lo que sus mayores concentraciones se encuentran a pH más bajos, y a medida que éste aumenta es inversamente proporcional a la concentración de Fe en solución.

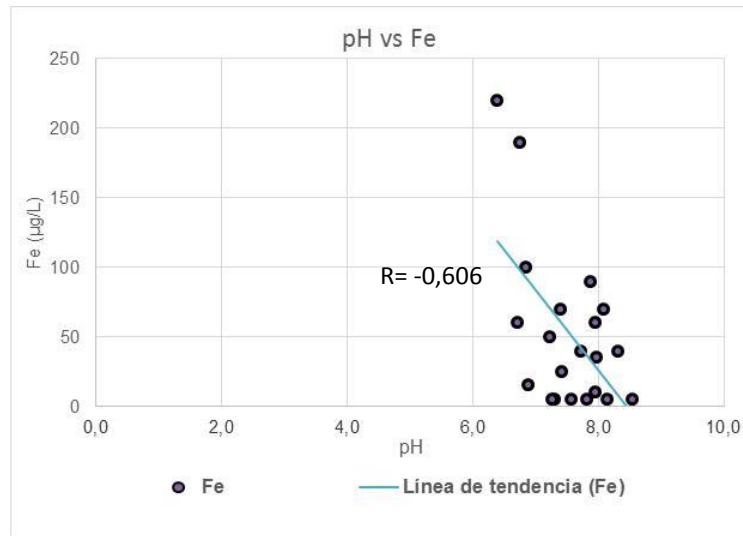


Figura N° 9.14: pH vs Fe.

b- El manganeso no muestra correlación de interés con el pH (Fig. N° 9.15), ya que como se observa en el gráfico el R es muy bajo.

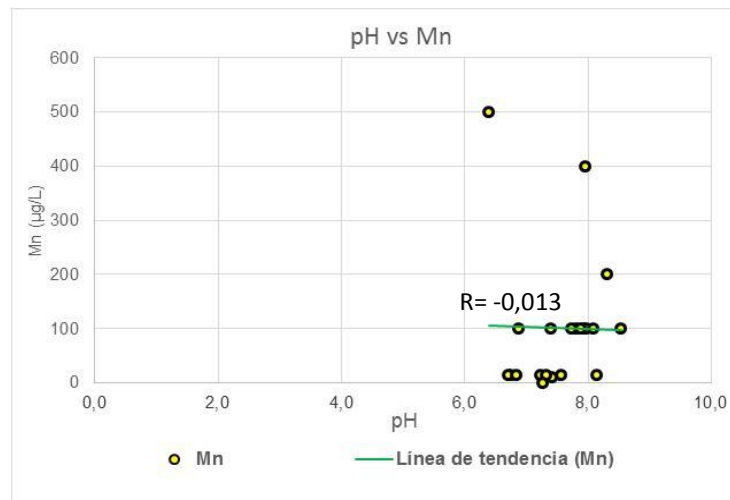


Figura N° 9.15: pH vs Mn

c- En forma similar al Mn, el valor de la correlación de Zn es muy bajo por lo que se limita la interpretación, observándose que para el rango de valores medidos el pH no estaría influenciando (Fig. N° 9.16).

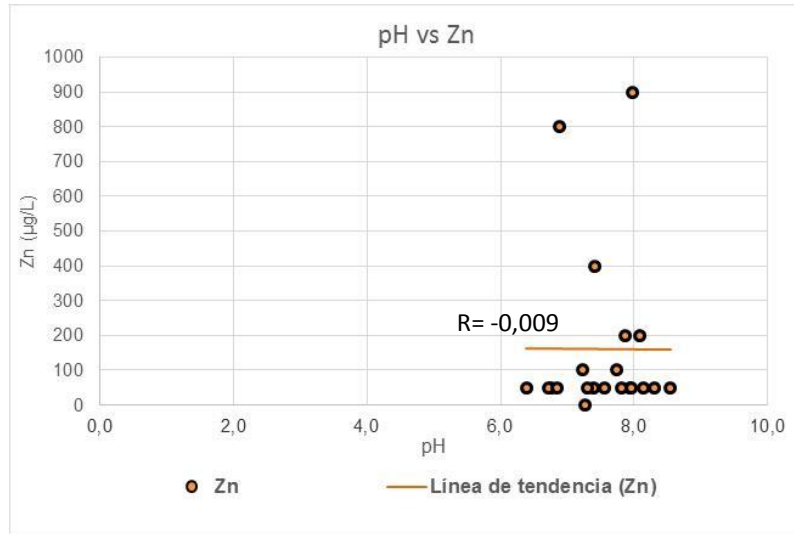


Figura N° 9.16: pH vs Zn

Respecto al contenido de **OD** en muestras de aguas subterráneas relacionadas con los metales de interés para esta tesis, se observa que:

- A medida que descenden los valores de OD en el agua (y por lo tanto el Eh), los tenores de hierro incrementan mostrando una relación negativa (Fig. N° 9.17).

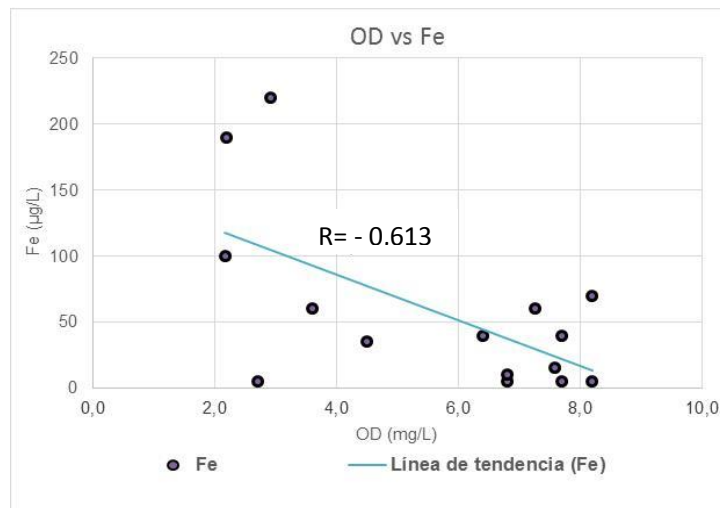


Figura N° 9.17: OD vs Fe.

- En los valores de manganeso y zinc en relación a OD, vuelven a mostrarse valores muy bajos de la correlación que no permiten ver claras tendencias (Fig. N° 9.18).

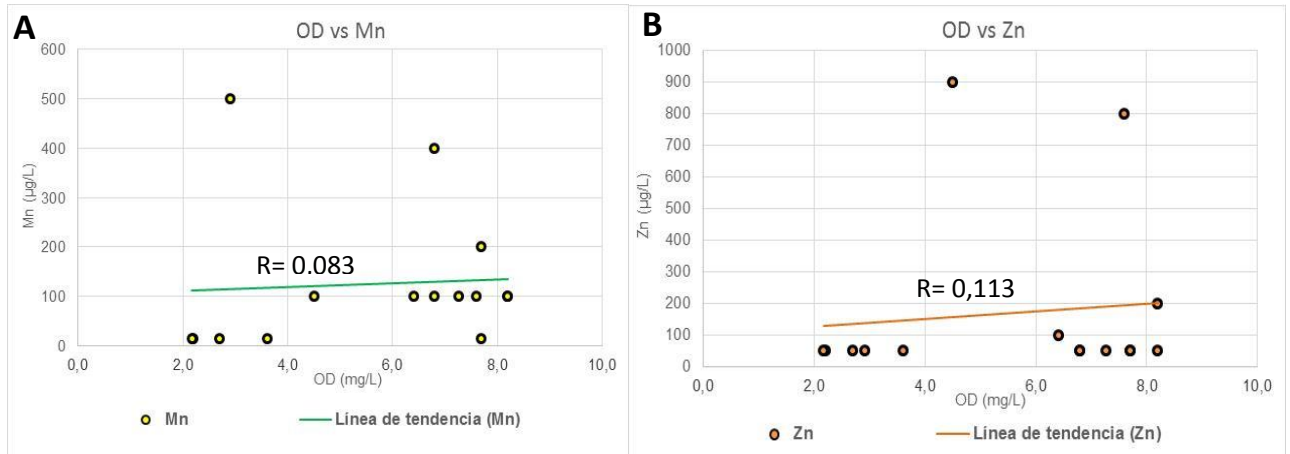


Figura N° 9.18: A- OD vs Mn. B- OD vs Zn.

Si se tiene en cuenta que para valores de OD más bajos (en el orden de 2 mg/L) se midieron Eh en el orden de -100 mV a 0 mV y que para valores de OD mayores se midieron Eh positivos en el orden de 0 a 100 mV, como en otros casos en la región (Bécher Quinodoz et al., 2019), las especies disueltas esperadas son (Fig. N° 9.19):

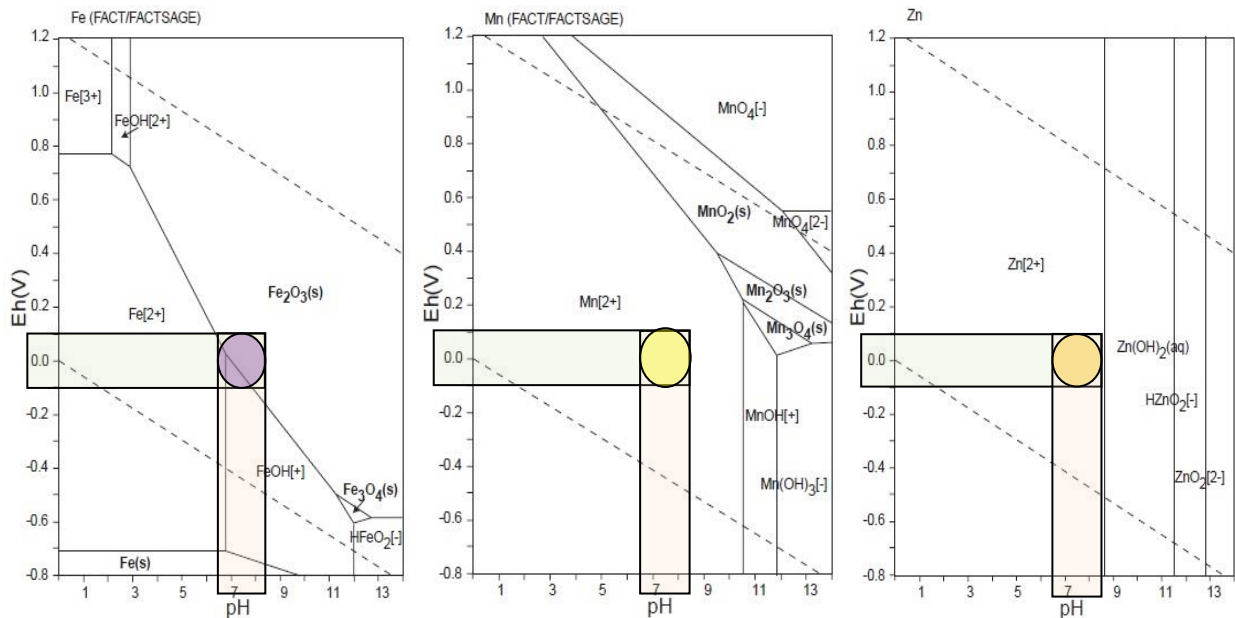


Figura N° 9.19: Diagramas de Eh- pH para los sistemas del Fe, Mn, y Zn (Takeno, N. 2005). Los círculos coloreados representan los campos que se solubilizan de cada metal considerado.

Como se observa en el gráfico de la figura 9.19, la especie de hierro disuelta en el agua sería fundamentalmente Fe^{+2} o la especie $FeOH(+)$, mientras que el campo de estabilidad del sólido no debe considerarse ya que justamente las muestras con alto pH son aquellas en las que prácticamente no hay Fe en solución y dieron valores menores al

límite de detección, por lo que se alcanza ese campo por problemas de detección en el laboratorio. Para los pH y los Eh obtenidos las especies disueltas de los otros dos metales son claramente Zn^{+2} y Mn^{+2} .

9.3.7 Ensayos tipo Batch para determinar liberación de Fe, Mn y Zn

9.3.7.1 Introducción, procedencia de los sedimentos y consideraciones generales del ensayo

El estudio de los procesos de transporte y flujo de contaminantes en el medio poroso es importante debido a que los metales retenidos en el suelo pueden ser gradualmente liberados debido a procesos bióticos y abióticos que tienen lugar en la zona no saturada, constituyendo una amenaza para las aguas subterráneas (Wang et al. 1998). Estos ensayos de tipo Batch (desorción/liberación) en sedimentos del área estudiada, consistieron en poner en contacto soluciones preparadas en laboratorio con sedimentos de distintas características, a distintos pH y tiempos. El objetivo es evaluar la capacidad de desorción de los metales en función del tiempo a partir de una solución conocida, dependiendo de la capacidad efectiva que tenga el material para liberar la masa de metal contenida.

Los sedimentos utilizados en estos ensayos corresponden a sedimentos coluviales y eólicos tomados en diferentes secciones de dos perfiles sedimentarios aflorantes esquematizados en el capítulo 4 de Geología Local (tabla N° 9.13). La muestra de origen eólico corresponde al perfil P3 y se compone de arenas muy finas con limoarcillas. La de origen coluvial perteneciente al perfil P1 se compone de clastos de gravas finas de composición granítica con matriz arenosa (arena gravosa):

Tabla N° 9.13: Identificación, procedencia y características de las muestras sedimentarias.

Identificación de las muestras	Procedencia	Características
F (fino) =	Perfil 3	Arenas muy finas con limoarcillas
Gr (grueso)=	Perfil 1	Arenas gravosas

Además, y como se indicara en el capítulo metodológico, los ensayos se realizaron usando dos soluciones. El objetivo es tratar de mostrar si a diferentes pH con diferente cantidad de iones HCO_3^- en la solución cambian las condiciones de desorción, aspecto que ha sido demostrado por diversos autores (Stumm and Morgan, 1996; Kabata Pendias, 2011; Becher Quinodoz, 2019; entre otros), aunque esto depende de las características

de cada metal. En este sentido puede destacarse que la presencia de bicarbonato puede potenciar la desorción de metales (Smedley y Kinniburgh 2002). Los experimentos para As sugieren que los iones bicarbonato pueden efectivamente movilizar el arsénico de las muestras de sedimentos, ya que pueden formar complejos en la superficie de los oxihidróxidos de hierro sustituyendo los iones de arsénico de la superficie de los minerales, liberando luego el arsénico al agua.

Para ello se usaron las siguientes soluciones (tabla 9.14):

Tabla N° 9.14: Propiedades de las soluciones utilizadas en los ensayos.

	H2O destilada	CE $\mu\text{S/cm}$	pH	Mn $\mu\text{g/L}$	Fe $\mu\text{g/L}$	Zn $\mu\text{g/L}$	HCO_3^- mg/L
Sol. 1	Si	0	6,15	0	0	0	0
Sol. 2	Si	31	8,45	0	0	0	25

Una vez finalizada la etapa de medición de metales y obtenidos los resultados, se volcaron en una planilla de cálculo (Excel), se seleccionaron los valores detectados y a partir de ellos se calculó el **Sd**, que es *la masa de metal desorbida ($\mu\text{g/L}$) por volumen de la solución utilizada (L) en relación a la masa del sedimento (kg)*:

$\text{Sd (x)} = \frac{\text{cc (ensayo)} \times \text{vol}}{\text{gr sedimentos}}$	VOLUMEN= 150 ml	0,15 L
	Sedim= 75 grs	0,075 Kg
	Cc (ensayo)=	$\mu\text{g/Kg}$ por muestra

Estos resultados se agruparon en una tabla junto con datos como número de ensayo, rango de pH asignado, t (días de ensayo), etc. y se elaboraron distintos gráficos de dispersión para cada metal así luego ser interpretados.

9.3.7.2 Resultados e interpretación de ensayos

Se presenta la tabla N° 9.15 con los valores obtenidos de Fe Mn y Zn a partir de los ensayos realizados:

Tabla N° 9.15: Ensayos de desorción/liberación en sedimentos del área de estudio.

N° de solución	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Sedimento	Fino: arenas muy finas con limo arcillas												Grueso: clastos y gravillas con matriz arenosa											
Solución	1						2						1						2					
pH	6,5-7,5			7,5-8,5			6,5-7,5			7,5-8,5			6,5-7,5			7,5-8,5			6,5-7,5			7,5-8,5		
t (días)	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14
Sd (Mn) ($\mu\text{g/Kg}$)	0	0,02	0	0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,05	0,03	0	0,01	0	0	0	0,01	0	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Sd (Fe) ($\mu\text{g/Kg}$)	0	0	0	0	0,08	0,08	0,08	0	0	0	0,02	0,04	0	1,6	0	0,08	0	0	0,14	0,08	0,14	0,04	0,02	0,28
Sd (Zn) ($\mu\text{g/Kg}$)	ND	0,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

En base a los resultados observados en los gráficos, se interpreta lo siguiente:

Zinc

El ensayo con la solución 2, realizado a pH 6,5- 7,5 donde se pusieron en contacto sedimentos finos con la solución 1, arrojó una concentración de 0,2 µg/kg a los 7 días (tabla N° 9.16). En los casos restantes, las concentraciones están por debajo del límite de detección del fotómetro (Fig. N° 9.20), lo que indica que solubilizó siempre poco y menos en pH altos.

Tabla N° 9.16: Resultados de los ensayos de desorción/liberación para Zn.

N° de solución	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Sedimento	Fino: arenas muy finas con limoarcillas												Grueso: clastos y gravillas con matriz arenosa											
Solución	1						2						1						2					
pH	6,5-7,5			7,5-8,5			6,5-7,5			7,5-8,5			6,5-7,5			7,5-8,5			6,5-7,5			7,5-8,5		
t (días)	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14
Sd (Zn) (µg/Kg)	ND	0,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

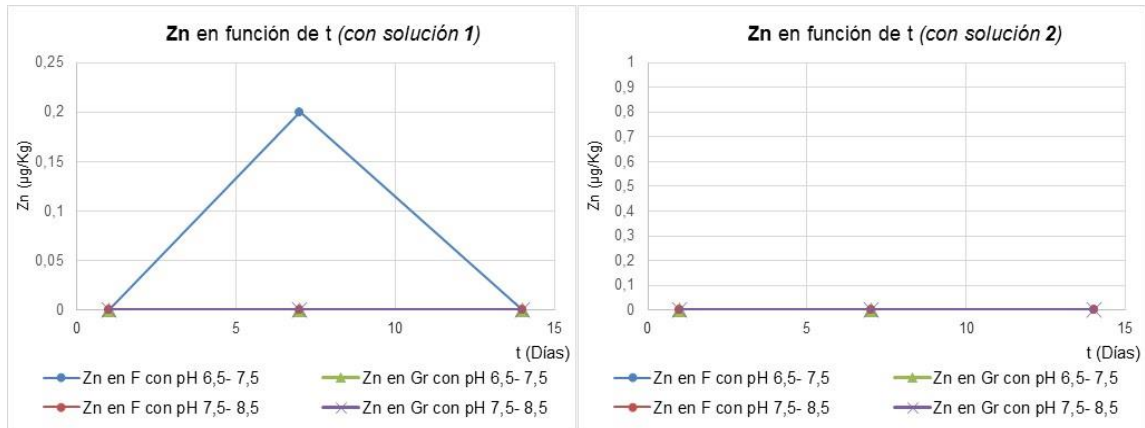


Figura N° 9.20: Gráficos de desorción para Zn en función del tiempo, de acuerdo al pH.

Manganeso

Este metal tuvo comportamientos diferentes de acuerdo al tipo de sedimento, pH y el tipo de solución asignada, en función de los días de ensayo. Estos valores se muestran en la tabla N° 9.17:

Tabla N° 9.17: Resultados de los ensayos de desorción/liberación para Mn.

N° de solución	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Sedimento	Fino: arenas muy finas con limoarcillas												Grueso: clastos y gravillas con matriz arenosa											
Solución	1						2						1						2					
pH	6,5-7,5			7,5-8,5			6,5-7,5			7,5-8,5			6,5-7,5			7,5-8,5			6,5-7,5			7,5-8,5		
t (días)	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14
Sd (Mn) (µg/Kg)	0	0,02	0	0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,05	0,03	0	0,01	0	0	0	0,01	0	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04

(Límite de detección de fotómetro para Mn= 100- 5000 µg/L).

El manganeso evidenció mayor liberación en la solución N° 11 correspondientes a materiales finos, en contacto con la solución 2 a los 7 días de ensayo y en un rango de pH entre 7,5- 8,5, aunque luego va disminuyendo hacia los 14 días (Fig. N° 9.21). En los materiales gruesos, la muestra N° 24 muestra la mayor desorción de Mn a los 14 días de ensayo luego de mantenerse constante, estando en contacto con la solución 2 y a pH 7,5- 8,5.

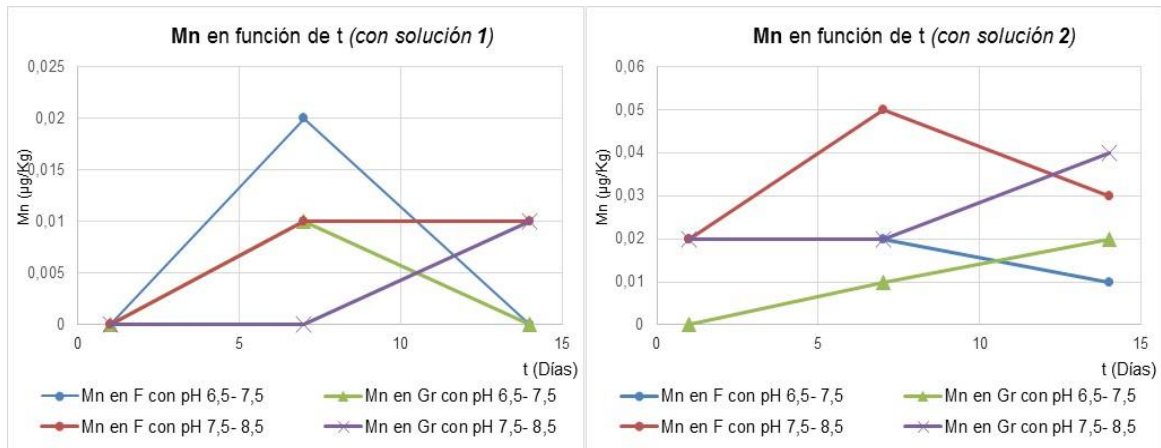


Figura N° 9.21: Gráficos de desorción para Mn en función del tiempo, de acuerdo al pH.

Hierro

El comportamiento del Fe en los ensayos de desorción/liberación queda registrado en la tabla N° 9.18:

Tabla N° 9.18: Resultados de los ensayos de desorción/liberación para Fe.

N° de solución	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Sedimento	Fino: arenas muy finas con limo arcillas												Grueso: clastos y gravillas con matriz arenosa											
Solución	1						2						1						2					
pH	6,5-7,5			7,5-8,5			6,5-7,5			7,5-8,5			6,5-7,5			7,5-8,5			6,5-7,5			7,5-8,5		
t (días)	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14	1	7	14
Sd (Fe) (µg/Kg)	0	0	0	0	0,08	0,08	0,08	0	0	0	0,02	0,04	0	1,6	0	0,08	0	0	0,14	0,08	0,14	0,04	0,02	0,28

(Límite de detección de fotómetro para Fe= 40- 2000 µg/L).

El hierro evidenció dos picos de liberación en los sedimentos gruesos: el más importante fue en la solución N° 14 resultando de 1,6 µg/Kg, en contacto con la solución 1 a los 7 días de ensayo y en un rango de pH de 6,5- 7,5 (Fig. N° 9.22).

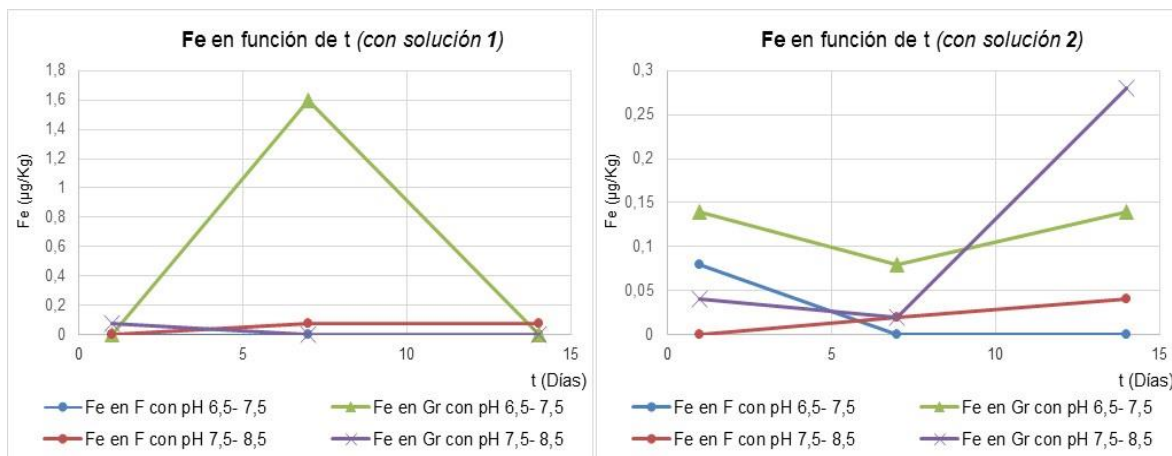


Figura N° 9.22: Gráficos de desorción de Fe en función del tiempo, de acuerdo al pH.

El segundo valor de liberación para Fe fue en la solución N° 14 (sedimentos gruesos) en contacto con la solución 2, a 14 días de ensayo y a pH 7,5- 8,5.

En función de lo obtenido para todos los ensayos a diferentes condiciones de pH, soluciones utilizadas y tiempo de duración, se realiza un análisis de los resultados:

Mediante estos ensayos se logró determinar que los sedimentos en contacto con la solución 1 (agua destilada), generaron la mayor desorción de Fe y Zn, el primero fue mayor en sedimentos *gruesos* y el segundo en *finos* a pH más ácidos (6,5- 7,5); en ambos ocurrió a los 7 días de ensayo donde luego, esos valores máximos decrecieron abruptamente. Por otro lado, el Mn mostró mayor liberación en contacto con la solución 2 (con bicarbonato de calcio) y en sedimentos *gruesos* de manera creciente en el transcurso de los días. Es decir, el **Mn** en gravas mostró leve proceso de entrada en solución con el paso del tiempo. Dado el mayor tamaño de grano que no favorecería tal proceso puede pensarse que en el material hay minerales que lo aporten más que en los sedimentos finos. En éstos hubo liberación marcando un máximo a los 7 días y luego disminuían.

A partir de ésto, se establece que las soluciones con bicarbonato de calcio disueltas (solución 2) generan mayor liberación de iones de manera creciente y/o constante en tiempo, siendo mayor en los sedimentos gruesos, ya que en los materiales finos produce una exaltación haciendo que lleguen a un valor máximo de liberación y luego decaen, generalmente, o se mantienen constantes.

La mineralogía detallada en el capítulo 4 de Geología Local, confirma la existencia de los metales como el hierro y manganeso en los sedimentos ya que son frecuentes en el

área de estudio, ya sea por formar parte de la mineralogía propia de la Sierra de las Peñas (Demichelis, 1986) asociado a minerales como granates, biotitas, opacos, hornblendas, etc. como así también de la mineralogía de los materiales que rellenan el pedemonte occidental (Matteoda, 2012). Los procesos de meteorización de ciertos minerales pueden generar óxidos de Fe, por ejemplo, en la superficie de los clastos en sedimentos que explicaría los valores obtenidos. Para el Zn, se ha indicado que está presente en los sedimentos eólicos del pedemonte, y los valles.

9.3.8 Relación de metales Fe Mn y Zn con relieve, litología, uso del territorio y actividades asociadas a las captaciones

Con la finalidad de establecer relaciones entre las actividades de uso, el relieve y la litología en la zona estudiada y los tenores encontrados de Fe Mn y Zn en aguas subterráneas, se elaboraron diferentes diagramas de cajas.

En relación al *relieve* (ubicación de los sitios de muestreo de las aguas subterráneas), los mayores tenores de **Fe** se encontraron en los valles intraserranos. El **Mn** muestra mayores concentraciones en el pedemonte occidental, conjuntamente con una muestra de un valle en el flanco occidental que contiene el valor máximo para la zona estudiada (punto B5). El **Zn** presenta las mayores concentraciones en el pedemonte oriental, adicionando además los valores obtenidos en los puntos B6 y B19, ambos ubicados en el Valle Las Peñas que es el de mayor dimensión en el área de estudio (Fig. N° 9.23).

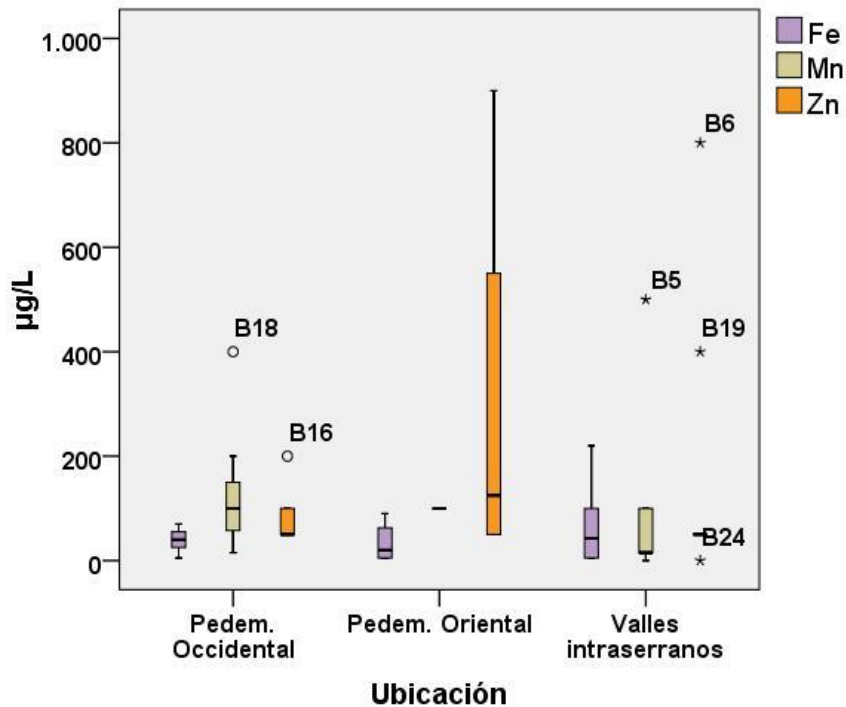


Figura N° 9.23: Distribución de Fe, Mn y Zn en aguas subterráneas según la ubicación de la captación.

Respecto a la mineralogía presente en las *litologías* de la zona (Fig. N° 9.24), el **Fe** muestra mayor concentración en aquellos valles rellenos de sedimentos aluvio- coluviales con cubierta eólica que cubren a la Unidad Anfibólica y Unidad Granítica Esquistosa, siendo frecuentes los minerales ferromagnesianos y con bordes desferrizados.

El **Mn** presenta los tenores más altos en muestras de aguas subterráneas tomadas en la llanura pedemontana occidental, asociadas a materiales aluvio- coluviales y fluviales localizados con cubierta eólica.

El **Zn** posee los valores más elevados en el sector oriental de la llanura pedemontana, siendo su valor más alto el asociado al punto B13, y subordinadamente le siguen los puntos de muestreo B6 y B19 ubicados dentro del Valle Las Peñas, vinculados con la litología del Complejo Migmático Central Norte, posiblemente influenciado por la Unidad Metamórfica Oriental (posee más Zn que el resto).

En estas unidades, son frecuentes los minerales portadores de Fe y Mn como granates, piroxenos (augita), o para el caso del Fe biotitas, hornblenda, opacos, olivino, entre otros, pero no se han registrado minerales en las litologías de las rocas que aporten

Zn más que los provenientes de la llanura pedemontana (Matteoda, 2012) y posiblemente pueda encontrarse en espinelos (?) si lo hubiese en algunas rocas.

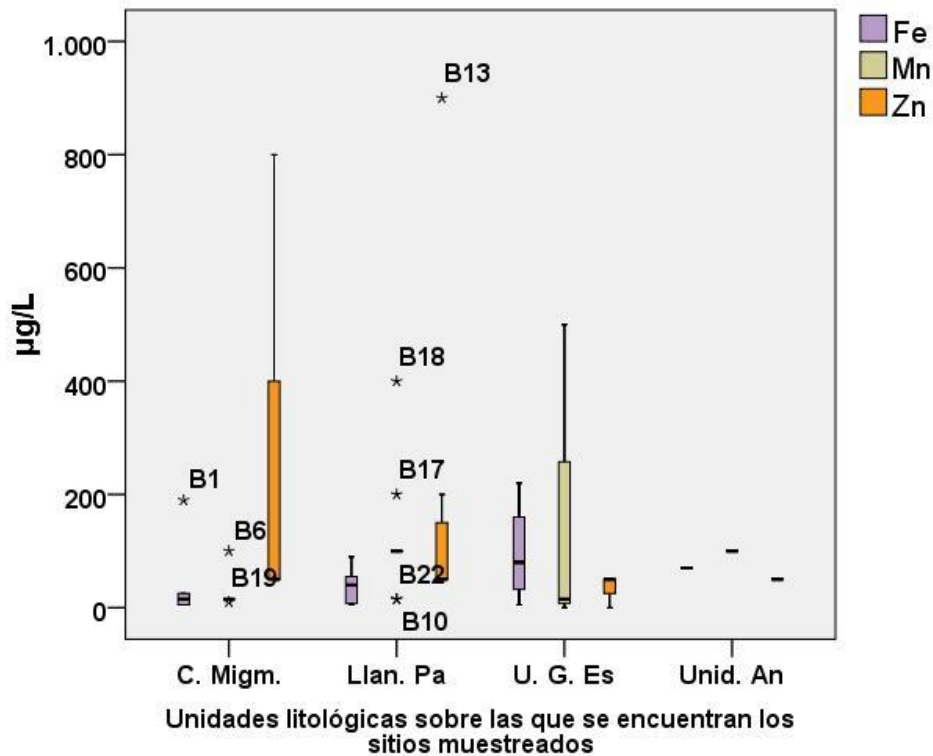


Figura N° 9.24: Fe, Mn y Zn en aguas subterráneas según la litología de las rocas donde se encuentran los sitios muestreados. C. Migm.= Complejo migmatítico central norte; Llan. Pa= llanura pampeana.; U.G.Esq= Unidad granítica esquistosa; Unid. Anf.= unidad Anfibólica.

La distribución de los metales de acuerdo al *uso del territorio* (Figura N° 9.25), muestra que las mayores concentraciones de **Mn** y **Zn** ocurren en el ámbito pedemontano y de llanura proximal donde se practican actividades agrícolas de secano y/o riego con ganadería extensiva/intensiva subordinada y también en aquellos sitios que desempeñan la agricultura de secano con ganadería extensiva/intensiva subordinada en valles intraserranos. Se sabe que en determinados sitios muestreados en el pedemonte se realizan prácticas agrícolas utilizando fertilizantes que contienen metales (Fe y Zn), tal es el caso de productos como NPK (punto B13), por lo que podrían potenciar los valores obtenidos para algunos metales. En relación a la actividad ganadera, si bien existen suplementos dietarios para animales que suelen implementarse y aportan metales, sólo se tiene conocimiento que en determinados establecimientos visitados se adicionaban sales minerales al ganado bovino, como en el caso del punto B2 y en B5.

En los valles intraserranos, el desempeño de la agricultura de secano y ganadería extensiva/intensiva subordinada está vinculada, además del Mn, al Fe en aguas subterráneas. Los valores anómalos podrían relacionarse al desempeño de dichas actividades.

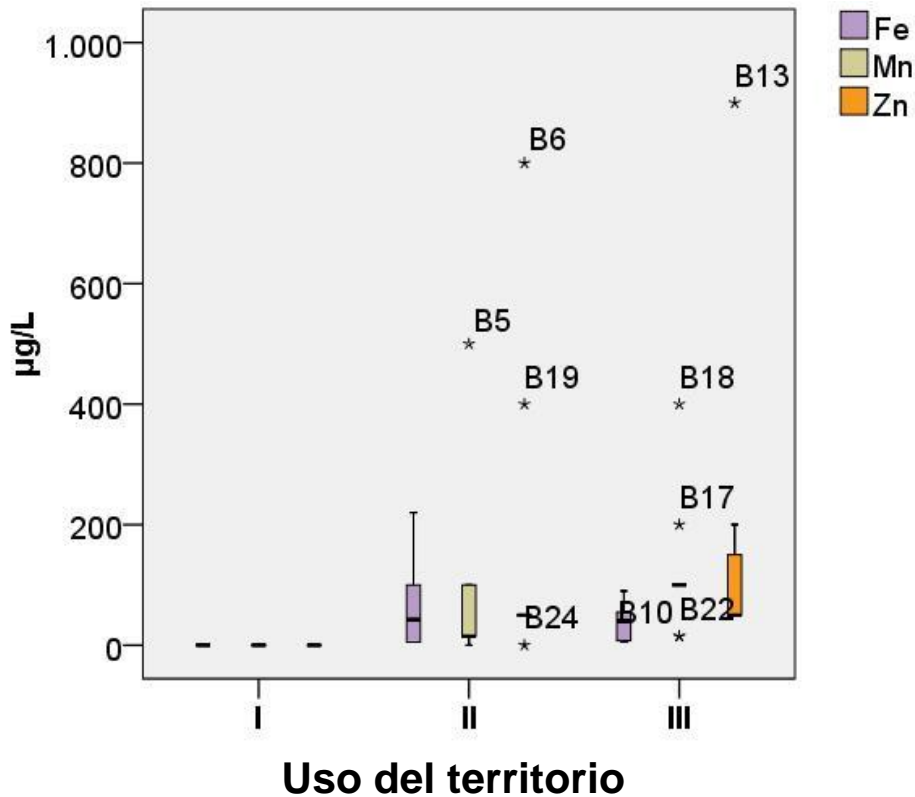


Figura N° 9.25: Distribución de Fe, Mn y Zn en aguas subterráneas según el uso del territorio. I- Áreas naturales de la sierra con ganadería extensiva. II- Agricultura de secano con ganadería extensiva/intensiva subordinada en valles intraserranos. III- Agricultura de secano y/o riego con ganadería extensiva/intensiva subordinada en pedemonte y llanura proximal.

En la figura N° 9.26, se observan las actividades asociadas a las captaciones de las que se obtuvieron muestras de aguas y posteriormente fueron analizadas. Se evidencian los mayores tenores de **hierro** asociados a actividades agrícolas- ganaderas y a la ganadería en conjunto, presentando como valores outliers los puntos B5 y B1 vinculados a corrales con animales rodeando la captación. El **manganeso** aparece muy ligado a las actividades agrícolas- ganaderas evidenciando la mediana más alta, mostrando como valores outliers a los puntos B5 (ganadería) y B18 (agricultura).

El **zinc** posee mayor afinidad con las actividades agrícolas- ganaderas mostrando la mayor mediana, comprendiendo como valores outliers a los puntos B13 (corrales bovinos

y porcinos rodeando captación), B6 (molino en medio de lote con maíz) y B19 (corrales bovinos rodeando captación), con las mayores concentraciones de la zona estudiada.

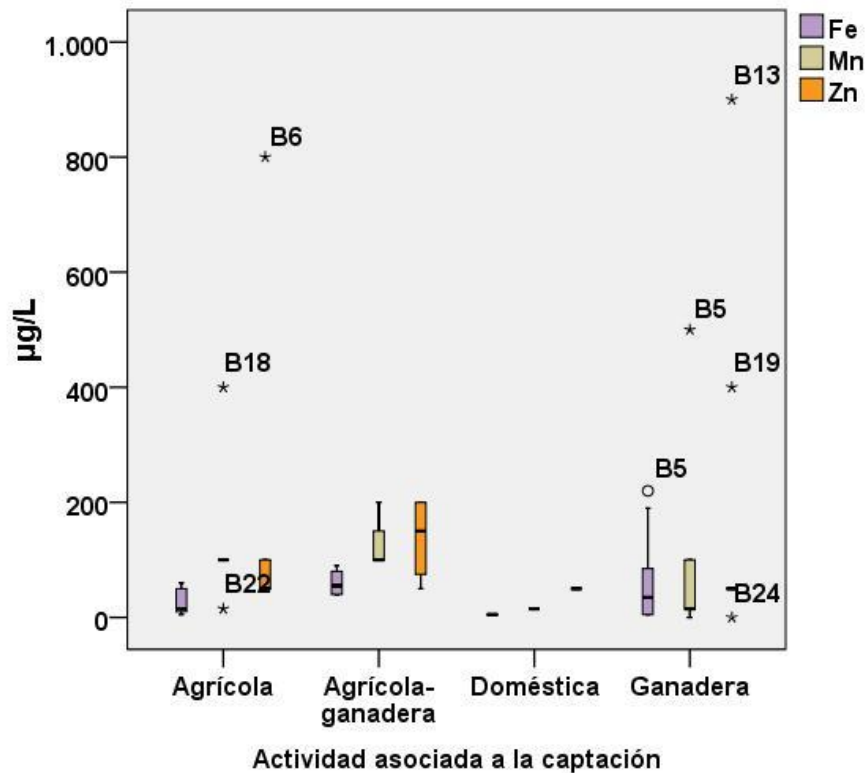


Figura N° 9.26: Fe Mn y Zn en aguas subterráneas en función de la actividad asociada a la captación.

9.3.9 Relación entre valores obtenidos de OD con actividades asociadas a las captaciones

En la figura N° 9.27, se muestra un diagrama de cajas expresando el contenido en oxígeno disuelto (OD) de las muestras en relación a la actividad a la que se vinculó la perforación.

El diagrama muestra que las actividades con menores valores en OD de las aguas subterráneas serían la doméstica (incluye sólo al punto B9) y las ganaderas de acuerdo a las medianas resultantes.

Los menores valores de OD están vinculados a actividades ganaderas debido al aporte de un compuesto reductor como la materia orgánica, escenario que puede contribuir a la movilidad de metales (Matteoda, 2012).

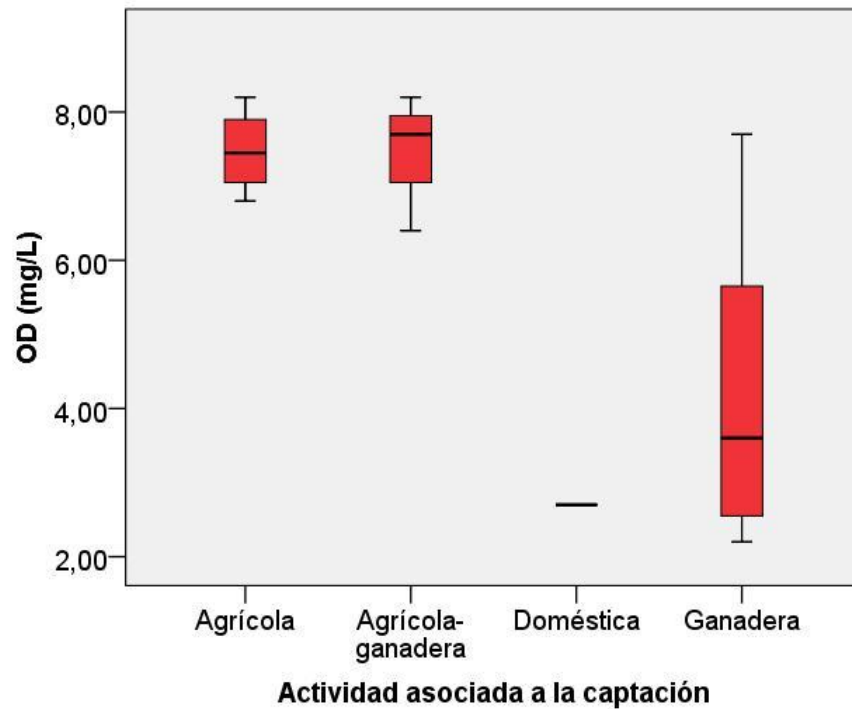


Figura N° 9.27: Contenido de oxígeno disuelto en aguas subterráneas de acuerdo a la actividad asociada a la captación.

Si bien en general se observaron valores bajos, las muestras de agua subterránea que evidencian anomalías en metales respecto a los bajos valores dominantes y que se repiten en los 3 escenarios (relieve, litología y uso del territorio) son B5, B1, B18, B13, B6 y B19, caracterizadas por la presencia de corrales con animales alrededor de la captación y/o bien rodeadas de lotes cultivados ya sea con maíz y/o soja. Por lo tanto, dichas anomalías podrían eventualmente asociarse a contaminación.

CAPÍTULO 10

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Conclusiones

En función del relevamiento realizado y los antecedentes disponibles, se observó que la Sierra de las Peñas es un ámbito litológicamente muy heterogéneo dominado por rocas del basamento plutónico-metamórfico de edad Precámbrica-Paleozoica inferior, en la que el relleno sedimentario de valles intraserranos, pedemonte y bajadas, evidencia los cambios climáticos acaecidos en la región. El relleno es, de acuerdo a las características de los perfiles levantados, de edad pleistocena-holocena en los valles, mientras que en la zona pedemontana los sedimentos expresan un rango más amplio de edad (probablemente Neógeno hasta Cuaternario). Tanto en los valles como en el pedemonte pudieron observarse en forma dominante depósitos masivos finos, con gravillas dispersas, sin estructuras fluviales típicas, los que representan flujos hiperconcentrados descendidos desde partes más altas, indicando que parte del loess serrano fue removido por procesos aluvio-coluviales. Los fluviales típicos están más localizados, al igual que los depósitos coluviales muy gruesos. Aquellos con más participación fluvial pueden asumirse como correspondientes a un período más húmedo, equivalentes a la Fm Las Lajas (Cantú, 1992) de edad holocena, mientras que los aluvio-coluviales más masivos y de origen episódico pueden ser equivalentes al período más seco del Holoceno Superior. En algunas áreas, especialmente cubriendo el entorno serrano, este período seco queda expresado por una cubierta fundamentalmente eólica de tipo loésica (equivalente a Fm. Laguna Oscura, Cantú, 1992). Los sedimentos más nuevos son en general aluvio-coluviales históricos. En el actual período húmedo, todo el material sedimentario aflorante se encuentra bajo proceso de edafización mientras que las rocas se encuentran bajo procesos de meteorización variable.

Desde la perspectiva morfoestructural, la sierra presenta un complejo sistema de plegamientos antiguos y un denso y complejo sistema de fallas y fracturas con direcciones dominantes E-O, NNO y NNE-NE, que al intersectarse generan bloques de diversa formas, que en general basculan al Este, condicionando la dirección, morfología y espesor de relleno de los valles, pudiendo determinarse en este estudio que estas características geológicas a su vez controlan diferentes aspectos locales de la dinámica y calidad de aguas superficiales y subterráneas. En general, los aspectos geomorfológicos quedan representados por un relieve en el que la sierra puede resumirse como un gran bloque de perfil marcadamente asimétrico con escarpe al occidente y superficie estructural al oriente que se pierde por debajo del material sedimentario pedemontano. Su historia de levantamiento cenozoico y exhumación, lenta y de escasa magnitud, como lo indican los antecedentes y los rasgos observados, se traduce en morfologías típicas remanentes de geoformas pre-cenozoicas con una prolongada y compleja evolución geomorfológica, fundamentalmente relacionada a procesos de denudación, dado el relieve positivo que tuvo el área a lo largo de su historia geológica. Se distinguieron en este trabajo los bloques de la paleosuperficie serrana disectada, con diferente orientación, el bloque metamórfico oriental y la depresión tectónica asociada y los valles intraserranos (con diferente orientación, tamaño y espesor del relleno), mientras que en pedemonte y llanura circundante se distinguieron la escarpa y bajadas con diferentes características (espesor de relleno, cantidad de paleocauces, etc.).

En función de los datos obtenidos, el clima resultó subhúmedo seco- mesotermal, con una PMA de 774,9 mm según la media aritmética y una PMA ponderada por el área de influencia de cada estación de 817,5 mm, observándose una alternancia entre ciclos húmedos y secos (entre 2-5 años de longitud), con tendencia al incremento paulatino de las precipitaciones. La ETP media anual estimada fue de 827 mm y si bien la ETR resultó de 756 mm a 801 mm, dependiendo de la serie analizada, siempre el balance hídrico edáfico modular resultó deficitario (entre 25 y 69 mm). Sin embargo, realizado el balance seriado pudo comprobarse que en aquellos años más húmedos se registraron excesos hídricos (hasta 18 % de la P), alojados en los meses de primavera- verano, que son los que alimentan los escurrimientos superficiales y la infiltración efectiva o recarga al acuífero.

La red de drenaje resultó del tipo dendrítico, especialmente en el centro norte del área, mientras que hacia el sur adopta un patrón tipo subdendrítico-enrejado por condicionamiento estructural, con arroyos de diferente régimen, efímero, temporario y permanente, siendo estos últimos los colectores de mayor orden que desembocan en la depresión tectónica al pie del bloque metamórfico. La tendencia general del escurrimiento, que es mayoritariamente hacia el Este por la configuración geomorfológica del bloque serrano, implica que la mayor parte del agua de precipitaciones circula hacia el pedemonte oriental donde los cursos de agua, efímeros, temporarios y aquellos que mantienen el régimen permanente hasta el pie de la sierra, luego infiltran aportando al sistema subterráneo, destacándose por lo tanto la importancia que adquieren en la recarga regional del sistema de llanura.

El acuífero libre alojado en los valles intraserranos se compone de sedimentos aluvio- coluviales de variada granulometría con eólicos subordinados. El nivel freático se encontró a profundidades menores a 10 m, siendo el apoyo hidráulico del acuífero libre el propio basamento serrano localizado a profundidades entre 8 m y 18 m de acuerdo a los datos disponibles, variando la profundidad del nivel en función del relieve que a su vez condiciona el espesor sedimentario de cada valle. En el ámbito pedemontano, el acuífero se compone de sedimentos aluvio- coluviales y fluviales localizados, con cubierta eólica, encontrándose el nivel freático a profundidades desde 6 m hasta 30 m, con el basamento a profundidad desconocida para la vertiente oriental a esta latitud. Por las K estimadas para las granulometrías de los materiales, que en general tienen un dominio de psamitas, los acuíferos sedimentarios (valles y entorno serrano) pueden encuadrarse en la categoría de *acuíferos buenos* aptos para la extracción de caudales intermedios a bajos para uso ganadero y consumo humano. Las rocas circundantes almacenan agua en sus fracturas y diaclasas, conformando acuitardos o acuíferos *muy pobres*, que luego pueden cederla al medio clástico.

Desde la perspectiva de la dinámica del fluido, el agua subterránea alojada en los valles y entorno periserrano tienen alimentación de precipitaciones. En el caso de los valles, dadas las cotas y cargas hidráulicas estimadas, el entorno rocoso circundante, aunque de baja conductividad hidráulica, puede aportar agua. Una parte del agua almacenada en esos pequeños acuíferos luego alimenta a los cursos permanentes y/o temporarios en épocas en las que no llueve o llueve poco, lo que asegura la circulación permanente hacia zonas más bajas. De esta manera, acompañando a la vía superficial, el agua subterránea alcanza el entorno serrano alimentando por vías de diferente recorrido y longitud y en conjunto con el mencionado aporte pluvial, el sistema de llanura. El mapa de

equipotenciales del medio sedimentario mostró un claro flujo radial divergente que constata que el pedemonte es receptor y transmisor de la llegada de agua desde el macizo serrano hacia la llanura. El sector occidental, condicionado por la presencia de la escarpa mostró los mayores gradientes hidráulicos y las mayores velocidades de escurrimiento del agua subterránea.

En cuanto a la composición físico-química del agua, se destaca que las aguas superficiales resultaron de muy bajo contenido salino, es decir dulces y del tipo geoquímico bicarbonatadas cálcicas, es decir aguas recién recargadas desde la fase atmosférica y algo de aporte subterráneo, y escasamente evolucionadas. En el caso del agua subterránea, se observa en general una evolución geoquímica normal con aumento del contenido salino desde la sierra hacia el pedemonte y un cambio gradual del tipo geoquímico hacia el pedemonte austral y oriental, aunque no hacia el occidental. De este modo y con fuerte condicionante del relieve, puede observarse que el agua subterránea que sale de la sierra en la vertiente occidental, dado los altos gradientes y velocidades de la escarpa, mantiene similitud en el contenido salino y tipo geoquímico. Por otro lado, en todo el flanco oriental del bloque serrano, las aguas subterráneas de valles son bicarbonatadas cálcicas, y en su tránsito desde las sierra hacia el pedemonte, al ir ocurriendo los menores gradientes y velocidades en éste último ambiente (controlados por el relieve y litologías) permiten la mayor incorporación de solutos e intercambio de cationes, resultando las aguas bicarbonatadas sódicas, llegando incluso en la zona más distal austral a ser sulfatada sódica en función del Kps de las sales, aspecto constatado con las relaciones iónicas calculadas. El ion minoritario NO_3^- fue fundamentalmente encontrado en el pedemonte, por encima de valores de fondo natural, asociado a actividades contaminantes agrícolas-ganaderas situadas alrededor de la captación. El estudio estadístico multivariado (cluster y componentes principales) de los iones disueltos en aguas permitió obtener, en general, tres componentes que exponen los aspectos mencionados: el primero explica el proceso de salinización mostrando en el núcleo el carácter sódico bicarbonatado o sulfatado de las muestras más saladas, el segundo explica el vínculo de indicadores químicos que expresan contaminación asociada a las actividades ganaderas y/o agrícolas (Cl y NO_3^-) y el tercero representa a las aguas más dulces y cálcicas (magnésicas) de las sierras asociadas a la recarga reciente.

En relación a las concentraciones de los metales Fe, Mn y Zn y realizados los ensayos de desorción/liberación tipo Batch en sedimentos eólicos y coluviales extraídos en situaciones prístinas, se comprobó en la solución resultante la presencia de muy bajas concentraciones de los 3 elementos, lo que permite en principio vincular su origen a fuentes naturales resultantes de la mineralogía de las diferentes unidades litológicas descritas. Los resultados muestran que la presencia de iones bicarbonatos puede favorecer, sobre todo en Fe y Mn, la liberación del elemento a la solución. Dados los pH y OD encontrados a campo, los diagramas Eh-pH permiten asumir que las especies disueltas en el agua son Fe^{+2} , Zn^{+2} y Mn^{+2} . Los resultados indican cantidades mínimas o no detectables de los 3 elementos en aguas superficiales que se asumen como valores del fondo natural relacionados fundamentalmente a la composición de las rocas y sedimentos presentes, aunque pequeñas anomalías, podrían eventualmente asociarse a contaminación. Los bajos o casi nulos valores hallados son típicos de aguas superficiales en zonas de recarga, medio que además posee fuerte poder de dilución de solutos. En aguas subterráneas, los mayores valores de Fe se dan en los valles intraserranos, las de Mn en el flanco y pedemonte occidental, y los mayores tenores de Zn se encuentran en el pedemonte oriental y Valle las Peñas, influenciados por la Unidad Metamórfica Oriental. Estos valores se asocian a la mineralogía presente en las rocas y sedimentos que

componen valles y ámbito pedemontano, mientras que los valores anómalos que se repiten en los 3 escenarios analizados (relación con relieve, litología y uso del territorio) son B5, B1, B18, B13, B6 y B19, caracterizadas por la presencia de corrales con animales alrededor de la captación y/o bien rodeadas de lotes cultivados ya sea con maíz y/o soja. Por lo tanto, dichas anomalías podrían asociarse a contaminación.

El límite de aptitud máximo según el Código Alimentario Argentino de hierro, manganeso y zinc para consumo humano es de 300 µg/L, 100 µg/L y 5000 µg/L. Por lo tanto, del 100 % de las muestras de aguas subterráneas, sólo el 15 % (3) supera el límite de aptitud para Mn por lo que son inapropiadas para consumo humano. De las muestras de aguas superficiales, todas son aptas para consumo. Respecto a los límites de aptitud para Fe y Zn, todas las muestras de aguas superficiales y subterráneas resultaron aptas para consumo humano.

10.2 Recomendaciones

Se sugiere calcular valores característicos propios de fondo natural para nitratos en forma separada en ambiente serrano y en ambientes periserranos, para lograr un mejor análisis y diferenciación más precisa sobre la posible procedencia de estos solutos en relación a los valores aportados por actividad humana.

Se recomienda a los ruralistas hacer uso racional de agroquímicos y/o herbicidas, así como también disponer responsablemente de los contenedores vacíos evitando su acumulación al aire libre y cercana a las captaciones de aguas subterráneas, con el fin de minimizar el impacto ambiental que generan estos desechos y evitar la generación de plumas contaminantes que pudiesen llegar al acuífero y dañarlo.

Se recomienda la reubicación de corrales con animales, situándolos aguas abajo de las captaciones, reduciendo así la probabilidad de contaminación por parte de las excretas de animales a través de la lixiviación y evitando alterar la composición química del agua subterránea.

Por último, se recomienda hacer un estudio más minucioso de Fe Mn y Zn presentes en aguas subterráneas del área de estudio, evaluando en principio valores de fondo natural propios para la zona y realizando un relevamiento más detallado de las actividades que se desarrollan en la zona, con información precisa sobre los agroquímicos empleados y/o suplementos dietarios utilizados en el ganado.

ANEXOS

Anexo I: Balances hídricos seriados: Elena (1975- 2017) y Las Peñas Sur (1990-2015)

BALANCE HIDRICO SERIADO PARA LA ESTACIÓN ELENA 1975-2017

PERIODOS: 43

AGUA UTIL EN LA CAPA SUPERIOR: 2.25 mm Y EN LA INFERIOR 12.5 mm

DICCIONARIO DE VARIABLES

P: Precipitación

ETP :Evapotranspiración

Potencial

ALMAC: Almacenamiento

RP: Recarga Potencial

R: Recarga

APE: Agua Potable Extraíble

AE: Agua Extraída

ETR: Evapotranspiración

Real

ESC: Escurrimiento

BALANCE HIDRICO SERIADO: Serie Elena (1976 - 2017)										
AÑO	MES	P	ETP	ALMAC.	RP	R	APE	AE	ETR	ESC.
1976	1	60	136	4,4	141	0	8,2	4,6	64,6	0
	2	147	96	55,4	145,6	51	2,8	0	96	0
	3	44	92	25,8	94,6	0	38,6	29,7	73,7	0
	4	40	56	23	124,2	0	9,6	2,7	42,7	0
	5	19	36	20,4	127	0	5,5	2,6	21,6	0
	6	0	22	17,4	129,6	0	3	3	3	0
	7	0	19	15,2	132,6	0	2,2	2,2	2,2	0
	8	28	29	15,1	134,8	0	2,9	0,1	28,1	0
	9	58	42	31,1	134,9	16	4,2	0	42	0
	10	46	77	13,6	118,9	0	22,1	17,5	63,5	0
	11	244	97	150	136,4	136,4	8,8	0	97	10,6
	12	183	125	150	0	0	108,3	0	125	58
1977	1	85	136	103,3	0	0	117,5	46,7	131,7	0
	2	113	96	120,3	46,7	17	66,1	0	96	0
	3	63	92	95,1	29,7	0	68,7	25,3	88,3	0
	4	0	56	59,6	54,9	0	35,5	35,5	35,5	0
	5	0	36	45,3	90,4	0	14,3	14,3	14,3	0
	6	7	22	40,7	104,7	0	6,6	4,5	11,5	0
	7	0	19	35,6	109,3	0	5,2	5,2	5,2	0
	8	15	29	32,3	114,4	0	6,9	3,3	18,3	0
	9	8	42	25	117,7	0	9	7,3	15,3	0
	10	139	77	87	125	62	12,8	0	77	0
	11	44	97	50,4	63	0	54,7	36,6	80,6	0
	12	213	125	138,4	99,6	88	42	0	125	0
1978	1	161	136	150	11,6	11,6	108,9	0	136	13,4
	2	148	96	150	0	0	84,2	0	96	52
	3	110	92	150	0	0	80,8	0	92	18
	4	0	56	99,2	0	0	50,8	50,8	50,8	0
	5	0	36	75,4	50,8	0	23,8	23,8	23,8	0
	6	5	22	66,8	74,6	0	11,1	8,5	13,5	0
	7	0	19	58,4	83,2	0	8,5	8,5	8,5	0

Graciela Sara Iacomussi.

	8	0	29	47,1	91,6	0	11,3	11,3	11,3	0
	9	190	42	150	102,9	102,9	13,2	0	42	45,1
	10	42	77	116,7	0	0	68,3	33,3	75,3	0
	11	97	97	116,7	33,3	0	75,4	0	97	0
	12	116	125	109,7	33,3	0	97,2	7	123	0
1979	1	113	136	92,9	40,3	0	99,4	16,8	129,8	0
	2	185	96	150	57,1	57,1	59,4	0	96	31,9
	3	30	92	94,2	0	0	80,8	55,8	85,8	0
	4	69	56	107,2	55,8	13	35,2	0	56	0
	5	0	36	79,7	42,8	0	27,4	27,4	27,4	0
	6	75	22	132,7	70,3	53	11,7	0	22	0
	7	28	19	141,7	17,3	9	19	0	19	0
	8	0	29	113,6	8,3	0	28,1	28,1	28,1	0
	9	22	42	98,5	36,4	0	31,8	15,1	37,1	0
	10	30	77	67,6	51,5	0	50,5	30,9	60,9	0
	11	82	97	60,9	82,4	0	43,7	6,8	88,8	0
	12	96	125	49,1	89,1	0	50,7	11,8	107,8	0
1980	1	36	136	16,4	100,9	0	44,5	32,7	68,7	0
	2	55	96	11,9	133,6	0	10,5	4,5	59,5	0
	3	77	92	10,7	138,1	0	7,3	1,2	78,2	0
	4	55	56	10,6	139,3	0	4	0,1	55,1	0
	5	0	36	8,1	139,4	0	2,6	2,6	2,6	0
	6	0	22	6,9	141,9	0	1,2	1,2	1,2	0
	7	0	19	6	143,1	0	0,9	0,9	0,9	0
	8	0	29	4,9	144	0	1,2	1,2	1,2	0
	9	9	42	3,8	145,1	0	1,4	1,1	10,1	0
	10	82	77	8,8	146,2	5	1,9	0	77	0
	11	78	97	3,4	141,2	0	7,3	5,4	83,4	0
	12	102	125	2,9	146,6	0	2,9	0,5	102,5	0
1981	1	159	136	25,9	147,1	23	2,6	0	136	0
	2	42	96	2,3	124,1	0	24,4	23,6	65,6	0
	3	178	92	88,3	147,7	86	1,4	0	92	0
	4	59	56	91,3	61,7	3	38,1	0	56	0
	5	0	36	61,4	58,7	0	29,9	29,9	29,9	0
	6	0	22	52,4	88,6	0	9	9	9	0
	7	0	19	45,8	97,6	0	6,6	6,6	6,6	0
	8	0	29	36,9	104,2	0	8,9	8,9	8,9	0
	9	4	42	27,6	113,1	0	10,3	9,4	13,4	0
	10	57	77	23,9	122,4	0	14,2	3,7	60,7	0
	11	69	97	19,4	126,1	0	15,5	4,5	73,5	0
	12	227	125	121,4	130,6	102	16,2	0	125	0
1982	1	60	136	63,7	28,6	0	96,4	57,8	117,8	0
	2	78	96	56	86,3	0	40,7	7,6	85,6	0
	3	81	92	51,9	94	0	34,4	4,1	85,1	0
	4	29	56	42,6	98,1	0	19,4	9,3	38,3	0
	5	9	36	34,9	107,4	0	10,2	7,7	16,7	0
	6	22	22	34,9	115,1	0	5,1	0	22	0
	7	0	19	30,5	115,1	0	4,4	4,4	4,4	0
	8	73	29	74,5	119,5	44	5,9	0	29	0
	9	0	42	43,9	75,5	0	30,6	30,6	30,6	0
	10	0	77	21,4	106,1	0	22,5	22,5	22,5	0
	11	69	97	17,4	128,6	0	13,8	4	73	0
	12	61	125	10	132,6	0	14,5	7,4	68,4	0
1983	1	215	136	89	140	79	9	0	136	0
	2	126	96	119	61	30	55,3	0	96	0
	3	41	92	77,7	31	0	67	41,3	82,3	0
	4	2	56	49,7	72,3	0	29	28	30	0
	5	42	36	55,7	100,3	6	11,9	0	36	0

Graciela Sara Iacomussi.

	6	0	22	44,4	94,3	0	11,3	11,3	11,3	0
	7	5	19	40,3	105,6	0	5,6	4,1	9,1	0
	8	26	29	39,5	109,7	0	7,8	0,8	26,8	0
	9	41	42	39,2	110,5	0	11	0,3	41,3	0
	10	150	77	112,2	110,8	73	20,1	0	77	0
	11	78	97	93,2	37,8	0	66,9	19	97	0
	12	167	125	135,2	56,8	42	75,2	0	125	0
1984	1	133	136	132,2	14,8	0	106,5	3	136	0
	2	112	96	148,2	17,8	16	76,4	0	96	0
	3	168	92	150	1,8	1,8	80	0	92	74,2
	4	10	56	107,5	0	0	50,8	42,5	52,5	0
	5	0	36	81,7	42,5	0	25,8	25,8	25,8	0
	6	0	22	69,7	68,3	0	12	12	12	0
	7	0	19	60,9	80,3	0	8,8	8,8	8,8	0
	8	11	29	53,6	89,1	0	11,8	7,3	18,3	0
	9	78	42	89,6	96,4	36	15	0	42	0
	10	41	77	59,8	60,4	0	47,4	29,7	70,7	0
	11	115	97	77,8	90,2	18	38,7	0	97	0
	12	243	125	150	72,2	72,2	60,7	0	125	45,8
1985	1	125	136	139	0	0	117,5	11	136	0
	2	83	96	126	11	0	82,3	13	96	0
	3	59	92	98,3	24	0	76,8	27,7	86,7	0
	4	9	56	67,5	51,7	0	36,7	30,8	39,8	0
	5	0	36	51,3	82,5	0	16,2	16,2	16,2	0
	6	9	22	46,9	98,7	0	7,5	4,4	13,4	0
	7	121	19	148,9	103,1	102	5,9	0	19	0
	8	24	29	143,9	1,1	0	28,3	5	29	0
	9	34	42	135,9	6,1	0	38,2	8	42	0
	10	86	77	144,9	14,1	9	65,7	0	77	0
	11	147	97	150	5,1	5,1	83,8	0	97	44,9
	12	180	125	150	0	0	108,3	0	125	55
1986	1	71	136	91,7	0	0	117,5	58,3	129,3	0
	2	81	96	82,5	58,3	0	58,7	9,2	90,2	0
	3	56	92	62,7	67,5	0	50,6	19,8	75,8	0
	4	10	56	43,5	87,3	0	23,4	19,2	29,2	0
	5	31	36	42	106,5	0	10,4	1,4	32,4	0
	6	2	22	36,4	108	0	6,2	5,6	7,6	0
	7	25	19	42,4	113,6	6	4,6	0	19	0
	8	8	29	32,8	107,6	0	11,6	9,6	17,6	0
	9	55	42	45,8	117,2	13	9,2	0	42	0
	10	62	77	32,3	104,2	0	27	13,4	75,4	0
	11	74	97	27,4	117,7	0	20,9	5	79	0
	12	194	125	96,4	122,6	69	22,8	0	125	0
1987	1	168	136	128,4	53,6	32	77,8	0	136	0
	2	105	96	137,4	21,6	9	73,9	0	96	0
	3	127	92	150	12,6	12,6	75,2	0	92	22,4
	4	8	56	105,8	0	0	50,8	44,2	52,2	0
	5	62	36	131,8	44,2	26	25,4	0	36	0
	6	0	22	109,8	18,2	0	22	22	22	0
	7	16	19	106,8	40,2	0	14,4	3	19	0
	8	18	29	99	43,2	0	20,7	7,8	25,8	0
	9	17	42	82,5	51	0	27,7	16,5	33,5	0
	10	53	77	69,3	67,5	0	42,3	13,2	66,2	0
	11	67	97	55,4	80,7	0	44,8	13,9	80,9	0
	12	167	125	97,4	94,6	42	46,2	0	125	0
1988	1	174	136	135,4	52,6	38	78,6	0	136	0
	2	124	96	150	14,6	14,6	77,3	0	96	13,4
	3	191	92	150	0	0	80,8	0	92	99

Graciela Sara Iacomussi.

	4	13	56	110	0	0	50,8	40	53	0
	5	8	36	89,5	40	0	26,4	20,5	28,5	0
	6	0	22	76,3	60,5	0	13,1	13,1	13,1	0
	7	7	19	70,2	73,7	0	9,7	6,1	13,1	0
	8	0	29	56,7	79,8	0	13,6	13,6	13,6	0
	9	41	42	56,3	93,3	0	15,9	0,4	41,4	0
	10	2	77	28,1	93,7	0	28,9	28,1	30,1	0
	11	76	97	24,2	121,9	0	18,2	3,9	79,9	0
	12	116	125	22,7	125,8	0	20,2	1,5	117,5	0
1989	1	100	136	17,3	127,3	0	20,6	5,5	105,5	0
	2	42	96	11,1	132,7	0	11,1	6,2	48,2	0
	3	154	92	73,1	138,9	62	6,8	0	92	0
	4	29	56	47,4	76,9	0	34,9	25,6	54,6	0
	5	23	36	43,3	102,6	0	11,4	4,1	27,1	0
	6	29	22	50,3	106,7	7	6,4	0	22	0
	7	0	19	39,8	99,7	0	10,5	10,5	10,5	0
	8	0	29	32,1	110,2	0	7,7	7,7	7,7	0
	9	24	42	28,3	117,9	0	9	3,9	27,9	0
	10	35	77	20,4	121,7	0	14,5	7,9	42,9	0
	11	62	97	15,6	129,6	0	13,2	4,8	66,8	0
	12	49	125	7,7	134,4	0	13	7,9	56,9	0
1990	1	88	136	5,2	142,3	0	7	2,5	90,5	0
	2	45	96	3,5	144,8	0	3,4	1,8	46,8	0
	3	112	92	23,5	146,5	20	2,1	0	92	0
	4	67	56	34,5	126,5	11	20,8	0	56	0
	5	22	36	20,5	115,5	0	25,7	14	36	0
	6	0	22	8,8	129,5	0	11,7	11,7	11,7	0
	7	13	19	8,4	141,2	0	1,1	0,4	13,4	0
	8	5	29	7,1	141,6	0	1,6	1,3	6,3	0
	9	22	42	6,1	142,9	0	2	0,9	22,9	0
	10	86	77	15,1	143,9	9	3,1	0	77	0
	11	104	97	22,1	134,9	7	12,6	0	97	0
	12	97	125	5,6	127,9	0	20,5	16,5	113,5	0
1991	1	157	136	26,6	144,4	21	5,1	0	136	0
	2	154	96	84,6	123,4	58	23,8	0	96	0
	3	127	92	119,6	65,4	35	51,6	0	92	0
	4	58	56	121,6	30,4	2	44,6	0	56	0
	5	35	36	120,6	28,4	0	32,1	1	36	0
	6	12	22	110,6	29,4	0	22	10	22	0
	7	14	19	105,6	39,4	0	17,2	5	19	0
	8	33	29	109,6	44,4	4	21,9	0	29	0
	9	12	42	85,7	40,4	0	31,7	24	36	0
	10	72	77	82,8	64,3	0	44	2,9	74,9	0
	11	151	97	136,8	67,2	54	53,6	0	97	0
	12	255	125	150	13,2	13,2	99,6	0	125	116,8
1992	1	125	136	139	0	0	117,5	11	136	0
	2	119	96	150	11	11	82,3	0	96	12
	3	359	92	150	0	0	80,8	0	92	267
	4	80	56	150	0	0	50,8	0	56	24
	5	9	36	123,3	0	0	34,2	26,7	35,7	0
	6	0	22	105,2	26,7	0	18,1	18,1	18,1	0
	7	8	19	97,5	44,8	0	13,3	7,7	15,7	0
	8	7	29	83,2	52,5	0	18,9	14,3	21,3	0
	9	96	42	137,2	66,8	54	23,3	0	42	0
	10	32	77	97,3	12,8	0	63,9	40	72	0
	11	110	97	110,3	52,7	13	62,9	0	97	0
	12	230	125	150	39,7	39,7	85,6	0	125	65,3
1993	1	130	136	144	0	0	117,5	6	136	0

Graciela Sara Iacomussi.

	2	76	96	124,2	6	0	83,2	19,8	95,8	0
	3	99	92	131,2	25,8	7	76,2	0	92	0
	4	21	56	101	18,8	0	47,6	30,2	51,2	0
	5	12	36	84,8	49	0	24,2	16,2	28,2	0
	6	0	22	72,4	65,2	0	12,4	12,4	12,4	0
	7	1	19	63,7	77,6	0	9,2	8,7	9,7	0
	8	8	29	54,8	86,3	0	12,3	8,9	16,9	0
	9	6	42	41,6	95,2	0	15,3	13,1	19,1	0
	10	65	77	38,3	108,4	0	21,4	3,3	68,3	0
	11	261	97	150	111,7	111,7	24,8	0	97	52,3
	12	168	125	150	0	0	108,3	0	125	43
1994	1	136	136	150	0	0	117,5	0	136	0
	2	46	96	104,2	0	0	84,2	45,8	91,8	0
	3	87	92	100,7	45,8	0	63,9	3,5	90,5	0
	4	14	56	72,5	49,3	0	37,6	28,2	42,2	0
	5	33	36	71,1	77,5	0	17,4	1,4	34,4	0
	6	12	22	66,3	78,9	0	10,4	4,7	16,7	0
	7	17	19	65,4	83,7	0	8,4	0,9	17,9	0
	8	56	29	92,4	84,6	27	12,6	0	29	0
	9	21	42	71,4	57,6	0	32,6	21	42	0
	10	83	77	77,4	78,6	6	36,8	0	77	0
	11	108	97	88,4	72,6	11	49,1	0	97	0
	12	83	125	58	61,6	0	67,8	30,4	113,4	0
1995	1	280	136	150	92	92	52,6	0	136	52
	2	105	96	150	0	0	84,2	0	96	9
	3	56	92	115,8	0	0	80,8	34,2	90,2	0
	4	10	56	80,3	34,2	0	43,2	35,5	45,5	0
	5	44	36	88,3	69,7	8	19,3	0	36	0
	6	0	22	72,8	61,7	0	15,5	15,5	15,5	0
	7	0	19	63,6	77,2	0	9,2	9,2	9,2	0
	8	0	29	51,3	86,4	0	12,3	12,3	12,3	0
	9	11	42	40,7	98,7	0	14,4	10,6	21,6	0
	10	40	77	30,7	109,3	0	20,9	10	50	0
	11	219	97	150	119,3	119,3	19,8	0	97	2,7
	12	61	125	92,5	0	0	108,3	57,5	118,5	0
1996	1	216	136	150	57,5	57,5	83,9	0	136	22,5
	2	223	96	150	0	0	84,2	0	96	127
	3	52	92	112,5	0	0	80,8	37,5	89,5	0
	4	67	56	123,5	37,5	11	42	0	56	0
	5	3	36	96	26,5	0	29,7	27,5	30,5	0
	6	7	22	86,4	54	0	14,1	9,6	16,6	0
	7	0	19	75,5	63,6	0	10,9	10,9	10,9	0
	8	0	29	60,9	74,5	0	14,6	14,6	14,6	0
	9	41	42	60,5	89,1	0	17	0,4	41,4	0
	10	19	77	37,1	89,5	0	31	23,4	42,4	0
	11	90	97	35,4	112,9	0	24	1,7	91,7	0
	12	160	125	70,4	114,6	35	29,5	0	125	0
1997	1	71	136	33,3	79,6	0	58,6	37,1	108,1	0
	2	83	96	30,4	116,7	0	21,3	2,9	85,9	0
	3	96	92	34,4	119,6	4	18,6	0	92	0
	4	53	56	31,4	115,6	0	14,5	3	56	0
	5	10	36	25,3	118,6	0	8,1	6,1	16,1	0
	6	8	22	23	124,7	0	3,7	2,4	10,4	0
	7	6	19	21	127	0	2,9	2	8	0
	8	9	29	18,2	129	0	4,1	2,8	11,8	0
	9	39	42	17,8	131,8	0	5,1	0,4	39,4	0
	10	51	77	14,7	132,2	0	9,1	3,1	54,1	0
	11	148	97	65,7	135,3	51	9,5	0	97	0

Graciela Sara Iacomussi.

	12	159	125	99,7	84,3	34	52,1	0	125	0
1998	1	90	136	64,3	50,3	0	80,3	35,5	125,5	0
	2	120	96	88,3	85,7	24	41,1	0	96	0
	3	34	92	49,7	61,7	0	53,1	38,6	72,6	0
	4	16	56	36,4	100,3	0	18,6	13,3	29,3	0
	5	47	36	47,4	113,6	11	8,7	0	36	0
	6	20	22	45,4	102,6	0	13,7	2	22	0
	7	0	19	34	104,6	0	11,4	11,4	11,4	0
	8	0	29	27,4	116	0	6,6	6,6	6,6	0
	9	30	42	25,2	122,6	0	7,7	2,2	32,2	0
	10	61	77	22,5	124,8	0	13	2,7	63,7	0
	11	161	97	86,5	127,5	64	14,6	0	97	0
	12	154	125	115,5	63,5	29	66	0	125	0
1999	1	91	136	78,5	34,5	0	92	37,1	128,1	0
	2	38	96	48,1	71,5	0	50,2	30,3	68,3	0
	3	219	92	150	101,9	101,9	29,5	0	92	25,1
	4	106	56	150	0	0	50,8	0	56	50
	5	4	36	119,2	0	0	34,2	30,8	34,8	0
	6	9	22	108,8	30,8	0	17,5	10,3	19,3	0
	7	5	19	98,7	41,2	0	13,8	10,2	15,2	0
	8	19	29	92,1	51,3	0	19,1	6,6	25,6	0
	9	26	42	82,3	57,9	0	25,8	9,8	35,8	0
	10	106	77	111,3	67,7	29	42,2	0	77	0
	11	139	97	150	38,7	38,7	66,4	0	97	3,3
	12	332	125	150	0	0	108,3	0	125	207
2000	1	180	136	150	0	0	117,5	0	136	44
	2	123	96	150	0	0	84,2	0	96	27
	3	114	92	150	0	0	80,8	0	92	22
	4	120	56	150	0	0	50,8	0	56	64
	5	39	36	150	0	0	34,2	0	36	3
	6	9	22	137	0	0	22	13	22	0
	7	18	19	136	13	0	17,8	1	19	0
	8	1	29	110,8	14	0	26	25,2	26,2	0
	9	5	42	83,5	39,2	0	31	27,3	32,3	0
	10	81	77	87,5	66,5	4	42,9	0	77	0
	11	117	97	107,5	62,5	20	55,8	0	97	0
	12	69	125	65,7	42,5	0	80,2	41,8	110,8	0
2001	1	113	136	55,6	84,3	0	59,6	10,1	123,1	0
	2	10	96	23,7	94,4	0	35,6	31,9	41,9	0
	3	279	92	150	126,3	126,3	14,6	0	92	60,7
	4	101	56	150	0	0	50,8	0	56	45
	5	15	36	129	0	0	34,2	21	36	0
	6	9	22	117,5	21	0	19	11,5	20,5	0
	7	0	19	102,6	32,5	0	14,9	14,9	14,9	0
	8	20	29	96,5	47,4	0	19,8	6,2	26,2	0
	9	151	42	150	53,5	53,5	27	0	42	55,5
	10	75	77	148	0	0	68,3	2	77	0
	11	52	97	106,7	2	0	84,7	41,3	93,3	0
	12	112	125	97,4	43,3	0	88,9	9,2	121,2	0
2002	1	119	136	86,4	52,6	0	88,3	11	130	0
	2	67	96	69,7	63,6	0	55,3	16,7	83,7	0
	3	66	92	57,6	80,3	0	42,7	12,1	78,1	0
	4	148	56	149,6	92,4	92	21,5	0	56	0
	5	8	36	122,1	0,4	0	34,1	27,5	35,5	0
	6	0	22	104,2	27,9	0	17,9	17,9	17,9	0
	7	23	19	108,2	45,8	4	13,2	0	19	0
	8	22	29	102,1	41,8	0	21,4	6,1	28,1	0
	9	0	42	73,5	47,9	0	28,6	28,6	28,6	0

Graciela Sara Iacomussi.

	10	42	77	56,4	76,5	0	37,7	17,2	59,2	0
	11	78	97	49,2	93,6	0	36,5	7,1	85,1	0
	12	115	125	45,9	100,8	0	41	3,3	118,3	0
2003	1	56	136	21,4	104,1	0	41,7	24,5	80,5	0
	2	93	96	21	128,6	0	13,7	0,4	93,4	0
	3	83	92	19,8	129	0	12,9	1,3	84,3	0
	4	76	56	39,8	130,2	20	7,4	0	56	0
	5	10	36	19	110,2	0	22,1	20,8	30,8	0
	6	6	22	16,9	131	0	2,8	2	8	0
	7	31	19	28,9	133,1	12	2,1	0	19	0
	8	0	29	15	121,1	0	13,9	13,9	13,9	0
	9	0	42	10,8	135	0	4,2	4,2	4,2	0
	10	8	77	5,8	139,2	0	5,6	5	13	0
	11	26	97	3,1	144,2	0	3,8	2,8	28,8	0
	12	189	125	67,1	146,9	64	2,6	0	125	0
2004	1	112	136	43,1	82,9	0	56,1	24	136	0
	2	93	96	41,5	106,9	0	27,6	1,6	94,6	0
	3	118	92	67,5	108,5	26	25,5	0	92	0
	4	27	56	41,4	82,5	0	33,8	26,1	53,1	0
	5	143	36	148,4	108,6	107	9,9	0	36	0
	6	0	22	126,4	1,6	0	22	22	22	0
	7	32	19	139,4	23,6	13	16,2	0	19	0
	8	0	29	112,7	10,6	0	26,7	26,7	26,7	0
	9	0	42	81,1	37,3	0	31,6	31,6	31,6	0
	10	78	77	82,1	68,9	1	41,6	0	77	0
	11	48	97	55,2	67,9	0	52,9	27	75	0
	12	181	125	111,2	94,8	56	46	0	125	0
2005	1	149	136	124,2	38,8	13	88,8	0	136	0
	2	181	96	150	25,8	25,8	71,9	0	96	59,2
	3	60	92	119,2	0	0	80,8	30,8	90,8	0
	4	34	56	101,7	30,8	0	44,5	17,5	51,5	0
	5	8	36	82,7	48,3	0	24,4	19	27	0
	6	3	22	72,2	67,3	0	12,1	10,5	13,5	0
	7	11	19	68,4	77,8	0	9,1	3,9	14,9	0
	8	2	29	56,1	81,6	0	13,2	12,3	14,3	0
	9	6	42	42,6	93,9	0	15,7	13,5	19,5	0
	10	62	77	38,4	107,4	0	21,9	4,3	66,3	0
	11	184	97	125,4	111,6	87	24,8	0	97	0
	12	65	125	76,9	24,6	0	91,9	48,4	113,4	0
2006	1	167	136	107,9	73,1	31	69,8	0	136	0
	2	140	96	150	42,1	42,1	64,3	0	96	1,9
	3	132	92	150	0	0	80,8	0	92	40
	4	163	56	150	0	0	50,8	0	56	107
	5	0	36	115,8	0	0	34,2	34,2	34,2	0
	6	0	22	98,8	34,2	0	17	17	17	0
	7	6	19	90,3	51,2	0	12,5	8,6	14,6	0
	8	1	29	73,4	59,7	0	17,5	16,9	17,9	0
	9	10	42	57,8	76,6	0	20,6	15,7	25,7	0
	10	69	77	54,7	92,2	0	29,7	3,1	72,1	0
	11	108	97	65,7	95,3	11	35,4	0	97	0
	12	168	125	108,7	84,3	43	52,6	0	125	0
2007	1	322	136	150	41,3	41,3	86,9	0	136	144,7
	2	80	96	134	0	0	84,2	16	96	0
	3	130	92	150	16	16	78,2	0	92	22
	4	57	56	150	0	0	50,8	0	56	1
	5	16	36	130	0	0	34,2	20	36	0
	6	16	22	124,2	20	0	19,2	5,8	21,8	0
	7	8	19	115,1	25,8	0	15,7	9,1	17,1	0

Graciela Sara Iacomussi.

	8	2	29	94,4	34,9	0	22,2	20,7	22,7	0
	9	60	42	112,4	55,6	18	26,4	0	42	0
	10	21	77	70,4	37,6	0	55,1	41,9	62,9	0
	11	36	97	41,8	79,6	0	45,6	28,6	64,6	0
	12	101	125	35,1	108,2	0	34,8	6,7	107,7	0
2008	1	320	136	150	114,9	114,9	31,8	0	136	69,1
	2	118	96	150	0	0	84,2	0	96	22
	3	117	92	150	0	0	80,8	0	92	25
	4	17	56	113,3	0	0	50,8	36,7	53,7	0
	5	3	36	88,4	36,7	0	27,2	24,9	27,9	0
	6	2	22	76,6	61,6	0	13	11,8	13,8	0
	7	0	19	66,9	73,4	0	9,7	9,7	9,7	0
	8	4	29	55,8	83,1	0	12,9	11,2	15,2	0
	9	25	42	49,4	94,2	0	15,6	6,3	31,3	0
	10	43	77	38,2	100,6	0	25,4	11,2	54,2	0
	11	127	97	68,2	111,8	30	24,7	0	97	0
	12	165	125	108,2	81,8	40	53,8	0	125	0
2009	1	124	136	96,2	41,8	0	86,6	12	136	0
	2	77	96	79,9	53,8	0	59,1	16,3	93,3	0
	3	118	92	105,9	70,1	26	49	0	92	0
	4	3	56	65,8	44,1	0	41,7	40,1	43,1	0
	5	18	36	57,9	84,2	0	15,8	7,9	25,9	0
	6	6	22	51,7	92,1	0	8,5	6,2	12,2	0
	7	0	19	45,2	98,3	0	6,6	6,6	6,6	0
	8	0	29	36,4	104,8	0	8,7	8,7	8,7	0
	9	45	42	39,4	113,6	3	10,2	0	42	0
	10	12	77	21,4	110,6	0	21	18,1	30,1	0
	11	89	97	20,2	128,6	0	13,8	1,1	90,1	0
	12	123	125	20	129,8	0	16,9	0,3	123,3	0
2010	1	32	136	6,1	130	0	18,1	13,8	45,8	0
	2	203	96	113,1	143,9	107	3,9	0	96	0
	3	35	92	69,3	36,9	0	64,4	43,8	78,8	0
	4	66	56	79,3	80,7	10	25,9	0	56	0
	5	10	36	61,9	70,7	0	22	17,4	27,4	0
	6	4	22	54,5	88,1	0	9,1	7,4	11,4	0
	7	1	19	48	95,5	0	6,9	6,5	7,5	0
	8	0	29	38,7	102	0	9,3	9,3	9,3	0
	9	57	42	53,7	111,3	15	10,8	0	42	0
	10	46	77	34,6	96,3	0	31	19,1	65,1	0
	11	89	97	32,7	115,4	0	22,3	1,8	90,8	0
	12	117	125	31	117,3	0	27,3	1,7	118,7	0
2011	1	126	136	28,9	119	0	28,1	2,1	128,1	0
	2	156	96	88,9	121,1	60	18,5	0	96	0
	3	100	92	96,9	61,1	8	53,5	0	92	0
	4	53	56	93,9	53,1	0	39,9	3	56	0
	5	0	36	65,2	56,1	0	28,7	28,7	28,7	0
	6	18	22	63,5	84,8	0	9,6	1,7	19,7	0
	7	2	19	56,3	86,5	0	8	7,2	9,2	0
	8	7	29	48	93,7	0	10,9	8,3	15,3	0
	9	21	42	41,3	102	0	13,4	6,7	27,7	0
	10	113	77	77,3	108,7	36	21,2	0	77	0
	11	131	97	111,3	72,7	34	50,1	0	97	0
	12	61	125	63,9	38,7	0	82,5	47,4	108,4	0
2012	1	45	136	25,1	86,1	0	57,9	38,7	83,7	0
	2	227	96	150	124,9	124,9	16,1	0	96	6,1
	3	70	92	128	0	0	80,8	22	92	0
	4	40	56	114,2	22	0	47,2	13,8	53,8	0
	5	29	36	108,8	35,8	0	27,4	5,3	34,3	0

Graciela Sara Iacomussi.

	6	0	22	92,9	41,2	0	16	16	16	0
	7	1	19	81,7	57,1	0	11,8	11,1	12,1	0
	8	23	29	78,5	68,3	0	15,8	3,3	26,3	0
	9	118	42	150	71,5	71,5	22	0	42	4,5
	10	171	77	150	0	0	68,3	0	77	94
	11	128	97	150	0	0	85	0	97	31
	12	47	125	80,8	0	0	108,3	69,2	116,2	0
2013	1	109	136	66,3	69,2	0	73,3	14,5	123,6	0
	2	52	96	46,8	83,7	0	42,4	19,4	71,4	0
	3	133	92	87,8	103,2	41	28,7	0	92	0
	4	90	56	121,8	62,2	34	38	0	56	0
	5	34	36	119,8	28,2	0	32,1	2	36	0
	6	2	22	99,8	30,2	0	22	20	22	0
	7	0	19	86,5	50,2	0	13,3	13,3	13,3	0
	8	2	29	70,9	63,5	0	16,7	15,6	17,6	0
	9	2	42	52	79,1	0	19,9	18,9	20,9	0
	10	80	77	55	98	3	26,7	0	77	0
	11	121	97	79	95	24	35,6	0	97	0
	12	93	125	51,5	71	0	61	27,5	120,5	0
2014	1	63	136	26,4	98,5	0	46,7	25,1	88,1	0
	2	248	96	150	123,6	123,6	16,9	0	96	28,4
	3	123	92	150	0	0	80,8	0	92	31
	4	71	56	150	0	0	50,8	0	56	15
	5	2	36	117,5	0	0	34,2	32,5	34,5	0
	6	21	22	116,7	32,5	0	17,2	0,8	21,8	0
	7	2	19	103,5	33,3	0	14,8	13,2	15,2	0
	8	0	29	83,5	46,5	0	20	20	20	0
	9	41	42	82,9	66,5	0	23,4	0,6	41,6	0
	10	57	77	71,9	67,1	0	42,6	11,1	68,1	0
	11	82	97	64,7	78,1	0	46,5	7,2	89,2	0
	12	108	125	57,4	85,3	0	53,9	7,3	115,3	0
2015	1	140	136	61,4	92,6	4	52	0	136	0
	2	199	96	150	88,6	88,6	39,2	0	96	14,4
	3	140	92	150	0	0	80,8	0	92	48
	4	70	56	150	0	0	50,8	0	56	14
	5	8	36	122,5	0	0	34,2	27,5	35,5	0
	6	3	22	107	27,5	0	18	15,5	18,5	0
	7	10	19	100,6	43	0	13,6	6,4	16,4	0
	8	5	29	84,5	49,4	0	19,4	16,1	21,1	0
	9	15	42	69,3	65,5	0	23,7	15,2	30,2	0
	10	57	77	60	80,7	0	35,6	9,2	66,2	0
	11	266	97	150	90	90	38,8	0	97	79
	12	144	125	150	0	0	108,3	0	125	19
2016	1	127	136	141	0	0	117,5	9	136	0
	2	201	96	150	9	9	82,7	0	96	96
	3	114	92	150	0	0	80,8	0	92	22
	4	118	56	150	0	0	50,8	0	56	62
	5	11	36	125	0	0	34,2	25	36	0
	6	61	22	150	25	25	18,3	0	22	14
	7	0	19	131	0	0	19	19	19	0
	8	2	29	107,5	19	0	25,2	23,5	25,5	0
	9	1	42	78,1	42,5	0	30,1	29,4	30,4	0
	10	79	77	80,1	71,9	2	40,1	0	77	0
	11	73	97	66,7	69,9	0	51,5	13,5	86,5	0
	12	95	125	53,3	83,3	0	55,5	13,3	108,3	0
2017	1	109	136	43,7	96,7	0	48,4	9,6	118,6	0
	2	162	96	109,7	106,3	66	28	0	96	0
	3	152	92	150	40,3	40,3	62,8	0	92	19,7

Graciela Sara Iacomussi.

	4	91	56	150	0	0	50,8	0	56	35
	5	11	36	125	0	0	34,2	25	36	0
	6	20	22	123,3	25	0	18,3	1,7	21,7	0
	7	24	19	128,3	26,7	5	15,6	0	19	0
	8	4	29	106,9	21,7	0	24,7	21,4	25,4	0
	9	38	42	104	43,1	0	29,9	2,9	40,9	0
	10	37	77	76,3	46	0	53,4	27,7	64,7	0
	11	91	97	73,2	73,7	0	49,3	3,1	94,1	0
	12	120	125	70,8	76,8	0	61	2,4	122,4	0

BALANCE HIDRICO SERIADO PARA LA ESTACIÓN LAS PEÑAS 1990 - 2015

PERIODO: 16

AGUA UTIL EN LA CAPA SUPERIOR: 2.5 mm Y EN LA CAPA INFERIOR: 12.5 mm

DICCIONARIO DE VARIABLES

P: Precipitación

ETP :Evapotranspiración
Potencial

ALMAC: Almacenamiento

RP: Recarga Potencial

R: Recarga

APE: Agua Potable Extraíble

AE: Agua Extraída

ETR: Evapotranspiración Real

ESC: Escurrimiento

CUADRO BALANCE HIDRICO SERIADO										
AÑO	MES	P	ETP	ALMAC	RP	R	APE	AE	ETR	ESC.
1991	1	107	136	40,5	99,8	0	45,5	9,7	116,7	0
	2	126	96	70,5	109,5	30	25,9	0	96	0
	3	81	92	59,5	79,5	0	45,3	11	92	0
	4	42	56	45,5	90,5	0	26,7	14	56	0
	5	59	36	68,5	104,5	23	10,9	0	36	0
	6	40	22	86,5	81,5	18	22	0	22	0
	7	7	19	74,5	63,5	0	19	12	19	0
	8	22	29	67,5	75,5	0	19,6	7	29	0
	9	19	42	54,5	82,5	0	20,8	13	32	0
	10	96	77	73,5	95,5	19	28	0	77	0
	11	48	97	43,6	76,5	0	47,3	29,9	77,9	0
	12	159	125	77,6	106,4	34	36,3	0	125	0
1992	1	55	136	33	72,4	0	63,9	44,6	99,6	0
	2	86	96	30,8	117	0	21,1	2,2	88,2	0
	3	174	92	112,8	119,2	82	18,9	0	92	0
	4	38	56	94,8	37,2	0	43,1	18	56	0
	5	21	36	83,1	55,2	0	24	11,7	32,7	0
	6	0	22	70,9	66,9	0	12,2	12,2	12,2	0
	7	6	19	64,8	79,1	0	9	6,1	12,1	0
	8	16	29	59,1	85,2	0	12,5	5,6	21,6	0
	9	72	42	89,1	90,9	30	16,6	0	42	0
	10	34	77	56,4	60,9	0	47,2	32,7	66,7	0

Graciela Sara Iacomussi.

	11	103	97	62,4	93,6	6	36,5	0	97	0
	12	255	125	150	87,6	87,6	50,8	0	125	42,4
1993	1	115	136	129	0	0	117,5	21	136	0
	2	53	96	92,5	21	0	80,7	36,5	89,5	0
	3	85	92	88,2	57,5	0	56,7	4,3	89,3	0
	4	27	56	71,1	61,8	0	32,9	17	44	0
	5	14	36	60,7	78,9	0	17,1	10,4	24,4	0
	6	0	22	51,8	89,3	0	8,9	8,9	8,9	0
	7	0	19	45,2	98,2	0	6,6	6,6	6,6	0
	8	0	29	36,5	104,8	0	8,7	8,7	8,7	0
	9	26	42	32,6	113,5	0	10,2	3,9	29,9	0
	10	39	77	24,3	117,4	0	16,7	8,3	47,3	0
	11	244	97	150	125,7	125,7	15,7	0	97	21,3
	12	98	125	123,3	0	0	108,3	26,7	124,7	0
1994	1	88	136	83,9	26,7	0	111,8	39,5	127,5	0
	2	21	96	41,9	66,1	0	53,7	41,9	62,9	0
	3	106	92	55,9	108,1	14	25,7	0	92	0
	4	14	56	34,1	94,1	0	25,7	21,8	35,8	0
	5	76	36	74,1	115,9	40	8,2	0	36	0
	6	0	22	52,1	75,9	0	22	22	22	0
	7	0	19	43,9	97,9	0	8,2	8,2	8,2	0
	8	52	29	66,9	106,1	23	8,5	0	29	0
	9	15	42	42,7	83,1	0	28,6	24,2	39,2	0
	10	101	77	66,7	107,3	24	21,9	0	77	0
	11	94	97	63,7	83,3	0	44,8	3	97	0
	12	26	125	20,5	86,3	0	50,6	43,2	69,2	0
1995	1	187	136	71,5	129,5	51	18,6	0	136	0
	2	88	96	63,5	78,5	0	47	8	96	0
	3	68	92	44,3	86,5	0	40,2	19,2	87,2	0
	4	18	56	33,1	105,7	0	16,5	11,2	29,2	0
	5	35	36	32,9	116,9	0	7,9	0,2	35,2	0
	6	0	22	28,1	117,1	0	4,8	4,8	4,8	0
	7	0	19	24,5	121,9	0	3,6	3,6	3,6	0
	8	0	29	19,8	125,5	0	4,7	4,7	4,7	0
	9	10	42	15,5	130,2	0	5,5	4,2	14,2	0
	10	52	77	13	134,5	0	8	2,6	54,6	0
	11	192	97	108	137	95	8,4	0	97	0
	12	60	125	60,8	42	0	80,3	47,1	107,1	0
1996	1	138	136	62,8	89,2	2	55,2	0	136	0
	2	144	96	110,8	87,2	48	40,1	0	96	0
	3	42	92	71,5	39,2	0	63,3	39,3	81,3	0
	4	93	56	108,5	78,5	37	26,7	0	56	0
	5	0	36	77,4	41,5	0	31,1	31,1	31,1	0
	6	0	22	66,1	72,6	0	11,4	11,4	11,4	0
	7	0	19	57,7	83,9	0	8,4	8,4	8,4	0
	8	0	29	46,5	92,3	0	11,2	11,2	11,2	0
	9	0	42	33,5	103,5	0	13	13	13	0

Graciela Sara Iacomussi.

	10	32	77	23,5	116,5	0	17,2	10,1	42,1	0
	11	143	97	69,5	126,5	46	15,2	0	97	0
	12	111	125	55,5	80,5	0	54,6	14	125	0
1997	1	135	136	54,5	94,5	0	48	1	136	0
	2	54	96	35	95,5	0	35,5	19,5	73,5	0
	3	64	92	28,4	115	0	21,4	6,5	70,5	0
	4	39	56	25,2	121,6	0	10,6	3,2	42,2	0
	5	0	36	19,2	124,8	0	6,1	6,1	6,1	0
	6	16	22	18,4	130,8	0	2,8	0,8	16,8	0
	7	6	19	16,8	131,6	0	2,3	1,6	7,6	0
	8	5	29	14,1	133,2	0	3,2	2,7	7,7	0
	9	47	42	19,1	135,9	5	4	0	42	0
	10	42	77	11,3	130,9	0	11,8	7,8	49,8	0
	11	133	97	47,3	138,7	36	7,3	0	97	0
	12	201	125	123,3	102,7	76	39,9	0	125	0
1998	1	143	136	130,3	26,7	7	97,7	0	136	0
	2	99	96	133,3	19,7	3	74,8	0	96	0
	3	49	92	95,3	16,7	0	73,4	38	87	0
	4	85	56	124,3	54,7	29	35,6	0	56	0
	5	32	36	120,3	25,7	0	32,3	4	36	0
	6	13	22	111,3	29,7	0	21,7	9	22	0
	7	0	19	94,7	38,7	0	16,6	16,6	16,6	0
	8	0	29	76,4	55,3	0	18,3	18,3	18,3	0
	9	42	42	76,4	73,6	0	21,4	0	42	0
	10	25	77	49,9	73,6	0	39,2	26,5	51,5	0
	11	134	97	86,9	100,1	37	32,3	0	97	0
	12	128	125	89,9	63,1	3	66,3	0	125	0
1999	1	162	136	115,9	60,1	26	73	0	136	0
	2	29	96	65,4	34,1	0	68	50,4	79,4	0
	3	223	92	150	84,6	84,6	40,1	0	92	46,4
	4	103	56	150	0	0	50,8	0	56	47
	5	0	36	115,8	0	0	34,2	34,2	34,2	0
	6	12	22	108,1	34,2	0	17	7,7	19,7	0
	7	3	19	96,6	41,9	0	13,7	11,5	14,5	0
	8	10	29	84,3	53,4	0	18,7	12,2	22,2	0
	9	30	42	77,6	65,7	0	23,6	6,7	36,7	0
	10	104	77	104,6	72,4	27	39,8	0	77	0
	11	129	97	136,6	45,4	32	63,2	0	97	0
	12	262	125	150	13,4	13,4	99,4	0	125	123,6
2000	1	146	136	150	0	0	117,5	0	136	10
	2	62	96	117,5	0	0	84,2	32,5	94,5	0
	3	63	92	94,8	32,5	0	72,1	22,7	85,7	0
	4	146	56	150	55,2	55,2	35,4	0	56	34,8
	5	42	36	150	0	0	34,2	0	36	6
	6	0	22	128	0	0	22	22	22	0
	7	10	19	120	22	0	16,3	8	18	0
	8	0	29	96,8	30	0	23,2	23,2	23,2	0

Graciela Sara Iacomussi.

	9	0	42	69,7	53,2	0	27,1	27,1	27,1	0
	10	99	77	91,7	80,3	22	35,8	0	77	0
	11	157	97	150	58,3	58,3	56,8	0	97	1,7
	12	128	125	150	0	0	108,3	0	125	3
2001	1	117	136	131	0	0	117,5	19	136	0
	2	0	96	50	19	0	81	81	81	0
	3	148	92	106	100	56	30,7	0	92	0
	4	88	56	138	44	32	41,7	0	56	0
	5	7	36	110	12	0	33,3	28	35	0
	6	4	22	96,8	40	0	16,1	13,2	17,2	0
	7	0	19	84,5	53,2	0	12,3	12,3	12,3	0
	8	20	29	79,5	65,5	0	16,3	5,1	25,1	0
	9	62	42	99,5	70,5	20	22,2	0	42	0
	10	63	77	85,5	50,5	0	50,2	14	77	0
	11	65	97	65,7	64,5	0	54,2	19,8	84,8	0
	12	114	125	60,9	84,3	0	54,7	4,8	118,8	0
2002	1	112	136	51,1	89,1	0	55,2	9,7	121,7	0
	2	78	96	45	98,9	0	32,7	6,1	84,1	0
	3	138	92	91	105	46	27,6	0	92	0
	4	190	56	150	59	59	38,6	0	56	75
	5	0	36	115,8	0	0	34,2	34,2	34,2	0
	6	0	22	98,8	34,2	0	17	17	17	0
	7	17	19	97,5	51,2	0	12,5	1,3	18,3	0
	8	18	29	90,4	52,5	0	18,9	7,2	25,2	0
	9	3	42	66,9	59,6	0	25,3	23,5	26,5	0
	10	21	77	41,9	83,1	0	34,3	25	46	0
	11	156	97	100,9	108,1	59	27,1	0	97	0
	12	99	125	75,4	49,1	0	75,6	25,5	124,5	0
2003	1	64	136	39,2	74,6	0	68,4	36,2	100,2	0
	2	54	96	28,2	110,8	0	25,1	11	65	0
	3	139	92	75,2	121,8	47	17,3	0	92	0
	4	76	56	95,2	74,8	20	35,4	0	56	0
	5	2	36	66	54,8	0	30,2	29,2	31,2	0
	6	3	22	57,7	84	0	9,7	8,4	11,4	0
	7	29	19	67,7	92,3	10	7,3	0	19	0
	8	0	29	50,4	82,3	0	17,3	17,3	17,3	0
	9	0	42	36,3	99,6	0	14,1	14,1	14,1	0
	10	24	77	23,4	113,7	0	18,6	12,8	36,8	0
	11	49	97	15,9	126,6	0	15,2	7,5	56,5	0
	12	213	125	103,9	134,1	88	13,3	0	125	0
2004	1	107	136	76,8	46,1	0	83,4	27,1	134,1	0
	2	111	96	91,8	73,2	15	49,2	0	96	0
	3	96	92	95,8	58,2	4	54,4	0	92	0
	4	16	56	66,1	54,2	0	38	29,8	45,8	0
	5	85	36	115,1	83,9	49	15,9	0	36	0
	6	0	22	93,1	34,9	0	22	22	22	0
	7	45	19	119,1	56,9	26	12,6	0	19	0

Graciela Sara Iacomussi.

	8	0	29	91,6	30,9	0	27,5	27,5	27,5	0
	9	0	42	65,9	58,4	0	25,6	25,6	25,6	0
	10	87	77	75,9	84,1	10	33,8	0	77	0
	11	91	97	69,9	74,1	0	48,2	6	97	0
	12	174	125	118,9	80,1	49	57,2	0	125	0
2005	1	169	136	150	31,1	31,1	94,5	0	136	1,9
	2	228	96	150	0	0	84,2	0	96	132
	3	72	92	130	0	0	80,8	20	92	0
	4	20	56	99,2	20	0	47,5	30,8	50,8	0
	5	7	36	80	50,8	0	23,8	19,2	26,2	0
	6	0	22	68,3	70	0	11,7	11,7	11,7	0
	7	4	19	61,4	81,7	0	8,6	6,8	10,8	0
	8	6	29	52	88,6	0	11,9	9,4	15,4	0
	9	5	42	39,2	98	0	14,6	12,8	17,8	0
	10	36	77	28,5	110,8	0	20,1	10,7	46,7	0
	11	115	97	46,5	121,5	18	18,4	0	97	0
	12	51	125	17,8	103,5	0	38,3	28,6	79,6	0
2006	1	119	136	15,8	132,2	0	16,2	2	121	0
	2	134	96	53,8	134,2	38	10,1	0	96	0
	3	96	92	57,8	96,2	4	37,9	0	92	0
	4	138	56	139,8	92,2	82	31,8	0	56	0
	5	0	36	106,4	10,2	0	33,4	33,4	33,4	0
	6	0	22	90,8	43,6	0	15,6	15,6	15,6	0
	7	0	19	79,3	59,2	0	11,5	11,5	11,5	0
	8	0	29	64	70,7	0	15,3	15,3	15,3	0
	9	3	42	47,3	86	0	17,9	16,6	19,6	0
	10	56	77	40,7	102,7	0	24,3	6,6	62,6	0
	11	185	97	128,7	109,3	88	26,3	0	97	0
	12	70	125	83	21,3	0	94,1	45,7	115,7	0
2007	1	267	136	150	67	67	75,2	0	136	64
	2	88	96	142	0	0	84,2	8	96	0
	3	184	92	150	8	8	79,5	0	92	84
	4	62	56	150	0	0	50,8	0	56	6
	5	27	36	141	0	0	34,2	9	36	0
	6	10	22	129	9	0	21	12	22	0
	7	0	19	112,5	21	0	16,5	16,5	16,5	0
	8	0	29	90,8	37,5	0	21,8	21,7	21,7	0
	9	57	42	105,8	59,2	15	25,4	0	42	0
	10	29	77	70,8	44,3	0	52,5	35	64	0
	11	40	97	43,9	79,2	0	45,8	26,9	66,9	0
	12	83	125	31,6	106,1	0	36,6	12,3	95,3	0
2008	1	250	136	145,6	118,4	114	28,6	0	136	0
	2	30	96	87,6	4,4	0	82,1	58	88	0
	3	102	92	97,6	62,4	10	53,7	0	92	0
	4	22	56	73,6	52,4	0	36,9	24	46	0
	5	0	36	55,9	76,4	0	17,7	17,7	17,7	0
	6	0	22	47,7	94,1	0	8,2	8,2	8,2	0

Graciela Sara Iacomussi.

	7	0	19	41,7	102,3	0	6	6	6	0
	8	0	29	33,6	108,3	0	8,1	8,1	8,1	0
	9	23	42	29,4	116,4	0	9,4	4,3	27,3	0
	10	49	77	23,9	120,6	0	15,1	5,5	54,5	0
	11	202	97	128,9	126,1	105	15,4	0	97	0
	12	87	125	94,9	21,1	0	94,3	34	121	0
2009	1	148	136	106,9	55,1	12	86	0	136	0
	2	118	96	128,9	43,1	22	65,1	0	96	0
	3	95	92	131,9	21,1	3	71,4	0	92	0
	4	0	56	84,8	18,1	0	47,1	47,1	47,1	0
	5	6	36	67,8	65,2	0	20,4	17	23	0
	6	0	22	57,9	82,2	0	9,9	9,9	9,9	0
	7	10	19	54,4	92,1	0	7,3	3,5	13,5	0
	8	0	29	43,9	95,6	0	10,5	10,5	10,5	0
	9	40	42	43,3	106,1	0	12,3	0,6	40,6	0
	10	6	77	22,8	106,7	0	22,2	20,5	26,5	0
	11	124	97	49,8	127,2	27	14,8	0	97	0
	12	144	125	68,8	100,2	19	41,5	0	125	0
2010	1	43	136	23,9	81,2	0	57,4	44,9	87,9	0
	2	151	96	78,9	126,1	55	15,3	0	96	0
	3	65	92	53,2	71,1	0	49,1	25,7	90,7	0
	4	84	56	81,2	96,8	28	19,9	0	56	0
	5	4	36	53,6	68,8	0	29,1	27,6	31,6	0
	6	6	22	47,9	96,4	0	7,9	5,7	11,7	0
	7	0	19	41,8	102,1	0	6,1	6,1	6,1	0
	8	0	29	33,7	108,2	0	8,1	8,1	8,1	0
	9	54	42	45,7	116,3	12	9,4	0	42	0
	10	42	77	28,6	104,3	0	26,6	17,2	59,2	0
	11	91	97	27,4	121,4	0	18,5	1,1	92,1	0
	12	62	125	15,9	122,6	0	22,9	11,5	73,5	0
2011	1	123	136	14,5	134,1	0	14,4	1,4	124,4	0
	2	52	96	10,3	135,5	0	9,3	4,3	56,3	0
	3	46	92	7,1	139,7	0	6,3	3,1	49,1	0
	4	45	56	6,6	142,9	0	2,7	0,5	45,5	0
	5	0	36	5	143,4	0	1,6	1,6	1,6	0
	6	16	22	4,8	145	0	0,7	0,2	16,2	0
	7	0	19	4,2	145,2	0	0,6	0,6	0,6	0
	8	7	29	3,6	145,8	0	0,8	0,6	7,6	0
	9	38	42	3,5	146,4	0	1	0,1	38,1	0
	10	114	77	40,5	146,5	37	1,8	0	77	0
	11	101	97	44,5	109,5	4	32,4	0	97	0
	12	80	125	16,9	105,5	0	38	27,6	107,6	0
2012	1	47	136	6,9	133,1	0	15,3	10	57	0
	2	127	96	37,9	143,1	31	4,4	0	96	0
	3	36	92	10,2	112,1	0	30,7	27,7	63,7	0
	4	14	56	7,4	139,8	0	3,8	2,9	16,9	0
	5	29	36	7	142,6	0	1,8	0,3	29,3	0

Graciela Sara Iacomussi.

	6	0	22	6	143	0	1	1	1	0
	7	0	19	5,2	144	0	0,8	0,8	0,8	0
	8	20	29	4,9	144,8	0	1	0,3	20,3	0
	9	95	42	57,9	145,1	53	1,4	0	42	0
	10	180	77	150	92,1	92,1	36,4	0	77	10,9
	11	102	97	150	0	0	85	0	97	5
	12	90	125	116,7	0	0	108,3	33,3	123,3	0
2013	1	73	136	67,7	33,3	0	105,8	49	122	0
	2	83	96	61,8	82,3	0	43,3	5,9	88,9	0
	3	99	92	68,8	88,2	7	37,9	0	92	0
	4	103	56	115,8	81,2	47	27,2	0	56	0
	5	32	36	111,8	34,2	0	31,7	4	36	0
	6	0	22	90,2	38,2	0	21,6	21,6	21,6	0
	7	0	19	78,8	59,8	0	11,4	11,4	11,4	0
	8	0	29	63,5	71,2	0	15,2	15,2	15,2	0
	9	0	42	45,8	86,5	0	17,8	17,8	17,8	0
	10	42	77	35,1	104,2	0	23,5	10,7	52,7	0
	11	143	97	81,1	114,9	46	22,7	0	97	0
	12	268	125	150	68,9	68,9	62,4	0	125	74,1
2014	1	62	136	84,2	0	0	117,5	65,8	127,8	0
	2	209	96	150	65,8	65,8	53,9	0	96	47,2
	3	128	92	150	0	0	80,8	0	92	36
	4	63	56	150	0	0	50,8	0	56	7
	5	3	36	118,3	0	0	34,2	31,7	34,7	0
	6	12	22	110,4	31,7	0	17,4	7,9	19,9	0
	7	0	19	96,5	39,6	0	14	14	14	0
	8	0	29	77,8	53,5	0	18,6	18,6	18,6	0
	9	30	42	71,6	72,2	0	21,8	6,2	36,2	0
	10	65	77	65,9	78,4	0	36,7	5,7	70,7	0
	11	86	97	61	84,1	0	42,6	4,8	90,8	0
	12	66	125	37	89	0	50,9	24	90	0
2015	1	107	136	29,9	113	0	33,6	7,2	114,2	0
	2	213	96	146,9	120,1	117	19,1	0	96	0
	3	195	92	150	3,1	3,1	79,4	0	92	99,9
	4	46	56	140	0	0	50,8	10	56	0
	5	6	36	112,5	10	0	32,5	27,5	33,5	0
	6	0	22	96	37,5	0	16,5	16,5	16,5	0
	7	3	19	85,8	54	0	12,2	10,2	13,2	0
	8	5	29	72	64,2	0	16,6	13,7	18,7	0
	9	24	42	63,4	78	0	20,2	8,6	32,6	0
	10	44	77	49,4	86,6	0	32,5	13,9	57,9	0
	11	133	97	85,4	100,6	36	32	0	97	0
	12	135	125	95,4	64,6	10	65,3	0	125	0

Anexo II: Cálculo de gradientes hidráulicos y Velocidad efectiva real.

Cálculo de Gradientes hidráulicos

$$i = \Delta h / \Delta L * 100$$

i= gradiente hidráulico

Δh = variación del nivel estático (h1-h2)

ΔL = distancia entre h1 y h2 en el terreno

Flanco occidental		Flanco oriental	
B22	B6	B20	B13
$i_a = 2,7 \%$	$i_b = 2,2 \%$	$i_c = 2,8 \%$	$i_d = 1,5 \%$
$\Delta h = 665\text{m} - 650\text{m} = 15 \text{ m}$	$\Delta h = 590\text{m} - 575 \text{ m} - 530 \text{ m} = 15 \text{ m}$	$\Delta h = 530 \text{ m} - 515 \text{ m} = 15 \text{ m}$	$\Delta h = 545 \text{ m}$
$\Delta L = 554 \text{ m}$	$\Delta L = 666,6 \text{ m}$	$\Delta L = 492 \text{ m}$	$\Delta L = 984 \text{ m}$
B16			
$i_{a'} = 3,5 \%$			
$\Delta h = 620\text{m} - 605\text{m} = 15 \text{ m}$			
$\Delta L = 431 \text{ m}$			

Cálculo de la Velocidad Real Efectiva

$$V_{re} = K * i / P_e$$

i= gradiente hidráulico

K= conductividad hidráulica (m/d)

P_e = porosidad efectiva

Flanco occidental	Flanco oriental
K (promedio)= 6 m/d (acuíferos buenos)	K (promedio)= 6 m/d (acuíferos buenos)
$i = 0,027 (2,7 \%)$	$i = 0,015 (1,5 \%)$
$P_e = 0,18 (18 \%; \text{promedio entre } P_e \text{ de aluviones, arenas, gravas, y limos})$	
$P_e = 0,216 (21,6 \%; \text{promedio entre } P_e \text{ de aluviones, arenas, gravas})$	
$V_{re} = 6 * 0,027 / 0,18$	$V_{re} = 6 * 0,015 / 0,216$
$V_{re} = 0,9 \text{ m/d}$	$V_{re} = 0,42 \text{ m/d}$

Anexo III: Análisis físico- químicos de aguas superficiales y subterráneas. Sierra de las Peñas Sur.

Planilla de análisis físico- químicos (meq/L)													
Nº Muestra	pH	CE [µS/cm]	SDT [mg/L]	CO ₃ ⁼ [meq/L]	CO ₃ H ⁺ [meq/L]	SO ₄ ⁼ [meq/L]	Cl ⁻ [meq/L]	Na ⁺ [meq/L]	K ⁺ [meq/L]	Ca ⁺² [meq/L]	Mg ⁺² [meq/L]	NO ₃ ⁻ [meq/L]	NO ₂ ⁻ [meq/L]
AN0	6,88	623	436,1	0	6,24	0,553	0,56	0,87	0,13	4,6	1,12	0,00	0,0
A1	7,43	814	569,8	0	7,64	0,669	0,88	2,35	0,25	4,72	1,64	0,27	0,0
A2	8,44	777	543,9	0,16	7,64	0,595	0,88	2,91	0,28	4,84	1,8	0,01	0,0
A3	7,12	833	583,1	0	7,72	0,710	1,04	1,26	0,18	5,56	2,04	0,08	0,0
A4	8,76	811	567,7	0,88	6,92	0,520	1,04	2,80	0,29	5	2,16	0,48	0,0
A5	7,92	658	460,6	0,00	5,47	0,82	0,56	1,48	0,22	4,16	1,68	0,04	0,0
B1	6,75	919	643,3	0	7,92	0,818	0,88	0,96	0,26	6	2,04	1,33	0,0
B2	6,71	900	630	0	7,68	0,991	0,88	2,00	0,30	5,8	2,56	0,99	0,0
B4	6,84	698	488,6	0	7,04	0,446	0,56	0,87	0,13	5,64	1,16	0,05	0,0
B5	6,39	446	312,2	0	4,16	0,471	0,48	0,87	0,06	2,92	1,28	0,08	0,0
B6	6,88	1197	837,9	0	8,44	1,390	1,2	7,65	0,24	4,56	2,04	2,08	0,0
B9	7,56	1023	716,1	0	8,4	0,7434	1,52	6,78	0,51	3,92	1,84	1,3	0,0
B10	8,14	2550	1785	0	12,64	14,66	1,52	23,65	0,48	1,12	1,24	1,04	0,0
B11	7,94	1188	831,6	0	10,2	1,09	1,12	12,61	0,27	1,08	1,2	0,99	0,0
B12	8,54	1093	765	0,36	9,30	0,42	0,96	11,83	0,20	1,28	0,96	0,93	0,0
B13	7,97	1978	1384,6	0	11,6	3,07	2,40	17,74	0,26	1,76	2,04	2,72	0,0
B14	7,81	1290	903	0,00	8,44	4,34	1,60	7,48	0,26	3,44	3,84	1,04	0,0
B15	7,73	741	518,7	0	5,72	0,66	0,56	1,57	0,28	4,68	2,52	1,36	0,0
B16	8,08	1310	917	0	10,92	0,95	0,80	13,74	0,36	1,2	0,72	1,23	0,0
B17	8,31	2660	1862	0	12,2	15,09	1,52	30,09	0,37	1,84	1,08	1,41	0,0
B18	7,95	1132	792,4	0	9,2	0,97	0,96	8,26	0,33	3,96	2,48	1,41	0,0
B19	7,41	766	536,2	0	6,21	0,59	0,68	2,39	0,29	4,66	0,82	0,10	0,0
B21	7,4	472	330,4	0	4,23	0,54	0,24	0,65	0,13	3,84	0,76	0,01	0,0
B22	7,22	636	445,2	0	5,43	0,71	0,40	0,96	0,21	4,92	1,04	0,05	0,0
B23	7,31	546	382,2	0	5,01	0,55	0,32	1,26	0,16	3,32	2	0,00	0,0
B24	7,27	584	408,8	0	5,11	0,72	0,32	1,04	0,17	3,88	1,68	0,00	0,0

Planilla de análisis físico- químicos (mg/L)													
Nº Muestra	pH	CE [µS/cm]	SDT [mg/L]	CO ₃ ⁼ [mg/L]	CO ₃ H ⁻ [mg/L]	SO ₄ ⁼ [mg/L]	Cl ⁻ [mg/L]	Na ⁺ [mg/L]	K ⁺ [mg/L]	Ca ⁺² [mg/L]	Mg ⁺² [mg/L]	NO ₃ ⁻ [mg/L]	NO ₂ ⁻ [mg/L]
AN0	6,88	623	436,1	0	390	26,35	20,00	20,22	5,27	92	13,66	0,2	0
A1	7,43	814	569,8	0	477,5	31,86	31,43	54,60	9,82	94,4	20	17	0
A2	8,44	777	543,9	4,85	477,5	28,32	31,43	67,75	11,28	96,8	21,95	0,5	0
A3	7,12	833	583,1	0	482,5	33,83	37,14	29,32	7,18	111,2	24,88	5	0
A4	8,76	811	567,7	26,7	432,5	24,78	37,14	65,22	11,58	100	26,34	30	0
A5	7,92	658	460,6	0	342,125	38,94	20	34,38	8,94	83,20	20,49	2,25	0
B1	6,75	919	643,3	0	495	38,94	31,43	22,24	10,55	120	24,88	83	0
B2	6,71	900	630	0	480	47,20	31,43	46,51	12,16	116	31,22	62	0
B4	6,84	698	488,6	0	440	21,24	20,00	20,22	5,13	112,8	14,15	3	0
B5	6,39	446	312,2	0	260	22,42	17,14	20,22	2,34	58,4	15,61	5	0
B6	6,88	1197	837,9	0	527,5	66,21	42,86	177,96	9,67	91,2	24,88	130	0
B9	7,56	1023	716,1	0	525	35,4	54,29	157,74	20,51	78,4	22,44	82	0
B10	8,14	2550	1785	0	790	698,27	54,29	550,05	19,05	22,4	15,12	65	0
B11	7,94	1188	831,6	0	637,5	51,70	40,00	293,23	10,99	21,6	14,63	62	0
B12	8,54	1093	765,1	10,9	581,3	20,06	34,29	275,03	8,06	25,6	11,71	58	0
B13	7,97	1978	1384,6	0	725	146,33	85,71	412,54	10,55	35,2	24,88	170	0
B14	7,81	1290	903	0	527,5	206,81	57,14	173,91	10,40	68,8	46,83	65	0
B15	7,73	741	518,7	0	357,5	31,47	20,00	36,40	11,28	93,6	30,73	85	0
B16	8,08	1310	917	0	682,5	45,23	28,57	319,51	14,36	24	8,78	77	0
B17	8,31	2660	1862	0	762,5	718,46	54,29	699,70	14,80	36,8	13,17	88	0
B18	7,95	1132	792,4	0	575	46,02	34,28571	192,11	13,33	79,2	30,24	88	0
B19	7,41	766	536,2	0	388,13	27,93	24,29	55,61	11,43	93,20	10,00	6,5	0
B20	7,87	1674	1171,8	0	652,63	352,98	37,14	434,78	12,60	36,00	8,78	9	0
B21	7,4	472	330,4	0	264,50	25,57	8,57	15,17	5,13	76,80	9,27	0,4	0
B22	7,22	636	445,2	0	339,25	33,83	14,29	22,24	8,50	98,40	12,68	3	0
B23	7,31	546	382,2	0	313,38	26,35	11,43	29,32	6,30	66,40	24,39	0	0
B24	7,27	584	408,8	0	319,13	34,22	11,43	24,27	6,89	77,60	20,49	0	0

Bibliografía

Adriano D. C. 2001. Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. ISBN: 0-387-98676-2. Springer. 867 p.

Al-Najar H., Alrayes N., Dokhan A., Saqer A., Silmi, R. y S. Al-Kurdi. 2015. Assessing Heavy Metals Pollution in the Agricultural Lands of Gaza Strip that Has Undergone Three Successive Wars. American Journal of Environmental Protection, 3(4): 151-158.

Andriulo, A., Sasal, C., Améndola, C., & Rimatori, F. 2003. Impacto de un sistema intensivo de producción de carne vacuna sobre algunas propiedades del suelo y del agua. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 32 (3), 27-56.

Appelo, C. y D. Postma. 1996. Geochemistry, groundwater and pollution. Balkema. Rotterdam. ISBN 90 5410 105 9. 536 p.

Argoss. 2002. Assessing Risk to Groundwater from On-site Sanitation: Scientific Review and Case Studies. British Geological Survey. Groundwater Systems and Water Quality Programme Commissioned Report CR/

Bécher Quinodoz F., Maldonado L., Blarasin M., Matteoda E., Lutri V., Cabrera, A., Giuliano Albo J. and Giacobone D. 2019. The development of a conceptual model for arsenic mobilization in a fluvio-eolian aquifer using geochemical and statistical methods. *Environ Earth Sci* (2019) 78: 206. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8201-8>

Bécher Quinodoz, F. y M. Blarasin. 2016. Cu and Zn in soils under concentrated feeding animal operations. Córdoba. Argentina. *International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences*. Vol 4. Issue 4. Pp 16-19- ISSN: 2348-0254.

Benavides, A. 2000. Absorción y asimilación de hierro en las plantas. *Ciencia UANL*, 3 (1), 50-57.

Blarasin M., A. Cabrera y E. Matteoda (Comp). 2014 a. Aguas subterráneas de la provincia de Córdoba. Argentina. 148 Páginas. UniRío. Río Cuarto. Córdoba. ISBN: 978-987-688-091-6.

Blarasin M., A. Cabrera, E. Matteoda, J. Felizzia, L. Maldonado, F. Bécher Quinodóz y J. Giuliano Albo. 2014 b. El agua subterránea y la actividad ganaderatambora. Cuadernos de estudios de aguas subterráneas. Serie científica Katarumen. 44 p. UniRío Editora ISBN 978-987-688-105-0

Blarasin M., Cabrera A., Matteoda E., Damilano G. y J. Giuliano Albo. 2008. Indicadores para evaluar cambios ambientales en acuíferos. Consideraciones sobre el fondo natural de la calidad del agua. En: Evaluación de la sustentabilidad ambiental en sistemas agropecuarios. Desarrollo y aplicación de la metodología del proyecto REDESAR. Fundación UNRC. Cantú, M. P., Becker, A. R. Y J. C. Bedano Eds. 12 pág.

Blarasin M., M. Moressi, F. D'eramo, L. Maldonado, Felizzia J., Matteoda E., J. Giuliano Albo, A. Cabrera, L. Charliac y M. L. Gambero. 2010. Recarga por efluentes domésticos y cafeína como indicador de impacto ambiental del acuífero freático en ambiente urbano. I Congreso Internacional de hidrología de llanuras: Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en zonas de llanuras. Ed. Varni, M., Entraigas I. Y L Vives. I: 377-384. ISBN: 978-987-543-392-2.

Blarasin, M. 2003. Geohidrología ambiental del Sur de la provincia de Córdoba, con énfasis en la ciudad de Río Cuarto y su entorno rural. Tesis doctoral. UNRC. Inédita.

Blarasin, M. y Cabrera A. 2005. Agua subterránea y ambiente. Programa de divulgación científica para la enseñanza de las Ciencias. Cordobensis. ISBN 987-98379-9-1. 1ª edición. Córdoba: Agencia Córdoba Ciencia.

Blarasin, M., Cabrera, A. y Matteoda, E. 2014. Aguas subterráneas de la provincia de Córdoba. Ed. UNRC. Río Cuarto. ISBN 978- 987- 688- 091- 6.

Blarasin, M., Cabrera, A. y S. Degiovanni, 2000. Hidrogeología Regional: el agua subterránea como recurso fundamental del Sur de la provincia de Córdoba, Argentina. Actas I Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. Fortaleza. Brasil.

Blarasin, M., Damilano, G., Cabrera, A. y E. Matteoda. 2006. Hidrogeoquímica del acuífero freático en un agroecosistema y consideraciones sobre el cálculo de la línea de base de la calidad del agua. VIII Cong. Latinoamericano Hidrología Subterránea. Paraguay.

Blarasin, M., S. Degiovanni, A. Cabrera y M. Villegas. 2005. Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: una perspectiva geoambiental. Ed UNRC.

Bolanumi, A., Martino R., Sfragulla J., Carignano, C. y Tauber, A. 2005. Hoja Geológica Villa María 3363-I, Provincia de Córdoba. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR. Boletín N°347. Buenos Aires.

Bradford, Michael C.J., Vannice, Albert M. 1996. Catalytic reforming of methane with carbon dioxide over nickel catalysts I. Catalyst characterization and activity. Volume 142, Issue 1, Pages 73- 96.

Cabrera A. 2009. Evolución hidrogeoquímica e isótopos ambientales del sistema acuífero asociado a los ambientes morfotectónicos de la falla regional Tigre Muerto. Córdoba. Argentina. Tesis Doctoral (inédita). UNRC. 372 pp.

Cantú, M. 1998. Estudio geocientífico para la evaluación ambiental y ordenación territorial de una cuenca pedemontana. Caso: Cca. Arroyo La Colacha, Dpto. Río Cuarto, provincia de Córdoba. Inédito. Tesis Doctoral. Dpto de Geología. UNRC.

Cantú, M. y S. Degiovanni. 1984. Geomorfología de la región centro-sur de la Provincia de Córdoba. IX Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 76–92. San Carlos de Bariloche.

Cantú, M., 1992. El Holoceno en la Prov. de Córdoba. Holoceno de la Rep. Arg. Tomo I. Cadinqua. M. Iriondo Ed. Pp. 1-16. Paraná. Argentina.

Capitanelli, R., 1979. Geografía física de la provincia de Córdoba. Clima. Editorial BOLDT. Páginas: 45- 138.

Carignano C., Kröhling D., Degiovanni S. y M. A. Cioccale. 2014. Geomorfología. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino, Córdoba. I: 747-823. ISBN 978-987-22403-8-7Coma J. y J. Bonet. 2004. Producción ganadera y contaminación ambiental. Curso de Especialización FEDNA: Avances en nutrición y alimentación animal. Firma de Barcelona, España. 237-272.

Carignano, C. 1996. Evolución geomorfológica de las planicies en la Provincia de Córdoba durante el Pleistoceno superior. Revista del Instituto de Geología y Minería 11: 7–26.

Carignano, C. 1997a. Caracterización y evolución durante el Cuaternario superior de los ambientes geomorfológicos extra serranos en el noroeste de la Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 208 p. Córdoba.

Carignano, C. 1997b. El Holoceno de la Provincia de Córdoba. Revista del Instituto de Geología y Minería de la Universidad Nacional de Jujuy; Lugar: San Salvador de Jujuy 11: 1–20.

Carignano, C. 1999. Late Pleistocene to recent climate change in Cordoba province, Argentina: geomorphological evidence. Quaternary International 57-58: 117–134.

CEN. 1995. Comité Européen de Normalisation Workplace Atmospheres—Guidance for the Assessment of Exposure by Inhalation of Chemical Agents for Comparison with Limit Values and Measurement Strategy (European Standard EN 689).

Chebli G., Mozetic M., Rossello C. y M. Bühler. 1999. Cuencas Sedimentarias de la Llanura Chacopampeana. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Anales 29 (20): 627-644. Bs. As.

Chen, Y. et al. 2013. Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.037>.

Código Alimentario Argentino (CAA). 1994. Res. 494/94. Boletín Oficial N° 27.932, 1° sección. Art. 982 modificado.

Coma, J. y Bonet, J. 2004. Producción ganadera y contaminación ambiental. Sitio Argentino de Producción Animal.

Correns, C. W. 1952. Zur Geochemie des Eisens. XXI Cong. Int. Géol. Alger, Symposium Gisement de Fer, 2, 23- 27.

Criado Roqué P., Mombrú C. y Ramos, V. 1981. Estructura e interpretación tectónica. Geología de San Luis. Relatorio VIII Congreso Geológico Argentino. Pp: 155-192.

Custodio, E. 1993. Hidrogeoquímica e Isotopía ambiental. Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Bocanegra y Rapaccini (Eds.). Mar del Plata. Pp. 61-78.

Custodio, E. y Llamas, M. R. 1983. Hidrología subterránea. Ediciones Omega. Barcelona. 2 Vol. 1- 2350.

Davis, S. y R. De Wiest. 1966. Hydrogeology. John Wiley & Sons. NY. 1-540.

Degiovanni, S. 2005. Geomorfología Regional. En Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Cba: una perspectiva geoambiental. Ed. UNRC. Río Cuarto. ISBN 950-665-350-X.

Degiovanni, S. 2008. Análisis geoambiental del comportamiento de los sistemas fluviales del Sur de Córdoba, en especial del arroyo Achiras-del Gato, como base para su gestión sustentable. Tesis Doctoral. UNRC. Inédito.

Degiovanni, S. y M. Cantú. 1997. Neotectonic activity in the La Cruz – Gigena depression, Córdoba, Argentina. Fourth International Conference on Geomorphology. Suplemento III. Tomo 1: 142. Bologna. Italia.

Degiovanni, S., Villegas, M. y Doffo, N. 2003. Geomorfología del extremo Sur de la Sierra de Comechingones. 2º Congreso Nacional de Cuaternario y Geomorfología Cuaternario y Geomorfología. Actas 1: 257–266. San Miguel de Tucumán.

Degiovanni, S., Villegas, M., Blarasin, M., Sagripanti, G., Coniglio, J. y A. Cabrera, 2005. Hoja Geológica 3363-III, Río Cuarto, Provincia de Córdoba. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR. Boletín 349. Buenos Aires.

Demichelis, A. 1986. Geología de la Sierra de Las Peñas. Tesis de Licenciatura. Inédita. UNRC.

Deutsch, W. 1997. Groundwater Contamination Geochemistry. Lewis Pub. ISBN 0-87371-308-7. 221 p.

Domenico P. y F. Schwartz. 1990. "Physical and chemical hydrogeology". Ed. Wiley and Sons.

Drever, J. 1982. The geochemistry of natural waters. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, N.J.

Edmunds W. 1996. Indicators in the groundwater environment of rapid environmental change. En Geoindicators, Assessing rapid environmental changes in earth systems. 135-150. Editorial.

Edmunds, W. & Shand, P. 2008. Natural groundwater quality. 469 pp. ISBN 978-14051-5675-2.

Edmunds. 2004. Evolution of paleowaters in sedimentary basins, valuable natural resources and archives of climatic and environmental changes. IAH Congress. Zacatecas. Mexico.

Fairchild, D. M. 1990. Ground Water Quality and Agricultural Practices. Ed. Lewis Publishers.

Fetter, C. W. 1994. Applied Hydrology. 3rd Edition, Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey.

Fili M., Tujchneider O., D'elia M., Paris M. y M. Perez. 2000. La influencia de las aguas subterráneas en el anegamiento de un sector de la llanura pampeana de la República Argentina. I Congreso mundial integrado de aguas subterráneas. Fortalezas Brasil. Cd.

Foster S. y R. Hirata. 1988. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO-CEPIS Technical Report (Lima-Peru) 73 pp.

Freeze, R. y J. Cherry. 1979. Groundwater. Prentice Hall, NY. 1-604.

Galán, Huertos Emilio, y Romero, Baena Antonio. 2008. Contaminación por metales pesados. ISSN 1885-7264, Macla [Nº 10 \(2008\)](#), págs. 48-60.

Galindo, G., Herrero, M. A., Flores, M., y Fernández Turiel, J. L. 1997. Correlación de metales trazas en aguas subterráneas someras en la cuenca del Río Salado, provincia de Buenos Aires, Argentina.

Gallo, M. 2011. Estudio neotectónico de la falla Sierra Chica, sección Las Peñas- Los Cóndores. Tesis de licenciatura. Inédita.

García J. L., Palacio- Prieto, J.L., Bocco, G., Velázquez, A., Mas, J. F., Takaki-Takaki, F., Victoria, A., González, L.L., Gómez- Rodríguez, G., Palma Muñoz M., Trejo-Vázquez I., Peralta Higuera, A., Padro Molina, J., Rodríguez- Aguilar A., Mayorga- Saucero, R., y González Medrano, F. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del inventario Forestal Nacional 2000. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. N°43. Pp. 183-203.

García Navarro Simón y García Navarro Gines. 2013. Química agrícola del suelo y nutrientes esenciales. 492 pp.

Garrels, R. y Ch. Christ. 1965. Solutions, minerals and equilibrium. Ed. Freeman, Cooper & Co.

Gill, R. 2014. *Chemical fundamentals of geology and environmental geoscience*. John Wiley & Sons.

Giordano M. y K. G. Villholth. 2007. The Agricultural Groundwater Revolution. CABI North American Office. 433 p. ISBN-13: 978 1 84593 172 8.

Giuliano Albo M. J. y Blarasin M. 2014. Hidrogeoquímica y estimación del fondo natural de nitratos del agua subterránea en un agroecosistema del pedemonte de la Sierra de Comechingones. Córdoba Argentina. RAGA. Ed. AGA Argentina. 71(3):378 - 392. ISSN 0004 4822.

Giuliano Albo M.J., M. Blarasin y H. Panarello. 2014. Contaminación en agroecosistemas: uso de herramientas isotópicas para discriminación de fuentes de aporte de nitratos a las aguas subterráneas. Cuadernos de estudios de aguas subterráneas. Serie científica Katarumen. 52 pág. UniRio Editora. ISBN 978-987-688-108-1.

Giuliano Albo, J., Blarasin, M., A. Cabrera y E. Matteoda. 2010. Caracterización hidrogeoquímica del agua superficial y subterránea en el sistema La Barranquita-Knutzen. Córdoba. Argentina. En: Aguas subterráneas y desarrollo sustentable de los pueblos latinoamericanos. X ALHSUD. Resumen impreso pág. 9. Actas en CD. ISBN: 978-980-7346009.

Giuliano Albo, M. J. 2013. Evaluación de la contaminación por nitratos en aguas subterráneas de agroecosistemas mediante el uso de isótopos estables ^{15}N - ^{14}N , ^{18}O - ^{16}O , y otros solutos relacionados. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 399 p. Río Cuarto.

- González Bonorino, F.**, 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. Asociación Geológica Argentina, Revista 5(3): 81-110.
- Gordillo, C. y Lencinas, A.**, 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. 2º Simp. de Geol. Reg. Arg., Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, I, 577-650.
- Gorgas J.A., Tassile J., Jarsún B., Zamora E., Bosnero E., Lovera E., Ravelo A., Carnero M., Bustos V., Pappalardo J., Petropulo G., Rossetti E. y M. Ledesma.** 2003. Los recursos naturales de la Provincia de Córdoba: Los suelos. Agencia Córdoba D.A.C. y T.S.E.M. Dirección de Ambiente-INTA Manfredi.
- Groeber, P.**, 1938. Mineralogía y Geología. Espasa-Calpe Argentina, 1-492, Buenos Aires.
- Guereschi, A. y Baldo, E.**, 1993. Petrología y geoquímica de las rocas metamórficas del sector centro-oriental de la Sierra de Comechingones, Córdoba. 12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Mendoza, Argentina.
- Guzik T., Norman M., Crozier R.** 2005. Molecular phylogeny of the benthic shallow-water octopuses (Cephalopoda: Octopodinae). Mol. Phylogenet. Evol. 37: 235- 248.
- Han, Fengxiang X.** 2007. Biogeochemistry of Trace Elements in Arid Environments. Volume XIII. ISBN 978-1-4020-6023-6 (HB). ISBN 978-1-4020-6024-3 (e-book).
- Heaton, T. H. E.** 1986. Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere: A review. Chemical Geology: Isotope Geoscience section. Volume 59. Pages 87- 102.
- Hem, J.** 1986. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. Water-Supply. Paper 2254. USGS Alexandria USA: 1-264.
- Huala, S.** 2012. Manejo de las dietas aniónicas en bovinos. Intensificación en producción animal, nutrición y alimentación. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina (IGN).**
<http://www.ign.gob.ar/>
- Iriondo, M.** 1990a. Map of the South America plains -Its present state. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. 6: 297–308.
- Iriondo, M.** 1990b. The Northern Pampa. En Loess Stratigraphy and Geomorphology of the Pampas (Post-symposium field excursion). International Symposium on Loess, INQUA.
- Iriondo, M.** 1990c. The Late Holocene dry period in the Argentina plains. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula 7: 197–218.
- Iriondo, M.** 1997. Models of Deposition of Loess and Loessoids in the Upper Quaternary of South America. Journal of American Earth Science 10: 71–79.
- Iriondo, M.** 1999. Climatic changes in the South American plains: Records of a continent-scale oscillation. Quaternary International, 57 58, 93-112 pp. Elsevier Sciences Ltd.
- Iriondo, M. y D. Kröhling.** 1996. Los sedimentos eólicos del noreste de la llanura pampeana (Cuaternario superior). XIII Congreso Geológico Argentino; Actas IV: 27-48. Buenos Aires.
- Iriondo, M. y D. Kröhling.** 2007. Geomorfología y sedimentología de la Cuenca superior del Río Salado (sur de Santa Fe y noroeste de Buenos Aires, Argentina). Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis, 14(1): 65–87.
- Johannesburgo.** 2002. Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible. Editorial Fundación Ecológica Universal. ISBN 987-98938-1-6.

Jordan, T. y R. W. Allmendinger. 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina; a modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. *American Journal Science* 286, 737-764.

Kabata-Pendias A. 2011. Trace Elements in Soils and Plants. Taylor and Francis Group, LLC.

Kay, S., Ramos, V. y Pérez, D. 1996. El volcanismo de la región del Aconcagua. Subsecretaría Minera de la Nación. Dirección Nacional del Servicio Geológico. *Anales* 24 (10): 297-316, Buenos Aires.

Keeney, D. R. 1986. Sources of Nitrate to Ground Water. *CRC Critical Reviews in Environmental Control*, Vol. 16, N° 3. Pp 257- 304.

Kouamé I. K., Kouassi L. K., Dibi B., Adou K. M., Rascanu I. D., Romanescu G., Savané I. y I. Sandu. 2013. Potential Groundwater Pollution Risks by Heavy Metals from Agricultural Soil in Songon Area (Abidjan, Côte d'Ivoire). *Journal of Environmental Protection*, 4: 1441-1448.

Kraemer, P. y Martino R. 1993. La falla de la Sierra Chica, cabalgamiento de basamento sobre una cuña sedimentaria imbricada, Cosquín. 9° Reunión sobre Microtectónica, Actas: 13-14, Mendoza.

Kraemer, P., Escayola, M. y Sfragulla, J. A. 1996. Dominios tectónicos Proterozoicos en las Sierras Pampeanas de Córdoba y su asociación a mineralización. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas 2: 239-248, Buenos Aires.

Langmuir, D. 1997. *Aqueous Environmental Chemistry*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. In: *Natural Groundwater Quality*. Edited By W. Mike Edmunds and Paul Shand. 2008. Blackwell Publishing Ltd. ISBN: 978-14051-5675-2.

Li, N. et al. 2015. Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk assessment of human exposure to bioaccessible heavy metals in soil near a waste-incinerator site, South China. *Science of the Total Environment*, 521-522, pp.144–151. Available at: DOI: [http:// dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.081](http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.081).

López Gutiérrez J. García Menéndez O., Grim Olmedo J., Ballesteros Navarro B., y M. Pérez Gago. 2001. Técnicas de biorrecuperación in situ en acuíferos contaminados por metales pesados. Investigación, gestión y recuperación de acuíferos confinados. Alicante. EDITORES: A. Ballesteros Rodríguez, J. Grima Olmedo, J. A. López Geta, L. Rodríguez Hernández.

Lutri, V. 2013. Hidrodinámica del acuífero freático en la zona Las Peñas Sur, modelación numérica del flujo y relación con calidad del agua subterránea. Tesis de licenciatura inédita.

Manzano M., Custodio E. y P. Nieto. 2003. El fondo natural de la calidad del agua subterránea. Primer seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la hidrología subterránea. Basile et al., (Eds.). Rosario. Argentina. Vol. 2: 607-620. ISBN 950-673-395-3.

Mascioli S., Martínez D. y E. Bocanegra. 2005. Determinación del coeficiente de partición de Zn en sedimentos loésicos y su utilización en la simulación de transporte reactivo. *Hidrología subterránea y aspectos ambientales*. 2005. Blarasin M., Cabrera A. y E. Matteoda Compiladores. IV AIH. II: 221-231. UNRC. ISBN: 950-665-347-X/950-665-348-8 OC. 268 p.

Matteoda E. M. 2012. Evaluación hidrodinámica e hidrogeoquímica de la cuenca del arroyo El Barreal para establecer línea de base ambiental, con énfasis en la geoquímica del cromo. Tesis doctoral. UNRC. 397 p.

Matteoda E. M. y M. Blarasin. 2014a. Análisis de la presencia de selenio en aguas superficiales y subterráneas. Fondo natural y vinculación con usos del territorio. Elena, Argentina. 4p. III RAGSU. Mar del Plata.

Matteoda E. M. y M. Blarasin. 2016. Elementos traza en aguas subterráneas. Córdoba. Argentina. Revista Latinoamericana de Hidrogeología ALHSUD. Número especial "Unidos trabajando por el agua del planeta". 10(1):469-476. Versión Digital. ISSN: 1676-0999. Mérida, México. Agosto.

Matteoda E. y M. Blarasin. 2013. Fondo natural de cadmio en aguas subterráneas y vinculación con usos del territorio. Valle de la Cruz, Córdoba, Argentina. En: Agua subterránea, recurso estratégico. VIII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano- Latinoamericano sobre temas actuales de la hidrología subterránea: Calidad y contaminación del agua subterránea. Ed. González, Kruse, Trovatto y Laurencena. II:70-77 ISBN: 978-987-1985-03-6.

Matteoda E. y M. Blarasin. 2014b. Uranio en aguas subterráneas en el acuífero Sedimentario del sector oriental del Valle de La Cruz, Córdoba, Argentina. XIX Congreso Geológico Argentino. Córdoba. R. Martino, R. Lira, A. Guerreschi, E. Baldo, J. Franzese, D. Krohling, M. Manassero, G. Ortega, L. Pinotti. Editores. ISBN: 978-987-22403-5-6. I: T10-13.

Matteoda E., Blarasin M., Damilano G. y A. Cabrera. 2010. Manganese en aguas subterráneas y superficiales. Relación con valores de fondo natural y actividades antrópicas. Córdoba, Argentina. En: Aguas subterráneas y desarrollo sustentable de los pueblos latinoamericanos. X ALHSUD. 8 p. ISBN: 978-980-7346009.

Matteoda E., Blarasin M., Damilano G. y A. Cabrera. 2008. Contaminación por nitratos en el acuífero freático: análisis del fondo natural y relaciones con las actividades de uso del territorio. IX ALHSUD Ecuador.

Matteoda E., Blarasin M., Damilano G., Cabrera A. y J. Giuliano Albo. 2009. Cromo en aguas subterráneas y superficiales en el entorno de una curtiembre, relación con valores de fondo natural. Elena, Córdoba. IGME. España. 120: (4). 617-630. ISSN: 0366-0176.

Matteoda E., M. Blarasin y A. Cabrera. 2011. Hidrogeoquímica de un acuífero freático sedimentario y su relación con aspectos dinámicos, modelación geoquímica y procesos de mezcla. Cba. Arg. Calidad y Contaminación de Aguas Subterráneas. Salta, Arg. ISBN 978-987-23936-7-0. CD. T30. Pp 236-243. Díaz, E., García, R. y Rocha Fasolo, M. (compiladores).

Matteoda E., Blarasin M. y A. Cabrera. 2005. "Problemas ambientales asociados a la dinámica y calidad del agua superficial y subterránea en la cuenca del arroyo El Barreal". V Congreso Ambiental PRODEA 2005. San Juan. 9 pp.

Matteoda E., Blarasin M., Cabrera A., Alincastro N., Algozino R. y Giuliano Albo J. 2010. Hidrogeoquímica e hidrodinámica del acuífero freático: Aptitud de uso del agua. Valle de La Cruz. Córdoba. Argentina. I Jornadas Interdisciplinarias "El Ciclo del agua en agroecosistemas". Pág. 27. Resumen. Buenos Aires, ISBN: 987-950-29-1233-2.

Mello L. 2013. Distribución espacial de metales pesados en la cuenca del arroyo Carrasco y su relación con los usos de la cuenca asociada. Tesis de Magister en Ciencias Ambientales. Universidad de la República. Uruguay. 142 p.

Merkel B. J. y Hasche- Berger A. 2008. Uranium, Mining and Hydrogeology. Springer. ISBN. 10: 3540877453.

Mitchell, J.K. 1964. Shearing resistance of soils as a rate process. Volume 90. Issue Number SM1. 21- 61 p.

Mortvedt J. J. 1996. Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers. Colorado State Univ., Fort Collins, CO (USA). Dept. of Soil and Crop Sciences.

Murra, J.A., Casquet, C., Locati, F., Galindo, C., Baldo, E.G., Pankhurst, R.J., y Rapela, C.W. 2016. Isotope (Sr, C) and U-Pb SHRIMP zircon geochronology of marble-bearing sedimentary series in the Eastern Sierras Pampeanas, Argentina. Constraining the SW Gondwana margin in Ediacaran to early Cambrian times. Elsevier B.V. 281 (2016) 602-617.

Mutti, D., 1997. La secuencia ofiolítica basal desmembrada de las sierras de Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 52: 209- 218.

Navarro Blaya, Simón y Navarro García, Ginés. 2003. Química agrícola. Ediciones: Mundi- Prensa, Madrid. Depósito: M.37.112-2003. ISBN: 84-8476-155-X.

Navarro, M. C. 2004. Movilidad y biodisponibilidad de metales pesados en el emplazamiento minero Cabezo Rajao (Murcia). Tesis doctoral. Universidad de Murcia.

Nordstrom, D. y J. Muñoz. 1986. Geochemical thermodynamics. Blakwell Sc Publications: 1-477.

Orbera Hernández, L. y Fernández, C., 1977. Métodos morfométricos para la búsqueda de estructuras nuevas. Revista de la minería en Cuba. Volumen III, N°3.

Otamendi, J. E., 1995. Petrología, geoquímica y estructura del basamento Pre-Carbonífero del extremo sur de la Sierra Comechingones, Córdoba-San Luis, Argentina. Tesis Doctoral. Inédita. Universidad Nacional de Río Cuarto.

Pagnanelli, F., Moscardini, E., Giuliano, V., Toro, L. 2004. Sequential extraction of heavy metals in river sediments of an abandoned pyrite mining area: pollution, detection and affinity series. Environmental Pollution, 132, pp. 189-201.

Pardo, A. y Ruiz, M. A. 2002. SPSS 11. Guía para el análisis de datos. Madrid: McGraw-Hill. [ISBN 9788448137502](https://doi.org/10.1016/B978-84-481-3750-2).

Peruzzo P., Porta A., y Ronco A. 2003. Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north pampasic region of Argentina. Volume 156, Issue 1. Pages 61- 66.

Piris da Motta. 1998. Hierro y manganeso en aguas superficiales y subterráneas de la provincia de Misiones (Argentina).

Rajaveni, S. P., Brindha, K., & Elango, L. (2015). Geological and geomorphological controls on groundwater occurrence in a hard rock region. Applied Water Science, 1-13.

Raju, R.D. 2009. Handbook of geochemistry: Techniques and applications in mineral exploration. Vedams, IndiaRao P.S.C. 1974. Pore geometry effects on solute dispersion in aggregated soils and evaluation of a predictive Model. Pd.D. dissertation. University of Hawaii. USA. Rao et al. 1993;

Ramos, V. A., 1988. Late Proterozoic-Early Paleozoic of South America: a collisional story. Episodes, 11: 168-174.

Ramos, V.A., 1999. Las Provincias Geológicas del territorio argentino. En: Caminos, R. (ed.) Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales: 29(3): 41-96, Buenos Aires.

Rao P.S. y Bapat V. A. 1974. Experimental Control of Growth and Differentiation in Organ Cultures of *Physalis minima* LINN. Volume 85. Issue 5. Pages 403- 416.

Rao P.S.C., Bellin C.A. y M.L. Brusseau. 1993. Coupling biodegradation of organic chemicals to sorption and transport in soils and aquifers: paradigms and paradoxes, 1-26. In: Sorption and degradation of pesticides and organic chemicals in soils. Soil Sci. Soc. Am. Apecial Publication, N° 32. Madison, USA.

Rasmuss J., 1916. Rasgos geológicos generales de las Sierras Pampeanas. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Bol. 13-B, Buenos Aires.

Ratto, S. E., y Miguez, F. H. 2006. Zinc en el cultivo de maíz, deficiencia de oportunidad. INPOFOS N°31. Pp 11-14.

- Ravelo, A. y Herrero, C.** 1999. PDIWIN v1.0. Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales.
- Razowska-Jaworek, L. y A. Sadurski.** 2005. Nitrates in Groundwater. Ed: A. A. Balkema Publishers.
- Reddy, K. R. & Patrick W. H. Jr.** 1981. Review of the agronomic and ecologic significance of nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediments.
- Rockstat.** 1994. Statistical Calculation and Plotting Software. A Rockworks App. Scientific Software. V2.Rock Ware Inc.
- Sagripanti, G., Villalba, D. y Villegas, M.** 2012. Nuevas evidencias de deformación cuaternaria asociadas a la falla de la Sierra Chica, Sierras Pampeanas de Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 69 (4): 611- 626.
- Salminen, R. & Gregorauskiene, G.** 2000. Considerations regarding the definition of a geochemical baseline of elements in the surficial materials in areas differing in basic geology. Applied Geochemistry, 15: 647-653. Doi: 10.1016/S0883-2927(99)00077-3.
- Santa Cruz, J. N.,** 1972. Geología al E de la sierra Chica (Cba.) entre La Granja y Unquillo, con especial referencia a las entidades sedimentarias. V Congreso Geológico Argentino. IV: 221-234.
- Schiavo, H., Becker, A., Grumelli, M. y Cantú, M.** 2014. Calcretas del suroeste de la provincial de Córdoba. Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta 36 km 601, Río Cuarto, Argentina.
- Schoeller, H.,** 1962. Les eaux souterraines. Ed. Masson. París.
- Singh, A. et al.** 2010. Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. Tropical Ecology, 51(2 SUPPL.), pp.375–387. Available at: DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.041>.
- Spellman F. R. y N. E. Whiting.** 2007. Environmental Management of Concentrated Animal Feeding Operations (CAFOs). Taylor & Francis Group, LLC. 496 p.
- Šraček O. y J. Zeman.** 2004. Introduction to Environmental Hydrogeochemistry.106 p. ISBN 80-210-3586-2.
- Stelzner, A.** 1873. Comunicaciones al Profesor H. B. Geinitz. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläeontologie, Ibidem 1873: 726-746, 1873. Traducido por R. Kittl, 1966 en Academia Nacional de Ciencias, Boletín 45:115-150, Buenos Aires.
- Stewart, I. S., & Hancork, P. L.** 1991. What is a fault scarpe? Episodes, Vol. 13. N°4.
- Stumm, W. y J. J. Morgan.** 1981. Aquatic chemistry-an introduction emphasizing chemical equilibrium in natural water. John Wiley and Sons. 2da Ed.: 1-780.
- Takeno, N.** 2005. Atlas of Eh-pH diagrams. Geological Survey of Japan Open File Report N°419.
- Thorntwaite, C. W.** 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review 38 (1): 55–94.
- Thorntwaite, C. y Matter, J.** 1955. The water balance. Drexler Institute of Technology. Publications in Climatology VII (1): 104 pp. New Yersey.
- Thyne, G., Güler, C. y Poeter, E.** 2004. Sequential analysis of hydrochemical data for watershed characterization. Groundwater, Vol. 42, N° 5.
- Tyler G.** 1981. Leaching rates of heavy metal ions in forest soil. Water Air Soil Pollution. 15:353-369.
- Wang W. Z. Brusseau M. L. y J. Artiola.** 1998. No-equilibrium and sorption during transport of cadmium, nickel and strontium through subsurface soils. Adsorption of metals by Geomedia. Ed. Jenne E. A. Academic Press. New York, 583 p. 427-443.
- Zabala, M. E., Manzano, M., & Vives, L.** 2016. Assessment of processes controlling the regional distribution of fluoride and arsenic in groundwater of the Pampeano Aquifer in the Del Azul Creek basin (Argentina). Journal of Hydrology, 541, 1067-1087.

