



Universidad Nacional de Río Cuarto Facultad de Ciencias

Exactas Físico-químicas y Naturales

Departamento de Geología

TESIS DE LICENCIATURA
ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE UN SECTOR DE LA
PLANICIE ELEVADA ORIENTAL DEL CENTRO-ESTE DE
LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Licenciatura en Geología

Matías Sinfreu



Directora: Dra. Adriana Cabrera. Dpto. de Geología. Fac. Cs. Ex., Fco.-Qcas. y Nat. UNRC

Codirectora: Dra. Luciana Maldonado Dpto. de Geología. Fac. Cs. Ex., Fco.-Qcas. y Nat. UNRC

Año 2015



Universidad Nacional de Río Cuarto

Facultad de Ciencias exactas físico-químicas y naturales

Departamento de Geología

Tesis de Licenciatura

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE UN SECTOR DE LA PLANICIE ELEVADA ORIENTAL DEL CENTRO-ESTE DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

MATÍAS SINFREU

LICENCIATURA EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

Directora: Dra. Adriana Cabrera. Dpto. de Geología. Fac. Cs. Ex., Fco.-Qcas. y Nat.
UNRC

Codirectora: Dra. Luciana Maldonado Dpto. de Geología. Fac. Cs. Ex., Fco.-Qcas. y
Nat. UNRC

JURADO

Dra. Adriana Cabrera. Dpto. de Geología. Fac. Cs. Ex., Fco.-Qcas. y Nat. UNRC

Dra. Mónica Blarasin Dpto. de Geología. Fac. Cs. Ex., Fco.-Qcas. y Nat. UNRC

Dra. Luciana Maldonado Dpto. de Geología. Fac. Cs. Ex., Fco.-Qcas. y Nat. UNRC

Año 2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque su santa Voluntad quiso e hizo posible que me formara, como persona, como su hijo, como profesional y mucho mas...

A toda mi familia, a mis padres, Alicia y Daniel, que con su esfuerzo y su sacrificio me sostuvieron durante todos mis estudios. Les agradezco sus consejos, sus charlas, la fortaleza que me dieron en mis momentos más difíciles. A que siempre antepusieron mi estudio, mis proyectos ante cualquier proyecto que tuviesen

A mis abuelos, Chiquito y Carmelina, que siempre estuvieron a mi lado y me apoyaron en todo momento. A ellos que en muchas ocasiones fueron abuelos y padres al mismo tiempo, mientras mi padre y mi madre estuvieron en el extranjero.

A mi hermano Ramiro, que siempre estuvo a mi lado durante toda mi vida y sobre todo en los momentos más difíciles, oscuros y de mayor soledad. A sus charlas a cerca de Dios y de los temas de la fe. A sus consejos, opiniones y su sabiduría. A todo el tiempo que compartió conmigo

A mi hermano Mauro, por enriquecerme siempre con sus aportes, con sus charlas, con sus preguntas, por apoyarme siempre. Por recordarme momentos claves y hermosos de mi adolescencia, que con el paso del tiempo tienden a olvidarse y son fundamentales para mantener siempre la esperanza y la motivación.

A Adriana Cabrera, Luciana Maldonado y Mónica Blarasin, por ayudarme y apoyarme tanto durante este trabajo. A su gran voluntad, dedicación y predisposición a la enseñanza. A sus consejos. Por todos los momentos compartidos durante en cursado de las materias y salidas al campo.

A mi tía Adriana y Silvia por su incentivo y apoyo en esta tesis. Por sus charlas y consejos de la vida. Por todos los momentos compartidos.

A mi tío Carlos. Por su apoyo, charlas y consejos en momentos claves de mi vida. Siempre estará en mi memoria.

A mi abuelo Pancho por sus consejos y charlas. Siempre estarán en mi memoria los momentos de mi infancia y adolescencia que compartí con él. A mi abuela Chita, siempre la recordaré por su especial dedicación, apoyo y mucho más.

A SECyT-UNRC que gracias a la beca otorgada, me permitió avanzar en esta tesis

A Carli Michelutti por incentivar me siempre, por enseñarme, aconsejarme y apoyarme en mis proyectos. Mil gracias a sus charlas a cerca de Dios, por todo lo que me enseñó. Por cada momento compartido

A Sergio Bottino por apoyarme y ayudarme tanto en momentos claves de mi vida y en este trabajo. Agradecido profundamente de sus consejos, charlas sobre Dios y la fe en general

A Erica Beccaría por su amistad, apoyo y por las charlas en Cristo

A Facundo Carranza por todas las veces que me ayudó durante el cursado de las materias en casi toda la carrera. Por los momentos que compartimos cuando nos preparamos para rendir finales y de salidas al campo. Por sus consejos, las charlas y los mates

A Florencia Ponce por brindarme su amistad y apoyarme e incentivar me siempre en este trabajo

A Leticia Mihalhevich por su amistad y por todos los momentos que compartimos haciendo trabajos, estudiando en charlas y juntadas.

Al Pbro. Sergio Roberto Bosco. Por su acompañamiento, consejos e instrucciones en todos los aspectos de la vida. Por su excelente dedicación como sacerdote.

A todos mis compañeros y compañeras de la carrera que tanto me ayudaron y apoyaron, gracias por todos los momentos que compartimos juntos, estudiando, en salidas al campo y en fiestas

Un especial agradecimiento a todos los profesores y profesoras del departamento de geología, por sus incansables ganas de enseñar, educar. Por su excelente dedicación. Por estar siempre disponibles en las clases de consultas, inclusive fuera del horario establecido. Por su cercanía.

A mis primos Rodrigo, Carolina, Augusto, Valentina, Virginia e Ignacio por sus charlas, consejos y apoyo.

Capítulo 1

1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO	2
1.3 HIPÓTESIS DE TRABAJO	4
1.4 OBJETIVOS	
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
1.6. MATERIALES Y MÉTODOS	5

Capítulo 2

2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	9
2.1.1 Introducción	9
2.1.1.1. Provincia geológica Sierras Pampeanas	9
2.1.1.2. Llanura Chaco-Pampeana	10
2.1.2. Características geológico-estratigráficas	11
2.1.3. Tectónica	20
2.1.3.1. Principales sistemas estructurales de la región	22
2.1.4. Historia geológica y marco tectónico regional	25
2.1.4.1. Sierras Pampeanas de Córdoba	25
2.1.4.2. Llanura Chacopampeana	26
2.2. GEOLOGÍA LOCAL	31
2.2.1. Análisis litoestratigráfico	31
2.2.1.1. Litoestratigrafía de superficie	31
2.2.1.2. Litoestratigrafía del subsuelo	37
2.2.1.2.a. Perfil litológico profundo relevado en la zona	37
2.2.1.2.b. Columna litoestratigráfica típica de la zona	40
2.3. ANÁLISIS MORFOTECTÓNICO LOCAL	41

Capítulo 3: GEOMORFOLOGÍA

3.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	46
3.1.2. Unidad geomorfológica sistema de Sierras Pampeanas	46

3.1.2. Unidad geomorfológica Llanura Chaco-Pampeana	46
3.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL	49

Capítulo 4: CARACTERIZACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

4.1. TEMPERATURAS	59
4.2. PRECIPITACIONES	60
4.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL	63
4.4. BALANCE HÍDRICO	64
4.4.a. Balance Hídrico Modular	64
4.4.b. Balance Hídrico Seriado	65
4.5. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	70

Capítulo 5: HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

5.1. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL REGIONAL	72
5.2. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL LOCAL	74
5.2.1. Río Saladillo	76
5.2.2. Canales de drenaje	79
5.2.2. Lagunas	80

Capítulo 6: HIDROGEOLOGÍA

6.1. HIDROLITOLOGÍA E HIDROESTRATIGRAFÍA REGIONAL	86
6.2. HIDROLITOLOGÍA E HIDROESTRATIGRAFÍA LOCAL	90
6.2.1. Captaciones de agua del acuífero libre existentes en la zona	93

Capítulo 7: HIDRODINÁMICA

7.1. HIDRODINÁMICA REGIONAL	95
7.2. HIDRODINÁMICA LOCAL	99

7.2.1 HIDRODINÁMICA DEL ACUÍFERO LIBRE	99
7.2.2. HIDRODINÁMICA DEL SISTEMA ACUÍFERO CONFINADO EN LA ZONA ESTUDIADA	105

Capítulo 8: HIDROGEOQUÍMICA

8.1. Introducción	106
8.2. HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL	106
8.3. HIDROGEOQUÍMICA LOCAL	110
8.3.1. GEOQUÍMICA DEL ACUÍFERO LIBRE	110
8.3.1.1. Elementos minoritarios y trazas para el acuífero freático: Nitratos, Arsénico y Flúor	116
8.3.1.1.a. <u>Nitratos</u>	117
8.3.1.1.b. <u>Arsénico</u>	120
8.3.1.1.c. <u>Fluoruros</u>	123
8.3.1.2. Análisis estadístico multivariado	127
8.3.1.3. Modelación geoquímica	129
8.3.1.3.a. Breve introducción a la modelación geoquímica	129
8.3.1.3.b. Modelación geoquímica del acuífero libre en la zona estudiada	130
8.3.2. APTITUD DE USO DEL AGUA DEL ACUÍFERO LIBRE	137
8.3.3. GEOQUÍMICA DEL ACUIFERO CONFINADO	139

Capítulo 9

CONCLUSIONES	140
BIBLIOGRAFIA	144

Capítulo 1

1.1 INTRODUCCIÓN

Si bien la Llanura Pampeana cordobesa se halla surcada por numerosos cursos de agua, en su mayoría, con nacientes en áreas serranas, régimen permanente y aguas dulces aptas para el consumo, tienen un elevado caudal sólido y muy variable caudal líquido, por lo que, en general, no son aprovechados, denotando entonces la importancia del uso de los recursos hídricos subterráneos como fuente de abastecimiento principal en toda la provincia (Degiovanni y Blarasin, 2005; Blarasin y Cabrera, 2005 b y c; Blarasin *et al.*, 2014).

El acuífero freático de la llanura está fundamentalmente compuesto por materiales arenosos finos-limosos, con abundantes niveles de cementaciones con carbonatos ("toscas") de espesores variables y ubicados a distintas profundidades (Blarasin, 2003; Blarasin y Cabrera, 2005 b y c; Blarasin *et al.*, 2014). Este acuífero, aunque de mediana a baja conductividad hidráulica, se considera de relevancia económica social muy destacada ya que casi todas las localidades y fundamentalmente las zonas rurales se abastecen de él. Sin embargo, por las características hidrológicas mencionadas, suelen existir problemas de disponibilidad de caudales adecuados para algunos emprendimientos (Blarasin, 2003; Blarasin y Cabrera, 2005 b y c; Blarasin *et al.*, 2014). Además de esto existen algunos problemas acuciantes de calidad del agua, por ejemplo, salinidades muy altas (del orden de 3 a 10 g/L) en la zona oriental y sudoriental de la provincia, aspecto fundamentalmente vinculado a la evolución geoquímica natural del agua subterránea en su recorrido desde las zonas pedemontanas hasta las más bajas (Blarasin, 2003; Blarasin y Cabrera, 2005 b y c; Blarasin *et al.*, 2014). Otro problema que se suma en numerosos sectores es la presencia de altos tenores de algunos elementos químicos como por ejemplo arsénico y flúor, que aparecen en el agua por causas naturales (Nicolli *et al.*, 1989; Smedley *et al.*, 2000; Cabrera y Blarasin, 2001; Blarasin, 2003; Cabrera *et al.*, 2005; Blarasin *et al.*, 2009 a y b; Blarasin *et al.*, 2014; entre otros). El flúor aparece en tenores que llegan hasta 24 mg/L (Blarasin, 2003; Blarasin *et al.*, 2014) y el arsénico alcanza hasta 2.400 µg/L (Blarasin, 2003; Becher Quinodóz, 2012; Blarasin *et al.*, 2014). Los valores muy altos de F⁻ en agua producen fluorosis dental y osteopetrosis, mientras que el exceso de As por encima de valores admisibles, genera un mal endémico en el centro y Norte del país conocido como Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) (Biaggini *et al.*, 1993). Por otra parte, los sistemas de

acuíferos confinados de la llanura oriental cordobesa son de interés porque en general poseen agua de buena calidad, mejor que las del sistema freático y porque además, posee propiedades geotérmicas, en numerosas oportunidades, que los convierte en recursos de gran relevancia para la economía regional (Cabrera *et al.*, 2008; Cabrera, 2009; Cabrera *et al.*, 2010 a y b; Blarasin *et al.*, 2014).

Un modo de solucionar los problemas en los abastecimientos de agua es la exploración hidrogeológica, sumándole a las técnicas específicas clásicas de la hidrología (evaluación de aspectos hidrometeorológicos, inventario de perforaciones, análisis hidrodinámicos e hidroquímicos), aquellas que surgen del tratamiento estadístico multivariado de datos químicos y de la modelación numérica de procesos geoquímicos, que permitan ubicar fuentes de mejor calidad en sitios con escasa información.

La zona seleccionada para el estudio presenta los típicos problemas de disponibilidad y calidad que afectan al Sur provincial. Si bien se cuenta con información geológica-geomorfológica e hidrogeológica regional (Blarasin, 2003; Degiovanni *et al.*, 2005; Maldonado, 2014), es necesario por la relevancia del agua subterránea en todas las actividades, desarrollar una investigación integrada y de mayor detalle que permita elaborar el modelo de funcionamiento geohidrológico de la zona de manera de aportar pautas para plantear posibles soluciones a los problemas mencionados. De este modo los resultados que se obtengan de la investigación, serán de gran utilidad, ya que permitirá realizar comparaciones con otros sistemas hidrológicos de la zona. Además, el presente plan de trabajo es una continuidad de la investigación comenzada durante el año 2012 en oportunidad de una ayudantía de investigación de la SECyT-UNRC y permitirá al estudiante culminar sus estudios de grado, alcanzando de este modo, el título de Licenciado en Geología.

1.2. ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

Entre la bibliografía clásica internacional que trata sobre los principios básicos de la química y de la relación con los minerales con los que el agua subterránea está en contacto merecen citarse Garrels y Christ (1965); Stumm y Morgan (1981); Nordstrom y Muñoz (1986) y Drever (2002). La aplicación a las aguas subterráneas ha sido desarrollada por Schoeller (1956, 1962); Davis y De Wiest (1971); Hem (1970, 1992); Freeze y Cherry (1979); Matthes y Harvey (1982); Custodio y Llamas (1983); Doménico

y Schwartz (1990); Appelo y Postma (1996); Deutsch (1997) y Edmunds y Shand (2008). A partir de la década de los ´80, trabajos muy importantes suman a esta temática, aspectos relacionados a la modelación numérica de la calidad del agua subterránea (Parkhurst *et al.*, 1980; Plummer *et al.*, 1991; Appelo y Postma, 1996; Deutsch, 1997; Parkhurst y Appelo, 1999; Schulz y Teutsch, 2002; Thangarajan, 2007; Merckel y Planer-Friedrich, 2008).

El tratamiento de datos hidrogeoquímicos procedentes de acuíferos en nuestro país ha sido realizado por numerosos autores y la lista a enumerar excedería el objetivo de este apartado, sin embargo es de importancia mencionar, principalmente a partir de la década de los ´90, la aplicación de estudios estadísticos uni y multivariado y análisis geoestadístico general a datos hidroquímicos, técnicas muy útiles para apoyar los estudios convencionales (Ussunof, 1994; Albouy *et al.*, 1995; Fili *et al.*, 1995; Paris *et al.*, 2007; entre otros). La modelación geoquímica, herramienta más actual para el estudio de procesos de mezcla de aguas o procesos de evolución geoquímica según líneas de flujo ha sido puesta en práctica por Martínez *et al.* (1995); Quiroz Londoño (2009); Cabrera, (2009); Matteoda (2012); entre otros.

En el Sur de Córdoba, el grupo de Hidrogeología del Dpto. de Geología de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), viene desarrollando desde hace más de 30 años, proyectos de investigación, subsidiados por diversos organismos nacionales e internacionales. En este marco, se han realizado numerosos estudios que contemplan la determinación de aspectos hidrogeológicos generales y ambientales, entre los que merecen citarse, Blarasin *et al.* (2000, 2001, 2006, 2009 a y b y 2010); Cabrera y Blarasin (1996, 1997 a, 2006); Blarasin y Cabrera (2005 a, b y c); Blarasin (2003); Cabrera *et al.* (2007); Cabrera (2009); Matteoda (2012); Giuliano Albo (2012); Bécher Quinodóz (2014); Maldonado (2014); entre otros. Entre los estudios geoquímicos específicos y de contaminación de acuíferos realizados por este grupo de investigación, muchos de ellos con la aplicación de técnicas más novedosas de análisis estadísticos uni y multivariados y modelación numérica de flujo e hidroquímicos, merecen citarse, Blarasin *et al.* (2001, 2003, 2005, 2010, 2011 a y b); Cabrera y Blarasin (1997 b, 1999, 2000, 2001); Cabrera *et al.* (2003, 2009); Cabrera (2009); Matteoda *et al.* (2007); Damilano *et al.* (2009); Becher Quinodóz *et al.* (2011); Maldonado *et al.* (2011); Matteoda *et al.* (2011); Cabrera (2009); Matteoda (2012); Giuliano Albo (2012); Bécher Quinodóz (2014); Maldonado (2014); entre otros. Al respecto no puede dejar de mencionarse el estudio regional para toda la provincia de Córdoba realizada en el marco de un proyecto de investigación y desarrollo

(PID 35/08) por este grupo, lo cual ha quedado plasmado en numerosas publicaciones de las que se destaca la Colección de 17 Cuadernos de Uso del agua subterránea realizados para la divulgación de la problemática para diversas áreas (Blarasin *et al.*, 2011; Cabrera *et al.*, 2011; Giuliano Albo *et al.*, 2011; Bécher Quinodóz, 2011; Matteoda *et al.*, 2011; Milicich *et al.*, 2014; Echevarria *et al.*, 2014; Giuliano Albo *et al.*, 2014; Maldonado *et al.*, 2014; Aguirre *et al.*, 2014; entre otros) y el libro de agua subterráneas de la provincia (Blarasin *et al.*, 2014). A los estudios realizados por la UNRC al Sur de Córdoba se suman, aunque son escasos y puntuales, algunas investigaciones realizadas por otras Instituciones entre los que pueden citarse, el Convenio Argentino-Alemán (1969-1973); el de Franklin Consult (1985); Moyano y Leynaud (1992); Estruch *et al.* (1998); Giacosa y Paoli (2001) y el estudio hidrogeológico de acuíferos profundos realizado por Renz (1993) en el centro de Córdoba.

1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La litología del área define en gran parte la dinámica y la geoquímica del acuífero freático, pero se suma también en alto grado, las formas del relieve que conforman áreas preferenciales de recarga y de descarga que favorecen la conexión hidráulica con las fases meteórica y superficial del ciclo hidrológico, modificando este comportamiento hidrogeológico.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general: Efectuar el estudio geohidrológico del acuífero freático en un sector de la planicie elevada oriental del centro-Sur de la provincia de Córdoba, haciendo énfasis en los aspectos geoquímicos y en la vinculación entre los arcos atmosférico, superficial y subterráneo del sistema.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar el estudio geológico-geomorfológico del área, identificando las diferencias litológicas y los principales rasgos del relieve que puedan influir en la dinámica y calidad del agua subterránea.
- Evaluar y elaborar la información hidrometeorológica para analizar su influencia sobre el acuífero freático.

- Analizar la dinámica y la geoquímica del agua superficial de manera de establecer relaciones hidráulicas con el sistema subterráneo.
- Definir las características hidrodinámicas e hidrogeoquímicas y sus condicionantes en el área seleccionada.
- Efectuar la simulación numérica del modelo geoquímico conceptual.

1.5. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se centra en un sector de la hoja planialtimétrica del Instituto Geográfico Nacional (IGN) "Corral de Bustos" (3363-23) a escala 1:100.000, que presenta los típicos problemas de calidad y disponibilidad que afectan al Sur provincial. Se trata de un área que ocupa una superficie de unos 1.195 Km², la que se ubica en el Departamento Marcos Juárez en el SE provincial. La localidad más importante del área es Corral de Bustos con cerca de 12.000 habitantes, a la cual se puede acceder por la ruta provincial N° 11. Otras localidades presentes en el área de estudio son: Isla Verde (4.445 habitantes), General Baldissera (2.333 habitantes), Camilo Aldao (5.197 habitantes) y Colonia Progreso (Población rural aglomerada) (Fig.1).

1.6. MATERIALES Y MÉTODOS

Las actividades realizadas para la presente Tesis de Licenciatura fueron agrupadas en las siguientes etapas: **gabinete inicial, campo, laboratorio y gabinete final**. Durante la primera se buscaron y analizaron los antecedentes cartográficos y bibliográficos (geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos) de la zona. Se trabajó con la carta planialtimétrica del IGN "Corral de Bustos" (3363-23), de escala 1:100.000 e imágenes satelitales de Google Earth. Se delimitó el área de estudio y se definieron los caminos de acceso a los distintos sectores de la zona seleccionada. El análisis cartográfico además permitió definir preliminarmente las unidades geológicas-geomorfológicas más importantes y seleccionar las perforaciones preexistentes, con una densidad de muestreo de un pozo cada 64 Km² aproximadamente, que integraron luego la red para el censo de perforaciones. Para la definición de las estructuras geológicas más importantes del área se utilizó la metodología propuesta por Orbera Hernández y Fernández (1977) basada en el análisis de la cartografía topográfica y la obtención de mapas de morfoisohipsas y red de drenaje natural. En este último se definieron además de los escurrimientos

permanentes del área, todos los bajos topográficos que conducen agua durante las tormentas (escurrimientos efímeros) y las divisorias de agua, principales y secundarias.

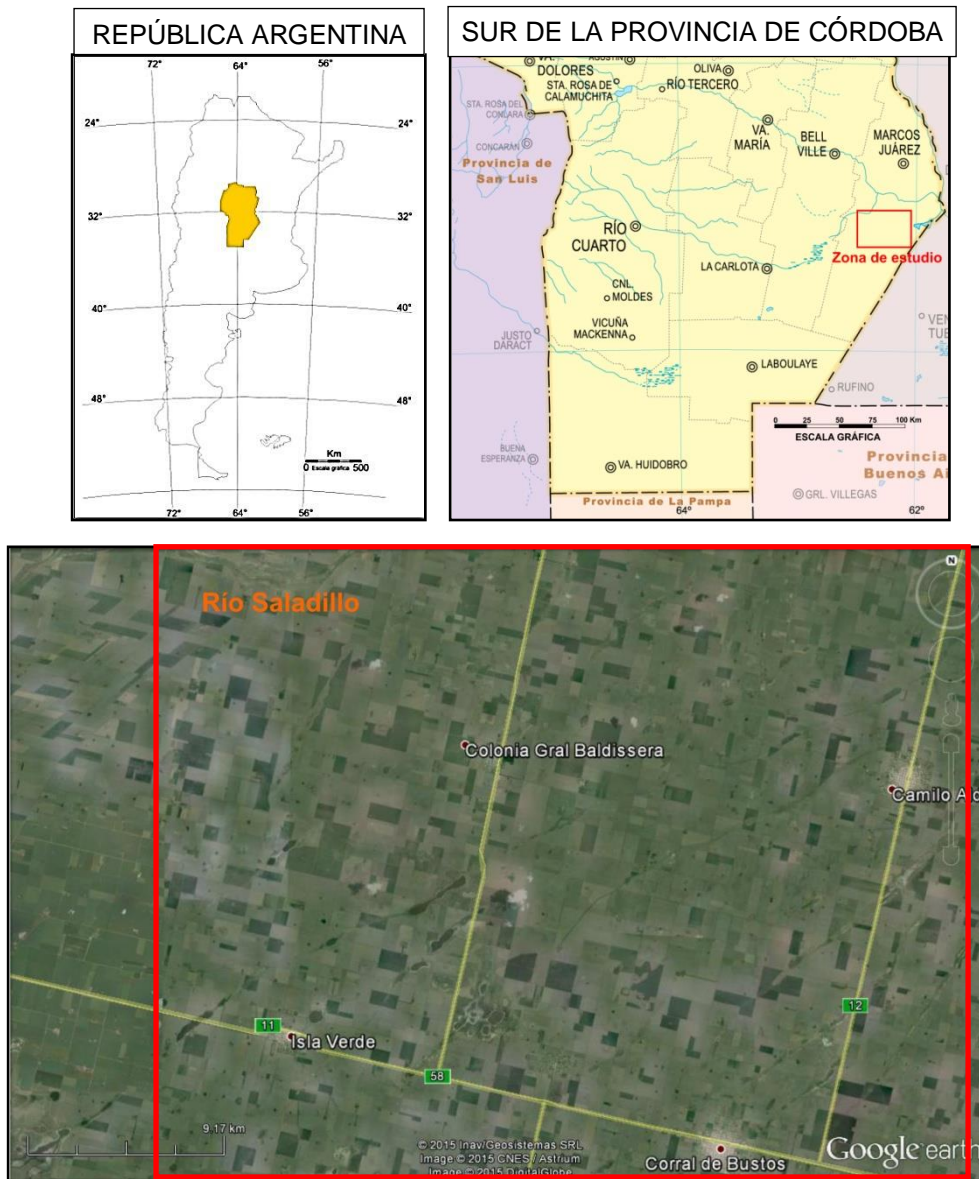


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Durante la etapa de campo se observaron las características geológicas generales y estructurales del área como así también, los rasgos geomorfológicos, antiguos y actuales, con el objetivo de verificar el mapa geológico-geomorfológico elaborado en la etapa anterior. Se realizaron relevamientos y descripciones de perfiles litológicos, en sectores estratégicos en función de la geología-geomorfología, recolectándose muestras de sedimentos para su posterior tratamiento de análisis granulométrico en la etapa de laboratorio. Se recolectó información pluviométrica, cuyos datos se encuentran

plasmados en una serie de registros continuos, correspondientes a las series de Monte Maíz (1947-2010), obtenida por el INTA de dicha localidad y General Baldissera, cuya información fue facilitada por personal de la Estancia La Maya (1988-2012). Durante el censo hidrológico superficial se midieron in situ parámetros hidrodinámicos de los cuerpos superficiales (ríos y canales de drenaje), lo que permitió determinar los caudales drenados a través de la medición de velocidad del agua, por el método del flotador, y áreas de paso, por el método de la sección media compensada. El censo hidrogeológico consistió en la recopilación de información vinculada a litologías atravesadas, diseños de pozos y carácter hidráulico del acuífero involucrado y se determinaron profundidades del nivel freático mediante sonda piezométrica. Tanto en el relevamiento hidrológico superficial como subterráneo, se midieron in situ parámetros de calidad, tales como temperatura, conductividad eléctrica (CE) y pH, recolectándose muestras de aguas en todos los sitios censados.

En la etapa de laboratorio, se procedió a realizar las determinaciones físico-químicas de las muestras de aguas recolectadas en la etapa anterior. Se analizaron aniones y cationes mayoritarios (CO_3^{-2} , HCO_3^- , SO_4^{-2} y Cl^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ y K^+), minoritarios y trazas (NO_3^- , F^- y As). Las determinaciones de carbonatos (CO_3^{-2}) y bicarbonatos (HCO_3^-), se realizaron por titulación potenciométrica; sulfatos (SO_4^{-2}) a través de método turbidimétrico; cloruros (Cl^-) al igual que calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}) por titulaciones colorimétricas; sodio (Na^+) y potasio (K^+) por fotometría de llama. Nitratos (NO_3^-) y flúor (F^-) fueron medidos por electrodos Orion para iones selectivos y arsénico ($\text{As}^{+3/+5}$) por métodos semicuantitativos Merck. Se efectuó análisis granulométrico utilizando tamices según la norma ASTM de escala Udden-Wendorth de los distintos materiales extraídos en los perfiles relevados a campo.

En la etapa de gabinete final, se procedió a interpretar la información obtenida en las etapas previas. La información hidrometeorológica fue tratada estadísticamente. De las dos series obtenidas se seleccionó la serie Monte Maíz por ser la serie más extensa y la que presenta los registros más completos. Se realizó el balance hídrico modular (Thornthwaite y Mather, 1995) y el seriado (PDIWIN 1.0 Ravelo y Herrero Machado, 1999), lo que permitió observar la distribución de los excesos y déficit hídricos. Se elaboraron mapas hidrodinámicos del acuífero freático (potenciales hidráulicos, isoprofundidad del nivel freático) y geoquímicos (de distribución de CE, diagramas de Stiff, de elementos minoritarios y trazas de interés). Se realizó análisis estadístico multivariado (Cluster), modo Q y modo R, de las determinaciones geoquímicas. Se

clasificó a las muestras analizadas en cuanto a su aptitud para consumo humano, ganadero y riego. La interpretación conjunta de la información permitió elaborar el modelo geohidrológico conceptual de la zona estudiada, el cual fue corroborado mediante simulación numérica (NETPATH, Plummer *et al.*, 1991).

Capítulo 2

2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

El contexto geológico regional fue realizado a partir de las interpretaciones dadas por: Maldonado (2014); Chiappero (2013), Carignano *et al.*, 2014, Degiovanni *et al.*, 2005, Blarasin *et al.*, 2005.

2.1.1 Introducción

El Sur de la provincia de Córdoba forma parte de las provincias geológicas Sierras Pampeanas y Llanura Chacopampeana (Fig. 2.1.). Si bien la zona de estudio se encuentra ubicada en la Llanura Chacopampeana, se describirá también brevemente la geología de la provincia geológica Sierras Pampeanas ya que tanto el área de aporte de sedimentos, comola recarga de ríos, arroyos y acuíferosdel área tienen una historia geológica vinculada a estas sierras.

2.1.1.1. Provincia geológica Sierras Pampeanas

Las Sierras Pampeanas han sido caracterizadas como un antepaís fragmentado del margen activo de la placa Sudamericana (Jordan y Allmendinger, 1986). El basamento cristalino de edad Precámbrico- Paleozoico inferior, fue definido como un complejo metamórfico-migmático, en el cual los protolitos son grauvacas y semipelitas,

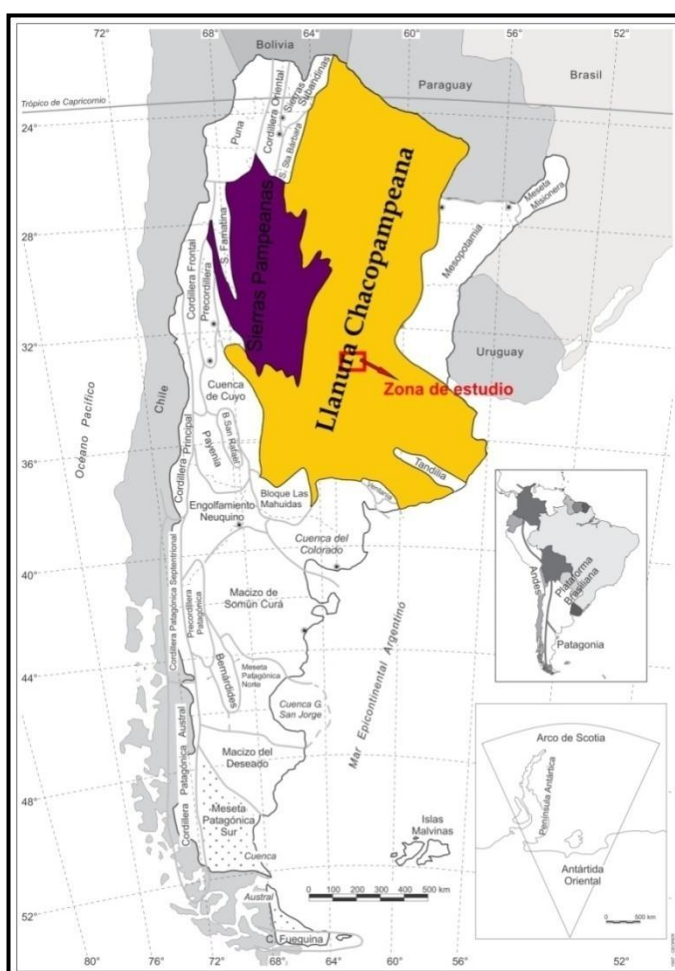


Figura 2.1. Mapa de las provincias geológicas de Argentina donde se destaca la llanura Chacopampeana y las sierras Pampeanas (Extraído de Ramos, 1999).

metamorfizadas en facies de anfibolita con transiciones a granulitas (Gordillo y Lencinas, 1979), con intrusiones de cuerpos graníticos, algunos de dimensiones batolíticas. Para las sierras de Córdoba, Pinotti (1998) reconoce entre los cuerpos intrusivos rocas máficas a ultramáficas, cuarzo-dioríticas y granitoides.

2.1.1.2. Llanura Chaco-Pampeana

Esta provincia geológica, denominada por Groeber (1938) y Ramos (1999), Llanura Chacabonaerense o por Russo *et al.* (1979) y Chebli *et al.* (1999) Llanura Chacopampeana, se caracteriza, en general, por ser una extensa planicie desarrollada entre las Sierras Subandinas y las Sierras Pampeanas al Oeste y el río Paraná al Este (Chebli *et al.*, 1999). Su límite Sur se extiende hasta el río Colorado, hundiéndose en la plataforma continental.

Esta Llanura se constituye en un gran antepaís que ha recibido, desde el Mioceno, sedimentos provenientes del levantamiento andino y que hoy constituye el lugar de tránsito de esos sedimentos hacia la plataforma y talud atlánticos (Chebli *et al.*, 1999). Además coincide con una parte poco móvil de la corteza, de tendencia negativa, donde se han acumulado espesas series sedimentarias continentales y marinas, de espesores variables, separadas entre sí por altos y dorsales, aunque probablemente para los términos más antiguos, el área se haya comportado como una única zona negativa (Russo *et al.*, 1979). La descripción geológica de la llanura, aquí presentada, se realizó en función del perfil estratigráfico propuesto por Villegas y Sagripanti en Degiovanni *et al.* (2005) (Fig. 2.2), basado en la interpretación de la estratigrafía del subsuelo descrita por Sosic (1964), Russo *et al.* (1979), Gordillo y Lencinas (1967 y 1979), Cantú (1992), Chebli *et al.* (1999) y Ramos (1999). También se utilizó la descripción de dos perforaciones profundas (YPF- Ordoñez, de hasta 3.402 m de profundidad y HuntOil Co.-Levalle, que alumbró hasta los 5.179 m).

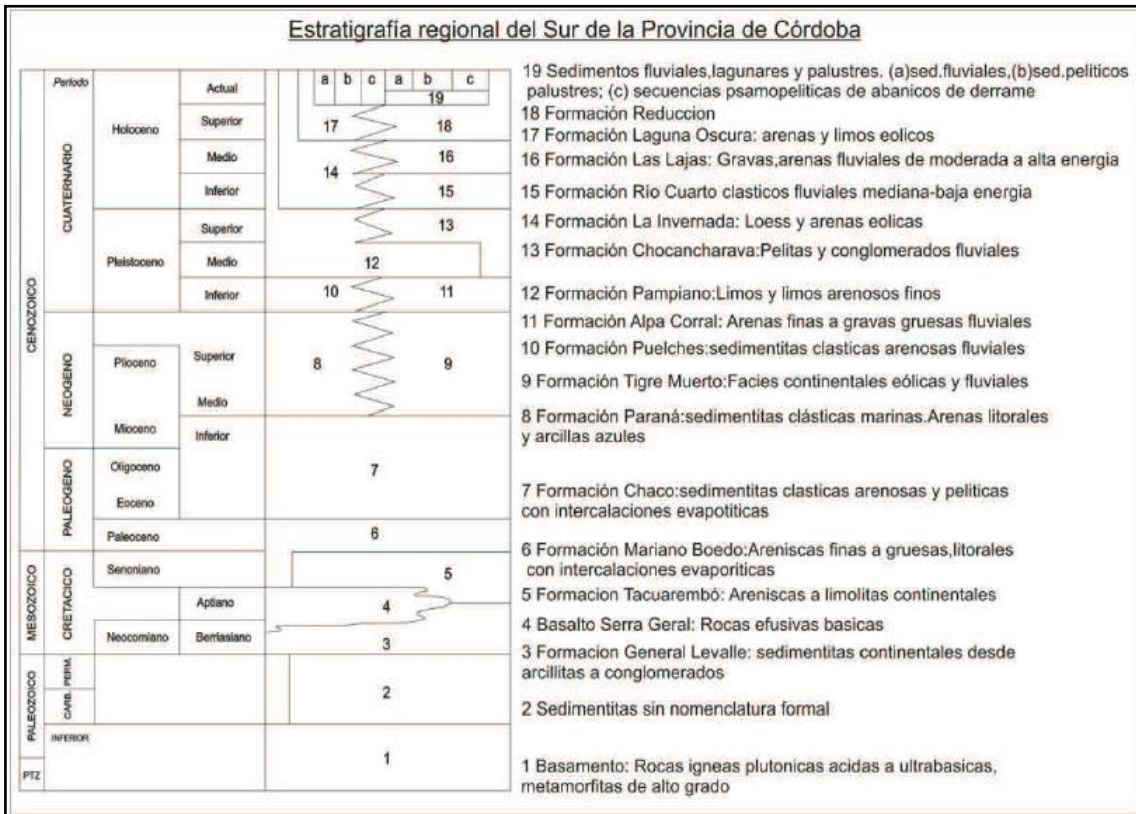


Figura 2.2. Cuadro estratigráfico regional para el Sur de la provincia de Córdoba. Tomado de Degiovanni *et al.*, 2005.

2.1.2. Características geológico-estratigráficas

PROTEROZOICO-PALEOZOICO INFERIOR A MEDIO

El basamento cristalino definido como un complejo metamórfico migmatítico (Gordillo y Lencinas, 1979; Pinotti, 1998) aflorante de las sierras de Comechingones, ha sido reconocido en profundidad en perforaciones de YPF, aunque no alumbrado en la de 5.000 m de profundidad realizada en 1995 por Hunt Oil en General Levalle.

Otamendi (1995) distingue, en el extremo Sur de las Sierras de Comechingones, el complejo Las Lajas (Precámbrico superior-Paleozoico inferior), considerado base de la columna estratigráfica. Este complejo está constituido por rocas metamórficas (gneises biotíticos y cuarcíferos, anfibolitas y mármoles) derivadas de protolitos ígneos y sedimentarios milonitizados y profusamente intruidos por filones de aplo y leucogranitos. Como correspondiente a un proceso posterior este autor reconoció el denominado complejo Achiras (Paleozoico inferior a medio) compuesto por rocas metamórficas derivados de metagrauvas "sensu lato" y granitos fuertemente peraluminosos producto

de la fusión parcial de las rocas sedimentarias; y granitoides homogéneos de grandes dimensiones y composición félsica moderadamente peraluminosa. Una edad similar se le asigna al denominado Granito Inti Huasi que corresponde a un leucomonzogranito de dos micas (Otamendi, 1995) y es el producto de un magmatismo calcoalcalino con alto contenido de potasio, moderadamente peraluminoso. Al Norte de estas sierras se destaca el Batolito Alpa Corral-Cerro Áspero (magmatismo félsico-alumínico potásico; Coniglio y Esparza, 1988).

PALEOZOICO SUPERIOR

Carbonífero-Pérmico

Representada por depósitos de sedimentitas silicoclásticas continentales correspondientes a la **Formación Chancaní** (Hünicken y Pensa, 1980) y a la **Formación Los Ranqueles** (Azcuay *et al.*, 1987). Esta última aflora en cerros residuales asociados a las estribaciones de las sierras de Comechingones, tiene un espesor aproximando de 360 m, está cubierta discordantemente por depósitos loésicos cuaternarios y, aunque la base no aflora, se ha supuesto que yace en discordancia sobre el basamento. Comprende al **Miembro Sampacho** (inferior), areniscas cuarzosas (ortocuarzitas) cuyo origen aún es discutido; y al **Miembro Suco** (superior), areniscas fluviales en las que se intercalan areniscas de origen eólico (Azcuay *et al.*, 1987).

Russo *et al.* (1979), afirman que depósitos marinos de esta edad y sin denominación formal, discontinuos y de muy reducido espesor, alumbrados en la perforación de Ordoñez y puesta en evidencia por los estudios micropaleontológicos, aparecen en la cuenca de General Levalle y Laboulaye. Contemporáneamente, Chebli *et al.* (1999) citan para esta perforación secuencias continentales (psamíticas y pelíticas) agrupadas en las **Formaciones Victoriano Rodríguez y Ordoñez**, presentes en al menos el sector oriental de Córdoba, aunque para la columna estratigráfica se las considera sin denominación formal debido a la imposibilidad de efectuar correlaciones con las adyacentes. La perforación realizada en General Levalle no alcanzó estas secuencias, por lo que su presencia no pudo ser confirmada.

MESOZOICO

Cretácico

Se asignan a este periodo sedimentos continentales del tipo estratos rojos compuestos por una sucesión de conglomerados, areniscas y en menor grado pelitas

intercaladas por vulcanitas, correspondientes a secuencias de abanicos aluviales, sistemas fluviales y de lago salino que se intercalan con coladas basálticas, constituyendo el relleno de una cuenca de tipo rift (Poiré *et al.*, 1989; Chebli *et al.*, 1999). Al Oeste del área, y en las estribaciones de la Sierra de Comechingones se identifican cerros aislados (Chaján, Madera, Garrapata) formados por basaltos y traquiandesitas de estaedad (López y Sola, 1981).

Al Sur de Córdoba y de acuerdo con el informe realizado por la empresa HuntOil Co. y el trabajo de Chebli *et al.* (2006), la sección litoestratigráfica correspondiente a este lapso estaría constituida por:

Formación General Levalle: unidad definida (Webster *et al.*, 2002, 2004) como secuencia neocomiana clástico-evaporítica de relleno de rift, perforada en el pozo General Levalle con un espesor que excede los 3.000 m. Chebli *et al.* (2006) describen nueve miembros correspondientes a esta formación: Mb Areniscas Superiores de rift, Mb Limolitas Yesíferas Superiores, Mb Areniscas Arcósicas, Mb Limolitas Yesíferas Inferiores del rift, Mb Evaporítico, Mb Limolitas Inferiores del rift, Mb Areniscas Inferiores del rift, Mb Conglomerádico Inferior y Mb Limolitas Arenosas Inferiores. Toda la formación representa un ciclo continuo de depositación con algunas oscilaciones de segundo y tercer orden, con una secuencia clástica gruesa en su tramo inferior que, gradualmente, se hace granodecreciente hacia el miembro evaporítico para, luego también gradualmente tender a granocreciente y rematar, hacia arriba, en las areniscas gruesas superiores de rift. Es probable que todas las facies estén genéticamente ligadas e interrelacionadas entre sí, formando parte de un completo paquete de relleno de un rift. Aunque esta formación aparece arealmente restringida a la cuenca homónima, existen muchas similitudes con los depósitos de la cuenca del rift cretácico invertido que se exponen en la región (Chebli *et al.*, 2006). Se describieron al menos diez filones capa diabásicos de color negro, con espesores de entre 5 y 196 m, intruyendo principalmente al Mb Limolitas Yesíferas Superiores y al Evaporítico.

Formación Guardia Vieja: Chebli *et al.* (2006) la describen como coladas basálticas (negras o gris oscuro) intercaladas con niveles clásticos (areniscas y arcilitas rojizo castañas de espesores de algunos centímetros a 20-30 m), que yacen a profundidades mayores a 1.000 m, con espesores de más de 800 m (perforación de Ordoñez y General Levalle), interpretados como típicos basaltos alcalinos de áreas de rift. En el Noreste argentino y en Brasil, las coladas basálticas de Serra Geral son de composición tholeítica y sus edades radimétricas varían entre los 120 y 145 Ma. (Russo *et al.*, 1979; Chebli *et*

al., 1999) con algunas excepciones alrededor de los 110 Ma. La composición y la edad de los basaltos atravesados por la perforación General Levalle son más equivalentes a aquellos que afloran en los rifts de San Luis y Córdoba que los más conocidos de la **Formación Serra Geral**.

Formación Tacuarembó: (Falconier, 1931): Chebli *et al.* (2006) la definen como areniscas rojas que yacen sobre los basaltos (Formación Serra Geral), entre los 1.230 y los 421 mbbp., reconocida en el sondeo exploratorio de General Levalle. Se trata de una secuencia sedimentaria de 810 m de potencia, caracterizada en la base (130 m de espesor) por areniscas arcóscas rojizas de grano fino a grueso, pobremente consolidadas y ricas en biotita, hornblenda, plagioclasa, y líticos de anfíbolita. En el centro (384 m de espesor) se encuentran arcillitas limosas y limolitas arcillosas rojizas, con algunas delgadas intercalaciones arenicosas. Los 295 m cuspidales corresponden a areniscas castaño amarillentas, granodecrecientes desde el paquete pelítico. En general se trata de sedimentos no consolidados de posible origen fluvial.

CENOZOICO

Paleógeno- Neógeno inferior

Paleoceno

Formación Mariano Boedo (Padula y Mingramm, 1968): son areniscas rojas, con granos de cuarzo manchados por óxidos de Fe que indican una sedimentación vinculada a ambientes continentales oxidantes, y calizas arenosas y areniscas calcáreas, definidas como depósitos marinos cercanos a la costa. En la perforación Ordoñez se describen areniscas varicolores, de grano fino a mediano, arcillitas grises, verdosas y rosadas y bancos de yeso cristalino y terroso, que en conjunto pueden interpretarse como facies clásticas de secuencias marinas someras en condiciones de cierta aridez. En la perforación de General Levalle tiene un espesor de 126 m, no contiene fósiles y apoya discordantemente sobre las Formaciones Tacuarembó y Serra Geral. Se la considera de edad cretácica superior-paleocena por las relaciones que guarda con estas formaciones y con las unidades con las cuales se vincula lateralmente.

Eoceno-Mioceno inferior

Formación Chaco (Russo *et al.*, 1979): En la perforación de Ordoñez se la encuentra constituida casi totalmente por arcillitas rosadas y castañas, ocasionalmente verdosas,

con intercalaciones de yeso y anhidrita, más abundantes en su proporción inferior. Para la cuenca de Levalle consiste fundamentalmente en 90 m de niveles de areniscas arcósicas, limolíticos y arcillosos de colores castaños. No se encontraron fósiles y fue asignada, por correlación con otras perforaciones, al Eoceno-Mioceno inferior.

Mioceno medio-Plioceno superior

Formación Paraná (Yrigoyen, 1969): esta formación constituye el principal depósito marino del Neógeno para la región chacoparanense y se extiende desde Chaco y Formosa hasta la cuenca del Salado (Fernandez Garrasino y Vrba, 2000). Fue reconocida por Renz (1993) en el borde Este de la provincia de Córdoba, por Gómez (1995) quien propuso, mediante la reconstrucción de perforaciones de captación de agua, la posición de la línea de costa para toda la provincia (Fig.2.3) y por Blarasin (2003), Maldonado (2014) y Blarasin *et al.* (2014) quienes en distintos perfiles E-O realizados para el Sur de Córdoba establecen su posición en la llanura cordobesa (Fig. 2.4).

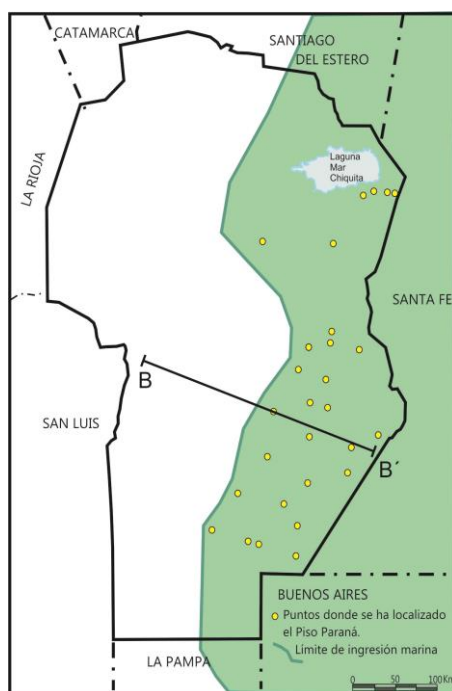


Figura 2.3. Límite de ingreso marina miocena para Córdoba (Tomado de Gómez, 1995) y ubicación del perfil que se muestra en la figura 2.4, de Blarasin *et al.* (2014).

Representa la etapa transgresiva del mar Paranaense y está constituida por arcilitas de colores verdosos, azulados o gris amarillentos con restos de fósiles marinos calcáreos que le otorgan una edad Neógena (Mioceno). También fueron identificadas en la cuenca de Laboulaye (Russo *et al.*, 1979). En Levalle el espesor no sobrepasó los 8 m, está constituida por arcilitas verdes, blandas, masivas, no calcáreas con restos fósiles.

Para el bloque de Viamonte, a una profundidad de 130 m se determinó una potente secuencia arcillosa descrita como arcillas azules, asignadas a esta formación. El otro registro superior regresivo está compuesto por areniscas, a veces calcáreas y fosilíferas, de la **Formación Entre Ríos**.

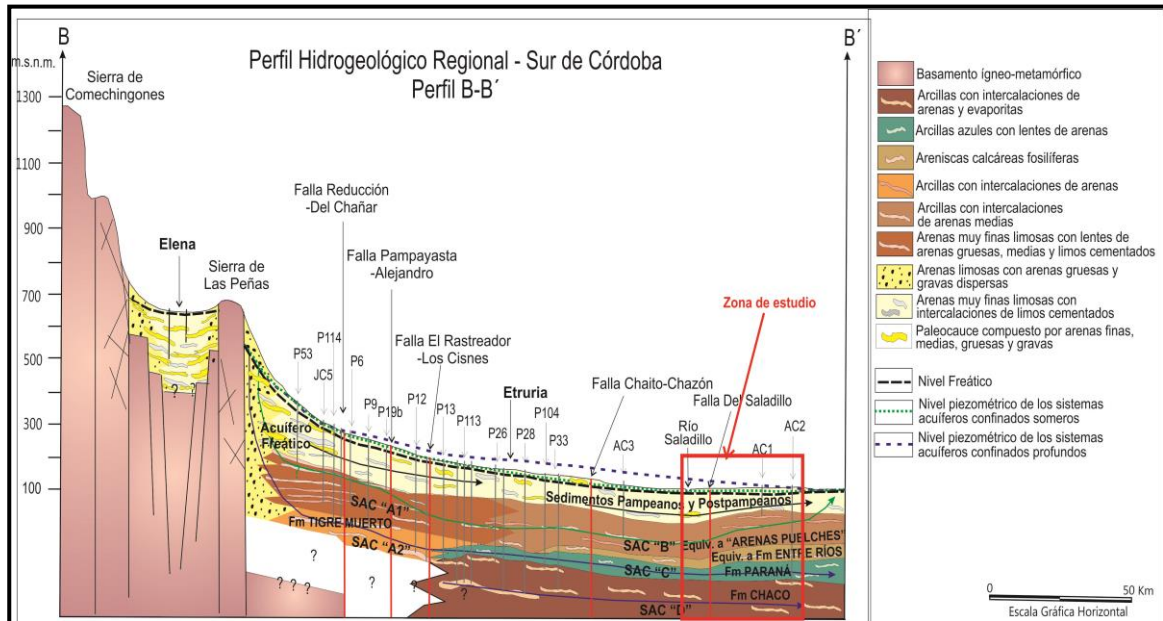


Figura 2.4. Perfil geológico regional (Tomado de Blarasin *et al.*, 2014)

Formación Tigre Muerto (Blarasin *et al.*, 2000): se la detectó en varias de las perforaciones para captación de agua realizadas al Oeste y centro-Oeste de la región. Son potentes bancos, de limos, limos cementados y arcillas oscuras, y arcillitas ocreas con intercalaciones de arenas y gravas. Las facies de menor energía se identificaron en la zona próxima a los bajos del Tigre Muerto (por ejemplo en la zona de La Brianza-San Ambrosio), mientras que las de mayor energía se reconocen principalmente en el área central (por ejemplo en el bloque de Levalle, Adelia María, etc.). Se la interpreta como correspondientes a secuencias continentales fluviales, lagunares y palustres en las que suelen intercalarse limos eólicos subordinados. Aparece a profundidades aproximadas de 100 m y los espesores pueden alcanzar los 150 m. Blarasin *et al.* (2000) la asignan al Mioceno y sería coetánea con la Formación Paraná, de origen marino, que ha sido alumbrada en perforaciones del Este provincial.

Neógeno superior-Cuaternario

Plioceno Superior

Formación Itzaingó-Arenas Puelches, (Doering, 1882; De Alba, 1953, Santa Cruz, 1972): se trata de areniscas blandas, friables, de coloración variable en la que domina el tono amarillento o amarillento rojizo. Son cuarzosas, de grano fino a grueso bastante redondeado, con presencia ocasional de conglomerados y pobremente seleccionadas. En la perforación de Ordoñez se registraron 70 m de espesor. En la secuencia aparecen interstratificados algunos niveles de limolitas castañas y de arcilitas gris rojizas. Representa la base de los depósitos cuaternarios aunque algunos autores tienden a asignarle una edad ligeramente mayor, ubicando sus niveles más bajos en el Pleistoceno superior.

Formación Alpa Corral (Cantú, 1992): Se trata de arenas finas con gravas dispersas, y arenas medias y gruesas con intercalaciones de gravas, asociadas a un ambiente fluvial de moderada energía correspondiente a abanico medio-distal (Eric, 1986). La edad no ha sido definida, pero sobre la base de consideraciones geológicas Cantú (1992) la ubicó en el límite Plio-Pleistoceno. Posteriormente Adam Tauber y colaboradores (com. per. en Cantú, 1998) han hallado un resto fósil que establecería una edad pliocena para la base de esta formación.

Pleistoceno medio a superior

Formación Pampiano (Fidalgo *et al.*, 1973; Cantú, 1992): tiene una amplia distribución areal, se expone en afloramientos aislados y reducidos asociados a procesos erosivos y ha sido reconocida en numerosas perforaciones. Así constituye el lecho de numerosos cursos de agua (Degiovanni, 2008). Los sedimentos que la constituyen se presentan como facies fluviales (limosos y limo-arenosos muy finos, pardo rojizos con nódulos de cementación con hierro y conglomerados fuertemente cementados por carbonatos) o vinculados a facies eólicas (limos eólicos pardo-rojizo a pardo amarillentos, con niveles de calcretos intercalados). En la perforación de Levalle, a los 75 m de profundidad se encontraron más de 50 m de sedimentos finos, limosos, de color pardo rojizo asignados a esta Formación (Villegas, en Degiovanni *et al.*, 2005). En perfiles expuestos en las barrancas de arroyos, sobre materiales originarios eólicos asignados a esta Formación, se observa un paleosuelo del tipo de los Argiudoles denominado **Geosuelo Estancia El Cerrito** (Cantú, 1992). Se trata de un suelo decapitado donde solo se observan los horizontes Bt y BC. Cantú (1992) asigna a esta Formación una edad Pleistoceno medio a superior, basado en la presencia de unmaxilar de un "diente de sable". En Cantú *et al.* (2004) se presentan dataciones por termoluminiscencia (TL) y luminiscencia óptica estimulada por infrarrojo (IRSL) de 130 a 230 Ka que corresponden al Pleistoceno medio.

Formación Chocancharava (Cantú, 1992): aflora en cárcavas y barrancas de numerosos ríos y arroyos del Oeste y centro Oeste de la región y representa un ciclo fluvial importante con facies de canal, llanura de inundación y palustres. Se trata de sedimentos clásticos detríticos, con estructura de corte y relleno, tendencia general granocreciente, interpretadas como facies típicas de canal entrelazado, y facies de energía decreciente, tractivas a suspensivas, correspondientes a llanura de inundación, que corresponden a un ciclo más húmedo. Puede presentarse como secuencias de canales fluviales de alta energía, ortoconglomerados monomícticos, de clastos redondeados, con cementación carbonática, con rodados de la Formación Pampiano, hasta arcillosos y limo-arcillosos de facies palustres detectados en profundidad a través de perforaciones y que son asignados a ésta por sobreyacer a secuencias atribuidas al Pampiano y estar cubiertos por materiales eólicos de la Formación La Invernada. Cantú (1992) le asigna una edad Pleistocena superior tardío, sincrónico con el **Geosuelo Estancia El Cerrito**, por su contenido fosilífero (mamífero Lujanense) y por materiales infra y suprayacentes.

Holoceno Inferior

Formación La Invernada (Cantú, 1992): Es un espeso manto de loess, de espesor variable, desde pocos centímetros hasta más de 20 metros, cubriendo grandes extensiones de la llanura e incluso las pampas de altura de las sierras Pampeanas (Pocho, Achala, Olaen) y otras menores de las sierras de Comechingones. La mineralogía de estos sedimentos muestra dos orígenes, una asociación plutónica-metamórfica, de basamento (cuarzo, oligoclasa, microclino y ortoclasa) y otra volcánico-piroclástica (andesina, labradorita, hipersteno, lamprabolita, augita, litoclastos de vulcanitas y trazas de vidrio volcánicos ácidos). Los depósitos periserranos que involucran limos retransportados con gravillas y estructuras de flujo, indican que la mayor parte del loess serrano fue removido por procesos aluviales y gravitatorios (flujos densos). El techo de la Formación presenta procesos de edafización generando el denominado por Cantú (1992), **Geosuelo Las Tapias** (Molisol) que en algunos sectores se encuentra como suelo activo aunque generalmente aparece subyaciendo, mediante contacto erosivo, a los sedimentos de la Formación Laguna Oscura. El desarrollo de este suelo habría comenzado durante el *Hypsithermal u Optimum Climaticum* por lo que la edad estimada estaría entre 4.000-5.000 y 9.500-8.250 AP. La presencia de abundante fauna mamalífera lujanense permite asignarla al Pleistoceno superior tardío-Holoceno

bajo (Cantú, 1992) y las dataciones por TL y ISRL presentadas en Cantú *et al.* (2006) con valores de 12,8 ka para el techo y de 56,1 ka, para la base, al Pleistoceno superior tardío.

Formación Río Cuarto (Blarasin *et al.*, 2000): se observa en la faja fluvial de los cursos mayores y en perforaciones. Son sedimentos fluviales de baja energía, paraconglomerados de matriz limo-arenosa y depósitos de ambientes con circulación de agua restringida. Por su posición estratigráfica relativa se vincula lateralmente con la Formación La Invernada, ya que sobreyace normalmente a los depósitos de la Formación Chocancharava o discordantemente a la Formación Pampiano y subyace a la Formación Arroyo Las Lajas.

Holoceno Inferior-Medio

Formación Arroyo Las Lajas (Cantú, 1992): se encuentra representada por sedimentos clásticos de granulometría variable, entre arenas a gravas y limos. La génesis, según su ocurrencia es fluvial-coluvial vinculada a procesos de erosión hídrica bien manifestados (cárcavas). Puede presentar niveles con diatomeas. Según Cantú (1992) correspondería al final del periodo *Optimum Climaticum* (*Holoceno bajo-medio*) y sería correlacionable con el paleosuelo que constituye el techo de la Formación La Invernada.

Holoceno Superior

Formación Laguna Oscura (Cantú, 1992): está constituida por sedimentos eólicos arenosos muy finos y limosos de espesor variable. La sección superior actualmente aflorante puede presentarse edafizada o como un depósito medanoso resultantes de retrabajo local. Se constituye en el material aflorante por excelencia de la región. Puede ser correlacionada con la Formación San Guillermo (Iriondo, 1981) para Santa Fe y Entre Ríos. La edad de esta Formación se correlaciona con la denominada "Pequeña Edad de Hielo" ocurrida entre 800 y 200 AP (Holoceno superior) (Iriondo, 1999).

Formación Reducción (Blarasin *et al.*, 2000): son arenas gruesas a gravas finas con matriz limo-arenosa a arenas finas, constituidas por cuarzo, feldespatos, abundantes micas y líticos de procedencia granítica. Se los interpreta como correspondientes a secuencias fluviales de baja a moderada energía donde predominan los depósitos de acreción lateral. Se reconocen en algunas terrazas de cursos mayores, fundamentalmente el río Cuarto, y son asignados a esta posición por sobreyacer a los sedimentos de la Formación Arroyo Las Lajas y evidenciar una disponibilidad de agua muy baja por lo que se la considera coetánea y asociada lateralmente con la Formación Laguna Oscura.

Sedimentos modernos sin denominación formal

Corresponden a la parte superior del Holoceno, desde la instalación del clima Atlántico actual, cubren a los depósitos anteriores y están vinculados al funcionamiento de los sistemas eólicos, lagunares y fluviales actualmente instalados. Son de escaso espesor y no pueden ser nominados formacionalmente. Blarasin (2003) los agrupa en:

-Sedimentos fluviales, de faja (aflojan en distintos niveles de terrazas y manifiestan diferentes estadios hidrodinámicos) y secuencias psamopelíticas de abanicos de derrame (materiales asociados a derrames recientes del río Cuarto, arroyos Santa Catalina, Del Gato, entre otros).

-Sedimentos pelíticos lagunares y palustres, asociados a la presencia de grandes lagunas y bañados actuales que han variado su extensión según el régimen de precipitaciones y los aportes recibidos (La Chanchera, Bajos del Saladillo).

-Sedimentos eólicos: corresponden al retrabajo de antiguos depósitos eólicos y están representados por los materiales de dunas parabólicas y barjanoides removilizados.

2.1.3. Tectónica

Pasotti (1974), sobre la base de estudios geomorfológicos de la cubierta cenozoica, también consideró a la Llanura Chaco Pampeana como una cuenca intracratónica de plataforma, con un potente relleno sedimentario, que puede ser dividida en tres grandes bloques meridianos. Según la autora, existen evidencias de actividad neotectónica manifestadas por la interrupción de la red de drenaje pleistoceno debido a un evento tectónico post-Pleistoceno, que generó dislocaciones importantes en el zócalo. Estos grandes bloques poseen morfologías y comportamiento diferentes: el bloque del Oeste, al que denomina "Pampa Elevada", se caracteriza por el aporte constante de sedimentos que recibe de las sierras y por su movimiento ascendente. En el bloque central o "Pampa Hundida" predomina la colmatación y el descenso, mientras que en el bloque oriental o "Pampa Levantada" el levantamiento y basculamiento.

Estructuralmente estos bloques están controlados por las megatrazas meridianas denominadas San Francisco de Chañar – Hernando que divide la Pampa Hundida de la Pampa Elevada, y Tostado – Selva – Melincué, que limita la Pampa Hundida de la Levantada. Estas megatrazas, cuya longitud supera los centenares de kilómetros, responden a un movimiento cortical con desplazamientos mínimos verticales, mientras

que los horizontales no han sido reconocidos. A su vez estas fracturas N-S han sido dislocadas por fracturas menores que poseen una orientación transversal, casi ortogonal. Según Pasotti (1974), la reactivación de las dislocaciones del zócalo respondería a la orogenia Ándica, por lo que la morfología superficial responde a eventos tectónicos que afectaron al zócalo cristalino y a la potente capa de sedimentos que lo cubre.

Por su parte, Zambrano (1974) sostiene que los rasgos estructurales generados durante el Cenozoico responderían a una subsidencia de la cuenca, con basculamiento de los bloques hacia el eje de la misma, probablemente por el aumento y mayor compactación de la columna de sedimentos y a la reactivación de fallas del basamento.

Según Russo *et al.* (1979), es muy posible que para tiempos más antiguos (paleozoicos), toda el área se haya comportado como una única zona negativa y, posteriormente, a consecuencia de movimientos tectónicos intensos ocurridos en el Jurásico, esa cuenca mayor debió separarse en una serie de cuencas menores que se colmataron con sedimentos cretácicos y cenozoicos. Así, cada una de ellas debe ser considerada como una cuenca sedimentaria compuesta, de tipo estructural para los depósitos más antiguos (paleozoicos) y depositacional para los más recientes, del Cretácico-Cenozoico. Dichos autores, sobre la base de las líneas sísmicas realizadas en la Llanura Chaco-Pampeana, interpretan que está compuesta por cuencas que presentan un estilo tectónico similar. Las unidades precámbricas y paleozoicas se encuentran suavemente plegadas y/o inclinadas, dislocadas por fallas, inversas o normales, de alto ángulo y de importante desplazamiento en algunos casos. La ausencia de depósitos triásico-jurásicos les permiten inferir que hubo un prolongado periodo de erosión, proponiendo para el Cretácico, intensos movimientos tectónicos, que generaron modificaciones en el relieve, en el estilo estructural y formaron una serie de depocentros, como las cuencas de Machachín, Levalle-Laboulaye, Salado, Colorado y Chacoparanense. En general, las estructuras constituyen un sistema conjugado, cuyas principales orientaciones son meridianas y Este-Oeste.

Chebli *et al.* (1999) definieron la conformación de la Llanura Chaco Pampeana en altos y depresiones que se alinean en general en sentido meridiano y submeridiano. El evento extensional al que estuvo sometida la cuenca en el Paleozoico inferior originó un hemigraben que posteriormente fue invertido parcialmente en el Paleozoico superior – Mesozoico inferior. Para el Mesozoico superior, el régimen fue distensivo y generó un rift intracratónico, evidenciado por el desarrollo de cuencas menores. Posteriormente, la orogenia Ándica incidió sobre las estructuras normales lístricas de crecimiento,

transformándolas en inversas. La manifestación de estas fallas aumenta hacia el Oeste, teniendo en las sierras de Córdoba su mayor expresión. Los mismos autores reconocieron como única manifestación del régimen compresivo cenozoico una inversión en la parte occidental de la cuenca de General Levalle, definida como profunda y estrecha, generada por estructuras normales de crecimiento.

En un marco tectónico global, Ramos (1999) plantea que la evolución del ciclo Ándico se divide en dos subciclos, Paleógeno y Neógeno, que están controlados por la variación de la velocidad de convergencia relativa entre la placa de Nazca y la Sudamericana. La tectónica del subciclo Paleógeno fue controlada por la segmentación de los Andes (Isacks *et al.*, 1982; Jordan *et al.*, 1983), resultado de la subducción de una dorsal asísmica en el Mioceno Medio.

2.1.3.1. Principales sistemas estructurales de la región

Las principales estructuras de la región, que se muestran en la figura 2.5, pueden ser agrupadas en familias según su rumbo:

Sistema meridiano a submeridiano (N-S): constituye el sistema más importante, ya que durante la orogenia ándica ha definido los grandes bloques diferencialmente ascendidos y basculados característicos de las Sierras y Llanura Pampeana. Entre ellas merecen citarse las fallas de Comechingones, Guacha Corral, Río de Los Sauces, Sierra Chica, Santa Catalina, San Basilio, del Tigre Muerto, Levalle, Reducción, Alejandro-Pampayasta, y El Rastreador-Los Cisnes, entre otras.

Falla de Comechingones: esta estructura inversa es la responsable del frente de levantamiento de las sierras homónimas, se trata de una importante faja de cizalla que puede continuarse hacia el Norte, acompañando todo el borde occidental de las sierras Grandes de Córdoba. Presenta deformaciones neotectónicas variables a lo largo de su recorrido, pero menores hacia el Sur (Costa, 1996 y Costa *et al.*, 1999).

Falla de Santa Rosa-Las Peñas: es la megatrazza inversa responsable del levantamiento principal de las sierras Chicas. En la región se la reconoce al pie de las escarpas de las sierras de Los Cóndores y Las Peñas. Más hacia el Norte, a la latitud de la localidad de Santa Rosa, evidencias estratigráficas (montaje de rocas de basamento cristalino sobre secuencias cuaternarias) ponen en evidencia su importante actividad

cuaternaria (Martino *et al.*, 1995).

Falla Alejandro-Pampayasta (Degiovanni *et al.*, 2005): denominada San Francisco del Chañar-Hernando por Pasotti (1974) y Rayo Cortado-Pampayasta-Alejandro por Massabie (1987). Esta megatrazada es inversa y tiene centenares de kilómetros de longitud. Esta falla evidencia reactivaciones neógenas que han modificado, entre otros, la dirección de escurrimiento del río Cuarto a la altura de la localidad de Alejandro Roca, como así también el comportamiento del arroyo Chucul.

Falla del Tigre Muerto (Degiovanni y Cantú, 1993) se infiere que su carácter es inverso con plano buzante al Este y labio hundido al Oeste y se puede continuar hacia el Norte definiendo el límite oriental de la sierra Las Peñas. Constituye el límite occidental del bloque Levalle, ejerce un importante control sobre el arroyo Santa Catalina y, en el labio hundido, se sitúan los Bañados del Tigre Muerto.

Falla Levalle (Degiovanni y Cantú, 1982): se infiere que su carácter es inverso con plano buzante al Oeste, limita por el Este al bloque Levalle, el que muestra una importante inversión tectónica neógena ya que, constituyó uno de los bloques más profundos de la cuenca cretácica de Levalle y, en la actualidad, presenta una morfología positiva.

Sistema E-O: Las fracturas de este rumbo, muchas de ellas de carácter normal, seccionan y escalonan a los megabloques meridianos y controlan la traza de varios cursos fluviales. Conforman el grupo, las fallas de Elena, del arroyo Boca del Sauce, de El Cano, del Tegua, de Santa Catalina, de Río Cuarto, y un conjunto de fracturas que limitan bloques menores.

Falla Río Cuarto (Villegas, 1999) o del arroyo Cipión (Cantú, 1998), controla al río homónimo hasta proximidades de la localidad de Reducción. Muy probablemente haya constituido el límite Norte de la cuenca cretácica de Levalle.

Falla del arroyo Santa Catalina condiciona el curso del arroyo Las Lajas a su salida de las sierras, el tramo medio del arroyo homónimo y el final del río Cuarto.

Sistema NO-SE: este sistema está muy bien representado en el extremo Sur de las sierras de Comechingones y en las planicies occidentales. Estructuras con esta dirección provocan el descenso escalonado de los bloques serranos y controlan la

mayoría de los cursos que tienen sus nacientes en este sector (Achiras, La Cruz, Cortaderas, Chaján, entre otros). Se destacan las fallas: Las Lajas-Sampacho, Alpa Corral y *Chaito-Chazón* (Degiovanni y Cantú, 1982).

Falla Las Lajas –Sampacho, de carácter inverso, es una estructura de importancia regional, en las Sierras de Comechingones pone en contacto dos terrenos metamórficos diferentes y, al ingresar a la llanura controla gran parte del curso del arroyo del Gato. Ha tenido actividad neógena y es considerada sismogeneradora (Sagripanti *et al.*, 1998).

Sistema NNE-SSO: Las más importantes de esta familia son las fallas del Saladillo y de Las Lagunas.

Falla del Saladillo (Villegas, 1999), define, hacia el NO, una depresión donde se disponen los Bañados del Saladillo, el complejo lagunar La Chanchera-La Brava, entre otros y, hacia el E-SE el bloque elevado Viamonte-Laboulaye, que evidencia reactivaciones neógenas de la estructura, ya que anteriormente el escurrimiento de las redes pleistocenas continuaba hacia el Sudeste (Cantú y Degiovanni, 1984).

Falla Las Lagunas, se trata de una fallainversa y con probada actividad en el Cuaternario (Sagripanti *et al.*, 1998).

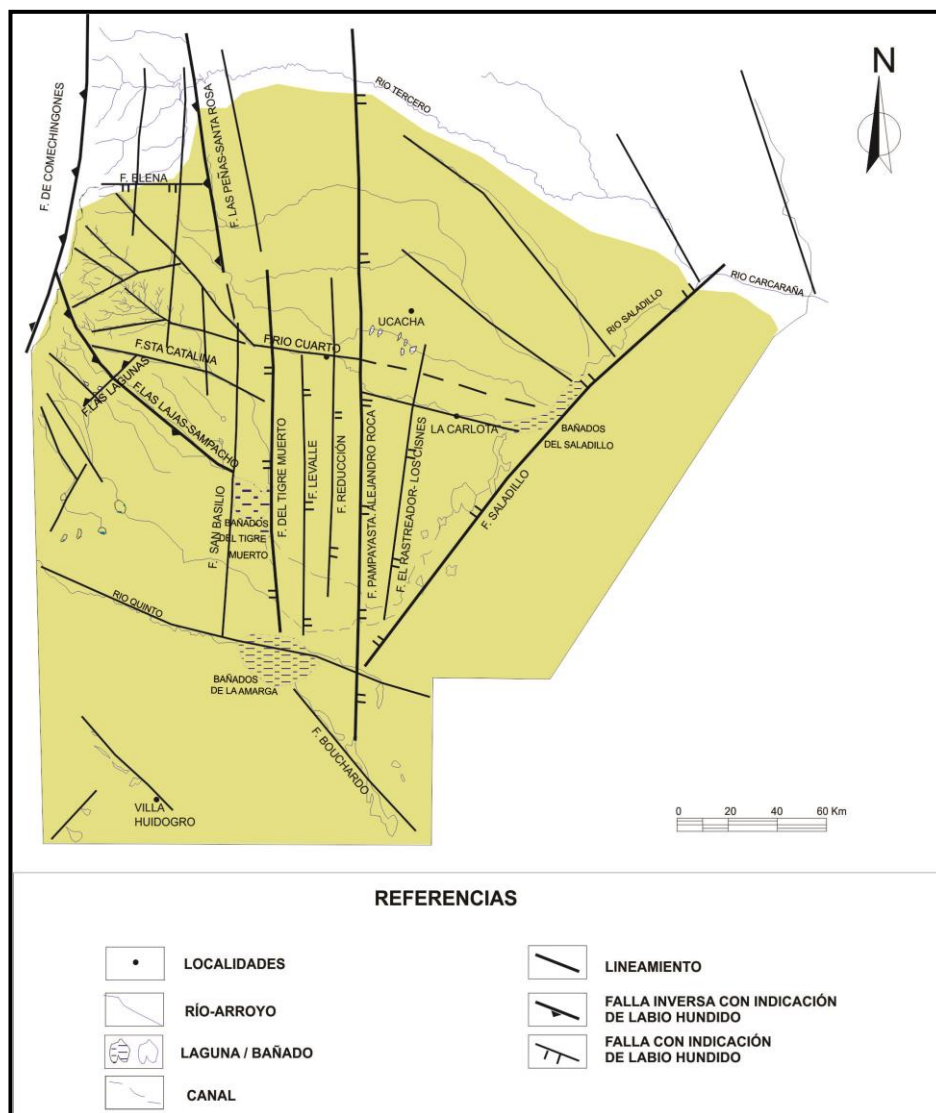


Figura 2.5. Mapa estructural del Sur de Córdoba. Tomado de Degiovanni (2008)

2.1.4. Historia geológica y marco tectónico regional

2.1.4.1. Sierras Pampeanas de Córdoba

Las Sierras de Córdoba exhiben deformaciones dúctiles-semifrágiles hasta el Paleozoico superior y un comportamiento frágil posterior, siendo la evolución del basamento resultado de la acción tectónica de diferentes etapas. Según Otamendi *et al.* (1996) la evolución petrológica se produce durante el ciclo tectónico Pampeano, Proterozoico superior-Paleozoico inferior (Dalla Salda, 1984 y 1987) y reactivado durante el Famatiniano, Cambro-Ordovícico. Posteriormente en el marco de una fase distensiva (Ramos, 1991; Astini, 1996) se habría producido el magmatismo eocarbónico. Al final de este ciclo se alcanza la ridificación del basamento. Hasta el Cretácico no se registraron

eventos tectónicos importantes considerándose que la región actuó como un área positiva.

La tectónica distensiva del Mesozoico, vinculada a la apertura del Atlántico, generó procesos de rifting, provocando inversiones en algunas estructuras mayores y la conformación de cuencas continentales meridionales, donde se depositaron secuencias clásticas que intercalan con vulcanitas traquibasálticas.

La Orogenia Andina (Oligoceno-Mioceno hasta el final del Plioceno-Pleistoceno, Criado Roqué *et al.*, 1981) reinstala un ambiente compresivo, las sierras alcanzan su conformación actual a través de la reactivación de viejas estructuras y la generación de otras. Para Gordillo y Lencinas (1979) las estructuras principales son inversas de alto ángulo con inclinación (50°-70°) hacia el bloque levantado. Los bloques principales presentan un suave basculamiento hacia el Este y sobre escurren sobre los sedimento más jóvenes del Mesozoico y Cenozoico, inclusive del Pleistoceno. El modelo morfogénico propuesto supone que las fallas limitantes de naturaleza lítrica, permiten un adecuado acortamiento horizontal, siendo el resalto vertical observable consecuencia de esa tectónica tangencial y que hacia abajo, el ángulo de las fallas inversas sería moderado a bajo (González Bonorino, 1950; Introcaso *et al.*, 1987; Jordan Allmendinger, 1986; Martino *et al.*, 1995).

Debe destacarse que toda la región presenta numerosas evidencias de neotectonismo que se manifiesta en cabalgamiento de bloques de basamento sobre materiales cuaternarios, fallamiento de secuencias de abanicos aluviales pleistocenos, alteraciones en la red de drenaje eventos sísmicos de variada intensidad (Mingorance, 1988; Sagripanti *et al.*, 1998; Costa *et al.*, 1999; entre otros).

2.1.4.2. Llanura Chacopampeana

Para el **Paleozoico inferior**, diversos autores proponen un régimen distensivo, con diferentes depocentros, de los cuales solo se reconoce el relleno del hemigraben de las Breñas en el Noroeste de la llanura. A partir de datos sísmicos se presume la existencia de rocas plegadas de esta edad (Chebli *et al.*, 1999). En los pozos de Ordoñez, Santiago Temple y Camilo Aldao, no se hallaron estas secuencias en Córdoba.

En cuanto al modelo geotectónico, Chebli *et al.* (1999) sostienen que en Córdoba durante el **Carbonífero-Pérmico**, el área estaba sometida a un régimen compresivo con subducción pacífica buzando al Este. Según Chebli *et al.* (1999) los sedimentos neopaleozoicos, de origen continental y marino, con influencia glaciaria, yacen discordantemente sobre las secuencias devónicas y silúricas y basamento cristalino. En el **Pérmico tardío-Triásico temprano** el régimen de esfuerzo compresivo se modifica a extensional, dando origen a los rift triásicos, que aprovechan las zonas de debilidad propiciadas por las suturas paleozoicas. Según Russo *et al.* (1979), es muy posible que en el Paleozoico toda el área se haya comportado como una única zona negativa y, posteriormente, a consecuencia de movimientos tectónicos intensos del Jurásico, esa cuenca mayor debió separarse a una serie de cuencas menores de estilo tectónico similar que se colmataron con sedimentos Cretácicos y Cenozoicos.

El régimen distensivo de finales del **ciclo orogénico Gondwánico** se continua en el ciclo orogénico Patagónico (Ramos, 1999) durante el Jurásico tardío-Cretácico temprano. Se sugiere que debido a este régimen tensional los procesos de rifting se propagan hacia el Noroeste, formando una zona de ruptura en el margen occidental del cratón del Río de la Plata, que fracturó el zócalo cristalino y separó estructuralmente la cuenca de Levalle con la del Paraná con generación de depocentros cretácicos como los de Los Cóndores y Macachín (Chebli *et al.*, 1999). El estilo estructural para esta época es de bloques de basamento, con ejes longitudinales de orientación meridional, limitados por fallas normales, y separados por angostas depresiones que forman cubetas sedimentarias, de similar orientación. Según Rabassa *et al.* (1997), a finales del **Mesozoico superior**, estas cubetas sedimentarias son rellenadas bajo un clima predominantemente tropical a subtropical húmedo.

Hacia el final del Paleoceno, según Russo *et al.* (1979), se produce una fuerte regresión marina y se depositan discordantemente sedimentos continentales que representan una secuencia de llanura aluvial y que se incluyen en la Formación Chaco (Eoceno-Mioceno inferior).

Posteriormente en el subciclo **Paleógeno** de ciclo andino se produce la inversión del régimen tectónico compresivo (Ramos, 1999), controlados por las variaciones de velocidad de convergencia entre la placa de Nazca y Sudamericana. Durante el Mioceno-Plioceno, se produce la segmentación de los Andes con una importante actividad volcánica, transformándose aquellas fallas normales Paleozoicas-Mesozoicas, en su mayoría, en fallas inversas de alto ángulo buzantes al Este, donde en la llanura

cordobesa el bloque de Levalle constituye la única manifestación de inversión cenozoica (Chebli *et al.*, 2006). Esto y una nueva reactivación y levantamiento de las sierras Pampeanas, es la respuesta a la horizontalización de la placa de Nazca, a la latitud aproximada de 32° S, evidenciada por un menor engrosamiento cortical y acortamiento de los orógenos (Jordan y Almendinger, 1986).

Hacia el **Mioceno** se produce una nueva transgresión marina de aguas someras y cálidas, correspondientes a la Formación Paraná, cuyos sedimentos tienen una amplia distribución areal, reconocidos en la Mesopotamia, provincia de Buenos Aires, Santa Fe, y Este de Córdoba (Renz, 1993, Gómez, 1995, Blarasin, 2003; Degiovanni *et al.*, 2005; Maldonado, 2014; Blarasin *et al.*, 2014). Para la misma época, al Oeste provincial, se depositaron potentes capas de materiales continentales (eólicos y fluviales) de diversas granulometrías, que en el Sur de Córdoba fueron asignados a la Formación Tigre Muerto y en el centro-Norte y Norte a la Formación Santiago Temple. Tanto al oriente, donde abundan en profundidad depósitos marinos, como al occidente, donde los sedimentos son continentales, aparecen capas, en general de poco espesor, muy permeables de gran interés hidrogeológico (Blarasin, 2003; Blarasin *et al.*, 2005; Blarasin *et al.*, 2014).

En el **Plioceno superior-Pleistoceno inferior** se depositaron importantes secuencias fluviales, Formación Alpa Corral al Oeste, que hacia el Este van gradando a la Formación Ituzaingó. Estas secuencias fluviales se correlacionan con regímenes de mayor energía vinculadas al último movimiento ándico y con persistencia de condiciones húmedas. La Formación Ituzaingó (Arenas Puelches), de gran relevancia hidrogeológica en Santa Fe y Buenos Aires, no se observan en el occidente de Córdoba. Según Carignano *et al.* (1999) las características geomorfológicas y estratigráficas de la provincia de Córdoba para este periodo, se desarrollaron principalmente en respuesta a las mencionadas oscilaciones climáticas, y si bien poseen un alto control estructural, su desarrollo puede ser correlacionado con los cambios de precipitación y los regímenes hidrológicos. Así, la alternancia de periodos marcados por el clima con intervalos más húmedos puede correlacionarse con evidencias estratigráficas y geomorfológicas a nivel regional (Fig. 2.6). Durante el **Pleistoceno medio a superior**, en amplios sectores de la llanura central argentina se depositó la Formación Pampiano (depósito loésico), 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 (Fig. 2.6. A). Durante el Pleistoceno superior el clima fue más húmedo (Wisconsin medio), lo que generó la depositación de importantes espesores fluviales de moderada a alta energía (Formación Chocancharava) que contribuyó a la

generación de una superficie erosiva de extensión regional, labrándose importantes valles en la Formación Pampiano. Esta red de drenaje pleistocena de gran envergadura tenía una conformación diferente de la actual (Fig.2.6. B). Así, los actuales río Cuarto y Quinto, muestran paleocanales que llegan hasta el Sur de Santa Fe (Iriando, 1987; Cantú y Degiovanni, 1984), indicando que el alto de Laboulaye-Viamonte para ese entonces no actuaba como tal, aunque el de Levalle, por las evidencias litológicas-estratigráficas, constituía un elemento positivo (Cantú, 1992). Muchos de los arroyos actuales con nacientes en área de llanura, tenían para la época, importantes cuencas receptoras desarrolladas en ambientes serranos. Coetáneamente con esta importante actividad fluvial, en los interfluvios se generaron suelos con perfiles muy desarrollados (Geosuelo Estancia El Cerrito), aflorante discontinuamente en algunos altos estructurales y barrancas de arroyos (Cantú, 1992).

Hacia el límite **Pleistoceno-Holoceno** y coincidente con el máximo glacial de Wisconsin, se instaló en la planicie argentina un ambiente muy árido que generó la depositación de una potente secuencia de materiales loéssicos, de gran extensión regional, correspondiente a la Formación La Invernada. Durante este periodo los sistemas fluviales menores de la zona se obliteraron mientras que algunos intermedios como los arroyos Las Lajas, del Gato, entre otros, generaron importantes abanicos en la salida extraserrana (Fig. 2.6 C). El río Cuarto desarrolló abanicos de derrames cuyos ápices se situaban en la actual cuenca media, cuyos depósitos se agrupan en la Formación Río Cuarto.

En el **Holoceno bajo y medio** acaecieron condiciones más húmedas, coincidentes con el *Optimum Climaticum*, que favorecieron la reinstalación de redes de drenaje, ambientes leníticos y desarrollo de suelos en los interfluvios (suelo Las Tapias). Las secuencias fluviales depositadas son de mediana a baja energía y granodecrecientes e integran la Formación Las Lajas, la que se encuentra rellenando gran parte de los valles pleistocenos indicando una tendencia a una menor disponibilidad de agua y aridización del clima, para una línea de costa atlántica situada pocos kilómetros al Oeste de la actual (Cantú, 1992). El patrón de instalación de estas redes no siempre es coincidente con el diseño pleistocénico, ya que se observan desmembramientos de cuencas y desconexiones de áreas serranas, que permiten situar un evento tectónico importante en el Pleistoceno superior-Holoceno (Degiovanni y Cantú, 1997). Otra evidencia de movimientos recientes es la identificación de estratos de edad pleistocena superior, dislocados y desplazados en la escarpa de la falla Las Lagunas (Degiovanni *et al.*, 2005).

El **Holoceno superior**, con condiciones climáticas secas y semiáridas, favorece la depositación de secuencias limo arenosas muy finas (Formación Laguna Oscura), que cubren casi toda la región y presentan una morfología de dunas longitudinales actualmente bastante dispadas y discontinuas (Fig.2.6 D). Para esa época los sistemas fluviales más importantes como el río Cuarto, desarrollaron abanicos, mientras que los menores se desactivaron o derramaron a la salida de la sierra de Comechingones. Según Iriondo (1999) este periodo seco se extendió entre los 3.500 a 1.400 AP, instalándose con posterioridad las condiciones climáticas actuales, predominantemente húmedas. Esto favoreció la formación de suelos de mediano desarrollo (Hapludoles y Haplustoles dominantes) en los interfluvios y la reinstalación de las redes de drenaje actuales, con amplios sectores de drenaje impedido en los bloques más deprimidos. Este ciclo húmedo fue interrumpido en tiempos históricos, por condiciones más áridas asociadas a un nuevo glaciar, que se conoce internacionalmente como Pequeña Edad de Hielo (800-200 AP, Iriondo, 1999), al que se asigna el origen de las dunas parabólicas características de esta zona y amplias zonas secas en los actuales sistemas lagunares del Sudeste de la provincia (Degiovanni *et al.*, 2005). El actual clima de Córdoba es subhúmedo templado,

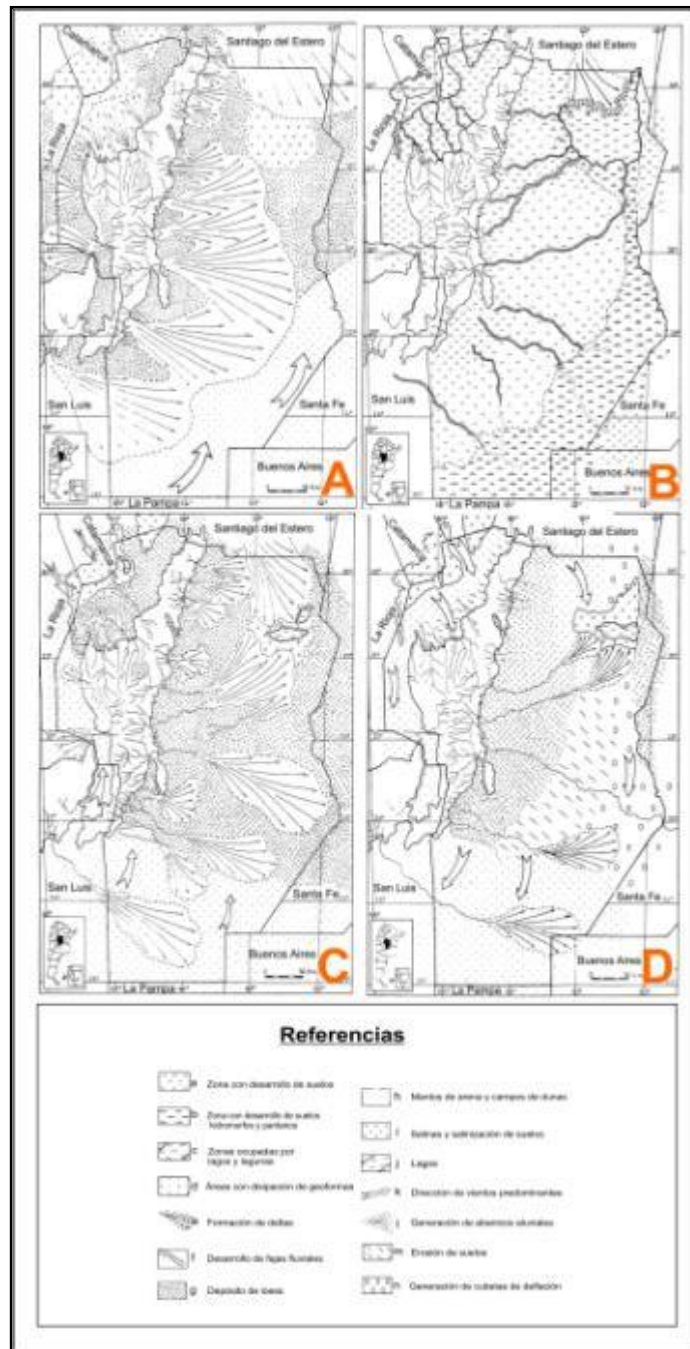


Figura 2.6. Esquema de evolución geomorfológica de la Provincia de Córdoba para el intervalo Pleistoceno tardío – Holoceno (Extraído de Carignano, 2014).

y las redes se encuentran en pleno procesos de reinstalación con pedogénesis en los interfluvios.

2.2. GEOLOGÍA LOCAL

Dado que las características geológicas del área son bastante homogéneas, no se realizó el mapa geológico típico sino que estas características se muestran en forma conjunta con las formas del relieve en el mapa geológico-geomorfológico que se presenta en el capítulo 3 (Fig. 3.3).

2.2.1. Análisis litoestratigráfico

Este análisis se efectuó mediante el relevamiento realizado de perfiles litológicos aflorantes y profundos. En este último caso se dispuso de una perforación de hasta 330 m situada en la localidad de Corral de Bustos y realizada por el proyecto del "Sistema de grandes acueductos" para la provincia de Córdoba (1967). Esto permitió, asociarla a las columnas típicas obtenidas por Maldonado (2014) y por Chiappero (2013), para evaluar el entorno regional e interpretar la geología del área.

2.2.1.1. Litoestratigrafía de superficie

Los perfiles litológicos aflorantes (PA1, PA2, PA3, PA4 y PA5) relevados se describen a continuación.

PA1: Perfil sedimentario aflorante N° 1

Se encuentra a la vera de la ruta provincia N°11 entre las localidades de Isla Verde y Corral de Bustos (ver capítulo geomorfológico, Fig. 3.3). El perfil, desde la base hasta el techo, mide 0,60 m. Sobre base cubierta se deposita un cuerpo de 0,30 m de espesor de materiales areno-limosos con bajo contenido de arcilla, de coloración pardo claro con estructura masiva y friable. La parte superior presenta estructura prismática, color pardo ligeramente más oscuro, con restos de raíces, bioturbación y presencia de materia orgánica. Por encima, en contacto neto, se encuentra una capa de geometría tabular, de 0,10 m, de materiales también areno-limosos, con estructura laminar paralela, presentacolor pardo oscuro. Mediante contacto neto se dispone, hacia el techo material

areno-limosos color pardo claro, de 0,20 cm de espesor, presencia de raíces, cierto grado de bioturbación (Fig. 2.7).

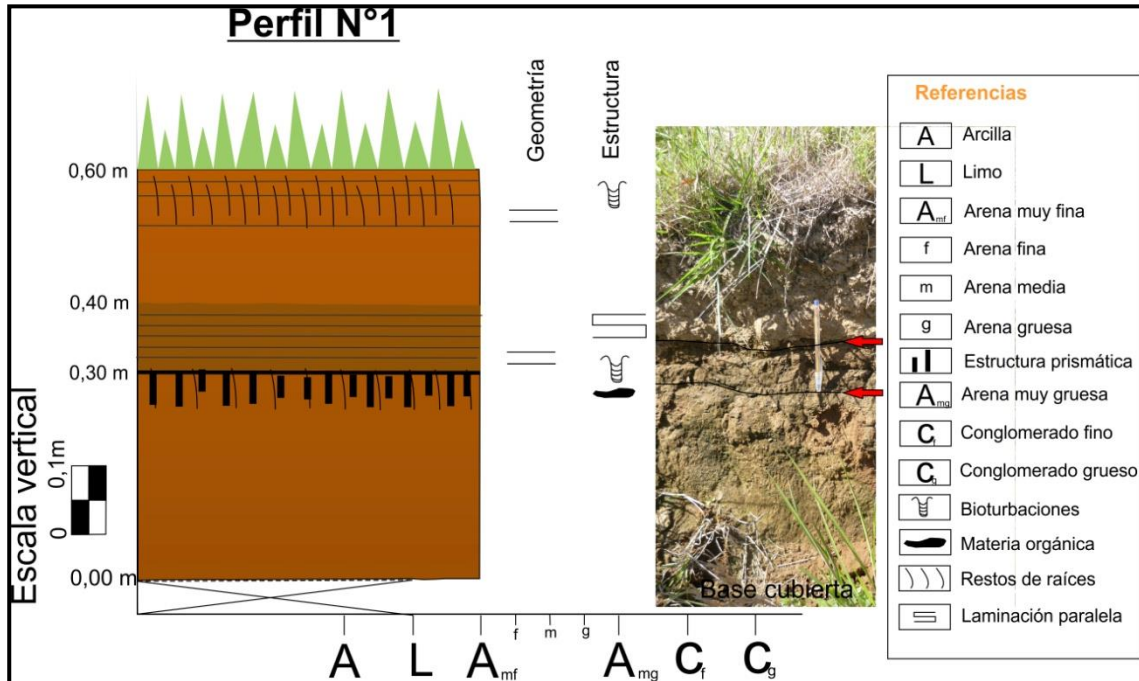


Figura 2.7. Perfil sedimentario aflorante N°1

De acuerdo a las características deposicionales y granulométricas, se interpreta a la capa inferior como un paquete de sedimentos eólicos depositados durante un clima más árido que el actual, posiblemente equivalentes a la Formación Laguna Oscura (Cantú, 1992) del Holoceno Superior sobre el que, debido a cambios de las condiciones climáticas hacia un período más húmedo (el actual), se ha desarrollado un suelo que ha sido cubierto posteriormente por derrames actuales vinculados a los procesos de escurrimientos y erosión del período húmedo actual ya que esta área se ha comportado históricamente como área de descarga regional y de recepción de sedimentos. Finalmente, sobre estos sedimentos de derrames se han producido procesos de pedogénesis bajo el clima actual.

PA2: Perfil sedimentario aflorante N° 2

Se ubica próximo a la ruta provincial N° 12, al Norte de la localidad de Corral de Bustos como se muestra en el capítulo 3 (Fig. 3.3). Tiene una base cubierta, sobre la cual se depositan materiales areno-limosos (33,8 % arenas muy finas, 16,9% arenas finas) (ver Anexo I, Fig. I.1). En los primeros 1,60 m del perfil los materiales presentan color pardo y masivos. Continúan en contacto neto planar 0,60 m de materiales similares pero

con mayor contenido de arcilla y color pardo muy claro. Se destaca el importante grado de endurecimiento por cementación carbonática. En la parte superior presencia de raíces, bajo grado de bioturbación y acumulaciones locales de materia orgánica (Fig. 2.8).

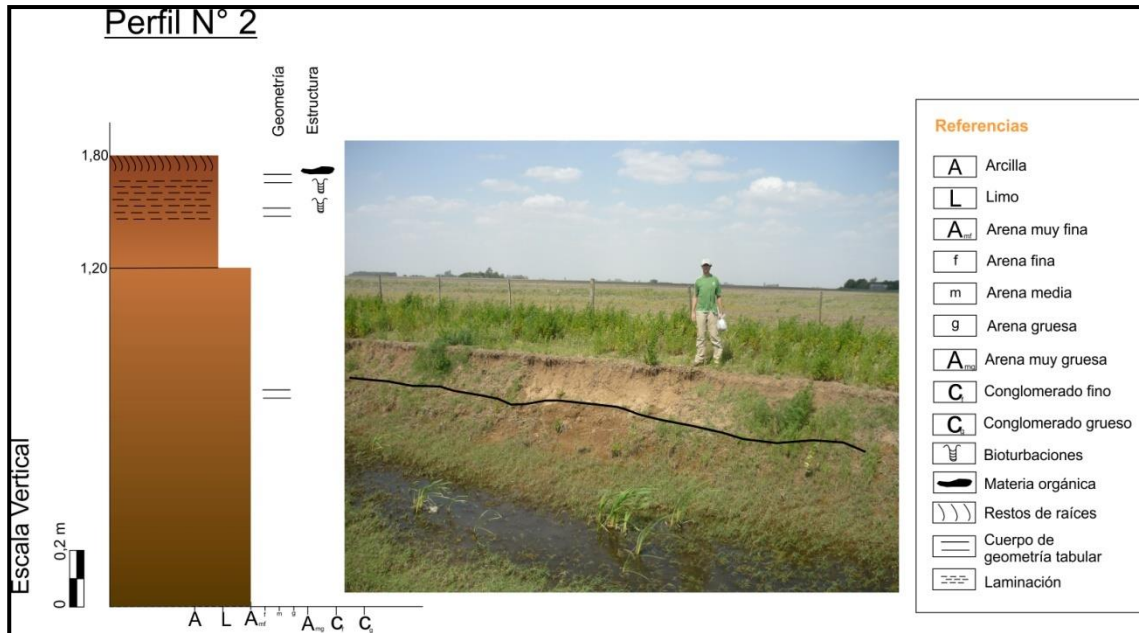


Figura 2.8. Perfil sedimentario aflorante N°2

De acuerdo a las características deposicionales y granulométricas, se interpreta a la capa inferior como un paquete de sedimentos eólicos (probablemente F, Laguna Oscura). La parte superior del perfil se corresponde con sedimentos muy finos actuales de desbordes, se encuentran muy cementados y en la parte superior exhiben moderado desarrollo pedogenético asociado al clima actual

PA3: Perfil sedimentario aflorante N° 3

Se encuentra ubicado unos 300 metros de la localidad de Camilo Aldao a orilla de la ruta provincial N° 12 (Fig.3.3.). En total el perfil se compone de tres cuerpos de geometría tabular todos ellos con límites netos (Fig. 2.9) y sedimentos cuyo análisis textural (Fig. I.2 del Anexo I) revela que se trata, en su mayoría, de materiales arenosos muy finos-arcillosos (37,40 % en peso, 21,04 % arcillas, 18,38 % limos gruesos). El cuerpo inferior se encuentra en general muy cementado con la presencia de abundantes concreciones de carbonato de calcio de distintos tamaños, llegando a medir, las más grandes, hasta 3 centímetros de diámetro. Por el contrario, el cuerpo superior, de 0,50 m de espesor, se compone de estos mismos materiales pero éstos se presentan deleznable. Los últimos 0,20 m se encuentran groseramente laminados, bioturbados, con materia orgánica, presencia de raíces y estructura en bloques pequeños.

Estos depósitos se interpretan como sedimentos eólicos, correspondiendo el paquete inferior a un período más seco dada las concreciones carbonáticas presentes, gradualmente la instalación del clima húmedo actual y sucesivas etapas de escurrimientos permitieron la deposición de los sedimentos laminados de la parte superior, luego se desarrolló el suelo actual.

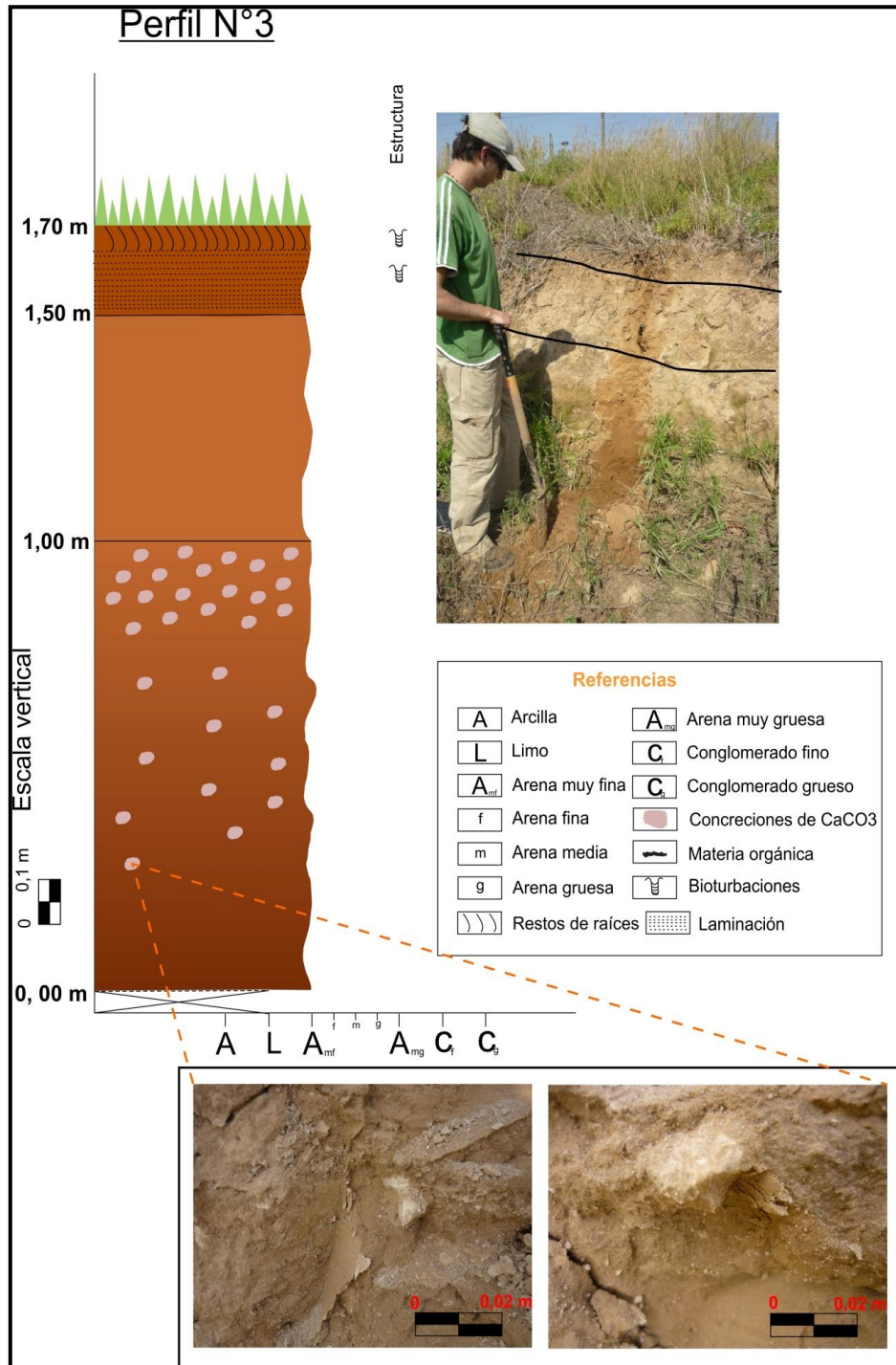


Figura 2.9. Perfil sedimentario aflorante N°3

PA4: Perfil sedimentario aflorante N° 4.

Se encuentra ubicado a aproximadamente 2,5 Km al NO de la localidad de General Baldissera, sobre el camino rural que baja al río Saladillo (Fig. 3.3). Tiene una longitud total de 1,75 m, y presenta cuerpos bien diferenciados, los cuales se disponen en contactos netos planares (Fig. 2.10). Exhibe una base cubierta, distinguiéndose luego materiales arenosos muy finos limosos con contenido de arcilla, de 1,25 m de color pardo con abundante presencia de concreciones de carbonato de calcio. La parte superior de este paquete, presenta mayor porcentaje de limos, color pardo con tonos grisáceos oscuros donde es posible observar una marcada estructura prismática con bloques bien definidos, presencia de bioturbaciones y algunos restos de raíces. En contacto neto se pasa a un cuerpo de 0,50 m de espesor, limosos de color pardo oscuro a un gris claro con un grado considerable de bioturbación, grosera laminación, presencia de raíces en elevada cantidad, contenido de materia orgánica y estructura en bloques de pequeño tamaño.

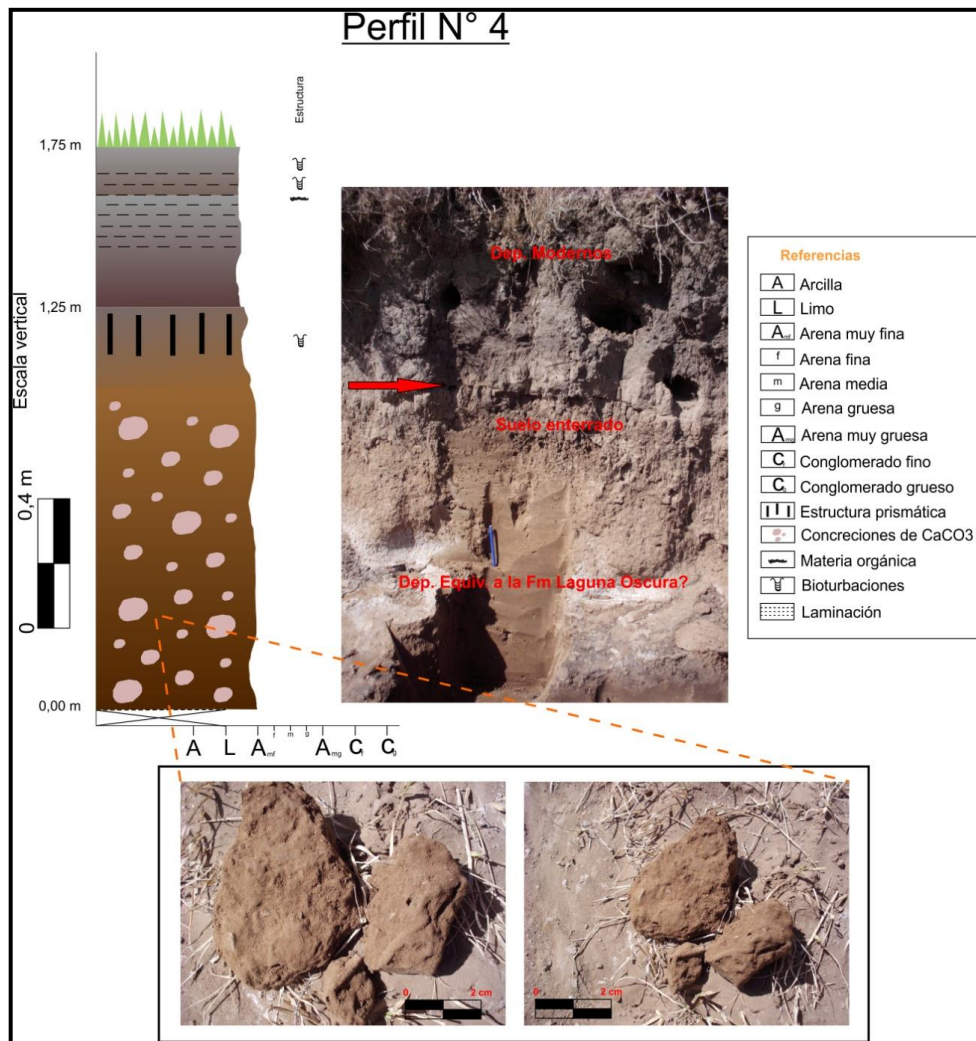


Figura 2.10. Perfil sedimentario aflorante N°4

Los materiales de la base, se interpretan como sedimentos eólicos en los que se produjeron cementaciones carbonáticas "in situ" debido a condiciones de aridez. Estos depósitos podrían corresponderse con lo que a nivel regional sería la Formación Laguna Oscura. Posteriormente sobreviene a nivel regional un ciclo más húmedo (clima actual), el cual hace posible el desarrollo de un suelo. Los últimos 0,50 m de materiales suprayacentes, corresponderían a sedimentos modernos sin denominación formal, correspondientes a depósitos de derrames con alto contenido de materia orgánica, luego edafizados.

PA5: Perfil sedimentario aflorante N° 5

Se encuentra ubicado aproximadamente a 1 Km al Norte de la localidad de General Baldissera (ver Mapa geomorfológico en el capítulo 3) a la orilla del camino. Presenta base cubierta, por encima se observa un cuerpo tabular, de 0,50 m, masivo muy cohesivo, de materiales predominantemente limosos con presencia de arcillas, de color pardo oscuro, se observa a lo largo de estos primeros centímetros presencia de humedad y precipitación de sales. Mediante contacto neto se depositaron 0,10 m de materiales limo - arcillosos de color pardo claro en los cuales se observa una marcada laminación paralela. Suprayace un cuerpo tabular de 0,15 m de espesor, homogéneo de color pardo oscuro con tonos grisáceos constituidos por materiales limosos, laminados, con acumulaciones de materia orgánica. Se apoyan, en contacto neto sobre estos últimos, un cuerpo tabular homogéneo de 0,50 m de espesor, de materiales areno - limosos muy finos fuertemente cementados con carbonato de calcio (entoscados) y groseramente laminados (Fig. 2.11).

Los materiales de la base podrían corresponderse con la Formación Laguna Oscura depositados en un clima árido por acción del viento. Luego sobreviene el clima actual con condiciones ligeramente más húmedas, que favorece la instalación de ambientes lacustres y palustres de baja energía, los que depositan los materiales limo - arcillosos, con marcada laminación paralela y los sedimentos de la parte superior en los que se desarrolla el incipiente suelo actual.

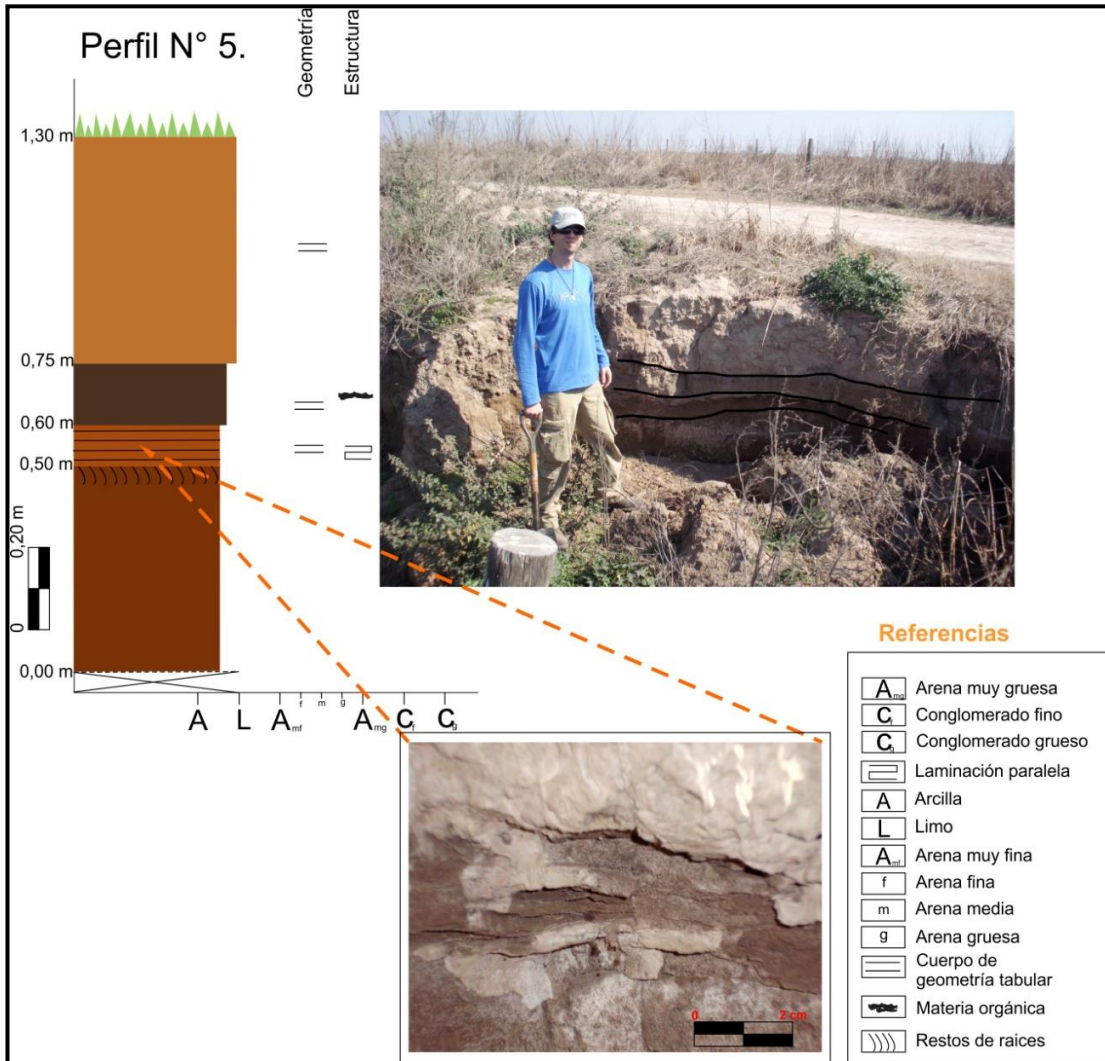


Figura 2.11. Perfil sedimentario aflorante N° 5

2.2.1.2. Litoestratigrafía del subsuelo

Para hacer una interpretación de los materiales existentes en el subsuelo se efectuaron correlaciones litoestratigráficas considerando los antecedentes regionales (Blarasin y Cabrera, 2000 y 2005; Blarasin *et al.*, 2014), los estudios realizados en áreas próximas al área de estudio (Chiappero, 2013; Maldonado, 2014) y los datos litológicos obtenidos mediante una perforación, de 330 m de profundidad, realizada en la localidad de Corral de Bustos en el año 1967, por "Sistema de grandes acueductos" para la provincia de Córdoba (GAI). De este modo el análisis de la información permitió elaborar la columna litoestratigráfica típica de la zona estudiada, aunque debido a la escasez de datos, los nombres formacionales han sido asignados con cierta incertidumbre.

2.2.1.2.a. Perfil litológico profundo relevado en la zona

El perfil comienza con un cuerpo de 35 metros de espesor compuesto por arcillas y limos castaños. Continúa un cuerpo de aproximadamente 50 m de espesor el cual se compone de arcillas limosas de color pardo rosadas con presencia de yesos. Por encima se presenta un cuerpo de unos 10 m de espesor compuesto por arcillas grisáceas seguido por un paquete de arcillas limosas de color pardo oscuro. Sobreyace un paquete de 50 m de espesor el cual se compone fundamentalmente de arcillas limosas, verdosas a pardas que presenta intercalaciones de paquetes de arenas finas a medias de color pardo rosado hasta arenas gruesas de color pardo claro. Estos paquetes arenosos intercalados alcanzan espesores importantes llegando a medir, el más grande, hasta 25 m de potencia. Por encima de este paquete en donde predominan las arcillas verdosas, se presenta un cuerpo de aproximadamente 30 m de potencia conformado por arenas finas a medias de colores claros seguido de un paquete, de unos 25 m, de arcillas limosas de colores pardos que varían desde grisáceo hasta rosados. Inmediatamente por encima se observa un cuerpo de 40 m de espesor compuesto por limos fuertemente cementados con carbonato de calcio. Luego, le sigue un cuerpo de 40 m de potencia compuesto de materiales limoso arenosos finos con intercalaciones de niveles de gravas. Los últimos 20 m de materiales corresponde a materiales limosos que gradan a arenas muy finas.

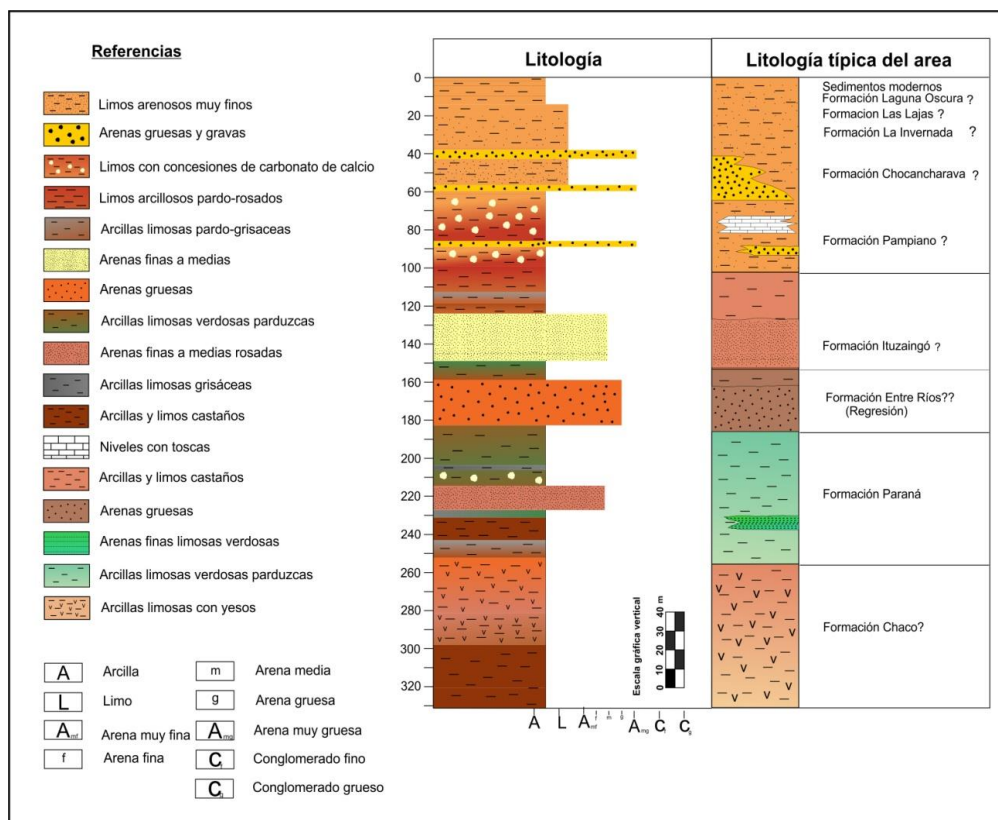


Figura 2.12. Perfil litológico profundo obtenido de una Perforación realizada en el área de estudio por el "Sistema de Grandes Acueductos" para la provincia de Córdoba (GAI, 1967). Interpretación estratigráfica preliminar y modificada por el autor de esta tesis

A continuación en la figura 2.13 se muestra la ubicación de las columnas estratigráficas de la localidad de Canals y Pascanas, en ellas se observa semejanza litológica con los materiales presentes en el área de estudio, lo que proporciona una cierta aproximación acerca de los materiales que podrían estar presentes en el subsuelo. En el caso de que se contaran con más datos de perforaciones profundas en el área de estudio y en cercanías de las localidades mencionadas sería posible realizar correlaciones litoestratigráficas.

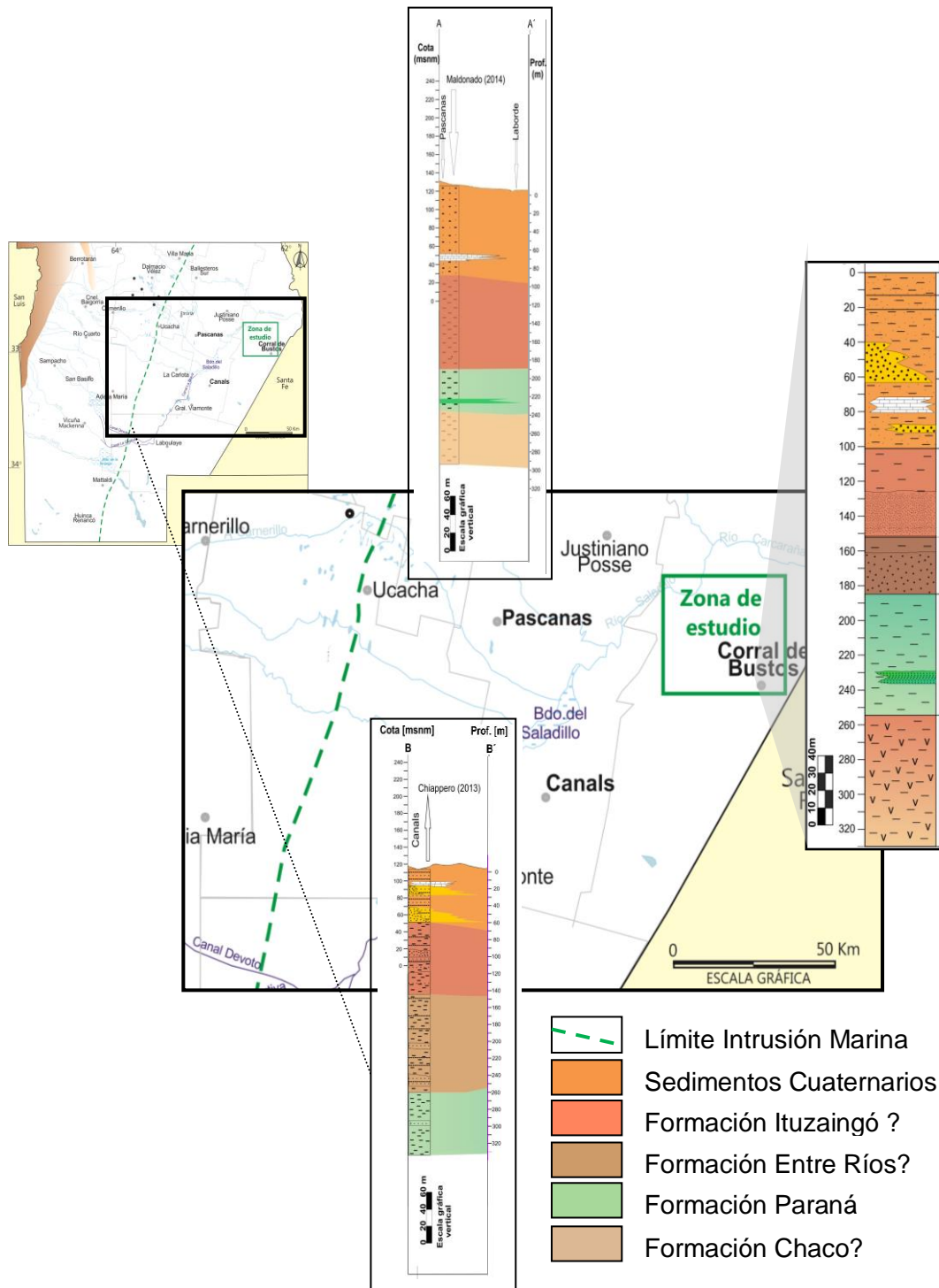


Figura 2.13. Mapa de ubicación de los perfiles de correlación litoestratigráfica realizados.

2.2.1.2. b. Columna litoestratigráfica típica del área

Las interpretaciones de las correlaciones realizadas permitieron obtener la columna litoestratigráfica típica de la zona, la cual se presenta en la figura 2.14. Los materiales que aparecen en la base del perfil, entre los 330 m de profundidad y los 255 m se los describe como arcillitas de color pardo rosado con intercalaciones de limos y presencia de yeso y anhidrita, posiblemente equivalentes a la Formación Chaco (Russo *et al.*, 1979) de edad Oligocena-Miocena. Por encima, entre los 255 m de profundidad y los 185 m, descansa una secuencia de arcillas verdosas y azuladas grisáceas, con intercalaciones de secuencias arenosas y algunos limos, de espesor considerable. Dichos depósitos fueron asignados a la Formación Paraná, depositados en un gran evento transgresivo ocurrido durante el Mioceno (Fernandez Garrasino y Vrba, 2000). Entre los 185 m y 150 m de profundidad se encuentran materiales arenosos gruesos los cuales fueron depositados por una posible regresión marina. A dicho materiales se los asigna, aunque con incertidumbre, como Formación Entre Ríos.

Entre los 150 m y 102 m, se tiene una capa muy potente de arenas finas a medias y a veces gruesas, que podrían considerarse como coetáneos a la Formación Ituzaingó-Arenas Puelches (Doering, 1882; Santa Cruz, 1972) del Plioceno superior, y que representan la base de los materiales cuaternarios. Desde los 102 m hasta los 60 m aproximadamente se depositan materiales finos de tipo limo y arenas muy finas, encontrándose niveles con espesores considerables fuertemente cementados con carbonatos de calcio, los cuales se podrían corresponder con la Formación Pampiano (Fidalgo *et al.*, 1973; Cantú, 1992) del Pleistoceno medio-superior, como evidencia de que el clima se fue haciendo cada vez más seco tornándose excesivamente árido. Inmediatamente por encima sobreyacen materiales de tamaño arena que varían desde finas a gruesas con intercalaciones de niveles más finos limo-arcillosos. Todo este paquete de materiales se correspondería con la Formación Chocancharava (Cantú, 1992). Se interpreta para este período que las condiciones climáticas se fueron tornado cada vez más húmedas, haciendo que los ápices de derrames de los principales ríos de la región se extendieran hacia el Este de la provincia y Sur de Santa Fe, depositando materiales más gruesos, de origen fluvial, e incidiendo valles sobre la Formación Pampiano. Por encima, a una profundidad comprendida entre los 40 m y los 17 metros, sobreyacen materiales más finos, los cuales se interpretan como limos finos con intercalaciones de niveles arenosos muy finos. Estos materiales corresponderían a la Formación La Invernada (Cantú, 1992) y fueron depositados fundamentalmente por acción del viento en condiciones áridas como consecuencia de un cambio climático durante el Holoceno Inferior. Posteriormente, ya hacia el Holoceno inferior-medio, las

condiciones se vuelven a tornar más húmedas depositando materiales limo-arenosos muy finos en forma de derrames de flujos densos. Estos materiales se corresponderían con la Formación Las Lajas (Cantú, 1992). Por encima de estos materiales, en los últimos 10 m de la columna, se depositan materiales eólicos limosos finos, los cuales se corresponderían con la Formación Laguna Oscura (Cantú, 1992) del Holoceno superior. Finalmente, sobreyacen a los materiales anteriores desde pocos cm hasta aproximadamente 1 m de sedimentos modernos depositados por procesos que dominan actualmente en el área (retrabajo eólico, fluviales, palustres).

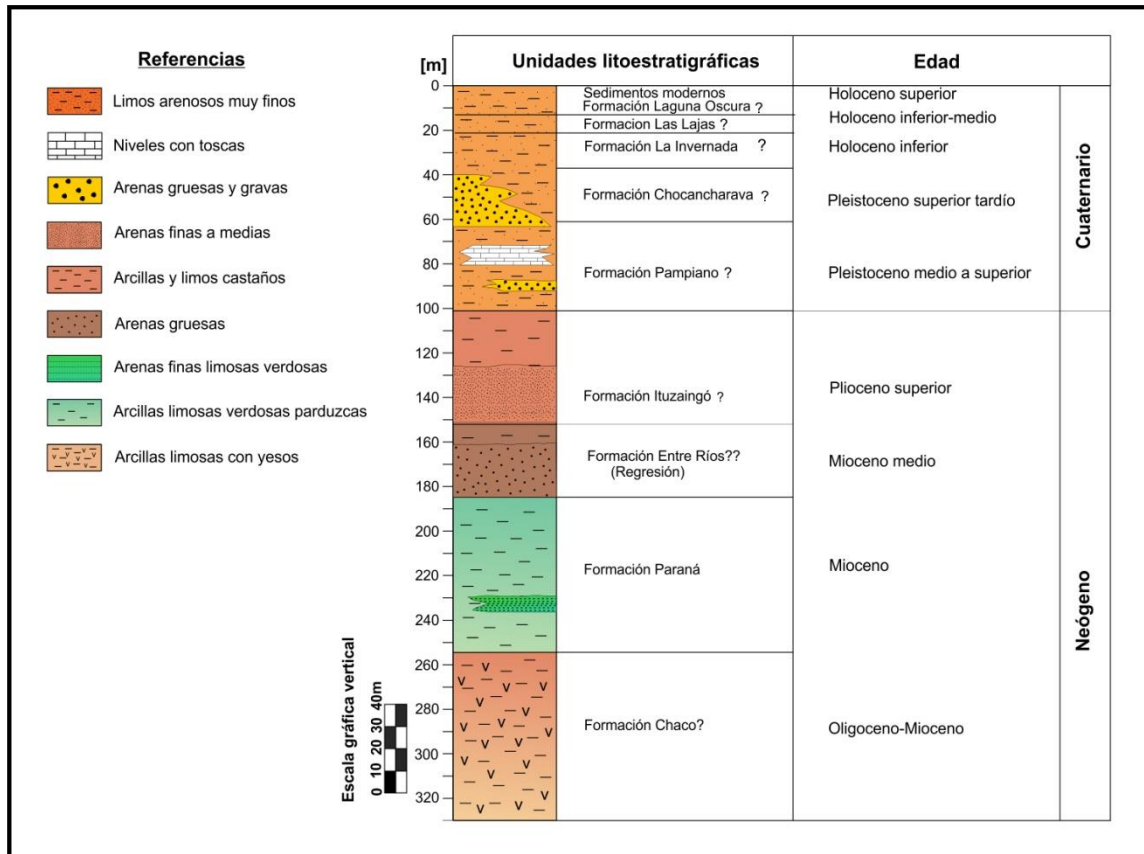


Figura 2.14. Columna litoestratigráfica típica del área de estudio.

2.3. ANÁLISIS MORFOTECTÓNICO LOCAL

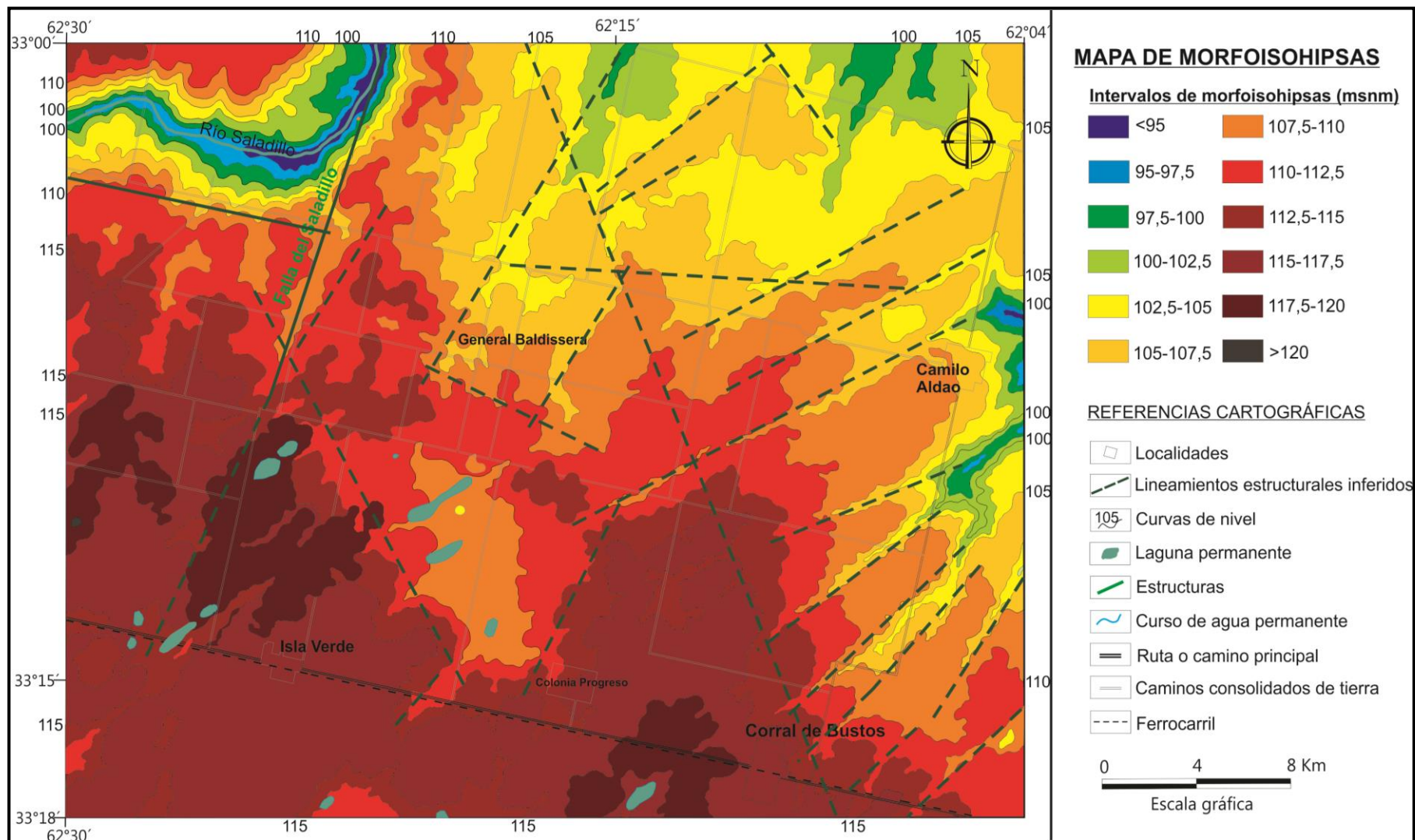
Para realizar este análisis se utilizó la metodología propuesta de Orbera Hernández y Fernández (1977), la cual consiste en realizar un análisis cartográfico-topográfico del área de estudio. De esta manera se confeccionó para el área en cuestión, el mapa de morfoisohipsas y el de la red de drenaje natural.

La construcción del mapa de morfoisohipsas se basó en la cartografía topográfica del área donde se identificó con distintos colores el agrupamiento de las curvas de nivel

en intervalos constantes de 2,5 m, seleccionado en función de las variaciones del relieve y de la escala utilizada. La interpretación del mapa permite apreciar con mayor facilidad presencia de altos y bajos muy pronunciados, cambios bruscos de pendientes y diferencias evidentes de las formas del relieve (Orbera Hernández y Fernández, 1977; Villegas y Blarasin, 1995; Sagripanti, 2006) (Fig. 2.15).

La red de drenaje natural de una zona, también es muy útil para estos fines, ya que es un buen indicador de la influencia de la tectónica en el terreno, tales como evidencias de prolongación de estructuras y de basculamiento de bloques, entre otros (Orbera Hernández y Fernández, 1977; Sagripanti, 2006). Para confeccionar la red de drenaje (Fig. 2.16) se definieron los lineamientos de escurrimientos naturales tanto permanentes como efímeros y, posteriormente, las divisorias de aguas superficiales principales y secundarias. No se consideraron las obras de canalizaciones que, en la zona estudiada, son muchas y han sido construidas, la mayoría de ellas, después de la década de los 80', y que modifican de este modo, la dinámica hidrológica superficial natural, de manera considerable. Este mapa, en conjunto con el análisis de las morfoisohipsas permitió reconocer la presencia de múltiples estructuras en el área.

La estructuramás importantes la falla regional del Saladillo (Villegas, 1999) que atraviesa el extremo NO del área y provoca un cambio brusco en la dirección de circulación del río Saladillo. Se identificaron, además, la presencia de dos familias de lineamientos estructurales menores, una con dirección preferencial NE-SO y otra con dirección NO-SE, que dan lugar a bloques diferencialmente ascendidos, de distintas magnitudes.



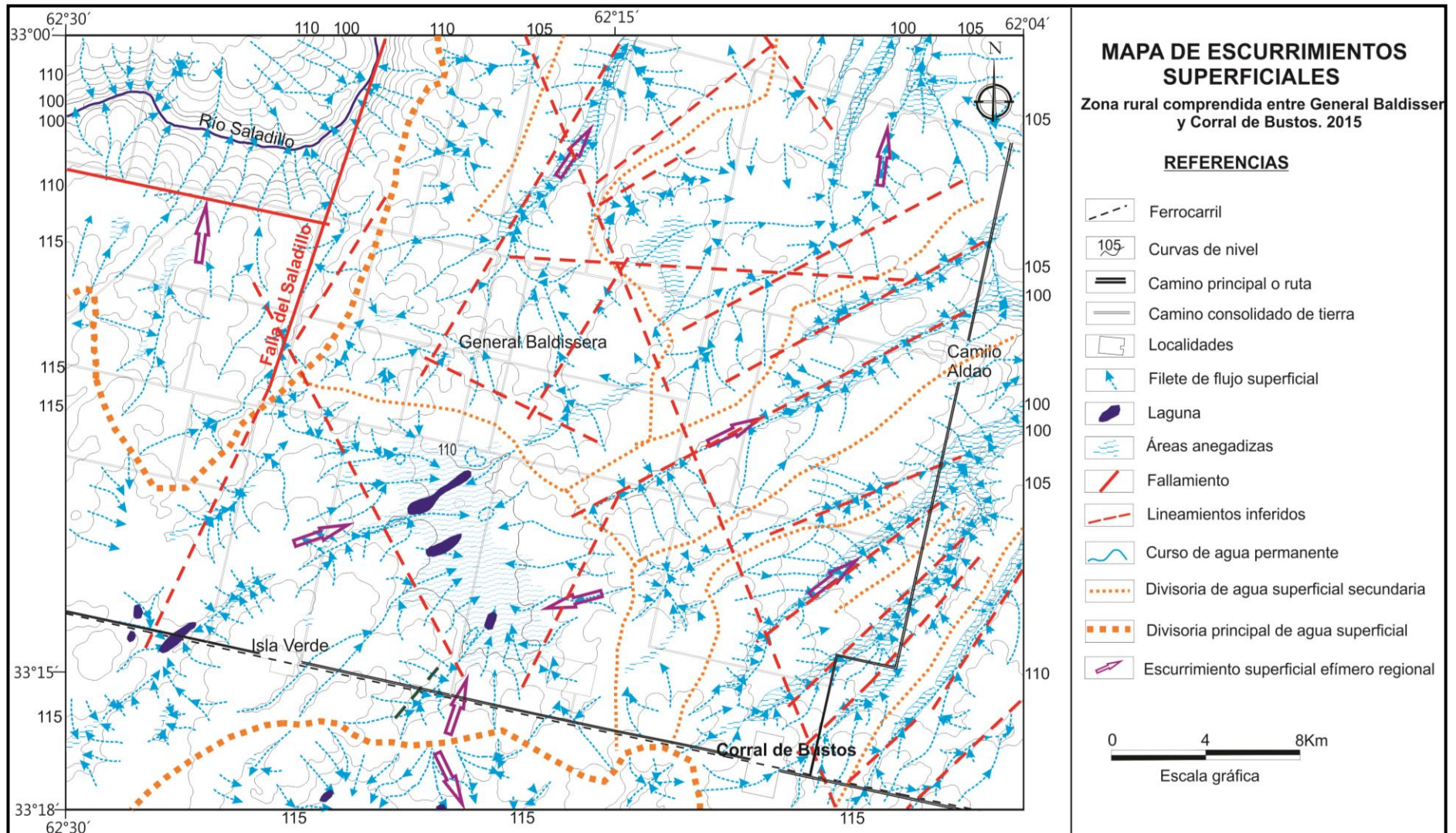


Figura 2.16. Mapa de escurrimientos superficiales naturales del área de estudio

Capítulo 3

GEOMORFOLOGÍA

3.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

A escala regional la geomorfología del Sur de la provincia de Córdoba está estrechamente vinculada a la estructura de bloques que caracterizan a las Sierras Pampeanas y Llanura Chaco-Pampeana, a las variaciones climáticas del Cuaternario y a eventos neotectónicos.

3.1.1. Unidad geomorfológica sistema de Sierras Pampeanas

Las Sierras Pampeanas, macrounidad morfoestructural que se reconoce en varias provincias del centro-Oeste de la Argentina, están integradas por una sucesión de megabloques de basamento ígneo-metamórfico del Precámbrico-Paleozoico inferior, que presentan una marcada asimetría debido a la presencia de una importante escarpa de falla en el borde occidental, de rumbo meridiano a submeridiano. A su vez estos megabloques exhiben una morfología que refleja una larga y compleja historia denudativa, desde el Carbónico superior (Carignano *et al.*, 1999) modificada por la orogenia ándica, donde coexisten relieves antiguos heredados, con otros que resultan de la sustitución parcial o total de éstos con posterioridad a este importante evento tectónico (Degiovanni *et al.*, 2003). En el Sur provincial este ambiente está representado por las Sierras de Comechingones, los Cóndores y de Las Peñas que constituyen las estribaciones más australes de las Sierras Pampeanas de Córdoba.

3.1.2. Unidad geomorfológica Llanura Chaco-Pampeana

La Llanura Chaco-Pampeana, 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. En esta planicie predominantemente agradacional las variaciones del relieve se relacionan a la presencia de bloques estructurales, algunos de ellos con probada actividad neotectónica, y a los ciclos de denudación-agradación controlados por las oscilaciones climáticas del Cuaternario (Degiovanni, 2005 a).

La Planicie Pampeana caracteriza las regiones centrales de Argentina e integra lo que Iriondo (1997 y 1999), denominara *Sistema Eólico Pampeano* (aproximadamente 600.000 km² de superficie). Desde el punto de vista morfoestructural, está constituida por

un mosaico de bloques basculados y diferencialmente ascendidos que definen sectores positivos y áreas deprimidas, que condicionaron en las distintas épocas geológicas las características de los ambientes de sedimentación, y que tienen importancia fundamental en el control de la dinámica y calidad de las aguas superficiales y subterráneas de la región (Blarasin *et al.*, 2005)

Esta planicie, de pendiente general hacia el Este – Sudeste, presenta un relieve suave a moderadamente ondulado, a excepción de la faja periserrana, integrado por formas eólicas y, subordinadamente, fluviales y palustres. Merece destacarse que la dinámica de estos ambientes está muy influenciada por la actividad antrópica, principalmente desde el siglo pasado cuando se introdujeron las prácticas agrícola-ganaderas. La creciente presión de uso de la tierra ha ocasionado importantes desequilibrios modificando la magnitud, localización y recurrencia de procesos naturales (erosión hídrica, eólica y fluvial, anegamiento, inundación y sedimentación fluvial, etc.) y alterando la calidad de los recursos suelos y aguas (Degiovanni, 2005).

El área de estudio se encuentra situada dentro de la unidad geomorfológica "Planicie elevada oriental" descrita y representada por Degiovanni (2005) en la figura 3.1., y específicamente en la subunidad "Planicie con cañadas" y en un pequeño sector de la denominada "Alto de Monte Buey".

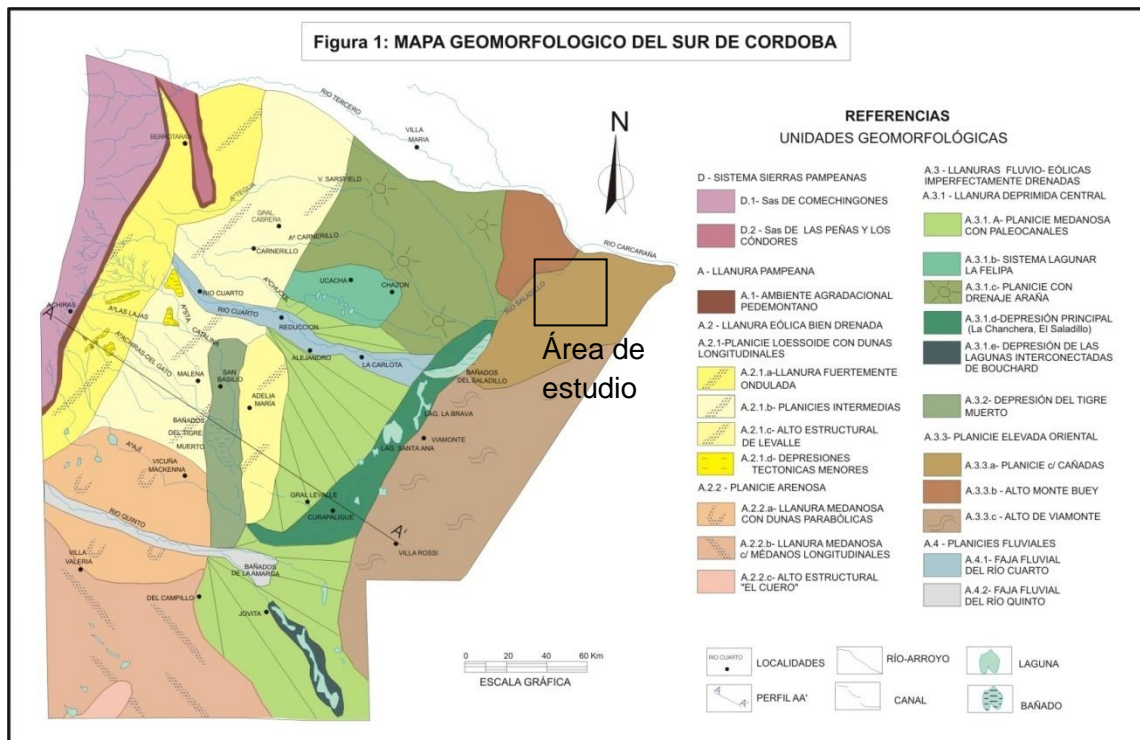


Figura 3.1. Mapa geomorfológico del Sur de Córdoba (Tomado de Degiovanni, 2005)

La "**Planicie elevada Oriental**", representa el bloque elevado asociado a la falla regional del Saladillo, el que está segmentado en otros menores que exhiben comportamientos diferentes. En general el relieve es suavemente ondulado, con numerosas áreas mal drenadas y con procesos hidrohalmórficos, principalmente hacia el Sur. El sector Norte de esta unidad, que comprende la subunidad definida como "**Planicie con cañadas**", presenta un relieve muy plano (pendientes del 0,1 %), en el que se destacan bajos rectilíneos, anchos, de dirección SO-NE, que localmente se denominan "*cañadas*". Los materiales son arenosos muy finos y se observan leves manifestaciones de antiguas dunas longitudinales. La subunidad "**Alto de Monte Buey**", está limitada por las estructuras regionales que controlan parte del río Tercero y el río Saladillo y constituye una planicie con pendientes del orden de 0,02 %, relativamente bien drenada, donde afloran materiales loésicos.

Carignano *et al.* (2014) denominan a este sector "Planicie loésica de Marcos Juárez-Corral de Bustos" (Fig. 3.2) e interpretan a esta red de paleovalles fluviales SO-NE, como la continuación de los abanicos de los ríos Ctlamochita, Chocancharava y Popopis, suavizados por la cubierta loésica del Pleistoceno tardío (Formación La Invernada). Algunos de estos paleocauces son diferenciables en imágenes satelitales a partir de la alineación de hoyas de deflación de hasta 100 m de diámetro, siguiendo el rumbo de dichos cauces. En general, los paleocauces se encuentran actualmente ocupados por cañadas (ej. cañada Santa Lucía) y las hoyas convertidas en lagunas temporarias (Kröhling, 1998). Dichos paleocauces fueron descritos por Pasotti y Canoba (1979) como paleocañadas, es decir, antiguas cañadas generadas durante un periodo húmedo, que atraviesan de manera ortogonal bloques tectónicos menores de la región y que se presentan rectas, subparalelas y con un espaciamiento regular.

Los paleovalles de la unidad que se extiende al Sur del río Carcarañá fueron interpretados por Iriondo (1987) como geoformas generadas por el río Popopis. Según dicho autor, estos valles se desarrollaron a favor de lineamientos tectónicos preexistentes y fueron modificando la traza según la dinámica hídrica, hasta que el proceso se interrumpía por avulsión, lo que explicaría la transición observada en imágenes satelitales entre fajas rectas y sinuosas. Este control tectónico sobre el lineamiento que muestran los paleocauces también ya ha sido descrito por Pasotti en 1974.

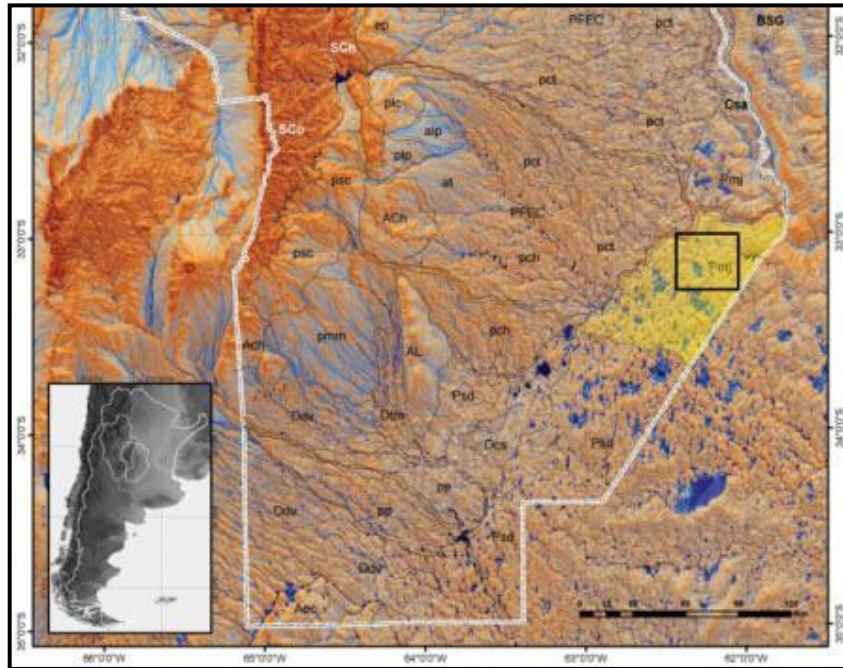


Figura 3.2. Se muestra la unidad geomorfológica que comprende el sector del área de estudio. Tomado de Carignano *et al.*, 2014.

3.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La geomorfología local se realizó teniendo en cuenta las grandes unidades antes descritas, el análisis realizado en gabinete inicial (carta topográfica del IGN e imágenes satelitales) y la información recogida en la etapa de campo. En el área de estudio se diferenciaron las siguientes unidades geomorfológicas (Fig. 3.3):

A) Planicie con cañadas

A.1) *Planicie con cañadas típicas*

A.2) *Planicie con cañadas disipadas*

A.3) *Bajos y lagunas con hidromorfismo*

B) Faja fluvial del Saladillo

B.1) *Cauce actual*

B.2) *Planicie de inundación*

B.3) *Borde erosivo*

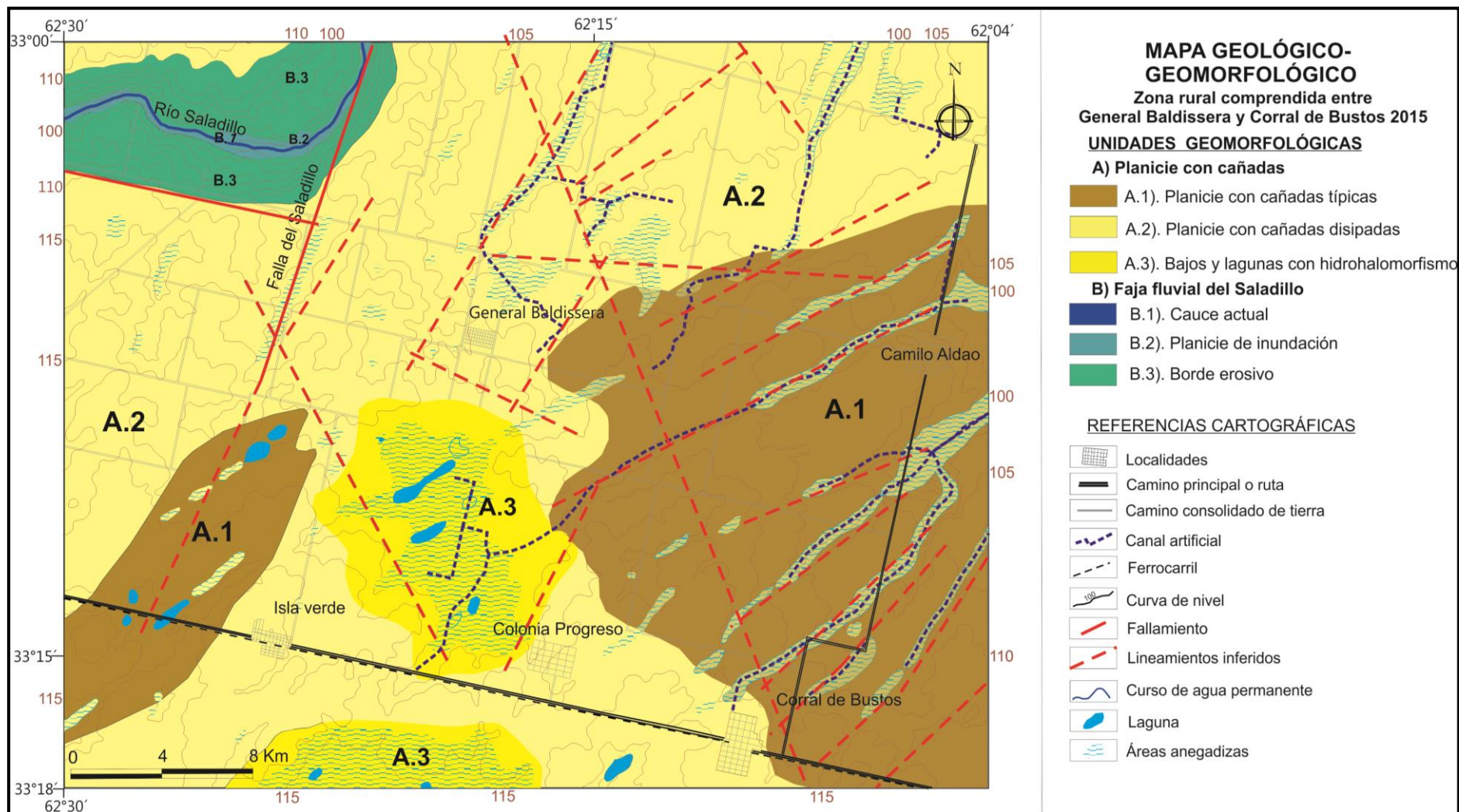


Figura 3.3. Mapa geológico-geomorfológico del área de estudio

A) Planicie con cañadas

Se trata de la unidad geomorfológica que abarca la mayor superficie del área de estudio (Fig. 3.4). El relieve es suavemente ondulado. Se midieron gradientes topográficos que varían entre 0,07% y 0,8%. Se destaca la presencia de numerosos bajos con distintas orientaciones, los cuales fueron agrupados en dos familias: bajos elongados con orientación preferencial NE-SO y bajos elongados de dirección NNE-SSO. Los bajos están claramente relacionados a control estructural, como se indicara en el mapa de morfoisohipsas (Fig.2.15), donde se observa la coincidencia de lineamientos estructurales con la orientación de las cañadas. A estos bajos se los describe como depresiones con profundidad variable, en general poco profundas (3-6m) limitadas por pendientes de muy bajo gradiente, en torno a 0,1 %, que se encuentran cubiertos por materiales limosos- arenosos muy finos y la mayoría de ellos cultivados. Las dimensiones de estos bajos son variables presentando tramos de 1,5 a 4 Km de longitud y de 100 a 350 m de ancho. Muchos de estos bajos se encuentran anegados, algunos de forma permanente mientras que otros de formas temporales, y afectados por el desarrollo de hoyas de deflación cuyos tamaños varían de 70 m a 130 m de longitud. Es de destacar la



Figura 3.4. Se muestra el paisaje de toda la "Planicie con cañadas"

construcción de múltiples canales artificiales con el objetivo de drenar lagunas para ganar superficie cultivable (Fig. 3.4).

A.1) Planicie con cañadas típicas

Se describe como un área suavemente ondulada, con gradientes topográficos que varían entre 0,05% en las zonas con menor pendiente, y 1,1% en las zonas de mayor pendiente. Los materiales son arenosos muy finos con presencia de limos y arcillas, como puede observarse en los perfiles sedimentológicos P2 y P3.

Está dominada por bajos rectilíneos con dirección NE – SO, controlados estructuralmente, muy destacables por la mayor envergadura de las cañadas respecto a la otra unidad donde se encuentran disipadas, y en general, con presencia de agua más permanente. Dichos bajos se encuentran conectados entre sí, constituyendo un sistema de cañadas que drenan agua hacia una depresión mayor ubicada a unos pocos km hacia el Este de la unidad, ya fuera del área de estudio, conocida regionalmente como cañada Santa Lucía. Estos bajos se los interpreta como depresiones de origen fluvial retrabajados eólicamente, que se han desarrollado sobre paleocauces localizados. Los paleocauces presentan anchura variable entre 150 m y 500 m, debido a la presencia de hoyas de deflación elipsoidales excavadas en su interior. Estas depresiones están anegadas (Fig 3.5) y sus bordes resaltados por concentraciones salinas (Pasotti y Canoba; 1979).



Figura 3.5. Laguna permanente próxima a la localidad de Isla Verde

El drenaje de las cañadas se encuentra fuertemente influenciado por actividad antrópica dada por la construcción de múltiples canales artificiales (Fig. 3.6). En la Figura 7 se observa que las cañadas pueden tener profundidad de varios metros.



Figura 3.6. Vista de uno de los canales dentro del área

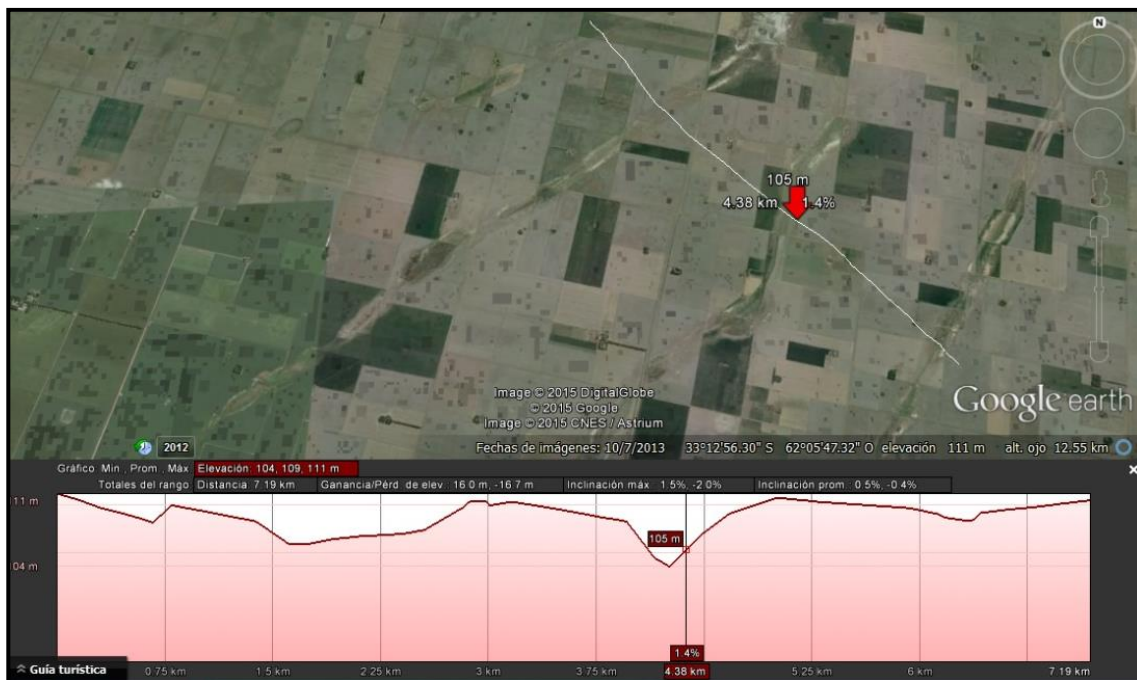


Figura 3.7. Vista en planta y corte del paisaje de cañadas

A.2.) Planicie con cañadas disipadas

Constituye un sector de gran extensión dentro del área de estudio. Se caracteriza por presentar un relieve suavemente ondulado, con gradientes topográficos que disminuyen hacia el Noreste desde 0,7% a 0,08%. Se destaca la presencia de abundantes bajos de distintas formas y tamaños, muchos de ellos se encuentran anegados, en especial en épocas húmedas del año, llegando a instalarse lagunas permanentes de hasta 2 km de longitud (Fig.3.5.), mientras que otras lagunas son de

menor tamaño, de entre 200 y 500 m. (Fig. 3.8 A). Cabe destacar que la construcción de canales artificiales de drenaje juega un papel fundamental ya que han reducido considerablemente la superficie de estas áreas anegadas y lagunas ya que muchas de ellas han sido drenadas completamente (Fig. 3.8 B). Dentro de la unidad se pueden observar la presencia de cañadas distribuidas irregularmente, de orientación variable, NNE-SSO, y NE-SO, como puede observarse en Fig. 3.3. En general, además de las diferentes direcciones las cañadas están más disipadas, ya que son menos profundas. El tipo de material predominante es de tamaño limo-arenoso muy fino donde en algunos sectores se encuentran cementados con carbonato de calcio.



Figura 3.8. A. Laguna de tamaño medio. B. Construcción reciente de un canal de drenaje en la parte NE del área de estudio.

A.3) Bajos y lagunas con hidrohalomorfismo.

Son grandes depresiones mal drenadas y anegadas con presencia de numerosas lagunas las cuales se les atribuye origen tectónico (Pasotti, 1974). Los gradientes medidos en estas depresiones son muy bajos variando desde 0,07 % hasta 0,05%. Los materiales aflorantes son arenas muy finas con abundantes limos y arcillas. Su morfología no presenta un patrón definido, ya que algunas tienen forma redondeada, mientras que otra levemente elongadas. Lo mismo ocurre con su orientación. Las dimensiones aproximadas de los bajos son de unos 10 Km de largo por 5 Km de ancho. En su interior es posible observar la presencia de lagunas de forma circular y elongadas, algunas de carácter permanente y gran cantidad de precipitaciones salinas, que evidencian procesos hidrohalomórficos (Fig.3.9, A, B, C y D). Se tiene conocimiento que en épocas muy húmedas con precipitaciones abundantes y prolongadas en el tiempo, llega a anegarse casi la totalidad del bajo. En la foto de la figura 3.9 E se observa el perfil

del bajo principal sonde pude apreciarse que las lagunas tienen profundidad de casi 10 m.



Figura 3.9. A) y B) muestran una vista general de la gran depresión con procesos hidrohalomórficos. C) Muestra un canal de drenaje, dentro del gran bajo, seco en el momento de la toma fotográfica lo que permite observar gran eflorescencia salina. D) Laguna de carácter permanente dentro de la unidad. E) Vista en planta del área con su respectivo perfil topográfico

B) Faja fluvial del Saladillo

Esta unidad geomorfológica comprende como su nombre lo indica la faja fluvial del río Saladillo. Se diferenciaron dos subunidades "Cauce actual" y "Planicie de inundación", que se describirán a continuación.

B.1) Cauce actual

Corresponde a la traza actual del río Saladillo propiamente dicha. Los materiales aflorantes descriptos son de tamaño arenas muy finas y limos (capítulo 2). El ancho del arroyo, medido en la sección de aforo (A.f.3) como se muestra en figura 10 A y B, es de 24 m, siendo variable a lo largo del canal y la profundidad promedio estimada para este tramo es de unos 2 m. En las márgenes del río, a lo largo de todo su recorrido, se observa eflorescencia salina, debido a la precipitación de la gran cantidad de sales que el agua tiene disueltas (proceso de hidrohalomorfismo). La traza del río se encuentra fuertemente controlado por la falla regional del Saladillo y presenta una geometría en planta con un patrón rectilíneo-sinuoso. Actualmente se encuentra modificado por la acción del hombre mediante obras de canalización, encontrándose así, en numerosos tramos, muy alterada su morfometría natural por rectificaciones, profundización y ensanchamientos del canal.

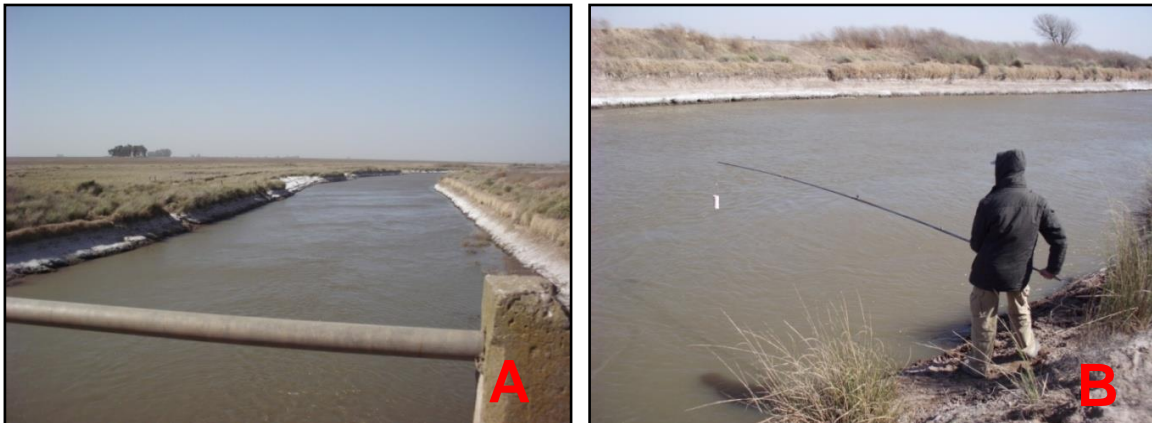


Figura 3.10.A) Vista del río Saladillo aguas abajo desde el puente sobre camino N-S de las localidades de General Baldissera-Monte Buey. B) río Saladillo vista desde margen izquierda.

B.2) Planicie de inundación

Constituye el sector NO del área de estudio, se encuentra influenciada por los eventos de crecida del río Saladillo dentro de los periodos más húmedos en momentos

que el río desborda. Se trata de una franja adyacente a todo el cauce actual del río Saladillo, con un ancho variable desde 1 Km en su parte más amplia, hasta apenas 300 m en su parte más angosta (Fig. 3.11). Los gradientes topográficos dentro de la planicie varían entre 2,5% y 0,9%, siendo éstos relativamente elevados para el área de estudio por encontrarse próximos a la depresión propia del río Saladillo. Los materiales observados, corresponden a los desbordes por parte del río en momentos de crecida, siendo sedimentos de granulometría muy fina, dominando los limos y arenas muy finas (Capítulo 2). Dentro de esta planicie de inundación, se observaron presencia de lagunas (Fig. 3.12.) alojadas en antiguos meandros del río.



Figura 3.11. Imagen donde se muestra la planicie de inundación de río Saladillo.



Figura 3.12. Laguna adyacente al río Saladillo dentro de la planicie de inundación.

B.3) Borde erosivo

Superficie inclinada de pendiente 0,60 % al sur y 0,70 % al norte, los materiales aflorantes son iguales a los descriptos para toda la unidad y no se observan signos de carcavamiento. La diferencia de cota entre ente la parte más alta del borde y la planicie de inundación es de aproximadamente 13 m (Fig. 3.13.).

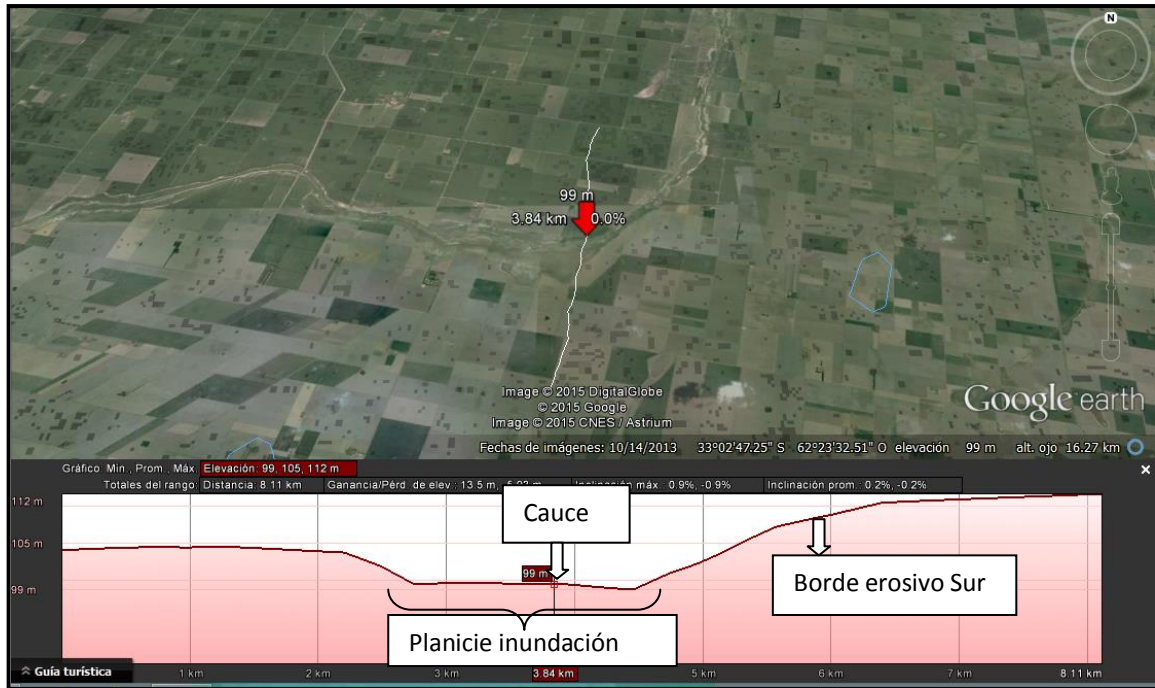


Figura 3.13. Vista en planta del borde erosivo con su perfil longitudinal

Capítulo 4

CARACTERIZACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

La provincia de Córdoba se ubica climáticamente en la zona templada de la Argentina, con características propias de una provincia mediterránea y presenta una gran uniformidad térmica y una distribución estacional de las precipitaciones en dos periodos bien marcados: uno húmedo y uno seco (Capitanelli, 1979).

Para la caracterización climática de la zona estudiada se analizaron y se trataron series de datos de las distintas variables del ciclo hidrológico: precipitaciones, temperatura y evapotranspiración. Estas variables permitieron realizar el balance hídrico local con el objetivo de poder conocer la evapotranspiración real y, de esta manera, los excesos y déficit hídricos.

4.1. TEMPERATURAS

Para determinar la temperatura media se utilizaron los datos de la serie Río Cuarto que comprende el período 1974-2012, debido a que no fue posible conseguir datos de esta variable en la zona estudiada. Esta serie fue elegida debido a que la temperatura es una variable relativamente constante y homogénea dentro de la Llanura Pampeana cordobesa (Capitanelli, 1979) y además porque se consideran datos confiables ya que proceden de la estación meteorológica perteneciente a la Universidad Nacional de Río Cuarto. Los datos tratados permitieron obtener una temperatura media anual de 16,5 °C. Se observa además, una estacionalidad bien marcada con temperaturas medias mensuales máximas preferentemente en las estaciones primavera-verano y mínimas en otoño-invierno (Fig. 4.1).

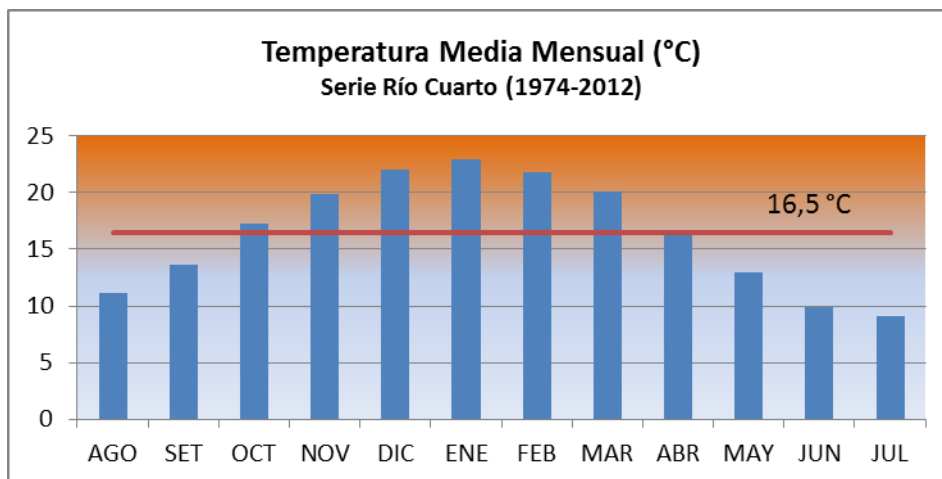


Figura 4.1. Gráfico de temperaturas medias mensuales

4.2. PRECIPITACIONES

La distribución de precipitaciones en la provincia de Córdoba se muestra en la figura 4.2. Según Capitanelli (1979), éstas provienen principalmente del anticiclón del Atlántico, correspondiendo el 70% de la precipitación media anual a los procesos frontales, es decir con la intervención de más de una masa de aire (Gorgas *et al.*, 2003).

Para evaluar las precipitaciones, se recopiló información de dos series pluviométricas: la serie Monte Maíz (1947-2010) y la serie General Baldissera (1987-2012), de las cuales se seleccionó la primera debido a que posee un registro temporal mucho más extenso y porque además los datos fueron proporcionados por la oficina del INTA de Monte Maíz, por lo que se considera más confiable.

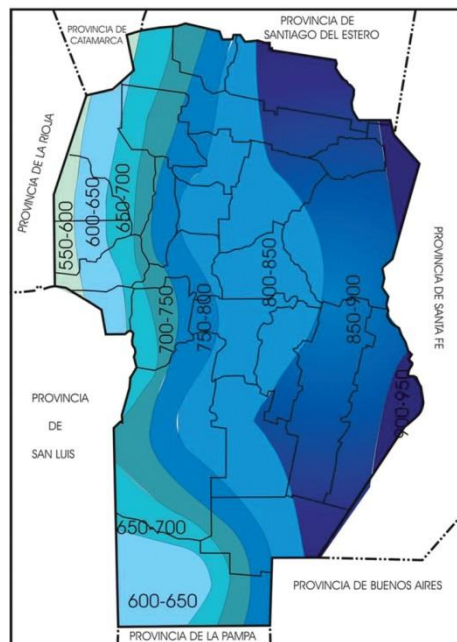


Figura 4.2. Mapa de distribución de Precipitaciones Medias Anuales (mm) para Córdoba (1961-1990). Fuente: Los Suelos de Córdoba. INTA-ACASE (2006).

Sin embargo, esta serie presenta una pequeña interrupción en los registros pluviométricos del año 1995, por lo que se advirtió la necesidad de realizar el contraste de estaciones para el mismo período (1947-2010) con otra estación tomada de antecedentes (Maldonado, 2014), la estación Watson-Ucacha, de mayor longitud (1922-2011), que si bien se encuentra fuera del área de estudio está sujeta a un mismo régimen climático-hidrológico y presenta una Pma similar a la primera. Se utilizó el método de Dobles Masas para comparar la proporcionalidad entre las mismas, el cual consiste en representar, en un sistema de coordenadas cartesianas xy, las parejas de puntos definidas por las acumulaciones sucesivas de las precipitaciones anuales para un mismo periodo (Fig. 4.3). Esto permitió observar una alta correspondencia ($r= 0,999$) y consistencia en toda la serie de datos entre las estaciones contrastadas. En función de los resultados obtenidos se decidió rellenar los meses faltantes de la serie Monte Maíz (1947-2010) correspondientes al año 1995. Para ello se utilizó el método de "regresión con una estación" basado en la correlación entre estaciones. Los meses faltantes fueron estimados por medio de la siguiente fórmula:

$$P_{Amx} = \overline{P_A}ma-z + b (P_{Bmx} - \overline{P_B}ma-z)$$

En donde:

PA_{mx} = Precipitación para la estación A (Serie Monte Maíz) para el mes m del año x.

\overline{PA}_{ma-z} = Precipitación promedio de la estación A para el mes m para el periodo a-z.

PB_{mx} = Precipitación para la estación B (serie Watson-Ucacha) para el mes m del año x.

\overline{PB}_{ma-z} = Precipitación promedio de la estación B para el mes m para el periodo a-z.

$b = \text{tg } \gamma$.

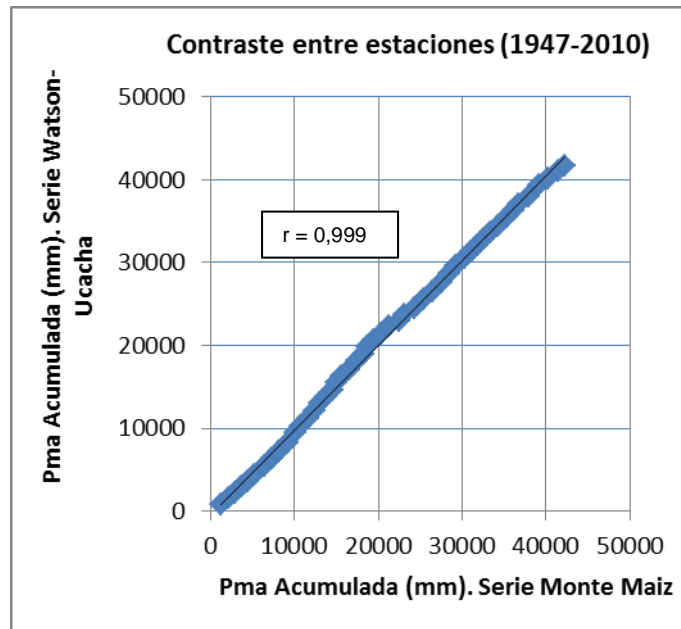


Figura 4.3. Contraste de Precipitaciones medias anuales acumuladas entre las estaciones Watson-Ucacha y Monte Maíz

En la figura 4.4 se muestran las precipitaciones medias mensuales de la serie analizada. Se observa que la mayor cantidad de precipitaciones se registran en los meses correspondientes a primavera-verano (37% y 39% respectivamente), concentrando entre ambas el 76% del total anual. Por el contrario, los menores registros pluviométricos se observan en las estaciones de otoño e invierno (15% y 9% respectivamente), concentrando ambas el 24% del total anual. Es necesario aclarar que durante el otoño se observan elevados valores de precipitaciones similares a los de la primavera, aunque con menor frecuencia, los cuales decaen bruscamente durante el invierno. Cabe mencionar que para el Sur provincial, aproximadamente el 80% de las precipitaciones ocurren en los meses de Octubre-Abril, registrándose los máximos valores en Diciembre, Enero y Marzo (Capitanelli, 1979; Blarasin, 2003; Maldonado, 2014).

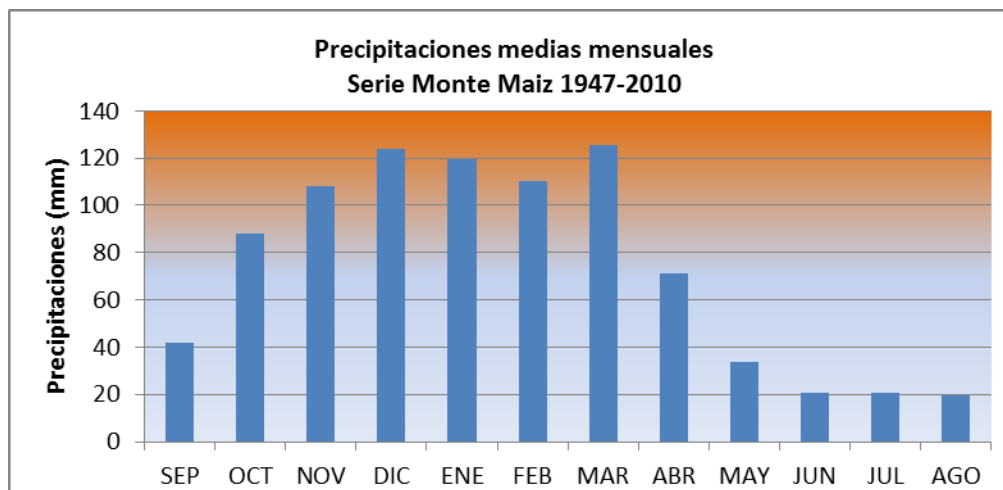


Figura 4.4. Precipitaciones medias mensuales.

En la figura 4.5 se muestra la curva cronológica anual de las precipitaciones obtenidas para el área de estudio. En dicha figura se observa una precipitación media anual (Pma) de 882 mm, con una tendencia creciente en los registros pluviométricos a partir de la década del '70. Además, muestra una alternancia de ciclos secos y húmedos, destacándose el año 1969 como el más seco con un registro de 558 mm y el año 2002 como el más húmedo con un registro de 1.318 mm. La serie comienza con dos años húmedos (1947-1948) en los que se observa una Pma de 1.246 y 913 mm, respectivamente. Posteriormente continúa un **ciclo seco** que abarca desde 1949 hasta 1952 con un promedio anual de precipitaciones de 772 mm. Entre los años 1953 y 1959 se tiene la presencia de un **ciclo húmedo** con un promedio anual de precipitaciones de 921 mm, a pesar de que 1958 fue un año muy seco (596 mm). Luego desde 1960 hasta 1970 sobreviene un marcado **ciclo seco** con un promedio anual de precipitaciones de 711 mm encontrándose este último considerablemente más bajo que la media anual de toda la serie (882 mm). Durante este extenso ciclo seco se destacan los años 1966 y 1967 porque en ellos se alcanza y supera levemente la precipitación media anual de toda la serie. Luego viene un **ciclo húmedo** comprendido entre 1972 y 1981 con una media en las precipitaciones de 977 mm, dicho valor se encuentra muy por encima de la media representando uno de los ciclos húmedos más importante de la serie, a pesar de que 1974 y 1980 han sido años secos (716 mm y 728 mm, respectivamente). Desde 1982 a 1989 se aprecia un **ciclo seco** con un promedio anual de 805 mm, a pesar de que 1987 fue un año húmedo (1010 mm). Consecuentemente viene un ciclo marcadamente **húmedo**, aunque breve, el cual se encuentra comprendido entre 1990 y 1993, siendo la media de 1.195 mm. Posteriormente, entre 1994 y 1996 le sigue un **ciclo seco** en el que se registra una Pma de 757 mm. Le sigue desde 1997 a 1999 un **ciclo húmedo** con una Pma de 1.015 mm. Desde el año 2000 en adelante se observa una sucesión de uno o

dos años secos con uno o dos años húmedos. Al respecto se citan los años 2002, 2004, 2006, 2009 y 2010, que presentan registros que superan la media anual, mientras que los años 2000, 2001, 2003, 2005, 2007 y 2008, se ubican por debajo de la Pma.

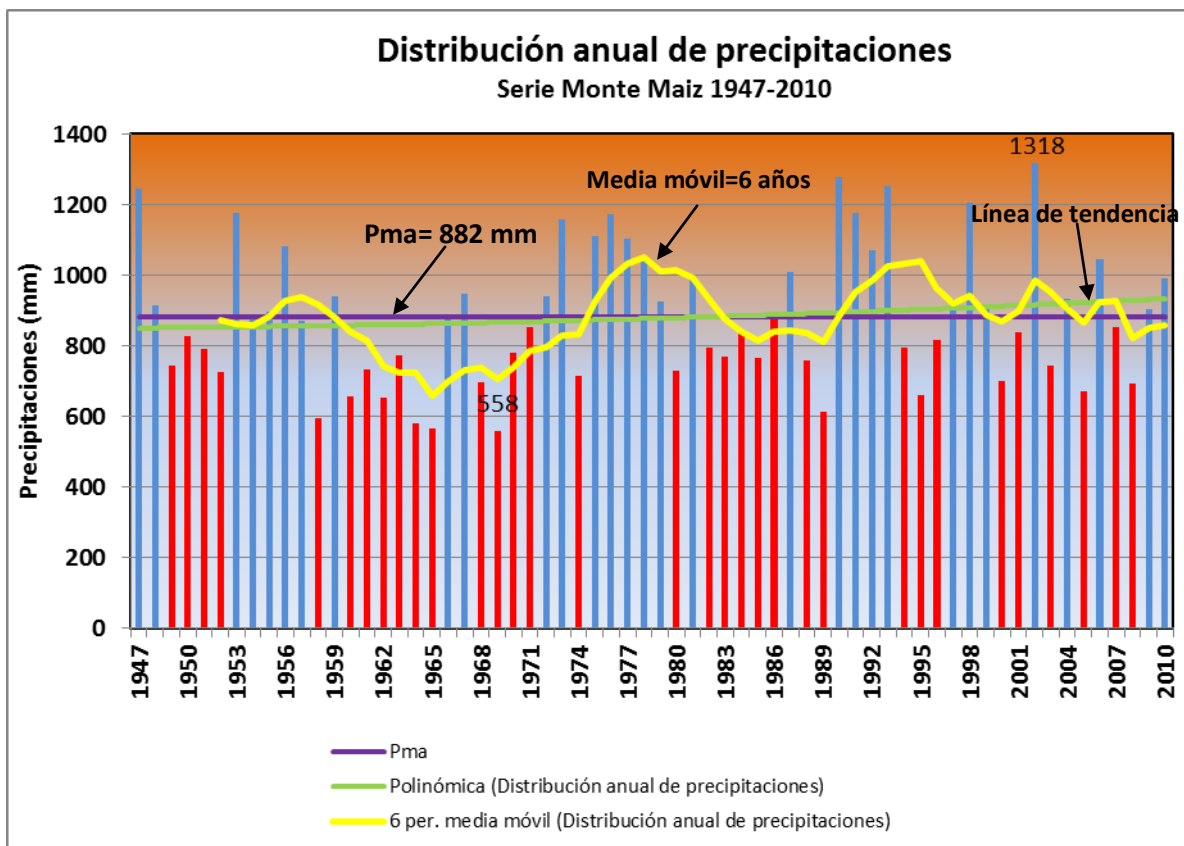


Figura 4.5. Gráfico de distribución de precipitaciones anuales.

4.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

El cálculo de la evapotranspiración potencial media mensual (ETP) se realizó utilizando los datos de temperatura de la serie Río Cuarto, según la metodología propuesta por Thornthwaite y Mather (1955). En la tabla 1 se muestran los valores obtenidos, cuya interpretación permite observar que la ETP es mayor en los meses de noviembre a marzo, cuando es máxima la radiación solar, mientras que en otoño-invierno los valores disminuyen.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Media anual
T [°C]	23	22	20	16,5	13	10	9	11,5	13,5	17,5	19,5	22	16,5
icm	10,01	9,29	8,22	6,04	4,25	2,86	2,52	3,44	4,50	6,55	7,97	9,42	
C1	3,6	3,3	2,8	2	1,3	0,9	0,7	1,1	1,4	2,2	2,7	3,3	
Días del mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
ETP s/ajustar [mm]	111,6	92,4	86,8	60	40,3	27	21,7	34,1	42	68,2	81	102,3	
C2	1,22	1,04	1,06	0,94	0,9	0,83	0,88	0,95	1	1,13	1,16	1,23	
ETP ajustada [mm]	136	96	92	56	36	22	19	32	42	77	93	125	826

Tabla 1. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial media mensual (Thorntwaite y Mather, 1955)

4.4. BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico permite conocer excesos o déficits de agua en una zona determinada. Existen, básicamente, dos tipos de balances: *el balance hídrico modular* (Thorntwaite y Matter, 1955) y *el balance hídrico seriado de paso mensual* (Ravelo y Herrero Machado, 1999). El primero de ellos, trabaja con valores de precipitación y de evapotranspiración potencial medias mensuales de una serie de años, por lo que se considera que en algunos casos puede enmascarar lo que ocurre en realidad en el suelo en esa zona no permitiendo ver qué pasa en los años muy húmedos o muy secos. En cambio al balance hídrico seriado, utiliza valores de evapotranspiración potencial media mensual y de precipitaciones totales para cada mes de cada año de la serie considerada, y del mismo modo que los balances modulares, considera la humedad antecedente del suelo, lo que permite obtener resultados más próximos a los reales. En ambos balances se consideró en el cálculo un contenido de agua útil en el suelo de 150 mm, valor utilizado para suelos francos arenosos finos, según la cátedra de Climatología y Fenología Agrícola, UNRC (Blarasin, 2003).

4.4.a. Balance Hídrico Modular

El Balance Hídrico Modular a nivel del suelo se realizó con los datos de P registrados y de ETP calculados para la zona.

En la tabla 2 se observan los valores calculados de evapotranspiración real media mensual (ETR) y, de excesos y déficits hídricos para el período 1947-2010. Se puede apreciar que los valores de ETR son coincidentes con los valores de ETP en todos los meses, lo que indica que no hay déficit hídrico en el suelo, mientras que los excesos de agua se concentran durante los meses de marzo, abril y noviembre, con un total de 56

mm. Este excedente hídrico es de suma importancia, ya que se constituye en la fuente de agua de los escurrimientos superficiales que alimentan los cuerpos de agua (lagunas, ríos y canales de drenaje) y recargan el sistema acuífero.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P [mm]	119	111	125	71	34	20	21	19	42	88	108	124	882
ETP [mm]	136	96	92	56	36	22	19	32	42	77	93	125	826
P-ETP	-17	15	33	15	-2	-2	2	-13	0	11	15	-1	
Sum -(P-ETP)	-18	0	0	0	-2	-4	-2	-15	0	0	0	-1	
Reserva agua útil en el suelo [mm]	132	147	150	150	148	146	148	135	135	146	150	149	
Variación de la reserva [mm]	-17	15	3	0	-2	-2	2	-13	0	11	4	-1	
Exceso de agua [mm]	0	0	30	15	0	0	0	0	0	0	11	0	56
Déficit [mm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETR [mm]	136	96	92	56	36	22	19	32	42	77	93	125	826

Tabla 2. Balance Hídrico Modular (Thorntwaite y Mather, 1955). Zona de General Baldissera-Monte Maíz. Período 1947-2010.

4.4.b. Balance Hídrico Seriado

Este balance a diferencia del anterior, permite conocer mejor la distribución de los déficit y excesos hídricos a lo largo de cada mes de cada año de toda la serie tratada. Para poder realizar el balance seriado, el cual considera la humedad del suelo del mes anterior, se trabajó con el programa informático PDIWIN 1.0 (Ravelo y Herrero Machado, 1999).

Aplicado este balance se obtuvieron los gráficos de P-ETP-ETR (Fig. 4.6. a, b y c) y el de excesos hídricos (Fig. 4.7), correspondiente a cada año de la serie analizada. En el anexo I se muestran las tablas con los datos totales obtenidos del balance seriado a partir del programa PDWIN 1.0. En la tabla 3, se muestra los distintos ciclos de la serie con los correspondientes excesos hídricos medios y totales. Los gráficos muestran que los mayores registros de excedentes de agua coinciden con los ciclos húmedos antes mencionados o con años húmedos durante algunos ciclos secos. De este modo, los máximos excesos alcanzados fueron de 211, 298 y 195 mm para los años 1953, 1992 y 1998 respectivamente, lo que coincide con los años o ciclos de años húmedos identificados con el análisis de las precipitaciones. También se destaca, dentro del periodo seco (1960-1970), el año 1967 con un valor de exceso importante de 157 mm (Fig. 4.7).

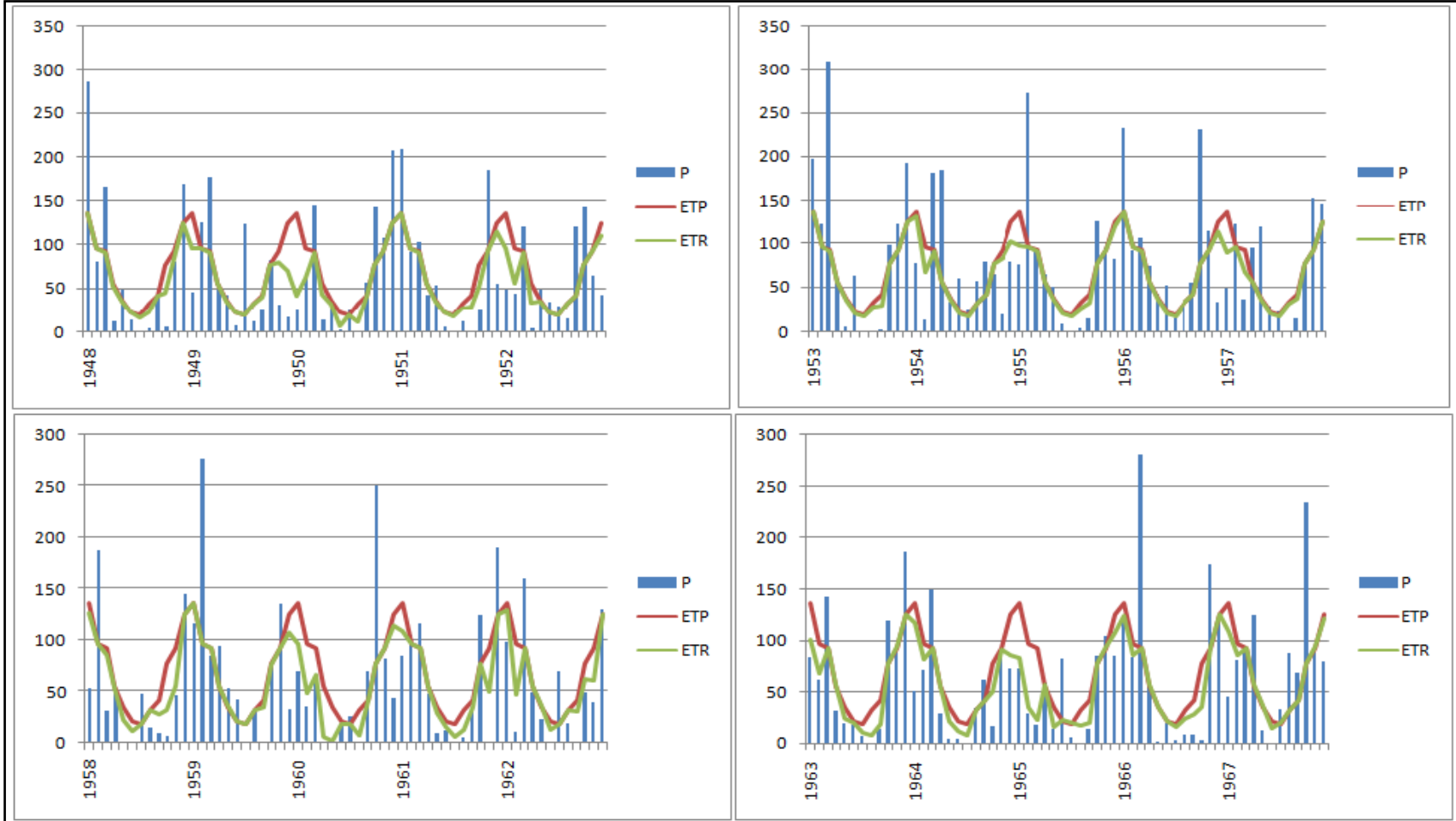


Figura 4.6.a. Gráficos P-ETP-ETR. Balance Hídrico Seriado para la serie Monte Maíz. 1947-2010.

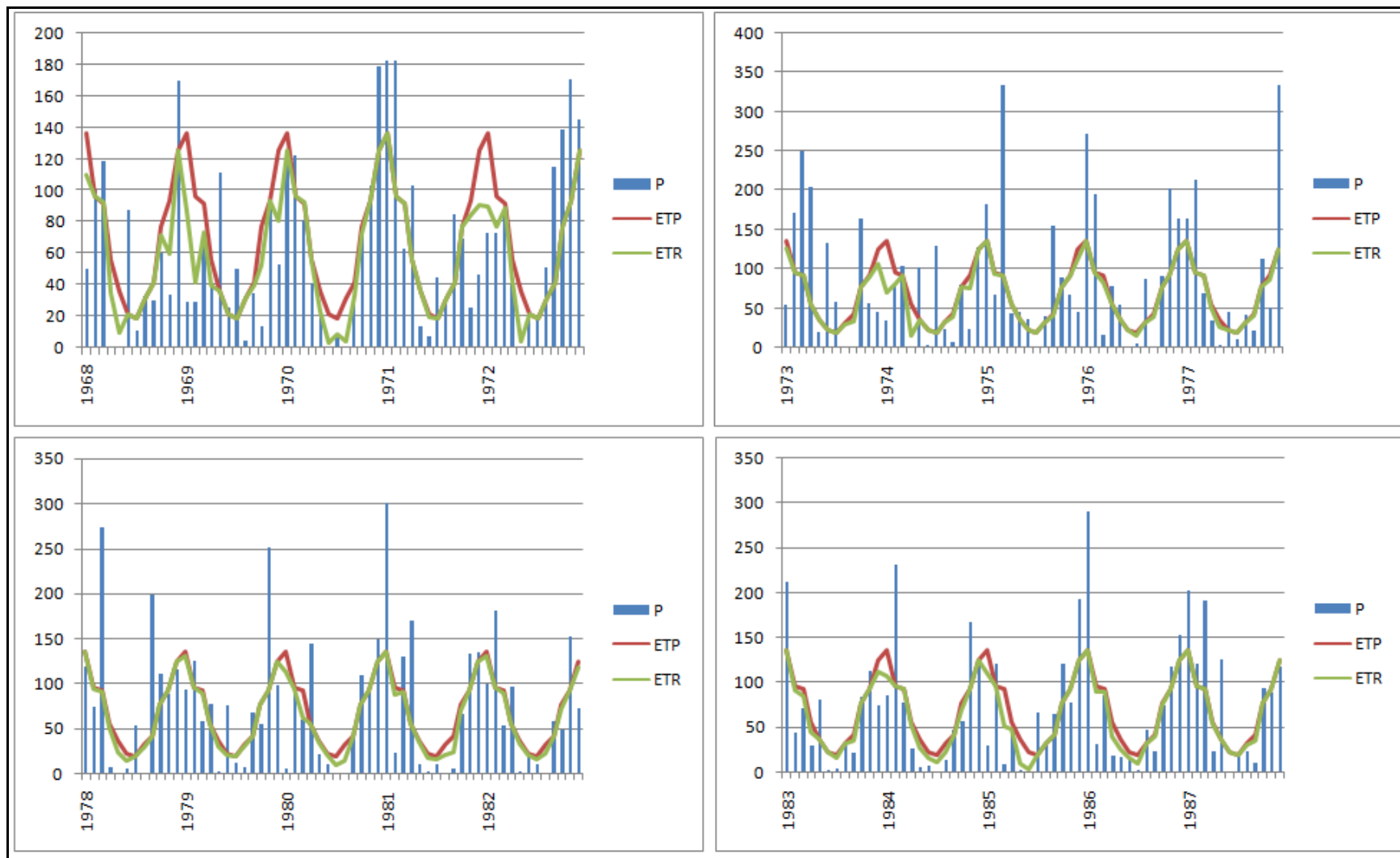


Figura 4.6.b. Gráficos P-ETP-ETR. Balance Hídrico Seriado para la serie Monte Maíz. 1947-2010

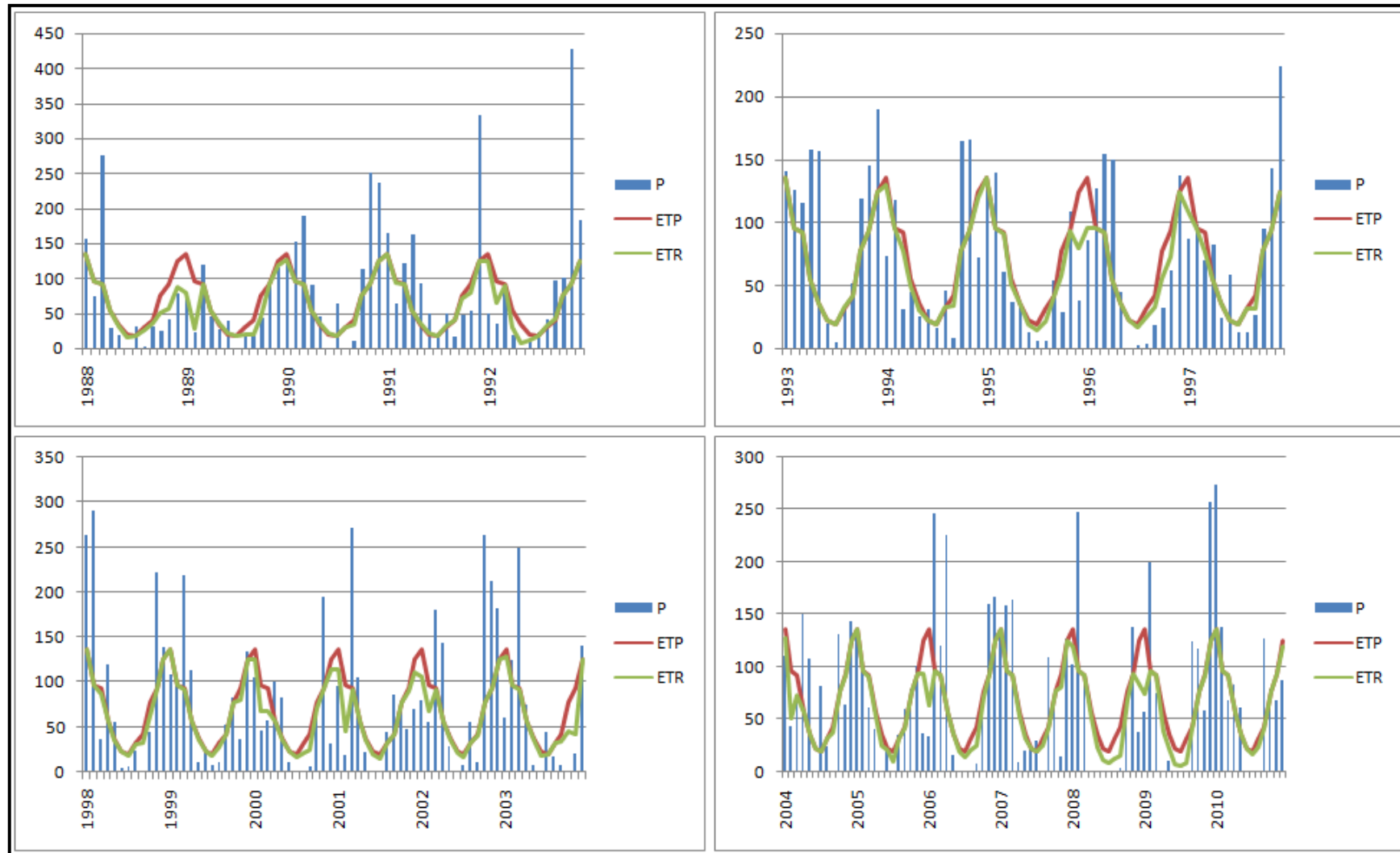


Figura 4.6.c. Gráficos P-ETP-ETR. Balance Hídrico Seriado para la serie Monte Maíz. 1947-2010.

Respecto a los mayores déficit registrados corresponden: 94 mm para el año 1950, (ciclo seco 1949-1952); 70 mm para 1965 (uno de los años más secos del ciclo seco 1960-1970); 62 mm de déficit para el año 1974 (el año identificado como el más seco dentro del ciclo húmedo 1971-1979); 67 mm para 1989 (el año más seco del ciclo seco 1982 -1989); 46 mm para el año 1995 (ciclo seco 1994-1997); y valores promedio de 51,5 mm para los años secos del período 2000-2010 y del orden de 60 mm para los años húmedos de este mismo período.

Se pueden observar además excesos y déficit hídricos tanto en invierno como en verano, siendo los excesos más frecuentes en épocas de verano, mientras que los déficit predominan en invierno. Sin embargo, algunos años presentan excesos hídricos también durante el invierno como es el caso de los años 1973 y 1974, con valores de 135 mm y 20 mm respectivamente, 1990 con un exceso de 22 mm, 1991 con 47 mm y 2004 con 41 mm. Por otro lado, se han registrados numerosos déficit hídricos en meses de verano, tal es el caso de los años hidrológicos 1949-1950 (182 mm), 1959-1960 (131 mm), 1964-1965 (255 mm), 1971-1972 (103 mm), 1988-1989 (160 mm) y 2005-2006 (103 mm).

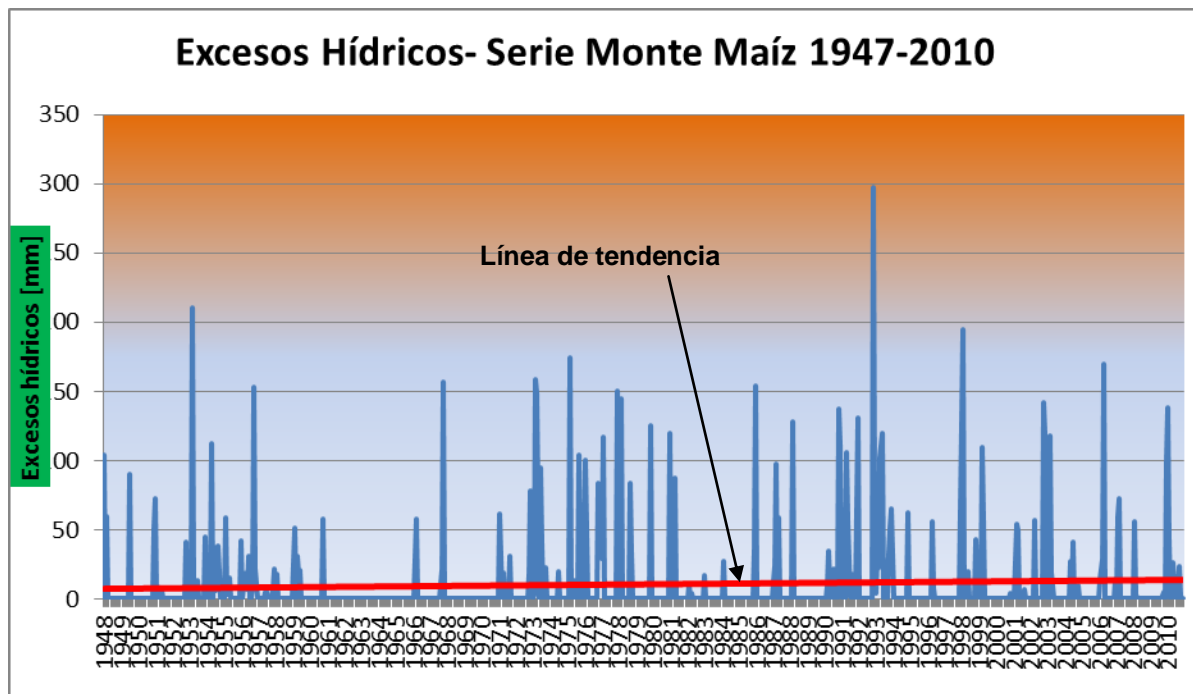


Figura. 4.7. Gráfico de excesos hídricos de la serie Monte Maíz 1947-2010.

Excesos Hídricos en los ciclos húmedos [mm]		Excesos Hídricos en los ciclos secos [mm]	
1953-1959		1949-1952	
Totales	1049,5	Totales	270,3
Promedio	149,9	Promedio	67,6
1971-1981		1960-1970	
Totales	2182	Totales	294,8
Promedio	198,4	Promedio	26,8
1990-1993		1982-1989	
Totales	1476	Totales	570,8
Promedio	369	Promedio	71,4
1997-1999		1994-1996	
Totales	642	Totales	126,4
Promedio	214	Promedio	41,1

Tabla 3. Excesos hídricos en diferentes ciclos húmedos y secos.
 Serie Monte Maíz 1947-2010.

Excesos entre 2000-2010		Déficit entre 2000-2010	
Totales	1466	Totales	1545
Promedio	133,3	Promedio	140,5

Tabla 4. Muestra los excesos y los déficit hídricos a partir del año 2000. Serie Monte Maíz 1947-2010.

4.5. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

De acuerdo a los valores medios anuales de Precipitaciones (P), Evapotranspiración Potencial (ETP) y Evapotranspiración Real (ETR), se determinaron diferentes índices para la clasificación climática según Thornthwaite (1948). A continuación se muestra un detalle de los cálculos y resultados obtenidos:

$$P= 882 \text{ mm}; \text{ETP}= 826 \text{ mm}; \text{ETR}= 826 \text{ mm};$$

$$\text{Índice de eficiencia térmica} = \text{ETP} = 826 \text{ mm}$$

$$\text{Índice Hídrico} = \frac{100 \times \text{Exceso de agua (P-ETR)} - 60 \times \text{Deficiencia de agua (ETP-ETR)}}{\text{Necesidades de agua (ETP)}}$$

$$\text{Índice Hídrico} = 100 \times (882 - 826) - 60 \times (826 - 826) / 826 = 6,78$$

Según el índice hídrico y el índice de eficiencia térmica, el clima de la zona resultó ser de tipo Mesotermal subhúmedo-húmedo, cuyos resultados se corresponden con la clasificación climática mostrada por Maldonado (2014) para el Sur de Córdoba (Fig. 4.8).

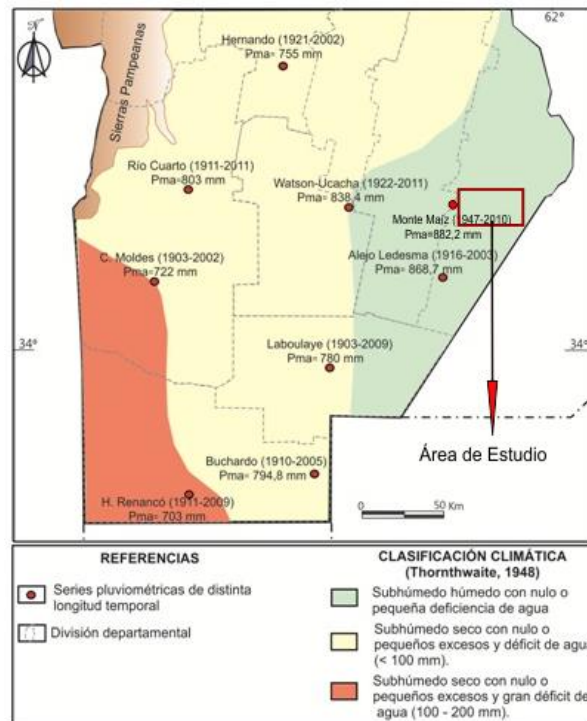


Figura 4.8. Clasificación climática del Sur de Córdoba (Tomado de Maldonado, 2014)

Capítulo 5

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

5.1. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL REGIONAL

Al Sur de la provincia de Córdoba se reconocen (Degiovanni y Blarasin, 2005), en base a los aspectos geológicos-geomorfológicos, dos grandes ambientes hidrológicos interconectados: a) el correspondiente a la región serrana, planicies onduladas e intermedias caracterizadas por la redes de drenaje organizadas, de carácter permanente y nivel freático medianamente profundo y b) el asociado a áreas planas o deprimidas, donde el drenaje es anárquico, y el nivel freático se encuentra a poca profundidad o aflorando, con cuerpos lagunares o de bañados. Una característica importante en el funcionamiento hidrológico de área, es el marcado carácter endorreico que posee la región, a pesar de que el hombre ha impuesto un carácter exorreico desde hace varias décadas.

Degiovanni (2005 b) demarca seis grandes cuencas (Fig. 5.1) teniendo en cuenta las principales depresiones que actúan como colectores (aun cuando estén integradas artificialmente). Las mismas son:

- La cuenca de la Depresión del Saladillo.
- La cuenca de la Depresión del Tigre Muerto.
- La Depresión Oriental Principal (Curpaligüe- La Chanchera).
- La cuenca del río Quinto y depresiones asociadas.
- Las cuencas aisladas de la planicie elevada Oriental.
- El sistema de drenaje del Sudoeste provincial.

El área de estudio de la presente tesis se sitúa dentro de las "cuencas aisladas de la Planicie Elevada Oriental", la cual se encuentra ubicada en el sector Este de la provincia, en su límite con Santa Fe y se caracteriza por ser un ambiente en general imperfectamente drenado, donde los escurrimientos superficiales muestran cierta anarquía y desorganización, vinculada fundamentalmente a las características litológicas, geomorfológicas y estructurales del sector.

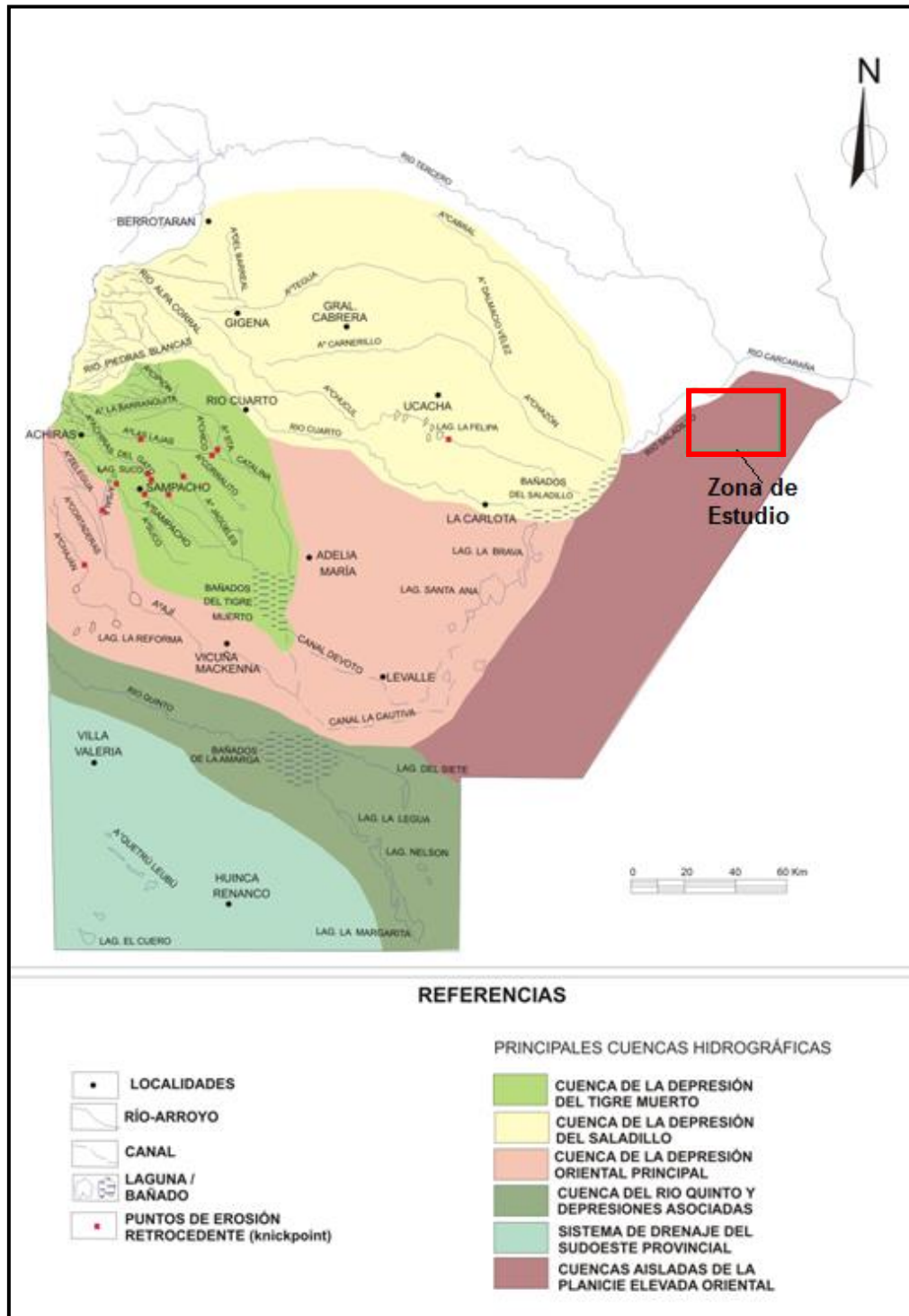


Figura 5.1. Mapa hidrográfico del Sur de la Provincia de Córdoba.
 Extraído de Degiovanni (2005 b)

5.2. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL LOCAL

5.2.1. Hidrodinámica superficial

Con el objetivo de describir el funcionamiento actual del sistema hidrológico superficial del área de estudio, se trabajó sobre el mapa de escurrimientos elaborado previamente (capítulo 2), realizado en base a la topografía del área y en el que se definieron todos los cuerpos de agua permanente (lagunas, ríos, arroyos) y los bajos naturales que actúan como lineamientos de escurrimientos preferenciales de carácter efímeros, es decir, aquellos que sólo conducen agua durante las tormentas, o aquellos bajos que se anegan en las épocas húmedas. En este caso, se incluyó en este mapa las modificaciones antrópicas ya que todos los cuerpos de agua (permanentes), incluido el río Saladillo, se encuentran fuertemente influenciados por la construcción de sistemas de canalizaciones (Fig. 5.2). Otra fuerte intervención antrópica sobre la red de drenaje del área está dada por la existencia de muchos caminos que funcionan como colectores de agua en épocas de abundantes precipitaciones dando lugar a erosión hídrica o anegamiento de los mismos (Fig. 5.3 A y B). Al respecto, es de destacar que en numerosos sectores estos caminos colectores se encuentran sobre elevados con zanjas de drenaje en sus costados para que circule el agua con el fin de evitar el corte de los mismos (Fig. 5.4). En este mapa también se redefinieron las divisorias de aguas principales y secundarias en función de la intervención antrópica definida.

Los escurrimientos efímeros, en general, presentan un sentido de escurrimientos resultante hacia el NNE. En el sector NO del área, los escurrimientos se encuentran controlados por la falla regional del Saladillo, donde se observan las pendientes más pronunciadas del área. La organización de la red de drenaje consiste en numerosos lineamientos de escurrimientos cortos que confluyen en sistemas mayores de dirección NE-SO, las denominadas "cañadas" por Pasotti y Canoba (1979) (ver capítulo geomorfológico), que a su vez, confluyen en grandes bajos donde forman lagunas de carácter permanente, dado que se suma en estos sitios, el afloramiento del agua subterránea, como se verá en el capítulo hidrogeológico. Los escurrimientos menores presentan direcciones variadas. La red de escurrimientos, para el caso de las cañadas, muestra un fuerte control estructural dado especialmente por las fallas de dirección NE-SO. Cabe destacar que como los escurrimientos son, en su mayoría, de primer y segundo orden, el desarrollo de la red de drenaje es pobre. Respecto a la morfología que presenta la red, se observa un patrón dendrítico-subdendrítico, en la mayoría de los casos, y radial centrípeta asociado a las lagunas permanentes.

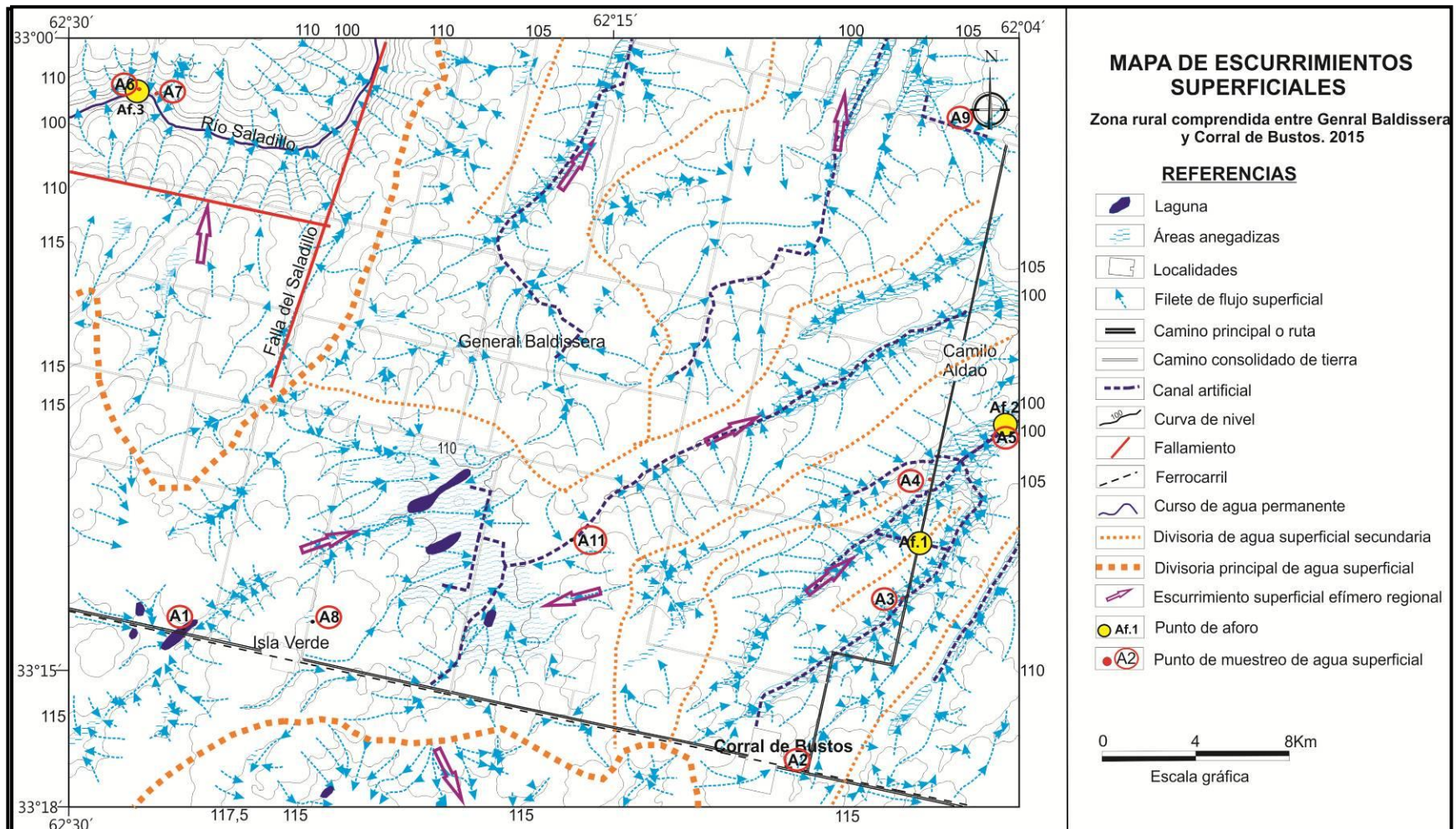


Figura 5.2. Mapa de escurrimientos superficiales con intervenciones antrópicas para la zona de Gral. Baldissera-Corral de Bustos



Figura 5.3. A) Camino profundizado por erosión hídrica. B) Camino cortado por anegamiento



Figura 5.4. Se observan caminos alteados para evitar el corte de los mismos por anegamiento.

5.2.1. a. Río Saladillo

Es el curso de agua más importante que atraviesa la zona de estudio. Es un río fuertemente controlado por la falla regional del Saladillo e intervenido antrópicamente. Nace en los bañados del Saladillo a causa de drenaje de los mismos por sistema de canalizaciones y se conduce con rumbo general SO-NE, pasando por el área de estudio, hasta desembocar en el río Carcarañá a la altura entre Monte Buey e Inriville (Fig. 5.5). Desde sus nacientes hasta su desembocadura, el río tiene una longitud aproximada de unos 9 Km. El río es de carácter permanente ya que recibe un constante aporte del agua subterránea (como se verá más adelante) y del drenaje artificial de lagunas y bañados, y conduce una cantidad considerable de material en suspensión.

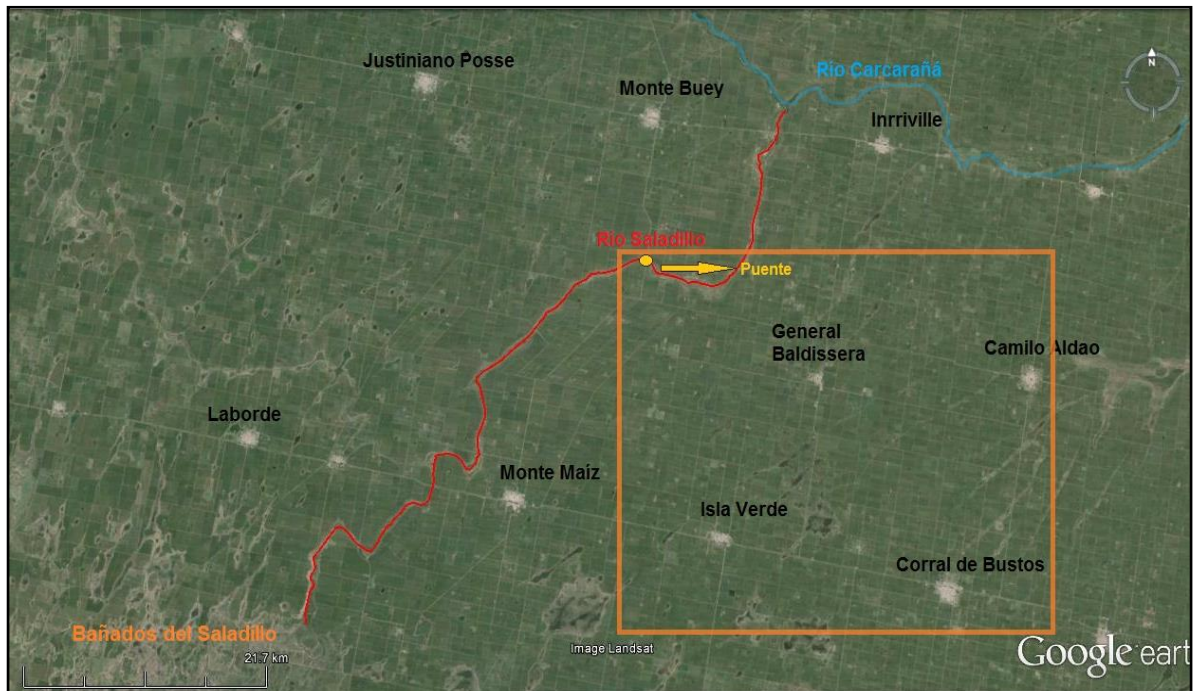


Figura 5.5. Imagen satelital que muestra el río Saladillo desde su nacimiento hasta su desembocadura, pasando por el área de estudio.

Según la Estadística Hidrológica de la República Argentina (<http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/sitioweb/frmDatos.aspx>), el caudal medio anual para el período 1939-1948, en la sección de aforo denominado "Saladillo-Dique aforador" (puente sobre ruta nacional N° 6), es de 4,70 m³/s, el mínimo de 0,47 m³/s y el máximo de 10,50 m³/s (Tabla 5.1).

	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Q medio anual
PROM	4.43	1.92	2.89	7.14	3.68	5.87	3.80	5.13	5.93	5.00	2.89	4.45	4,70
MAX	13.8	4.53	13.4	31.8	10.8	23.7	10.8	18.4	18.0	15.0	7.51	23.3	10.50
MIN	0.16	0.29	0.41	0.18	0.12	0.05	0.04	0.07	0.12	0.13	0.31	0.47	0,47

Tabla 5.1. Promedios de caudales medios mensuales para el río Saladillo en m³/s. Sección de aforo "Saladillo-Dique aforador" (Latitud: 32°56'00", Longitud: 62°19'00"). Serie de 9 años (1937-1948). Estadística Hidrológica de la República Argentina (<http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/sitioweb/frmDatos.aspx>)

Para fechas más recientes se cuenta con mediciones puntuales de caudal realizadas entre diciembre de 2012 y marzo 2015, en la misma sección de aforo sobre el puente de la ruta nacional N° 6, por el grupo de hidrología superficial UNC-Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba. Para estas fechas se observa un aumento de los caudales registrados respecto al período 1937-1948, con valores medios del orden

de 51 m³/s, con mínimo de 9,2 m³/s (setiembre de 2013) y máximo de 266,5 m³/s (Tabla 5.2 y Fig. 5.6), para la crecida extraordinaria de marzo de 2015 (Lozada *et al.*, 2015).

Sección Aforo	Fecha	Ancho (m)	Prof. Med. (m)	Vel. Med. (m/s)	Caudal (m ³ /s)
R. Cuarto - La Carlota	17-09-14	24,80	0,37	0,52	4,73
Canal Devoto	29-05-14	23,86	0,66	0,45	7,05
Canal Devoto	14-11-14	18,30	0,54	0,57	5,62
Río Saladillo - Confluencia	17-12-2012	34,95	2,56	1,01	90,60
Río Saladillo - Confluencia	14-05-2013	33,52	1,55	0,34	17,66
Río Saladillo - P. Ruta 6	11-06-2013	23,01	0,98	0,66	14,84
Río Saladillo - P. Ruta 6	10-09-2013	21,71	0,86	0,49	9,21
Río Saladillo - P. Ruta 6	30-09-2013	22,70	0,94	0,65	13,75
Río Saladillo - P. Ruta 6	19-11-2013	22,40	1,06	0,62	14,75
Río Saladillo - P. Ruta 6	08-04-2014	27,52	2,70	1,208	89,81
Río Saladillo - P. Ruta 6	10-06-2014	25,65	1,63	0,918	38,48
Río Saladillo - P. Ruta 6	09-09-2014	22,92	1,27	0,64	18,70
Río Saladillo - P. Ruta 6	16-10-2014	23,67	1,46	0,739	25,53
Río Saladillo - P. Ruta 6	18-11-2014	22,49	1,13	0,501	12,75
Río Saladillo - P. Ruta 6	09-03-2015	32,47	5,60	1,42	266,47



Figura 5.6. Sección de medición en el Río Saladillo sobre el puente de ruta provincial 6. Se observa la altura de agua alcanzada por el río durante la crecida de marzo de 2015 (Extraído de Lozada *et al.* 2015)

Tabla 5.2. Parámetros hidráulicos de las diferentes secciones de medición del Río Saladillo. (Extraído de Lozada *et al.* 2015)

En oportunidad de la presente Tesis de Licenciatura y de manera de poder estimar el caudal líquido del río en su paso por el área de estudio, durante el relevamiento (agosto de 2013) se realizó un aforo en la sección del puente del camino rural (Af3), por el método del flotador, lo que permitió estimar un caudal aproximado de 37 m³/s, lo que resultó acorde con los caudales medidos para estas fechas.

Se asume que los elevados valores de caudales que registra el río actualmente se deben a que recibe mayores cantidades de agua debido a las múltiples canalizaciones que se han realizado con el fin de drenar los bañados del Saladillo con fines de secar las tierras para los cultivos, principalmente de soja.

5.2.1. b. Canales de drenaje

Como se mencionó anteriormente, el drenaje natural del área de estudio se encuentra influenciado por la construcción de múltiples canales con el objetivo de drenar áreas que se anegan por influencia de la freática y por acumulación de agua de lluvia. El rumbo de la mayoría de los canales principales es NE-SO y N-S. El ancho promedio de los canales oscila entre 2-5 metros los más angostos y entre 5-10 metros los más anchos. La profundidad promedio se estima de 1,5 metros (Fig. 5.7).

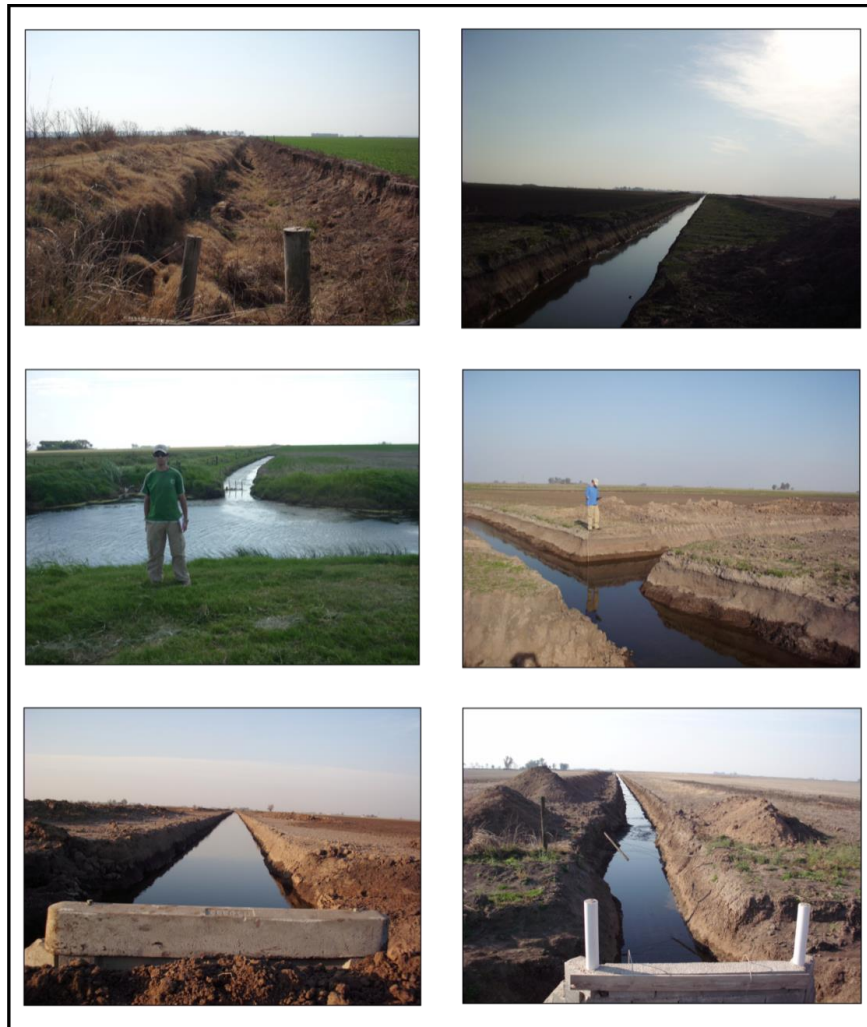


Figura 5.7. Canales de drenaje dentro del área de estudio.

Los caudales medidos en distintas secciones de aforo para estos canales de drenaje resultaron en el orden de entre $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ (Fig.5.8 A y B) y $0,69 \text{ m}^3/\text{s}$.

La construcción de estos sistemas de canales, modifica la red de drenaje natural del área provocando que áreas de drenaje endorreico, en la actualidad sean exorreicas, conduciendo sus aguas hacia el E del área de estudio hasta desembocar en la Cañada Santa Lucía (fuera de la zona estudiada). Esto se puede observar comparando el mapa

de escurrimientos superficiales con intervención antrópica (Fig. 5.2) con el mapa de escurrimientos naturales que se mostró en la figura 2.18 del Capítulo 2.



Figura 5.8. Canal y su sección de aforo en alcantarilla al costado de la ruta 12.

5.2.1.c. Lagunas

Dentro del área de estudio se observa la presencia de un gran número de lagunas de diferentes regímenes hidrológicos y de múltiples tamaños y formas.

En cuanto al régimen hidrológico, se tienen lagunas permanentes, temporarias y efímeras. Las lagunas permanentes, contienen agua durante todo el año (Fig. 5.9 a y b), debido a que reciben aporte por parte del agua subterránea ya que el nivel freático intersecta a la superficie del terreno en estas zonas (como se tratará en el capítulo hidrogeológico). Las lagunas de carácter efímero (Fig.5.9. c) son las de menor superficie y se encuentran vinculadas a acumulación de agua de lluvia en sectores topográficamente deprimidos durante las tormentas, pudiendo permanecer unos pocos días luego de finalizadas las lluvias dado el sustrato impermeable que las contiene. Las lagunas de carácter temporario (Fig. 5.9 d) corresponden a aquellas que contienen agua durante un cierto periodo de tiempo asociado a lluvias en periodos húmedos y a un ascenso temporal del nivel freático local. En estos casos, el agua de lluvia, asociada a estaciones de primavera y verano, queda retenida durante mucho tiempo debido a la presencia de materiales muy finos en el terreno. Cuando las condiciones se vuelven más áridas, en los ciclos secos, el nivel freático desciende, el agua evapora y estas lagunas se secan. Es importante destacar que muchas de las lagunas (sean éstas permanentes o temporarias) que actualmente se encuentran sin agua es debido al vaciado que se les

está realizando en la zona mediante la construcción de los canales de drenaje, ya que en condiciones naturales, la mayoría de ellas se encontrarían con agua

En cuanto a las formas, las que más dominan son aquellas alargadas de dirección NE-SO, alojadas en los bajos de origen tectónico, denominados cañadas (Pasotti, 1974), las cuales se ubican dentro de la unidad geomorfológica "Planicie con cañadas típicas" (Capítulo 4). En este caso se trata en general de lagunas temporarias o efímeras, siendo escasas las permanentes. Dentro de la unidad "Planicie con cañadas disipadas", se observan lagunas (permanentes, temporarias y efímeras) asociadas a pequeños bajos,

muchos de ellos de origen tectónico y otros, a pequeñas depresiones

formadas por paleocauces.

Finalmente, las lagunas de mayor superficie y principalmente de régimen permanente se ubican dentro de la unidad "Bajos y

lagunas con hidrohalomorfismo".



Figura 5.9. A) y B) Lagunas de carácter permanente. C) Laguna de régimen efímero formada en época de lluvia y D) Laguna de régimen temporario, sin agua en el período seco y con precipitación de sales

5.2.2. Calidad del agua superficial del área

Con el objetivo de realizar un análisis de relaciones entre el sistema hidrológico superficial y el subterráneo, se tomaron diferentes muestras de agua del río Saladillo, de lagunas y de canales.

Para clasificar las aguas de acuerdo a su contenido salino se utilizó el criterio de Custodio y Llamas (1983), el cual establece: aguas dulces (0 a 2 g/L), aguas salobres (2 a 5 g/L), aguas saladas (5 a 40 g/L) y aguas salmueras (> a 40 g/L). Según este criterio, las aguas superficiales se agrupan en: 50 % aguas dulces, 30% aguas salobres y el 20 % restante aguas saladas.

Para la clasificación geoquímica del agua se utilizó el diagrama de Piper Hill (Fig. 5.10), en el cual se representan los iones mayoritarios en meq/L expresados porcentualmente. Para una mejor clasificación se tuvo en cuenta el criterio de Custodio (1993) que clasifica el agua según los iones dominantes donde se nomina al grupo por el anión o el catión que sobrepasa el 50% de sus sumas respectivas, y cuando no supera este porcentaje se nombran los dos más abundantes. Además, las clasificaciones geoquímicas realizadas en las muestras de aguas superficiales se encuentran plasmadas en el mapa de diagramas de Stiff que se presenta en el capítulo 8, junto con los resultados de las muestras de aguas subterráneas.

5.2.2. a. Río Saladillo: La muestra extraída del río (muestra A6) indica una conductividad eléctrica de 5.895 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dicho valor denota un elevado contenido de sales disueltas totales, del orden de 4.127 mg/L, siendo por lo tanto un **agua salobre**.

Al observar los resultados de los análisis físico-químico de la muestra de este cuerpo de agua (Tabla 5.3), se destaca que el anión dominante es el sulfato que alcanza tenores de hasta 1.692 mg/L seguido del cloruro con un tenores de hasta 951 mg/L y el catión dominante es sodio, con tenores de hasta 1.456 mg/L. Teniendo en cuenta el criterio anteriormente citado, la muestra se la clasifica como **sulfatada - clorurada sódica**.

Respecto al grado de evolución ha de considerarse que el río Saladillo se encuentra fuertemente influenciado por la posición de cuenca que ocupa, área de descarga regional tanto superficial, ya que recibe aguas del drenaje de los Bañados del Saladillo y de la laguna La Brava, al Suroeste del área, y por lo tanto aguas de gran salinidad debido principalmente a los procesos de evaporación que sufren en estos ambientes de humedales, como subterránea, presentando, por lo tanto, niveles de salinidad elevados y aguas geoquímicamente evolucionadas de tipo sulfatada-clorurada sódica. Se suma además, el hecho de que este río es receptor de agua de múltiples lagunas de la propia área de estudio como resultado de las canalizaciones que se han realizado en la zona, muchas de las cuales, principalmente las de carácter permanente, de aguas muy saladas.

Se destaca además que se trata del cuerpo de agua superficial con mayor contenido en arsénico y fluoruros (85 $\mu\text{g}/\text{L}$ y 1,80 mg/L, respectivamente) lo que denota también el aporte subterráneo (como se verá más adelante). El contenido en NO_3^- determinado en el agua del río (15 mg/L) sugiere además, la afectación que sufren estas aguas debido a procesos de contaminación.

Muestra	pH	CE [μ S/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]	As [μ g/L]	F ⁻ [mg/L]	NO ₃ ⁻ [mg/L]
A1 (laguna)	7,43	516	361	0	262,5	57,6	22,9	55,1	49,7	36,0	12,7	2	0,20	0
A2 (laguna)	6,83	358	251	0	165,0	21,2	20,0	7,1	37,2	38,4	7,8	1	0,10	0
A3 osc (laguna)	7,54	2270	1589	0	587,5	373,8	262,9	386,8	50,1	74,4	31,7	18	0,50	0
A3 I (laguna)	7,98	1350	945	0	965,0	69,8	42,9	265,4	51,0	87,2	27,8	3	0,40	10
A4 (canal)	7,13	3460	2422	0	410,0	880,0	580,0	404,5	70,9	260,0	95,1	30	0,30	2
A5 (canal)	8,34	6300	4410	2,4	550,0	1963,7	1005,7	1445,9	75,6	200,0	80,0	23	0,40	0
A6 (río Saladillo)	8,98	5896	4127	41,2	422,5	1691,5	951,4	1456,0	33,7	68,0	65,9	85	1,80	15
A7 (laguna)	8,82	12540	8778	7,3	1465,0	2514,4	1828,6	3581,4	51,4	50,4	72,2	30	1,50	36
A8 (laguna)	7,80	7248	5074	0	678,8	1918,6	1157,1	1856,4	50,6	36,8	70,5	30	1,00	22
A9 (canal)	7,73	484	339	0	266,3	47,9	25,7	31,3	23,3	37,6	22,0	0	0,14	1
A11 (canal)	8,23	1729	1210	0	232,5	403,6	228,6	315,5	37,8	48,8	18,1	25	0,20	0

Tabla 5.3. Planilla resumen análisis físico-químicos de aguas superficiales.

5.2.2. b. Canales de drenaje: Las muestras se tomaron de canales de drenaje en distintos puntos de la zona de estudio.

De las cuatro muestras analizadas (Tabla 5.3 y Fig. 5.2), se observa una conductividad eléctrica que fluctúa entre 484 μ S/cm y 6.300 μ S/cm con un valor promedio de 2.848 μ S/cm. Teniendo en cuenta los sales disueltas totales (SDT), dos de las cuatro muestras, es decir el 50 % se las clasifica como aguas dulces, por presentar entre 0-2 g/L de sales. Mientras que las otras dos muestras, el otro 50 % restante, presentan un contenido de sales entre 2-5 g/L, por lo que se clasifican como aguas salobres.

Se destaca que el anión dominante entre todas estas muestras es el sulfato, siendo el valor medio de 733,8 mg/L, el valor máximo de 1.963,6 mg/L y el valor mínimo de 48 mg/L. Para los cationes se observa que el sodio es el más abundante con un valor medio de 516,8 mg/L, un valor máximo de 1.445,9 mg/L y un valor mínimo de 31,3 mg/L. Desde el punto de vista geoquímico las muestras se clasifican en (Fig. 5.10): bicarbonatada-sulfatada sódica (A3), Sulfatada-clorurada sódica-cálcica (A4), sulfatada sódica (A5), bicarbonatada cálcica-magnésica (A9) y sulfatada-clorurada sódica (A11).

El agua colectada por los canales de drenaje tiene diferentes orígenes, ya que drenan aguas tanto procedentes de lagunas de carácter permanente como efímero. El canal que conduce las aguas más dulces (A9), sin arsénico y con muy bajos fluoruros, denota el aporte casi exclusivo de aguas de precipitaciones acumuladas en lagunas efímeras. Los demás canales (dulce (A11) y salobres (A4 y A5)) que conducen aguas con

bajos contenidos del orden de 25 µg/L de arsénico y 0,3 mg/L de fluoruros, sugieren mezclas de aguas, en donde en los más salados predomina el aporte freático.

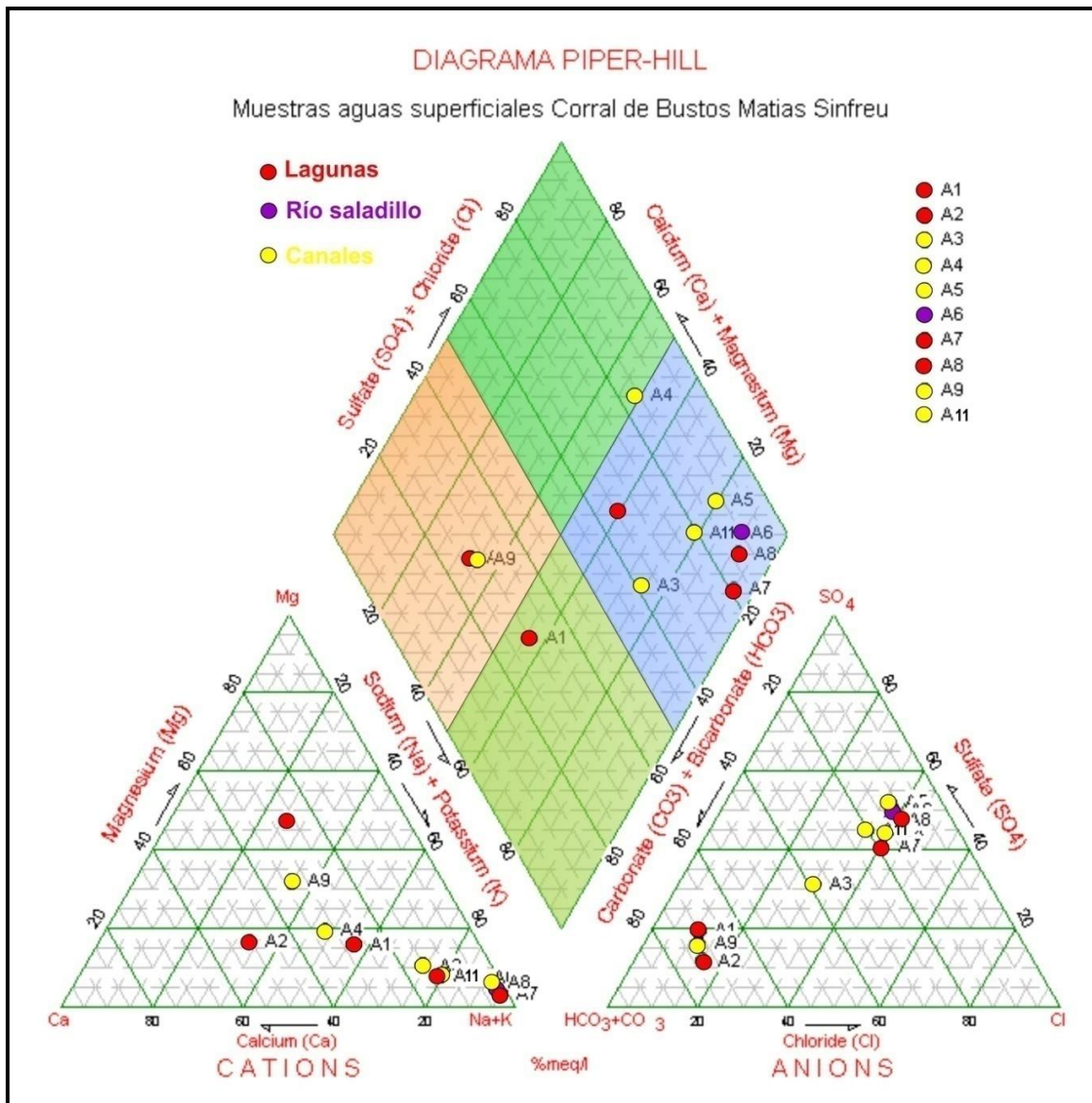


Figura 5.10. Diagrama de Piper-Hill para muestras de agua superficial. Zona General Baldissera-Corral de Bustos.

5.2.2. c. Lagunas: Las muestras de agua analizadas (Tabla 5.3 y Fig. 5.2) presentan valor promedio de conductividad eléctrica de 5.166 µS/cm, siendo el valor mínimo de 358 µS/cm y el valor máximo de 12.540 µS/cm. Respecto al contenido de SDT, se rescata que el 50 % de las muestras se corresponden con valores de salinidades muy bajas, entre 251 y 1.590 mg/L, siendo por lo tanto aguas dulces. El otro 50 % cae en el rango de aguas saladas ya que poseen salinidades entre 5.000 y 8.800 mg/L.

Respecto a la presencia de iones mayoritarios, se tiene que el más abundante dentro de la familia de los aniones es el sulfato, con un valor promedio de 1.128 mg/L, siendo el valor máximo de 2.514 mg/L y el mínimo de 21,2 mg/L. El catión más abundante es el sodio con un valor promedio de 1.375 mg/L (valor máximo: 3.581,4 mg/L; valor mínimo: 7,1 mg/L). Dichas muestras desde el punto de vista geoquímico se clasificaron de la siguiente manera: el 50 % bicarbonatadas sódicas y el otro 50 %, sulfatadas-cloruradas sódicas.

La variedad en la calidad de aguas analizadas en las lagunas radica en su carácter hidrológico, de esta manera las lagunas de carácter permanente, de mayores dimensiones, poseen aguas saladas (CE del orden de 7.200 a 12.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), sulfatadas sódicas, con moderado contenido en As y F, lo que sugiere gran aporte freático y concentración de sales por evaporación. Las lagunas temporarias y efímeras, más pequeñas y de aguas dulces (CE desde 358 a 2.270 $\mu\text{S}/\text{cm}$), bicarbonatadas sódicas con muy bajo contenido en As y F, sugieren, en cambio, mayor aporte de agua de precipitaciones. La presencia de NO_3^- en las lagunas permanentes sugiere además que estos cuerpos de agua están afectados por procesos de contaminación.

Capítulo 6

HIDROGEOLOGÍA

6.1. HIDROLITOLOGÍA E HIDROESTRATIGRAFÍA REGIONAL

En Córdoba se distinguen dos grandes ambientes hidrogeológicos mayores subdivididos en subambientes menores (Fig.6.1) asociados estrechamente a la geomorfología, a las estructuras geológicas regionales, a las litologías, a las variaciones climáticas del Cuaternario y a eventos neotectónicos (Blarasin *et al.*, 2014). A continuación se describen las características principales de estos dos grandes ambientes para el Sur de la provincia en función de la importancia que poseen en términos de funcionamiento hidrológico (zonas de recarga o de descarga de acuíferos) y potenciales caudales de extracción y/o calidad.

A. Sistema hidrogeológico de las Sierras de Córdoba: fundamentalmente integradas por un basamento plutónico-metamórfico (Precámbrico-Paleozoico inferior) que constituyen una macrounidad morfoestructural (N-S), definida por una sucesión de megabloques con marcada asimetría debido a la importante escarpa de falla en su borde occidental. Los megabloques que descienden escalonadamente sobre la llanura, exhiben una morfología que revelan una larga y compleja historia denudativa (Carignano *et al.*, 1999; Degiovanni, 2008; Carignano *et al.*, 2014), que aportó sedimentos a la llanura condicionando parcialmente el actual comportamiento hidrogeológico. Blarasin *et al.* (2014), la definen como una entidad hidrológica receptora y a la vez emisora de agua 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 piedemonte y llanuras onduladas cercanas. Dentro de este gran ambiente se distinguen:

a) El **acuífero en medio fracturado** de conductividad hidráulica secundaria, variable en función del grado de fracturación del basamento, pero en general baja ($K \sim 10^{-5}$ m/d) y con caudales erogados pequeños (menores a $5 \text{ m}^3/\text{d}$). b) El **acuífero en medio clástico en valles intermontanos**, constituido por sedimentos cuaternarios de diversas granulometrías, con K variables de 1 a 50 m/d y caudales erogados bajos ($1\text{-}5 \text{ m}^3/\text{h}$) y c) el **acuífero en pampas de alturas**, compuesto por sedimentos arenosos muy finos limosos de baja K ($1\text{-}2 \text{ m/d}$), en general de escasa significación areal y poco espesor saturado, sin relevancia económica directa, pero que actúan como zonas plenas de recarga aportando a arroyos colectores.

B. Sistema Hidrogeológico de la Llanura: La llanura cordobesa es una planicie predominantemente agradacional, con variaciones de relieve relacionados a la presencia de bloques estructurales, algunos con probada actividad tectónica (Sagripanti, 2006) y a las oscilaciones climáticas del Cuaternario, que posee mayor potencialidad hidrogeológica y relevancia económica-social que el sistema fracturado (Blarasin *et al.*, 2014). Los procesos sedimentarios que actuaron durante el Cenozoico han influido en la disposición, geometría (espesor y extensión areal) y características sedimentológicas (tamaño de grano, diagénesis, etc.) de las diferentes capas acuíferas (Cuadro 6.1),

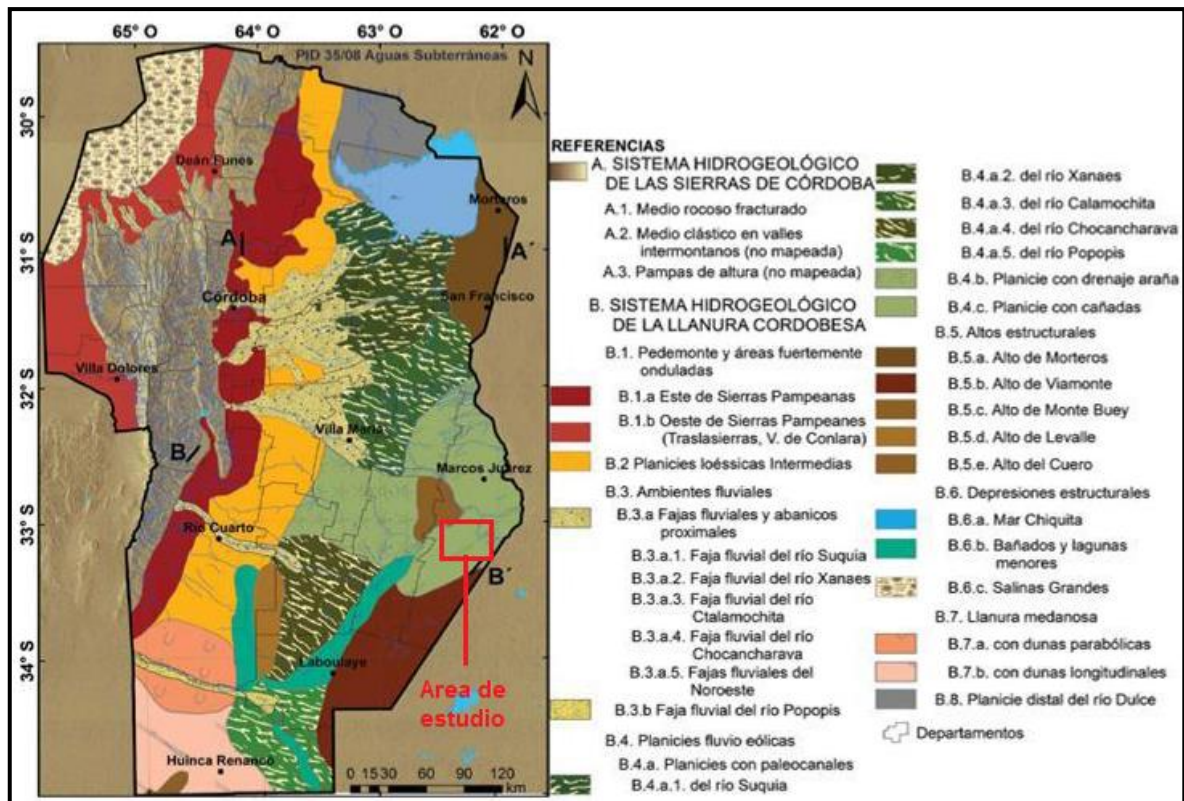


Figura 6.1. Unidades Hidrogeológicas del Sur de Córdoba. Extraído de Blarasin *et al.*, 2014 aspectos que condiciona su comportamiento hidráulico y geoquímico.

A nivel regional, el acuífero libre se aloja en sedimentos continentales (eólicos, fluviales y subordinadamente palustres), conocidos como sedimentos Pampeanos y Postpampeanos (Cuadro 6.1 y Fig. 6.2) y varía su espesor desde pocos metros, en proximidades de la sierra (por cercanía del basamento), hasta 80-100 m hacia el Este de la llanura. Los materiales de mejor aptitud acuífera, con alta Conductividad Hidráulica (K de 5 a más de 50 m/d) y alta Transmisividad (T de 100 a 4.000 m²/d), están fundamentalmente vinculados a las fajas fluviales más importantes (Formaciones

Chocancharava, Las Lajas y otros depósitos más profundos sin denominación formal), en las que abundan perforaciones que erogan importantes caudales (50-100 m³/h). El acuífero libre desarrollado en el resto de los materiales, eólicos y aluviales finos, posee características pobres, con menores valores de K (10⁻³ a 1 m/d, localmente hasta 5 m/d) y T (Formaciones La Invernada, Laguna Oscura, Reducción, Pampiano, etc.), y en el que las perforaciones poseen rendimientos bajos (menores a 40 m³/h).

EDAD	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS	UNIDADES HIDROLITOLÓGICAS
	NORTE y SUR CORDOBA			
CUATERNARIO	Holoceno superior	Sedimentos modernos sin denominación formal. Sedimentos eólicos arenosos muy finos y limosos: <u>Norte</u> : Fm. San Guillermo (Iriondo y Krohling, 1995); <u>Sur</u> : Fm. Laguna Oscura (Cantú, 1992)	EPIPARANIANO	Nivel freático a profundidad variable
	Holoceno medio	Sedimentos fluviales (final período Optimum Climaticum) <u>Norte</u> : Fm. Rio La Granja (Santa Cruz, 1978) y equivalentes; <u>Sur</u> : Fm. Las Lajas (Cantú, 1992). Transiciones a sedimentos más finos de facies distales hacia el Este. Paleosuelos en interfluvios.		ACUÍFERO LIBRE (espesor variable hasta 80-100m)
	Holoceno bajo- Pleistoceno superior	Depósitos de tipo loésico de gran espesor (Máximo Glacial) <u>Norte</u> : Fm. Tezanos Pinto (Iriondo y Krohling, 1995), Fm. Gral. Paz (Santa Cruz, 1978) y equivalentes; <u>Sur</u> : Fm. La Invernada (Cantú, 1992). Retracción de sistemas fluviales hacia las salidas serranas.		
	Pleistoceno superior	Sedimentos fluviales, facies de canal/ llanura de inundación/derrames <u>Norte</u> : Fm. Rio Primero (Santa Cruz, 1978) y equivalentes; <u>Sur</u> : Fm. Chocancharava (Cantú, 1992) y equivalentes. Transiciones a sedimentos más finos de facies distales hacia el Este y NE (Ej.Fm.Lagunilla del Plata (Krohling, 1993) entre otras. Paleosuelos en interfluvios.		
	Pleistoceno medio a superior	Sedimentos fluviales/eólicos: limosos y limo-arenosos muy finos, pardo rojizo con nódulos de cementación con hierro, con niveles de calcretos. <u>Norte y Sur</u> : Fm. Pampiano (Fidalgo et al., 1973). <u>Este</u> : sedimentos fluviales, arenas y gravas: <u>Norte</u> : Sin denominación Formal; <u>Sur</u> : Formación Alpa Corral (Cantú, 1992) al pie de Sierra de Comechingones y equivalentes más alejados de la sierra.		
	Pleistoceno bajo	<u>Este</u> : sedimentos fluviales, arenosos: <u>Norte y Sur</u> : ("arenas Puelches" en sentido amplio).		
NEÓGENO	Plioceno		PARANIANO	
Mioceno medio-superior	<u>Este</u> : Arcillas azules/verdes y arenas de origen marino: <u>Norte y Sur</u> : Fm Paraná (Irigoyen, 1969)			
PALEOGENO	Eoceno	Arcillas pardo rojizas con niveles delgados de arenas. <u>Norte y Sur</u> (con dudas Fm. Chaco (Russo et al., 1979).	HIPOPARANIANO	

Cuadro 6.1. Síntesis hidroestratigráfica de la llanura cordobesa. Extraído de Blarasin *et al.*, 2014.

En casi toda la llanura, por debajo de los 80-100 m de profundidad, existen acuíferos confinados de sedimentos arenosos y areno-gravosos con techos y bases de materiales más impermeables que le otorgan confinamiento variable (Cuadro 6.1 y Fig. 6.2). Entre los más conocidos, y los mas someros (80 a 120 m de profundidad), se

encuentra al Oeste de la provincia, el sistema acuífero profundo denominado SAC A1, constituido por arenas y arenas gravosas que intercalan con limos cementados y limos arcillosos posiblemente de edad plio-pleistocena superior (por encontrarse subyaciendo a la Formación Pampiano y sobreyaciendo a la Formación Tigre Muerto, de origen continental a los que no se les asignó nombre formacional. Para estas profundidades someras pero al Este provincial, el acuífero está conformado por las llamadas "arenas Puelches" (sistema Acuífero Confinado B ó SAC B), muy explotadas en el Noreste provincial, compuesto por arenas medias a finas de origen fluvial, cuarzosas, redondeadas y bien seleccionadas, identificadas y cuyo techo es una capa de arcillas varicolores. En el Sudeste provincial, las típicas "arenas Puelches", no han sido reconocidas sino que los acuíferos confinados más someros, semiconfinados localmente, pueden estar constituidos por sedimentos considerados equivalentes a éstas (Fig. 6.2) y están representados por paleocauces cubiertos de depósitos eólicos parcialmente cementados (que actúan como capa acuitarda). Las perforaciones que captan agua de estos sistemas más someros poseen surgencias que, en general, no superan la superficie del terreno.

A mayor profundidad, en general por debajo de los 100-150 m, pueden distinguirse dos ambientes diferentes de sedimentación, de origen continental y marino (Renz, 1993; Gomez 1995; Blarasin, 2003; Blarasin *et al.*, 2014), en cuyos sedimentos de edad cuaternaria inferior-neógena superior, se desarrollan acuíferos con mayor grado de confinamiento (Cuadro 6.1 y Fig. 6.2). Los sedimentos de origen continental se ubican al Oeste, reciben el nombre de Formación Tigre Muerto al Sur de la provincia (Blarasin, 2003) y se trata de capas acuíferas arenosas y areno-gravosas de variable espesor (5-10 m) que intercalan entre potentes paquetes de limos y arcillas ocráceas (Sistema Acuífero Confinado A2 ó SAC A2). La K asignada a estos materiales es del orden de 10-100 m/d y los caudales de explotación varían entre 2-50 m³/h (Cabrera, 2009; Cabrera *et al.*, 2010; Blarasin *et al.*, 2014). Al Norte, reciben el nombre de Formación Santiago Temple, compuesta principalmente por depósitos fluviales gruesos que hacia el Este disminuyen de espesor y de granulometría. En ambos casos al Norte y Sur de la provincia, aumenta el grado de confinamiento en ese sentido. En la parte oriental del territorio provincial yacen los sedimentos correspondientes a antiguas intrusiones marinas (Fig. 2.3) correspondientes a la Formación Paraná (SAC C). Los espesores de las capas acuíferas en esta formación son pequeños (Renz, 1993; Blarasin *et al.*, 2000; Maldonado, 2013), del orden de 5 m. Por debajo de la Formación Paraná (SAC C) y a las de 30 m de profundidad, se explotan en algunos sectores capas acuíferas en sedimentos continentales, asignado con dudas a la Formación Chaco (SAC D) (Cuadro 6.1 y Fig.

6.2). Las K asignadas para los SAC C y D son del orden de 1-5 m/d (Maldonado *et al.*, 2014), las que disminuyen por el grado de diagénesis a las profundidades a las que yacen y los caudales de explotación son pequeños, en el orden de 2-5 m³/h.

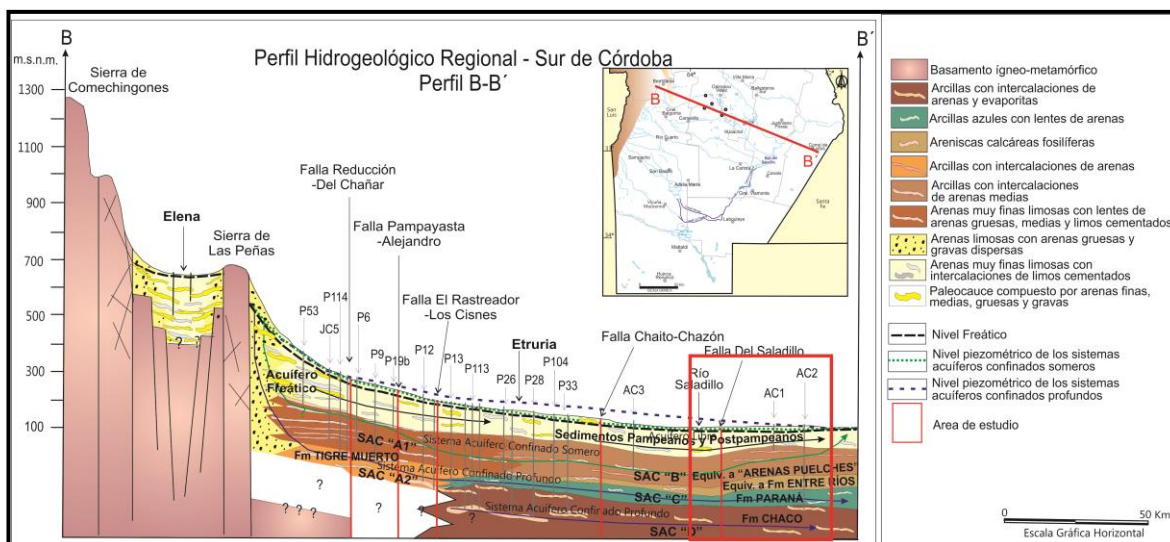


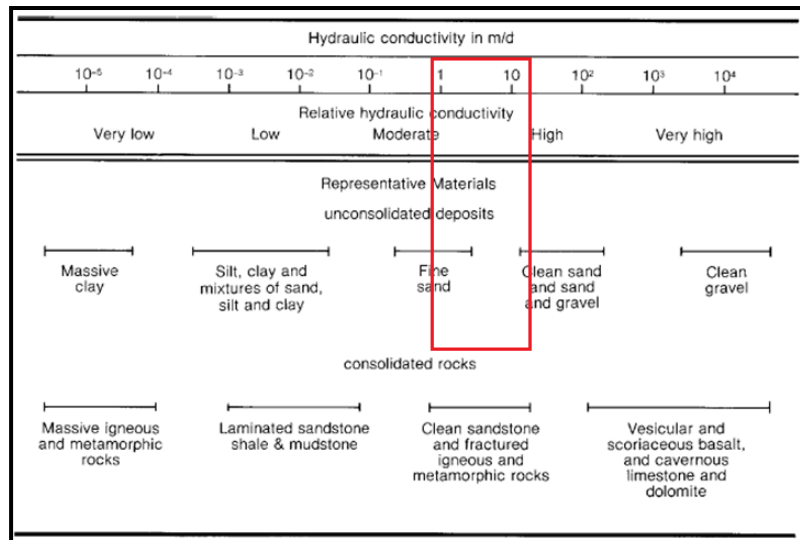
Figura 6.2. Perfil Hidrogeológico regional- Sur de Córdoba. Perfil B-B'. Extraído de Blarasin *et al.*, 2014.

6.2. HIDROLITOLOGÍA E HIDROESTRATIGRAFÍA LOCAL

A través del análisis de las características hidrolíticas e hidroestratigráficas de los materiales, tanto aflorantes como aquellos más profundos, mostrado por medio del perfil hidrogeológico obtenido para la zona, en la geología local y con la ayuda del mapa geológico-geomorfológico realizado a partir de la geología de superficie, se elaboró una columna hidroestratigráfica típica para la zona que se muestra en la Fig. 2.16 y que se exhibe a continuación, aunque la información con la que se cuenta es moderada y existe cierta incertidumbre respecto a las profundidades de perforaciones y litologías atravesadas.

Se desconoce el espesor exacto del acuífero libre, estimándose por las características obtenidas de las perforaciones censadas y los antecedentes regionales que se extiende aproximadamente hasta los 60-100 m de profundidad, la cual varía dependiendo de la ubicación de las distintas unidades geomorfológicas y grado de cementación de la Formación Pampiano que puede formar parte del acuífero o bien, si la cementación es importante, constituirse en la base del mismo en algunos sectores. El acuífero libre está conformado principalmente por materiales cuaternarios limosos y arenosos muy finos con diferentes grado de cementación carbonática asociados especialmente a los sedimentos de la Formación Laguna Oscura, Formación La

Invernada y Formación Pampiano y por sedimentos arenosos finos y medios de facies fluviales que de acuerdo a los rasgos geomorfológicos se pueden vincular a la historia del Río Cuarto y muy localmente, al río Saladillo. En la región las formaciones fluviales han sido nominadas como Formación Chocancharava, Formación Las Lajas, Formación Reducción, etc. y otras más profundas sin denominación formal. Estos materiales representan la alternancia de ciclos húmedos y secos que determinan la actividad fluvial y eólica que caracterizó la zona durante el Cuaternario. Si bien, el acuífero libre estudiado, en general, desde el punto de vista hidráulico presenta un alto grado de homogeneidad, ya que los materiales que dominan regionalmente son finos (limos-arenas muy finas), a nivel local, muestran anisotropía ya que muestran una cierta heterogeneidad vinculada a cambios faciales de materiales localmente cementados con carbonato de calcio o presencia de materiales más gruesos (arenas finas-medias). Se han estimado, a partir de antecedentes geológicos e hidráulicos de la región (Blarasin, 2003) y teniendo en cuenta el cuadro 6.2 (Brassington, 2007), valores de conductividad hidráulica (K) del orden de 1 m/d para los sedimentos eólicos y de 7-20 m/d para los fluviales.



Cuadro 6.2. Valores de conductividad hidráulica (K) asignados a los sedimentos que constituyen el acuífero libre en la zona

En general puede interpretarse que la base más identificable y extendida de este acuífero, como se muestra en Fig. 6.3, se encuentra conformada por un espesor aproximado de unos 25 m de materiales acuicludos (arcillas) y, en algunas zonas, por materiales acuitardos (limo-arcillosos), alojados entre los 100 y 120 m.

Por debajo, se identifica el paquete sedimentario constituido por capas de arenas finas a medias y arenas gruesas (acuíferos) intercaladas con niveles arcillosos y limo arcillosos (acuitardos y acuicludos) asignados con dudas a la Formación Ituzaingó ("Arenas Puelches") que constituyen el denominado, a nivel regional, sistema acuífero confinado somero SAC B (Blarasin et al 2014, Maldonado 2014). De este sistema no se cuenta en la zona estudiada con registros de perforaciones que estén captando agua de estos niveles acuíferos.

Por debajo se tiene un nivel de materiales principalmente arcillosos-limosos (acuicludas-acuitardos) de color verdoso, en el que intercalan delgadas lentes arenosas finas (acuíferas). Todo el paquete sedimentario, de un espesor aproximado de 70 m, se correlaciona con la Formación Paraná. Este sistema ha sido, en concordancia con la nomenclatura regional, identificado como SAC C (Blarasin *et al* 2014, Maldonado 2014). De este sistema tampoco se han censado en la zona estudiada perforaciones que extraigan agua de estos acuíferos.

Por último, se identifica al paquete de materiales arcillo-limosos con intercalaciones de yesos (acuicludos-acuitardos), entre los que interyacen delgadas capas arenosas (acuíferas), que se podrían corresponder con la Formación Chaco, como correspondiente al sistema SAC D definido a nivel regional para la provincia Blarasin *et al* 2014, Maldonado 2014).

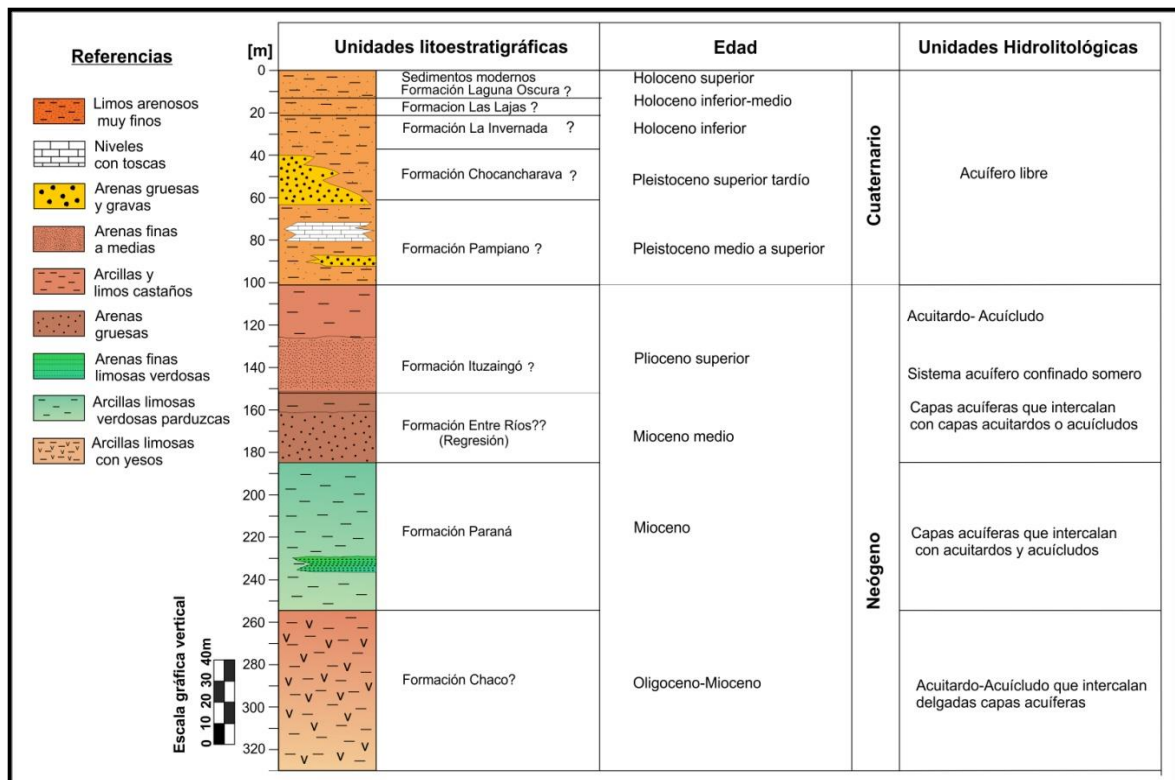


Figura 6.3. Columna hidroestratigráfica típica para el área de estudio.

6.2.1. Captaciones de agua del acuífero libre existentes en la zona

Las captaciones de agua del acuífero freático existentes dentro del área de estudio se efectúan a través de molinos (Fig. 6.4 A y B), los cuales no tienen un antepozo y el cilindro se encuentra en superficie ya que el nivel freático se encuentra muy próxima a ella

(Fig. 6.4 C y D). En la mayoría de los molinos la profundidad de la perforación es somera según lo informaron los distintos propietarios en el censo realizado, variando entre 9 m y 22 m de profundidad. Sin embargo, muchos de los molinos se encuentran rotos y abandonados sin ningún tipo de mantenimiento con el paso del tiempo. Esto se debe a que en general el



Figura 6.4. A) B) C y D) Molinos y medición de niveles

agua del acuífero libre presenta una baja calidad natural, como se verá más adelante. Debido a esto muchas viviendas rurales captan agua de lluvia acumulada en aljibes. El agua extraída desde el acuífero freático mediante los molinos en muchos casos se la almacena en tanques australianos (Fig. 6.5) y se la utiliza para el ganado y para riego.

Las perforaciones existentes que captan de este acuífero (en general son de escasa profundidad y penetran pocos metros dentro del acuífero). El agua se extrae

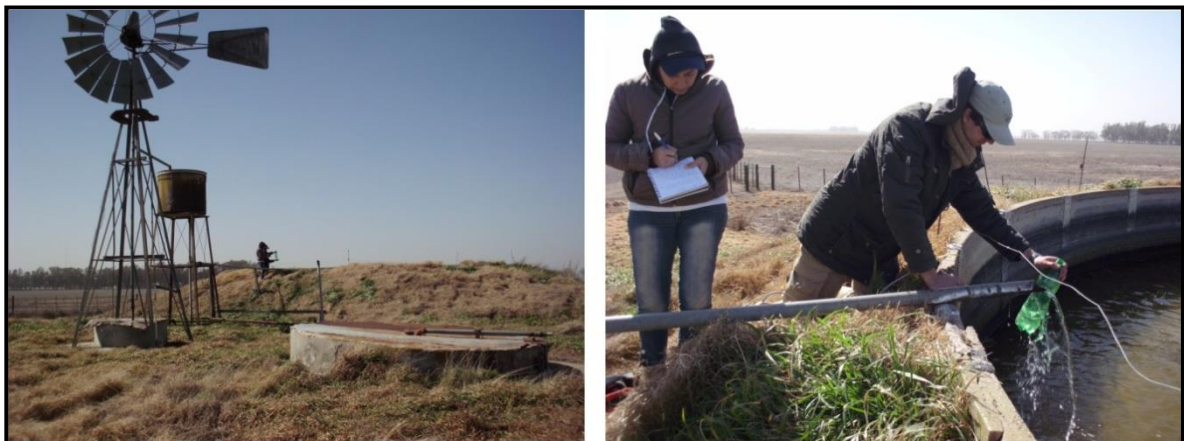


Figura 6.5. Salida de agua desde el molino hasta tanque australiano

mediante molinos en la mayoría de los casos. Los caudales de extracción de estas captaciones son pequeños, de aproximadamente 600-2.500 L/h. En algunos casos se utilizan bombas electro-sumergibles que permiten extraer un caudal mayor en torno a los 5.000 L/h.

Se destaca que las poblaciones más importantes dentro del área de estudio, como el caso de Corral de Bustos, Isla Verde, General Baldissera y Camilo Aldao, reciben agua desde el río Tercero mediante un acueducto procedente desde San Marcos.

Capítulo 7 HIDRODINÁMICA

7.1. HIDRODINÁMICA REGIONAL

Para el Sur de Córdoba el principal condicionante en la dinámica del agua subterránea esta dado por la configuración geológica-geomorfológica, definida por bloques basculados al Este-Sudeste. Estos bloques definen un relieve característico y consecuentemente áreas de recarga y descarga de agua, lo que sumado a aspectos litológicos condiciona además de los procesos químicos (disolución-precipitación, óxido-reducción, hidrólisis, hidratación, intercambio de bases, ataque

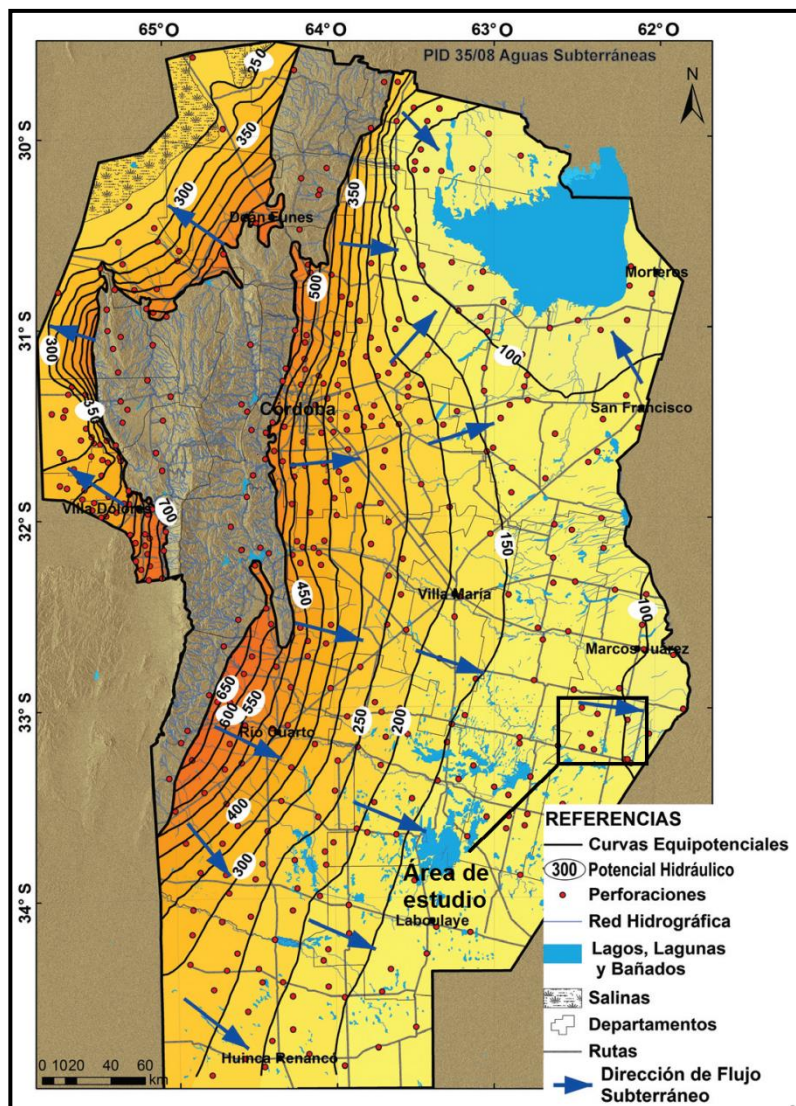


Figura 7.1. Mapa equipotencial del acuífero libre para la provincia de Córdoba. Tomado de Blarasin *et al.*, 2014.

ácido) y físicos (lubricación y modificación de la presión de poros), los cinéticos (transporte de agua, calor y materia orgánica y no orgánica) que tienen lugar cuando se establece la interacción agua, materiales (roca, sedimentos) y gases disueltos en la solución (Blarasin, 2003; Blarasin *et al.*, 2014).

Las curvas potenciométricas para el acuífero libre a nivel provincial muestran un flujo radial divergente desde las sierras y hacia la periferia, indicando que la zona de recarga neta regional es el ámbito serrano-pedemontano (Blarasin *et al.*, 2014) (Fig. 7.1). En el Sur provincial dominan las direcciones de flujo Noroeste-Sudeste, con descargas parciales en los bañados del Tigre Muerto, lagunas Santa Ana- La Chanchera- bañados del Saladillo y lagunas de Bouchardo. Los gradientes hidráulicos de este sistema, fuertemente condicionados por la topografía, son variables, encontrándose los más altos (5,0- 4,0 %) vinculados a la faja pedemontana inmediatamente cercana a las sierras. En las llanuras fuertemente onduladas los gradientes disminuyen a valores de 1,0-0,2 %, mientras que en las llanuras mas tendidas y áreas mal drenadas lo valores son muy bajos, del orden de 0,07 %. La velocidad real del agua subterránea, condicionada por la topografía y las litologías presentes, adopta valores estimados de 2 m/d para los materiales más gruesos de las fajas fluviales donde hay también altos gradientes, y del orden de 1×10^{-3} m/d para los sedimentos eólicos/palustres asociadas también a los más bajos gradientes hidráulicos.

Por otro lado, y tal como ocurre en todos aquellos sistemas de flujo de agua subterránea, en regiones con relieve ondulado, se observa una jerarquización de los flujos de agua (Tóth, 1999), lo que permite distinguir niveles locales, intermedios y regionales (Blarasin, 2003), (Fig. 7.2). Los efectos típicos resultantes de esta jerarquización de flujos genera, entre otros aspectos, flujos descendentes en áreas de recarga y ascendentes en las de descarga, apareciendo en estas últimas bañados y lagunas (Blarasin *et al.*, 2014) y cambios en la evolución del agua (tanto en vectores horizontales como en los verticales).

Conocer el espesor de la zona no saturada (ZNS) es fundamental para múltiples actividades y procesos (perforación de pozos, migración de contaminantes, recarga de acuíferos, entre otros). En Córdoba (Fig. 7.3), las mayores profundidades de ZNS (50 y 150 m) se dan en el piedemonte y disminuyen gradualmente hacia el Este de la llanura oriental llegando a aflorar al Sur-Sureste en el entorno de numerosos humedales (bañados del Tigre Muerto, bañados del Saladillo, etc.), aunque en los altos de Viamonte y Levalle, retoma valores de 2 a 10 m y hasta 50 m, respectivamente (Blarasin *et al.*, 2014). Sedestacan variaciones del nivel freático en función del ritmo de precipitaciones, mostrando en general una fluctuación temporal similar a ellas (Blarasin, 2003; Blarasin *et al.*, 2011). Los relevamientos hidrogeológicos en diferentes sectores (Blarasin *et al.*, 2005 b; Blarasin *et al.*, 2011; Blarasin *et al.*, 2015), muestran ascensos graduales y

persistentes de los niveles freáticos en numerosas áreas del Sur provincial, de hasta 10 m en los últimos 40 años, a pesar de que hubo ciclos muy secos.

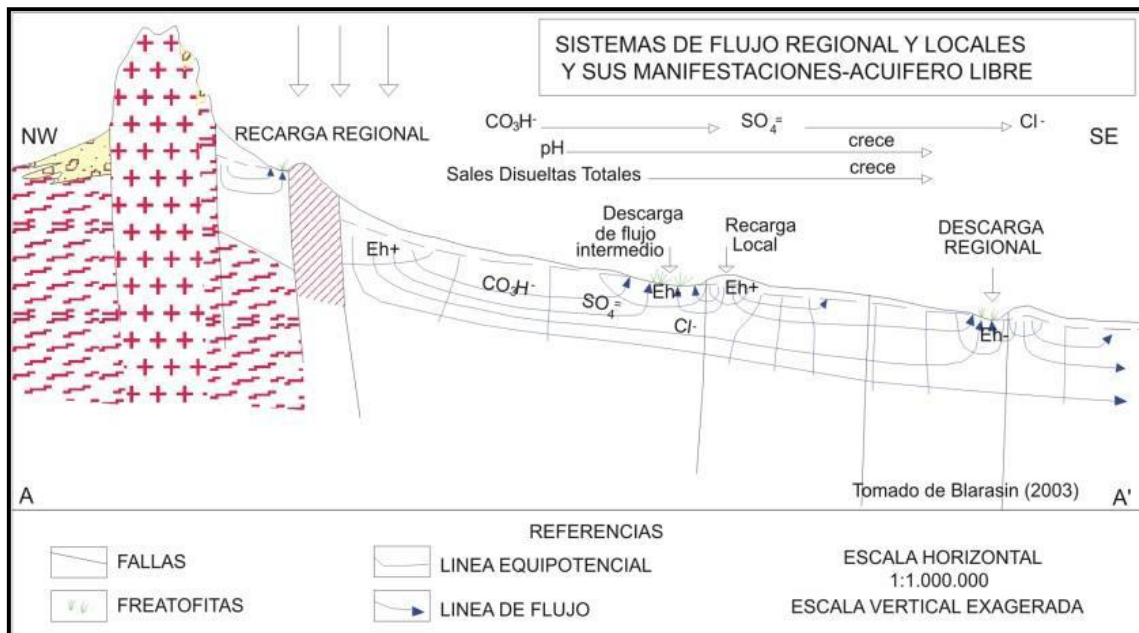


Figura 7.2. Jerarquización de los sistemas de flujos regionales y locales para el acuífero libre para al Sur de Córdoba. Fuente: Blarasin (2003).

Los sistemas de acuíferos confinados han sido menos estudiados que el freático y su funcionamiento sólo es conocido parcialmente (Renz, 1993; Cabrera, 2009). En la actualidad con la información generada por el grupo de Hidrogeología de la UNRC a través de proyectos de investigación, se ha podido integrar la información vinculada a estos sistemas hidrológicos profundos para todo el Sur provincial. En general, las perforaciones que captan de las capas acuíferas confinadas (entre 150 y 450 m) son surgentes, con alturas de surgencia variables (entre 1 y 15 m) para los distintos niveles de confinamiento y posición respecto de las sierras (Blarasin, 2003; Cabrera, 2009; Maldonado, 2014), aunque en la perforación realizada en 1993 para la municipalidad de Etruria, la capa ubicada entre 378 y 384 m, presentó una surgencia de 60 m (Renz *com. pers.*). Se destaca que no se observan variaciones relevantes en la mayoría de las perforaciones censadas en los últimos 30 años, a pesar de que en el entorno de algunos equipos de riego se presentan descensos locales de niveles piezométricos (Blarasin *et al.*, 2014; Cabrera *et al.*, 2015).

El área de surgencia quedó delimitada por Blarasin 2003 y Blarasin *et al.*, 2014, tal como se muestra en la figura 7.3.

Ademas, Blarasin *et al.*, 2014 y Maldonado 2014 definen, para el Sur provincial, las curvas isopiezas de los sistemas confinados más someros y las de los profundos (Fig. 7.4 y Fig.7.5, respectivamente). Si bien, la dirección de flujo del agua de estos sistemas confinados es variable según la capa acuífera y la zona evaluada, se observa, en general, una correspondencia importante con las direcciones de flujo del acuífero libre (Blarasin *et al.*, 2014). En ambos sistemas se observa, del mismo modo que para el sistema libre, sentido de circulación general Noroeste-Sudeste y un flujo radial divergente respecto a las sierras, lo que indicaría también al ámbito pedemontano como la zona de recarga neta regional de estas capas acuíferas confinadas. La diferencia entre los sistemas confinados (someros y profundos), radica en los cambios de gradientes hidráulicos y en las velocidades de circulación que poseen, principalmente en proximidades del pedemonte. Para el sistema confinado somero (SAC A1) (Fig. 7.5), se observa un cambio muy notorio, tanto en los gradientes hidráulicos como en las velocidades de circulación, entre el sector pedemontano (al Oeste) y la llanura (al Este). De este modo, al Oeste, los

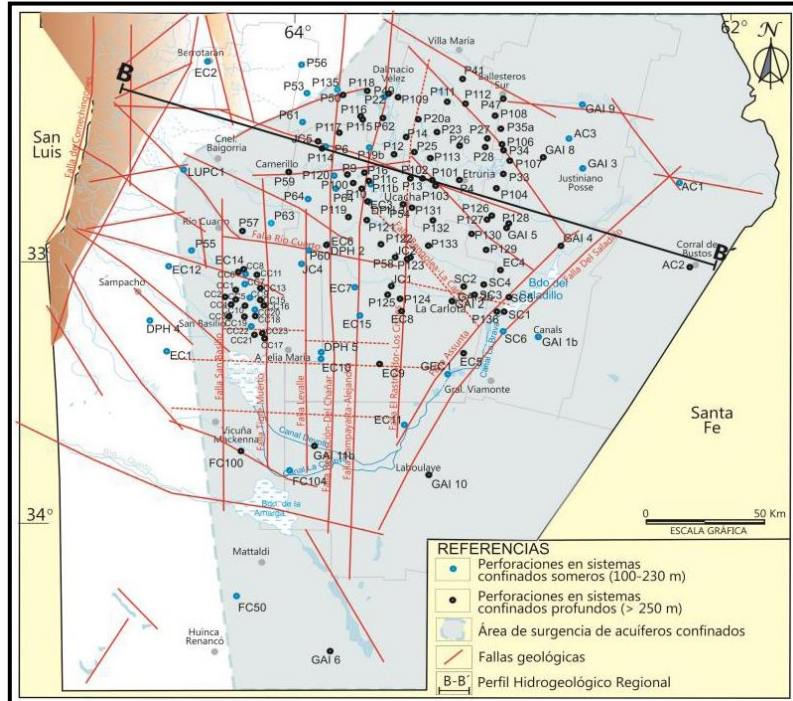


Figura 7.3. Área de surgencia de acuíferos confinados definida para el Sur de Córdoba (tomado de Blarasin *et al.*, 2014).

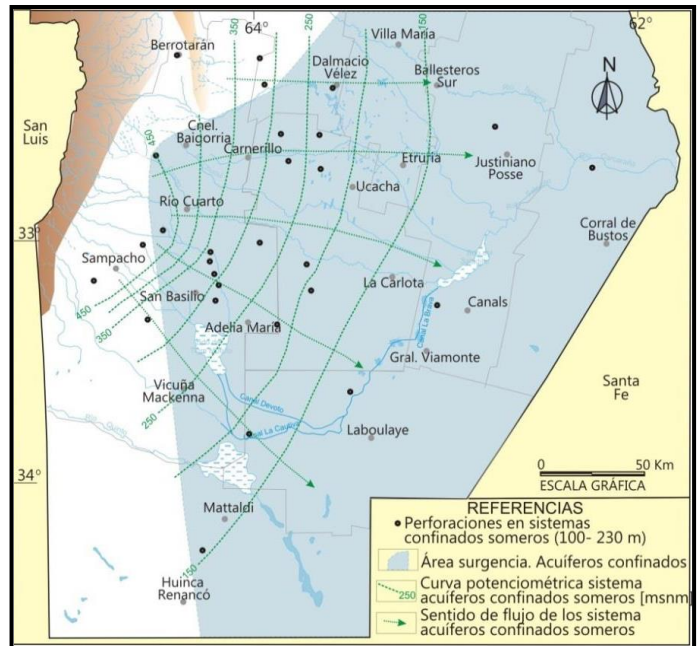


Figura 7.4. Mapa piezométrico del sistema acuífero confinado somero (SAC A1). Sur de Córdoba. Fuente: Blarasin *et al.*, 2014.

gradientes son del orden del 0,6 % y las velocidades de circulación de 0,36 m/d ($K \sim 15$ m/d y $\rho \sim 25$ %), mientras que hacia el Este provincial, los valores disminuyen al orden de 0,05 % y de 0,03 %, respectivamente. En cambio, el sistema confinado profundo (SAC A2, SAC C y SAC D) (Fig.7.5), no muestra variaciones tan marcadas. Al Oeste, los gradientes hidráulicos son del orden de 0,3 % y las velocidades de circulación del orden 0,08 m/d, mientras que al Este son levemente inferiores, de 0,1 % y 0,03 m/d, respectivamente ($K \sim 5$ m/d y $\rho \sim 20$ %) (Cabrera, 2009, Blarasin et al 2014, Maldonado, 2014)

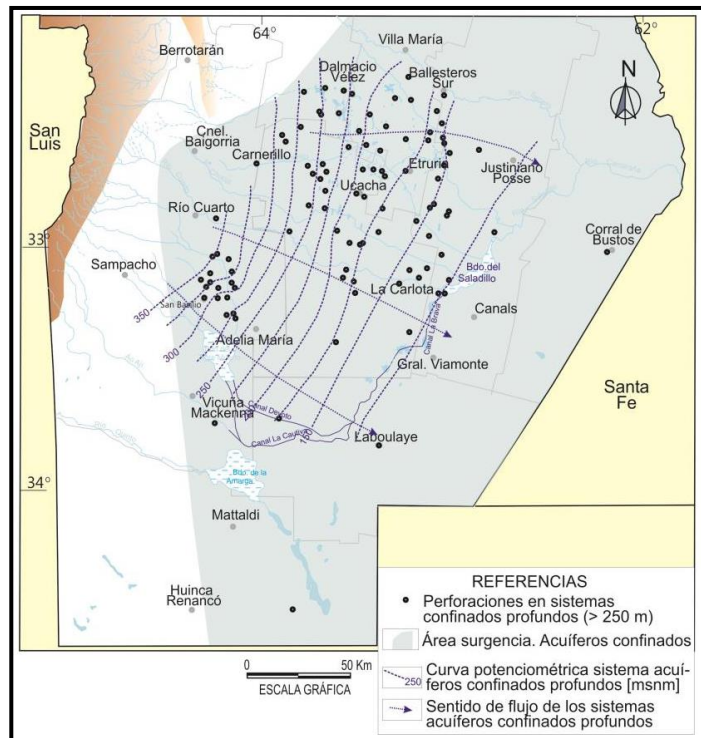


Figura 7.5. Mapa piezométrico del sistema acuífero confinado profundo (SAC A2, C y D). Sur de Córdoba. Fuente: Blarasin et al., 2014.

7.2. HIDRODINÁMICA LOCAL

7.2.1 HIDRODINÁMICA DEL ACUÍFERO LIBRE

Se confeccionaron mapas de potenciales hidráulicos y de isopropundidad del nivel freático para el área de estudio.

Para la confección de dichos mapas se realizó un censo el cual consistió en el relevamiento de información hidrogeológica de 26 pozos (Tabla 7.1). Se midieron niveles estáticos (Fig. 7.6. B) con sondas piezométricas de señal lumínica y sonora (Fig.7.6 B). En algunas ocasiones el dato obtenido fue informado por el propietario o encargados del lugar o inferido a partir de la observación de la posición del cilindro.

Pozo	Profundidad del nivel freático [m]	Cota topográfica [m]	Potencial Hidráulico [m]
B1	0,5	114,3	113,8
B2	0,37	113	112,6
B4	0,6	112,6	112
B5	Fuera del area		
B6	3,8	116,3	112,5
B7	3,8	116,3	112,5
B8	5,7	118	112,3
B9	3,5	111,6	108,1
B10	2,8	101	98,2
B11	7,3	110	103,7
B12	Fuera del area		
B13	7,7	106,3	98,6
B14	3,3	112,1	108,8
B15	2,2	116,5	114,3
B16	2,6	116,5	109,6
B17	S/D	S/D	S/D
B18	1,5	110	108,5
B19	1,1	106,6	105,5
B20	2,5	104	101,5
B21	3,5	102,6	99,1
B22	0,6	105,2	104,6
B23	1,7	104	102,3
B24	2,5	112,5	110
B25	1,9	111,5	109,6
B26	2,3	109,5	107,2
B27	2,4	107	104,6
B28	6	107,5	101,5
B29	S/D	116,3	S/D
B30	S/D	117,5	S/D
B31	2,1	113,1	111

Tabla 7.1. Datos de censo de pozos

El mapa equipotencial se muestra en la figura 7.7. La morfología de la superficie freática es ondulada con direcciones de circulación subterráneas que en general coinciden con las superficiales. Se destacan variaciones locales en las direcciones de flujo que indican áreas preferenciales de descarga o recarga del acuífero.

El acuífero se recarga por infiltración eficaz del agua de precipitaciones, destacando el papel de las divisorias de aguas como zonas de recarga local. Cabe destacar la presencia de la divisoria de aguas subterránea que coincide con el bloque levantado de la falla regional del Saladillo y las asociadas a los bloques estructurales menores entre los bajos más importantes, que prácticamente coinciden con las divisorias de aguas superficiales. A ambos lados de las divisorias se observa una dinámica diferencial, a partir de la cual las líneas de flujo divergen.

La zona de estudio corresponde a un área receptora del flujo de circulación regional desde las sierras y pedemonte (al Oeste provincial), por lo que corresponde a una zona

de descarga regional. Esto explica la existencia, dentro del área de estudio, de numerosas lagunas de carácter permanente. Si bien se puede observar a nivel regional

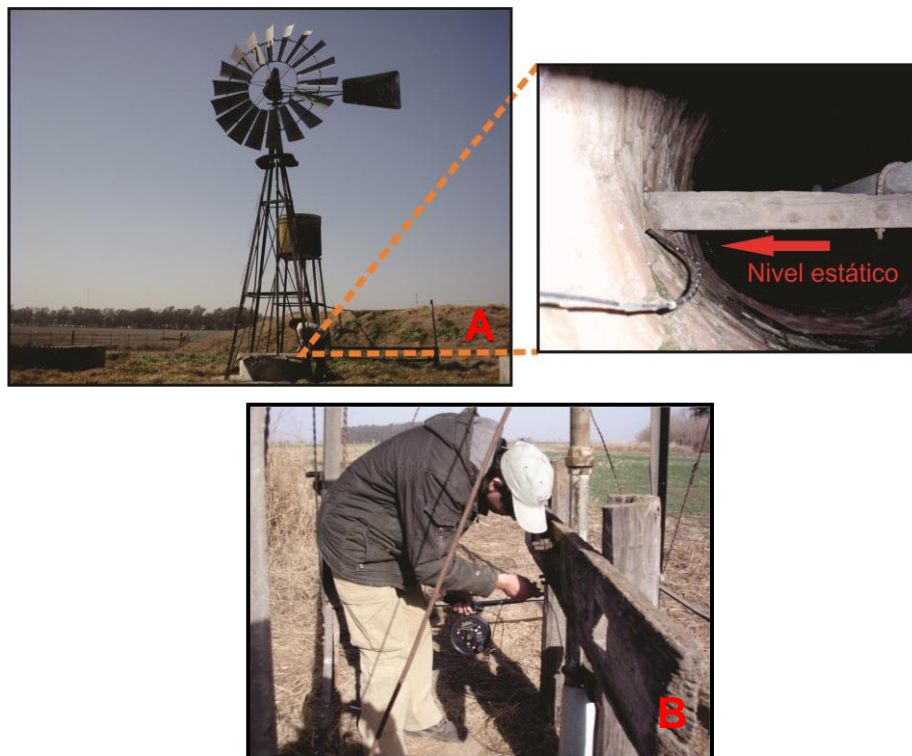


Figura 7.6. A) Molino que capta agua del acuífero freático con nivel próximo a la superficie
B) Medición de niveles estáticos del acuífero freático con sonda piezométrica.

que la gran zona de descarga se ubica hacia el Este, fuera del área de estudio, existen áreas preferenciales de descarga, tanto en áreas deprimidas (principalmente en las unidades geomorfológicas de "bajos y lagunas con hidrohalomorfismo" y en las cañadas típicas más importantes), donde las curvas topográficas y las equipotenciales del mismo valor se cortan dando origen a lagunas de carácter permanente; como en el cauce del río Saladillo en su paso por el área en donde el acuífero libre es influente respecto al río como lo muestran los filetes de flujo al converger en sus márgenes.

En cuanto a los gradientes hidráulicos y velocidades de circulación del agua subterránea en el sistema freático, se observan diferencias debido a la presencia de las estructuras geológicas antes mencionadas. De este modo los valores más altos se dan al Oeste de la falla del Saladillo y próximos al canal del río homónimo, con gradientes hidráulicos del orden de 0,65% - 1,6% y velocidades de circulación de 0,085 m/d y 0,15 m/d para sedimentos eólicos ($K \sim 1-5$ m/d y $\rho \sim 10-15\%$). Los valores más bajos, en cambio, se dan hacia el Este de la falla del Saladillo donde los gradientes hidráulicos adoptan

valores de 0,040% - 0,10% y velocidades de circulación 0,0076 m/d a 0,02 m/d para los mismos ambientes sedimentarios.

En las localidades se observan divisorias de agua subterráneas (especialmente Isla Verde y Corral de Bustos) que, dada la topografía, parecen naturales, sin embargo estudios de más detalle permitirán definir la influencia del agua importada desde los acueductos, ya que podría estar recargando el acuífero vía los sistemas de saneamiento in situ o pérdidas eventuales de los sistemas de cañerías (agua y/o cloaca).

Las variaciones en la profundidad del nivel freático se observa en la figura 7.8. En la mayor parte del área de estudio el nivel freático se encuentra muy próximo a la superficie, es decir entre 0-3 m de profundidad, así en épocas de lluvia el nivel asciende pudiendo producir procesos de hidromorfismo. Las mayores profundidades del nivel son registradas en el bloque levantado al Oeste de la falla del Saladillo (entre 3-7 m de profundidad). Hacia el Este de la falla, puede observarse una cierta homogeneidad en cuanto a la profundidad del nivel, excepto, en algunas zonas puntuales que se encuentran representadas por pequeños altos de origen estructural, tomando valores de entre 6 y 7 m de profundidad.

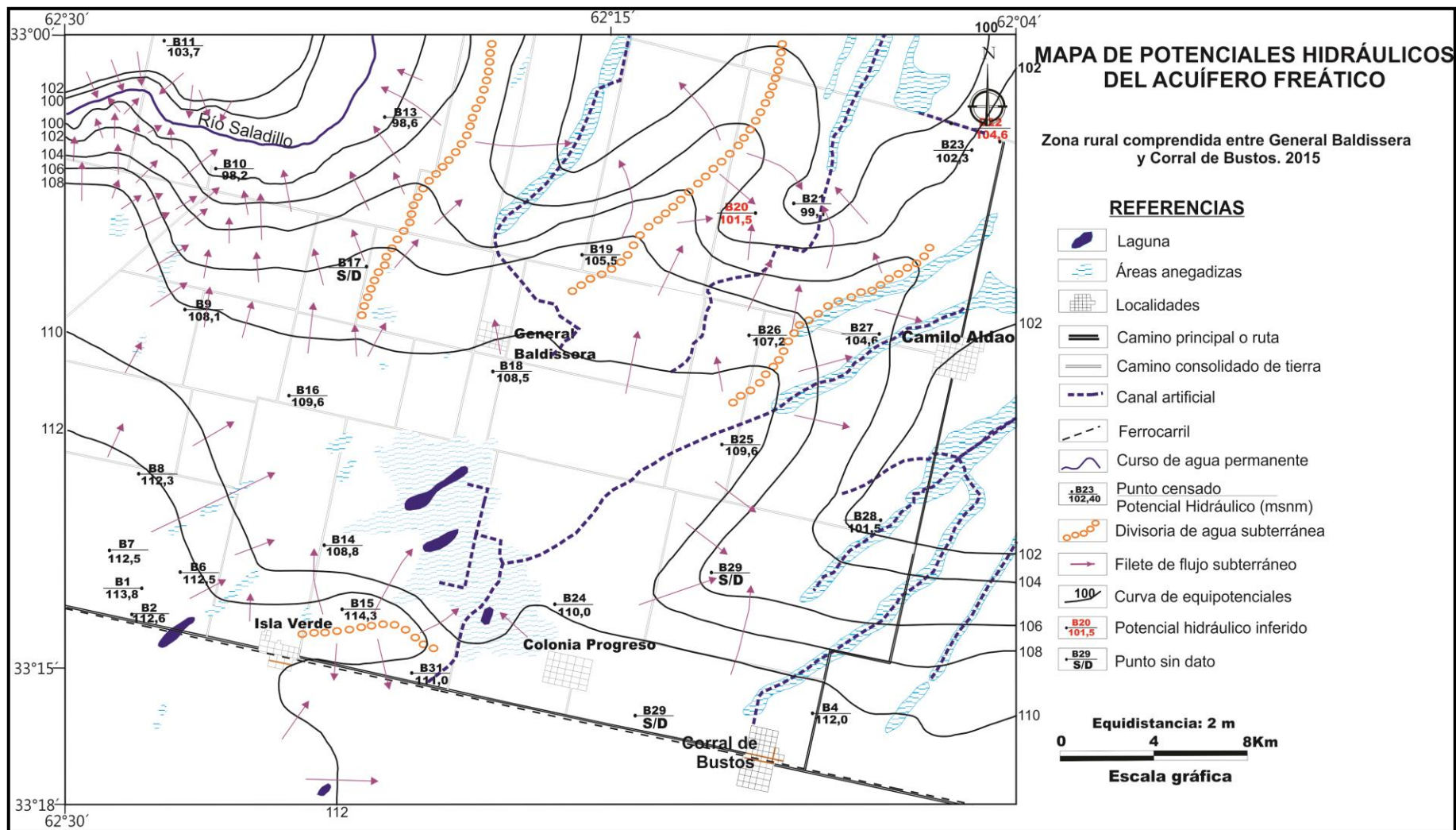


Figura 7.7. Mapa de potenciales hidráulicos del nivel freático

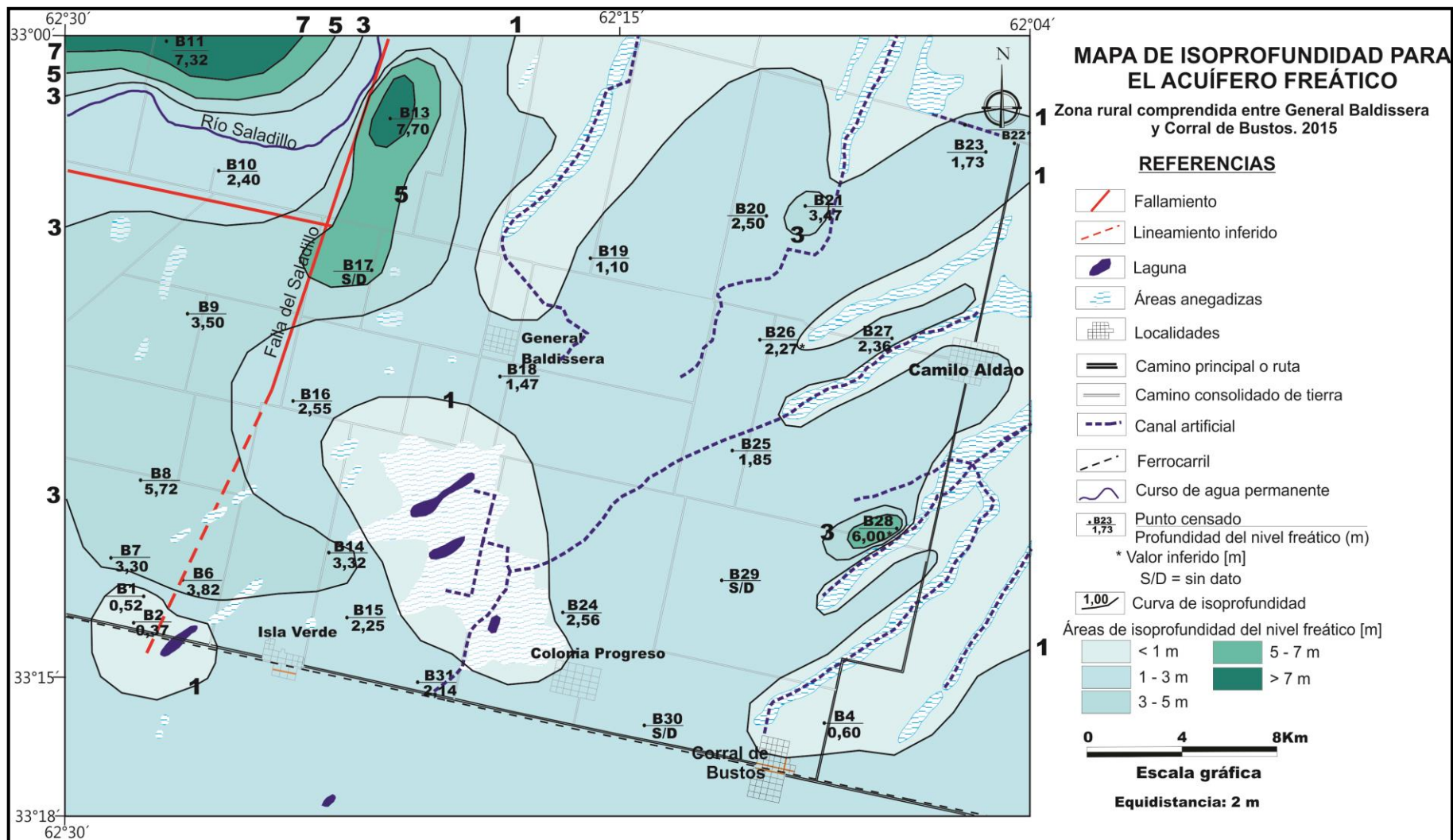


Figura 7.8. Mapa de isoprofundidad del nivel freático.

7.2.2. SISTEMA ACUÍFERO CONFINADO EN LA ZONA ESTUDIADA

Durante el censo hidrogeológico se pudo recabar información en una sola perforación que capta agua del sistema acuífero confinado SAC D (Fig. 7.9). Se trata de una perforación de 300 m de profundidad y de tipo semisurgente, con nivel piezométrico que alcanzó los 3,9 m por debajo de la superficie del terreno (Tabla 14.2.). De esta perforación el Municipio de Corral de Bustos extrae aproximadamente 80 m³/h que utiliza para el regado de calles y del parque municipal.

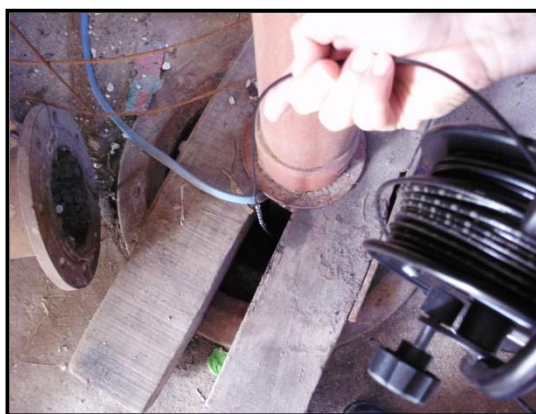
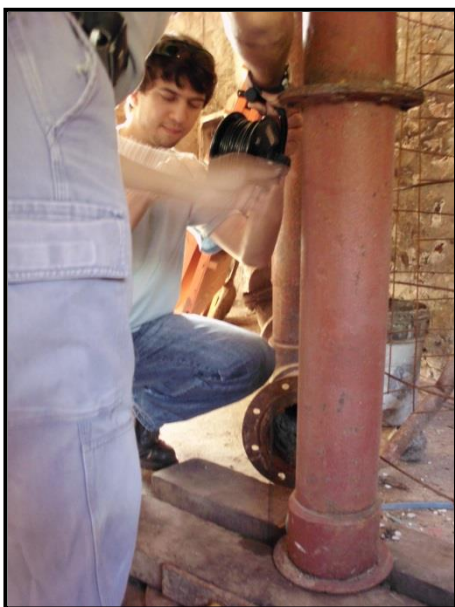


Figura 7.9. Perforación semisurgente que capta agua del sistema acuífero confinado SAC D. Municipio de Corral de Bustos.

Tabla 7.2. Información recogida, durante el censo de pozos, en sistemas acuífero confinado

Sistema	SAC D
Perforación	AC2
Profundidad perforación [m]	300
Altura nivel piezométrico estático [m]	(-)3,9
Cota boca pozo [m]	120
Potencial hidráulico [m]	116,1
Caudal de explotación [m ³ /h]	80
CE [μs/cm]	4900
pH	9
Temperatura surgencia en boca de pozo [°C]	22
OD [mg/L]	5,66

Capítulo 8

HIDROGEOQUÍMICA

8.1. Introducción

El conocimiento de la concentración de las distintas especies iónicas que se encuentran presentes en el agua es de mucha importancia ya que condiciona el uso al cual el agua será destinada, ya sea para consumo humano, para uso ganadero o para riego. Además, porque permite conocer las distintas reacciones químicas que tienen lugar dentro del sistema acuífero, y relacionar a su vez las implicancias de las alteraciones hidrodinámicas, geológicas y antrópicas.

Los iones que se encuentran disueltos en el agua subterránea se los agrupa en iones mayoritarios (carbonatos-bicarbonatos, sulfatos, cloruros, calcio magnesio, sodio y potasio) con una concentración en torno al 99% respecto al contenido iónico total y que se encuentran presentes siempre; iones minoritarios los cuales representan una concentración inferior al 1% (hierro, nitrito, nitrato, flúor, aluminio, sílice, litio, fosfato, etc.); y los trazas, encontrándose en un porcentaje menor al 0,1 % como es el caso del arsénico

8.2. HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL

Al Sur de Córdoba, se observa una evolución geoquímica normal del agua del **acuífero libre**, dada por un aumento progresivo en el contenido salino y un cambio del carácter geoquímico, en la dirección del flujo de circulación regional (Noroeste-Sureste) (Fig. 8.1). De este modo, se pasa gradualmente de aguas dulces (SDT < 350 mg/L) y bicarbonatadas cálcicas y/o sódicas (en el pedemonte) a aguas saladas (SDT > 6.000 mg/L, incluso de hasta 15.000 mg/L o más) y cloruradas sódicas hacia el Sur y Este provincial (Blarasin *et al.*, 2000; Blarasin, 2003; Bécher Quiñodóz, 2012; Blarasin *et al.*, 2014). Los valores más bajos de salinidad y el carácter geoquímico bicarbonatado cálcico, se observan en el área pedemontana y en el ámbito de la faja fluvial del río Cuarto, entre la ciudad homónima y la localidad de Reducción, aspecto que tiene un fuerte sello litológico pues se trata de un acuífero de materiales gruesos donde el agua circula a mayor velocidad por lo que el menor tiempo en contacto agua-sedimento

minimiza la salinización y el cambio de carácter geoquímico. En el resto del Sur provincial se observa el aumento en salinidad mencionado anteriormente y una dominancia del ion sodio disuelto, debido a que el agua circula por materiales finos, lo que facilita los procesos de intercambio catiónico, que produce retención de calcio por parte de los sedimentos y liberación del sodio al agua circulante. Además, en estos sectores se observa un notorio condicionamiento de las formas del relieve (particularmente la estructura en bloques que presenta la región), y la litología. Por ejemplo, la presencia de lomas pronunciadas o de dunas removilizadas que genera lentes de agua más dulce en la parte superior del acuífero, producto de la recarga preferencial a partir de lluvias. Merecen citarse al respecto, las zonas medanosas de Levalle, Vicuña Mackena, Jovita, entre otros (Blarasin, 2003; Blarasin *et al.*, 2014).

Es de destacar además, en el **acuífero libre** del Sur de Córdoba, la presencia en exceso de fluoruros y arsénico en el agua, lo cual es un problema recurrente en la región. El fluoruro aparece en tenores que llegan hasta 40 mg/L y el arsénico alcanza

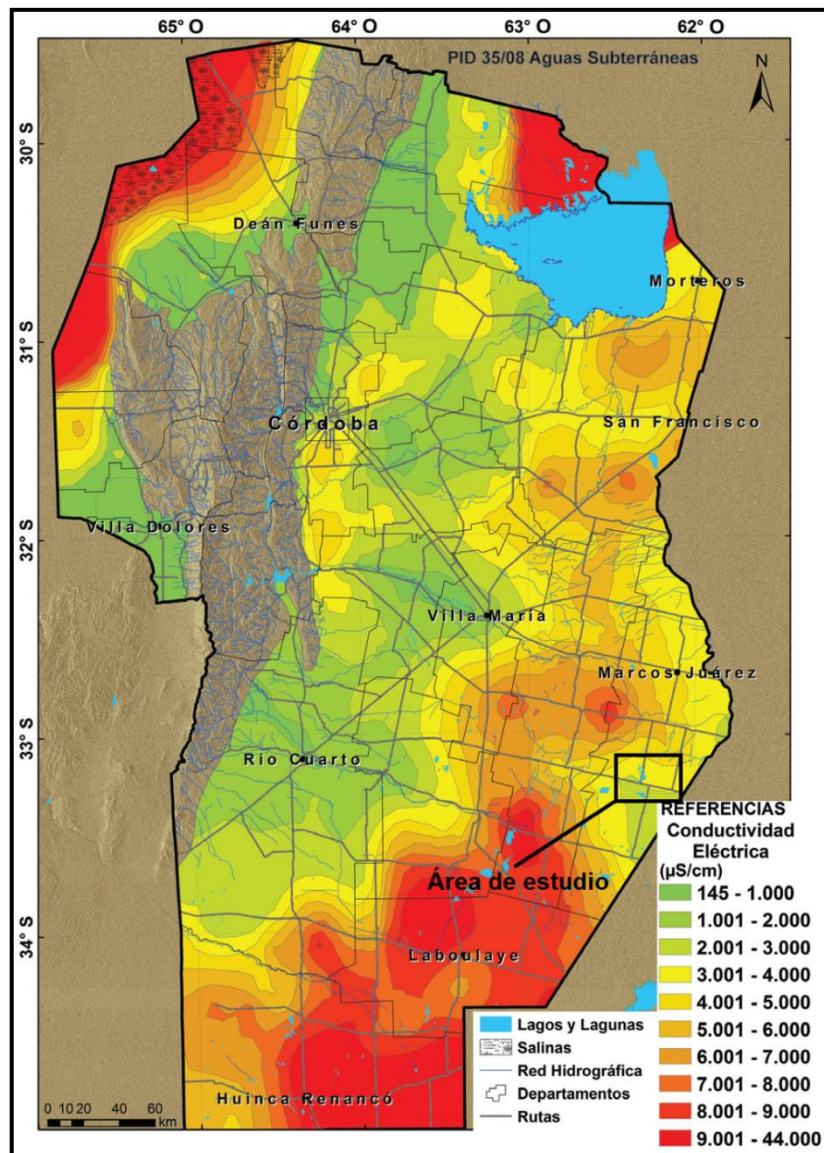


Figura 8.1. Distribución de la Conductividad Eléctrica del agua del acuífero libre de la provincia de Córdoba. Fuente: Blarasin *et al.*, 2014.

hasta los 2.400 mg/L hacia el Sur de la provincia (Bécher Quinodóz, 2012; Blarasin *et al.*, 2014). La presencia en cantidades tan elevadas en el acuífero se debe a las litologías predominantemente loésicas, especialmente con alto porcentaje de vidrio volcánico

(Nicolliet *et al.*, 1985; Smedley *et al.*, 2000; Blarasin *et al.*, 2014; entre otros). Los más altos valores, en general, están asociados a las aguas más dulces, bicarbonatadas sódicas y a los pH más elevados (Cabrera y Blarasin, 2001; Blarasin, 2003; Blarasin *et al.*, 2014). Se consideran como los mecanismos más probables de liberación de fluoruros al agua, la disolución del vidrio volcánico y en menor grado fluorita microcristalina (en biotita) e intercambio aniónico a partir de fluorapatita (Villalba, 1999; Blarasin, 2003; Blarasin *et al.*, 2014). El arsénico procedería de la disolución del vidrio volcánico y de la desorción a partir de los óxidos de hierro (Blarasin, 2003; Blarasin *et al.*, 2014).

También se destaca en el agua del **acuífero libre** la presencia de nitratos debido a procesos de contaminación derivados de distintas actividades antrópicas. De este modo, en general, valores más bajos (variables pero en el orden de 0 a 100 mg/L) se encuentran asociados al uso extendido de fertilizantes, mientras que los más altos tenores (de hasta 600 mg/L), en muchos casos asociados a un aumento considerable de CE y Cl⁻, se vinculan a diversas fuentes de contaminación puntual, fundamentalmente ganadera (feedlot, tambos, corrales) y urbanas (sistemas de saneamiento in situ, basurales, etc.) (Blarasin *et al.*, 2014).

Los **sistemas confinados**, definidos anteriormente, como someros (entre los 100 y 230 m) y profundos (entre 250 y 400 m) poseen calidades de agua muy variables (Fig. 8.2 y Fig.8.3), con un fuerte sello estructural y litológico (Maldonado, 2014; Blarasin *et al.*, 2014).

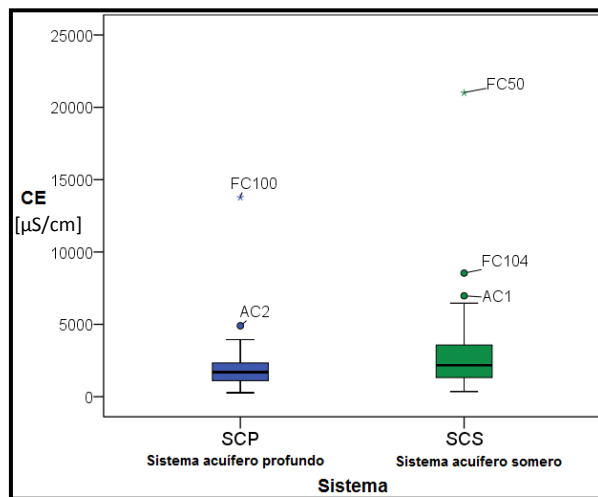


Figura 8.2. Diagrama de caja que muestra la diferencia de CE para los sistemas confinados al Sur de Córdoba. (Extraído de Maldonado 2013).

De este modo, el **sistema acuífero confinado somero** es el que posee, en general, las aguas de mayor salinidad, con CE promedio de 3.400 µS/cm. Los valores más bajos de este sistema somero, del orden de 360 µS/cm a 860 µS/cm, tal lo encontrado en el área del abanico del río seco, Berrotaran, Holmberg, Alejandro Roca, se vinculan con paleocauces asociados a un sistema fluvial de alta energía como el río Cuarto, en donde los sedimentos predominantes que constituyen estos acuíferos están conformados por arenas-gravosas altamente seleccionadas (Poveda, 2014; Blarasin *et al.*, 2014).

al., 2014). Los valores más elevados de salinidad de este sistema somero, se presentan hacia el Este, en donde alcanzan valores del orden de 4.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (próximo a Canals) y de hasta 6.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Inrriville-AC1), y hacia el Sur provincial, con CE del orden de 6.450 – 8.550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ruiz Díaz de Guzmán, Sur de la Cautiva – FC104) y de hasta 21.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (al Sur de Mattaldi) (Chiappero, 2013; Maldonado, 2014; Bécher Quinodóz, 2014; Blarasin *et al.*, 2014).

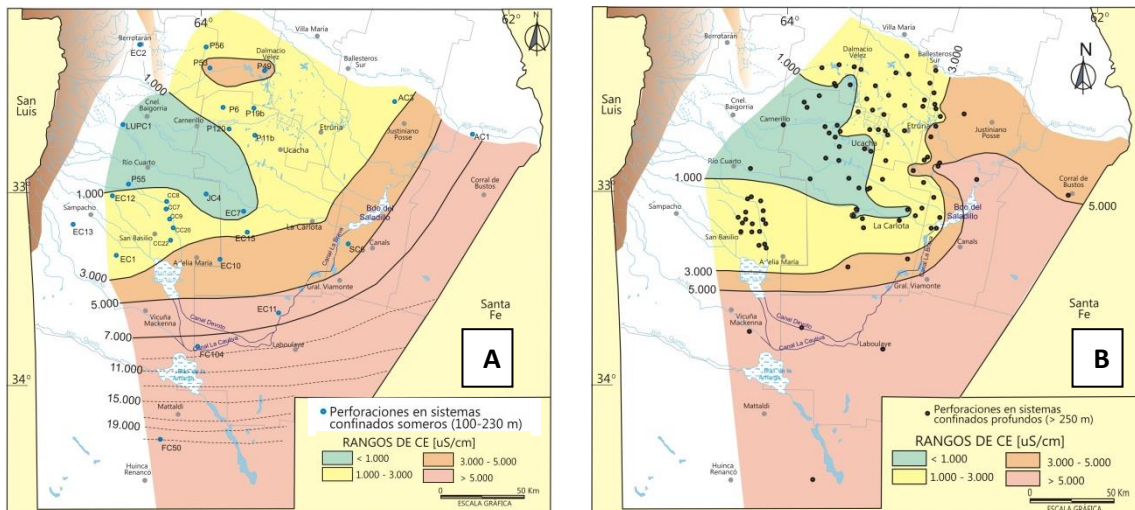


Figura 8.3. Mapa de distribución de Conductividad Eléctrica (CE) de los sistemas acuíferos confinados del Sur de Córdoba. A) Sistema acuíferos confinados someros (SAC A1 y B). B) Sistemas acuíferos confinados profundos (SAC A2, C y D) (Extraído de Blarasin *et al.*, 2014).

El **sistema acuífero confinado profundo** posee, en general, aguas más dulces (CE del orden de 1.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Las CE más bajas (< 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) de este sistema profundo se presentan también asociados a sedimentos continentales fluviales de alta energía y al bloque estructural deprimido del Tigre Muerto, vinculados al denominado SAC A2 (Cabrera, 2009; Maldonado, 2014; Blarasin *et al.*, 2014). Las CE más elevadas se alcanza hacia el Este, con valores del orden de 3.000 – 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Corral de Bustos-AC2), y hacia el Sur, donde se alcanzan valores máximos de hasta 13.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Gral. Soler- FC100), vinculados a sedimentos marinos de la Formación Paraná (SAC C) y a la Formación Chaco (SAC D).

Otras características hidroquímicas y los valores de As y F en las capas confinadas pueden consultarse en Maldonado (2014)

8.3. HIDROGEOLOGÍA LOCAL

8.3.1. GEOQUÍMICA DEL ACUÍFERO LIBRE

Para establecer un patrón respecto a los valores de concentraciones medios, mínimas y máximas de los distintos iones presentes en el agua subterránea del área de estudio, como así también de pH, CE y SDT, se efectuó un análisis estadístico univariado sobre los análisis físico-químicos de las 25 muestras de aguas subterráneas extraídas del acuífero libre (Tabla 8.1). Los resultados de los análisis físico-químicos completos se presentan en el anexo III.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
pH	25	7,26	8,33	7,72	0,26
CE (µS/cm)	25	1073,00	6990,00	3512,48	1592,22
SDT (mg/L)	25	751,00	4893,00	2459,00	1114,56
CO ₃ ⁻ (mg/L)	25	0,00	0,00	0,00	0,00
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	25	587,50	1300,00	836,65	163,02
SO ₄ ⁻ (mg/L)	25	31,74	1883,14	532,96	549,29
Cl ⁻ (mg/L)	25	5,71	1034,29	391,14	295,53
Na ⁺ (mg/L)	25	105,16	1666,33	807,32	413,57
K ⁺ (mg/L)	25	21,98	64,47	41,54	11,10
Ca ⁺² (mg/L)	25	9,20	133,60	45,74	32,97
Mg ⁺² (mg/L)	25	10,00	85,85	32,21	20,38
As(µg/L)	25	8,00	900,00	172,00	178,70
F ⁻ (mg/L)	25	0,20	3,20	1,35	0,76
NO ₃ ⁻ (mg/L)	25	2,00	700,00	154,52	156,77

Tabla 8.1. Tratamiento estadístico univariado de las determinaciones físico-químicas de las muestras de agua subterráneas del acuífero libre para el área de estudio.

De dicho tratamiento (Tabla 8.1), se observa que la conductividad eléctrica toma un valor promedio de 3.512,48 µS/cm, con valor máximo de 6.990 µS/cm y un mínimo de 1.070 µS/cm.

De acuerdo al criterio utilizado por Custodio y Llamas (1983), para la clasificación de las aguas basadas en su contenido de sales se observa que el 62% de las muestras de aguas analizadas corresponden a **aguas salobres** (2 – 5 g/L), mientras que el 38 % restante son **aguas dulces** (0 – 2 g/L).

Para un mejor análisis de la conductividad eléctrica (CE) del agua subterránea del acuífero libre se confeccionó el mapa de su distribución en el área de estudio (Fig. 8.5). En él se observa que la distribución de la CE del agua para el acuífero libre es irregular, quedando un patrón geoquímico complejo de interpretar. En general, se observa una CE entre 2.000 y 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para toda la zona, encontrándose áreas puntuales en donde la CE varía bruscamente hasta valores más elevados, mayores a 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y que alcanzan en algunos casos casi 7.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Así se observa que la CE varía en gran magnitud para distancias reducidas, mientras que en otros lugares cambia muy lentamente en grandes distancias. Los valores moderado-altos de CE que dominan en esta planicie (2.000-4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), se vinculan a la posición que en el marco regional ocupa la zona de estudio. Así, al ser una zona de conducción- descarga regional que en general es receptora del flujo de circulación regional que viene circulando por materiales predominantemente arenosos muy finos-limosos desde sectores pedemontanos, se favorecen los tiempos de contacto agua-sedimento y consecuentemente el aumento de la salinidad del agua. Los valores de CE más altos, mayores a 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se deben a la presencia de extensas depresiones, como es el caso de la unidad geomorfológica "*Bajos con hidrohalomorfismo*", mal drenadas en donde la salinidad aumenta por procesos de evaporación que concentran sales en aquellos lugares en donde el nivel freático se encuentra relativamente próximo a la superficie, y eventualmente aflorante. También algunos valores altos de CE, atendiendo a la situación de uso del territorio y el análisis químico (por ejemplo contenido en NO_3^-) puede asignarse a llegada de contaminantes. Dentro de la planicie con cañadas disipadas los materiales son limosos – arenosos muy finos en algunos casos cementados con carbonato de calcio, dichos materiales provocan un mayor tiempo de contacto del agua haciendo que la salinidad aumente. En casos puntuales como ocurre en las muestra B26 y B21, la CE aumenta debido a procesos de contaminación, destacándose una concentración muy elevada de nitratos y sulfatos. Los valores muy bajos de conductividad eléctrica, menores a 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se asocian a recargas locales del acuífero por influencia de las divisorias de aguas subterráneas asociadas a lomas más importantes (ver hidrodinámica del acuífero libre). También hay recarga preferencial a partir de algunas lagunas que colectan agua de lluvia en los períodos más húmedos y las mantienen un tiempo suficiente para recargar al acuífero, como se trató en el capítulo de la hidrología superficial, y como puede apreciarse en proximidades de la laguna (A1) al Oeste de la localidad de Isla Verde.

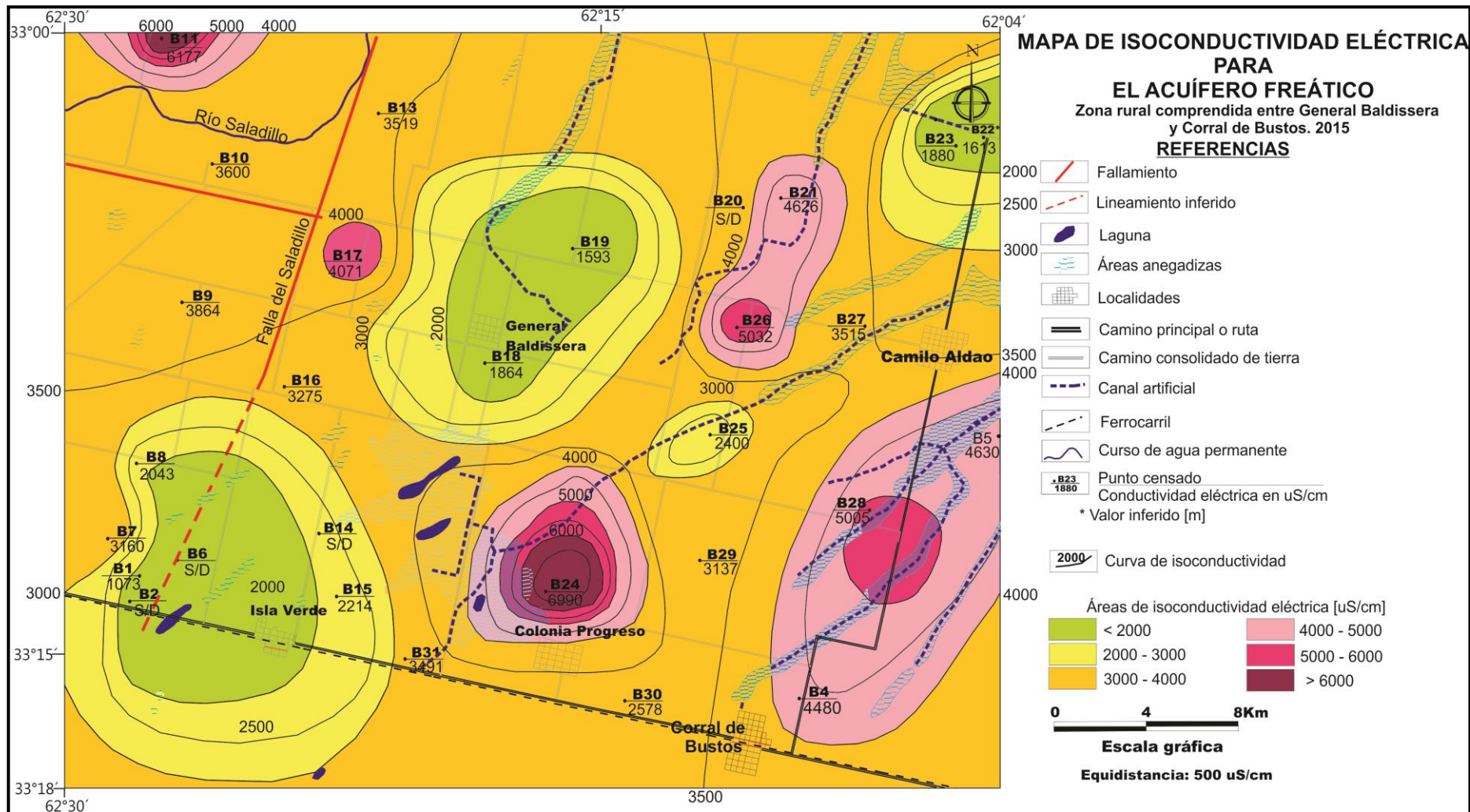


Figura 8.5. Mapa de isoconductividad eléctrica del acuífero freático

Para la clasificación geoquímica de las muestras de aguas subterráneas, se utilizó el diagrama de Piper – Hill (Fig.8.6), en el cual se representan los iones mayoritarios en meq/L expresados porcentualmente. Respecto a las concentraciones aniónicas esta clasificación muestra que un 54% son aguas de tipo cloruradas y/o sulfatadas y un 46% son aguas bicarbonatadas. Respecto a los cationes el 96 % son aguas sódicas y un 4 % son cálcicas y/o magnésicas. Con el mismo criterio porcentual, pero respetando cada ion en forma individual en la nominación del tipo geoquímico, se usó también la clasificación geoquímica de Custodio (1993) según los iones dominantes donde se nombra al grupo por el anión o el catión que sobrepasa el 50% de sus sumas respectivas, y cuando no supera este porcentaje se nombran los dos más abundantes. En este caso, se observa que el 40 % de las muestras de aguas subterráneas corresponden a aguas **bicarbonatadas sódicas**, el resto de las muestras se clasificaron en: 20 % de **aguas bicarbonatadas – cloruradas sódicas**, otro 20 % son **sulfatadas – cloruradas sódicas**, mientras que el resto de las muestras son **bicarbonatadas – sulfatadas sódicas** (4%), **bicarbonatada magnésica – cálcica** (4%), **sulfatada sódica** (4%), **clorurada – sulfatada sódica** (4%) y **clorurada – bicarbonatada sódica** (4%).

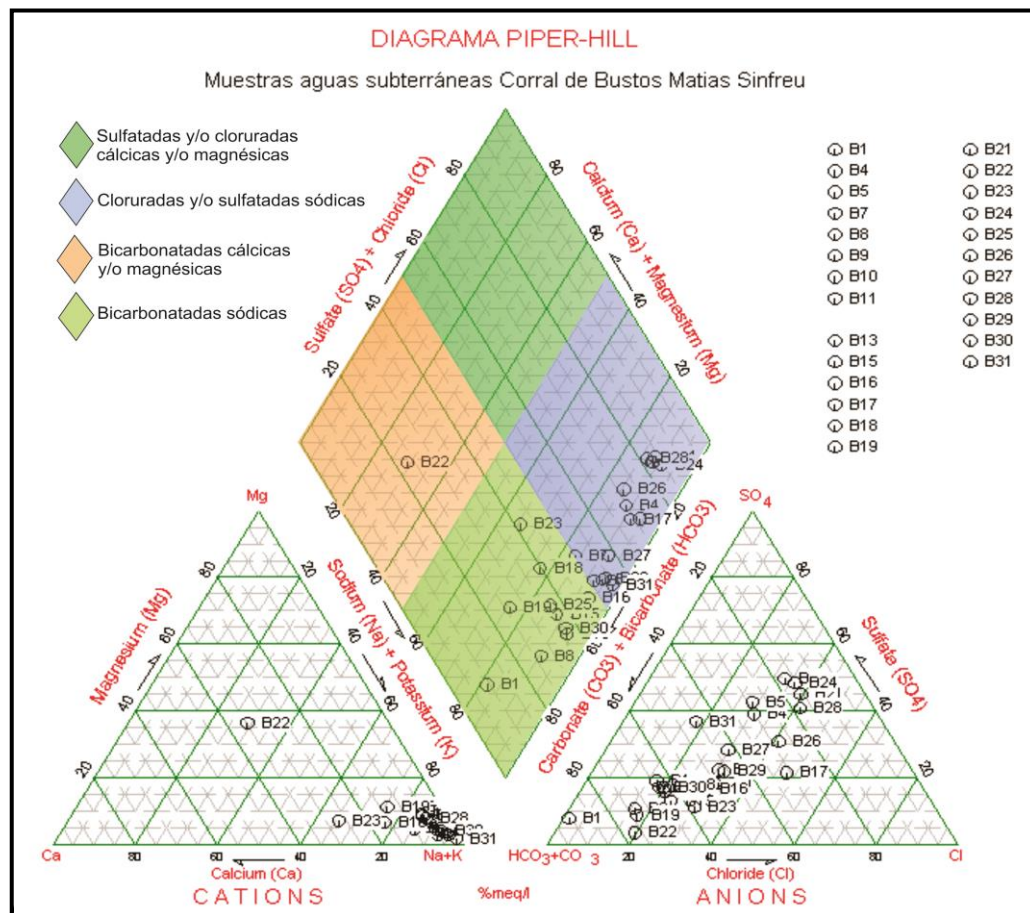


Figura 8.6. Diagrama de Piper Hill de clasificación geoquímica de aguas subterráneas para la zona Gral. Baldissera-Corral de Bustos

Además, las clasificaciones geoquímicas realizadas en las muestras de aguas subterráneas se encuentran plasmadas en el mapa de diagramas de Stiff (Fig.8.7), sobre el cual se representan también las muestras de aguas superficiales, interpretadas en el capítulo de hidrología superficial. En dicho mapa, se representa la variación espacial de la composición química del agua.

Al comparar la CE con la variación espacial de la composición geoquímica de las aguas subterráneas se observa que en las áreas con bajos valores de CE, y por consiguiente con bajos valores de salinidad se encuentran las aguas bicarbonatadas, mientras que en las áreas con los mayores valores de CE, es decir con alta salinidad, se encuentran las aguas más evolucionadas de tipo sulfatadas y/o cloruradas

Para poder interpretar la variabilidad de distribución del tipo geoquímico del agua en el acuífero es de importancia analizar los diversos iones y los factores actuantes. En el caso de las especies del carbono bajo las formas de carbonato y bicarbonato, su presencia se encuentra estrictamente ligada a determinados valores de pH y no se oxidan ni se reducen en aguas naturales. Tienen facilidad para precipitar en forma de carbonato de calcio (CaCO_3) por poseer valores muy bajos de su constante de producto de solubilidad (K_{ps}) siendo iones muy poco solubles. Su concentración en el agua se debe a procesos de disolución e hidrólisis de los carbonatos por parte del agua de lluvia.

Por otro lado, el ion sulfato es una especie muy estable, precipita químicamente en aguas naturales con mayor dificultad haciéndolo especialmente cuando existen procesos de evaporación y tiende a formar sales moderadamente solubles a muy solubles. Procede naturalmente de la disolución de sales sulfatadas, como es el caso de yeso y anhidrita que pudieran encontrarse en áreas de hidrohalmorfismo y también del aporte del agua de lluvia. Es importante mencionar que el sulfato puede ser incorporado al agua subterránea del acuífero libre por el hombre mediante el uso de fertilizantes, como por ejemplo el empleo de sulfato de amonio.

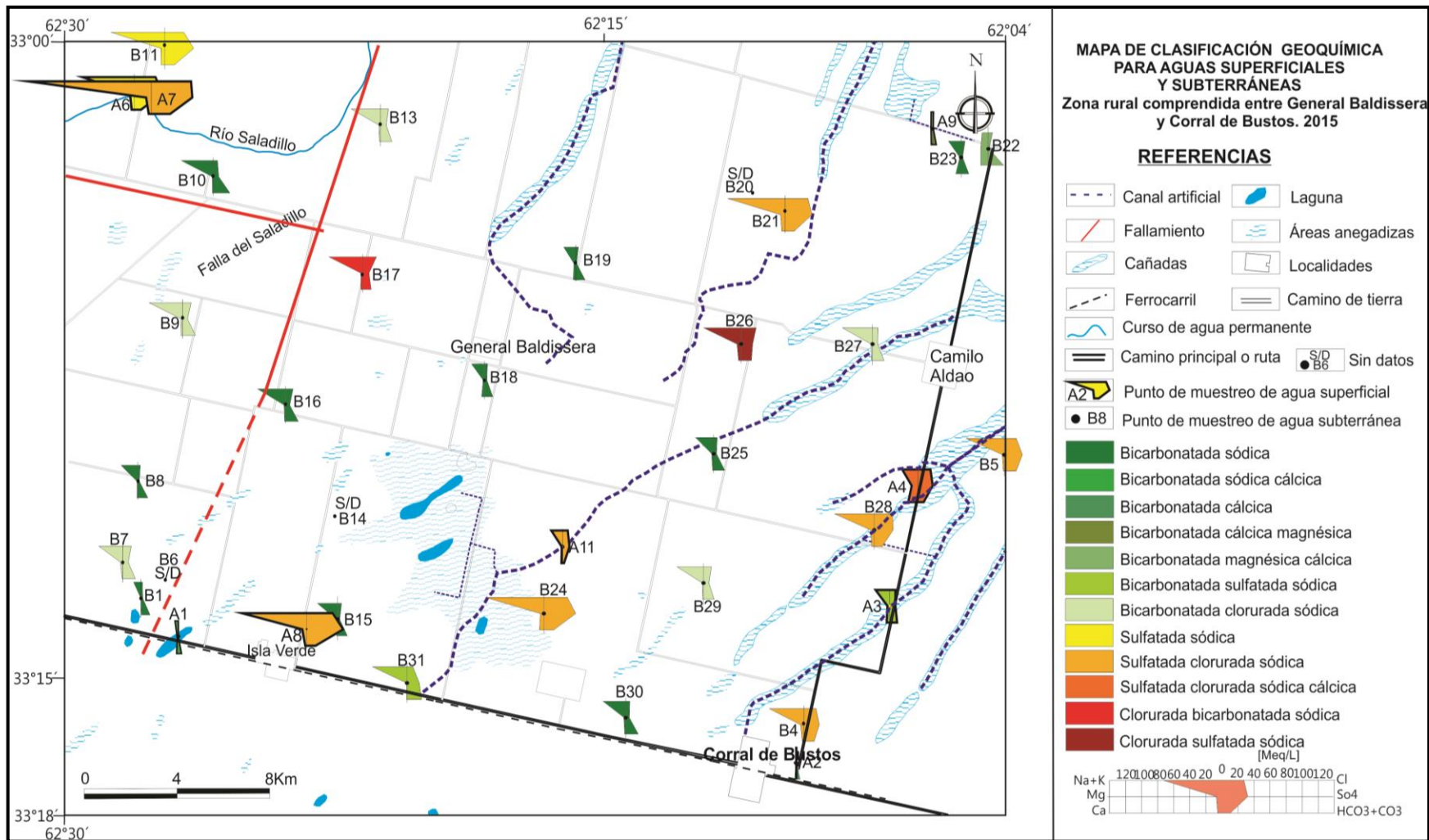


Figura 8.7. Mapa geoquímico con diagramas de Stiff para el sistema acuífero libre

En cuanto al anión cloruro, su presencia en el agua subterránea se explicaría por el aporte de agua de lluvias como ocurre en la región (Blarasin, 2003; Cabrera 2009; Matteoda, 2012), se trata de un ion muy estable en solución y muy difícilmente precipita ya que posee valores de K_{ps} muy elevados. En aguas naturales no se oxida ni se reduce, siendo así el ion conservativo por excelencia, además tampoco es adsorbido ni entra a formar parte de procesos bioquímicos. En superficie suele precipitar debido a que los procesos de evaporación son capaces de concentrar la solución salina que forma parte de lagunas. Por ello en la zona de estudio, debido que existe este proceso de concentración salina por evaporación es común que se encuentre cloruro de sodio precipitado en épocas secas en las áreas anegables.

Respecto a los cationes mayoritarios como son el Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , se observa que de las 25 muestras de aguas subterráneas analizadas, 22 son sódicas, mientras que las otras 3 restantes son mixtas pero también abunda el ion sodio. El predominio del catión sodio del agua se debe a los procesos de intercambio catiónico (CIC) que tienen lugar en la fracción arcilla de los sedimentos, las mismas retienen el calcio en su estructura mineral y liberan el sodio al agua; y por los procesos de hidrólisis de minerales silicatados, como las plagioclasas.

Por lo expuesto anteriormente se tiene que el factor que más condiciona la distribución de la concentración de distintos iones es el relieve seguido en menor medida de intervenciones antrópicas asociadas a fuentes puntuales de contaminación.

8.3.1.1. Elementos minoritarios y trazas para el acuífero freático: Nitratos, Arsénico y Flúor

Es muy importante conocer las concentraciones de estos elementos en el agua subterránea debido a los efectos perjudiciales que tienen sobre la salud humana el hecho de que se encuentren en concentraciones elevadas o por encima de los límites de aptitud estipulados por la Secretaría de Recursos Hídricos (SRH) de la provincia de Córdoba. Respecto al arsénico y el flúor han sido muy estudiados en todo el mundo dado su incidencia en la salud humana. En la Llanura Chaco Pampeana ambos forman parte del llamado "fondo natural" (Blarasin *et al.*, 2003) de la composición química del agua subterránea y numerosos autores indican que su presencia está condicionada por factores naturales, fundamentalmente ligados a los componentes piroclásticos principales del loess, especialmente el vidrio volcánico (Nicolli *et al.*, 1985; Smedley *et al.*, 2000;

Cabrera y Blarasin 2001; entre otros). Por su parte, el Nitrato es considerado el típico indicador de contaminación a partir de sustancias procedentes de actividad humana.

8.3.1.1. a. Nitratos

La contaminación del agua subterránea por nitratos es el resultado del movimiento del N dentro de la zona no saturada, la existencia de procesos de transformación tanto en la zona no saturada como en la zona saturada, y el movimiento del nitrato con el agua subterránea (Canter, 1997). El problema con los nitratos se debe a que son contaminantes móviles en el agua subterránea que no son adsorbidos por los materiales del acuífero y no precipitan como un mineral, lo que permite que grandes cantidades permanezcan en el agua (Freeze y Cherry, 1997). La presencia de nitratos (NO_3^-), en el agua subterránea se debe a procesos de contaminación relacionados con el uso de fertilizantes nitrogenados como sulfato de amonio y nitrato de amonio, que utilizados en forma excesiva o inapropiadamente puede causar daños ambientales severos como la eutrofización en aguas superficiales y la contaminación subterránea (FAO, 1980; Moiser *et al.*, 2004). Estos iones no se encuentran naturalmente en agua en concentraciones que superen los 3 – 15 mg/L, considerados valores de fondo natural que proceden de la oxidación de materia orgánica del suelo (Blarasin, 2003; Matteoda *et al.*, 2007; Matteoda, 2012, Giuliano Albo, 2013), por lo tanto valores mayores están indicando contaminación. A su vez, altas concentraciones de nitratos se deben a causas puntuales como corrales de aves, criaderos de cerdos, feedlot, actividad ganadera bovina y pozos negros, entre otras. Los contenidos hallados dentro del área de estudio presentan un valor medio de 155 mg/L, siendo su valor mínimo de 2 mg/L y el valor máximo de 700 mg/L. Del total del

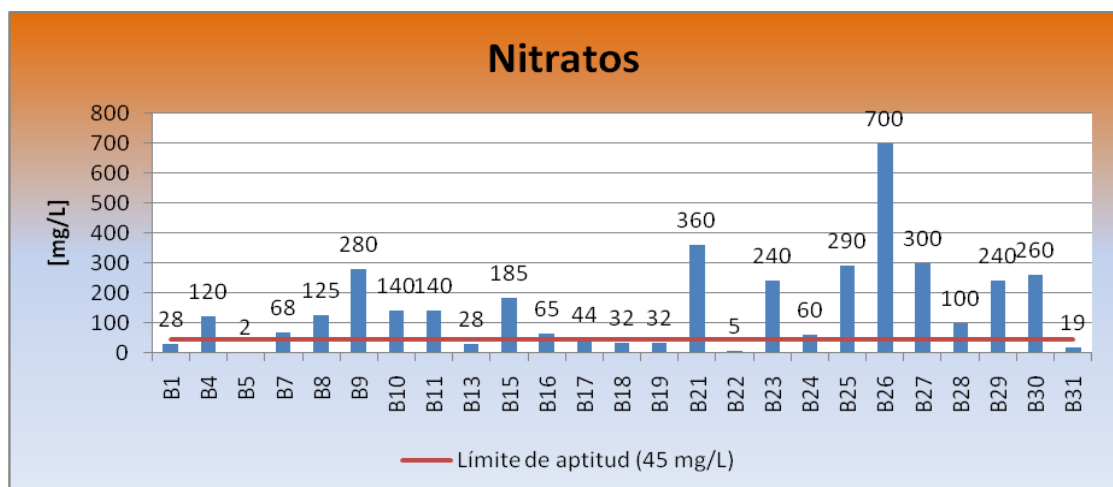


Figura 8.8. Representación de los valores de nitratos para zona rural comprendida entre General Baldissera y Corral de Bustos. 2015.

número de muestras analizadas el 68% superan los 45 mg/L que es el límite de aptitud para consumo humano establecido por la SRH de Córdoba (Fig. 8.8 y Fig.8.10). Estos elevados valores sugieren que el acuífero está siendo afectado por procesos de contaminación.

Atendiendo a la distribución de los valores de nitratos, que puede observarse en el diagrama de cajas de la figura 8.9, y al modo de vertido de los contaminantes del área, se estima que aquellos valores más bajos, se corresponderían con contaminación difusa procedente de fertilizantes. Por el contrario, los valores superiores, probablemente todos aquellos que se encuentran por encima de valores de 100 mg/L se vinculan a procesos de contaminación puntual por presencia de corrales de animales y feedlot que representan una alta carga de materia orgánica nitrogenada. Sin embargo solamente con estos datos no se puede conocer el origen de dichos niveles. Para el valor más elevado de 700 mg/L, que corresponde a la muestra B26 se observa la presencia de un criadero ovinos y bovinos próximo a la captación de agua, y además se hace siembra directa (Fig. 8.11 a). Para el caso de la muestra B27, con 300 mg/L, la captación se encuentra próxima a un corral de ganado vacuno y también se practica siembra directa (Fig. 8.11 b). En B25, con un tenor de 290 mg/L, hay un criadero de cerdos al lado de la captación (Fig. 8.11 c).

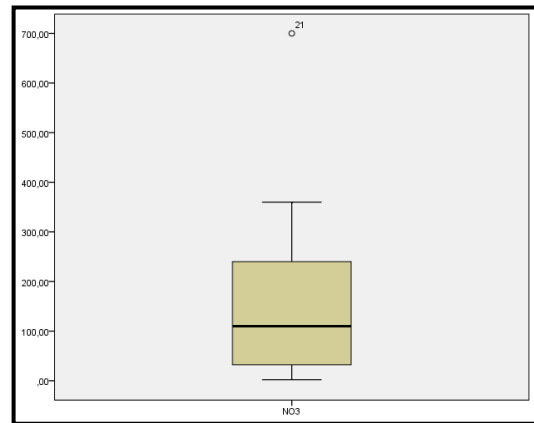


Figura 8.9. Diagrama de cajas donde se representa la concentración de nitratos

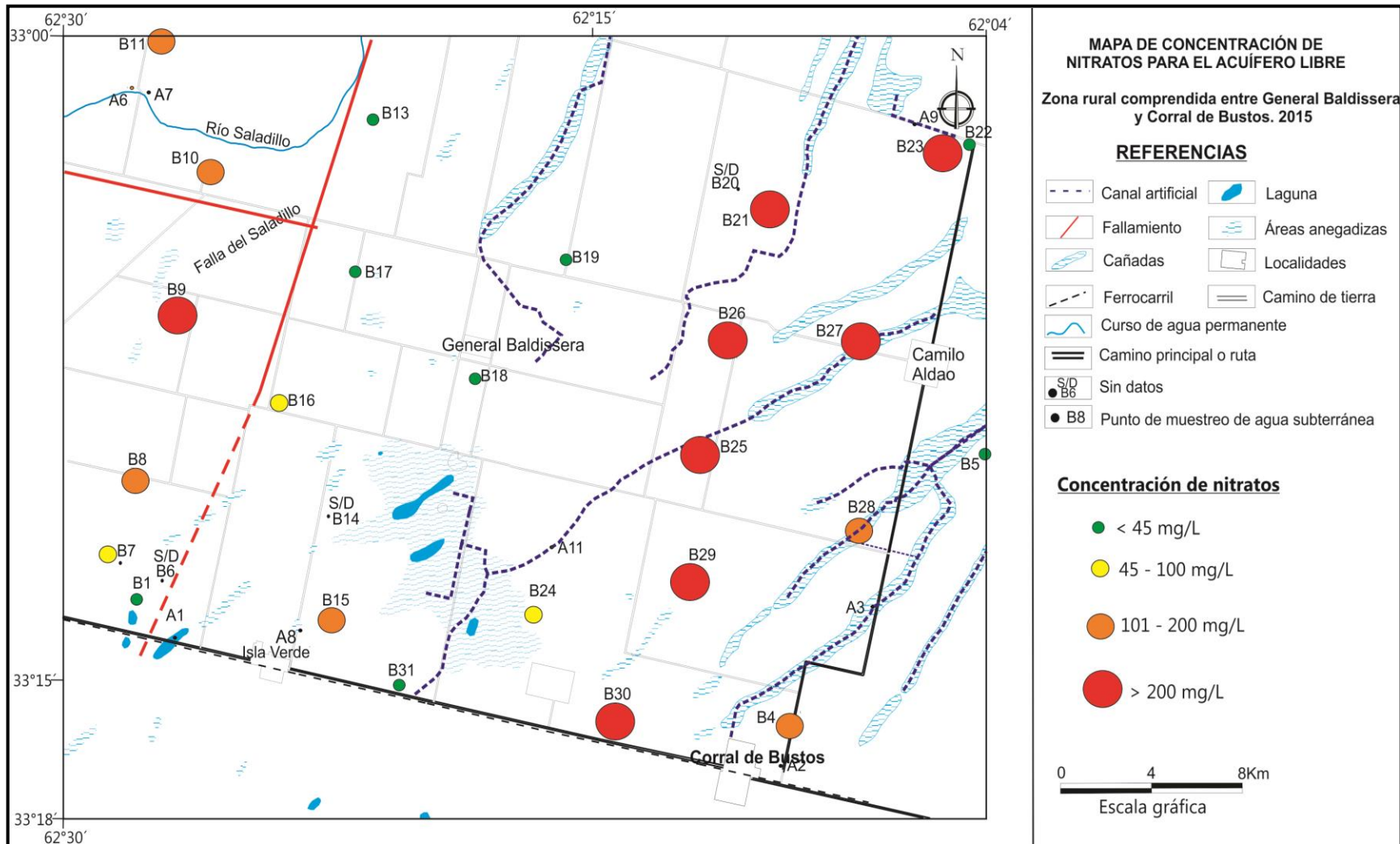


Figura 8.10. Mapa de distribución de concentración de nitratos para el acuífero libre. Zona rural comprendida entre General Baldissera y Corral de Bustos. 2015.



Figura 8.11. A) Criadero de bovinos y ovinos próximo a la captación. B) Corral de bovinos cerca de molino. C) Criadero de cerdos en medio de la captación de agua.

8.3.1.1. b. Arsénico

El As es un elemento que puede existir disuelto bajo los estados de oxidación 0, +3, +5 y menos comúnmente -3, sin embargo en las aguas naturales son más frecuentes los estados +3 (arsenitos) y + 5 (arseniatos). Las especies químicas más importantes son H_3AsO_3 , H_2AsO_4^- , HAsO_4^{2-} , altamente soluble y estable bajo un amplio rango de condiciones de Eh y pH. Así, bajo condiciones oxidantes y el rango de pH de muchas aguas naturales, dominan arseniatos y en ambientes reductores, arsenitos. La presencia del As disuelto depende principalmente de la disponibilidad de As de los materiales del acuífero (aunque podría ser introducido por contaminación), de los procesos de removilización/retención en la interface sólido líquido y del transporte de As disuelto (Smedley, 1996). La movilidad del As está fuertemente restringida por la adsorción sobre $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y $\text{Al}(\text{OH})_3$, siendo la forma arseniato más fuertemente sorbida que la forma arsenito. Según Smedley (1996) y Stumm y Morgan (1996), la desorción de As (como arseniato) de las superficies de óxidos de hierro se favorece en pH altos debido al cambio en la carga neta superficial del óxido de positivo a negativo a medida que aumenta el pH por encima del punto de carga cero (7,7 para la goethita u 8,0 para ferrihidrita). Según Nicolli et al. (1985, 1989, 2005 y 2007) la fuente de As de los sedimentos en la Llanura Chaco-Pampeana sería el vidrio volcánico contenido en el loess que en condiciones de pH elevados puede disolverse y aportar arsénico, flúor, vanadio, entre otros.

Blarasin et al. (2014) muestran que los bajos tenores de As, menores a 30 $\mu\text{g/L}$, se asocian a acuíferos donde el agua circula más rápidamente (zonas pedemontanas) y por lo tanto, disminuye la interacción con la fase sólida (minerales) y la posibilidad que se cargue en iones. Luego, y en el sentido del flujo, cuando los espesores de sedimentos finos fluviales y especialmente eólicos de tipo loésicos se hacen más abundantes,

aumentan los tenores de As disuelto hasta alcanzar valores de más de 30 y hasta 500 µg/L. En las áreas de más bajas velocidades de circulación de agua subterránea, zonas deprimidas o planicies arenosas del Sur provincial, se pueden superar los 2.000 µg/L (Alejo Ledesma, Del Campillo).

El monitoreo del As en el agua subterránea es muy importante ya que el consumo prolongado de agua con altos tenores provoca Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE). La SRH de Córdoba, sostiene que el límite para el consumo humano de 10 µg/L, fijado por el CAA, se trata de un límite ideal y sostiene que hasta tanto no se tengan estudios epidemiológicos amplios y completos (Res. 074/06), se mantendrá como un límite aceptable el de 50 µg/L, límite utilizado en la presente Tesis de Licenciatura, incluso la SRH fija como límite tolerable el de 100 µg/L.

En la zona de estudio, el As se encuentra en general en valores altos, entre 8 y 900 µg/L, siendo su media de 172 µg/L (Tablas 8.1 y Tabla III.3 anexo III). Del total de las muestras analizadas solamente 4 (B7, B18, B22 y B23) se encuentran por debajo del límite admitido por SRH para Córdoba mientras que el resto de las muestras supera ampliamente dicho límite, tal es el caso, por ejemplo, de las muestras B31 con 900 µg/L, B13 con 420 µg/L, entre otras (Figs. 8.12 y 8.16).

Al efectuar gráficos de relaciones pares entre elementos (Fig. 8.13), se observa una moderada-alta correlación entre As – F, ($R = 0,795$; $p = 0,000$), lo que podría indicar que estos dos iones tienen un origen común que deriven de materiales loésicos. En los demás gráficos se observa que el grado de correlación es moderado a moderado-bajo siendo para As – pH ($R = 0,541$; $p = 0,005$) y para As – HCO_3^- ($R = 0,412$; $p = 0,0041$).

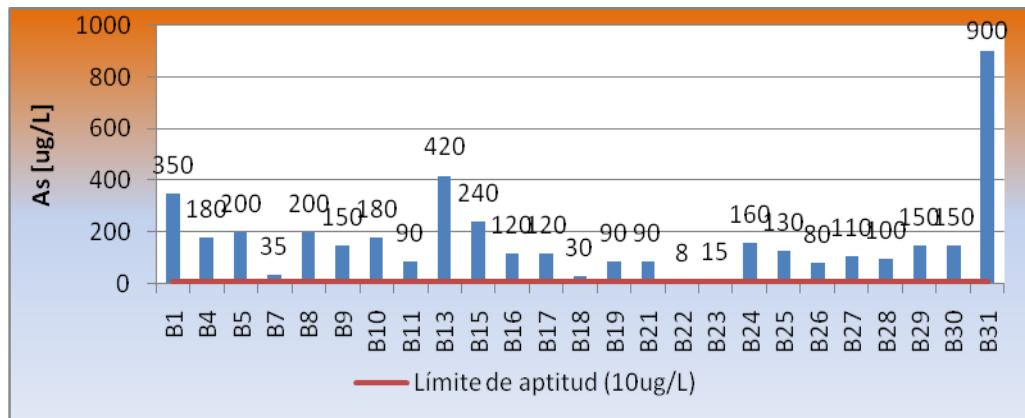


Figura 8.12. Valores de Arsénico para el acuífero libre. Zona rural entre General Baldissera y Corral de Bustos. 2015

Se observa en el área estudiada que los valores más bajos de As, menores a 100 µg/L, se asocian con las aguas más dulces y con predominio de bicarbonatos, especialmente vinculadas a las lomas divisorias de aguas (B19, B18, B7, B22 y B23), que como se ha visto anteriormente, actúan de áreas de recarga preferencial al acuífero, lo que permitiría el proceso de dilución por parte de aguas de lluvias, sin arsénico, en la parte más superficial del acuífero. Se destaca la correlación positiva moderada con pH que en general es reconocido por varios autores como una de los factores que influyen en la desorción del As o disolución de vidrios volcánicos. También se observan bajas concentraciones de As en sitios afectados por procesos de contaminación, tal el caso de los pozos B11, B21, B26 y B28, lo que podría enmascarar las correlaciones realizadas entre los pares iónicos seleccionados, tal el caso de As-HCO₃⁻, por ejemplo. Los valores

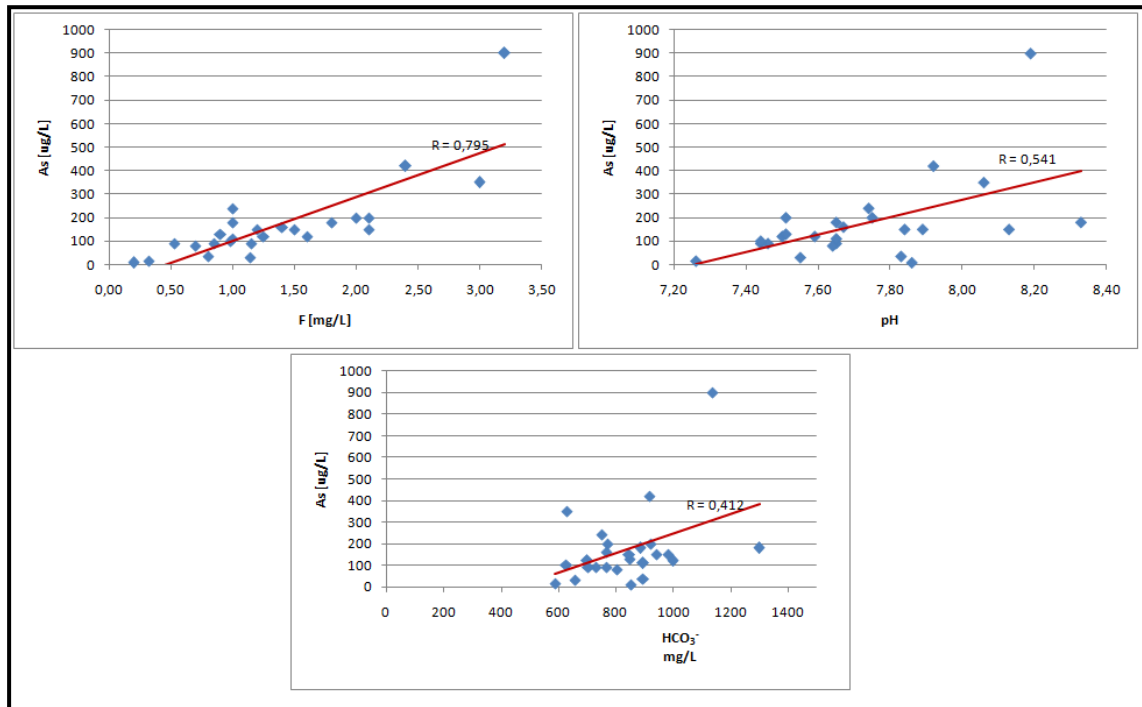


Figura.8.13. a) As – F; b) As – pH; c) As – HCO₃⁻

más altos de As, mayores a 200 µg/L, se vinculan a las áreas donde predominan materiales más finos y donde se dan los menores gradientes hidráulicos y velocidades de agua, tal como ocurre en las zonas de bajos hidrohalmórficos próximos a los pozos B1, B15 y B31.

Se concluye que el arsénico presente en el agua del acuífero libre se podría atribuir a la disolución del vidrio volcánico de los materiales predominantemente loésicos que conforman el acuífero (Nicolli *et al.*, 1997; Blarasin *et al.*, 2014 y a la desorción a partir de los óxidos de hierro. Este último proceso también puede modificar los procesos de

transporte. En general las altas concentraciones se asocian a la baja velocidad de circulación del agua subterránea de la región y a las condiciones geoquímicas explicadas.

8.3.1.1. c. Fluoruros

No existe una única y sencilla razón que explique la presencia y el comportamiento de fluoruros en aguas subterráneas. Sin embargo, es clara la vinculación entre la composición mineralógica de los sedimentos que conforman el acuífero y los tenores de F disueltos. De los minerales formadores de rocas, el flúor es el componente esencial solo en la fluorita (CaF_2) y topacio ($\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F},\text{OH})_2$), pero también se encuentra en minerales accesorios como la clorita (Na_3AlF_6) y apatita ($3\text{Ca}(\text{PO}_4)_2\text{Ca}(\text{F},\text{Cl}_2)$). También poseen F la flogopita, biotita, epidota y anfíboles (tremolita y hornblenda). En el agua subterránea de la Llanura Chaco-Pampeana, se citan como probables fuentes de este elemento principalmente la fluorita y fluorapatita, minerales muy comunes en los sedimentos loésicos y, en forma subordinada, a anfíboles, micas y piroxenos (Villalba 1999, Blarasin *et al.* 2005a). Saxena y Ahmed (2001) indican que condiciones alcalinas con pH entre 7,6 y 8,6 son favorables para la disolución del mineral fluorita.

Según Nicolli *et al.* (1997) y Viero *et al.* (2009), el F^- podría estar contenido en el vidrio volcánico el que podría disolverse, por ser una sustancia reactiva y meteorizable a altos pH. Vivona *et al.* (2007) mediante simulación geoquímica proponen además disolución de fluorapatita. Por otro lado, es de interés destacar que el Ca^{2+} disuelto es común en los acuíferos de la provincia dada la cantidad de CaCO_3 en los sedimentos (disperso en la masa, como nódulos o como calcretos), y establece una verdadera barrera para la movilidad de F con el que posee fuerte afinidad, ya que se produciría la precipitación del fluoruro de calcio en el propio acuífero. Por lo expuesto, es esperable la existencia de una importante correspondencia positiva de F con HCO_3^- y con Na^+ y buena correlación, pero negativa, de F con Ca^{2+} (Blarasin 2003, Cabrera 2009, Matteoda 2012 y Giuliano Albo 2013).

Para el Sur provincial, Blarasin *et al.* (2014), muestran que los contenidos de flúor en agua subterránea presentan una distribución similar a arsénico, en donde, las aguas más dulces de la zona serrana, pedemonte y fajas fluviales y abanicos proximales poseen los más bajos tenores (< 1,3 mg/L) mientras que en la llanura predominantemente loésicas, con bajas velocidades de circulación, aguas sódicas y altos valores de pH y de bicarbonatos, se observan los mayores tenores (2 y hasta 12 mg/L).

El límite de aptitud de fluoruros presentes en el agua para consumo humano es de 1,3 mg/L según la SRH de Córdoba y el CAA. La presencia de fluoruros, en concentraciones bajas (2-4 mg/L), en el agua de bebida genera principalmente problemas estéticos como fluorosis dental (EPA-Agencia de Protección Ambiental de los EEUU). Sin embargo, la ingesta de agua con tenores de fluoruros extremadamente elevados (> 10 mg/L) produce problemas de salud más graves como la fluorosis esquelética (Licata, 2010).

En la zona de estudio, las concentraciones halladas para fluoruros en el agua subterránea del acuífero libre se encuentran entre 0,2 mg/L y 3,20 mg/L, con un valor promedio del orden de 1,36 mg/L (Tabla 8.1 y Tabla III.3, anexo 3). Para totalidad de las muestras analizadas 10 muestras superan el valor normal para consumo humano, mientras que las otras 15 muestras presentan valores inferiores a 1,3 mg/L (Figs.8.14 y 8.15).

En cuanto a las relaciones entre pares de especies iónicas, se observa una moderada-alta correlación para las especies F – As ($R = 0,795$; $\rho = 0,000$), moderadas para F – pH ($R = 0,603$; $\rho = 0,001$) y una baja correlación para F – HCO_3^- ($R = 0,356$; $\rho = 0,081$) (Fig. 8.15). La correlación es negativa para F – Ca^{2+} ($R = - 0,710$; $\rho = 0,000$),

De todo lo expuesto anteriormente se puede asumir, que del mismo modo que para el arsénico, las variaciones observadas se encuentran vinculadas principalmente a los aspectos litológicos, geoquímicos e hidrológicos locales. Así, los valores más bajos de fluoruros, menores a 1,3 mg/L, se vinculan a las áreas divisorias de aguas (B19, B18, B7, B22 y B23). El valor de flúor más alto (3,2 mg/L) encontrado en la zona corresponde a la muestra B31 asociándose también a la presencia de materiales más finos y gradientes hidráulicos más bajos. Por otro lado, y del mismo modo que para As, se estima que el proceso de contaminación que muestran algunos pozos, tales B11, B21, B26, B27 y B28, podría enmascarar las correlaciones encontradas entre por ejemplo F- HCO_3^- y F - As. Se asume como la principal fuente de aporte de F⁻ al agua subterránea los materiales loésicos de la región, materiales de tipo eólicos puros o bien loess retransportado, que poseen alto porcentaje de vidrio volcánico, fluorapatita, anfíboles, piroxenos, entre otros, (Blarasin, 1984, Hernández, 1985) y se encuentran parcialmente cementados con CaCO_3 . De la alta correlación entre F – As, se asume que el mecanismo de liberación de F⁻ al agua sería la disolución de vidrios volcánicos que liberaría estos iones, en similar ambiente geoquímico (más altos pH, mas alcalinidad, mas sódica el agua). La correlación

negativa con Calcio permite interpretar la estabilidad de F en solución en aguas sódicas, de lo contrario, si se asociaran precipitaría FCa.

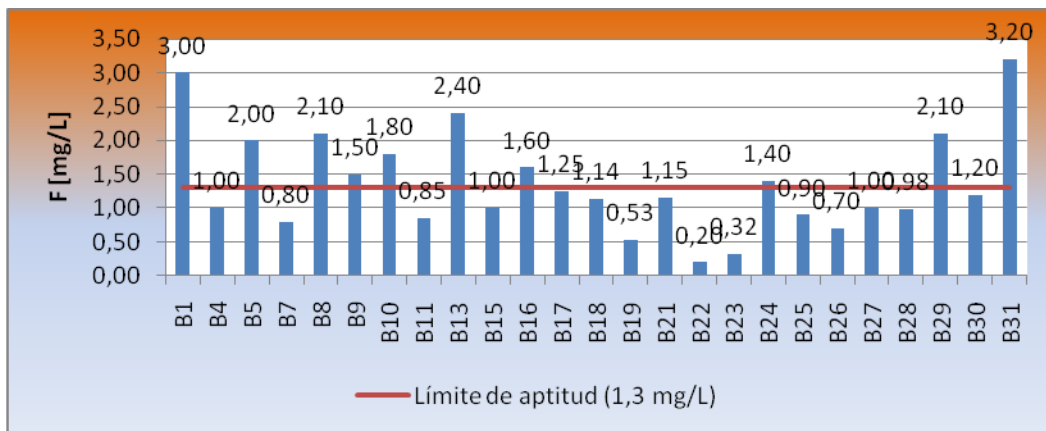


Figura 8.14. Valores de Flúor para el acuífero libre. Zona rural entre General Baldissera y Corral de Bustos. 2015.

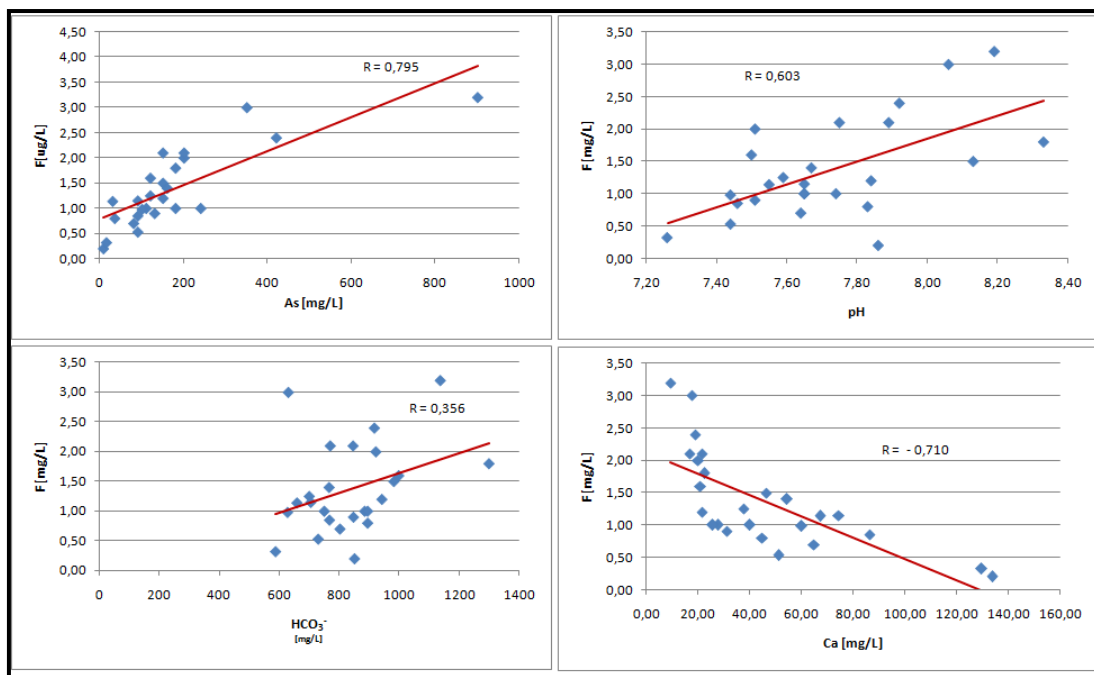


Figura 8.15. a) F – As; b) F – pH; c) F – HCO₃⁻ d) F – Ca²⁺

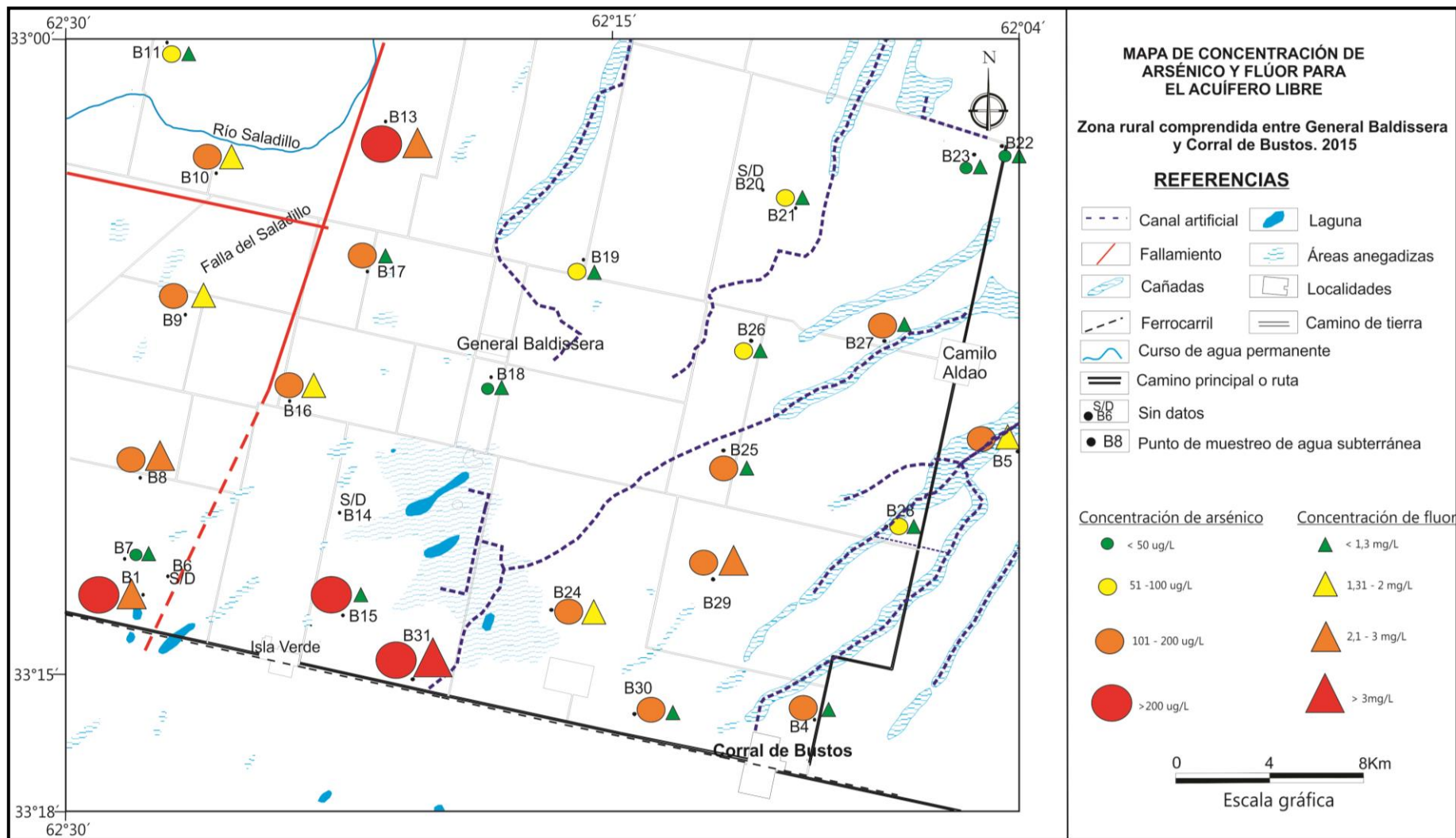


Figura 8.16. Mapa de distribución de la concentración de Arsénico y Flúor para el acuífero libre. Zona rural comprendida entre General Baldissera y Corral de Bustos. 2015.

8.3.1.2. Análisis estadístico multivariado

Se aplicó el **análisis de conglomerados (cluster) entre variables (Modo R)**, para lo cual los datos fueron estandarizados, debido a que las unidades de medida de las variables consideradas son diferentes. En este análisis fueron eliminadas del tratamiento las variables SDT, CO_3^{-2} . SDT porque depende muy fuertemente de la CE, por lo que obviamente quedarían asociadas en muy altos niveles de similitud, lo cual enmascararía las asociaciones resultantes entre ellas y las demás variables consideradas, así como entre las restantes variables. CO_3^{-2} por su fuerte dependencia del pH, aspecto también obvio si se piensa que uno es condición necesaria para que el otro pueda ser medido (aparecen disueltos $\text{pH} > 8,3$).

A partir de dicho análisis estadístico, se pueden visualizar dos grandes grupos (Fig. 8.17). Un grupo A que constituye el factor de mineralización del agua del acuífero condicionado por la posición de la zona en el marco regional, como ya fuera explicado. Este grupo está formado por un subgrupo A_1 el cual se encuentra constituido por un núcleo de CE, Na y Cl, al cual se le une el SO_4^{2-} a mayor distancia, y al que se le une el subgrupo A_2 de K y Mg al que se le une Ca más distante. Al núcleo formado por A_1 y A_2 se le une en una posición más distante el NO_3 lo que deja en evidencia que la salinidad natural del área se encuentra afectada, además, por procesos de contaminación. Por otro lado se observa un grupo B en el que se destaca la presencia de dos núcleos, uno fuertemente asociado, el de As y F y en menor medida el de pH y HCO_3^- ; que se une a As-F en una posición más distante, esto explica el típico comportamiento del As y F en el agua del acuífero freático de la llanura loésica cordobesa vinculado a aguas alcalinas y más altos pH.

El **análisis cluster entre observaciones - Modo Q** (Fig. 8.18), muestra dos grandes grupos, un grupo A que explica la distribución de salinidad de las aguas de la región en el que se pueden observar tres núcleos, núcleo B18 y B19; núcleo B1 y B8 y núcleo B22 y B23, que son las que presentan niveles de salinidad más bajos y que se asocian a recarga en aquellas zonas donde existen divisorias. El grupo B, integrados por las muestras B11, B24, B21, B28 y B26, que se asocian a altos niveles de salinidad y de nitratos por el hecho de estar fuertemente afectadas por procesos de contaminación. En el caso de la muestra B31 se presenta aislada por presentar los niveles más altos de As y F.

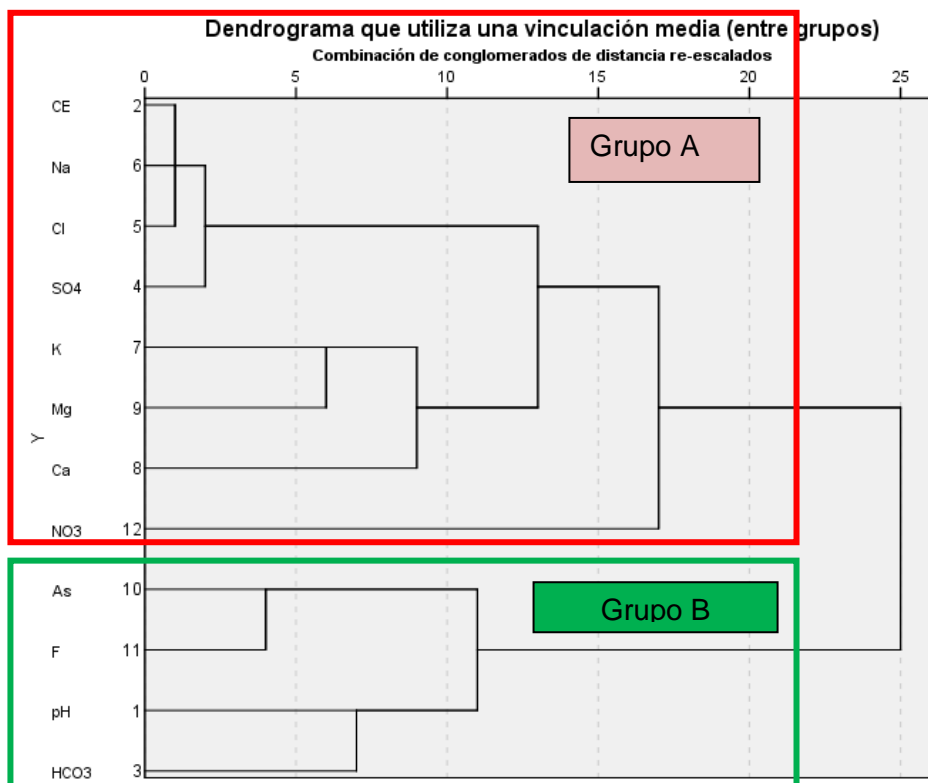


Figura 8.17. Dendrograma modo R

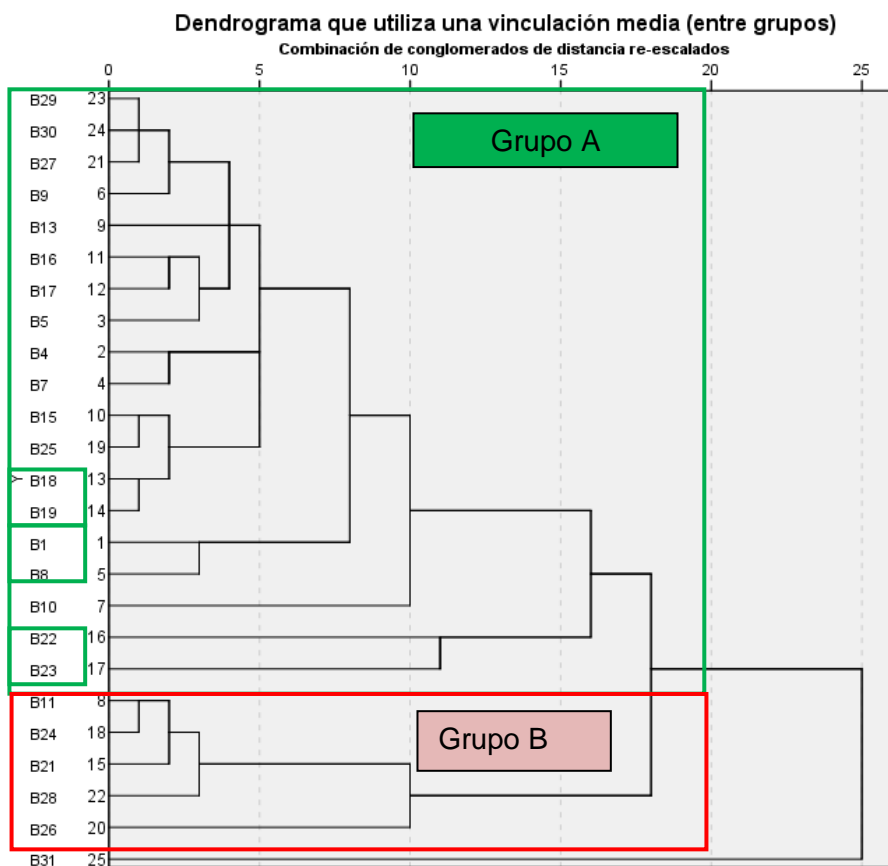


Figura 8.18. Dendrograma modo Q

8.3.1.3. Modelación geoquímica

8.3.1.3.a. Breve introducción a la modelación geoquímica

Toda construcción teórica o conceptual vinculadas al conjunto de reacciones químicas que ocurren en un acuífero constituye un **modelo hidrogeoquímico**. Estos modelos se basan en la teoría termodinámica que permite predecir cómo reaccionarán los componentes en determinados sistemas y cuál será el estado final (de equilibrio) que alcanzan una vez finalizadas las reacciones (Martínez *et al.*, 2000). Los modelos teóricos o conceptuales son susceptibles de poder ser modelados numéricamente si se cuenta con un acabado conocimiento del funcionamiento hidrogeológico del área estudiada. La modelación numérica sirve para verificar la verosimilitud de un modelo conceptual. Si bien modelo numérico válido no prueba de forma unívoca que el modelo conceptual es el correcto, un modelo conceptual no puede ser correcto si no se puede formular un modelo numérico.

La modelación geoquímica puede ser de tipo directa o inversa. La **Modelación directa** se aplica cuando se conoce la composición inicial de una solución y se establecen las reacciones hidrogeoquímicas que pueden ocurrir en el sistema, obteniéndose como resultado una solución final, producto de esas reacciones (Fig.8.19). El resultado final es un único modelo que contempla una serie de fases reactivas restringidas por balance de masas y equilibrio termodinámico. Permite predecir sobre el funcionamiento del sistema en situaciones hipotéticas o con incertidumbres sobre las características del medio.

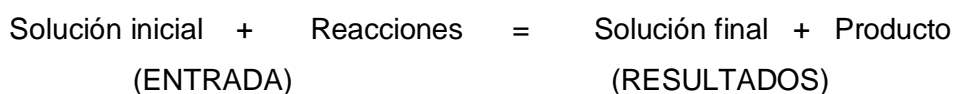
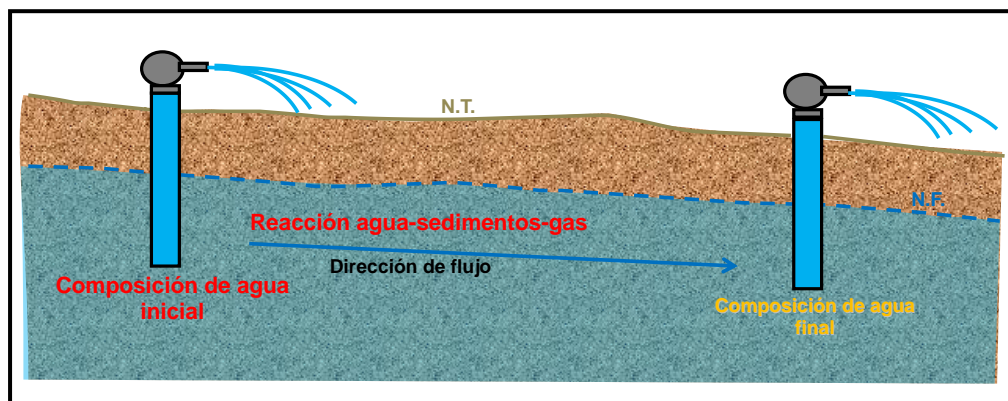


Figura 8.19. Esquema de modelación directa. Tomado de apuntes de la asignatura Geoquímica II. Dpto. de Geología. UNRC.

La **Modelación Inversa** o también llamada de balance de masas, se aplica cuando se conoce la composición inicial y final de un agua a lo largo de una línea de flujo y los minerales y gases constituyentes del acuífero (Fig. 8.20). Calcula mediante balance de masas las reacciones atribuidas a disolución o precipitación de las fases reactivas, que explican los cambios de composición observados en el agua subterránea asumiendo flujo de tipo pistón (Martínez *et al.*, 2000). El resultado final son posibles soluciones, en donde el modelador deberá aceptar la más válida en base al modelo conceptual y a los índices de saturación de las fases reactivas (calculados anteriormente), o puede no converger en ninguna.

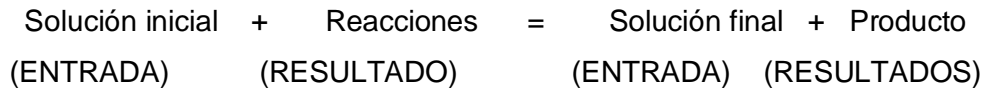
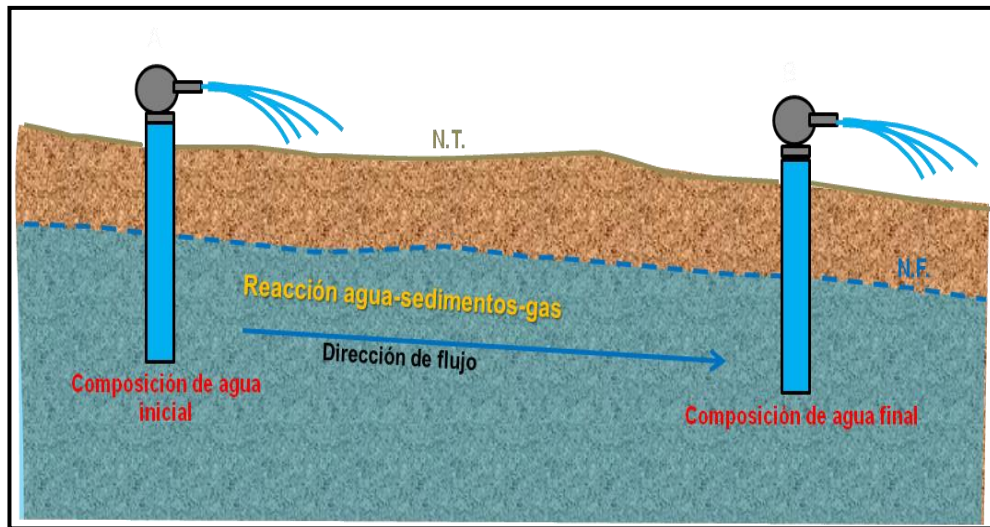


Figura 8.19. Esquema de modelación inversa. Tomado de apuntes de la asignatura Geoquímica II. Dpto. de Geología. UNRC.

8.3.1.3.b. Modelación geoquímica del acuífero libre en la zona estudiada

De manera de corroborar el modelo geoquímico conceptual (procesos de ganancia o pérdida de los componentes mayoritarios del agua) en la zona de estudio, se aplicó la modelación geoquímica de tipo inversa, usando el programa computacional NETPATH (Plummer *et al.*, 1991). Con el fin de simular la evolución del agua del acuífero libre, se consideraron dos escenarios de modelación diferentes.

A continuación se eligieron dos escenarios de modelación, el escenario 1, entre B8 y B16 y el escenario 2, entre B25 y B28. La elección de estos puntos para modelado se

debe a que no se encuentran, en gran medida, afectados por procesos de contaminación y para analizar, a través de ellos por qué el agua sigue una evolución geoquímica normal.

- **Escenario 1:** se siguió la evolución geoquímica a lo largo de la línea de flujo comprendida entre los pozos B8 y B16 (ver mapa equipotencial de la figura 7.7 y figura 8.21), de manera de simular el cambio en la calidad que sufre el agua del acuífero libre desde posiciones de recarga preferencial dada por la divisoria de agua principal vinculada a la loma del bloque elevado generado por la estructura del Saladillo. Se utilizaron como datos químicos (restricciones, constraints) los iones mayoritarios (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ y K^+) presentes en ambas muestras (Tabla 8.2).

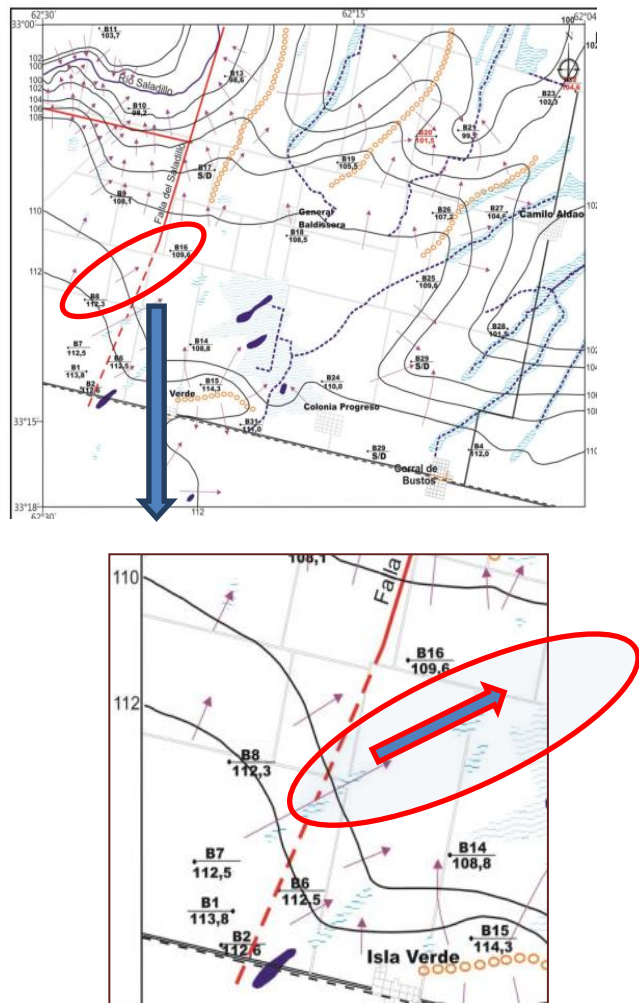


Figura 8.21. Escenario de modelación B8-B16

Pozo	pH	CE [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	$\text{CO}_3^{=}$ [mg/L]	CO_3H^- [mg/L]	$\text{SO}_4^{=}$ [mg/L]	Cl^- [mg/L]	Na^+ [mg/L]	K^+ [mg/L]	Ca^{+2} [mg/L]	Mg^{+2} [mg/L]
B8	7,75	2043	0,00	770,00	89,80	97,14	467,14	21,98	21,60	13,66
B16	7,50	3275	0,00	998,75	245,24	331,43	800,81	30,77	20,80	18,54

Tabla 8.2. Determinaciones químicas en las muestras de agua consideradas en el escenario 1 de la modelación numérica.

Las fases contempladas, en función de la mineralogía de los sedimentos descriptos para la llanura Pampeana cordobesa, fueron:

- *Reacciones de intercambio catiónico* (Ca^{+2}/Na^{+}), presentes en este tipo de sedimentos finos.

- *Illita*, por ser la fracción de arcillas dominante en los sedimentos presentes (Schiavo, 1991; Ortolani, 2007).

- *Calcita*, considerada por la gran cantidad de carbonatos dispersos y en forma de calcretos en los sedimentos del área.

- CO_2 gas, por tratarse de un acuífero libre, abierto al intercambio con CO_2 con la atmósfera, aunque también derivado de actividades biológicas y de algunos procesos de contaminación.

- *Biotita, albita y dióxido*, por presentarse en altas proporciones en el loess pampeano. Sin embargo, por el clima y el tiempo de residencia del agua en el acuífero, se considera que en la región, la meteorización de feldespatos y plagioclasas principalmente liberan cationes para el intercambio.

- *Cl/Na*, utilizado principalmente como artificio para simular la fuente de Cl derivado de la atmósfera, que el agua de circulación regional va incorporando desde cuenca alta (Edmunds, 1996). Sin embargo, también existen sales dispersas de este tipo en áreas de hidrohalomorfismo que pueden ser lavadas por el agua de lluvia.

- *Gypsum (yeso)*, como sales cuyo origen se vincula fundamentalmente a áreas de hidrohalomorfismo y como se han observado en perfiles de suelo en áreas próximas. Sin embargo, también se han considerado como artificio para simular el aporte de sulfatos derivado de las precipitaciones.

Los índices de saturación en las distintas fases minerales consideradas en la simulación fueron calculados mediante el módulo WATEQF (Plumer *et al.*, 1976), que contiene la base de datos termodinámicos necesarios para la modelación. Para el primer escenario analizado, se observa que la muestra inicial (B8) se encuentra sobresaturada ($IS > 0$) en la fase calcita ($CaCO_3$) única fase de carbonato considerada presente en la zona, con IS de 0,3 y la muestra final (B16) se encuentra casi en equilibrio y ($IS=0,04$). Las muestras están subsaturadas en la fase yeso ($IS_{B8} = -2,305$; $IS_{B16} = -2,025$) y en dióxido de carbono ($IS_{B8} = -1,935$; $IS_{B16} = -1,586$). De este modo, solo se considerarán posibles los modelos que consideren la precipitación de la fase calcita a lo largo de la

línea de flujo entre B8 y B16 y disolución de las fases yeso y CO₂ gas, restricciones que se consideraron en la modelación.

Luego de correr el NETHPATH, el programa indica que han testeado 36 modelos posibles de los cuales sólo 4 satisfacen las restricciones tenidas en cuenta (Tabla 8.3).

FASE	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4
ALBITA	7,94178	4,65678	7,94178	4,44151
BIOTITA	0,04167	0,04167	---	---
CALCITA	-1,64250	---	-1,75014	---
CO2	5,99823	4,35573	6,10587	4,35573
DIOPSIDO	---	---	0,10764	0,10764
YESO	1,62301	1,62301	1,62301	1,62301
NaCl	0,30706	6,62733	6,62733	6,62733
ILLITA	6,62733	0,30706	0,37650	0,37650
INTERCAMBIO	---	1,64250	---	1,75014

Tabla 8.3. Modelo numérico que simula la evolución geoquímica entre las muestras B8 y B16. Los valores se expresan en [mmoles/L]

Los cuatro modelos posibles son aceptables para explicar la evolución geoquímica del agua del acuífero freático según la dirección y sentido de flujo B8 – B16. De este modo se tiene:

Ion bicarbonato: El aumento de este anión mayoritario lo explican los cuatro modelos por la incorporación de dióxido de carbono atmosférico al agua subterránea.

Ion Sulfato: Su incremento se explica por la incorporación de sulfatos por aporte de aguas de lluvias, y además como lo sugieren los cuatro modelos por disolución de sales de sulfatos (yeso) en los perfiles del suelo.

Ion cloruro: El aumento de este anión mayoritario dentro del acuífero freático se explica de igual modo que el sulfato, una parte lo aportan las aguas procedentes de las lluvias mientras que otra parte procede de la disolución de sales (NaCl) que precipitaron previamente en procesos hidrohalomórficos.

Ion sodio: El aumento del mismo a lo largo del trayecto analizado es explicado por intercambio de cationes dentro de los materiales arcillosos que conforman parte del acuífero como lo demuestran los modelos 2 y 4, y, además, por disolución de sales como

cloruro de sodio presentes especialmente en áreas hidrohalomórficas. También es aportado por hidrólisis de silicatos.

Ion potasio: Su incremento se debe al proceso de meteorización que afecta al dióxido tal como lo sugieren los modelos 3 y 4. En menor medida, son aceptables los modelos 1 y 2, en donde parte de potasio se explicaría por meteorización de la biotita.

Ion calcio: A pesar del aporte de Ca a partir de disolución de sulfatos, se observa una leve disminución del mismo a lo largo del trayecto analizado. Dicha disminución se explicaría por la precipitación de calcita, que se evidencia al observar los perfiles sedimentológicos en forma de concreciones de CaCO_3 . Así lo sugieren los modelos 1 y 3 al indicar precipitación de calcita (carbonatos) dentro del acuífero.

Ion magnesio: El incremento de dicho catión es explicado en mayor medida por la meteorización del dióxido, como lo sugieren los modelos 3 y 4, y en menor medida por aporte de meteorización de biotita (modelos 1 y 2).

- **Escenario 2:** Se llevó a cabo la modelación entre los pozos B25 y B28 (Fig.8.22), de manera de visualizar la evolución sufrida desde otra divisoria principal de aguas subterráneas pero en la unidad geomorfológica "Planicie con cañadas típicas" (Fig. 7.7). Se siguieron los mismos procedimientos que se usaron para modelar el escenario 1 (Tabla 8.4.).

Pozo	pH	CE [μS/cm]	$\text{CO}_3^{=}$ [mg/L]	CO_3H^- [mg/L]	$\text{SO}_4^{=}$ [mg/L]	Cl^- [mg/L]	Na^+ [mg/L]	K^+ [mg/L]	Ca^{+2} [mg/L]	Mg^{+2} [mg/L]
B25	7,51	2400	0,00	847,50	168,23	160,00	503,54	46,15	31,20	30,24
B28	7,44	5005	0,00	627,50	1121,4	832,86	1116,3	54,51	60,00	56,59

Tabla 8.4. Determinaciones químicas en las muestras de agua consideradas en el escenario 2 de la modelación numérica.

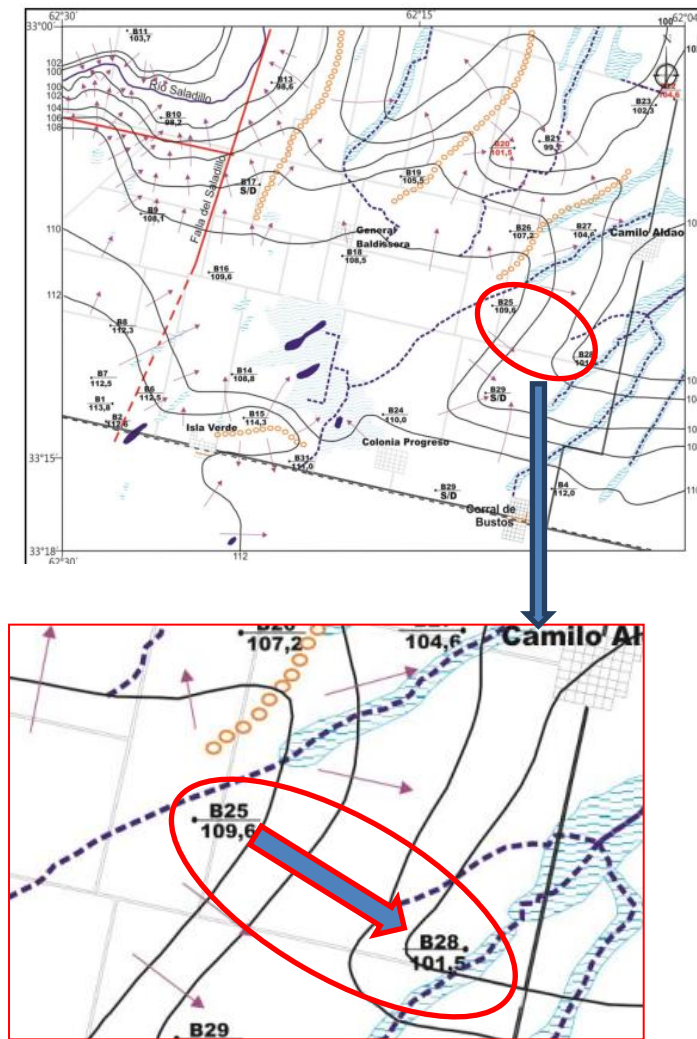


Figura 8.22. Escenario de modelación B25-B28

Las restricciones (constraints) contempladas fueron las mismas que las del escenario anterior, ya que para el caso analizado se observa que las muestras se encuentran sobresaturadas casi en equilibrio en calcita ($IS_{B25} = 0,2$; $IS_{B28} = 0,09$), mientras que las mismas se encuentran subsaturadas en yeso ($IS_{B25} = -1,946$; $IS_{B28} = -1,125$) y en dióxido de carbono ($IS_{B25} = -1,658$; $IS_{B28} = -1,748$). Estos valores indican, del mismo modo que para el primer escenario, que la calcita, dentro del acuífero tiende a precipitar entre la muestra inicial y la final, mientras que en el caso del yeso y del CO_2 , se disuelven dentro del acuífero.

Luego se procedió, de la misma manera que en el escenario 1, haciendo correr los datos en el programa NETHPATH. Los resultados que dicho programa arrojó son que de los 36 modelos posibles, solamente cuatro de ellos satisfacen las restricciones establecidas, pero en estos fueron escogidos dos modelos debido a que son los que más se ajustan a las condiciones de la zona (Tabla 8.5.), ya que los otros dos modelos

proponen para la albíta un muy alto procesos de meteorización (~8 mmoles/L) lo que no se corresponde por las características morfoclimáticas de la zona, y porque además no considera el intercambio catiónico, proceso que dado los materiales tan finos constituyentes del acuífero, debería ocurrir.

FASE	Modelo 1	Modelo 2
Albíta	---	---
Calcita	-5,79971	-6
CO ₂ Gas	2,05105	3
Dióxido	0,45261	0,98956
Illita	---	0,34642
NaCl	19,0377	20
Yeso	9,96288	10
Biotita	0,20785	---
Intercambio	3,88780	4

Tabla 8.5. Modelos numéricos que simula la evolución geoquímica entre las muestras B25 y B28. Los valores se expresan en [mmoles/L]

Los dos modelos más aceptables para la zona de estudio, entre los pozos inicial (B25) y final (B28) proponen lo siguiente:

Ion sulfato y cloruro: El aumento de sulfatos se explica por la disolución de yeso dentro del acuífero freático y por el aporte por parte del agua de lluvia. El incremento de cloruros por la incorporación del mismo por parte del agua de lluvia y por disolución de cloruro de sodio.

Ion bicarbonato: La disminución de este ion se debe a que si bien existe una incorporación de dióxido de carbono atmosférico al agua del acuífero, tal como se refleja en el valor del índice de saturación para la fase CO₂ gas ($IS_{CO_2} < 0$), se produce al mismo tiempo una toma de grandes cantidades de este anión para precipitar en forma de calcita.

Ion sodio: El incremento del mismo es explicado por ambos modelos por disolución de cloruro de sodio y sobre todo por los procesos de intercambio catiónico que ocurren dentro de los materiales arcillosos que constituyen el acuífero.

Ion magnesio: Su incremento, como lo demuestran los dos modelos, es explicado por la meteorización de materiales que conforman el acuífero como son el dióxido y la biotita.

Ion calcio: El aumento de este catión se explica, por la disolución del yeso y el intercambio positivo como lo indica el índice de saturación para ambas muestras ($IS < 0$).

Ion potasio: Su incremento puede ser explicado por cualquiera de los dos modelos, ya sea por meteorización de illita o de biotita.

Por todo lo expuesto anteriormente, se interpreta que el agua a través de ambos escenarios de modelación, sigue una evolución geoquímica normal, con un aumento de la salinización, debido a procesos físico químicos que ocurren dentro del sistema acuífero, tales como el intercambio catiónico, procesos de disolución – precipitación de calcita y yeso y por hidrólisis de ciertos minerales como illita, diposido, albita y biotita.

8.3.2. APTITUD DE USO DEL AGUA DEL ACUÍFERO LIBRE

La calidad del agua del acuífero freático para la zona de estudio presenta variaciones areales que están asociadas a las unidades geomorfológicas definidas y condicionadas fundamentalmente por el tiempo de permanencia del agua en el terreno. De este modo, el contenido en sales del agua aumenta mientras más lentamente circula y más tiempo de contacto posee con los materiales del acuífero. Debido a que los materiales que conforman el acuífero son predominantemente eólicos, de tipo limosos – arenosos muy finos, provocan una lenta velocidad de circulación lo que favorece los procesos naturales que incorporan diversos elementos químicos en solución incluyendo el arsénico y el flúor, que al encontrarse en muchos casos por encima de los límites de aptitud establecidos tornan al agua tóxica para algunos usos. Además de las condiciones naturales, se suma en la calidad del agua subterránea la presencia de otros elementos químicos indeseables, derivados de distintas actividades antrópicas (urbanas y rurales), tales como el nitrato, que puede convertir al recurso hídrico en no apto para determinados usos.

Esto genera la necesidad de clasificar el agua en función de la aptitud que tendría para diferentes usos.

Consumo humano: De acuerdo a la normativa que establece el Código Alimentario Argentino (CAA) y la Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba (SRH Cba.), de las 25 muestras analizadas se concluye que solamente dos de ellas presentan parámetros físico – químicos aptos para consumo humano. El resto de las muestras no son aptas porque exceden los límites establecidos por dichas

normativas, en As, NO₃⁻, F⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ y SDT (Sales Disueltas Totales) como se muestra en tabla 8.6.

Uso ganadero: la clasificación de la calidad del agua para ganadería se basó según Bavera (2001) (Ver anexo III). De acuerdo a dichos parámetros se tiene que de las 25 muestras analizadas, 4 se clasifican como *muy buenas*, 5 como *buenas*, 9 como *aceptables*, 3 como *mala usable* y 4 como *no usables* (Tabla 8.6). Respecto a las muestras que son "*mala usable*" se debe a que presentan un contenido de SDT elevado. En cuanto a las de categoría "*no usable*" en el caso de las muestras B1, B13 y B31 se debe a que presentan cantidades muy elevadas de As por encima de los 300 µg/L, y en el caso de una muestra por presentar un valor excesivamente alto de nitratos.

Uso para riego: para la clasificación se tuvo en cuenta el criterio de Riverside (1969), el cual tiene en cuenta el contenido de SDT presentes en el agua y el parámetro de relación de adsorción de sodio (RAS). Del total de las muestras, solo tres entran en la categoría buena – regular (B-R), 11 son regular – malas (R-M) y las otras 11 son inapropiadas por presentar una gran cantidad de SDT y/o un RAS muy elevado (Tabla 8.6).

Clasificación del agua del acuífero freático para distintos usos					
Muestras	Consumo Humano	Uso Ganadero	Uso para riego		
			Riverside		RAS
		Clasificación	Casificación	Aptitud	
B1	No apta (As y F)	No usable (*)	C3S2	B-R	8,77
B4	No apta (As, NO ₃ , SO ₄ y Cl)	Aceptable	C4S4	R-M	24,81
B5	No apta (As, SO ₄ y Cl)	Aceptable	C4S5	I	37,31
B7	No apta (NO ₃)	Aceptable	C4S4	R-M	16,94
B8	No apta (As, F y NO ₃)	Buena	C3S4	R-M	19,15
B9	No apta (As, F, NO ₃ y Cl)	Aceptable	C4S4	R-M	29,81
B10	No apta (As, F y NO ₃)	Aceptable	C4S5	I	32,72
B11	No apta (As, NO ₃ , SO ₄ y Cl)	Mala Usable	C5S5	I	31,31
B13	No apta (As y F)	No usable (*)	C5S3	R-M	12,50
B15	No apta (As y NO ₃)	Buena	C3S4	R-M	28,54
B16	No apta (As, F y NO ₃)	Buena	C4S4	R-M	19,48
B17	No apta (As y Cl)	Aceptable	C4S4	R-M	24,98
B18	Apta	Muy buena	C3S4	R-M	26,63
B19	No apta (As)	Muy buena	C3S2	B-R	9,75
B21	No apta (As, NO ₃ , SO ₄ y Cl)	Mala Usable	C5S2	I	6,18
B22	Apta	Muy buena	C3S4	R-M	26,49
B23	No apta (NO ₃)	Muy buena	C3S1	B-R	2,23
B24	No apta (As, F, NO ₃ , SO ₄ y Cl)	Mala Usable	C5S2	I	7,54
B25	No apta (As y NO ₃)	Buena	C4S5	I	50,41
B26	No apta (As, NO ₃ , SO ₄ y Cl)	No usable (*) NO ₃	C5S3	I	10,75
B27	No apta (As, NO ₃ , SO ₄ y Cl)	Aceptable	C4S5	I	36,03
B28	No apta (As, F, SO ₄ y Cl)	Aceptable	C5S4	I	18,69
B29	No apta (As, F y NO ₃)	Aceptable	C4S5	I	48,74
B30	No apta (As y NO ₃)	Buena	C4S4	R-M	29,46
B31	No apta (As y SO ₄)	No usable (*)	C4S5	I	34,24

Tabla 8.6. Clasificación del agua del acuífero freático según los distintos usos

8.3.3. GEOQUÍMICA DEL ACUIFERO CONFINADO

Como se indicara, de los acuíferos profundos se cuenta con datos de calidad de agua sólo en una perforación (AC2) ubicada en la localidad de Corral de Bustos y que capta agua del acuífero SAC D (Tabla 8.7).

	pH	CE [uS/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 ⁺ [mg/L]	Mg ⁺ [mg/L]	As [µg/L]	F ⁻ [mg/L]	NO ₃ ⁻ [mg/L]
AC2	7,72	4870	3409	0	861,2	1343,7	578,6	1197,2	59,2	38,8	37,3	200	1,30	70

Tabla 8.7. Datos de calidad de aguas del acuífero confinado SAC D en la zona de Corral de Bustos. 2015.

De acuerdo a los parámetros físico-químicos, reglamentados por el CAA y la SRH de Córdoba, se concluye que el agua de este sistema acuífero confinado no es apta para consumo humano, por poseer niveles de arsénico, nitratos, sulfatos y cloruros fuera de los límites establecidos.

En cuanto al uso destinado para consumo ganadero, presenta una clasificación de tipo aceptable, mientras que para riego se clasifica, según Riverside (1969), como inapta en la categoría de C4S5.

Capítulo 9

CONCLUSIONES

El área de estudio se caracteriza por un relieve en general plano con control estructural dado principalmente por la falla regional del Saladillo de dirección NNE–SSO y, en menor medida, por la presencia de numerosos lineamientos que generan bloques menores, que condicionan un relieve de lomas y bajos, en general, elongados y angostos en sentido NE SO. La actividad tectónica del área acompañada de las variaciones climáticas a lo largo del tiempo, condicionaron el relieve y los procesos sedimentarios que dieron lugar a los depósitos que conforman los distintos sistemas acuíferos existentes (freático y confinados). De acuerdo a los escasos datos locales y a los regionales disponibles, la columna estratigráfica preliminar sintética para el área muestra como los sedimentos más antiguos, a materiales Neógenos, continentales (delgadas lentes arenosas intercaladas entre potentes paquetes arcillo-limosos), asignados como probable Formación Chaco, y marinos de la Formación Paraná (arcillas verdosas). Los materiales más modernos (arenas muy finas limosas a arenas finas con variable grado de cementación carbonática), Cuaternarios, aflorantes en el área, fueron depositados por procesos eólicos y fluviales.

El clima de la región es mesotermal subhúmedo – húmedo con una precipitación media anual de 882 mm y una evapotranspiración potencial media anual de 826 mm. Se observa una concentración estival de las precipitaciones (76%) y una alternancia en el tiempo de ciclos húmedos y secos. Los balances hídricos edáficos (modular y seriado), muestran excesos, en el orden de 56 mm, concentrados principalmente en épocas de verano y déficit en invierno.

En el contexto de cuenca hidrológica a nivel regional, la zona de estudio constituye un sector en el que predomina la descarga regional, con numerosos sitios con procesos de anegamiento e hidrohalomorfismo. Localmente la organización de la red de drenaje, que también está condicionada por las estructuras del área, sigue un patrón dendrítico-subdendrítico que consiste en numerosos lineamientos de escurrimientos que confluyen en sistemas mayores, de dirección NE – SO, las denominadas cañadas, que a su vez confluyen en grandes bajos que forman lagunas permanentes. El río Saladillo, principal sistema fluvial del área, de régimen permanente, con nacientes en los bañados del Saladillo aumentó su caudal en los últimos 70 años en el orden de 10 veces, lo que

denota la influencia del drenaje de los bañados del Saladillo y el aporte de agua de los canales. La alta salinidad y el carácter geoquímico (sulfatada-clorurada sódica) del agua de este sistema fluvial es propio también del drenaje de aguas de los Bañados del Saladillo y de la laguna La Brava (al SO del área), ambos cuerpos de aguas saladas, y de las numerosas canalizaciones que recibe procedentes de humedales en la propia área de estudio, en donde se produce concentración de sales por procesos de evaporación. Los altos tenores de As y F (85 $\mu\text{g/L}$ y 1,80 mg/L, respectivamente) denotan también el aporte subterráneo mientras que el contenido en NO_3^- (15 mg/L) sugiere, afectación por procesos de contaminación. Se destacan también lagunas de carácter efímero y aguas dulces formadas por agua de lluvia que se acumula durante las tormentas, en sectores topográficamente deprimidos, que en ocasiones constituyen una recarga puntual del acuífero.

El acuífero libre, cuyo espesor es estimado en el orden de los 60-100 m, está compuesto principalmente de materiales cuaternarios, limo-arenosos muy finos con distinto grado de cementación carbonática. La morfología de la superficie freática es ondulada con direcciones de circulación subterránea variadas, condicionada por las múltiples lomas y bajos topográficos que, en general, coinciden con las superficiales. Los gradientes hidráulicos y las velocidades de circulación son bajos, del orden de 0,04% - 1,6% y de 0,01 m/d y 0,2 m/d respectivamente, estando los valores más altos asociados a los bloques estructurales especialmente a los que rodean la depresión del río Saladillo. Las zonas de divisorias de agua subterráneas y que prácticamente coinciden con las divisorias de aguas superficiales, constituyen las áreas de recarga más importantes del acuífero. Las áreas de descarga del acuífero son principalmente lagunas de carácter permanente y algunas temporarias y el tramo del río Saladillo.

El nivel freático en prácticamente toda la zona se encuentra a escasa profundidad, desde aflorante en diversos sitios hasta los 3 m aproximadamente, llegando a 7 m en las lomas más pronunciadas, especialmente los asociados con la falla regional del Saladillo. El nivel freático, concordantemente con la situación regional de descarga dominante de la zona, está siempre somero (más profundo en lomas) o aflorante.

La calidad del agua del acuífero freático presenta una distribución heterogénea de la conductividad eléctrica (CE), de 1.070 a 6.990 $\mu\text{S/cm}$, en distancias relativamente reducidas, debido fundamentalmente a las características geomorfológicas, y antrópicas. El 62% de las muestras son salobres y presentan carácter geoquímico muy variable, siendo mixto, en la mayoría de los casos, de tipo bicarbonatada – sulfatada y/o cloruradas con amplio dominio de sodio. Los altos valores de salinidad característicos del

área se vinculan a la posición de la zona en el contexto del sistema regional de flujo, ya que es receptora de aguas que vienen transitando desde largas distancias, lo que implica el gradual enriquecimiento en sales por el contacto agua-sedimento. Los más altos valores de conductividad eléctrica, mayores a 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, están relacionados a áreas mal drenadas, bajos hidrohalmórficos, donde hay mayor concentración de sales por procesos de evaporación y en algunos sitios se relacionan también a procesos de contaminación como resultado de la actividad antrópica. Los valores más bajos de CE se asocian a recargas locales del acuífero a partir de agua de lluvia, en las zonas de divisorias de aguas subterráneas y por recarga preferencial a partir de algunas lagunas que colectan agua de lluvia en los períodos más húmedos y las mantienen un tiempo suficiente para recargar al acuífero, debido al sustrato de sedimentos areno-arcillosos que presentan.

Todas las muestras de agua presentaron nitratos en distinta concentración (2-700 mg/L). El 68% de las muestras analizadas superan los 10 mg/L, considerados valores de fondo natural, lo que sugiere que el acuífero está siendo afectado por procesos de contaminación debido a diferentes fuentes de contaminantes (feed-lot vacunos, porcinos, ovinos y fertilizantes). Se interpreta que los valores más altos (hasta 700 mg/L) se vinculan a la carga contaminante puntual derivada de la materia orgánica ganadera mientras que los valores moderados se relacionarían con contaminación difusa derivada de fertilizantes. El arsénico se encuentra presente en cantidades elevadas (8 – 900 $\mu\text{g}/\text{L}$) superando en el 84% de las muestras analizadas, el límite admitido por la SRH (Córdoba) para consumo humano. Respecto a fluoruros (0,2 – 3,2 mg/L) solo un 40 % supera el límite admitido para consumo humano (1,3 mg/L). Desde el punto vista geoquímico los valores más altos de As y F se correlacionan con aguas con mayores tenores de pH y alcalinidad, lo que muestra un condicionamiento geoquímico para su permanencia en solución, a la vez que la alta correlación entre ambos elementos indica la probabilidad de una misma fuente de aporte que se interpreta que, como ocurre en toda la región, es el material loésico que conforma el acuífero.

El análisis estadístico multivariado de las muestras del acuífero freático, permite validar el modelo geoquímico conceptual, evidenciando que las variables se relacionan para explicar la salinidad y en segundo lugar para explicar la asociación de As y F en aguas con mayor pH y alcalinidad. Además, el análisis cluster entre observaciones corrobora también lo mostrado en el modelo conceptual, que muestra, un grupo de aguas salobres/saladas, la dilución que sufre el agua en las áreas de recarga preferencial y la salinización que sufren por procesos de contaminación.

Por otro lado, la modelación numérica muestra que los procesos geoquímicos más importantes que tienen lugar dentro del acuífero y que explicarían el comportamiento geoquímico en el área, son la incorporación de dióxido de carbono atmosférico, la precipitación de calcita, el intercambio catiónico en materiales arcillosos, meteorización de minerales tales como el illita, biotita y diópsido, disolución de sales de sulfatos y cloruros presentes disueltas en el propio acuífero especialmente en las áreas hidrohalomórficas y el aporte atmosférico de sulfatos y cloruros por parte de las precipitaciones. En cuanto a aptitud de uso solo el 8% de ellas son aptas para consumo humano. Para uso el 16% son muy buenas, un 20% son buenas, 36% aceptables, un 12% mala usables y un 16% no usables. Respecto a su uso para riego, 12% son buenas – regulares; 44% son regulares – malas y el 44% son inapropiadas.

Finalmente, se destaca que en la zona se ha detectada la existencia de una capa confinada que se corresponde con el sistema de acuíferos confinados (SAC D), descrito por otros autores, alojado a aproximadamente 300 m de profundidad, compuesto por sedimentos neógenos. Se trata de un sistema multicapa compuesto por delgadas lentes arenosas confinadas entre potentes paquetes arcillosos y limo arcillosos. El agua de este sistema en la zona es de tipo salobre, sulfatada – clorurada sódica con un alto contenido de arsénico (200 µg/L), no apta para consumo humano, aceptable para uso ganadero y regular a mala para riego.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, M., D. Palacio, M. Blarasin, H. Frontera y M. Guzmán.** 2014. Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas: 14. Monte Cristo, Arroyito: aptitudes de uso del acuífero freático y de los sistemas acuíferos confinados. 1a ed. - Río Cuarto: UniRío Editora. E-Book.- (Serie técnica Keipünentum).ISBN 978-987-688-099-2
- Albouy, R., M. Santamaría, M. G. Serralunga y P. Rossi,** 1995. Aplicaciones geoestadísticas a datos hidrogeoquímicos. Correlación Geológica: Hidrología subterránea. Nº 11:15-23. ISSN 217428. Tucumán.
- Appelo. C. y D. Postma.** 1996. Geochemistry, groundwater and pollution. Balkema.239-295. Rotterdam. ISBN 90 5410 105 9. 536 p.
- Astini, R.,** 1996. Las fases diastóricas del Paleozoico Medio en la Precordillera del Oeste Argentino. Evidencias Estratigráficas. 13º Congr. Geol. Arg. 5: 508-526. Bs. As.
- Azcuy C. L., R. Andreis, A. Cuerda, M. Hünicken, M. Pensa, D. Valencio y J. Vilas,** 1987. Cuenca Paganzo. En: Archangelsky (Ed) El Sistema Carbonífero en la República Argentina. Academia Nacional de Ciencias Cal III: 41-100. Córdoba
- BécherQuinodóz, F., M. Blarasin, J. Felizzia y M. Gallo.** 2014. **Cuadernos de uso y manejo de** aguas subterráneas: 9. zona rural de Villa Valeria, Del Campillo: aptitudes del uso del acuífero freático. ISBN 978-987-688-094-7. UniRío editora. UNRC.
- BécherQuinodóz F.,** 2012. Implicancias ambientales de las relaciones hidrodinámicas e hidroquímicas entre aguas superficiales y subterráneas en la planicie arenosa del Sur de Córdoba. Argentina. 2º Informe Tesis Doctoral. UNRC (inédito), 70 p.
- Biaggini, R., Salvador, M., de Qüerio, R., Torres, C., Biaggini, M. y Diez, A.** 1993. Hidroarsenicismo crónico. Casos diagnosticados en el período 1972 - 1993. Arch. Arg. Dermat. 1995; 45: 47 - 52.
- Blarasin M, Cabrera A. y S. Degiovanni,** 2000. "Hidrogeología Regional: el agua subterránea como recurso fundamental del Sur de la provincia de Córdoba". Actas Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. Fortaleza. Brasil.
- Blarasin M. y A. Cabrera,** 2000. "Medición de geoindicadores en aguas subterráneas como herramientas para evaluar cambios ambientales en zonas urbanas". Actas en CD del V Seminario Internacional Ingeniería y Ambiente "Indicadores Ambientales 2000". La Plata.
- Blarasin, M.,** 2003. Geohidrología Ambiental del Sur de Córdoba, con énfasis en la ciudad de Río Cuarto y su entorno rural. Tesis Doctoral. UNRC. Inédita.
- Blarasin M., Cabrera A., S. Bettera, C. Frigerio y M. Pagliaricci.** 2001 a. Escenarios e indicadores de contaminación urbana en medio anaerobio y aerobio en el acuífero freático, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. En "Las Caras del agua subterránea". Barcelona. España. Vol. 1, pag 17-25, ISBN 84-7840-427-9 –Edit. Instituto Geológico Minero de España.
- Blarasin, M., A. Cabrera y G. Villalba.** 2001 b. Groundwater contaminated with arsenic and fluoride in the Chaco-Pampeana Plain. Journal of Environmental Hydrology. ISSN 1058-3912. International Association of Environmental Hydrology. Paper 6. Vol. 9.

- Blarasin, M. y A. Cabrera, 2005.** Aguas subterráneas: hidrolitología, hidrodinámica e hidrogeoquímica regional. En Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Cba.: una perspectiva geambiental. Ed. UNRC ISBN: 950-665-350-X. pp. 235-241.
- Blarasin M., A. Cabrera, M. Cantú, J. Felizzia y J. Bellin, 2005.** Caracterización geológica e hidrogeológica de la cuenca del arroyo la Colacha y análisis de cambios del nivel freático. Córdoba. Argentina. En "Aguas superf. y subt. en el Sur de Cba.: una perspectiva geambiental". Ed. UNRC ISBN: 950-665-350-X. pág. 263-274.
- Blarasin, M., S. Degiovanni, M. Villegas y A. Cabrera, 2005.** Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Cba.: una perspectiva geoambiental. Ed. UNRC ISBN: 950-665-350-X. pp. 235-241.
- Blarasin, M., A. Cabrera y E. Matteoda, 2006 a.** Arsenic geochemistry and the natural baseline groundwater quality in the sedimentary aquifer of Rodeo Viejo area. Argentina. In "Natural Arsenic in groundwaters of Latin America" Congress. México. Abstracts volume. Editores: Bundschuh et al. pág. 89.
- Blarasin, M., G. Damilano, A. Cabrera y E. Matteoda, 2006 b.** Hidrogeoquímica del acuífero freático en un agroecosistema y consideraciones sobre el cálculo de la línea de base de la calidad del agua. Actas en CD. Congr. Latinoam. Hidrol. Subt. Paraguay. 25 pag.
- Blarasin M., A. Cabrera, J. Felizzia y E. Matteoda, 2009 a.** Exploración hidrogeológica para abastecimiento de agua a la localidad de Sampacho, Córdoba. En "Aportes de la Hidrogeología al conocimiento de los Recursos Hídricos" pag 171-184. Mariño y Schulz Eds. ISBN.978-987-1082-36-7.
- Blarasin M., A. Cabrera, E. Matteoda y J. Felizzia, 2009 b.** Fluorides in the phreatic aquifer of the loessic plain from the south of Cordoba province, Argentina. En: Research Frontiers in Trace Element Biogeochemistry. Alarcón, Gary Pierzynski y Enzo Lombi (Ed.).Pág. 564. ISBN: 978-607-7788-24-9.
- Blarasin M., Cabrera A., Matteoda E., Giuliano Albo J., Felizzia J., BécherQuinodoz F. y L. Maldonado, 2010.** Aspectos geoquímicos, conflictos de uso y gestión del recurso en relación a arsénico y flúor en aguas subterráneas. Cba (Arg.). Pág. 70. Coloquio Internacional Contaminación por metales: Impacto sobre el ambiente, la salud y la sociedad. Oruro, Bolivia.
- Blarasin M., Cabrera A. y N. Alincaastro, 2011.** Evaluación del nivel freático y consideraciones en relación a procesos de recarga-descarga del acuífero. Rio Cuarto, Córdoba, Argentina. VII Congreso Argentino de Hidrogeología V Seminario Hispanolatinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Salta. Argentina.
- Blarasin M., Cabrera A., Matteoda E., H. Frontera, Aguirre M., Maldonado L., BécherQuinodoz F. y Giuliano Albo J., 2014.** Recursos hídricos subterráneos de Córdoba. Parte I: Aspectos litológicos, hidráulicos, cambios de régimen y reservas de los principales acuíferos. En: Relatorio del XIX Cong. Geol. Arg. Cba. ISBN: 978-987-22403-8-7. Pág: 1233-1262.
- Blarasin M., Cabrera A., Matteoda E., Aguirre M., Giuliano Albo J., BécherQuinodoz F., Maldonado L. y H. Frontera, 2014.** Recursos hídricos subterráneos de Córdoba Parte II:

Aspectos geoquímicos, isotópicos, contaminación y aptitudes de uso. En: Relatorio del XIX Cong. Geol. Arg. Cba. ISBN: 978-987-22403-8-7. Pág: 1263-1290.

Blarasin, M., L. Maldonado, F. BecherQuinodoz, N. Alincaastro, A. Cabrera, E. Matteoda y J.

Giuliano Albo, 2015. Assessment of groundwater recharge and discharge processes in a loessical aquifer using a new computer code. Journal of Environmental Hydrology. Vol. 23. Paper 5. May 2015. <http://www.hydroweb.com/journal-hydrology-2015.html>.

Brassington R., 2007. Field Hydrogeology. John Wiley&SonsLtd, England.

Cabrera, A. y M. Blarasin. 1996. Assessment of suitability of a phreatic aquifer to plan the use of groundwater for rural activities. EnvironmentalHydrologyReport. ISSN 1067-3997.

Cabrera, A., y M. Blarasin. 1997a. Información de base para la planificación del uso de los recursos hídricos subterráneos en una zona con fuerte control estructural en la Llanura Arg. Invest. Hidrog. en Cuba. TAHICU '96: 283-301. Arellano y Gómez (Eds.). BI-2133-97.

Cabrera A. y M. Blarasin. 2001. Geoquímica de Flúor y Arsénico en el agua subterránea del Sur de Córdoba, Argentina. En "Las Caras del agua subterránea". Barcelona. España. Vol. 1, pág. 83-89, ISBN 84-7840-427-9- Edit. Instituto Geológico Minero de España.

Cabrera, A., M. Blarasin y S. Degiovanni, 2005. Aptitud y restricciones de uso del agua subterránea, base para la planificación del uso de los recursos hídricos. Área rural San Basilio-Monte de los Gauchos, Córdoba. En "Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: una perspectiva geambiental". Ed. UNRC ISBN: 950-665-350-X. pág. 235-241.

Cabrera, A., M. Blarasin, S. Cabrera, E. Matteoda, M. L. Gómez, G. Villalba, F. Hildmann y A.

Bettera. 2005. Arsénico y Flúor en el acuífero freático en el Sur de Cba.: línea de base hidroquímica y problemática ambiental vinculada. As en aguas: origen, movilidad y tratamiento. Eds. Galindo, Fernández Turiel, Parada y Torrente. ISBN 987-05-0058-7. pp. 41-52. Río Cuarto.

Cabrera A. y M. Blarasin, 2006. Estimación de la recarga del acuífero freático en un sector subhúmedo de la llanura cordobesa. III Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de Vida, Catamarca. Pag. 154. ISBN. 950-746-147-7.

Cabrera, A., M. Blarasin y E. Matteoda. 2007. "Análisis hidrometeorológico e hidrodinámico del acuífero freático en ambientes morfotectónicos contrastantes, Córdoba, Argentina". Pág. 422-432. Actas V Congreso Argentino de Hidrogeología. Paraná. Entre Ríos.

Cabrera, A., C. Dapeña, M. Blarasin, H. Panarelloy E. Matteoda, 2008. Geochemical and isotopic composition of deep thermal aquifers. Southern Córdoba province Argentina. Preliminary report. VI South American Symposium on Isotope Geology San Carlos de Bariloche. Argentina.

Cabrera A., 2009. Evolución hidrogeoquímica e isotópos ambientales del sistema acuífero asociado a los ambientes morfotectónicos de la falla regional Tigre Muerto. Córdoba. Tesis doctoral. UNRC. Inédita. 300 p

Cabrera A., Blarasin M. y E. Matteoda, 2010. Análisis hidrodinámico, geoquímico e isotópico, base para la evaluación de sistemas hidrotermales de baja temperatura en la llanura cordobesa, Arg. Boletín Geológico y Minero 121 (4): 387-400

Cabrera, A., M. Blarasin y J. Felizzia, 2011. Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas. Serie Técnica Keipümentum: 2. San Basilio - La Brianza. Aptitudes de uso del acuífero freático y

- acuíferos confinados. UniRío editora. Universidad Nacional de Río Cuarto. ISBN 978-950-665-692-8. 28 p. Versión digital: Año 2012. ISBN 978-950-665-706-2.
- Cabrera, A., M. Blarasin y L. Maldonado.** 2015. Estimación de reservas de acuíferos confinados al sur de Córdoba para el desarrollo regional. Resúmenes extendidos del Segundo taller sobre estudios Hidrológicos en regiones Áridas y semiáridas de la República Argentina. ISBN: 978-987-45194-5-0. Colladon, Catalini, García, García y Weber (Eds.). UTN, CETA-UNC, CIRSA, INA. 57-58 pp.
- Canter, L. W.** 1997. Nitrates in Groundwater. Lewis Publishers. ISBN 0-87371-569-1. 263 p.
- Cantú, M. y S. Degiovanni.** 1984. Geomorfología de la Región Centro Sur de Córdoba. IX Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche. Actas IV: 76-92.
- Cantú, M.,** 1992. Holoceno de la prov. de Córdoba. Manual: Holoceno de la Rep. Arg. Tomo I. Simposio Internacional sobre el Holoceno en América del Sur. 24 pág. Paraná. Argentina.
- 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.P., Schiavo, H.F., Musso T.B. y A. R. Becker.** 2004. Paleosuelos del Pleistoceno superior? Holoceno del Sur de la provincia de Córdoba, Argentina. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, junio de 2004. 12 p.p.
- Cantú, M., A. Becker y H. Schiavo,** 2006. Génesis y relaciones paleoambientales de los suelos con fragipanes del Sur de Córdoba. XX Congr. Arg. Ciencia del Suelo.
- Cantú, M., H. Schiavo, A. Becker, L. Zhou y M. Grumelli,** 2006. Pleistoceno superior tardío-Holoceno de la cuenca media del arroyo Santa Catalina, Córdoba. III Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Tomo I: 773-777.
- Capitanelli, R. G.,** 1979. Clima. En: Geografía física de la Provincia de Córdoba. Editorial BOLDT pág 45-138.
- Carignano, C., Cioccale M y Rabassa J.,** 1999. Landscape Antiquity of the Central-Eastern Sierras Pampeanas (Argentina): Geomorphological Evolution since Gondwanic Times. Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 118: 245-268. Berlín-Stuttgart.
- Carignano C., D. Kröhling, S. Degiovanni y M. Cioccale,** 2014. Geología Parte I: Geología de superficie. Geomorfología. En: Relatorio del XIX Cong. Geol. Arg. Cba. ISBN: 978-987-22403-8-7. Pág. 747-822.
- Chae, G.T., Yun, S.T., Mayer, B., Kim, K.H., Kim, S.Y., Kwon, J.S., Kim, K., Koh, Y.K.** 2007. Fluorine geochemistry in bedrock groundwater of South Korea. Sc. Tot. Env. 385, 272-283.
- Chebli, G., M. Mozetic, C. Rossello 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.
- Chebli, G., L. Spalletti, D. Rivarola, E. Elorriaga y R. Webster,** 2006. Cuencas cretácicas de la región central de la Arg. Simp. especial de Geol. de Hidrocarburos.
- Chiappero S.** 2013 Hidrogeoquímica de un sector de la llanura fluvio-eólica imperfectamente drenada- Bañados del Saladillo. Córdoba. Tesis de Licenciatura. UNRC. Inédita.

- Coniglio, J. y A. Esparza**, 1988. Geología del sector Sur del batolito Cerro Aspero - Alpa Corral, Cba. Arg. V Congreso Geológico Chileno. Vol. II: E1-E16. Antofagasta.
- CAAAS**, 1973. Recursos de aguas subterráneas y su aprovechamiento en la llanura pampeana y en el valle del Conlara, Provincias de Córdoba, Santa Fe y San Luis, República Argentina. Convenio Argentino Alemán de Aguas Subterráneas. Servicio Geológico de la República Federal de Alemania Convenio Argentino-Alemán Tomos 1-6.
- Costa, C.** 1996. Análisis neotectónico en las Sierras de San Luis y Comechingones: problemas y métodos. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas II: 285-300.
- Costa, C., A. Giaccardi y E. González Díaz**, 1999a. En: Smith, B. J.; Whalley, W.B. y Warke, P.A. (Eds). Uplift, Erosión and Stability: Perspectives on Longterm Landscape Development. Geological Society, London. Special Publications. 162: 229-238.
- Costa, C., E. Gonzalez Díaz, M. Murillo, C. Gardini, A. Giaccardi, J. Sequeiros y S. Bea**, 1999 b. Morfoneotectónica del frente de levantamiento andino de la Sierra de Comechingones, Cba. y San Luis. XIV Congr. Geológico Argentino. Actas I: 32-33.
- Criado Roqué P., C. Mombrú y V. Ramos**, 1981. Estructura e interpretación tectónica. Geología de San Luis. Relatorio VIII Congr. Geol. Arg. pp. 155-192
- Custodio, E. y M. Llamas**, 1983. Hidrología subterránea. Ed. Omega. Barcelona. 2 Vol. 1-2350.
- Custodio, E.**, 1993. Hidrogeoquímica e Isotopía ambiental. Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Bocanegra y Rapaccini (Eds.). Mar del Plata. Pp. 61-78.
- Dalla Salda, L.** 1984. La estructura íntima de las Sierras de Córdoba. Revista Asociación Geológica Argentina, 39: 38-51.
- Dalla Salda, L.** 1987. Basement tectonics of the Southern Pampean Ranges, Argentina. Tectonics 6: 249-260.
- Davis, S. and R. De Wiest**. 1971. Hidrogeología. Ed. Ariel. 554 pág.
- De Alba E.** 1953. Geología del Alto Paraná, en relación con los trabajos de derrocamiento entre Ituzaingó y Posadas. Revista Asociación Geológica Argentina 8 (3):129-161
- Degiovanni, S. y M. Cantú**, 1993. Carta de restricciones de uso agrícola y ganadero del área mal drenada comprendida entre Gral. Levalle y Laboulaye, Córdoba, Rep. Argentina. Rev. (ASAGAI). Publicación Especial Nº 1: 7-25. Arg. ISSN 0326-1921
- 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., M. Villegas y N. Doffo**, 2003. Geomorfología del extremo Sur de la Sierra de Comechingones. II Cong. Nac. de Cuaternario y Geomorfología (S.M. Tucumán). Cuaternario y Geomorfología. ISBN 987-9390-47-4. pág 257-266.
- 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. y M. Blarasin**, 2005. Hidrología superficial y morfodinámica de sistemas fluviales. En Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Cba.: una perspectiva geoambiental. Ed. UNRC. Río Cuarto. ISBN 950-665-350.
- Degiovanni, S., M. Villegas, M. Blarasin y G. Sagripanti**, 2005. Hoja Geológica 3363-III Río Cuarto. Provincia de Córdoba. Esc. 1:250.000. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Boletín N° 349. SEGEMAR. Servicio Geológico Minero Argentino.
- 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.
- Deutsch, W. J.** 1997. Groundwater Geochemistry. Fundamentals and Applications to Contamination. Lewis Publishers. ISBN 0-87371-308-7. 221 p.
- Doering A.**, 1882. Informe Oficial de la comisión científica agregada al Estado Mayor Gral. de la Expedición al Río Negro (Patagonia), realizada en los meses de abril, mayo y junio de 1879, bajo las órdenes del Gral. Julio Roca. Geología, Bs. As., 3.
- Domenico P. y F. Schwartz**. 1990. Physical and chemical hydrogeology. Ed. Wiley and Sons.
- Drever, J.**, 2002. The Geochemistry of natural water, surface and groundwater environmental. 3rd Edition. Prentice Hall.
- Edmunds, W.M. and Smedley, P.L.** 2005. Fluorine in natural waters - occurrence, controls and health aspects. In, O. Selnius (Ed.) Medical Geology Reference - Earth Science Information in Support of Public Health Protection. Academic. pp. 301-329.
- Edmunds W. y P. Shand**. 2008. Natural Groundwater Quality. Blackwell Publishing Ltd. ISBN: 978-14051-5675-2.
- Echevarría, K., M. Blarasin, S. Degiovanni, D. Palacio y M. Aguirre**. 2014. Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas: 18. zona de Villa Dolores : aptitudes del uso del acuífero freático. 1a ed. - Río Cuarto: UniRío Editora, 2014. E-Book. (Serie técnica Keipünentum) ISBN 978-987-688-103-6.
- Eric, C.**, 1986. Geología del Cuaternario en el río de las Barrancas, Dpto. Río Cuarto, Prov. Córdoba. Tesis de Licenciatura. U. N. R. C. Dir. Lic. M. P. Cantu.
- Estruch, J. N., M. J. Romero y J. A. Rubiolo**, 1998. Estudio del nivel freático en las localidades con problemas de absorción del subsuelo en el Sur cordobés. Publicación especial del Instituto de Estudios Cooperativos y Mutuales. Bs. As.
- Falconier J. D.**, 1931. Terrenos Gondwánicos del Dpto. Tacuarembó. Memoria explicativa del mapa geológico. Inst. Geol. Uruguay, Montevideo, Bol., 15.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS)**, 1980. Maximizing the Efficiency of Fertilizer Use by Grain Crops, Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin N° 3, FAO, Rome.
- Fernandez Garrasino, C. y A. Vrba**, 2000. La F. Paraná: aspectos estratigráficos y estructurales de la región chacoparanense. En Aceñolaza y Herbst (Ed), El Neógeno en Arg. Series Correl. Geol. 14:9-27. Tucumán. ISSN 1514-4186.

- Fidalgo, F., D. Colado y F. Francesco**, 1973. Geología superficial en las Hojas Castelli, J. M. Cobo y Monasterio (prov. de Bs. As.). V Congr. Geol. Arg. IV: 27-39.
- Fili, M., O. Tujchneider, M. Paris, M. D'elia, y M. Perez**. 1995. Los ambientes hidrogeológicos y su comportamiento hidroquímico en el Centro-Norte de la provincia de Entre Ríos. Rep. Arg. Correl. Hidrogeológica: Hidrología subterránea N° 11:277-288. ISSN 217428. Tucumán.
- Franklin Consultora S.A. Interconsul S.A.**, 1985. Estudio de prefactibilidad de esquemas alternativos para el aprovechamiento de los volúmenes de agua excedentes localizados en el área comprendida entre los paralelos 36° y 32° S y los meridianos 62° y 65° O. Consejo Federal de Inversiones. Informefinal.Tomo 1.
- Freeze, R. A. and J. A. Cherry**, 1979. Groundwater. Ed. Prentice-Hall, Englewoods, Cliffs, New York, pp. 604.
- Garrels R. M. and Christ C. L.**, 1965. Solutions, minerals and equilibria. New York: Harper & Row, 450p. Northwestern University. Evanston. IL and US Geological Survey, Washington.
- Giacosa, R. H. y C. Paoli**, 2001 Balance hídrico y su relación con la evolución de niveles freáticos en un área de llanura de la Rep. Arg. En: Las caras del agua subterránea. Serie Hidrogeología y aguas subterráneas. N° 1/2001. Tomo II: Ministerio de Cs. Y Tecnología. IGME. España. Pág. 233-240.
- Giuliano Albo, J., M. Blarasin, E. Matteoda y E. Pereyra**. 2014. Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas: 17. Cuenca media del Arroyo Las Lajas: aptitudes del uso del acuífero freático. 1a ed. - Río Cuarto: UniRío Editora, 2014. E-Book.- (Serie técnica Keipümentum) ISBN 978-987-688-102-9.
- Giuliano Albo, M. J.; Blarasin, M.; A. Cabrera y E. Matteoda**. 2012. Hidrogeoquímica del agua superficial y subterránea en el sistema Barranquita-Knutzen. Córdoba. Argentina. Revista Latino-Americana de Hidrogeología (RLH). N° 8.
- Giuliano Albo J., M. Blarasin., E. Matteoda y E. Pereyra**. 2014. Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas: 17. Cuenca media del Arroyo Las Lajas: aptitudes del uso del acuífero freático. 1a ed. - Río Cuarto: UniRío Editora, 2014. E-Book.- (Serie técnica Keipümentum) ISBN 978-987-688-102-9
- Gomez, M.** 1995. La F. Pampeana en la llanura cordobesa, línea de costa de la ingresión del Entrerriano. Asoc. Arg. Geol. Apl. a la Ing. Vol. 3: 232-254. San Juan. ISSN 0326 1921.
- González Bonorino, F.** 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. Revista de la Asociación Geológica Argentina V 3 pp81-110.
- Gordillo, C. y A. Lencinas**, 1967. Geología y petrología del extremo norte de la Sierra de Los Cóndores. Boletín de la Academia Nac. de Ciencias, 46:73-108. Córdoba.
- Gordillo, C. y A. Lencinas**, 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. 2º Simp. de Geol. Reg. Arg., Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, I, 577-650.
- Gorgas J., 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. Buenos Aires.
- Hem, J.** 1970. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, 2da Ed. Geological Survey Water-Supply Paper: 1473, United States Government Printing Office, Wash. 363 pp.
- Hem, J.** 1992. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper: 2254, cuarta edición, 264 pp.
- Hünicken, M. y M. Pensa**, 1980. Estratigrafía y tectónica de las sedimentitas neopaleozoicas (F. Chancaní) y de las filitas (F. La Memela) del borde occidental de las Sas. Pocho y Guasapampa (Cba, Arg.). Bol. Acad. Nac. Cs. Cba. 53: 255-279.
- Introcaso, A., A. Lion y V. Ramos**, 1987. La estructura profunda de las Sierras de Córdoba. Rev. de la Asoc. Geol. Arg. 42:177-187.
- Iriondo M.**, 1981. El Cuaternario de Entre Ríos. Revista de la Asoc. De Cs. Naturales del Litoral, II:125-141, Santa Fe.
- Iriondo M.**, 1987. Geomorfología y Cuaternario de Santa Fe. D'Orbignyana, Nº 4, 54 pp. Corrientes, Argentina.
- Iriondo, M.**, 1997. Models of deposition of loess and loessoids in the Upper Quaternary of South America. Journal of South America Earth Sciences. Vol.10, Nº 1, 71-79 pp. Elsevier Sciences Ltd.
- 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.
- Isacks, B., Jordan, T., Allmendinger, R., y Ramos, V.** 1982. La segmentación tectónica de los Andes Centrales y su relación con la geometría de la placa de Nazca subductada. V Congr. Latinoamericano de Geología, Actas III:587-606.
- Jordan, T., Isacks, B., Allmendinger, R., Ramos, V. y Ando, E.** 1983. Andean tectonic related to the geometry of the subducted Nazca plate. Geol. Soc. America, Bull., 94:341- 361.
- 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.
- Kröhling, D.M.**, 1998. Geomorfología y Geología del Cuaternario de la cuenca del río Carcarañá, desde la confluencia de los ríos Tercero y Cuarto, provincias de Sta. Fe y Córdoba. Tesis Doctoral, FCEFyN, UNC, 224 pp (inédita).
- Licata, M.** 2010. www.Zonadiet.com – El Flúor en la Nutrición. Todos los derechos reservados.
- López, M. G. y P. Sola**, 1981. Manifestaciones volcánicas alcalinas de los alrededores de Las Chacras y de la región de Villa-Mercedes-Chaján, provincias de San Luis y Córdoba. VIII Cong. Geol. Arg., San Luis. Actas IV: 967-978.
- Díaz Lozada, J. M., H. Herrero, C. García e I. Bernasconi.** 2015. Cuantificación del caudal superficial en la cuenca del sistema fluvial Río Cuarto – Saladillo. Segundo taller sobre estudios Hidrológicos en regiones Áridas y semiáridas de la República Argentina. ISBN: 978-987-45194-5-0. Colladon, Catalini, García, García y Weber (Eds.). UTN, CETA-UNC, CIRSA, INA. 39-40 pp.

- Maldonado L.** 2014. Evaluación hidrogeológica, hidroquímica e isotópica de acuíferos confinados del sur de Córdoba. Tesis Doctoral. UNRC. Inédita. 297 p.
- Maldonado, L., A. Cabrera, M. Blarasin y J. Felizzia,** 2014 Hidrolitología e hidrodinámica de los sistemas acuíferos confinados en el área Las Acequias – La Carlota. Córdoba. Argentina. XIX Congreso Geológico Argentino. 2 Pág. Córdoba. ISBN 978-987-22403-5-6
- Martínez, D.E, E. Bocanegra y J. Cionchi,** 1995. Modelación hidrogeoquímica de procesos de mezcla. Su aplicación a casos de estudio en el acuífero de Mar del Plata. Correlación Geológica: Hidrología subterránea N° 11:69-80. ISSN 217428. Tucuman.
- Martínez, D.E., E.M. Bocanegra y M. Manzano,** 2000. La modelación hidrogeoquímica como herramienta en los estudios hidrogeológicos. Boletín del Instituto Geológico y Minero de España, Volumen 111 (4): 83-97.
- Martino, R., Kraemer, P., Escayola, M., Giambastiani, M. y M. Arnosio,** 1995. Transecta de Sas. Pampeanas de Cba. 32°S. Rev. Asoc. Geol. Arg. 50 (1-4): 60-77.
- Massabie, A.,** 1987. Neotectónica y Sismicidad en la región de las Sierras Pampeanas Orientales, Sierras de Córdoba, Argentina, Actas Décimo Congreso Geológico Argentino, v. I: 271-274.
- Matteoda E., Blarasin M., Damilano G. y A. Cabrera,** 2007. Valores característicos del fondo natural de flúor y arsénico en aguas subterráneas en la cuenca del arroyo El Barreal, Córdoba. II Taller sobre arsénico en aguas. V Congreso Hidrogeol. Argentino. Entre Ríos. 31-41. ISBN: 978-987-23936-4-9.
- Matteoda E., M. Blarasin y A. Cabrera.** 2011. Hidrogeoquímica de un acuíf. Freáticosedim. Rel. Conasp. dinámicos, modelación geoquímica y procesos de mezcla. Cba. Arg. Calidad y Contam. de Agua Subt. Salta, Arg. ISBN 978-987-23936-7-0. CD. T30. Pp 236-243.
- Matteoda E.M.,** 2012. Evaluaciónhidrodinámica e hidrogeoquímica de la cuenca del arroyo El Barreal para establecer línea de base ambiental, con énfasis en la geoquímica del cromo. Córdoba. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 397 p. Río Cuarto.
- Matthess, G. and J. C. Harvey,** 1982. The Properties of groundwater. John Wiley and Sons.Ltd. London.466 pp.
- Merckel, B. and B. Planer-Friedrich.**2008. Groundwater geochemistry. A practical guide to modeling of natural and contaminated aquatic systems. Ed. Nordstrom. 2º Edition. Springer. ISBN 978-3-540-74667-6.
- Milicich, E., M. Blarasin, S. Degiovanni y F. Bécher Quinodóz.** 2014. Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas : 19. Cuenca Alta del Arroyo Carnerillo: aptitudes del uso del acuífero freático. 1a ed. - Río Cuarto UniRío Editora, 2014. E-Book.- (Serie técnica Keipünentum) ISBN 978-987-688-104-3.
- Mingorance F.** 1988. Caracterización sismotectónica de la falla Sampacho. Tesis de Licenciatura. Inédito. UNRC.
- Mosier, A., Syers, J. y Freney, J.** 2004. Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment, SCOPE Publication Series 65, Island Press, St. Louis, MI.

- Moyano, M. y J. Leynaud**, 1992. Aguas subterráneas para riego en la provincia de Córdoba. En: II Congreso Argentino de Ingeniería Rural. Villa María. Córdoba. Area N°4, pp. 1-68.
- Nicolli H., O'Connor T., Suriano J., Koukharsky M., Gómez Peral M., Bertini L., Cohen I., Corradi L., Baleani O. y E. Abril**. 1985. Geoquímica del As y de otros oligoelementos en aguas subterráneas de la llanura Sudoriental de Córdoba. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba.
- Nicolli, H., Suriano, J., Gómez Peral, M., Ferpozzi, L. y O. Balean**, 1989. Groundwater contamination with Arsenic and other trace elements in an area of the province of Córdoba, Argentina. *Environmental Geology and Water Sciences*. Vol.14, N° 1, pág.3-16.
- Nicolli, H. B., Tineo, A., García, J. W. y Falcon, C. M.**, 2005. Caracterización hidrogeoquímica y presencia de As en las aguas subterráneas de la Cuenca del Río Salí, Prov. de Tucumán, Arg. I Taller sobre As en aguas: origen, movilidad y tratamiento. IV Congr. Hidrog. Arg. Río Cuarto. ISBN: 987-05-0058-7. Pp 83-102.
- Nicolli, H.B., A. Tineo, C. M. Falcón, J.W. García**, 2005. Distribución del arsénico y otros elementos asociados en aguas subterráneas de la región de los Pereyra. Provincia de Tucumán, Argentina. I Taller sobre As en aguas: origen, movilidad y tratamiento. IV Congr. Hidrog. Arg. Río Cuarto. ISBN: 987-05-0058-7. Pp 83-91.
- Nicolli, H. B., Tineo, A., García, J. W. y Falcon, C. M.**, 2007. Presencia de As en las aguas subterráneas del sector Sur de la prov. de Tucumán, Arg. II Taller sobre As en aguas: origen, movilidad y tratamiento. V Congr. Hidrog. Arg. Río Cuarto. ISBN: 987-987-23936-4-9. Pp 107-114.
- Nordstrom, D. and J. Munoz**. 1986. *Geochemical Thermodynamics*, Blackwell Scientific Publications, London 477 pp.
- Orbera Hernández, L. y C. Fernández**, 1977. "Métodos morfométricos para la búsqueda de estructuras nuevas". *Revista la Minería en Cuba*. Vol. III, N° 3.
- Ortolani, C.**, 2007. Estratigrafía del Cuaternario del tamo medio del arroyo Achiras del Gato, Dpto Río Cuarto, Córdoba. Trabajo Final de Lic. UNRC. Inédito. 94 pág.
- Otamendi, J.** 1995. Petrología, geoquímica y estructura del basamento Pre-Carbonífero del extremo sur de la sierra de Comechingones, Cba-San Luis, Arg. Tesis Doctoral. Inédita. UNRC.
- Padula, E. y A. Mingramm**, 1968. Estratigrafía, distribución y cuadro geotectónico-sedimentario del triásico en el subsuelo de la Llanura Chaco-Paranaense. *Actas III Jorn. Geol. Arg.*, Bs. As. 1:291-331.
- París, M., M. Perez, O.C. Tujchneider, M. Fily M. D'Elia**. 1997. Regionalización de Niveles Piezométricos y Zonificación de la Conductividad Hidráulica en la Modelación Matemática Hidrogeológica. I Congr. Nac. Hidrog. IAH-GA. UNS. ACTAS: 241-251.
- Parkhurst, D., D. Thorstenson y L. Plumer**, 1980. U.S Geol. Survey, Water Res. Inv. 80-96, 210 pp.
- Parkhurst, D. and C.A.J. Appelo**, 1999. User's guide to PHREEQC (version 2). A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. Denver, Colorado.

- Passotti P.**, 1974. La Neotectónica en la llanura pampeana. Fundamentos para el Mapa Neotectónico. Inst. de Fisiografía y Geología. Publ. LVIII, UNR. Rosario. Arg.
- Pasotti, P. & Canoba, C.A.** 1979. Estudio de llanura pampeana con imágenes LANDSAT. Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología 63, Rosario.
- Pinotti, L.**, 1998. El batolito Cerro Aspero, Córdoba. Modelo de intrusión y su relación con la evolución de las Sas. Pampeanas: Tesis Doctoral (inédita). UNRC. 203 pp.
- Plummer LN, Prestemon EC, and D. Parkhurst**, 1991. An Interactive Code (NETPATH) for Modelling NET Geochemical Reactions Along a Flow PATH. U.S.G.S. Water Resources Investigations, 4078, 227 p.
- Poire, D., N. Casali, M. L. Sanchez, M. Villegas y A. M. Combina**, 1989. Paleoambientes sedimentarios del cuaternario de la región de Río Cuarto, Cba., Arg. II Reunión del cuaternario Ibérico. Asoc. Española para el estudio del Cuaternario (AEQUA).
- Poveda, L., M. Blarasin y S. Degiovanni.** 2014. Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas: 13. zona rural del Río Seco, aptitudes del uso del acuífero freático. 1a ed. - Río Cuarto: UniRío Editora, 2014. E-Book.- (Serie técnica Keipünentum) ISBN 978-987-688-098-5.
- Quiroz Londoño O. M.**, 2009. Hidrogeología e hidrogeoquímica de las cuencas de los arroyos Tamangueyú y El Moro, provincia de Buenos Aires. Tesis doctoral. UNRC. Inédito.
- Rabassa, J., M. Zárata, T. Partridge, R. Maud, M. Cioccale y C. Carignano**, 1997. Gondwanic relict palaeolandscapes in cratonic areas of Arg. Fourth International Conference on Geomorphology. Suplemento III.1: 321. Bologna. Italia.
- Ramos, V.** 1991. Los ambientes tectónicos de los distritos wolframíferos de las Sierras Pampeanas. Pub. del Inst. de Rec. Nat. UNLP, 1: 185-196. La Plata.
- Ramos, V. A.**, 1999. Rasgos Estructurales del Territorio Argentino. Geología Argentina. Anales 29 (24): 715-784. Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- Ravelo, C.**, 1990. PDIMES, PEDIDEC. Balance hídrico seriado - Índices de sequía y humedad del cultivo. Manual Teórico/operativo. Asoc. Agron. De Agrometeorología.
- Renz, H.**, 1993. Caracterización Hidrogeológica preliminar del área central de Córdoba. Trabajo Final. UNC. Inédito. Córdoba. Argentina.
- Russo, A., R. Ferello y G. Chebli**, 1979. Llanura Chaco Pampeana. Geología Reg. Argentina. Vol. I. Pp. 139-183.
- Sagripanti G., D. Origlia y Campanella O.**, 1998. Sismicidad en una región de intraplaca. Cba. Arg. Actas Conf. Intern. Sistemas modernos de Preparación y Respuesta ante Riesgos Sísmicos, Volcánicos y Tsunamis". Chile. pp. 281 - 293.
- Santa Cruz, J. N.**, 1972 a. Geología al Este de la sierra Chica (Córdoba) Valle del río Primero. Boletín de la Asociación Geológica de Córdoba. Tomo 1: 3-4.
- Saxena, V. K. and Ahmed, S.** 2001. Dissolution of fluoride in groundwater: a water-rock interaction study. Environ. Geol. 40, 1084-1087.
- Schiavo, H.**, 1991. Evolución de una catena de suelos en el área pedemontana del Dpto. Río Cuarto. Provincia de Córdoba. Tesis de Licenciatura. UNRC. Inédita.
- Schoeller, H.**, 1956. Geochemie des eaux souterraines. Edition Technic. Paris.

- Schoeller H.** 1962. Les eaux souterraines. Ed. Masson. París.
- Schulz, H. y G. Teutsch.** 2002. Geochemical Processes: Conceptual Models for Reactive Transport in Soil and Groundwater. Research Report. Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN: 978-3-527-27764-3.
- Smedley, P.** 1996. Arsenic in rural groundwater in Ghana. *Journal of African Earth Sciences*. Vol. 22, 4, pp. 459-470.
- Smedley, P., D. Macdonald, H. Nicolli, A. Barros, J. Tullio & J. Pearce.** 2000. Arsenic and other quality problems in groundwater from Northern La Pampa province, Argentina. Nottingham. TR WC/99/36. British Geological Survey. 176 p.-
- Sosic, M.** 1964. Descripción geológica de la hoja 24h, Sierra del Morro (San Luis-Córdoba). Carta Geológico-Económica de la Rep. Argentina. Boletín N° 95. Dirección Nacional de Geología y Minería. 44 pp
- Stumm W. and J. Morgan.** 1981. Aquatic chemistry: an introduction emphasizing chemical equilibria in natural water. New York. Wiley Interscience. 583 pp. Harvard University. Cambridge M. A. and California Institute of technology, Pasadena C.A.
- Stumm, W. and Morgan, J.J.** 1996. Aquatic Chemistry, Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1022p.
- Thangarajan, M.,** 2007. Groundwater models and their role in assessment and management of groundwater resources and pollution. In: Groundwater: resources evaluation, augmentation, contamination, restoration, modeling and management. Ed. Thangarajan. Springer. ISBN 978-1-4020-5728-1.
- Thorntwaite y Mather,** 1955. *The water balance. Drexel Institute of Technology. Publications in Climatology VIII (1):104 pp. New Jersey.*
- Tóth, J.,** 1999. Groundwater as a geologic agent: an overview of the causes, processes, and manifestations. *Hydrogeology Journal*: 7.1: 1-14 ISSN 1431-2174.
- Ussunoff, E.,** 1994. Ej. de aplicación del análisis multivariado en estudios hidroquímicos. Temas actuales de la Hidrología subt. E. Bocanegra y A. Rapaccini (Eds.) UNMdP-CFI pp 273-286.
- Viero A., Roisenberg C., Roisenberg A. y A. Vigo.** 2009. The origin of fluoride in the granitic aquifer of Porto Alegre, Southern Brazil. *Environmental Geology*, v. 56, p. 1707-1719.
- Villalba, G.,** 1999. Estudio geohidrológico con énfasis en la geoquímica del flúor de la cuenca del río El Talita, Dpto. Río Cuarto, Cba. Tesis de Lic. UNRC. Inédito.
- Villegas M. y M. Blarasin,** 1995. Mapas interpretativos de utilidad en análisis morfotectónicos. Inédito. 20 pág. Dpto. Geología. UNRC.
- Villegas M.** 1999. Aportes metodológicos desde la Sedimentología a la resolución de problemas ambientales. Actas resúmenes III Sem. Acad. Cient. UNRC Vol 1.
- Vivona, R., Preziosi, E., Madé, B., Giuliano, G.** 2007. Occurrence of minor toxic elements in volcanic-sedimentary aquifers: a case study in central Italy: *Hydrogeology Journal*, 15(6), 1183-1196.
- Webster, R., G. Chebli y J Fischer,** 2002. La Cca. Gral. Levalle, Arg.: un rift Cretácico inferior en el subsuelo. V Congr. Exploración y Desarrollo Hidrocarburos. IAPG, CD, Mar del Plata.

- Webster, R., G. Chebli y J Fischer**, 2004. General Levalle Basin, Argentina: a Frontier Lower Cretaceous Rift Basin. American Assoc. Of Petroleum Geologists Bulletin, V.88, 5:627-652.
- Yrigoyen, M.**, 1969. Problemas estratigráficos del Terciario de Arg. Ameghiniana 6(4):315-329.
- Zambrano, J. J.**, 1974. Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires y zonas Adyacentes. Rev. Asoc. Geol. Arg. XXIX (4): 443-469.

Anexo I

Datos del análisis textural de perfiles sedimentológicos

Sr		Matías Sinfreu		Fecha:	
Muestra: P2				Facies:	
Procedencia: Isla Verde				Peso original: 98,73 gr	
Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	0,00	0,00	0,00
T-10	-1	Sabulo	0,00	0,00	0,00
T-18	0	Arena muy gruesa	0,00	0,00	0,00
T-35	1	Arena gruesa	10,29	10,42	10,42
T-60	2	Arena media	11,22	11,36	21,79
T-120	3	Arena fina	16,7	16,91	38,70
T-230	4	Arena muy fina	33,35	33,78	72,48
T-270	5	Limos gruesos	16,02	16,23	88,71
base	< 5	Pelitas	10,48	10,61	99,32

Tabla I.1. Muestra las cantidades de cada fracción granulométrica

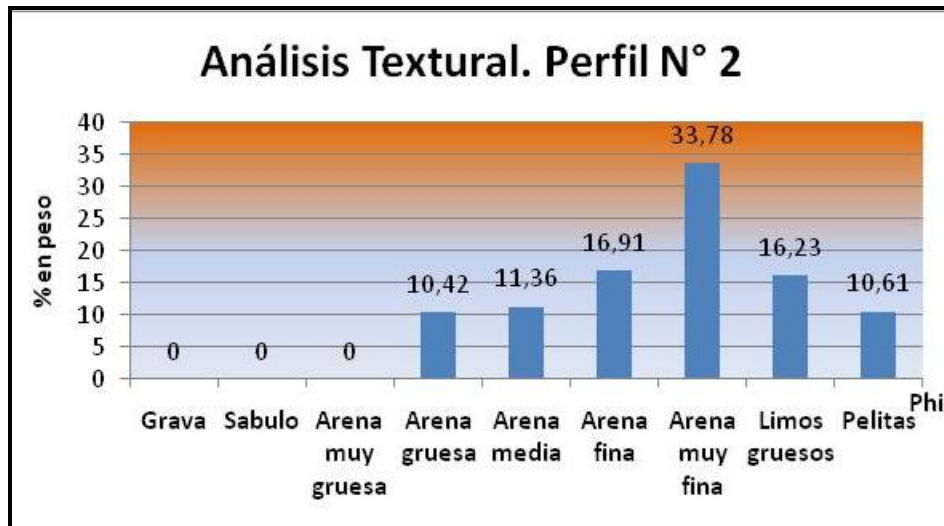


Figura I.1

Sr		Matías Sinfreu		Fecha:	
Muestra: P3				Facies:	
Procedencia: Camilo Aldao				Peso original: 100 gr	
Tamiz	Tamaño Phi	Clase Textural	peso retenido gr	% en peso	peso acum.
T-5	-2	Grava	0,00	0,00	0,00
T-10	-1	Sabulo	0,00	0,00	0,00
T-18	0	Arena muy gruesa	0,00	0,00	0,00
T-35	1	Arena gruesa	10,59	10,59	10,59
T-60	2	Arena media	4,38	4,38	14,97
T-120	3	Arena fina	7,42	7,42	22,39
T-230	4	Arena muy fina	37,4	37,40	59,79
T-270	5	Limos gruesos	18,38	18,38	78,17
base	< 5	Pelitas	21,04	21,04	99,21

Tabla I.2. Muestra las cantidades de cada fracción granulométrica

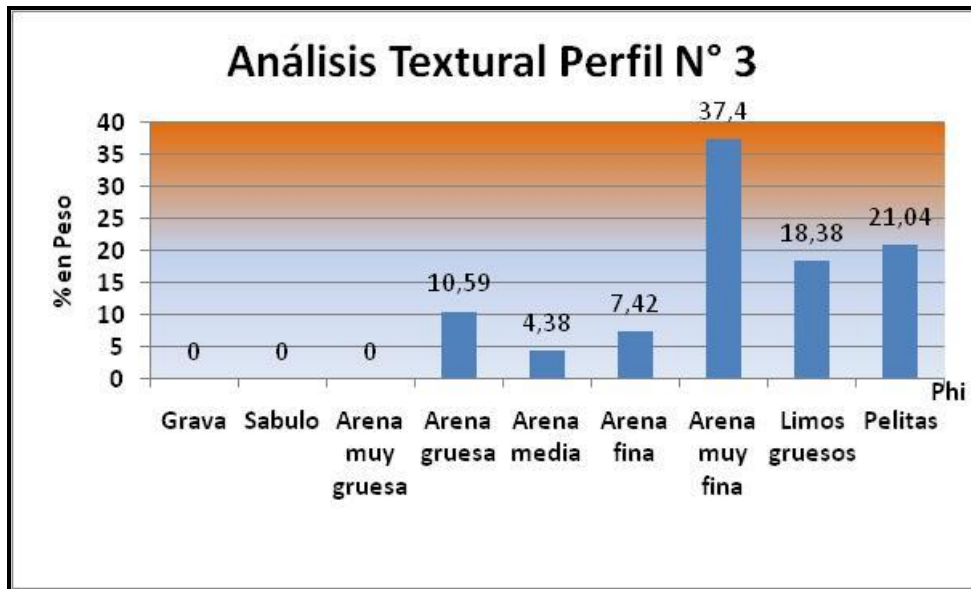


Figura I.2

Anexo 2

Tablas de Balance Hídrico

**Balance hídrico seriado para la estación de Monte Maíz
1947-2010**

Agua útil en la capa superior = 2,5 mm y en la capa inferior = 12,5 mm

Diccionario de variables:

P= Precipitaciones (mm)

ETP = Evapotranspiración potencial

ALMAC. = Almacenamiento

RP. = Recarga Potencial

R= Recarga

APE= Agua Potencial Extraída

AE= Agua Extraída

ETR= Evapotranspiración Real

ESC. = Escurrimientos (Excesos)

Año	MES	P	ETP	ALMAC.	RP	R	APE	AE	ETR	ESC	Deficit
1948	1	287	136	150	46,7	46,7	84,4	0	136	104,3	0
	2	82	96	136	0	0	84,2	14	96	0	0
	3	166	92	150	14	14	78,5	0	92	60	0
	4	12	56	109,2	0	0	50,8	40,8	52,8	0	3,2
	5	49	36	122,2	40,8	13	26,2	0	36	0	0
	6	15	22	115,2	27,8	0	19,6	7	22	0	0
	7	0	19	99,7	34,8	0	15,5	15,5	15,5	0	3,5
	8	5	32	81,8	50,3	0	21,3	17,9	22,9	0	9,1
	9	41	42	81,2	68,2	0	22,9	0,5	41,5	0	0,5
	10	6	77	42,8	68,8	0	41,7	38,4	44,4	0	32,6
	11	81	93	39,4	107,2	0	26,5	3,4	84,4	0	8,6
	12	169	125	83,4	110,6	44	32,8	0	125	0	0
1949	1	46	136	33,1	66,6	0	68,2	50,3	96,3	0	39,7
	2	126	96	63,1	116,9	30	21,2	0	96	0	0
	3	177	92	148,1	86,9	85	42	0	92	0	0
	4	50	56	142,1	1,9	0	50,4	6	56	0	0
	5	43	36	149,1	7,9	7	32,9	0	36	0	0
	6	8	22	135,1	0,9	0	22	14	22	0	0
	7	124	19	150	14,9	14,9	17,6	0	19	90,1	0
	8	13	32	131	0	0	30,8	19	32	0	0
	9	25	42	115,8	19	0	36	15,2	40,2	0	1,8
	10	83	77	121,8	34,2	6	59,5	0	77	0	0
	11	32	93	73,4	28,2	0	73,2	48,5	80,5	0	12,5
	12	17	125	20,5	76,6	0	61,1	52,8	69,8	0	55,2
1950	1	27	136	5,6	129,5	0	18,6	14,9	41,9	0	94,1

	2	62	96	4,3	144,4	0	3,6	1,3	63,3	0	32,7
	3	146	92	58,3	145,7	54	2,7	0	92	0	0
	4	15	56	29,8	91,7	0	31,9	28,6	43,6	0	12,4
	5	31	36	28,8	120,2	0	7,1	1	32	0	4
	6	3	22	25,1	121,2	0	4,2	3,6	6,6	0	15,4
	7	27	19	33,1	124,9	8	3,2	0	19	0	0
	8	0	32	21,1	116,9	0	12	12	12	0	20
	9	58	42	37,1	128,9	16	5,9	0	42	0	0
	10	144	77	104,1	112,9	67	24,6	0	77	0	0
	11	108	93	119,1	45,9	15	60,9	0	93	0	0
	12	207	125	150	30,9	30,9	87,7	0	125	51,1	0
1951	1	209	136	150	0	0	117,5	0	136	73	0
	2	93	96	147	0	0	84,2	3	96	0	0
	3	104	92	150	3	3	80,3	0	92	9	0
	4	43	56	137	0	0	50,8	13	56	0	0
	5	55	36	150	13	13	32	0	36	6	0
	6	6	22	134	0	0	22	16	22	0	0
	7	0	19	116,7	16	0	17,3	17,3	17,3	0	1,7
	8	13	32	101,9	33,3	0	24,9	14,8	27,8	0	4,2
	9	0	42	73,4	48,1	0	28,5	28,5	28,5	0	13,5
	10	26	77	48,4	76,6	0	37,7	24,9	50,9	0	26,1
	11	185	93	140,4	101,6	92	30	0	93	0	0
	12	56	125	81,6	9,6	0	101,9	58,9	114,9	0	10,1
1952	1	50	136	34,8	68,4	0	73,9	46,8	96,8	0	39,2
	2	45	96	23	115,2	0	22,3	11,8	56,8	0	39,2
	3	121	92	52	127	29	14,1	0	92	0	0
	4	4	56	22,1	98	0	30,6	29,9	33,9	0	22,1
	5	50	36	36,1	127,9	14	5,3	0	36	0	0
	6	35	22	49,1	113,9	13	15,2	0	22	0	0
	7	31	19	61,1	100,9	12	19	0	19	0	0
	8	16	32	45,1	88,9	0	26,7	16	32	0	0
	9	121	42	124,1	104,9	79	16,9	0	42	0	0
	10	144	77	150	25,9	25,9	59,4	0	77	41,1	0
	11	65	93	122,5	0	0	81,7	27,5	92,5	0	0,5
	12	43	125	55,5	27,5	0	102,1	67	110	0	15
1953	1	198	136	117,5	94,5	62	50,4	0	136	0	0
	2	123	96	144,5	32,5	27	68,8	0	96	0	0
	3	308	92	150	5,5	5,5	78,4	0	92	210,5	0
	4	60	56	150	0	0	50,8	0	56	4	0
	5	7	36	121,7	0	0	34,2	28,3	35,3	0	0,7
	6	64	22	150	28,3	28,3	17,8	0	22	13,7	0
	7	0	19	131	0	0	19	19	19	0	0
	8	0	32	103,3	19	0	27,7	27,7	27,7	0	4,3
	9	3	42	76,5	46,7	0	28,9	26,9	29,9	0	12,1
	10	99	77	98,5	73,5	22	39,3	0	77	0	0

	11	122	93	127,5	51,5	29	58,2	0	93	0	0
	12	192	125	150	22,5	22,5	93,3	0	125	44,5	0
1954	1	78	136	97,5	0	0	117,5	52,5	130,5	0	5,5
	2	14	96	44,2	52,5	0	62,4	53,3	67,3	0	28,7
	3	181	92	133,2	105,8	89	27,1	0	92	0	0
	4	185	56	150	16,8	16,8	47,4	0	56	112,2	0
	5	34	36	148	0	0	34,2	2	36	0	0
	6	61	22	150	2	2	22	0	22	37	0
	7	25	19	150	0	0	19	0	19	6	0
	8	58	32	150	0	0	30,8	0	32	26	0
	9	80	42	150	0	0	39,2	0	42	38	0
	10	66	77	139	0	0	68,3	11	77	0	0
	11	21	93	76,7	11	0	79,8	62,3	83,3	0	9,7
	12	80	125	53,7	73,3	0	63,9	23	103	0	22
1955	1	77	136	32,6	96,3	0	48,7	21,1	98,1	0	37,9
	2	272	96	150	117,4	117,4	20,8	0	96	58,6	0
	3	95	92	150	0	0	80,8	0	92	3	0
	4	65	56	150	0	0	50,8	0	56	9	0
	5	51	36	150	0	0	34,2	0	36	15	0
	6	10	22	138	0	0	22	12	22	0	0
	7	2	19	121,7	12	0	18	16,3	18,3	0	0,7
	8	4	32	99	28,3	0	26	22,7	26,7	0	5,3
	9	16	42	81,8	51	0	27,7	17,2	33,2	0	8,8
	10	126	77	130,8	68,2	49	42	0	77	0	0
	11	95	93	132,8	19,2	2	73	0	93	0	0
	12	83	125	95,6	17,2	0	96,9	37,2	120,2	0	4,8
1956	1	232	136	150	54,4	54,4	86,7	0	136	41,6	0
	2	92	96	146	0	0	84,2	4	96	0	0
	3	106	92	150	4	4	80,2	0	92	10	0
	4	75	56	150	0	0	50,8	0	56	19	0
	5	43	36	150	0	0	34,2	0	36	7	0
	6	53	22	150	0	0	22	0	22	31	0
	7	16	19	147	0	0	19	3	19	0	0
	8	33	32	148	3	1	30,3	0	32	0	0
	9	55	42	150	2	2	38,8	0	42	11	0
	10	230	77	150	0	0	68,3	0	77	153	0
	11	115	93	150	0	0	81,7	0	93	22	0
	12	33	125	69,2	0	0	108,3	80,8	113,8	0	11,2
1957	1	50	136	29,5	80,8	0	62,7	39,7	89,7	0	46,3
	2	123	96	56,5	120,5	27	18,9	0	96	0	0
	3	37	92	25,2	93,5	0	39,1	31,3	68,3	0	23,7
	4	96	56	65,2	124,8	40	9,4	0	56	0	0
	5	120	36	149,2	84,8	84	27,9	0	36	0	0
	6	28	22	150	0,8	0,8	22	0	22	5,2	0
	7	24	19	150	0	0	19	0	19	5	0

	8	0	32	119,2	0	0	30,8	30,8	30,8	0	1,2
	9	16	42	98,5	30,8	0	33,4	20,7	36,7	0	5,3
	10	77	77	98,5	51,5	0	50,6	0	77	0	0
	11	152	93	150	51,5	51,5	61,1	0	93	7,5	0
	12	147	125	150	0	0	108,3	0	125	22	0
1958	1	53	136	76,7	0	0	117,5	73,3	126,3	0	9,7
	2	187	96	150	73,3	73,3	49,1	0	96	17,7	0
	3	32	92	95,8	0	0	80,8	54,2	86,2	0	5,8
	4	51	56	92,6	54,2	0	35,8	3,2	54,2	0	1,8
	5	0	36	70,4	57,4	0	22,2	22,2	22,2	0	13,8
	6	2	22	61	79,6	0	10,3	9,4	11,4	0	10,6
	7	48	19	90	89	29	7,7	0	19	0	0
	8	15	32	73	60	0	28	17	32	0	0
	9	9	42	54,2	77	0	22,7	18,8	27,8	0	14,2
	10	7	77	28,9	95,8	0	27,8	25,3	32,3	0	44,7
	11	47	93	20	121,1	0	17,9	8,9	55,9	0	37,1
	12	145	125	40	130	20	16,7	0	125	0	0
1959	1	116	136	20	110	0	35,5	20	136	0	0
	2	277	96	150	130	130	12,8	0	96	51	0
	3	85	92	143	0	0	80,8	7	92	0	0
	4	94	56	150	7	7	49,7	0	56	31	0
	5	53	36	150	0	0	34,2	0	36	17	0
	6	43	22	150	0	0	22	0	22	21	0
	7	0	19	131	0	0	19	19	19	0	0
	8	31	32	130	19	0	27,7	1	32	0	0
	9	0	42	94,2	20	0	35,8	35,8	35,8	0	6,2
	10	74	77	92,3	55,8	0	48,3	1,9	75,9	0	1,1
	11	135	93	134,3	57,7	42	57,2	0	93	0	0
	12	33	125	60,5	15,7	0	97,9	73,8	106,8	0	18,2
1960	1	70	136	33,9	89,5	0	54,8	26,6	96,6	0	39,4
	2	35	96	20,1	116,1	0	21,7	13,8	48,8	0	47,2
	3	62	92	16,1	129,9	0	12,3	4	66	0	26
	4	0	56	10,1	133,9	0	6	6	6	0	50
	5	0	36	7,7	139,9	0	2,4	2,4	2,4	0	33,6
	6	18	22	7,5	142,3	0	1,1	0,2	18,2	0	3,8
	7	26	19	14,5	142,5	7	0,9	0	19	0	0
	8	0	32	6,2	135,5	0	8,2	8,2	8,2	0	23,8
	9	70	42	34,2	143,8	28	1,7	0	42	0	0
	10	251	77	150	115,8	115,8	28,2	0	77	58,2	0
	11	82	93	139	0	0	81,7	11	93	0	0
	12	44	125	69,2	11	0	106,5	69,8	113,8	0	11,2
1961	1	85	136	45,6	80,8	0	62,7	23,5	108,5	0	27,5
	2	106	96	55,6	104,4	10	29,2	0	96	0	0
	3	116	92	79,6	94,4	24	35	0	92	0	0
	4	48	56	71,6	70,4	0	36,3	8	56	0	0

	5	10	36	51,4	78,4	0	23,9	20,3	30,3	0	5,7
	6	12	22	47,9	98,6	0	7,5	3,4	15,4	0	6,6
	7	0	19	41,9	102,1	0	6,1	6,1	6,1	0	12,9
	8	6	32	34,6	108,1	0	8,9	7,3	13,3	0	18,7
	9	34	42	32,8	115,4	0	9,7	1,8	35,8	0	6,2
	10	125	77	80,8	117,2	48	16,8	0	77	0	0
	11	0	93	30,5	69,2	0	50,3	50,3	50,3	0	42,7
	12	190	125	95,5	119,5	65	25,4	0	125	0	0
1962	1	99	136	64,8	54,5	0	77,2	30,6	129,6	0	6,4
	2	11	96	28,1	85,2	0	41,5	36,7	47,7	0	48,3
	3	160	92	96,1	121,9	68	17,2	0	92	0	0
	4	49	56	89,1	53,9	0	39,7	7	56	0	0
	5	23	36	76,1	60,9	0	26,5	13	36	0	0
	6	0	22	63	73,9	0	13,1	13,1	13,1	0	8,9
	7	70	19	114	87	51	8	0	19	0	0
	8	19	32	101	36	0	29,2	13	32	0	0
	9	2	42	72,4	49	0	29,8	28,6	30,6	0	11,4
	10	49	77	58,9	77,6	0	37,2	13,5	62,5	0	14,5
	11	40	93	38,1	91,1	0	36,5	20,8	60,8	0	32,2
	12	130	125	43,1	111,9	5	31,7	0	125	0	0
1963	1	83	136	25,9	106,9	0	38,3	17,2	100,2	0	35,8
	2	61	96	19,9	124,1	0	16,6	6	67	0	29
	3	142	92	69,9	130,1	50	12,2	0	92	0	0
	4	31	56	44,9	80,1	0	34,3	25	56	0	0
	5	19	36	39,8	105,1	0	10,8	5,1	24,1	0	11,9
	6	18	22	38,7	110,2	0	5,8	1,1	19,1	0	2,9
	7	6	19	35,4	111,3	0	4,9	3,4	9,4	0	9,6
	8	0	32	27,8	114,6	0	7,5	7,5	7,5	0	24,5
	9	13	42	22,4	122,2	0	7,8	5,4	18,4	0	23,6
	10	119	77	64,4	127,6	42	11,5	0	77	0	0
	11	93	93	64,4	85,6	0	42,9	0	93	0	0
	12	186	125	125,4	85,6	61	51,3	0	125	0	0
1964	1	51	136	60,3	24,6	0	99,3	65,2	116,2	0	19,8
	2	71	96	50,2	89,7	0	38,6	10	81	0	15
	3	149	92	107,2	99,8	57	30,8	0	92	0	0
	4	29	56	81,1	42,8	0	42	26,1	55,1	0	0,9
	5	4	36	63,8	68,9	0	19,5	17,3	21,3	0	14,7
	6	4	22	56,2	86,2	0	9,4	7,7	11,7	0	10,3
	7	0	19	49	93,8	0	7,1	7,1	7,1	0	11,9
	8	34	32	51	101	2	10,5	0	32	0	0
	9	61	42	70	99	19	15,1	0	42	0	0
	10	16	77	36	80	0	39,3	34,1	50,1	0	26,9
	11	90	93	35,2	114	0	22,3	0,7	90,7	0	2,3
	12	73	125	23	114,8	0	29,4	12,2	85,2	0	39,8
1965	1	73	136	13,4	127	0	20,9	9,7	82,7	0	53,3

	2	28	96	7,3	136,6	0	8,5	6,1	34,1	0	61,9
	3	18	92	3,7	142,7	0	4,5	3,6	21,6	0	70,4
	4	58	56	5,7	146,3	2	1,4	0	56	0	0
	5	13	36	3,2	144,3	0	2,8	2,5	15,5	0	20,5
	6	82	22	63,2	146,8	60	0,5	0	22	0	0
	7	5	19	49,2	86,8	0	19	14	19	0	0
	8	0	32	32,8	100,8	0	16,3	16,3	16,3	0	15,7
	9	14	42	26,7	117,2	0	9,2	6,1	20,1	0	21,9
	10	85	77	34,7	123,3	8	13,7	0	77	0	0
	11	104	93	45,7	115,3	11	23,1	0	93	0	0
	12	84	125	22,8	104,3	0	37,9	22,9	106,9	0	18,1
1966	1	121	136	20,5	127,2	0	20,7	2,3	123,3	0	12,7
	2	83	96	18,7	129,5	0	13,1	1,8	84,8	0	11,2
	3	281	92	150	131,3	131,3	11,5	0	92	57,7	0
	4	55	56	149	0	0	50,8	1	56	0	0
	5	1	36	115,8	1	0	34	33,2	34,2	0	1,8
	6	19	22	113,5	34,2	0	17	2,3	21,3	0	0,7
	7	3	19	101,4	36,5	0	14,4	12,1	15,1	0	3,9
	8	8	32	85,2	48,6	0	21,6	16,2	24,2	0	7,8
	9	8	42	65,9	64,8	0	23,9	19,3	27,3	0	14,7
	10	2	77	32,9	84,1	0	33,8	32,9	34,9	0	42,1
	11	174	93	113,9	117,1	81	20,4	0	93	0	0
	12	123	125	111,9	36,1	0	84,3	2	125	0	0
1967	1	45	136	48,6	38,1	0	90	63,3	108,3	0	27,7
	2	80	96	43,4	101,4	0	31,1	5,2	85,2	0	10,8
	3	94	92	45,4	106,6	2	26,6	0	92	0	0
	4	125	56	114,4	104,6	69	17,6	0	56	0	0
	5	12	36	90,4	35,6	0	31,6	24	36	0	0
	6	0	22	76,9	59,6	0	13,5	13,5	13,5	0	8,5
	7	32	19	89,9	73,1	13	9,7	0	19	0	0
	8	88	32	145,9	60,1	56	22,7	0	32	0	0
	9	68	42	150	4,1	4,1	38,7	0	42	21,9	0
	10	234	77	150	0	0	68,3	0	77	157	0
	11	89	93	146	0	0	81,7	4	93	0	0
	12	79	125	104,2	4	0	107,7	41,8	120,8	0	4,2
1968	1	50	136	44,4	45,8	0	94,4	59,7	109,7	0	26,3
	2	100	96	48,4	105,6	4	28,4	0	96	0	0
	3	119	92	75,4	101,6	27	30,1	0	92	0	0
	4	0	56	40	74,6	0	35,4	35,4	35,4	0	20,6
	5	0	36	30,4	110	0	9,6	9,6	9,6	0	26,4
	6	88	22	96,4	119,6	66	4,5	0	22	0	0
	7	11	19	88,4	53,6	0	19	8	19	0	0
	8	33	32	89,4	61,6	1	24,1	0	32	0	0
	9	30	42	77,4	60,6	0	29,4	12	42	0	0
	10	60	77	66,2	72,6	0	39,8	11,2	71,2	0	5,8

	11	34	93	40,1	83,8	0	41	26	60	0	33
	12	170	125	85,1	109,9	45	33,5	0	125	0	0
1969	1	29	136	27,3	64,9	0	69,5	57,9	86,9	0	49,1
	2	29	96	15,1	122,7	0	17,5	12,2	41,2	0	54,8
	3	71	92	13	134,9	0	9,3	2,1	73,1	0	18,9
	4	38	56	11,4	137	0	4,8	1,6	39,6	0	16,4
	5	111	36	86,4	138,6	75	2,7	0	36	0	0
	6	26	22	90,4	63,6	4	22	0	22	0	0
	7	50	19	121,4	59,6	31	19	0	19	0	0
	8	5	32	95,1	28,6	0	29,5	26,3	31,3	0	0,7
	9	35	42	90,7	54,9	0	26,6	4,4	39,4	0	2,6
	10	14	77	52,6	59,3	0	46,6	38,1	52,1	0	24,9
	11	97	93	56,6	97,4	4	32,6	0	93	0	0
	12	53	125	28,8	93,4	0	46,4	27,8	80,8	0	44,2
1970	1	122	136	26,1	121,2	0	26,1	2,7	124,7	0	11,3
	2	122	96	52,1	123,9	26	16,7	0	96	0	0
	3	81	92	41,1	97,9	0	37,1	11	92	0	0
	4	41	56	26,9	108,9	0	21,6	14,2	55,2	0	0,8
	5	21	36	24,2	123,1	0	6,5	2,7	23,7	0	12,3
	6	0	22	20,7	125,8	0	3,5	3,5	3,5	0	18,5
	7	7	19	19	129,3	0	2,6	1,7	8,7	0	10,3
	8	0	32	14,9	131	0	4,1	4,1	4,1	0	27,9
	9	32	42	14	135,1	0	4,2	1	33	0	9
	10	72	77	13,5	136	0	7,2	0,5	72,5	0	4,5
	11	103	93	23,5	136,5	10	8,4	0	93	0	0
	12	179	125	77,5	126,5	54	20,3	0	125	0	0
1971	1	183	136	124,5	72,5	47	63,8	0	136	0	0
	2	183	96	150	25,5	25,5	72,1	0	96	61,5	0
	3	63	92	121,7	0	0	80,8	28,3	91,3	0	0,7
	4	103	56	150	28,3	28,3	45,4	0	56	18,7	0
	5	14	36	128	0	0	34,2	22	36	0	0
	6	7	22	115	22	0	18,8	13	20	0	2
	7	45	19	141	35	26	14,6	0	19	0	0
	8	29	32	138	9	0	30,4	3	32	0	0
	9	85	42	150	12	12	37,5	0	42	31	0
	10	69	77	142	0	0	68,3	8	77	0	0
	11	26	93	83,3	8	0	80,3	58,7	84,7	0	8,3
	12	47	125	40	66,7	0	69,4	43,3	90,3	0	34,7
1972	1	73	136	23,2	110	0	36,3	16,8	89,8	0	46,2
	2	73	96	19,6	126,8	0	14,8	3,6	76,6	0	19,4
	3	88	92	19,1	130,4	0	12	0,5	88,5	0	3,5
	4	41	56	17,2	130,9	0	7,1	1,9	42,9	0	13,1
	5	0	36	13,1	132,8	0	4,1	4,1	4,1	0	31,9
	6	24	22	15,1	136,9	2	1,9	0	22	0	0
	7	19	19	15,1	134,9	0	3,5	0	19	0	0

	8	51	32	34,1	134,9	19	4,6	0	32	0	0
	9	115	42	107,1	115,9	73	22,8	0	42	0	0
	10	139	77	150	42,9	42,9	53,5	0	77	19,1	0
	11	171	93	150	0	0	81,7	0	93	78	0
	12	145	125	150	0	0	108,3	0	125	20	0
1973	1	54	136	77,5	0	0	117,5	72,5	126,5	0	9,5
	2	172	96	150	72,5	72,5	49,6	0	96	3,5	0
	3	251	92	150	0	0	80,8	0	92	159	0
	4	204	56	150	0	0	50,8	0	56	148	0
	5	20	36	134	0	0	34,2	16	36	0	0
	6	133	22	150	16	16	19,8	0	22	95	0
	7	59	19	150	0	0	19	0	19	40	0
	8	0	32	119,2	0	0	30,8	30,8	30,8	0	1,2
	9	0	42	85,8	30,8	0	33,4	33,4	33,4	0	8,6
	10	164	77	150	64,2	64,2	44	0	77	22,8	0
	11	57	93	115,8	0	0	81,7	34,2	91,2	0	1,8
	12	45	125	54,1	34,2	0	96,5	61,8	106,8	0	18,2
1974	1	34	136	17,3	95,9	0	49	36,8	70,8	0	65,2
	2	79	96	15,3	132,7	0	11,1	2	81	0	15
	3	104	92	27,3	134,7	12	9,4	0	92	0	0
	4	0	56	10,8	122,7	0	16,5	16,5	16,5	0	39,5
	5	102	36	76,8	139,2	66	2,6	0	36	0	0
	6	4	22	58,8	73,2	0	22	18	22	0	0
	7	130	19	150	91,2	91,2	11,1	0	19	19,8	0
	8	24	32	142	0	0	30,8	8	32	0	0
	9	8	42	110,8	8	0	37,8	31,2	39,2	0	2,8
	10	81	77	114,8	39,2	4	56,9	0	77	0	0
	11	23	93	62,1	35,2	0	69,8	52,8	75,8	0	17,2
	12	127	125	64,1	87,9	2	51,7	0	125	0	0
1975	1	182	136	110,1	85,9	46	57,4	0	136	0	0
	2	67	96	82,8	39,9	0	65,3	27,3	94,3	0	1,7
	3	334	92	150	67,2	67,2	50,8	0	92	174,8	0
	4	44	56	138	0	0	50,8	12	56	0	0
	5	46	36	148	12	10	32,2	0	36	0	0
	6	37	22	150	2	2	22	0	22	13	0
	7	0	19	131	0	0	19	19	19	0	0
	8	41	32	140	19	9	27,7	0	32	0	0
	9	156	42	150	10	10	37,5	0	42	104	0
	10	90	77	150	0	0	68,3	0	77	13	0
	11	68	93	125	0	0	81,7	25	93	0	0
	12	45	125	58,3	25	0	104,2	66,7	111,7	0	13,3
1976	1	272	136	150	91,7	91,7	52,9	0	136	44,3	0
	2	196	96	150	0	0	84,2	0	96	100	0
	3	17	92	83,3	0	0	80,8	66,7	83,7	0	8,3
	4	78	56	105,3	66,7	22	31,1	0	56	0	0

	5	55	36	124,3	44,7	19	29,8	0	36	0	0
	6	0	22	102,3	25,7	0	22	22	22	0	0
	7	6	19	92,7	47,7	0	13,6	9,6	15,6	0	3,4
	8	88	32	148,7	57,3	56	19,8	0	32	0	0
	9	0	42	109,7	1,3	0	39	39	39	0	3
	10	91	77	123,7	40,3	14	56,3	0	77	0	0
	11	203	93	150	26,3	26,3	71,8	0	93	83,7	0
	12	165	125	150	0	0	108,3	0	125	40	0
1977	1	165	136	150	0	0	117,5	0	136	29	0
	2	213	96	150	0	0	84,2	0	96	117	0
	3	70	92	128	0	0	80,8	22	92	0	0
	4	34	56	109,2	22	0	47,2	18,8	52,8	0	3,2
	5	3	36	85,2	40,8	0	26,2	24	27	0	9
	6	45	22	108,2	64,8	23	12,5	0	22	0	0
	7	11	19	100,2	41,8	0	19	8	19	0	0
	8	42	32	110,2	49,8	10	24,7	0	32	0	0
	9	22	42	90,2	39,8	0	34,7	20	42	0	0
	10	114	77	127,2	59,8	37	45,9	0	77	0	0
	11	51	93	90,6	22,8	0	71,3	36,6	87,6	0	5,4
	12	335	125	150	59,4	59,4	75,5	0	125	150,6	0
1978	1	119	136	133	0	0	117,5	17	136	0	0
	2	75	96	114,2	17	0	81,3	18,8	93,8	0	2,2
	3	273	92	150	35,8	35,8	70	0	92	145,2	0
	4	7	56	105	0	0	50,8	45	52	0	4
	5	0	36	79,8	45	0	25,2	25,2	25,2	0	10,8
	6	6	22	71,3	70,2	0	11,7	8,5	14,5	0	7,5
	7	54	19	106,3	78,7	35	9	0	19	0	0
	8	0	32	77,5	43,7	0	28,8	28,8	28,8	0	3,2
	9	198	42	150	72,5	72,5	21,7	0	42	83,5	0
	10	111	77	150	0	0	68,3	0	77	34	0
	11	88	93	145	0	0	81,7	5	93	0	0
	12	116	125	136	5	0	107,5	9	125	0	0
1979	1	94	136	99,2	14	0	115,2	36,8	130,8	0	5,2
	2	125	96	128,2	50,8	29	63,5	0	96	0	0
	3	59	92	97,7	21,8	0	71,1	30,5	89,5	0	2,5
	4	77	56	118,7	52,3	21	36,5	0	56	0	0
	5	2	36	89,2	31,3	0	30,8	29,5	31,5	0	4,5
	6	76	22	143,2	60,8	54	13,1	0	22	0	0
	7	12	19	136,2	6,8	0	19	7	19	0	0
	8	8	32	113,5	13,8	0	29	22,7	30,7	0	1,3
	9	68	42	139,5	36,5	26	31,8	0	42	0	0
	10	55	77	117,5	10,5	0	64,7	22	77	0	0
	11	251	93	150	32,5	32,5	71,7	0	93	125,5	0
	12	99	125	124,2	0	0	108,3	25,8	124,8	0	0,2
1980	1	5	136	15,7	25,8	0	112,6	108,4	113,4	0	22,6

	2	95	96	15,6	134,3	0	10,1	0,1	95,1	0	0,9
	3	60	92	12,3	134,4	0	9,6	3,3	63,3	0	28,7
	4	145	56	101,3	137,7	89	4,6	0	56	0	0
	5	22	36	87,3	48,7	0	30,6	14	36	0	0
	6	10	22	75,8	62,7	0	16,6	11,5	21,5	0	0,5
	7	1	19	66,7	74,2	0	9,6	9,1	10,1	0	8,9
	8	0	32	52,5	83,3	0	14,2	14,2	14,2	0	17,8
	9	41	42	52,1	97,5	0	14,7	0,3	41,3	0	0,7
	10	109	77	84,1	97,9	32	26,8	0	77	0	0
	11	91	93	82,1	65,9	0	51,8	2	93	0	0
	12	149	125	106,1	67,9	24	63,2	0	125	0	0
1981	1	300	136	150	43,9	43,9	85	0	136	120,1	0
	2	24	96	85,8	0	0	84,2	64,2	88,2	0	7,8
	3	130	92	123,8	64,2	38	52,6	0	92	0	0
	4	170	56	150	26,2	26,2	45,4	0	56	87,8	0
	5	10	36	124,2	0	0	34,2	25,8	35,8	0	0,2
	6	2	22	107,6	25,8	0	18,2	16,6	18,6	0	3,4
	7	10	19	101,2	42,4	0	13,6	6,5	16,5	0	2,5
	8	0	32	79,6	48,8	0	21,6	21,6	21,6	0	10,4
	9	6	42	60,5	70,4	0	22,3	19,1	25,1	0	16,9
	10	67	77	56,4	89,5	0	31	4	71	0	6
	11	133	93	96,4	93,6	40	35	0	93	0	0
	12	135	125	106,4	53,6	10	72,6	0	125	0	0
1982	1	100	136	75,5	43,6	0	85,3	31	131	0	5
	2	181	96	150	74,5	74,5	48,3	0	96	10,5	0
	3	53	92	113,3	0	0	80,8	36,7	89,7	0	2,3
	4	97	56	150	36,7	36,7	42,3	0	56	4,3	0
	5	3	36	118,3	0	0	34,2	31,7	34,7	0	1,3
	6	18	22	115,2	31,7	0	17,4	3,2	21,2	0	0,8
	7	10	19	108,3	34,8	0	14,6	6,9	16,9	0	2,1
	8	0	32	85,2	41,7	0	23,1	23,1	23,1	0	8,9
	9	58	42	101,2	64,8	16	23,8	0	42	0	0
	10	49	77	78,4	48,8	0	50,6	22,8	71,8	0	5,2
	11	152	93	137,4	71,6	59	48,6	0	93	0	0
	12	73	125	92,1	12,6	0	99,9	45,2	118,2	0	6,8
1983	1	211	136	150	57,9	57,9	83,5	0	136	17,1	0
	2	44	96	102,5	0	0	84,2	47,5	91,5	0	4,5
	3	71	92	88,2	47,5	0	62,9	14,3	85,3	0	6,7
	4	30	56	72,9	61,9	0	32,9	15,3	45,3	0	10,7
	5	80	36	116,9	77,1	44	17,5	0	36	0	0
	6	2	22	96,9	33,1	0	22	20	22	0	0
	7	4	19	85,7	53,1	0	13,6	11,1	15,1	0	3,9
	8	35	32	88,7	64,3	3	18,3	0	32	0	0
	9	22	42	76	61,3	0	25,3	12,7	34,7	0	7,3
	10	84	77	83	74	7	39	0	77	0	0

	11	112	93	102	67	19	50,6	0	93	0	0
	12	74	125	63,7	48	0	76,4	38,4	112,4	0	12,6
1984	1	86	136	42,5	86,3	0	57,7	21,2	107,2	0	28,8
	2	231	96	150	107,5	107,5	27,2	0	96	27,5	0
	3	78	92	136	0	0	80,8	14	92	0	0
	4	26	56	109,2	14	0	48,5	26,8	52,8	0	3,2
	5	6	36	87,3	40,8	0	26,2	21,8	27,8	0	8,2
	6	8	22	79,2	62,7	0	12,8	8,2	16,2	0	5,8
	7	1	19	69,7	70,8	0	10	9,5	10,5	0	8,5
	8	14	32	61,3	80,3	0	14,9	8,4	22,4	0	9,6
	9	48	42	67,3	88,7	6	17,2	0	42	0	0
	10	56	77	55,2	82,7	0	35	12,1	68,1	0	8,9
	11	166	93	128,2	94,8	73	34,2	0	93	0	0
	12	122	125	125,2	21,8	0	93,8	3	125	0	0
1985	1	30	136	45,4	24,8	0	100,4	79,8	109,8	0	26,2
	2	121	96	70,4	104,6	25	29,1	0	96	0	0
	3	9	92	27,8	79,6	0	45,3	42,6	51,6	0	40,4
	4	46	56	26	122,2	0	10,4	1,9	47,9	0	8,1
	5	3	36	20,3	124	0	6,2	5,7	8,7	0	27,3
	6	0	22	17,3	129,7	0	3	3	3	0	19
	7	67	19	65,3	132,7	48	2,2	0	19	0	0
	8	33	32	66,3	84,7	1	26,9	0	32	0	0
	9	65	42	89,3	83,7	23	29,7	0	42	0	0
	10	121	77	133,3	60,7	44	47,3	0	77	0	0
	11	78	93	118,3	16,7	0	74,1	15	93	0	0
	12	192	125	150	31,7	31,7	93	0	125	35,3	0
1986	1	290	136	150	0	0	117,5	0	136	154	0
	2	31	96	91,7	0	0	84,2	58,3	89,3	0	6,7
	3	85	92	87,4	58,3	0	56,2	4,3	89,3	0	2,7
	4	19	56	65,8	62,6	0	32,6	21,6	40,6	0	15,4
	5	17	36	57,5	84,2	0	15,8	8,3	25,3	0	10,7
	6	13	22	54	92,5	0	8,4	3,4	16,4	0	5,6
	7	3	19	48,3	96	0	6,8	5,8	8,8	0	10,2
	8	47	32	63,3	101,7	15	10,3	0	32	0	0
	9	24	42	47,3	86,7	0	23,7	16	40	0	2
	10	75	77	46,7	102,7	0	24,3	0,6	75,6	0	1,4
	11	117	93	70,7	103,3	24	28,9	0	93	0	0
	12	153	125	98,7	79,3	28	55,4	0	125	0	0
1987	1	201	136	150	51,3	51,3	79,5	0	136	13,7	0
	2	120	96	150	0	0	84,2	0	96	24	0
	3	190	92	150	0	0	80,8	0	92	98	0
	4	23	56	118,3	0	0	50,8	31,7	54,7	0	1,3
	5	126	36	150	31,7	31,7	28,4	0	36	58,3	0
	6	0	22	128	0	0	22	22	22	0	0
	7	17	19	126	22	0	16,3	2	19	0	0

	8	23	32	118,3	24	0	26,8	7,7	30,7	0	1,3
	9	10	42	93,1	31,7	0	33,1	25,2	35,2	0	6,8
	10	94	77	110,1	56,9	17	47,8	0	77	0	0
	11	89	93	106,1	39,9	0	64,2	4	93	0	0
	12	117	125	98,1	43,9	0	82,5	8	125	0	0
1988	1	156	136	118,1	51,9	20	86,3	0	136	0	0
	2	73	96	95,1	31,9	0	69,1	23	96	0	0
	3	275	92	150	54,9	54,9	57,9	0	92	128,1	0
	4	28	56	122,5	0	0	50,8	27,5	55,5	0	0,5
	5	19	36	108,6	27,5	0	29,4	13,9	32,9	0	3,1
	6	0	22	92,7	41,4	0	15,9	15,9	15,9	0	6,1
	7	31	19	104,7	57,3	12	11,7	0	19	0	0
	8	3	32	82,2	45,3	0	24,4	22,5	25,5	0	6,5
	9	31	42	76,2	67,8	0	23	6	37	0	5
	10	25	77	49,8	73,8	0	39,1	26,4	51,4	0	25,6
	11	41	93	32,5	100,2	0	30,8	17,2	58,2	0	34,8
	12	78	125	22,3	117,5	0	27,1	10,2	88,2	0	36,8
1989	1	70	136	12,5	127,7	0	20,2	9,8	79,8	0	56,2
	2	23	96	6,4	137,5	0	8	6,1	29,1	0	66,9
	3	119	92	33,4	143,6	27	3,9	0	92	0	0
	4	45	56	22,4	116,6	0	26,7	11	56	0	0
	5	27	36	13,4	127,6	0	15,2	9	36	0	0
	6	40	22	31,4	136,6	18	6	0	22	0	0
	7	0	19	12,4	118,6	0	19	19	19	0	0
	8	16	32	7,7	137,6	0	5,6	4,7	20,7	0	11,3
	9	19	42	6,6	142,3	0	2,2	1,2	20,2	0	21,8
	10	43	77	5,1	143,4	0	3,4	1,5	44,5	0	32,5
	11	97	93	9,1	144,9	4	3,1	0	93	0	0
	12	115	125	4,9	140,9	0	8,1	4,2	119,2	0	5,8
1990	1	127	136	4,6	145,1	0	4,4	0,3	127,3	0	8,7
	2	153	96	61,6	145,4	57	2,9	0	96	0	0
	3	190	92	150	88,4	88,4	41,3	0	92	9,6	0
	4	91	56	150	0	0	50,8	0	56	35	0
	5	45	36	150	0	0	34,2	0	36	9	0
	6	0	22	128	0	0	22	22	22	0	0
	7	63	19	150	22	22	16,3	0	19	22	0
	8	0	32	119,2	0	0	30,8	30,8	30,8	0	1,2
	9	11	42	94,5	30,8	0	33,4	24,6	35,6	0	6,4
	10	113	77	130,5	55,5	36	48,5	0	77	0	0
	11	250	93	150	19,5	19,5	72,8	0	93	137,5	0
	12	236	125	150	0	0	108,3	0	125	111	0
1991	1	164	136	150	0	0	117,5	0	136	28	0
	2	64	96	119,2	0	0	84,2	30,8	94,8	0	1,2
	3	122	92	149,2	30,8	30	73,1	0	92	0	0
	4	163	56	150	0,8	0,8	50,7	0	56	106,2	0

	5	93	36	150	0	0	34,2	0	36	57	0
	6	50	22	150	0	0	22	0	22	28	0
	7	20	19	150	0	0	19	0	19	1	0
	8	50	32	150	0	0	30,8	0	32	18	0
	9	16	42	124,2	0	0	39,2	25,8	41,8	0	0,2
	10	48	77	100,2	25,8	0	63,7	24	72	0	5
	11	54	93	74,1	49,8	0	62,1	26	80	0	13
	12	332	125	150	75,9	75,9	61,8	0	125	131,1	0
1992	1	50	136	74,2	0	0	117,5	75,8	125,8	0	10,2
	2	34	96	43,5	75,8	0	47,5	30,7	64,7	0	31,3
	3	89	92	42,6	106,5	0	26,7	0,9	89,9	0	2,1
	4	19	56	32,1	107,4	0	15,9	10,5	29,5	0	26,5
	5	0	36	24,4	117,9	0	7,7	7,7	7,7	0	28,3
	6	10	22	22,5	125,6	0	3,6	2	12	0	10
	7	22	19	25,5	127,5	3	2,8	0	19	0	0
	8	42	32	35,5	124,5	10	7,3	0	32	0	0
	9	96	42	89,5	114,5	54	17,3	0	42	0	0
	10	100	77	112,5	60,5	23	47,3	0	77	0	0
	11	428	93	150	37,5	37,5	64,6	0	93	297,5	0
	12	182	125	150	0	0	108,3	0	125	57	0
1993	1	140	136	150	0	0	117,5	0	136	4	0
	2	125	96	150	0	0	84,2	0	96	29	0
	3	115	92	150	0	0	80,8	0	92	23	0
	4	158	56	150	0	0	50,8	0	56	102	0
	5	156	36	150	0	0	34,2	0	36	120	0
	6	19	22	147	0	0	22	3	22	0	0
	7	5	19	133	3	0	19	14	19	0	0
	8	31	32	132	17	0	28	1	32	0	0
	9	51	42	141	18	9	36,2	0	42	0	0
	10	119	77	150	9	9	66,8	0	77	33	0
	11	145	93	150	0	0	81,7	0	93	52	0
	12	190	125	150	0	0	108,3	0	125	65	0
1994	1	73	136	93,3	0	0	117,5	56,7	129,7	0	6,3
	2	118	96	115,3	56,7	22	59,7	0	96	0	0
	3	31	92	69,1	34,7	0	65,6	46,3	77,3	0	14,7
	4	45	56	64	80,9	0	25,8	5,1	50,1	0	5,9
	5	25	36	59,3	86	0	15,4	4,7	29,7	0	6,3
	6	31	22	68,3	90,7	9	8,7	0	22	0	0
	7	16	19	65,3	81,7	0	13	3	19	0	0
	8	46	32	79,3	84,7	14	16,3	0	32	0	0
	9	8	42	53,8	70,7	0	28,7	25,5	33,5	0	8,5
	10	164	77	140,8	96,2	87	27,6	0	77	0	0
	11	165	93	150	9,2	9,2	77,5	0	93	62,8	0
	12	72	125	101,7	0	0	108,3	48,3	120,3	0	4,7
1995	1	135	136	101	48,3	0	92,2	0,7	135,7	0	0,3

	2	139	96	144	49	43	64,6	0	96	0	0
	3	60	92	113,4	6	0	78,1	30,6	90,6	0	1,4
	4	36	56	98,3	36,6	0	42,3	15,1	51,1	0	4,9
	5	37	36	99,3	51,7	1	23,6	0	36	0	0
	6	13	22	93,1	50,7	0	14,8	6,2	19,2	0	2,8
	7	6	19	85	56,9	0	11,8	8,1	14,1	0	4,9
	8	6	32	70,3	65	0	18,1	14,7	20,7	0	11,3
	9	54	42	82,3	79,7	12	19,7	0	42	0	0
	10	28	77	52,9	67,7	0	42,4	29,3	57,3	0	19,7
	11	109	93	68,9	97,1	16	32,8	0	93	0	0
	12	38	125	27,9	81,1	0	54,5	41,1	79,1	0	45,9
1996	1	86	136	18,6	122,1	0	25,3	9,3	95,3	0	40,7
	2	127	96	49,6	131,4	31	11,9	0	96	0	0
	3	154	92	111,6	100,4	62	36	0	92	0	0
	4	150	56	150	38,4	38,4	42,9	0	56	55,6	0
	5	44	36	150	0	0	34,2	0	36	8	0
	6	0	22	128	0	0	22	22	22	0	0
	7	2	19	113,3	22	0	16,3	14,7	16,7	0	2,3
	8	3	32	91,4	36,7	0	24,2	21,9	24,9	0	7,1
	9	18	42	76,8	58,6	0	25,6	14,6	32,6	0	9,4
	10	32	77	53,8	73,2	0	39,4	23	55	0	22
	11	62	93	42,6	96,2	0	33,3	11,1	73,1	0	19,9
	12	137	125	54,6	107,4	12	35,5	0	125	0	0
1997	1	87	136	32,1	95,4	0	47,3	22,5	109,5	0	26,5
	2	98	96	34,1	117,9	2	20,6	0	96	0	0
	3	70	92	27,8	115,9	0	21,3	6,3	76,3	0	15,7
	4	82	56	53,8	122,2	26	10,4	0	56	0	0
	5	24	36	41,8	96,2	0	27,1	12	36	0	0
	6	58	22	77,8	108,2	36	14,7	0	22	0	0
	7	12	19	70,8	72,2	0	19	7	19	0	0
	8	13	32	52,5	79,2	0	22,9	18,4	31,4	0	0,6
	9	26	42	46,9	97,5	0	14,7	5,6	31,6	0	10,4
	10	95	77	64,9	103,1	18	24,1	0	77	0	0
	11	143	93	114,9	85,1	50	41,4	0	93	0	0
	12	224	125	150	35,1	35,1	84,9	0	125	63,9	0
1998	1	263	136	150	0	0	117,5	0	136	127	0
	2	291	96	150	0	0	84,2	0	96	195	0
	3	36	92	99,2	0	0	80,8	50,8	86,8	0	5,2
	4	119	56	150	50,8	50,8	37	0	56	12,2	0
	5	56	36	150	0	0	34,2	0	36	20	0
	6	4	22	132	0	0	22	18	22	0	0
	7	6	19	120	18	0	17	12	18	0	1
	8	23	32	112,8	30	0	25,6	7,2	30,2	0	1,8
	9	0	42	81,2	37,2	0	31,6	31,6	31,6	0	10,4
	10	45	77	63,9	68,8	0	41,7	17,3	62,3	0	14,7

	11	222	93	150	86,1	86,1	39,6	0	93	42,9	0
	12	139	125	150	0	0	108,3	0	125	14	0
1999	1	108	136	122,5	0	0	117,5	27,5	135,5	0	0,5
	2	106	96	132,5	27,5	10	78,4	0	96	0	0
	3	219	92	150	17,5	17,5	77	0	92	109,5	0
	4	113	56	150	0	0	50,8	0	56	57	0
	5	11	36	125	0	0	34,2	25	36	0	0
	6	27	22	130	25	5	18,3	0	22	0	0
	7	8	19	120	20	0	16,7	10	18	0	1
	8	10	32	102,4	30	0	25,6	17,6	27,6	0	4,4
	9	52	42	112,4	47,6	10	28,7	0	42	0	0
	10	83	77	118,4	37,6	6	55,7	0	77	0	0
	11	37	93	75,1	31,6	0	68,6	43,3	80,3	0	12,7
	12	134	125	84,1	74,9	9	62,6	0	125	0	0
2000	1	105	136	64,1	65,9	0	72,6	20	125	0	11
	2	46	96	42,7	85,9	0	41	21,4	67,4	0	28,6
	3	57	92	32,8	107,3	0	26,2	10	67	0	25
	4	101	56	77,8	117,2	45	12,2	0	56	0	0
	5	83	36	124,8	72,2	47	28,9	0	36	0	0
	6	10	22	112,8	25,2	0	22	12	22	0	0
	7	0	19	95,8	37,2	0	17	17	17	0	2
	8	0	32	75,3	54,2	0	20,4	20,4	20,4	0	11,6
	9	6	42	57,3	74,7	0	21,1	18,1	24,1	0	17,9
	10	66	77	53,1	92,7	0	29,4	4,2	70,2	0	6,8
	11	194	93	150	96,9	96,9	32,9	0	93	4,1	0
	12	32	125	68,3	0	0	108,3	81,7	113,7	0	11,3
2001	1	96	136	50,1	81,7	0	62	18,2	114,2	0	21,8
	2	19	96	24,4	99,9	0	32,1	25,7	44,7	0	51,3
	3	272	92	150	125,6	125,6	15	0	92	54,4	0
	4	105	56	150	0	0	50,8	0	56	49	0
	5	22	36	136	0	0	34,2	14	36	0	0
	6	0	22	115,8	14	0	20,2	20,2	20,2	0	1,8
	7	0	19	101,2	34,2	0	14,7	14,7	14,7	0	4,3
	8	44	32	113,2	48,8	12	21,6	0	32	0	0
	9	86	42	150	36,8	36,8	32,2	0	42	7,2	0
	10	77	77	150	0	0	68,3	0	77	0	0
	11	48	93	108,3	0	0	81,7	41,7	89,7	0	3,3
	12	70	125	68,6	41,7	0	90,3	39,7	109,7	0	15,3
2002	1	79	136	42,5	81,4	0	62,2	26,1	105,1	0	30,9
	2	56	96	31,2	107,5	0	27,2	11,3	67,3	0	28,7
	3	180	92	119,2	118,8	88	19,1	0	92	0	0
	4	144	56	150	30,8	30,8	44,5	0	56	57,2	0
	5	28	36	142	0	0	34,2	8	36	0	0
	6	1	22	121,7	8	0	21,2	20,3	21,3	0	0,7
	7	7	19	111,9	28,3	0	15,4	9,7	16,7	0	2,3

	8	55	32	134,9	38,1	23	23,9	0	32	0	0
	9	10	42	105,2	15,1	0	37,2	29,7	39,7	0	2,3
	10	264	77	150	44,8	44,8	54	0	77	142,2	0
	11	212	93	150	0	0	81,7	0	93	119	0
	12	182	125	150	0	0	108,3	0	125	57	0
2003	1	60	136	82,5	0	0	117,5	67,5	127,5	0	8,5
	2	124	96	110,5	67,5	28	52,8	0	96	0	0
	3	249	92	150	39,5	39,5	63,2	0	92	117,5	0
	4	75	56	150	0	0	50,8	0	56	19	0
	5	7	36	121,7	0	0	34,2	28,3	35,3	0	0,7
	6	0	22	103,8	28,3	0	17,8	17,8	17,8	0	4,2
	7	44	19	128,8	46,2	25	13,2	0	19	0	0
	8	17	32	113,8	21,2	0	29,8	15	32	0	0
	9	7	42	86,5	36,2	0	32,1	27,3	34,3	0	7,7
	10	0	77	42,1	63,5	0	44,4	44,4	44,4	0	32,6
	11	21	93	21,9	107,9	0	26,1	20,2	41,2	0	51,8
	12	140	125	36,9	128,1	15	18,2	0	125	0	0
2004	1	111	136	20,4	113,1	0	32,7	16,5	127,5	0	8,5
	2	44	96	13,4	129,6	0	13,1	7,1	51,1	0	44,9
	3	71	92	11,5	136,6	0	8,2	1,9	72,9	0	19,1
	4	150	56	105,5	138,5	94	4,3	0	56	0	0
	5	108	36	150	44,5	44,5	30,9	0	36	27,5	0
	6	0	22	128	0	0	22	22	22	0	0
	7	82	19	150	22	22	16,3	0	19	41	0
	8	24	32	142	0	0	30,8	8	32	0	0
	9	0	42	104,2	8	0	37,8	37,8	37,8	0	4,2
	10	132	77	150	45,8	45,8	53,5	0	77	9,2	0
	11	65	93	122,5	0	0	81,7	27,5	92,5	0	0,5
	12	144	125	141,5	27,5	19	102,1	0	125	0	0
2005	1	131	136	136,5	8,5	0	114,6	5	136	0	0
	2	103	96	143,5	13,5	7	81	0	96	0	0
	3	62	92	115,1	6,5	0	79	28,3	90,3	0	1,7
	4	41	56	103,6	34,9	0	43	11,5	52,5	0	3,5
	5	0	36	78,8	46,4	0	24,9	24,9	24,9	0	11,1
	6	20	22	77,7	71,2	0	11,6	1,1	21,1	0	0,9
	7	0	19	67,9	72,3	0	9,8	9,8	9,8	0	9,2
	8	35	32	70,9	82,1	3	14,5	0	32	0	0
	9	60	42	88,9	79,1	18	20,6	0	42	0	0
	10	80	77	91,9	61,1	3	46,3	0	77	0	0
	11	102	93	100,9	58,1	9	55,2	0	93	0	0
	12	37	125	44	49,1	0	75,6	56,9	93,9	0	31,1
2006	1	34	136	14,1	106	0	39,9	29,9	63,9	0	72,1
	2	246	96	150	135,9	135,9	9	0	96	14,1	0
	3	121	92	150	0	0	80,8	0	92	29	0
	4	226	56	150	0	0	50,8	0	56	170	0

	5	16	36	130	0	0	34,2	20	36	0	0
	6	0	22	110,8	20	0	19,2	19,2	19,2	0	2,8
	7	0	19	96,8	39,2	0	14	14	14	0	5
	8	0	32	76,1	53,2	0	20,6	20,6	20,6	0	11,4
	9	8	42	58,9	73,9	0	21,3	17,3	25,3	0	16,7
	10	68	77	55,4	91,1	0	30,2	3,5	71,5	0	5,5
	11	160	93	122,4	94,6	67	34,3	0	93	0	0
	12	167	125	150	27,6	27,6	89,9	0	125	14,4	0
2007	1	133	136	147	0	0	117,5	3	136	0	0
	2	159	96	150	3	3	83,7	0	96	60	0
	3	165	92	150	0	0	80,8	0	92	73	0
	4	10	56	107,5	0	0	50,8	42,5	52,5	0	3,5
	5	20	36	96	42,5	0	25,8	11,5	31,5	0	4,5
	6	23	22	97	54	1	14,1	0	22	0	0
	7	30	19	108	53	11	12,5	0	19	0	0
	8	0	32	83,2	42	0	24,8	24,8	24,8	0	7,2
	9	109	42	150	66,8	66,8	23,3	0	42	0,2	0
	10	61	77	134	0	0	68,3	16	77	0	0
	11	15	93	67,5	16	0	79	66,5	81,5	0	11,5
	12	128	125	70,5	82,5	3	56,3	0	125	0	0
2008	1	103	136	54	79,5	0	62,9	16,5	119,5	0	16,5
	2	248	96	150	96	96	34,6	0	96	56	0
	3	95	92	150	0	0	80,8	0	92	3	0
	4	0	56	99,2	0	0	50,8	50,8	50,8	0	5,2
	5	0	36	75,4	50,8	0	23,8	23,8	23,8	0	12,2
	6	0	22	64,3	74,6	0	11,1	11,1	11,1	0	10,9
	7	0	19	56,2	85,7	0	8,1	8,1	8,1	0	10,9
	8	0	32	44,2	93,8	0	12	12	12	0	20
	9	4	42	33	105,8	0	12,4	11,2	15,2	0	26,8
	10	66	77	30,6	117	0	16,9	2,4	68,4	0	8,6
	11	139	93	76,6	119,4	46	19	0	93	0	0
	12	38	125	30,3	73,4	0	59,4	46,3	84,3	0	40,7
2009	1	58	136	14,5	119,7	0	27,4	15,7	73,7	0	62,3
	2	200	96	118,5	135,5	104	9,3	0	96	0	0
	3	76	92	102,5	31,5	0	66,8	16	92	0	0
	4	0	56	64,2	47,5	0	38,3	38,3	38,3	0	17,7
	5	11	36	53,5	85,8	0	15,4	10,7	21,7	0	14,3
	6	0	22	45,7	96,5	0	7,8	7,8	7,8	0	14,2
	7	0	19	39,9	104,3	0	5,8	5,8	5,8	0	13,2
	8	0	32	31,4	110,1	0	8,5	8,5	8,5	0	23,5
	9	125	42	114,4	118,6	83	8,8	0	42	0	0
	10	118	77	150	35,6	35,6	56	0	77	5,4	0
	11	59	93	117,5	0	0	81,7	32,5	91,5	0	1,5
	12	257	125	150	32,5	32,5	97,9	0	125	99,5	0
2010	1	274	136	150	0	0	117,5	0	136	138	-2

	2	139	96	150	0	0	84,2	0	96	43	53
	3	69	92	127	0	0	80,8	23	92	0	92
	4	83	56	150	23	23	47	0	56	4	52
	5	62	36	150	0	0	34,2	0	36	26	10
	6	0	22	128	0	0	22	22	22	0	22
	7	0	19	111,7	22	0	16,3	16,3	16,3	0	19
	8	0	32	87,8	38,3	0	23,8	23,8	23,8	0	32
	9	128	42	150	62,2	62,2	24,6	0	42	23,8	18,2
	10	79	77	150	0	0	68,3	0	77	2	75
	11	69	93	126	0	0	81,7	24	93	0	93
	12	88	125	95	24	0	104,3	31	119	0	125

Anexo III

Tablas de análisis físico-químicos de muestras de aguas
superficiales y subterráneas

Nº	pH	CE	SDT	CO3=	CO3H-	SO4=	Cl-	Na+	K+	Ca+2	Mg+2	As	F-	NO3-
Muestra		[µS/cm]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[µg/L]	[mg/L]	[mg/L]
A1	7,43	516	361	0,00	262,50	57,60	22,86	55,11	49,67	36,00	12,68	2	0,20	0,00
A2	6,83	358	251	0,00	165,00	21,24	20,00	7,08	37,22	38,40	7,80	1	0,10	0,00
A3 osc	7,54	2270	1589	0,00	587,50	373,81	262,86	386,75	50,11	74,40	31,71	18	0,50	0,00
A4	7,13	3460	2422	0,00	410,00	879,98	580,00	404,45	70,92	260,00	95,12	30	0,30	2,00
A5	8,34	6300	4410	2,42	550,00	1963,65	1005,71	1445,90	75,60	200,00	80,00	23	0,40	0,00
A6	8,98	5896	4127	41,21	422,50	1691,51	951,43	1456,02	33,70	68,00	65,85	85	1,80	15,00
A7	8,82	12540	8778	7,27	1465,00	2514,38	1828,57	3581,40	51,43	50,40	72,20	30	1,50	36,00
A8	7,80	7248	5074	0,00	678,75	1918,56	1157,14	1856,42	50,55	36,80	70,49	30	1,00	22,00
A9	7,73	484	339	0,00	266,25	47,94	25,71	31,34	23,30	37,60	21,95	0	0,14	1,00
A11	8,23	1729	1210	0,00	232,50	403,57	228,57	315,47	37,80	48,80	18,05	25	0,20	0,00

Tabla III.1. Determinaciones fisicoquímicas en [mg/L] de muestras de aguas superficiales

Nº	pH	CE	SDT	CO3=	CO3H-	SO4=	Cl-	Na+	K+	Ca+2	Mg+2	F-	NO3-
Muestra		[µS/cm]	[mg/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]
A1	7,43	516	361	0,00	4,20	1,21	0,64	2,37	1,24	1,80	1,04	0,01	0,00
A2	6,83	358	251	0,00	2,64	0,45	0,56	0,30	0,93	1,92	0,64	0,01	0,00
A3 osc	7,54	2270	1589	0,00	9,40	7,85	7,36	16,63	1,25	3,72	2,60	0,03	0,00
A4	7,13	3460	2422	0,00	6,56	18,48	16,24	17,39	1,77	13,00	7,80	0,02	0,03
A5	8,34	6300	4410	0,08	8,80	41,24	28,16	62,17	1,89	10,00	6,56	0,02	0,00
A6	8,98	5896	4127	1,36	6,76	35,52	26,64	62,61	0,84	3,40	5,40	0,09	0,24
A7	8,82	12540	8778	0,24	23,44	52,80	51,20	154,00	1,29	2,52	5,92	0,08	0,58
A8	7,80	7248	5074	0,00	10,86	40,29	32,40	79,83	1,26	1,84	5,78	0,05	0,35
A9	7,73	484	339	0,00	4,26	1,01	0,72	1,35	0,58	1,88	1,80	0,01	0,02
A11	8,23	1729	1210	0,00	3,72	8,48	6,40	13,57	0,95	2,44	1,48	0,01	0,00

Tabla III.2. Determinaciones fisicoquímicas en [meq/L] de muestras de aguas superficiales

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]	As [μg/L]	F ⁻ [mg/L]	NO ₃ ⁻ [mg/L]
B1	8,06	1073	751	0,00	630,00	43,27	5,71	221,44	34,87	17,60	18,05	350	3,00	28,00
B4	7,65	4480	3136	0,00	885,00	905,04	525,71	965,62	59,78	40,00	43,90	180	1,00	120,00
B5	7,51	4630	3241	0,00	922,50	1079,60	531,43	1076,85	43,52	20,00	25,37	200	2,00	2,00
B7	7,83	3160	2212	0,00	895,00	260,71	328,57	682,51	50,99	44,80	45,85	35	0,80	68,00
B8	7,75	2043	1430	0,00	770,00	89,80	97,14	467,14	21,98	21,60	13,66	200	2,10	125,00
B9	8,13	3864	2705	0,00	982,50	291,07	374,29	940,34	37,45	46,40	16,59	150	1,50	280,00
B10	8,33	3600	2520	0,00	1300,00	307,74	202,86	910,01	45,71	22,40	21,22	180	1,80	140,00
B11	7,46	6177	4324	0,00	767,50	1730,16	845,71	1516,68	48,64	86,40	53,17	90	0,85	140,00
B13	7,92	3519	2463	0,00	917,50	344,64	345,71	834,18	32,82	18,80	17,80	420	2,40	28,00
B15	7,74	2214	1550	0,00	750,00	122,35	162,86	512,64	38,68	27,60	21,71	240	1,00	185,00
B16	7,50	3275	2293	0,00	998,75	245,24	331,43	800,81	30,77	20,80	18,54	120	1,60	65,00
B17	7,59	4071	2850	0,00	700,00	382,74	621,43	955,51	29,89	37,60	23,41	120	1,25	44,00
B18	7,55	1864	1305	0,00	658,75	153,11	138,57	349,85	33,99	67,20	17,07	30	1,14	32,00
B19	7,44	1593	1115	0,00	730,00	69,84	100,00	311,43	47,03	51,20	26,83	90	0,53	32,00
B21	7,65	6608	4626	0,00	705,00	1586,84	1017,14	1613,75	64,47	74,40	69,27	90	1,15	360,00
B22	7,86	1613	1129	0,00	851,25	31,74	125,71	105,16	40,44	133,60	85,85	8	0,20	5,00
B23	7,26	1880	1316	0,00	587,50	88,89	175,71	333,67	48,79	129,60	21,22	15	0,32	240,00
B24	7,67	6990	4893	0,00	766,25	1883,14	1034,29	1666,33	55,38	54,40	55,12	160	1,40	60,00
B25	7,51	2400	1680	0,00	847,50	168,23	160,00	503,54	46,15	31,20	30,24	130	0,90	290,00
B26	7,64	5032	3522	0,00	802,50	689,22	672,86	1085,95	50,99	64,80	59,51	80	0,70	700,00
B27	7,65	3515	2461	0,00	895,00	478,98	371,43	849,34	36,34	25,60	25,37	110	1,00	300,00
B28	7,44	5005	3504	0,00	627,50	1121,46	832,86	1116,28	54,51	60,00	56,59	100	0,98	100,00
B29	7,89	3137	2196	0,00	846,25	319,05	344,29	744,19	27,25	16,80	13,41	150	2,10	240,00
B30	7,84	2578	1805	0,00	942,50	201,60	172,86	637,01	30,33	21,60	15,61	150	1,20	260,00
B31	8,19	3491	2444	0,00	1137,50	729,60	260,00	982,81	27,69	9,20	10,00	900	3,20	19,00

Tabla III.3. Determinaciones fisicoquímicas en [mg/L] de muestras de aguas subterráneas

Nº	pH	CE	SDT	CO3=	CO3H-	SO4=	Cl-	Na+	K+	Ca+2	Mg+2	F-	NO3-
Muestra		[µS/cm]	[mg/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]	[meq/L]
B1	8,06	1073	751	0,00	10,08	0,91	0,16	9,52	0,87	0,88	1,48	0,16	0,45
B4	7,65	4480	3136	0,00	14,16	19,01	14,72	41,52	1,49	2,00	3,60	0,05	1,92
B5	7,51	4630	3241	0,00	14,76	22,67	14,88	46,30	1,09	1,00	2,08	0,10	0,03
B7	7,83	3160	2212	0,00	14,32	5,48	9,20	29,35	1,27	2,24	3,76	0,04	1,09
B8	7,75	2043	1430	0,00	12,32	1,89	2,72	20,09	0,55	1,08	1,12	0,11	2,00
B9	8,13	3864	2705	0,00	15,72	6,11	10,48	40,43	0,94	2,32	1,36	0,08	4,48
B10	8,33	3600	2520	0,00	20,80	6,46	5,68	39,13	1,14	1,12	1,74	0,09	2,24
B11	7,46	6177	4324	0,00	12,28	36,33	23,68	65,22	1,22	4,32	4,36	0,04	2,24
B13	7,92	3519	2463	0,00	14,68	7,24	9,68	35,87	0,82	0,94	1,46	0,12	0,45
B15	7,74	2214	1550	0,00	12,00	2,57	4,56	22,04	0,97	1,38	1,78	0,05	2,96
B16	7,50	3275	2293	0,00	15,98	5,15	9,28	34,43	0,77	1,04	1,52	0,08	1,04
B17	7,59	4071	2850	0,00	11,20	8,04	17,40	41,09	0,75	1,88	1,92	0,07	0,70
B18	7,55	1864	1305	0,00	10,54	3,22	3,88	15,04	0,85	3,36	1,40	0,06	0,51
B19	7,44	1593	1115	0,00	11,68	1,47	2,80	13,39	1,18	2,56	2,20	0,03	0,51
B21	7,65	6608	4626	0,00	11,28	33,32	28,48	69,39	1,61	3,72	5,68	0,06	5,76
B22	7,86	1613	1129	0,00	13,62	0,67	3,52	4,52	1,01	6,68	7,04	0,01	0,08
B23	7,26	1880	1316	0,00	9,40	1,87	4,92	14,35	1,22	6,48	1,74	0,02	3,84
B24	7,67	6990	4893	0,00	12,26	39,55	28,96	71,65	1,38	2,72	4,52	0,07	0,96
B25	7,51	2400	1680	0,00	13,56	3,53	4,48	21,65	1,15	1,56	2,48	0,05	4,64
B26	7,64	5032	3522	0,00	12,84	14,47	18,84	46,70	1,27	3,24	4,88	0,04	11,20
B27	7,65	3515	2461	0,00	14,32	10,06	10,40	36,52	0,91	1,28	2,08	0,05	4,80
B28	7,44	5005	3504	0,00	10,04	23,55	23,32	48,00	1,36	3,00	4,64	0,05	1,60
B29	7,89	3137	2196	0,00	13,54	6,70	9,64	32,00	0,68	0,84	1,10	0,11	3,84
B30	7,84	2578	1805	0,00	15,08	4,23	4,84	27,39	0,76	1,08	1,28	0,06	4,16
B31	8,19	3491	2444	0,00	18,20	15,32	7,28	42,26	0,69	0,46	0,82	0,17	0,30

Tabla III.4. Determinaciones fisicoquímicas en [meq/L] de muestras de aguas subterráneas

Anexo IV

LIMITES DE APTITUD PARA LOS DISTINTOS USOS DEL AGUA DEL ACUIFERO FREATICO

Limites de aptitud admitidos para consumo humano (Código Alimentario Argentino, CAA)	
Arsénico	10 µg/L. La SRH (Córdoba) establece, hasta tanto se tengan estudios epidemiológicos amplios y completos (Res. 074/06):
	a) Límite ideal = 10 µg/L
	b) Límite aceptable = 50 µg/L
	c) Límite tolerable = 100 µg/L
Fluoruros: 1,3 mg/L (para una Temperatura media de 16 °C)	
Nitratos: 45 mg/L	
Sulfatos: 400 mg/L	
Cloruros: 350 mg/L	
Sales Disueltas Totales (SDT): 1.500 mg/L	

Tabla IV.1

Clasificación de la calidad del agua para ganadería (Bavera, 2001)					
Tambo e inverne	SDT	NaCl	Sulfatos	Magnesio	Nitratos
Deficiente	< 1g/L	(*)	(*)	(*)	(*)
Muy Buena	> 1g/L	0,6 g/L	0,5 g/L	0,2 g/L	0,05 g/L
Buena	Hasta = 2g/L	1,2 g/L	1 g/L	0,25 g/L	0,2 g/L
Aceptable	Hasta = 4g/L	2,4 g/L	1,5 g/L	0,3 g/L	0,3 g/L
Mala Usable	Hasta = 7g/L	4,2 g/L	2,5 g/L	0,4 g/L	0,4 g/L
No Usable	Hasta = 11 g/L	6,6 g/L	4 g/L	0,5 g/L	0,5 g/L
	Hasta = 13 g/L	10 g/L	7 g/L	0,6 g/L	(*)

Se debe tener en cuenta que los tenores de Arsénico no sean superiores a los 150 µg/L y que los contenidos de Flúor no superen los 16 mg/L, ya que causan toxicidad. (*) No establecido

Tabla IV.2

Clasificación de aguas para riego		
Clase	Aptitud	Peligrosidad salina y sódica
I	Excelente	C1-S1
II	Buena	C1-S2, C2S2, C2S1
III	Buena a Regular	C1-S3, C2-S3, C3-S1, C3-S2, C3-S3
IV	Regular a Mala	C1-S4, C2-S4, C3-S4, C4-S1, C4-S2, C4-S3, C4-S4
V	Inapropiada	CE mayor a 5000 µS/cm y RAS mayor a 30

Tabla IV.3