



LA VIDA ES COMO
montar en bicicleta.

SI QUIERES MANTENER EL
EQUILIBRIO

tienes que seguir
AVANZANDO

Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, a mis padres, quienes me dieron la posibilidad de seguir este camino, y me apoyaron en cada momento de mi vida, enseñando y guiándome. A mis hermanos, quienes permanecieron siempre a mi lado, ayudándome, aconsejándome o simplemente me escucharon. A Vanina, por aguantarme estos años como universitarias, y siempre, y que junto a Paola me brindaron toda su ayuda para poder terminar la Tesis.

Porque son el sostén y pilar, y sin ellos yo no sería quien soy hoy, ni este logro hubiera sido posible.

A abuelos, tíos y primos, por estar presentes en esta etapa, y a lo largo de mi vida.

A mis amigas de la vida, que me acompañaron en este camino y todos los caminos, quienes siempre estuvieron a mi lado, y nunca soltaron mi mano, aún en la distancia. Por escucharme, bancarme y sostenerme en los momentos difíciles.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto, la Facultad de Ciencia Exactas, Físico-Químicas y Naturales, y el Departamento de Geología, y los profes, por darme la oportunidad de estudiar y por haberme formado académicamente y como persona.

A Adriana Cabrera, por haberme abierto las puertas, y guiado en esta última etapa de la carrera, por enseñarme y aconsejarme, y por dedicarme su tiempo hasta las últimas instancias.

A Mónica Blarasin y Edel Matteoda, por sus sugerencias y/o comentarios, que fueron un gran aporte para la finalización de la Tesis.

Y a el equipo de Hidrogeología, que me han ayudado y proporcionado su tiempo en diversas ocasiones ya sea en el laboratorio, explicándome a usar programas o proporcionándome información y/o datos.

A María Lidia Sánchez, Paula Armas, Estefanía Arsumendi y Débora Sugamiele, por dejarme compartir con el grupo mi primera experiencia de investigación, de las cuales me llevo muchos aprendizajes y vivencias. Por aconsejarme en momentos claves.

A compañeros/as y amigos/as de Geología, a los que me une una misma pasión, por miles de charlas, mates, fiestas y viajes inolvidables!

A personas especiales que estuvieron al lado mío en este arduo camino, me apoyaron y ayudaron a perseverar.

A mis amigas eslabonistas, las cuales a pesar del poco tiempo que llevamos de conocernos, me han escuchado, ayudado y aceptado tal cual soy.

A *Dios* por permitirme dar este gran paso en mi vida...

¡Muchas Gracias!

INDICE

AGRADECIMIENTOS	i
INDICE	iii
RESUMEN	vii
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
I.1. INTRODUCCIÓN	2
I.1.a. Hipótesis de Trabajo	3
I.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
I.3. OBJETIVOS	4
I.3.a. Objetivos Generales	4
I.3.b. Objetivos Específicos.....	5
I.4. ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
CAPITULO II: METODOLOGÍA	8
II. MATERIALES Y MÉTODOS	9
CAPITULO III: CARACTERIZACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA	12
III.1. TEMPERATURAS	12
III.2. PRECIPITACIONES.....	13
III.3. BALANCE HIDRICO.....	15
III.3.a. Balance Hídrico Modular.....	15
III.4.b. Balance Hídrico Seriado	17
III.4 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	23
CAPITULO IV: GEOLOGÍA	24
IV.1. GEOLOGÍA REGIONAL.....	24
IV.1.a. INTRODUCCIÓN.....	25
IV.1.a.i. Provincia Geológica “Sierras Pampeanas”.....	25
IV.1.a.ii Provincia Geológica “Llanura Chaco Pampeana”.....	25
IV.1.b. ESTRATIGRAFÍA	27
IV.1.c. PRINCIPALES SISTEMAS DE ESTRUCTURAS DE LA REGIÓN.....	34
IV.1.d. HISTORIA GEOLÓGICA Y MARCO TECTÓNICO REGIONAL.....	36
IV.2. GEOLOGÍA LOCAL	39
IV.2. a. GEOLOGIA DE SUPERFICIE	39

IV.2.a.i. INTRODUCCIÓN.....	39
IV.2.a. ii. DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES SEDIMENTARIOS.....	40
IV.2.b. GEOLOGIA DE SUBSUELO	48
IV.2.b.i. INTRODUCCIÓN.....	48
IV.2.b.ii. PERFIL GEOLOGICO ESQUEMATICO.....	49
IV.2.c. ANALISIS MORFOTECTONICO LOCAL.....	52
CAPITULO V: GEOMORFOLOGÍA	54
V.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	55
V.1.a. Introducción.....	56
V.1.b. Unidad Geomorfológica “Sierras Pampeanas”.....	56
V.1.c. Unidad Geomorfológica “Llanura Chaco-Pampeana”.....	56
V.2. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA LOCAL	59
V.2.a. Introducción.....	59
V.2.b. Descripción de las Unidades Geomorfológicas.....	59
CAPITULO VI: HIDROLOGIA SUPERFICIAL	72
VI.1.HIDROLOGÍA SUPERFICIAL REGIONAL.....	72
VI.1.a. Principales cuencas de la región	73
VI.1.b. Calidad del agua.....	74
VI.2. HIDROLOGIA SUPERFICIAL LOCAL.....	74
VI.2.a. DINÁMICA SUPERFICIAL.....	74
VI.2.b. CALIDAD DEL AGUA	85
CAPITULO VII: HIDROGEOLOGIA	90
VII.1. INTRODUCCIÓN	90
VII.2. HIDROGEOLOGÍA REGIONAL	91
VII.2.a. HIDROLOGÍA SUBTERRANEA.....	91
VII.2.a.i. Características hidrológicas e hidroestratigráficas.....	91
VII.2.b. HIDRODINÁMICA SUBTERRÁNEA REGIONAL.....	94
VII.2.c. HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL.....	94
VII.3. HIDROGEOLOGÍA LOCAL	95
VII.3.a. HIDROLITOLOGÍA E HIDROESTRATIGRAFÍA	95
VII.3.a.i. Captaciones de agua del acuífero freático existentes en la zona	99
VII.3.b. HIDRODINÁMICA	101
VII.3.b.i Acuífero freático.....	101
VII.3.b.ii. Acuíferos confinados.....	106

VII.3.c. HIDROGEOQUÍMICA	107
VII.3.c.i. Acuífero libre.....	108
VII.3.c.ii. Acuífero confinado.....	129
VII.3.c.iii. MODELACIÓN GEOQUÍMICA.....	135
CAPITULO VIII: CONCLUSIONES	146
BIBLIOGRAFIA	150
ANEXOS	1
ANEXO I: DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS	2
ANEXO II: PROFUNDIDAD Y POTENCIALES HIDRÁULICOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS	26

RESUMEN

Al Sur de Córdoba, los humedales, son receptores naturales de agua y sedimentos de sistemas superficiales y áreas de descarga del acuífero libre. En las últimas décadas, estos sistemas han sufrido alteraciones en su dinámica y calidad, debido a cambios naturales y del uso del territorio. El área estudiada no escapa a esta problemática. El objetivo del trabajo es efectuar el estudio geohidrológico en un sector de la llanura fluvio-eólica imperfectamente drenada-Bañados del Saladillo, con énfasis en los aspectos geoquímicos y en la vinculación entre los arcos atmosférico, superficial y subterráneo. Se usó metodología convencional que permitió elaborar el modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico. La zona es una planicie típica de cuenca baja, con procesos de anegamiento e hidrohalomorfismo, que posee un fuerte control estructural dado principalmente por la falla regional "del Saladillo" (NNE-SSO) que le confieren cierta complejidad al área, condicionando la hidrología superficial y subterránea. La depresión central (sistemas lagunares La Brava y bañados del Saladillo), se constituye en el área de descarga regional de todo el Sur provincial. El clima subhúmedo-húmedo ($P_{ma}=861$ mm), muestra excesos hídricos importantes en primavera y déficit muy frecuentes en inviernos. El acuífero libre, constituido principalmente por sedimentos limosos y arenosos muy finos ($K\sim 1$ m/d), posee dirección de circulación hacia el Noreste y nivel freático somero (0-6 m). El bloque elevado de la falla del Saladillo constituye un área de recarga preferencial del acuífero libre en la zona. El agua de este sistema posee salinidad (1.103 a 19.420 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y tipo geoquímico (bicarbonatado a sulfatado sódico), muy variable. Las aguas más evolucionadas están vinculadas a la descarga regional mientras que las más dulces se deben a recarga local, vinculadas a los bloques estructurales más elevados, lomas o al aporte desde lagunas temporarias. La presencia del nitrato en bajas concentraciones (3-20 mg/l), se debería a contaminación difusa (práctica agrícola), los valores superiores (60-590 mg/l) a contaminación puntual (corrales de animales). La presencia de Flúor (0,9-10 mg/l) y Arsénico (8-800 $\mu\text{g}/\text{l}$) y la alta correlación encontrada entre ellos y con pH y bicarbonato, indican que estos iones poseen una misma fuente de aporte dada por las litologías loésicas con alto porcentaje de vidrio volcánico y la afinidad geoquímica con las aguas de la región. El análisis estadístico multivariado realizado permite afianzar el modelo geoquímico conceptual elaborado para la zona. La modelación numérica muestra como los procesos geoquímicos más importantes en la evolución regional del agua, disolución de CO_2 gas, precipitación de calcita, disolución de yeso y cloruro de sodio dispersos en el propio acuífero (principalmente en humedales), meteorización del dióxido y de illita, e intercambio

cati3nico. En la zona se destacan sistemas confinados, de aguas dulces y sulfatadas s3dicas alojados en delgadas capas arenosas medias a gruesas, intercaladas entre potentes paquetes de arcillas.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

“Nuestra mayor gloria no se basa en no haber caído nunca, sino en habernos levantado cada vez que caímos”.

I.1. INTRODUCCIÓN

Se hace notorio, cada vez más, la incidencia que los cambios ambientales, naturales (climáticos, procesos geológicos activos, etc.) y/o antrópicos (canalizaciones, captaciones, etc.) tienen sobre el funcionamiento de la mayoría de los sistemas hidrológicos y cómo estos cambios repercuten sobre la calidad de vida de la población. Está comprobado que tanto las aguas superficiales como las subterráneas poseen una alta y diferente sensibilidad a cambios ambientales, y por lo tanto muestran alteraciones que generan consecuencias tanto en su valor ecocéntrico (grado de naturalidad) como antropocéntrico, es decir en sus funciones de fuente de recursos, soporte de actividades y sumidero de residuos (Edmunds, 1996; ELANEM, 2000; Blarasin y Cabrera, 2005 a; Cantú *et al.*, 2008).

Las aguas superficiales y subterráneas poseen relaciones variadas y fundamentales con los humedales. Si bien es común ver que internacionalmente a los humedales se les otorga un alto valor intrínseco (funciones) y añadido (bienes y servicios) e incluso son motivo de programas de conservación a escala continental (Ramsar 2009-2015), en Argentina se los sigue considerando en algunas regiones terrenos de baja calidad natural y se permite su continuo deterioro. Esto ocurre a pesar de que nuestro país integra la convención para la protección de humedales y cuenta actualmente con 20 sitios Ramsar, lo que totaliza una superficie de 5.339.586 has de humedales (lagunas altoandinas, planicies fluviales, lagunas salobres, humedales urbanos y zonas costeras, entre otros tipos). La provincia de Córdoba no es ajena a esta problemática, los humedales del gran agroecosistema pampeano, ubicados en ambientes deprimidos actúan como receptores naturales de agua y sedimentos provenientes de diferentes sistemas superficiales y, en general, constituyen áreas de descarga del acuífero freático y eventualmente de acuíferos confinados. En las últimas décadas, como consecuencia del cambio en las características climáticas y el modo de uso del territorio, los humedales y/o cuerpos lagunares han sufrido importantes *alteraciones en su dinámica y calidad natural*, presentando un alto deterioro vinculado a la disminución de su función de regulación hidrológica (colmatación y disminución de su capacidad de almacenamiento), pérdida de su condición endorreica (canalizaciones, drenes) y a la creciente contaminación (Blarasin *et al.*, 2005 a).

La zona seleccionada para la presente investigación también es parte de la problemática enunciada ya que tanto el recurso hídrico superficial como subterráneo cumplen con las funciones de ser fuente de recursos, ya que se utilizan para el abastecimiento, soporte de las actividades que se desarrollan en el área y por

presentar capacidad de sumidero, dado que son afectados por la disposición de los residuos sólidos y líquidos de muchas actividades humanas (industriales, agrícola-ganaderas, urbanas, etc.). Además, como estos recursos hídricos están íntimamente relacionados, es de importancia el estudio de sus interrelaciones ante la amenaza del entorno, tanto natural como antrópica, al ser estos sistemas la principal fuente de provisión de agua para algunas actividades de los habitantes de la región, especialmente ganaderas. Sin embargo, el área elegida presenta serios problemas en cuanto a la calidad físico-química del agua tanto superficial como subterránea ya que se trata de un área de descarga regional (Blarasin, 2003; Blarasin y Cabrera, 2005 b y c). Es por ello que aparecen los clásicos problemas de calidad del agua dada por sus elevados tenores salinos, As y F^- , sumándose en la actualidad el problema de los nitratos debido al aumento de fuentes contaminantes. Finalmente, cabe mencionar que si bien se cuenta con información geológica-geomorfológica e hidrogeológica regional (Blarasin, 2003; Blarasin *et al.*, 2005 b; Degiovanni *et al.*, 2005), es necesario, por la relevancia del agua subterránea en todas las actividades, desarrollar una investigación integrada que permita elaborar el modelo de funcionamiento geohidrológico de la zona de manera de aportar pautas para plantear posibles soluciones a problemas de disponibilidad de agua para diversos usos, contaminación, salinización de suelos, cambios hidrodinámicos en el humedal (drenajes, ampliación o disminución de áreas anegadas, afectación sobre avifauna, etc.) o posibles remediaciones a procesos de contaminación, etc.

I.1.a. Hipótesis de Trabajo

De acuerdo al conocimiento del área a estudiar y a la temática abordada se plantean las siguientes hipótesis de trabajo:

- El subsistema superficial y el subterráneo presentan relaciones hidrodinámicas e hidroquímicas que muestran variaciones espaciales, ligadas a la geología, aportes atmosféricos y acciones antrópicas.

- La composición química del agua superficial y subterránea es de aguas muy evolucionadas, ligadas fundamentalmente a la posición geomorfológica del área en el entorno regional.

I.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se encuentra ubicada en el Dpto. Unión y Juárez Celman, al Sur de la provincia de Córdoba, ocupa una superficie de 1.732 Km² e incluye como centro poblacional más importante a la localidad de Canals (Fig. I.1).

Está destinada a la agricultura, ganadería extensiva y actividades tamberas. Se accede principalmente por la ruta nacional N° 8, a unos 150 km aproximadamente de la ciudad de Río Cuarto; y comprende las hojas topográficas del IGN (Instituto Geográfico Nacional) a escala 1:100.000 "La Carlota" (sector occidental) y "Canals" (sector oriental), que incluyen a su vez a las hojas topográficas IGN a escala 1:50.000: 3363-27-2 "Ea. El Once", 3363-28-1 "Ea San José", 3363-27-4 "Assunta" y 3363-28-3 "Canals".

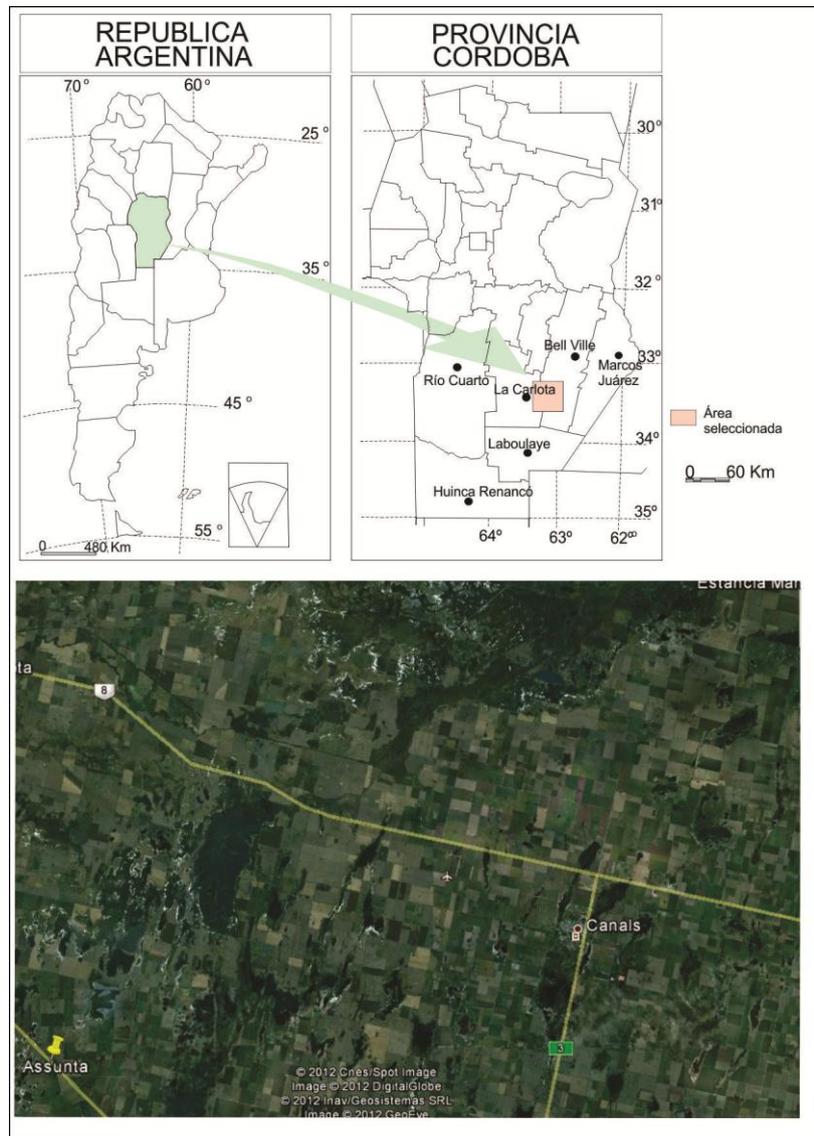


Figura I.1. Ubicación del área de estudio

I.3. OBJETIVOS

I.3.a. Objetivos Generales

Efectuar el estudio geohidrológico en un sector de la llanura fluvio-eólica imperfectamente drenada-Bañados del Saladillo, en el Sur de Córdoba, con énfasis en

los aspectos geoquímicos y en la vinculación entre los arcos atmosférico, superficial y subterráneo del sistema.

I.3.b. Objetivos Específicos

- Realizar el estudio geológico-geomorfológico del área, identificando cambios litológicos y los principales rasgos del relieve que puedan influir en la dinámica y calidad del agua superficial y subterránea.

- Evaluar y elaborar la información hidrometeorológica para analizar su influencia sobre el agua superficial y 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 y geoquímicas del acuífero freático y sus condicionantes en el área seleccionada.

- Evaluar como las actividades antrópicas influyen sobre la calidad del agua superficial y subterránea.

- Elaborar el modelo conceptual del funcionamiento hidrogeológico (dinámica y calidad) y efectuar la simulación numérica del modelo geoquímico conceptual.

I.4. 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); Domenico y Schwartz (1990); Appelo y Postma (1996); Deutsch (1997) y Edmunds y Shand (2008). En relación a la temática específica vinculada a relaciones agua superficial-subterránea existen numerosos trabajos entre los que merece citarse la completa revisión de conceptos y técnicas de estudios realizados por Wright (1980) en el marco del Programa Hidrológico Internacional (PHI). 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). En cuanto al tema referido a relaciones agua superficial-subterránea, merecen citarse a Sala y Rojo (1997) quienes realizan un modelo hidrológico regional de la interacción río Quinto-agua subterránea; Rodríguez (1997) quien evalúa la interacción en una cuenca semiárida; Vives y Carrera (1997) que dan las pautas para la planificación conjunta de los recursos hídricos; Varela *et al.* (2002) que efectúan un reconocimiento de la relación aguas superficiales-subterráneas en el arroyo del Gato, Bs. As.; Massone *et al.* (2005) que realizan la caracterización hidroquímica superficial y subterránea en la cuenca superior del arroyo Grande; Deluchi *et al.* (2005) que efectúan una evaluación de la variación de niveles freáticos relacionados al agua superficial, y Aliaga *et al.* (2005) que evalúan las variaciones piezométricas debidas a recarga de un río efímero. 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).

En el Sur de Córdoba, el grupo de Hidrogeología del Dpto. de Geología de la UNRC, viene desarrollando desde hace más de 25 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); 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 a y b; 2010; 2011 a y b; 2012 a y b); Cabrera y Blarasin (1997 b, 1999, 2000, 2001); Cabrera *et al.* (2003, 2009); Cabrera (2009); Matteoda *et al.*, 2007; Becher Quinodóz *et al.* (2011 y 2012); Maldonado *et al.*, 2011; Matteoda *et al.*, 2011; Giuliano Albo *et al.*,

2012; Degiovanni et al. (2012); entre otros. A los estudios realizados por la UNRC al Sur de Córdoba se suman algunas investigaciones realizadas por otras Instituciones entre los que pueden citarse, 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-Sur de Córdoba.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

“En los pequeños detalles, con más frecuencia de lo que imaginamos, es donde está la diferencia entre el éxito y el fracaso, entre la mediocridad y la excelencia”.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la concreción del trabajo de tesis se comenzó con la recopilación y análisis de antecedentes (bibliográficos, cartográficos, metodológicos, etc.) del área y tema a investigar.

La elaboración cartográfica geológica-geomorfológica, se realizó sobre la base de cartas planialtimétricas escala 1:100.000 del IGN (Instituto Geográfico Nacional), fotografías aéreas e imágenes satelitales a distintas escalas tomadas del programa Google Earth. Se reconocieron las **estructuras geológicas más importantes** del área, ya sea aquellas que fueron previamente definidas por otros autores y las definidas en el presente trabajo, basadas en el análisis topográfico exhaustivo mediante la elaboración del mapa de morfoisohipsas y de red de drenaje natural (que incluye todos los cursos de agua, permanente y efímeros, es decir aquellos bajos topográficos que conducen agua cuando llueve). Se realizó un relevamiento a campo de las principales características geológicas-geomorfológicas del área, con observación de las principales estructuras geológicas definidas y el levantamiento de perfiles litológicos aflorantes, realizándose posteriormente en el laboratorio, **análisis texturales** (mediante tamizado ASTM, escala Udden-Wendorth) de los sedimentos muestreados en los diferentes perfiles relevados. Se relevaron también perfiles litológicos profundos, lo que permitió efectuar **correlaciones de pozos** con el fin de mejorar las descripciones de la geología del subsuelo.

Se elaboró el **mapa definitivo geológico-geomorfológico** en el que se identificaron y describieron las **principales unidades del relieve**, a partir de la observación en la zona de estudio y de mapas regionales previamente definidos (Degiovanni, 2005, a). Se tuvieron en cuenta para ello formas generales del relieve (longitudes y grados de pendientes, etc.), génesis de las formas, aspectos litológicos y procesos activos (erosión hídrica o eólica, anegamiento, inundación, etc.).

Se recopiló información hidrometeorológica del área, consiguiéndose como la serie más importante por su longitud y para describir el comportamiento del área, la de Canals, facilitada por el INTA de dicha localidad, que incluyen los años desde 1935 hasta 2011. Luego con la información obtenida se prosiguió a realizar la interpretación y análisis estadístico de la información hidrometeorológica actualizada, mediante:

-Curva cronológica anual y de distribución mensual de precipitaciones.

-Balance hídrico modular (Thornthwaite y Mather, 1955) **y seriado** (PDIMES, Ravelo 1990) y análisis de la **distribución de excesos hídricos**.

Desde el punto de vista hidrológico superficial, se midieron **caudales líquidos en arroyos y ríos**, calculándose velocidades a través del "Método por Flotador" y áreas por medio del "Método de la Sección Media Compensada".

El diseño de la red de censo hidrogeológico, en función de la escala de trabajo seleccionada (1:100.000), se efectuó sobre la base cartográfica del IGN. Durante el relevamiento de perforaciones existentes además de las litologías atravesadas, se tomaron datos vinculados a diseño de pozo (profundidad de captación, filtros, etc.) y se midieron niveles estáticos del sistema acuífero libre con sonda piezométrica de señal lumínica y sonora, en los casos que fueron posibles.

Se **determinaron in situ los parámetros de calidad** tanto de sistemas hidrológicos superficiales como subterráneos: pH, Temperatura, Conductividad eléctrica (CE), nitratos y Oxígeno disuelto (OD), con instrumental de campaña apropiado. Se realizó el correspondiente muestreo de agua en botellas acondicionadas para tal fin, asegurando la salida de agua de cañería de la captación antes de la toma de muestra, que fueron transportadas para su análisis físico químico en laboratorio

Para completar el relevamiento, se tomó nota de las actividades de uso de la tierra que pudieran influir en la dinámica y calidad del agua subterránea.

Los análisis físico-químicos, fueron realizados en el Laboratorio de Geoquímica del Dpto. de Geología de la UNRC, según técnicas convencionales (Standard methods, 1999). El pH fue corroborado en el laboratorio con potenciómetro y electrodo selectivo marca Orion. Luego se analizaron aniones y cationes, carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (CO_3H^-) por medio de titulación potenciométrica; sulfatos (SO_4^{2-}) con método turbidimétrico; cloruros (Cl^-), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) a través de titulaciones colorimétricas; sodio (Na^+) y potasio (K^+) por espectrofotometría de llama. Dentro de los elementos trazas se midieron arsénico ($\text{As}^{+3/+5}$) por métodos semicuantitativos Merck, flúor (F^-) y nitratos (NO_3^-) por medio de electrodos Orion para iones selectivos.

Con la información obtenida durante el censo de pozos y en el laboratorio se elaboró la cartografía hidrogeológica que incluye:

Mapa equipotencial del acuífero freático, con la definición de las direcciones principales de circulación del agua subterránea y las principales divisorias de aguas subterráneas.

Mapa de isopropundidad del nivel freático, para mostrar variaciones de espesor de la zona no saturada.

Mapas hidrogeoquímicos (de isoconductividad eléctrica, de distribución de elementos químicos de interés, diagrama de Stiff modificados) y finalmente construcción e interpretación de **diagramas de Piper-Hill** (con software ROCKSTAT, 1994), etc.

Se realizaron las correspondientes **interpretaciones geoquímicas** de agua superficial y subterránea.

Se efectuó además, el **tratamiento estadístico** univariado (estadísticos principales: medias, medianas, desvío) y multivariado (cluster y factorial tanto entre observaciones como entre variables) de los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos realizados, con el fin de mejorar las interpretaciones geoquímicas realizadas, por medio del programa IBM SPSS Statistic V.21.

Se realizó la interpretación conjunta de todos los resultados obtenidos, lo que permitió definir el **modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico** del área y las relaciones hidrodinámicas e hidrogeoquímicas entre el agua meteórica, superficial y subterránea.

El modelo geoquímico conceptual fue simulado numéricamente con el fin de corroborar los procesos geoquímicos más importantes que definen la calidad del agua.

Por último se confeccionó el informe final con descripciones, resultados, discusión y conclusiones obtenidos.

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

“Cuando una mujer determina ganar, solo se da por
vencida cuando ha vencido”.

III.1. TEMPERATURAS

Para poder conocer e interpretar los datos climáticos del área de estudio, en primera instancia la temperatura, se utilizó una serie de datos de Río Cuarto (1974-2012), suministrados por la Universidad Nacional de Río Cuarto (gentileza Ing. Rotondo), a causa de que la zona de estudio carece de este tipo de información. Este análisis se considera apropiado ya que la temperatura es una variable relativamente homogénea y constante en la Llanura Pampeana cordobesa (Blarasin, 2003), por lo que la estación de la UNRC se consideró lo suficiente próxima y apropiada para su uso.

Para la serie analizada se calculó la temperatura media mensual, con un valor de 16,5°C (Fig. III.1), observándose una estacionalidad marcada entre los meses de otoño-invierno y los meses de primavera-verano, dándose el registro medio mensual mínimo en Julio con 9,2°C, y el máximo en Enero con 22,8°C.

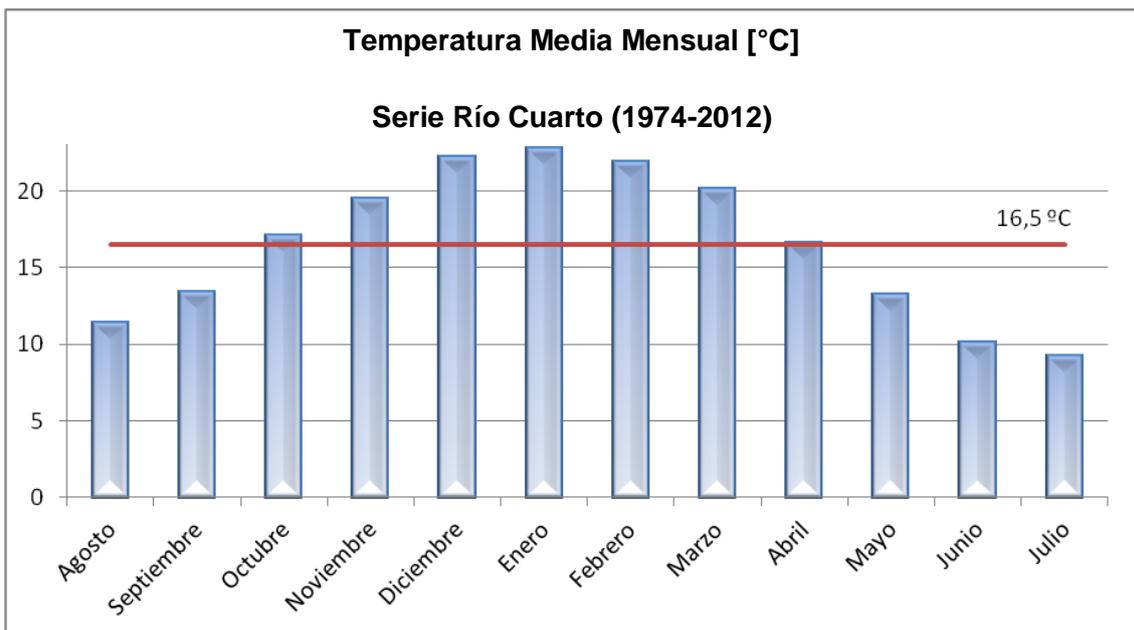


Figura III.1. Gráfico de temperaturas medias mensuales

III.2. PRECIPITACIONES

Para evaluar las precipitaciones se tomó en cuenta una serie de datos que va desde el año 1935 al año 2011, suministrada por el INTA de Canals (gentileza Ing Ferreira). Los datos analizados se muestran en la figura III.2. Se observa que los mayores registros de precipitaciones ocurren en los meses de primavera- verano (36,1% y 39,8% respectivamente) con un porcentaje de concentración de precipitaciones de 75,9% para ambas estaciones. Los menores registros se observan

en los meses de otoño- invierno con un 24,1% (14,9% y 9,3% respectivamente). Cabe mencionar, que los mayores valores de precipitaciones medias se dan en el mes de Marzo con 126 mm, y los menores en Agosto con 19 mm, mientras que generalmente en series tratadas en el Sur provincial el máximo se da en Enero y el mínimo en Julio.

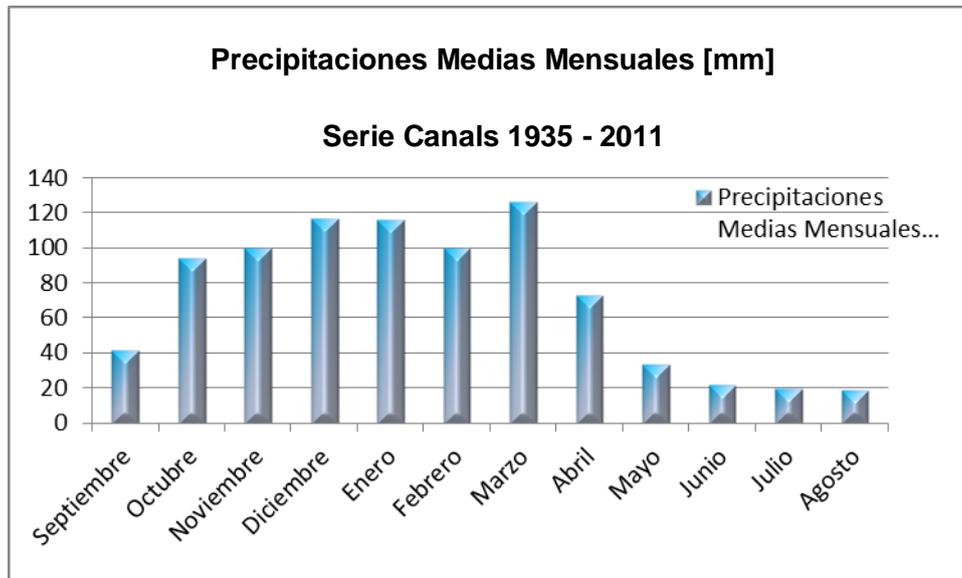


Figura III.2. Precipitaciones medias mensuales

Se analizó la distribución anual de las precipitaciones para la serie estudiada (Fig III.3). En el gráfico se muestra, además del valor de la precipitación correspondiente a cada año, la precipitación media anual de toda la serie (con un valor de **861 mm**) y una curva de tendencia móvil cada 5 años. A partir de ello, se puede observar que existe una alternancia de años húmedos y secos, destacándose como el año de máximas precipitaciones, 1936 (con un valor de 1.357 mm), y el año más seco, 1968 (con un valor de 578 mm). La línea de tendencia móvil, permite ver la sucesión de cuatro ciclos húmedos y cuatro ciclos secos, donde algunos son más marcados que otros. La serie comienza con un ciclo húmedo, con un valor de las precipitaciones media anual de 1.020 mm (1935-1941). A partir del año 1942 y hasta el año 1955 se observa un ciclo seco con un promedio de 774 mm (estando por debajo de la precipitación media anual total de la serie) a pesar de tener dos años con precipitaciones anuales superiores a los 1.000 mm. Luego sigue un pequeño ciclo húmedo de un promedio de 915 mm desde el año 1956 al año 1961. Del año 1962 a 1968 el promedio es inferior a la Pma, con un valor de 776 mm. Desde 1969 a 1980 el promedio es de 914 mm, representando unos de los ciclos húmedos más importantes

por su longitud y cantidad de años con lluvias superiores a la media anual. Seguido a éste se observa un ciclo (1981-1996) levemente seco 840 mm. Por último se reconoce un ciclo húmedo (1997-2002) y un ciclo seco (2003-2011) con promedios de 1.033 mm y 738 mm respectivamente. Los últimos 3 años de la serie son notoriamente cada vez más secos, pudiendo modificarse esta aseveración con datos de las últimas precipitaciones del año 2012-principio 2013 que no han sido tenidas en cuenta por no contarse con estos registros para la zona.

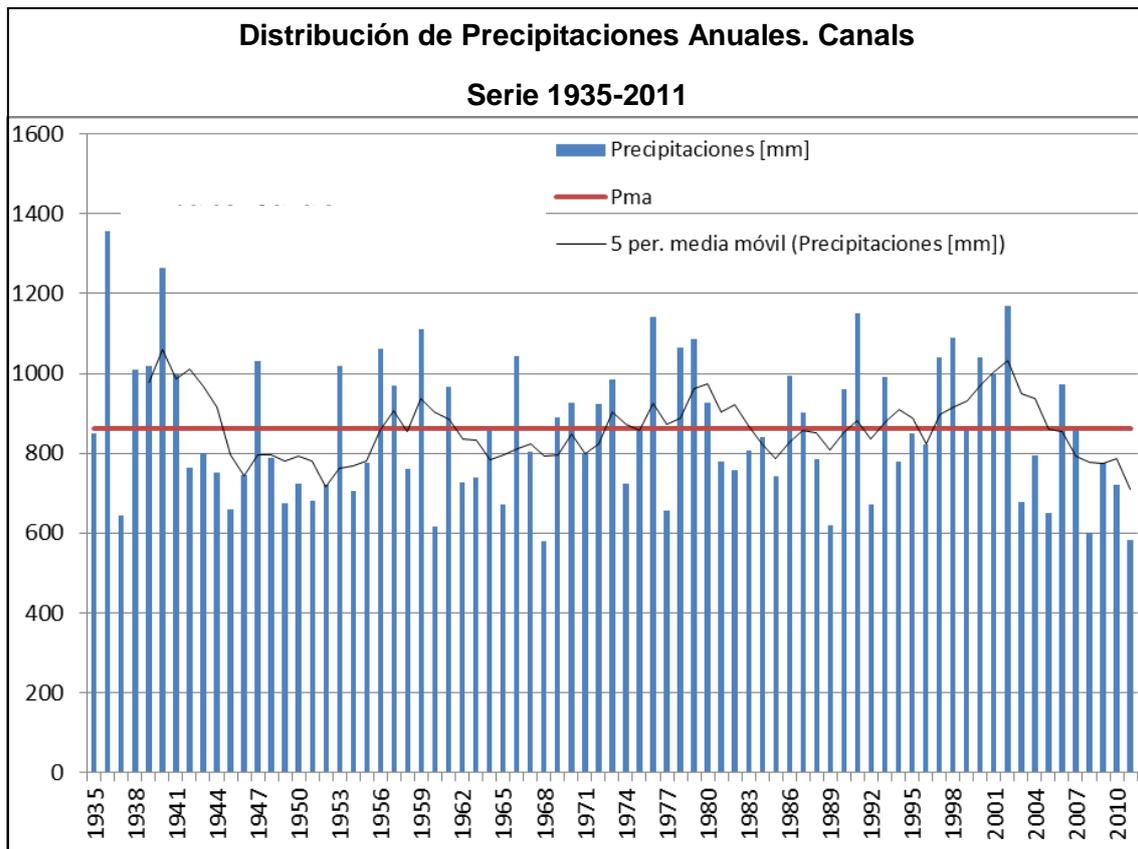


Figura III.3. Gráfico de distribución de precipitaciones anuales. Canals Serie 1935-2011

III.3. BALANCE HIDRICO

III.3.a. Balance Hídrico Modular

Para realizar el Balance Hídrico Modular de la zona, se utilizaron los datos de la serie climática de Canals (1935-2011) anteriormente mencionada y la evapotranspiración media mensual (ETP) calculada previamente, según la metodología de Thornthwaite y Mather (1955), a partir de los datos de temperaturas medias mensuales analizadas, índices calóricos, coeficientes de latitud y cantidad de días del mes. Este tipo de balance hídrico permite conocer la evapotranspiración real

del área y los excesos hídricos medios mensuales. En la tabla III.1 se pueden observar los cálculos y los valores obtenidos de ETP. De la interpretación de estos resultados se observa que la evapotranspiración potencial media mensual es alta en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, lo que se corresponde con la mayor radiación solar y disminuye a valores más bajos en los meses de otoño-invierno.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T°C	22,8	21,9	20,1	16,6	13,2	10,1	9,2	11,4	13,4	17,1	19,5	22,2
Icm	9,95	9,35	8,22	6,15	4,35	2,9	2,52	3,48	4,45	6,44	7,85	9,55
C1	3,6	3,3	2,8	2	1,3	0,9	0,7	1,1	1,4	2,1	2,7	3,3
Días del mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
EP s/ ajustar	111,6	92,4	86,8	60	40,3	27	21,7	34,1	42	65,1	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
EP ajustada	136	96	92	56	36	22	19	32	42	74	94	126

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

En la tabla III.2 se pueden observar los valores calculados de ETR, éstos son apenas inferiores a los valores de ETP durante enero y agosto, lo que genera escaso déficit hídrico en el suelo durante sólo estos 2 meses (4 mm en total). Los excesos de agua se concentran durante 4 meses (40 mm en total), marzo-abril y octubre-noviembre, vinculándose a las importantes lluvias de esos meses.

Por lo tanto el sistema resulta principalmente con excesos hídricos, los cuales se distribuirán entre la infiltración eficaz y el escurrimiento superficial, que recargan respectivamente al acuífero y a cuerpos de agua superficiales, siendo por lo tanto responsables de las fluctuaciones del nivel freático y del pelo de agua en lagunas y arroyos.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P	116	100	126	73	33	22	20	19	41	94	100	117	861
ETP	136	96	92	56	36	22	19	32	42	74	94	126	825
P-ETP	-20	4	34	17	-3	0	1	-13	-1	20	6	-9	
Sum-(P-ETP)	-29				-3				-14				
Reserva agua útil en el suelo	123	127	150	150	147	147	148	137	136	150	150	141	
Variación de la reserva	-18	4	23	0	-3	0	1	-11	-1	14	0	-9	
Exceso de agua			11	17						6	6		40
Déficit	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4
ET Real	134	96	92	56	36	22	19	30	42	74	94	126	821

Tabla III.2. Balance Hídrico Modular. (Thorntwaite y Mather, 1955).

III.4.b. Balance Hídrico Seriado

Dado que el balance anterior no describe en detalle el comportamiento del sistema, se procedió a realizar el balance hídrico seriado con el fin de observar mejor la distribución de los déficits y excesos a lo largo de la serie tratada.

Para generar el balance seriado se utilizó el programa PDIWIN 1.0 (Ravelo y Herrero Machado, 1999), el cual considera la humedad antecedente del suelo del año anterior para entrar al nuevo año. Se tiene en cuenta una reserva de agua del suelo de 150 mm, la cual es habitual para la zona (Blarasin, 2003).

En general, la serie resulta con excesos hídricos en la mayoría de los años, siendo su valor medio anual de **129 mm**. En la figura III.4 se muestran los excesos hídricos correspondientes a cada año de la serie analizada. El valor máximo observado para la serie es de 308 mm en el año 1936, y le sigue el año 1988 con 294,3 mm, y los valores mínimos de excesos hídricos son de cero mm (en los años 1945, 1946, 1948, 1950, 1951, 1955, 1960, 1963, 1968, 1977, 1989, 1992, 2008 y 2011).

En las tablas III.3.a y b se establecen los diferentes ciclos de la serie con los correspondientes excesos hídricos totales y excesos medios. Esto se determinó a partir de la interpretación de la tabla general obtenida a partir del programa PDIWIN 1.0 (Anexo I).

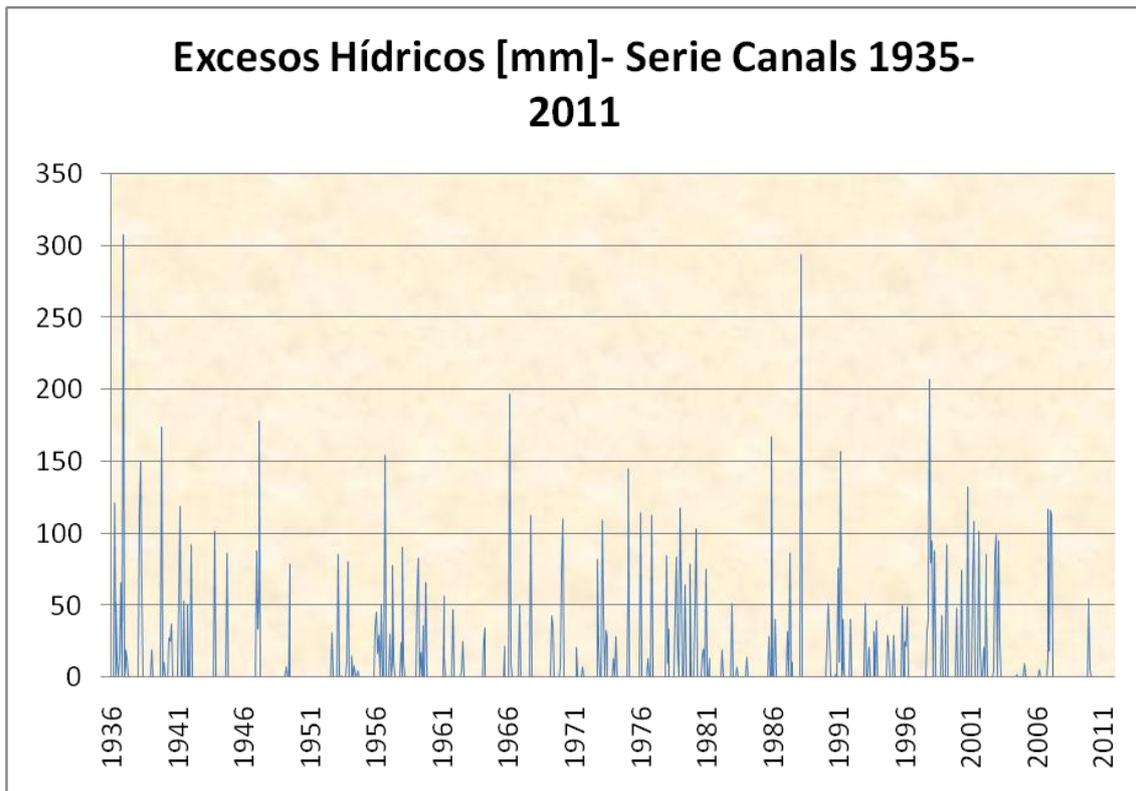


Figura III.4 Excesos Hídricos para la Seria de Canals (1935-2011).

Ciclos Húmedos		
Serie	Excesos Totales	Exceso medio
1936-1941 (5 años)	1501,1	250,18
1956-1961 (5 años)	964,4	170,73
1969-1980 (11 años)	1884,2	157,02
1997-2002 (5 años)	1617,8	269,63

Tabla III.3.a. Ciclos Húmedos. Serie Canals 1935-2011

Ciclos Secos		
Serie	Excesos Totales	Exceso medio
1942-1955 (13 años)	959,9	68,54
1962-1968 (6 años)	479,6	68,51
1981-1996 (15 años)	1654,4	103,4
2003-2011 (8 años)	618,7	68,74

Tabla III.3.b. Ciclos Secos. Serie Canals 1935-2011

Estos ciclos mostrados pueden correlacionarse con los ciclos húmedos y secos descriptos a partir de la curva cronológica anual de precipitaciones. A pesar de ellos, se observan que el ciclo seco de 1981-1996 incluye un alto valor de exceso en uno de

sus años, como es el caso del año 1988 con 302,3 mm, lo que eleva la media del ciclo, sin embargo ésta permanece por debajo del exceso medio anual (129 mm).

Los gráficos de P-ETP-ETR (Fig. III.5. a, b y c) permiten ver la distribución de los déficit hídricos de la serie, a partir de ellos se puede decir que se observan déficit tanto en invierno como en verano, siendo más frecuentes los años en los que muestran déficit en invierno (un 80,30%) pero en general son pequeños, destacándose el año 1951, con un valor de 129,2 mm, y 2009 con 85,9 mm. Mientras que los años en que se muestran déficit en verano, éstos son muchos mayores, pudiendo resaltar los veranos de los años 88-89 con un déficit de 255,9 mm, y 49-50 con un valor de 214,3 mm, y en menor medida los déficit de los años 42-43, 45-46, y 2008-2009 con 179,1 mm, 148,8 mm, y 165,1 mm respectivamente.

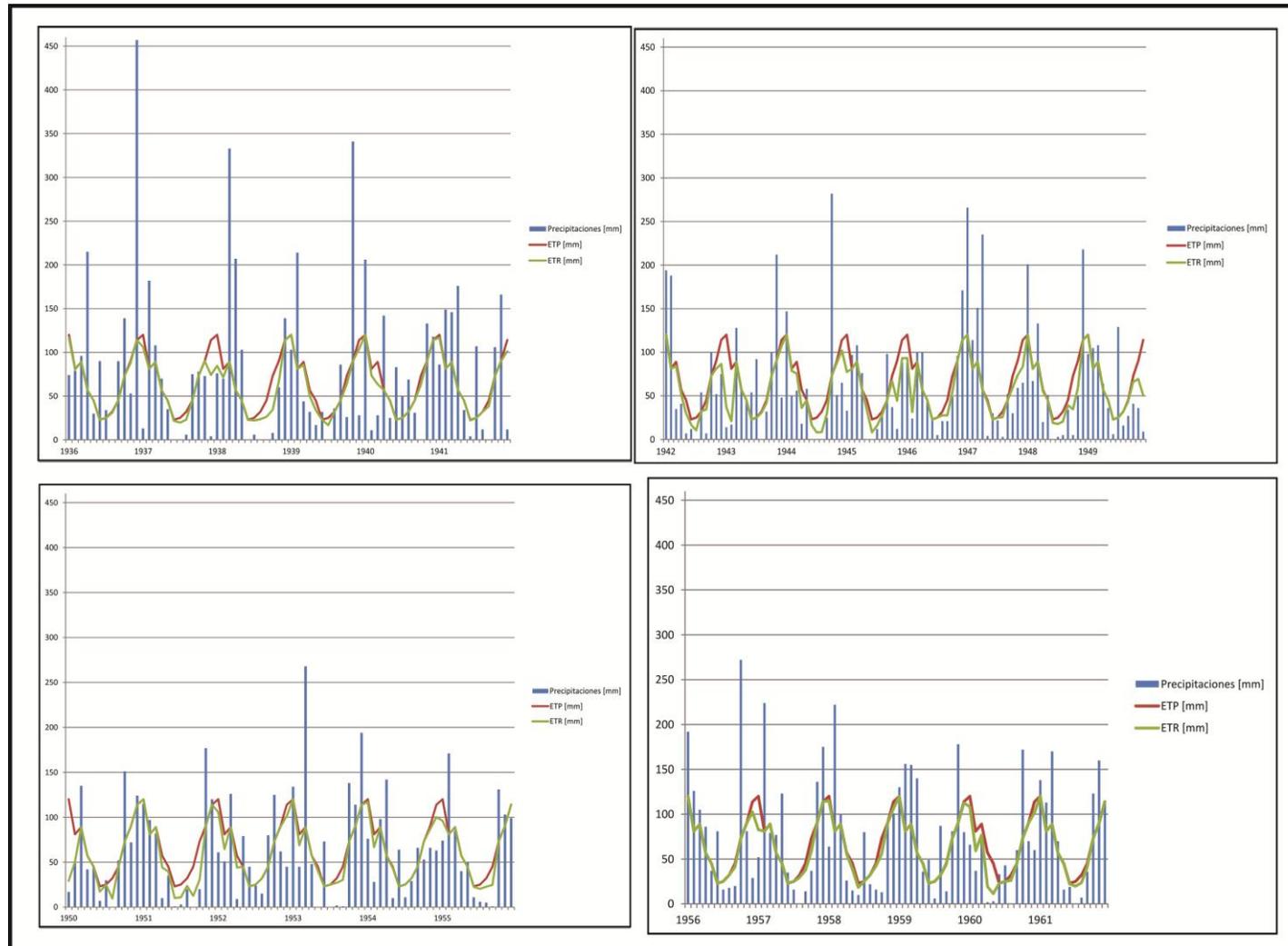


Figura III.5.a. Gráficos de P-ETP-ETR

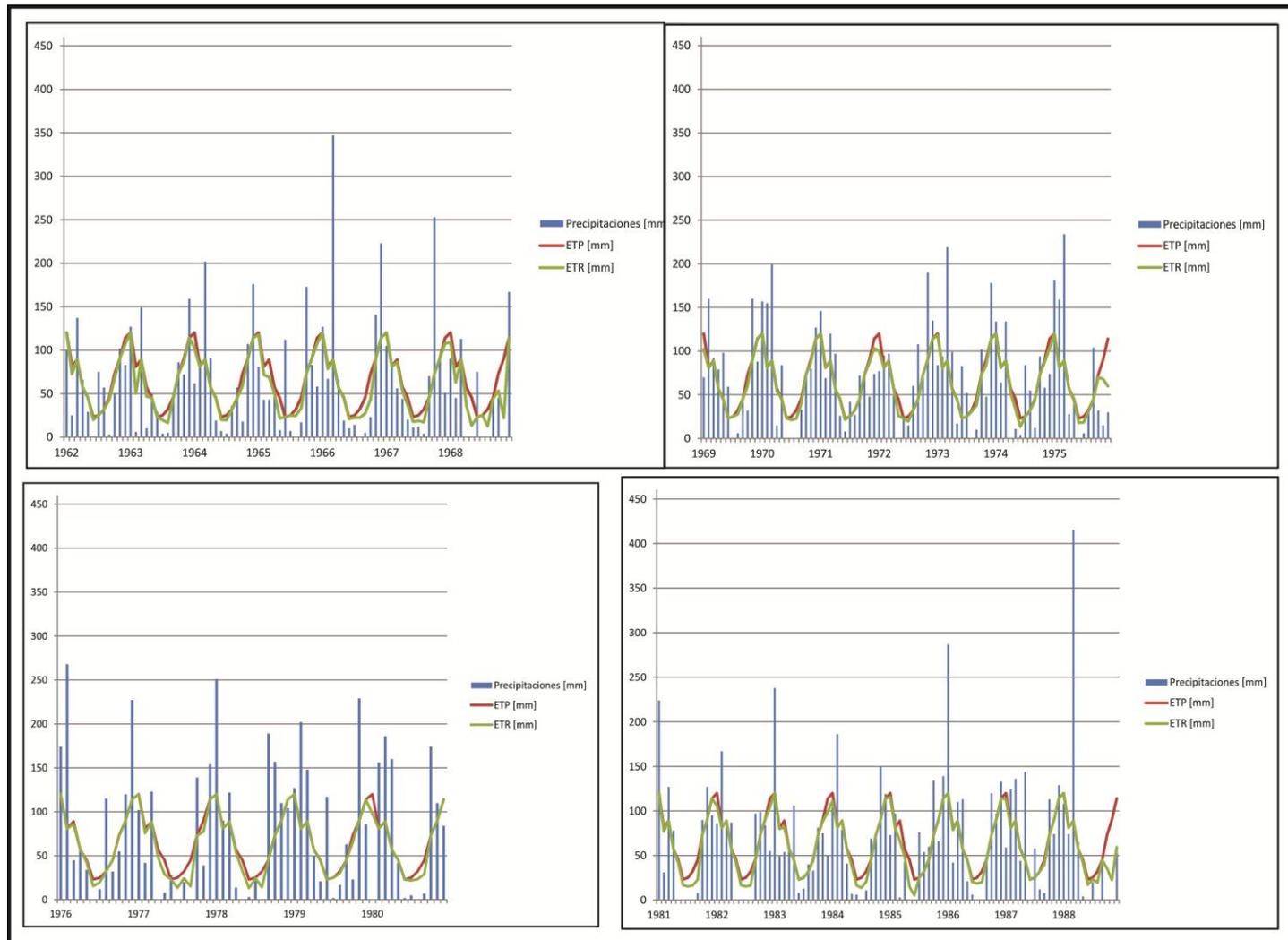


Figura III.5.b. Gráficos de P-ETP-ETR

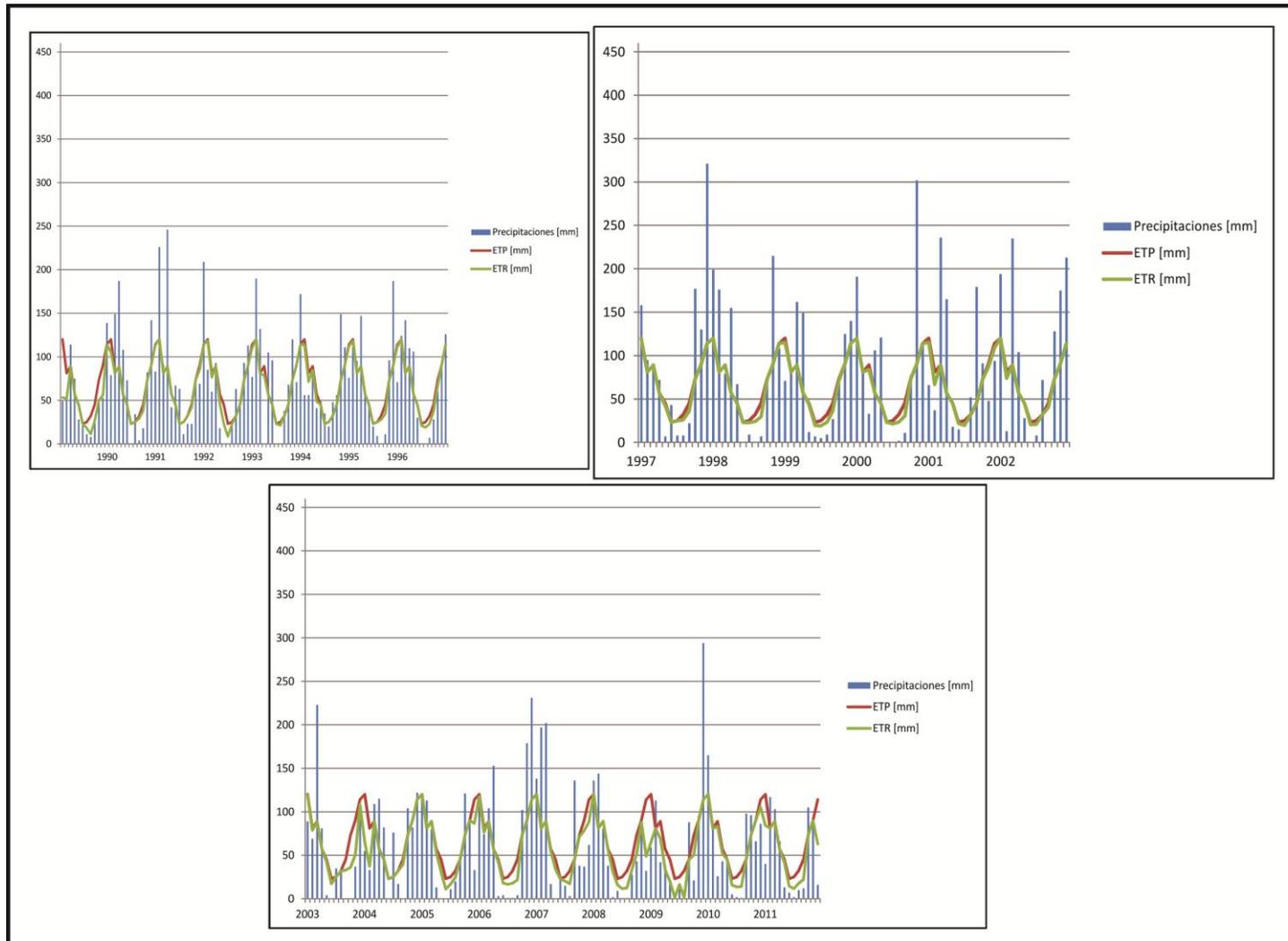


Figura III.5.c. Gráficos de P-ETP-ETR

III.4 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

En función de los valores de Precipitaciones medias anuales, Evapotranspiración Real y Potencial media anual, se determinaron diferentes índices para la clasificación climática según Thornthwaite (1948). A continuación se detallan los resultados obtenidos:

P= 861 mm

ETP= 825 mm

ETR= 821 mm

ÍNDICE DE EFICIENCIA TÉRMICA = ETP = 825 mm

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

ÍNDICE HÍDRICO= $100 \times (861 \text{ mm} - 821 \text{ mm}) - 60 \times (825 \text{ mm} - 821 \text{ mm}) / 825 \text{ mm} = 4,56$

Según el índice de eficiencia térmica y el índice hídrico, el clima en la zona resultó de tipo mesotermal subhúmedo-húmedo. Estos resultados se corresponden con la información climática mostrada en Maldonado (2012) para el Sur de Córdoba (Fig III.8).

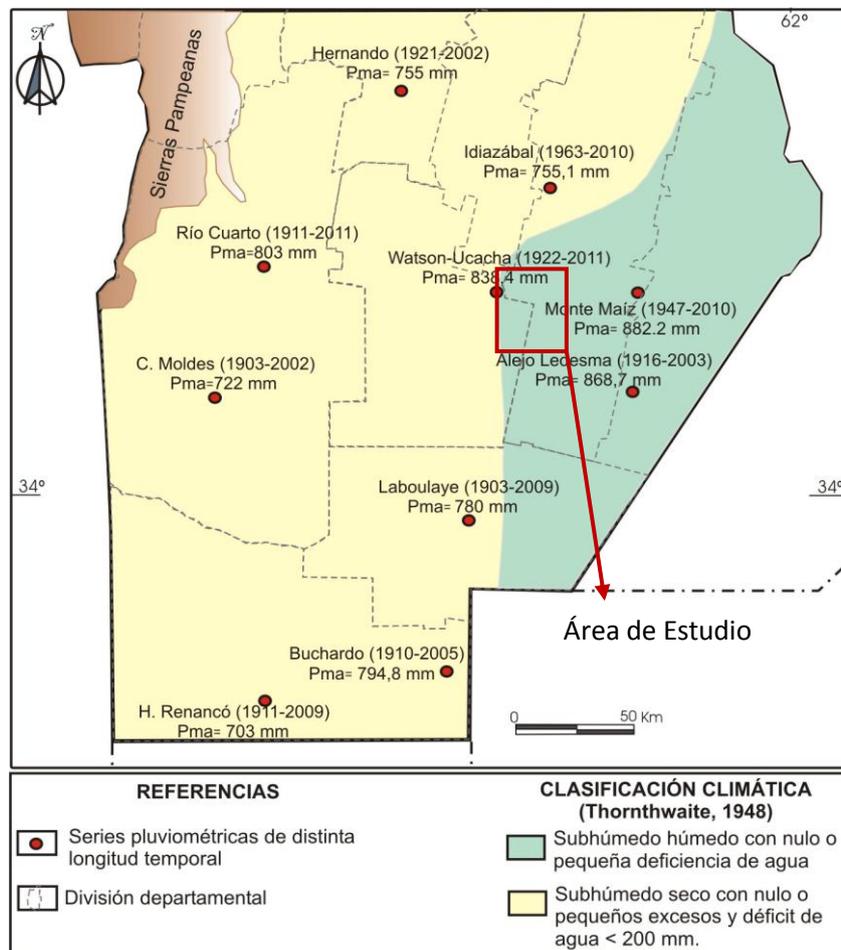


Figura III. 7 Clasificación climática para el Sur de Córdoba (Extraído de Maldonado, 2012).

CAPÍTULO IV

GEOLOGÍA

“Estar preparado es importante, saber esperar lo es aún más,
pero aprovechar el momento adecuado es la clave de la
vida”.

IV.1. GEOLOGÍA REGIONAL

IV.1.a. INTRODUCCIÓN

Si bien la zona de estudio se encuentra en la Provincia Geológica "Llanura Chaco-Pampeana" (Fig. IV.1), se va a describir también brevemente la geología de la Provincia Geológica "Sierras Pampeanas", ya que tanto el área de aporte de sedimentos, como de recarga de ríos, arroyos, y acuíferos (freático y algunos confinados) que componen la zona de estudio, tienen una historia geológica que se vincula también a las sierras.

IV.1.a.i. 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 (*Precámbrico-Paleozoico inferior*), fue definido como un complejo metamórfico-migmático, integrado por metamorfitas, en las cuales los protolitos son grauvacas y semipelitas, metamorizadas 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.

IV.1.a.ii Provincia Geológica "Llanura Chaco Pampeana"

El área de estudio se encuentra en la provincia geológica denominada por Groeber, (1938), Ramos (1999) como Llanura Chacobonaerense (Fig. IV.1) o por Russo et al. (1979), Chebli et al. (1999) como 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.

La Llanura Chacopampeana es parte de un gran antepaís que recibió, desde el Mioceno, sedimentos provenientes del levantamiento andino y que hoy constituye mayormente el lugar de tránsito de esos sedimentos hacia la plataforma y talud continental atlánticos (Chebli et al., 1999). Coincide con una parte poco móvil de la corteza, de tendencia negativa, donde se han acumulado espesas series sedimentarias continentales y marinas, de espesor variable asociados a diferentes cuencas separadas entre sí por altos y dorsales.

Según Ramos (1999), en la constitución de su subsuelo intervienen varias cuencas sedimentarias, destacándose por su importancia las cuencas Chacoparanense, la del Salado y sistemas conexos y la de Claromecó, de las cuales sólo se presentan las características distintivas más importantes de la primera por ser la cuenca en donde se inserta el área de estudio.

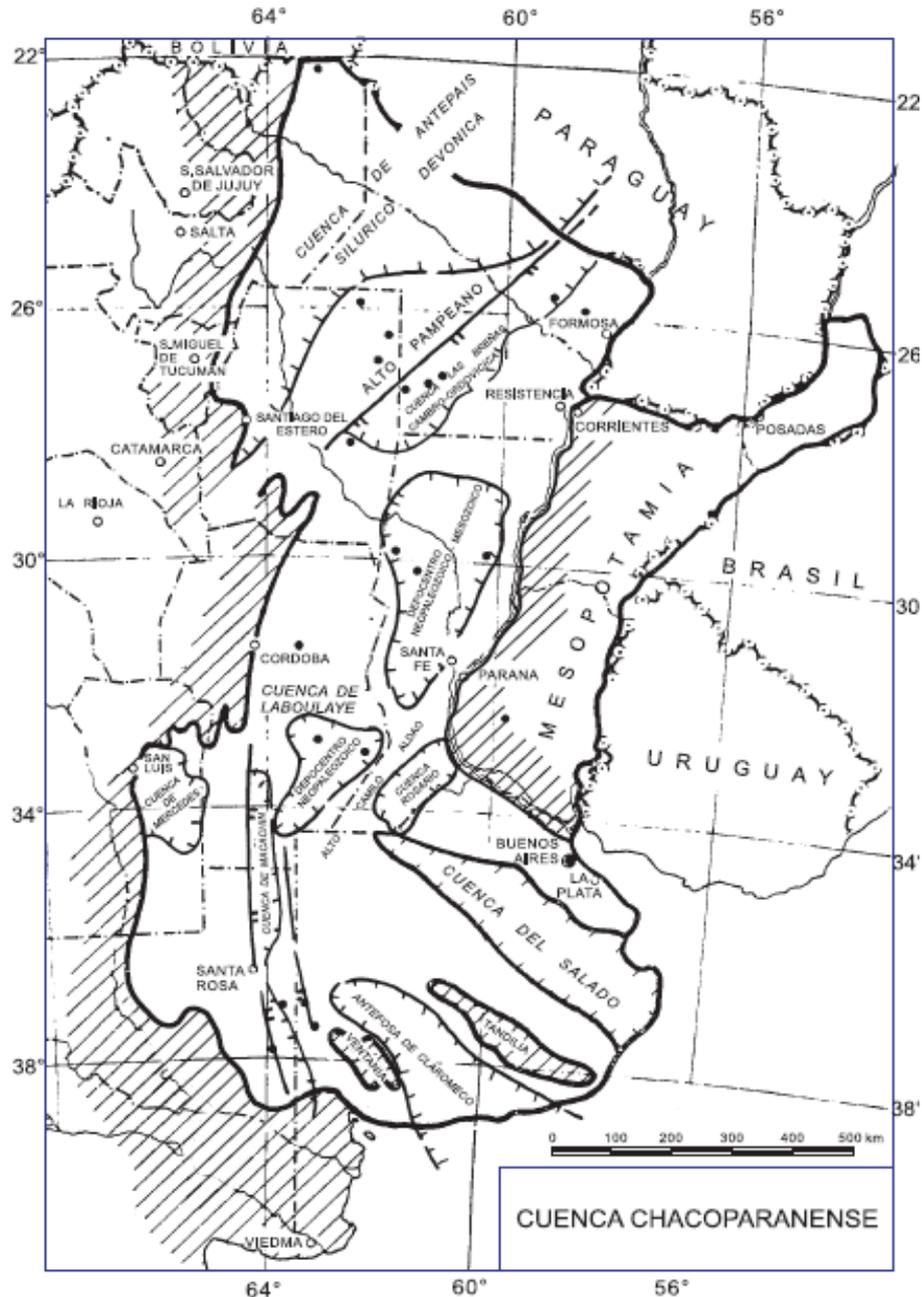


Figura IV.1. Depocentros reconocidos en la Llanura Chacobonaerense (Cuenca Chacoparanense). Extraído de Ramos (1999)

IV.1.b. ESTRATIGRAFÍA

En las figuras IV.2 y IV.3 se muestran la columna estratigráfica general (modificado de Villegas en Blarasin, 2003) y el perfil geológico regional (Villegas y Sagripanti en Degiovanni et al., 2005) definidos para la región, y a continuación se describirán las principales características geológica-estratigráfica de la misma.

PROTEROZOICO- PALEOZOICO INFERIOR

El basamento, conocido a través de perforaciones que han llegado a alumbrar estas rocas, se correlaciona con rocas ígneas plutónicas (desde gabros olivínicos hasta granitos), y rocas metamórficas, en general de alto grado. Las edades registradas van desde el precámbrico al paleozoico inferior (Chebli et al, 1999).

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** (Azcuy et al., 1987). Esta última aflora en cerros residuales asociados a las estribaciones de las sierras de Comechingones, tiene un espesor aproximado 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 intercalan areniscas de origen eólico (Azcuy et al., 1987).

MESOZOICO

Cretácico

Se trata de 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

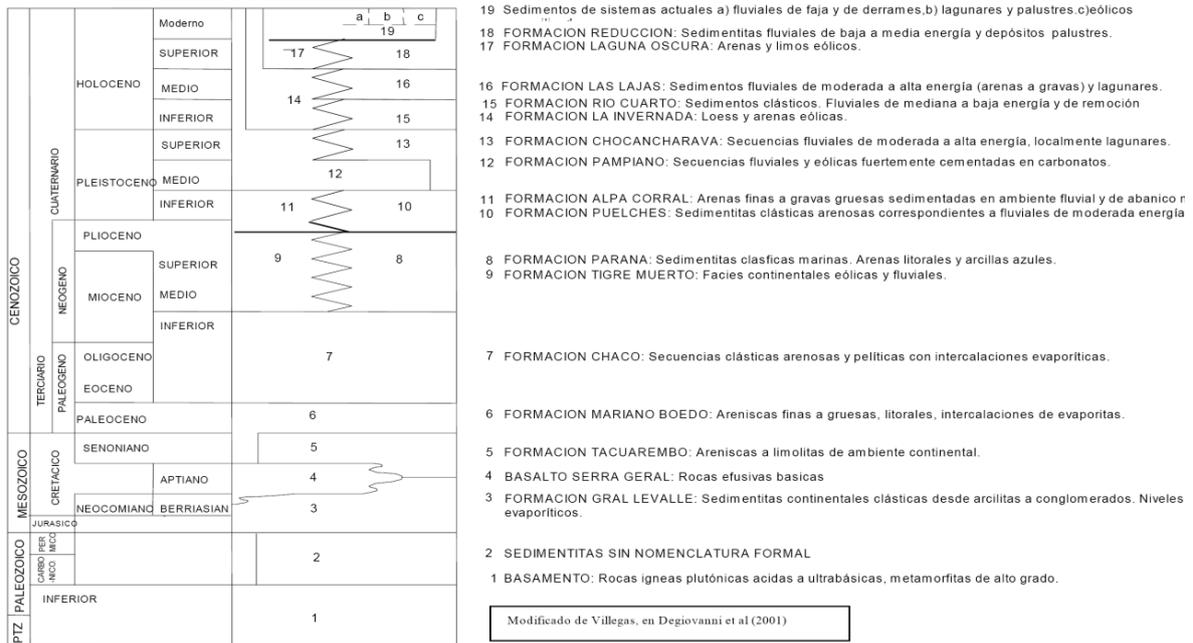


Figura IV.2. Cuadro Estratigráfico Regional para el Sur de la provincia de Córdoba.

Extraído de Blarasin (2003)

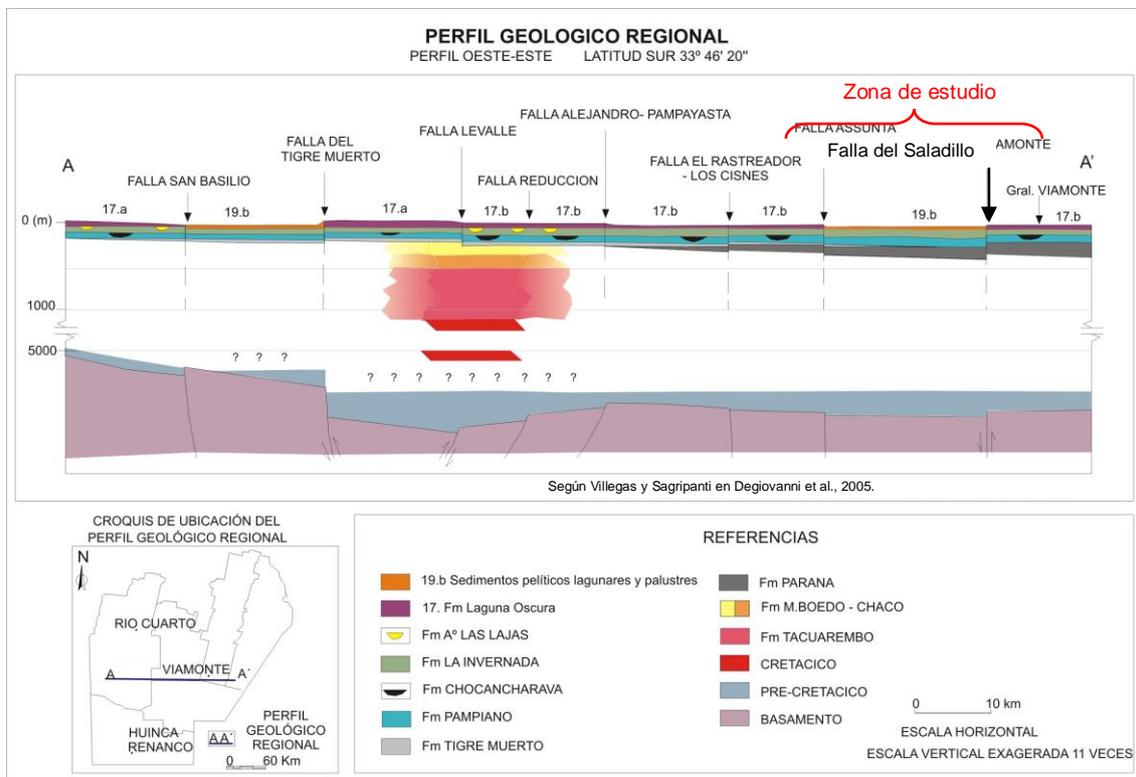


Figura IV.3. Perfil Geológico Regional. Tomado de Degiovanni et al. (2005).

una cuenca 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 edad *Cretácica*. Al Sur de Córdoba (Chebli et al., 2006) la secuencia litoestratigráfica correspondiente a este período comienza con la **Formación General Levalle** (Webster et al. 2002, 2004; Chebli et al., 2006) que constituye una secuencia clástico-evaporítica de relleno de rift, perforada en el pozo General Levalle, con un espesor que excede los 3.000 m, y que representa un ciclo continuo de depositación, que comienza clástica gruesa haciéndose gradualmente, granodecreciente hacia el miembro evaporítico para, luego también gradualmente, tender a granocreciente y rematar, hacia arriba, en las areniscas gruesas superiores del rift.

Le continúa a esta secuencia las coladas basálticas (negras o gris oscuro) de la **Formación Guardia Vieja** (Chebli et al., 2006) que se intercalan con niveles clásticos (areniscas y arcilitas rojizo castañas de espesores desde algunos cm a 20-30 m), y 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 alcali-olivínicos de áreas de rift, lo que lo diferencia de los de composición más tholeíticos de la **Formación Serra Geral** (Russo et al., 1979; Chebli et al., 1999).

Las efusiones volcánicas se interdigitan con el relleno sedimentario continental de la **Formación Tacuarembó**. Falconier (1931) y Chebli et al. (2006) la definen como areniscas rojas que yacen sobre los basaltos, pobremente consolidadas y ricas en biotita, hornblenda, plagioclasa y líticos de anfibolita, con un espesor de 130 m. En el centro (384 m de espesor) presenta arcilitas limosas y limolitas arcillosas rojizas, con algunas delgadas intercalaciones arenicosas. Los 295 m cuspidales corresponden a areniscas castaño amarillentas, granocrecientes desde el paquete pelítico. En general se trata de sedimentos no consolidados de posible origen fluvial.

CENOZOICO

Paleogeno- Neogeno inferior

Paleoceno

Paraconcordantemente a la Formación Guardia Vieja (o su equivalente Formación Serra Geral), se dispone la **Formación Mariano Boedo**, de edad

paleocena, descrita por Padula y Mingramm (1968). Está constituida predominantemente por areniscas rojas con granos de cuarzo manchados por óxidos de hierro que indican sedimentación vinculada a ambientes continentales oxidantes, y calizas arenosas y areniscas calcáreas, definidas como depósitos marinos cercanos a la costa. Se describen areniscas varicolores, y arcilitas grises, verdosas y rosadas, y bancos de yeso cristalino y terroso, que en conjunto se interpretan como facies clásticas de secuencias marinas someras bajo condiciones de cierta aridez. La secuencia se considera *Cretácica superior-Paleocena* por las relaciones que guarda con las unidades vinculadas.

Eoceno- Mioceno inferior

La Formación Mariano Boedo está cubierta, en probable discordancia erosiva, debida a la fuerte regresión al final del Paleoceno, por la **Formación Chaco**, (Russo et al., 1979) compuesta casi totalmente por arcillitas rosadas y castañas, ocasionalmente verdosas, con intercalaciones de yeso y anhidrita (perforaciones Ordoñez). En la cuenca de Levalle se trata fundamentalmente de niveles castaños y sin fósiles, areniscosos, limolíticos y arcilíticos, asignados por correlación con otras perforaciones, al *Eoceno-Mioceno inferior*.

Mioceno medio- Plioceno superior

Una nueva transgresión, en este caso somera y de mares cálidos, denominada Paranense, dejó dos registros diferentes, uno inferior transgresivo (**Formación Paraná**), compuesto por arcillitas verdosas, azuladas o gris amarillentas que fue descrita por varios autores, como Yrigoyen (1969) y Fernandez Garrasino y Vrba (2000), como depósito marino del *Neógeno*. La misma fue reconocida al Este de Córdoba, en varias perforaciones profundas de captación de agua (Renz, 1993) o de exploración petrolífera (Ordoñez, General Levalle). Gómez (1995) propone la posición de la línea de costa del mar Paranaense para el Sur de Córdoba. Los abundantes restos de polen y microfósiles calcáreos en esta unidad permiten asignarle una edad *Miocena*. El otro registro, superior, regresivo, está compuesto por areniscas, a veces calcáreas y fosilíferas de la **Formación Entre Ríos**. Ambas formaciones no están presentes en todos los pozos.

La **Formación Tigre Muerto** (Blarasin et al., 2000) fue detectada en varias perforaciones de captación de agua al Oeste y centro-Oeste de la región. Se trata de

bancos de hasta 150 m de espesor, de limos, limos cementados y arcillas oscuras correspondientes a facies leníticas y palustres, y arcillas ocreas con intercalaciones de arenas y gravas de ambientes fluviales, alumbradas a profundidades cercanas a 100 m. Blarasin et al. (2000) la asignan al *Mioceno*, asumiendo facies continentales coetáneas con la *Formación Paraná* (marina).

CUATERNARIO

La figura IV.4 muestra claramente la secuencia estratigráfica correspondiente a este período a través de un perfil geológico realizado por Blarasin, 2003.

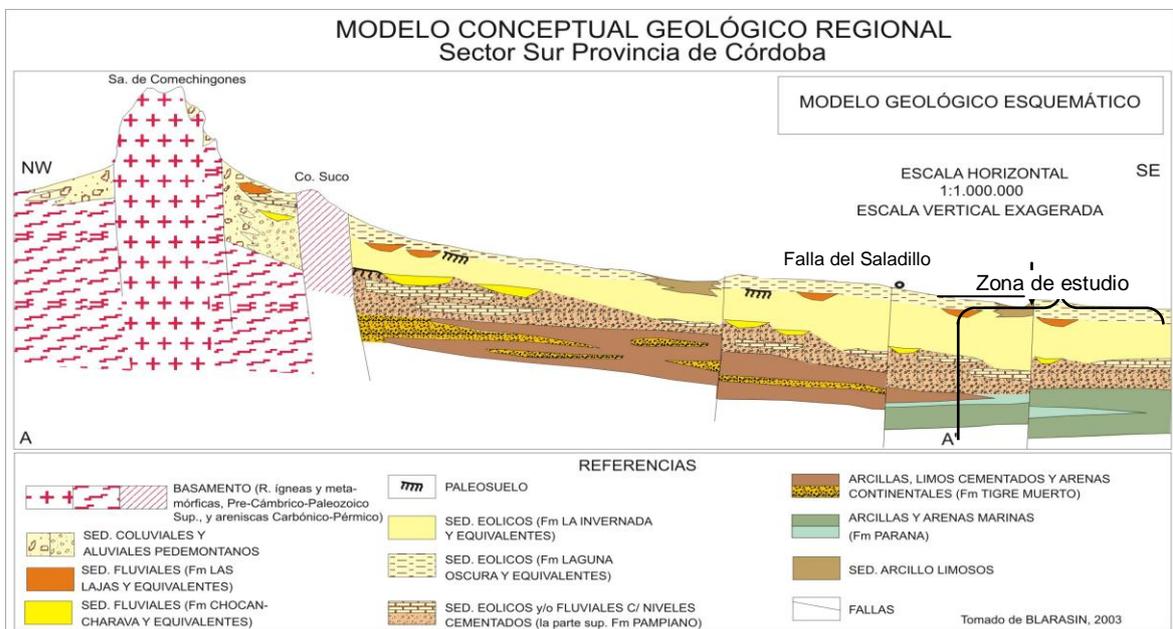


Figura IV.4. Esquema Geológico Regional (hasta 400 m de profundidad). Tomado de Blarasin (2003)

Plioceno Superior

Formación Ituzaingó -Arenas Puelches: Apoya sobre la Formación Paraná, de origen marino, o lateralmente sobre su equivalente continental la Formación Tigre Muerto. Se trata de areniscas friables, varicolores, de grano fino a grueso, ocasionalmente conglomerádicas y pobremente seleccionadas. En la secuencia aparecen algunos niveles de limolitas castañas y 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 Plioceno superior, esta formación fue descripta por Doering (1882); Santa Cruz (1971, a y b).

Formación Alpa Corral: la unidad fue definida por 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). Esta Formación se encuentra muy puntualmente en la base del abanico del Río Alpa Corral-Seco y ha sido reconocida en algunas perforaciones al Noroeste de la ciudad de Río Cuarto.

Pleistoceno medio a superior

Formación Pampiano (reconocida por Fidalgo et al., 1973; Cantú, 1992): Está constituida por sedimentos finos con distinto grado de cementación que corresponden a facies fluviales de variada energía de transporte (limos y limo-arenosos muy finos, pardo rojizos con nódulos de cementación con Fe, hasta conglomerados fuertemente cementados por carbonatos) y eólicas (limos eólicos (loess), pardo rojizo a amarillentos, con niveles de calcretos). De amplia distribución areal, se expone en afloramientos aislados y reducidos asociados a procesos erosivos. De este modo, constituye el lecho de la mayoría de los cursos de la región y se expone en lomadas y caminos sujetos a erosión hídrica y eólica. Ha sido reconocida, además, en numerosas perforaciones, tal es el caso de la de Levalle (Villegas, en Degiovanni et al., 2005).

En muchos sectores esta Formación presenta en su techo al **Geosuelo Estancia El Cerrito** descrita por Cantú (1992), se trata de un paleosuelo decapitado (Argiudol) desarrollado sobre materiales eólicos y donde sólo se conservan los horizontes Bt y BC.

Cantú (1992) asigna a esta Formación una edad *Pleistoceno medio a superior*, y al paleosuelo, *Pleistoceno superior*.

Formación Chocancharava (Cantú, 1992): Aflora en cárcavas y barrancas de numerosos ríos y arroyos de la provincia y representa un ciclo fluvial importante con facies de canal, llanura de inundación y palustres. Se trata de sedimentos clásticos detríticos, con estructuras de corte y relleno, tendencia general granodecreciente, con rodados de la *Formación Pampiano* interpretadas como facies típicas de canal fluvial entrelazado, y facies de energía decreciente, tractivas a suspensivas, correspondientes a llanura de inundación, que responden a un ciclo más húmedo. Está cubierta por materiales eólicos de la *Formación La Invernada*. La edad que se le asigna es *Pleistoceno superior tardío* (Cantú, 1992), sincrónico con el *Geosuelo Estancia El Cerrito*.

Holoceno inferior

Formación La Invernada (Cantú, 1992): espeso manto de loess, de espesor variable (pocos centímetros a más de 20 m), que cubre grandes extensiones de la llanura e incluso las pampas de altura de las sierras Pampeanas (Pocho, Achala, Olaen) y otras menores en la sierra de Comechingones. La mineralogía de estos sedimentos muestra dos orígenes, una asociación plutónico-metamórfica de basamento y otra volcánico-piroclástica. 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). Se la asigna al *Pleistoceno superior tardío*. En el techo de esta Formación suele reconocerse el **Geosuelo Las Tapias**, clasificado como un Hapludol típico (Cantú, 1992). El desarrollo de este suelo habría comenzado durante el *Hypsithermal u Optimum Climaticum* (Estadio isotópico IS-1) por lo que la edad estimada estaría entre 4.000-5.200 y 9.500-8.250 a.p.

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, que se interpretan como aquellos que se removilizaron y depositaron en épocas muy secas en la que un sistema como el río Cuarto no pudo desactivarse completamente. Por su posición estratigráfica relativa, se la vincula lateralmente con la *Formación La Invernada*, ya que sobreyace normalmente a 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): Son sedimentos clásticos de granulometría variable, entre gravas a arenas y limos, según su génesis fluvial-coluvial vinculada a procesos de erosión hídrica bien manifiestos (cárcavas) en cuyo caso se presenta como un cenoglomerado con intraclastos del suelo Las Tapias, o fluvio-lagunar. Puede presentar niveles con diatomeas. Según Cantú (1992) correspondería al final del período *Optimum Climaticum (Holoceno bajo-medio)* y sería correlacionable con el *paleosuelo Las Tapias*.

Holoceno superior

Formación Laguna Oscura (Cantú, 1992): Son sedimentos eólicos arenosos muy finos y limosos, en las que mineralógicamente domina el cuarzo, feldespato y vidrio volcánico cuyos depósitos se presentan en mantos de espesor variable (desde centímetros hasta 20 m) que se extienden por amplias regiones del Sur de Córdoba, excepto en las zonas de bajos, terrazas fluviales más bajas y derrames actuales, constituyéndose en el material aflorante por excelencia en la región. La sección superior actualmente aflorante puede presentarse edafizada o como depósitos medanosos resultantes de retrabajo local. Se le asigna una edad *Holoceno superior* (Cantú et al., 2006).

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 lititos de procedencia granítica. Se los interpreta como correspondientes a secuencias fluviales de baja a moderada energía donde predominan los depósitos de acreción lateral. Sobreyace a los sedimentos de la *Formación Arroyo Las Lajas* y evidencia 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: a) sedimentos fluviales de faja y de derrames b) lagunares y palustres y c) eólicos

IV.1.c. PRINCIPALES SISTEMAS DE ESTRUCTURAS DE LA REGIÓN

Las principales estructuras definidas para el Sur de Córdoba han sido agrupadas en familias según el rumbo que presentan. Se muestran en la Figura IV.5 y serán mencionadas a continuación pero solo se describirán aquellas presentes en el área de estudio.

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 de la Llanura Chaco-Pampeana. Entre ellas se encuentran la *Falla de Comechingones*, *Falla de Santa Rosa-Las Peñas*, *Falla Alejandro-Pampayasta*, *Falla del Tigre Muerto* y *Falla Levalle*.

Sistema E-O: Estas fracturas, muchas de ellas de carácter normal, seccionan y escalonan a los megabloques meridianos y controlan la traza de varios cursos. Ellas son *Falla Río Cuarto* y *Falla del arroyo Santa Catalina*.

Sistema NO-SE: está muy bien representado en el extremo Sur de las sierras de Comechingones y en las planicies occidentales. Son responsables del 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). Este sistema está representado por la *Falla Las Lajas-Sampacho*.

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

La *Falla del Saladillo* (Villegas, 1999), es la más importante del área ya que condiciona tanto el flujo superficial como el subterráneo (Blarasin, 2003). La misma define, hacia el Noroeste, una depresión donde se disponen los Bañados del Saladillo, el complejo lagunar La Chanchera-La Brava, entre otros y, hacia el Este-Sudeste al bloque elevado Viamonte-Laboulaye, que evidencia reactivaciones neógenas, ya que anteriormente el escurrimiento de las redes pleistocenas continuaba hacia el Sudeste (Cantú y Degiovanni, 1984).

Otra de las estructuras presentes en el área es la *Falla Río Cuarto* (Villegas, 1999) o del arroyo Cipión (Cantú, 1998), que controla al río homónimo hasta proximidades de Reducción. Muy probablemente haya constituido el límite Norte de la cuenca cretácica de Levalle.



Figura IV.5. Mapa Estructural del Sur de Córdoba. Tomado de Degiovanni (2008).

IV.1.d. HISTORIA GEOLÓGICA Y MARCO TECTÓNICO REGIONAL

La historia geológica de la región comienza en el **Paleozoico inferior**, donde diversos autores proponen un *régimen distensivo*, con diferentes depocentros, de los cuales sólo se conoce 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).

Durante los períodos **Carbonífero-Pérmico**, el *régimen tectónico fue compresivo* con subducción Pacífica buzando al Este. Según Chebli et al (1999) los sedimentos *neopaleozoicos*, continentales y marinos, con influencia glaciaria, yacen discordantes sobre secuencias *devónicas* y *silúricas* y basamento cristalino.

En el **Pérmico tardío-Triásico temprano** el régimen de esfuerzo compresional 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 en una serie de cuencas menores de estilo tectónico similar que se colmataron con sedimentos *Cretácicos* y *Terciarios*.

El régimen *distensivo* de finales del **ciclo orogénico Gondwánico** se continúa en el **ciclo orogénico Patagonídico** (Ramos, 1999) durante el **Jurásico tardío-Cretácico temprano**. Los procesos de rifting se propagaron 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 de la del Paraná (Chebli et al., 1999). El estilo estructural para esta época es de bloques de basamento, con ejes longitudinales meridionales, limitados por fallas normales, y separados por angostas depresiones que forman cubetas sedimentarias, de similar orientación.

Según Rabassa et al. (1997) a fines del **Mesozoico superior** el clima dominante para las regiones centrales de Argentina era tropical a subtropical húmedo, de acuerdo a datos de estudios de paleopaisajes relicticos en áreas cratónicas (pampas de altura de sierras Pampeanas).

Según Russo et al. (1979) hacia el final del **Paleogeno (Eoceno-Mioceno inferior)** se produce una fuerte regresión y se depositan discordantemente sedimentos continentales que representan una secuencia de llanura aluvial (*Formación Chaco*).

Posteriormente, en el subciclo **Paleógeno** del ciclo ándico (Ramos, 1999) se produce la *inversión del régimen tectónico a compresivo*, controlados por las variaciones de velocidad de convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana. Durante el **Mioceno-Plioceno**, se produce la segmentación de los Andes y las suturas *eopaleozoicas* y las fallas normales *Paleozoicas-Mesozoicas* afectadas por la inversión tectónica se transforman, en su mayoría, en fallas inversas de alto ángulo buzantes al Este. En la llanura, específicamente para el sector estudiado, según Chebli, et al. (1999), el bloque de Levalle constituye la única manifestación de inversión **cenozoica** en subsuelo. Esto, y una nueva reactivación y levantamiento de las sierras Pampeanas, es la respuesta a la horizontalización de la placa oceánica de Nazca, a la latitud aproximada de 32° S, evidenciada por un menor engrosamiento cortical y acortamiento de los orogénos (Jordan y Almendinger, 1986).

Hacia el **Mioceno** se produce una nueva transgresión marina de aguas someras y cálidas, correspondiente a la *Formación Paraná*. Para esa misma época en el sector occidental de la provincia el ambiente de depositación era continental (*Formación Tigre Muerto*, Blarasin et al, 2000).

Hacia el límite **Mioceno-Plioceno** se depositaron importantes secuencias fluviales (*Formación Alpa Corral*), que hacia el este van gradando a la Formación Puelches, correlacionadas con regímenes de mayor energía vinculadas al último movimiento ándico y con persistencia de condiciones húmedas.

Durante el **Pleistoceno medio a superior**, las condiciones se fueron tornando más áridas hasta alcanzar un grado que permitió la cementación carbonática de los distintos materiales depositados (*Formación Pampiano*).

Durante el **Pleistoceno Superior** el clima se tornó más húmedo (vinculado al período interstadial del Wisconsin medio), lo que generó la depositación de importantes espesores fluviales de moderada a alta energía, localmente lagunares (*Formación Chocancharava*) que generó una superficie erosiva de extensión. La red de drenaje **pleistocena** tenía una conformación diferente de la actual, y los actuales río Cuarto y Quinto, muestran paleocanales que llegan hasta el Sur de la provincia de Santa Fe (Iriundo, 1987, Cantú y Degiovanni, 1984), indicando que el alto de Laboulaye-Viamonte para este período no actuaba como tal, Coetáneamente, en los interfluvios se generaron suelos con perfiles muy desarrollados (*Geosuelo Ea. El Cerrito*) (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 loésicos, de gran extensión regional (*Formación La Invernada*) (Cantú, 1992). 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* (Blarasin, et al., 2000).

En el **Holoceno bajo y medio** acaecieron condiciones más húmedas, coincidentes con el período denominado *Optimum Climaticum*, que favorecieron la reinstalación de redes de drenaje, ambientes leníticos y desarrollo de suelos en los interfluvios (*Suelo Las Tapias*) (Cantú, 1992), con menor disponibilidad de agua y aridización del clima, para una línea de costa atlántica situada pocos kilómetros al Oeste de la actual (Cantú, 1992). La reinstalación de las redes no siempre es coincidente con el diseño **pleistocénico**, ya que se observan desmembramientos de cuencas y desconexiones situando un evento tectónico 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*, Cantú 1992), que cubre casi toda la región y presenta una morfología de dunas longitudinales actualmente bastante disipadas y discontinuas. Según Iriondo (1999) este período seco se extendió entre los 3.500 a 1.400 años AP, instalándose con posterioridad las condiciones climáticas actuales, predominantemente húmedas. Este ciclo húmedo fue interrumpido en tiempos históricos, por condiciones más áridas asociadas a un nuevo avance glacial, que se conoce internacionalmente como *Pequeña Edad de Hielo* (800-200 años AP, Iriondo, 1999), al que se asigna el origen de las dunas parabólicas características de esta época (Degiovanni et al., 2005).

El régimen compresivo actuante en los períodos **Plioceno-Pleistoceno**, continúa hasta el presente y esta actividad neotectónica queda evidenciada por la ocurrencia en la región y zonas aledañas, de numerosos terremotos superficiales leves a moderados; la frecuente actividad microsísmica; importantes modificaciones sufridas por la red de drenaje, ya sea en su sentido de escurrimiento como en los ritmos de erosión horizontal y vertical y la presencia de la *Formación Pampiano* y *Formación Chocancharava* en bloques elevados que son actuales interfluvios; entre otras (Degiovanni et al., 2005).

IV.2. GEOLOGÍA LOCAL

IV.2. a. GEOLOGIA DE SUPERFICIE

IV.2.a. i. INTRODUCCION

A partir de los relevamientos realizados en las diferentes campañas, se describieron 4 perfiles aflorantes (PA1, PA2, PA3, PA4) en barrancas de ríos y canales, y a las orillas de caminos vecinales profundizados. La ubicación de los mismos se muestra en la figura IV.15, mapa de morfoisohipsas y V.3 (Ver Mapa Geológico-Geomorfológico). A continuación se detallan los perfiles descriptos.

IV.2.a. ii. DESCRIPCION DE LOS PERFILES SEDIMENTARIOS

➤ *Perfil sedimentario N° 1- "Puente Olmos"*

Este primer perfil -PA1- (Figs. IV.6 y IV.6') se encuentra ubicado en las barrancas del río Cuarto, próximo al paso por el puente Olmos, al cual se accede por la ruta vieja N°8. Exhibe base cubierta, sobre la que se encuentran sedimentos arenosos muy finos limosos de color pardo, de un 1 metro de espesor, bioturbado, materia orgánica, y rastros de raíces. La fracción dominante en este estrato (denominado A), corresponde en un porcentaje superior al 60%, a arenas muy finas y en un 28,30 % a arenas finas, observándose la presencia (aprox. 4%), de clastos tamaño arenas muy gruesas (Fig. IV.7). Por encima se encuentran 0,37 metros de material con un mayor porcentaje de arenas finas (78,6 %), observándose también en un 2,5% clastos tamaño arenas muy gruesas, de color pardo más oscuro, con mayor contenido de materia orgánica, rizoconcreciones, moteados de Fe, incipiente laminación, y percolación de arenas del estrato superior por los prismas (B, Fig. IV.7). Con un contacto neto y ondulado le continúan 0,65 metros de arenas finas (entre 80 y 90 %), pardas claras, con laminación entrecruzada, y alto contenido en minerales micáceos (C, Fig. IV.7), los centímetros superiores posee mayor contenido de materia orgánica, y se encuentran cementadas (C1, Fig. IV.7). En contacto neto se pasa a un estrato de 0,28 metros, similar al descrito anteriormente, pero con un grado levemente mayor de cementación. Continúan 0,50 metros de arenas muy finas limosas con laminación en la sección inferior, hacia el techo se observa mayor contenido de materia orgánica, bioturbación, carbonatos, y un grado de cementación también mayor; presenta restos de raíces, y cuevas. En contacto neto planar, se presentan 0,50 metros de materiales similares a los anteriores pero difieren en el tamaño de los sedimentos que es ligeramente más pequeño. Transicionalmente suprayacen 0,32 metros de arenas muy finas-limosas de color ocre-amarillento con laminación incipiente. Los últimos 0,28 metros del perfil son de material fino, poco consolidados.

Dadas las características deposicionales y granulométricas de los sedimentos descritos se pueden asumir a la sección inferior como equivalentes a la Formación Pampiano (Fidalgo et al., 1973; Cantú, 1992) de edad Pleistoceno medio a superior.

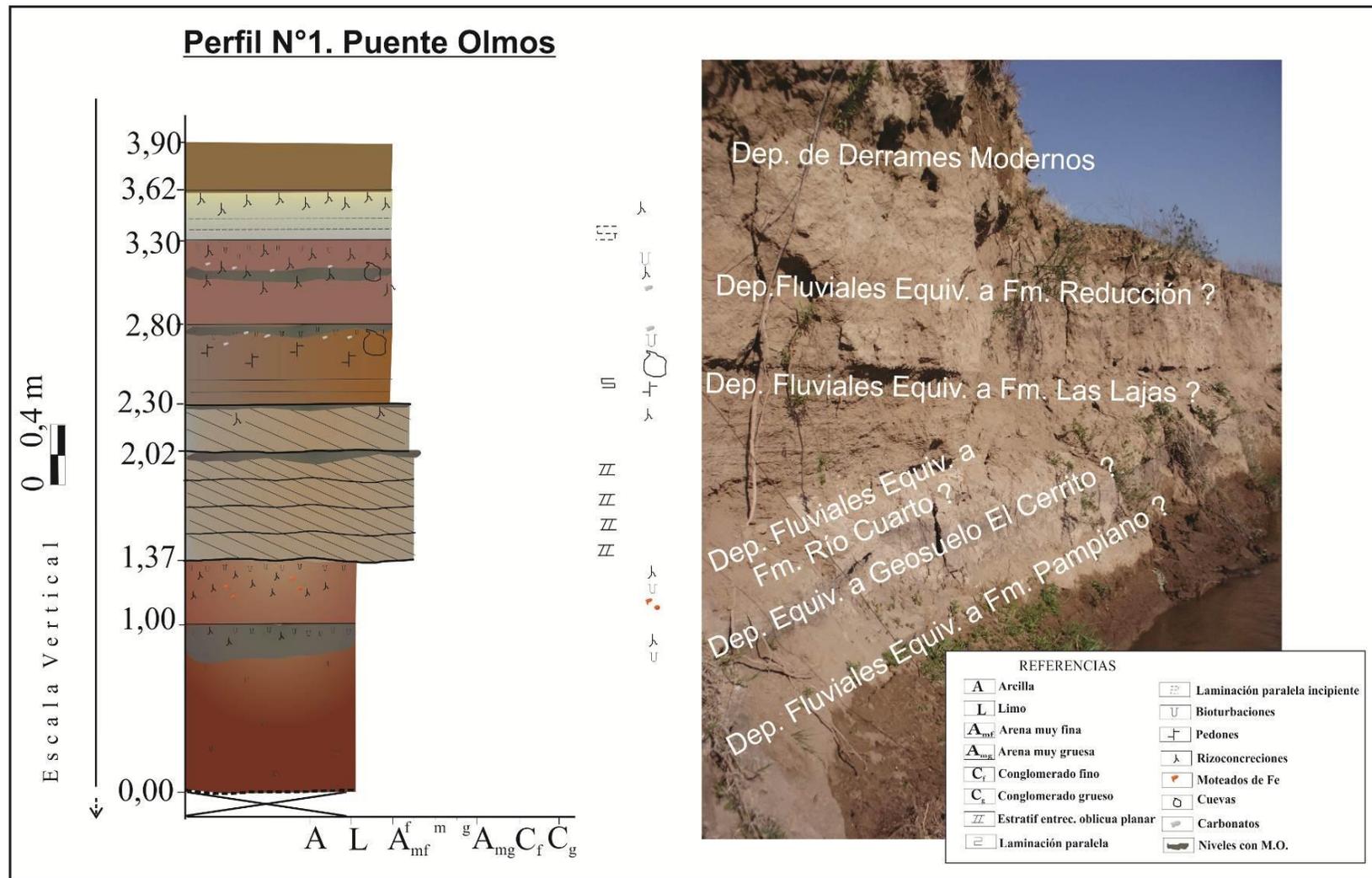


Figura IV.6. Perfil N°1. "Puente Olmos"



Figura IV.6'. A) Límite entre Depósitos equivalentes a Geosuelo El Cerrito y Fm. Río Cuarto. B y C) Estratificación cruzada equivalente a la Fm. Las Lajas.

Sobre esta formación se desarrolla el *Geosuelo Estancia El Cerrito*, la edad que se le asigna es *Pleistoceno superior tardío* (Cantú, 1992), sincrónico con la Formación Chocancharava. Los depósitos que le siguen se podrían asumir como equivalentes a la Formación Río Cuarto (Blarasin et al., 2000), de edad Holocena inferior, la cual corresponde a sedimentos fluviales de baja energía, correspondientes a facies fluviales en aquellos momentos en que, en épocas secas y frías, se depositaban fundamentalmente sedimentos eólicos de la Formación La Invernada, aunque sistemas fluviales mayores como el río Cuarto no se desactivaron completamente. Sin embargo estas edades se asignan con dudas ya que para esas épocas probablemente la actividad del río Cuarto no alcanzaba estas zonas distales de la cuenca. Los siguientes depósitos fluviales, que presentan una marcada estratificación cruzada serían equivalentes a la Formación Las Lajas, que correspondería al final del período *Optimum Climaticum (Holoceno bajo-medio)* según Cantú (1992). Por encima se encuentran sedimentos que se asignan con dudas a la Formación Reducción (Blarasin et al., 2000) de menor energía al anterior, considera coetánea y asociada lateralmente con la *Formación Laguna Oscura*, destacando que pueden realizarse para este período similares consideraciones al anterior seco y frío. Hacia el techo del perfil se puede observar depósitos modernos de derrames.

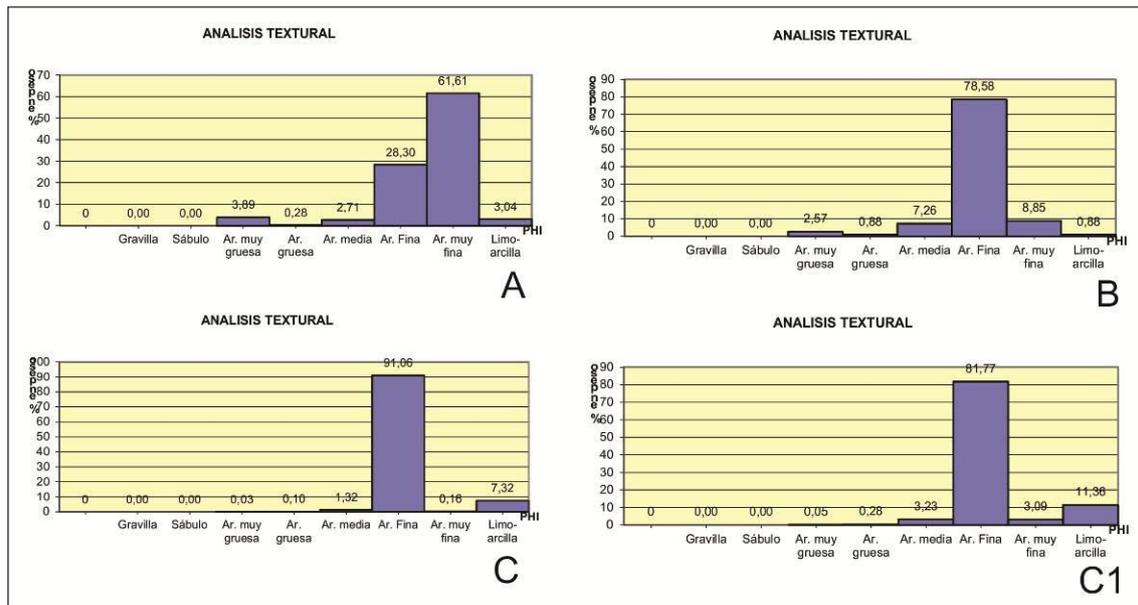


Figura IV.7. Análisis Textural para el perfil N° 1 "Puente Olmos"

➤ *Perfil sedimentario N° 2- "Derrames Modernos Camino Viejo"*

El perfil PA2 (Fig. IV.8) se encuentra ubicado 5 kilómetros hacia el Sudeste del perfil anterior, continuando por la ruta vieja N° 8. Se trata de materiales, deleznales en los que se observan 4 cuerpos de geometría tabular, con límites planares netos, distinguibles granulométricamente. Estos cuatro cuerpos se encuentran en alternancia de materiales más gruesos, representados por más del 80 % por arenas finas (Fig. IV.9), y de materiales más finos, constituidos en aprox. 39% de arenas finas, 33% de arenas muy finas y 20% de sedimentos limo arcillosos; los primeros presentan estratificación con moteados de Fe hacia el techo, y los segundos poseen acumulación de materia orgánica hacia el techo. El perfil presenta cementación variable y un leve grado de cohesión.

Estos depósitos pertenecen a ciclos de desbordes modernos del río Cuarto en su tramo terminal, indicando la mayor laminación y granulometría más gruesa de dos de los depósitos la mayor energía del evento. Los moteados de Fe indican condiciones de hidromorfismo luego de la depositación, y la materia orgánica, incipiente edafización.

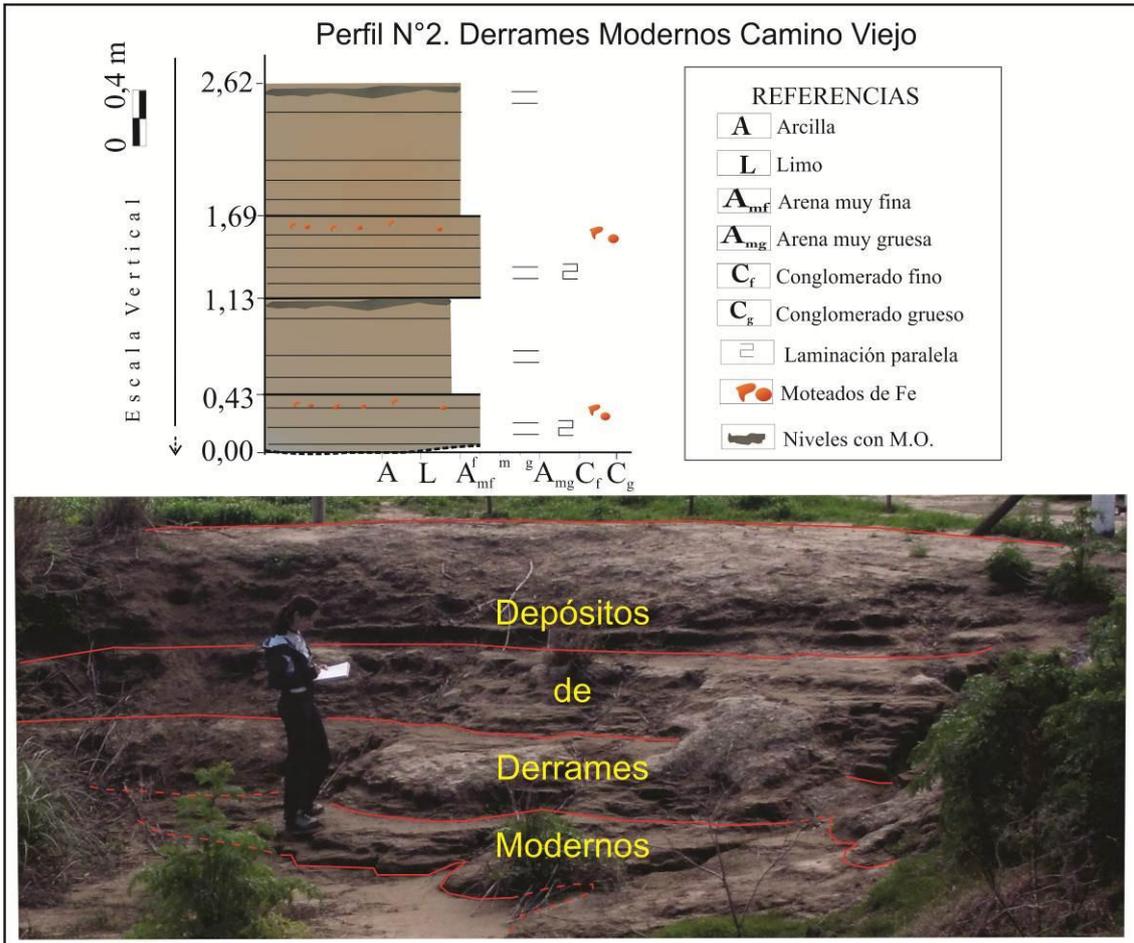


Figura IV.8. Perfil N° 2. Derrames Modernos Camino Viejo

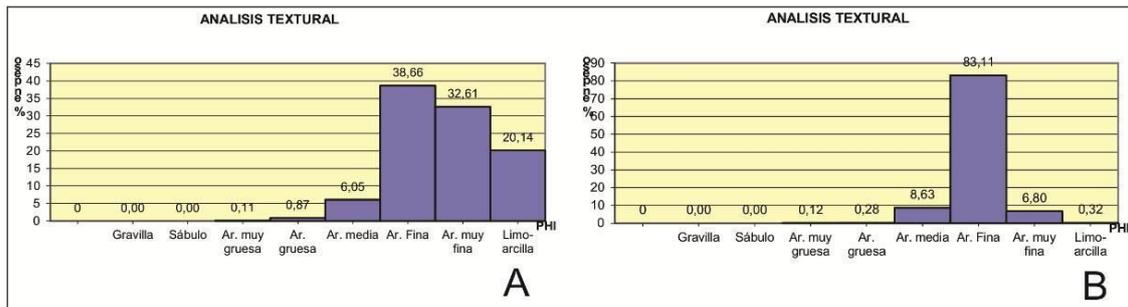


Figura IV.9. Analisis Textural para el perfil N° 2 "Derrames Modernos Camino Viejo"

➤ *Perfil sedimentario N° 3- "Canal La Brava"*

Este perfil -PA3- (Fig. IV.10) se sitúa a 7 kilómetros aproximadamente del Perfil N° 1 hacia el Sudeste, retomando ya a la ruta nueva N° 8. El perfil de base cubierta, comienza con un cuerpo de 1,20 metro aproximado de materiales (muestra A, Fig. IV.11) de tamaño arenas finas (62,4 %) a muy finas (21,5 %), con clastos dispersos de

tamaño arenas gruesas (7,7 %) y media (3,5 %). Este cuerpo presenta una cierta laminación, grado variable de cementación y presencia de moteados de color negro dispersos en la masa (correspondientes a óxidos de Manganeseo y/o Hierro). Presenta bioturbación y acumulaciones de materia orgánica, hacia el techo la concentración de esta última es mayor, y también presenta laminación y estructuras en prismas. Suprayacente a este cuerpo le continúan un estrato de 0,6 metros compuesto por tres niveles interiores predominantemente de arenas finas (54,5 %) y muy finas (38,5 %), con contactos netos y planares entre ellos, y de geometría tabular. Presentan niveles de materia orgánica, aumentando hacia arriba, culminando con una laminación, sobresalen por la erosión diferencial. Por encima se ubica un cuerpo de 1,20 metros de arenas más gruesas, laminadas.

Entre el primer estrato que se describe, y los siguientes estratos se observa una división que podría corresponder a la sedimentación antigua, previa a la creación del canal, que es propia del área, y los estratos que se encuentran por encima corresponderían a una nueva sedimentación propia del canal. Por lo tanto, los materiales presentes en la base del perfil se asumen como depósitos fluviales de derrames antiguos, que se encuentran separados, por una superficie planar de los depósitos propios del canal interpretados como sedimentos modernos, que muestran dos episodios principales, sin denominación formal (derrames actuales), sobre los que se desarrolla el suelo actual.

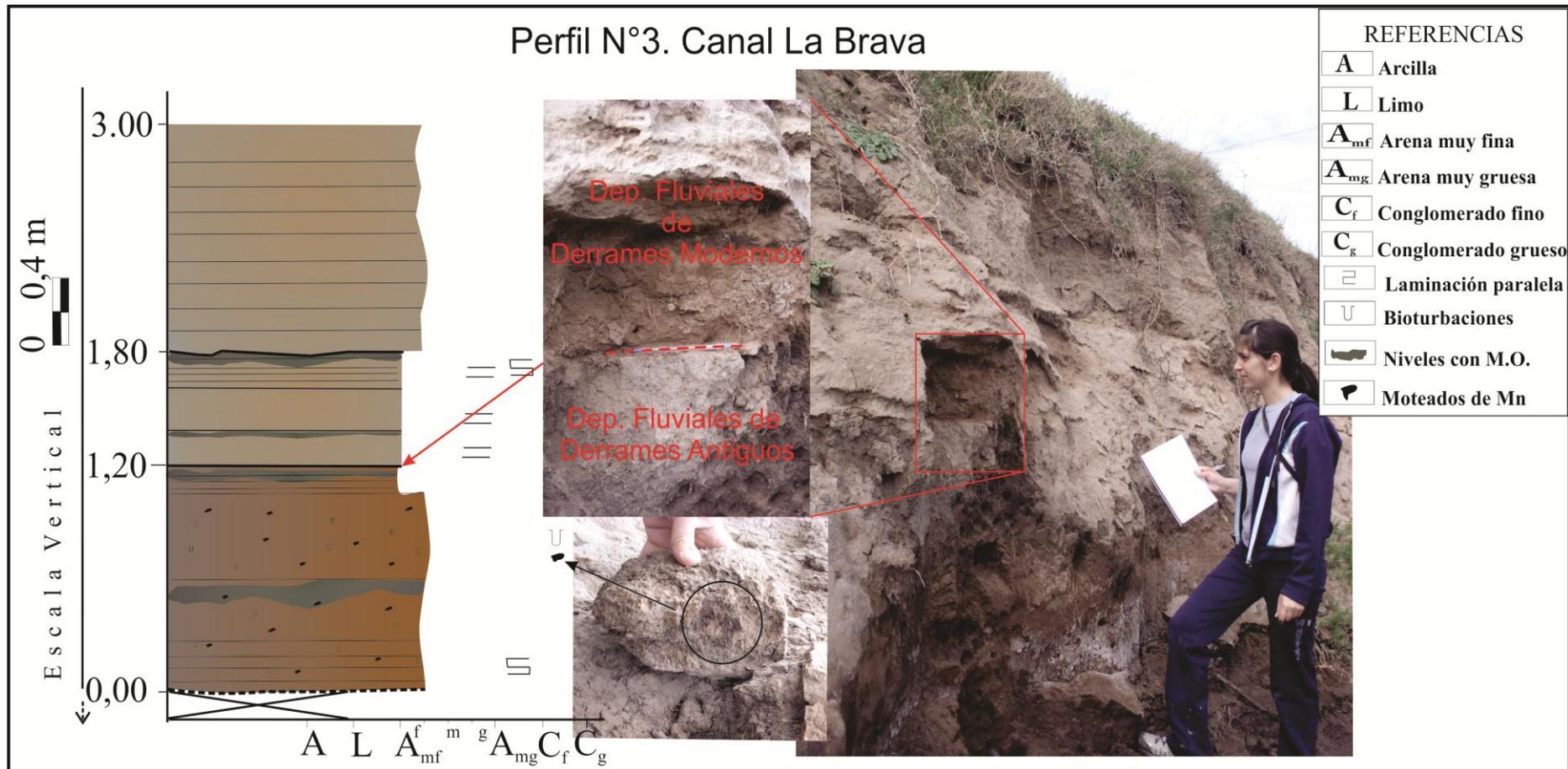


Figura IV.10. Perfil N° 3 "Canal La Brava"

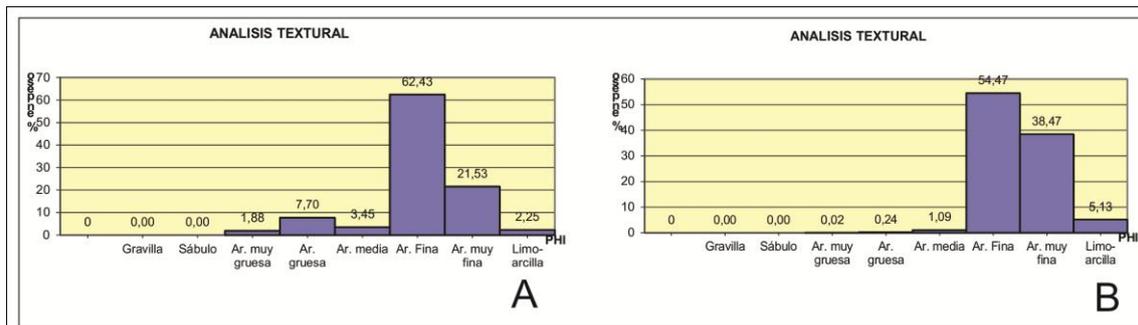


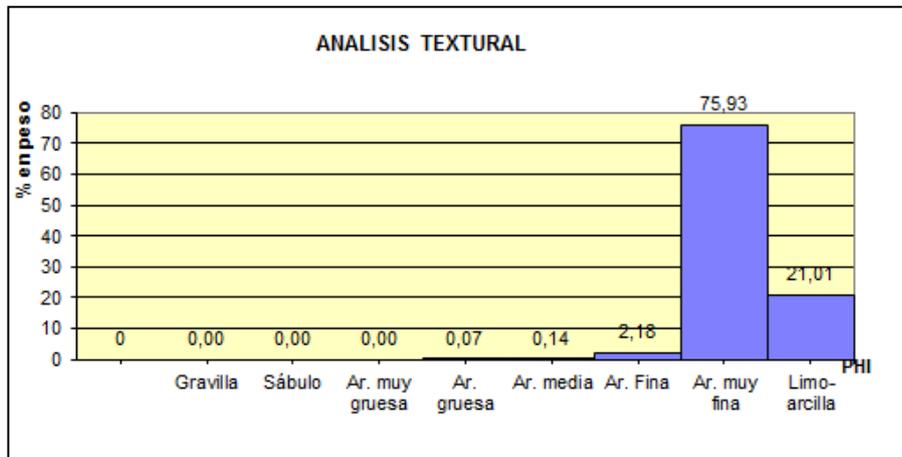
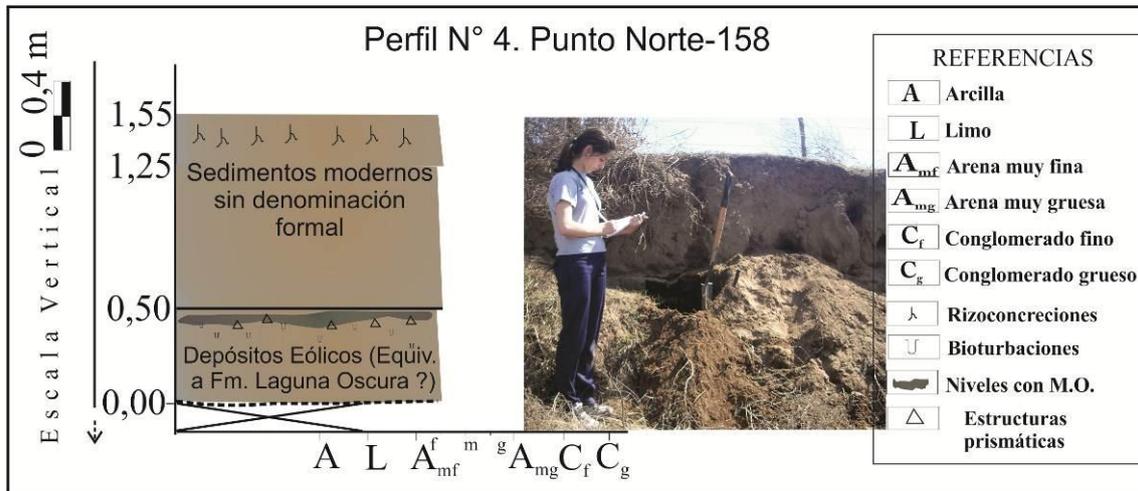
Figura IV.11. Análisis Textural para el perfil N° 3 "Canal La Brava"

➤ *Perfil sedimentario N° 4- "Punto Norte-158"*

El último perfil relevado (PA4) se encuentra ubicado a 26 kilómetros hacia el Este del perfil N° 1, este se localiza en un borde de un camino de tierra, que presenta amplias barrancas provocadas por la erosión hídrica lo que permite observar y describir el perfil (Fig. IV.12).

El perfil posee base cubierta, y le siguen dos cuerpos principales. El primero tiene un espesor de 0,50 metros, y está compuesto por material de tamaño arenas muy finas, de color pardo. Hacia el techo se observa contenido de materia orgánica, y el desarrollo de primas. En contacto neto planar pasa al segundo estrato, que posee un espesor de 0,75 metros de sedimentos también arenosos muy finos pardos, y no presenta estructura alguna. Por encima se depositaron 55 cm de material sin estructura ni cohesión. El análisis granulométrico se realizó para todo el paquete, extrayendo una muestra del sector superior, el cual arrojó un contenido mayoritario en arenas muy finas con un 75,93%, y un 21,01 % de limos-arcillas (Fig. IV.13).

Los depósitos presentes en este perfil se interpretan como equivalentes a la Formación Laguna Oscura (Cantú, 1992) de edad Holocena superior, y corresponde a sedimentos eólicos arenosos muy finos y limosos, propios de un período seco, en el cual se observa el desarrollo de un paleosuelo evidenciado por las estructuras en prismas característico del desarrollo de un horizonte B. Este suelo denota un cambio en las condiciones de sedimentación y un período más húmedo que permite tal formación, por lo que los materiales de arriba pertenecen a sedimentos actuales sin denominación formal. Los materiales de la parte superior pertenecen a removilizaciones actuales sin denominación formal.



IV.2.b. GEOLOGIA DE SUBSUELO

IV.2.b.i. INTRODUCCION

Para realizar el perfil geológico esquemático del área de estudio se utilizaron dos tipos de perforaciones, profundas y someras. Las perforaciones profundas se ubican, una en la localidad de Canals de 390 metros y otra en la localidad de La Carlota de 330 metros, realizadas en oportunidad del proyecto del "Sistemas de grandes acueductos" para la provincia de Córdoba (1967). Esta última perforación si bien no se encuentra en la hoja topográfica 1:100.000 correspondiente a la zona en estudio, se halla cercana a la misma por lo que se la tuvo en cuenta para realizar la correlación de los perfiles, ya que, además, la cantidad de perforaciones profundas disponibles en la zona disponibles son escasas. En ambas localidades, existen también perforaciones someras de menos de 23 metros que fueron realizadas, en 1983, por la "Dirección

Provincial de Hidráulica". Además se incluyó una perforación perteneciente a "La Serenísima", que se encuentra a 3 kilómetros aproximadamente de Canals (Felizzia, 2012), y los pozos censados durante las campañas realizadas durante la investigación del área para el presente trabajo. La ubicación de los perfiles se pueden ver en la figura IV.15.

IV.2.b.ii. PERFIL GEOLOGICO ESQUEMATICO

A partir de toda la información recolectada de la geología del área, se realizó un perfil esquemático en una sección de interés en sentido NO-SE (Fig. IV.14), en el cual se efectuó la correlación estratigráfica de los materiales del subsuelo. La ubicación del perfil se muestra en la figura V.3. (Ver mapa Geológico-Geomorfológico). En base a la interpretación conjunta del perfil esquemático realizado y el perfil geológico regional, definido por Blarasin (2003) para el Sur de Córdoba, se elaboró una columna litológica-estratigráfica típica representativa para el área de estudio (Fig. IV.15).

Con los perfiles aflorantes, las características geológicas de superficie y los materiales alumbrados en profundidad, se pudo reconstruir en forma general la historia geológica del área. Debido a las dificultades que genera la escasez de datos sedimentológicos, estructurales y dataciones, es difícil asignar nombres formacionales a las distintas capas del subsuelo, motivo por el cual se han asignado edades con incertidumbres.

Los materiales más profundos reconocidos a través de las perforaciones, alumbrados entre 315 m de profundidad y hasta los 390 m, fueron asignados a la **Formación Paraná** del Neógeno inferior (Mioceno), constituida casi totalmente por arcillitas de colores verdosos, azulados o grises amarillentos con algunas intercalaciones de limos arenosos finos. Esta formación representa la etapa de transgresión del mar Paranaense, somero y de aguas templadas a cálidas (Russo et al., 1979).

Le continúa una secuencia integrada por arcillas pardas y grisáceas con intercalaciones de lentes de arenas medias que podrían asignarse con dudas a la **Formación Entre Ríos** correspondiente también al Neógeno inferior (Mioceno) pero que representan la etapa regresiva del mar Paranaense.

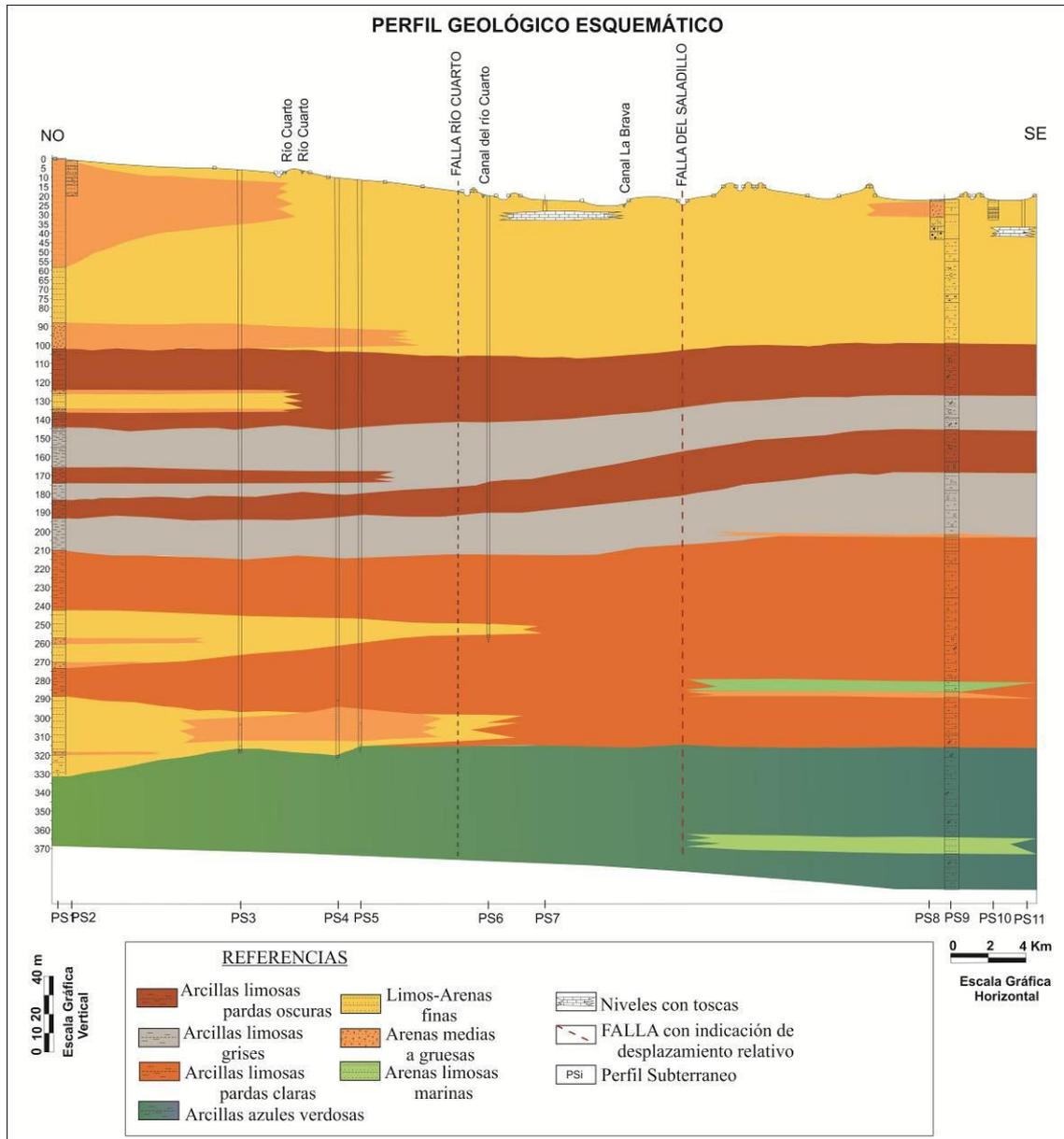


Figura IV.14. Perfil geológico esquemático NO-SE para el área de estudio.

Por encima se observan lentes de arenas gruesas intercaladas con sedimentos finos, limosos arcillosos, que podrían corresponderse a la **Formación Ituzaingó-Arenas Puelches** asignadas por Doerin (1882) y Santa Cruz (1971) al Cuaternario inferior (Plioceno superior).

Luego, las secuencias compuestas por depósitos fluviales formados por sedimentos limosos y limo-arenosos muy finos, fuertemente cementados por carbonatos, y sedimentos eólicos (limos) con niveles de calcretos, se lo puede

correlacionar a la **Formación Pampiano** del Pleistoceno medio a superior. La cementación de los materiales señala la transición de las condiciones climáticas, que se fueron tornando más áridas hasta alcanzar un grado que permitió la cementación.

En el pleistoceno superior en los principales ríos y arroyos de la región se encuentran facies fluviales de alta energía correspondientes a la Formación Chocancharava, sin embargo en este ámbito, la actual traza del río permitió observar sólo un paleosuelo (*El Cerrito*) que correspondería a esta época húmeda.

Hacia el Pleistoceno superior- Holoceno inferior, se reconocen materiales arenosos finos fluviales que podrían asumirse como de un ambiente árido, muy restringidos, depositados coetáneamente a la **Formación La Invernada**, que corresponde a sedimentos limosos eólicos en mantos por grandes extensiones, aunque ésta última no fue detectada en perfiles aflorantes

Durante el Holoceno medio, las condiciones climáticas son más húmedas, que coinciden con un periodo llamado Optimum Climaticum (Cantú, 1992), por el cual se depositaron gravas, arenas y limos de secuencias fluviales de mediana a baja energía, denominadas **Formación Las Lajas**.

Subsiguientemente acontecen condiciones climáticas secas y semiáridas que permiten la depositación de sedimentos eólicos (arenas muy finas y limos) que se correlacionan con la **Formación Laguna Oscura** del Holoceno superior. Estos materiales fueron detectados en el bloque elevado de la Falla del Saladillo y es probable que se encuentre en los interfluvios de los grandes paleocauces del Sur de La Carlota. En el río Cuarto, a esta época se asignan, con dudas, sedimentos fluviales de baja energía que podrán corresponder a la **Formación Reduccion**.

Por último se observa la presencia de sedimentos depositados en la actualidad, sin denominación formal que corresponden a depósitos fluviales, palustres y removilizaciones eólicas y fluviales.

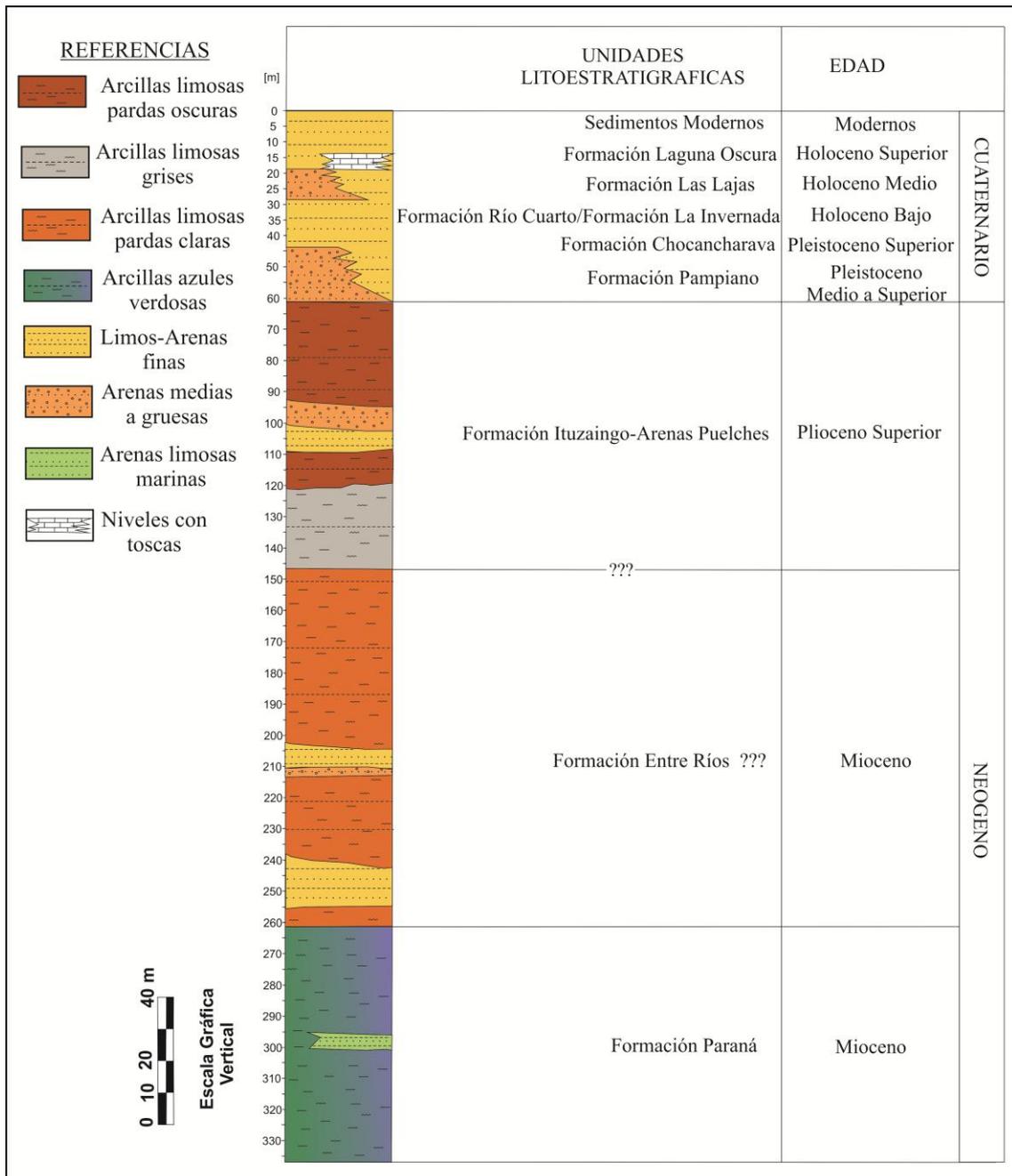


Figura IV.15. Columna Litoestratigráfica típica para el área de estudio

IV.2.c. ANALISIS MORFOTECTONICO LOCAL

Se realizó un análisis morfotectónico detallado en el área de estudio, que permitió enriquecer el análisis estructural y definir su relación con aspectos geomorfológicos e hidrológicos superficiales y subterráneos. Para este análisis 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 (o hipsométrico) y de red de drenaje natural.

Para el análisis de las morfoisohipsas, se agrupan las curvas de nivel en intervalos constantes (identificados con distintos colores o rastras) en función de la escala utilizada y de las variaciones del relieve observadas. La interpretación del mapa obtenido permite definir cambios bruscos de pendientes, lomas o bajos muy pronunciados y, en general, diferencias evidentes en las formas del relieve (Orbera Hernández y Fernández, 1977; Villegas y Blarasin, 1995; Sagripanti, 2006). Para el agrupamiento de las curvas de nivel en el área de estudio, se utilizó una equidistancia de 5 metros. La figura IV.15 muestra el mapa hipsométrico elaborado del área.

La red de drenaje natural de una zona también es un buen indicador de la construcción tectónica del territorio, y deja evidencias del basculamiento de bloques, prolongación de estructuras no muy evidentes, entre otros (Orbera Hernández y Fernández, 1977; Sagripanti, 2006). Esta red se debe confeccionar definiendo todos los lineamientos de escurrimientos naturales tanto permanentes como efímeros, trazando luego las divisorias de aguas superficiales correspondientes. Para la zona se realizó este mapa de red de drenaje natural, el cual permite en forma conjunta con el análisis de las morfoisohipsas, el reconocimiento de las estructuras del área. El mapa de red de drenaje es presentado en el capítulo VI, en el que ya se muestra modificado antrópicamente, aspecto que no fue considerado en el análisis morfoestructural del área.

A través de la interpretación de estos mapas se reconocen fallas de diferente orden que dan lugar a bloques de distintas magnitudes. Las fallas con mayor continuidad son las de rumbo NNE-SSO, siendo la más importante la **falla del Saladillo** (Villegas, 1999), que excede los límites del área de estudio. En la zona, esta megaestructura genera una incidencia notoria en el relieve y como consecuencia de ello en la hidrología regional y local, siendo de este modo la responsable del cambio brusco en la dirección de circulación del escurrimiento superficial y del control del área de descarga de la región. Le sigue en importancia la falla de dirección casi E-O, **falla Río Cuarto** que condiciona la circulación del río del mismo nombre en toda su extensión, hasta culminar contra la falla del Saladillo. De menor extensión, se destacan lineamientos estructurales menores que controlan más localmente el escurrimiento de los flujos superficiales y subterráneos.

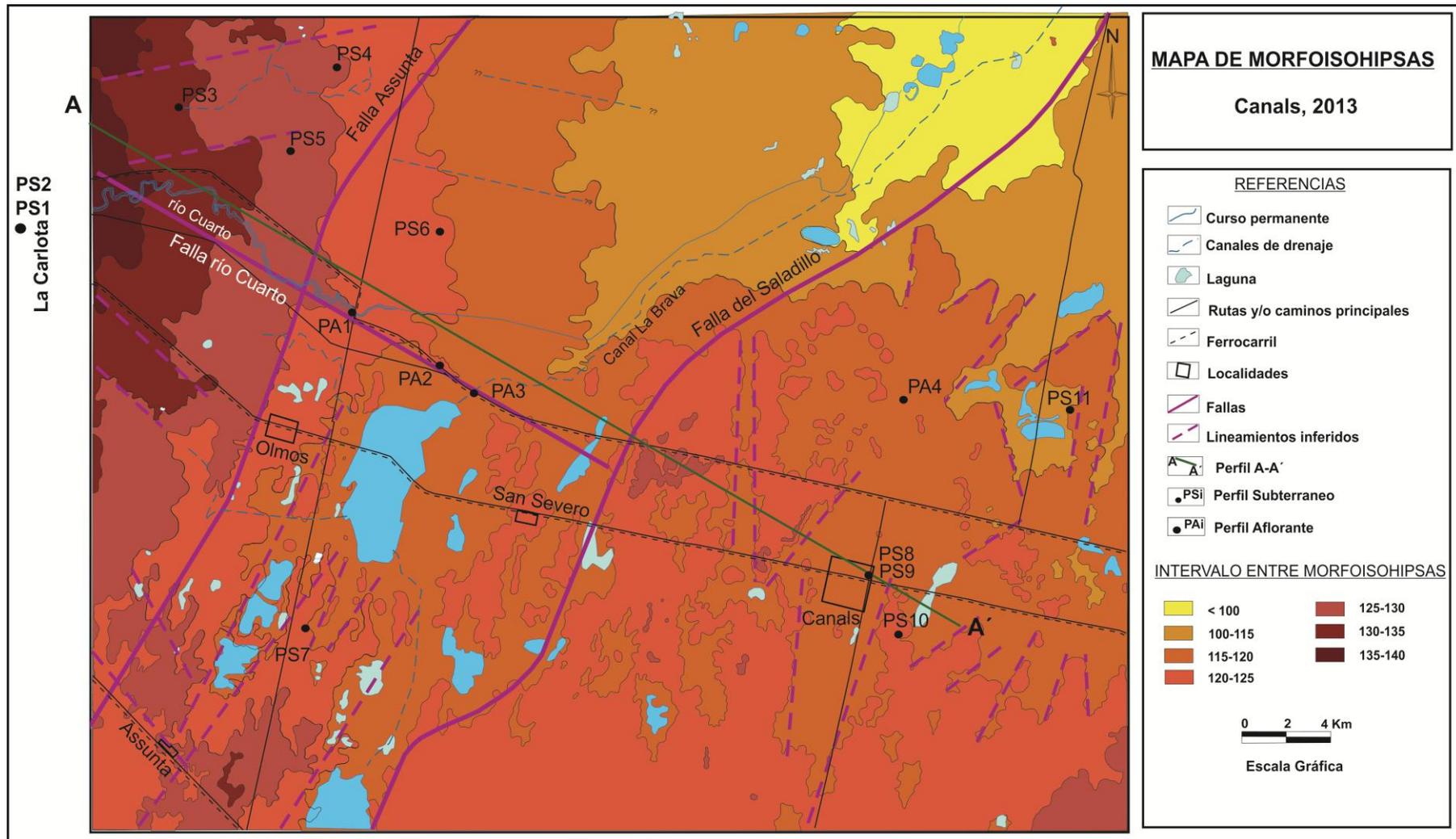


Figura IV.15. Mapa de Morfoisohipsas para la zona de estudio. Canals

CAPÍTULO V

GEOMORFOLOGÍA

“La paciencia es un árbol de raíz amarga, pero de
frutos muy dulces”.

V.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

V.1.a. Introducción

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 (Degiovanni, 2005 a).

Al Sur de la provincia de Córdoba, Degiovanni et al. (2005), definen las principales unidades de relieve (Fig. IV.1). La clasificación cartográfica utilizada es la propuesta por Iriondo (1987), modificada por Latrubesse (1999) y adaptada a la región por Blarasin et al. (2000) y Degiovanni et al. (2004), la cual se basa fuertemente en la génesis y en las morfoestructuras.

La Planicie Pampeana que caracteriza las regiones centrales de Argentina, integra lo que Iriondo (1997 y 1999), denominara *Sistema Eólico Pampeano* (aproximadamente 600.000 km² de superficie).

V.1.b. Unidad Geomorfológica "Sierras Pampeanas"

Las Sierras Pampeanas como macrounidad morfoestructural, se reconoce en varias provincias del Centro-Oeste de la Argentina. Está integrada 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. Estos megabloques reflejan una larga y compleja historia denudativa (desde el Carbónico superior, según Carignano et al., 1999) modificada por la orogenia andina, 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.

V.1.c. Unidad Geomorfológica "Llanura Chaco-Pampeana"

La Llanura Chaco-Pampeana, forma parte de una unidad mucho más extensa que atraviesa todo el continente sudamericano. Se trata de una planicie predominantemente agradacional, donde las variaciones de relieve se relacionan a la presencia de bloques estructurales, y a los ciclos de denudación-agradación controlados por las oscilaciones climáticas del Cuaternario.

Desde el punto de vista morfoestructural, está constituida por un mosaico de bloques basculados y diferencialmente ascendidos de importancia fundamental en el control de la dinámica y calidad de las aguas superficiales y subterráneas de la región (Blarasin et al., 2005, b). Tiene una pendiente general hacia el Este – Sudeste, y un relieve suave a moderadamente ondulado, en el que destacan formas eólicas y, subordinadamente, fluviales y palustres.

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.

El área de estudio forma parte de las unidades descritas (Fig. V.1) por Degiovanni (2005 a) como "**Llanuras fluvio-eólicas imperfectamente drenadas: Llanura deprimida central** (*Planicie medanosa con paleocanales y Depresión principal* -La Chanchera, El Saladillo-), ***Planicie elevada oriental*** (*Alto de Viamonte*)" y "**Planicies Fluviales** (*Faja Fluvial del Río Cuarto*)".

➤ **Llanuras fluvio-eólicas imperfectamente drenadas:** constituye el sector oriental de la provincia de Córdoba. Representa el relleno de grandes depresiones tectónicas delimitadas por megaestructuras meridianas y segmentadas por otras transversales u oblicuas que generan bloques menores. Se trata de depósitos continentales (fluviales y eólicos) con algunas intrusiones marinas en profundidad asociadas (Mioceno).

-Llanura deprimida central, comprende la gran depresión centro-oriental cordobesa y presenta un paleorelieve fluvial, donde coalescen los cursos que drenan la vertiente Sur y oriental de las Sierras Pampeanas de Córdoba, con pequeños cuerpos lagunares alimentados por aporte freático. En ella se destacan: *La Planicie medanosa* con paleocauces cubiertos y/o anegados que se caracteriza por preservar los rasgos fluviales antiguos del río Cuarto y Quinto y sistemas menores (en el caso del área de estudio se trata solo del río Cuarto); y *Depresión principal* (La Chanchera-El Saladillo) que está asociada a la falla del Saladillo y constituye el área más baja de la unidad, y se caracteriza por presentar el agua freática aflorando o muy próxima a la superficie.

-**Planicie elevada Oriental**, representa el bloque elevado asociado a la falla regional del Saladillo que esta segmentado en otros menores que exhiben comportamientos diferentes, con numerosas áreas mal drenadas. Dentro de ella se destaca el *Alto de Viamonte*, caracterizado por áreas anegadizas asociadas a paleocanales o a depresiones de origen tectónico, con reducida capacidad receptora por lo que las áreas anegables y/o inundables suelen ser amplias.

➤ **Planicies Fluviales**

- **Faja fluvial del río Cuarto**, es el curso más importante del área, su faja aluvial se reconoce desde la salida de las sierras de Comechingones adquiriendo relevancia recién en cuenca media. En esta posición, su rumbo es predominantemente E-O y está controlado por la falla Río Cuarto. Doffo y Degiovanni (1993) determinaron varios niveles de terrazas, con diferentes materiales y grados de preservación y materiales. El curso actual tiene un diseño variable desde rectilíneo a meándrico de baja sinuosidad a meándrico de mediana a alta sinuosidad. En la cuenca baja se reconocen sistemas de abanicos de derrames históricos y recientes.

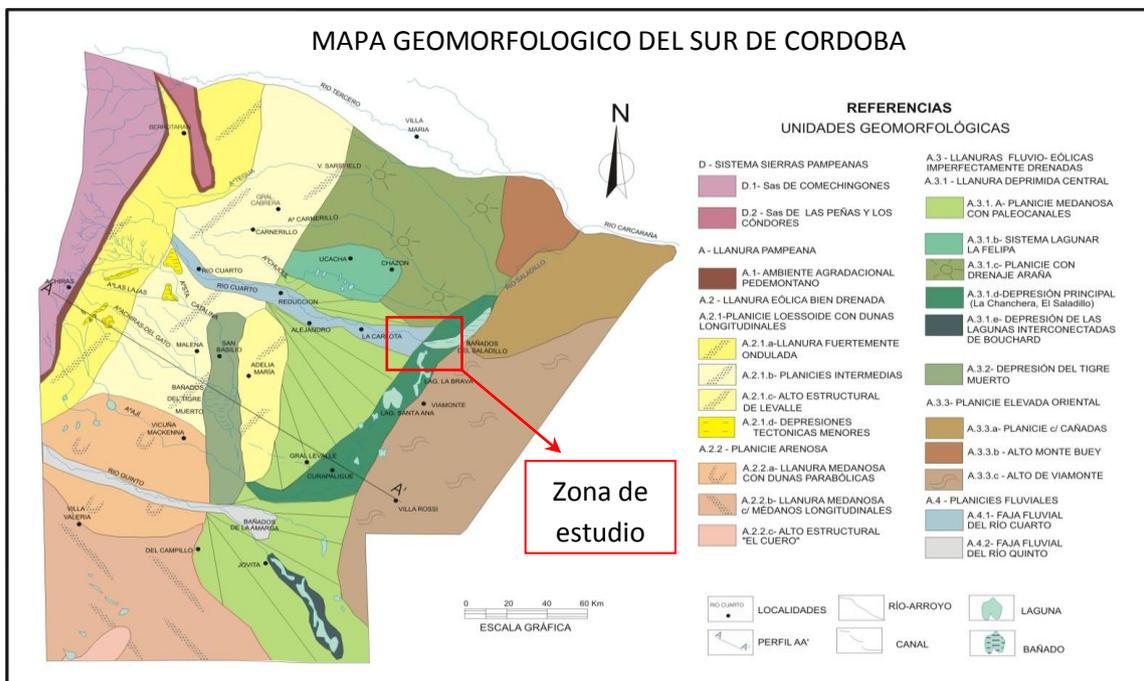


Figura V.1. Mapa geomorfológico del Sur de Córdoba (Extraído de Degiovanni, 2005 a).

V.2. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA LOCAL

V.2.a. Introducción

A partir de la información recogida en campo, los datos obtenidos mediante la cartografía de las hojas topográficas que conforman el área de estudio, de imágenes satelitales Google Earth y de Mapa Geomorfológico Regional, se confeccionó el Mapa Geológico-Geomorfológico del área de estudio (Fig V. 2) estableciendo diferentes unidades y subunidades con características propias.

V.2.b. Descripción de las Unidades Geomorfológicas

Unidad A: Llanura Fluvial del Río Cuarto

Subunidad A.1: Faja Actual del Río Cuarto

Subunidad A.2: Planicie de Antiguos Derrames con Paleocauces

Subunidad A.3: Abanico de Derrames Modernos

Unidad B: Llanura Deprimida Central

Subunidad B.1: Bañados del Saladillo

Subunidad B.2: Depresión la Brava

Unidad C: Planicie Elevada Oriental

Subunidad C.1: Planicie Elevada Oriental Propiamente Dicha

Subunidad C.2: Áreas Imperfectamente Drenadas

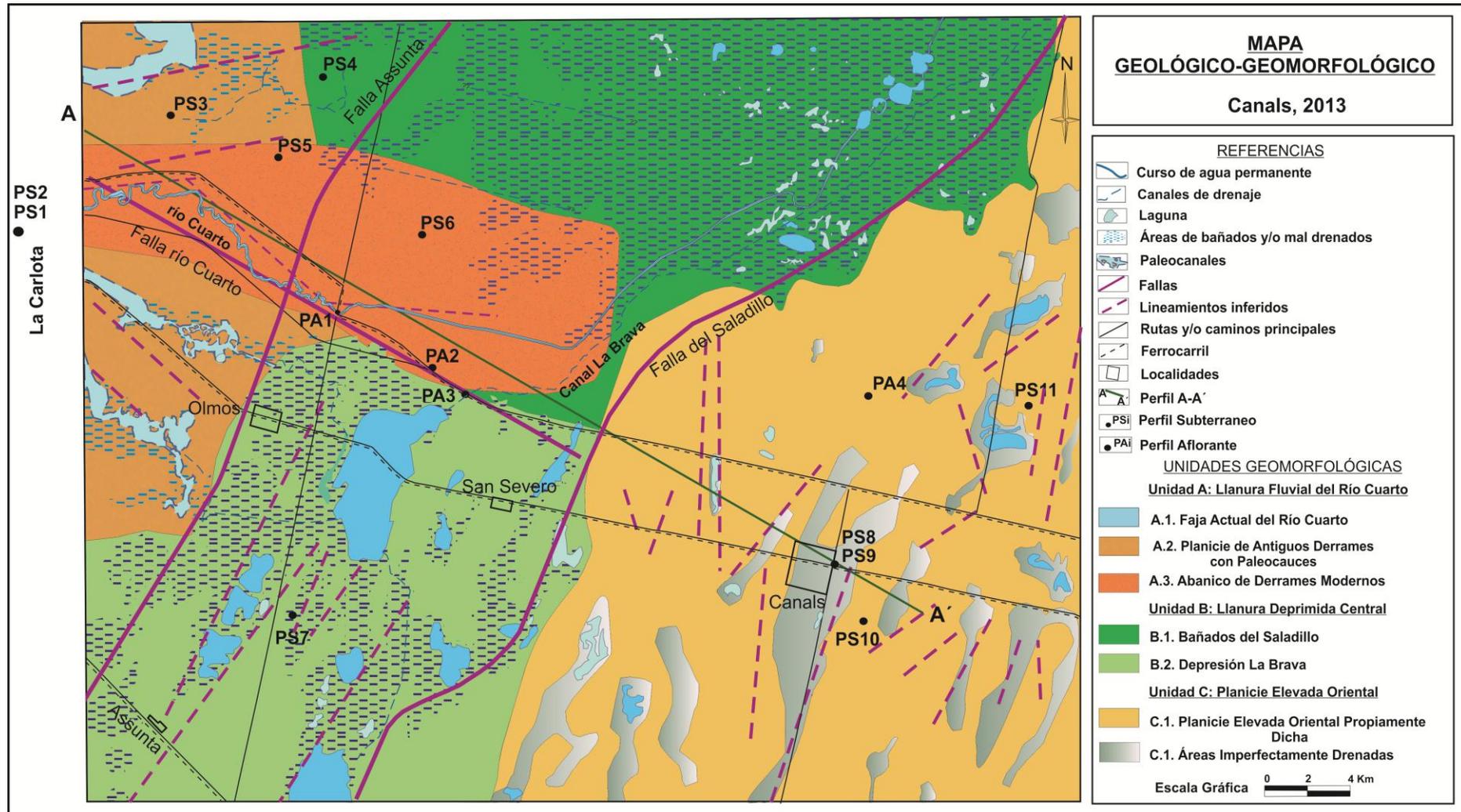


Figura V.2. Mapa Geológico-Geomorfológico para la zona de Canals

A- LLANURA FLUVIAL DEL RÍO CUARTO

La unidad está conformada por la faja fluvial del río Cuarto correspondiente a su cuenca baja, siendo este curso el más importante presente en el área de estudio. La división de las subunidades se basó teniendo en cuenta su génesis y procesos y aspectos morfolotológicos.

A.1- Faja Actual del Río Cuarto

Está controlado principalmente por la falla regional Río Cuarto. Posee un ancho de 15,2 metros en la sección "Puente Olmos" próximo a su desembocadura en los bañados del Saladillo, en donde se determinó un caudal instantáneo de 8,56 m³/s al momento de la medición (14 de septiembre de 2012). Los materiales aflorantes observados en el perfil sedimentario N°1- "Puente Olmos" -PA1- descrito en el capítulo IV, son de tamaño de arenas muy finas, finas y arenas gruesas dispersas. El ancho promedio a lo largo de la longitud del río es de 22 m, con un máximo de 35 m, y uno mínimo de 10 m, la profundidad estimada de 2 m. En las figuras V.3 y V.4 se puede ver una vista área del río cuarto en su tramo final, natural y canalizado, y una vista panorámica del río y su faja actual.

La geometría en planta del río es meándrica con moderada sinuosidad, con barrancas pronunciadas de 2-6 metros aproximadamente, parcialmente estabilizadas por la vegetación, pudiendo reconocerse en este sector dos niveles de terrazas principales. Se destaca la alta sinuosidad de meandros, irregulares y tortuosos, con algunos cambios que están controlados por la litología, además de algunos meandros abandonados.

En la actualidad el río Cuarto en su sección terminal se encuentra modificado por la acción del hombre, uniéndose por medio de canalizaciones al sistema de los Bañados del Saladillo, atravesándolos con un cauce reducido y poco sinuoso, que evidencia una tendencia a la profundización, potenciada por las canalizaciones realizadas en su tramo final y en el área de bañados.



Figura V.3. A) Tramo final natural del río Cuarto. B) Tramo canalizado inmediatamente al este del anterior



Figura V.4. A) Vista general del río Cuarto en Puente Olmos. B) Vista panorámica de la unidad geomorfológica "Faja actual del río Cuarto".

A.2- Planicie de Antiguos Derrames con Paleocauces

Constituye el sector occidental Centro-Sur del área de estudio, y en general, presenta un relieve levemente ondulado, con una pendiente topográfica general del orden de 0,15%. Está conformado por una serie de paleorrasgos fluviales del río Cuarto que son fácilmente identificables correspondientes a diferentes episodios de derrames fluviales y grandes paleocauces. En la figura V.5 se observa una vista aérea más regional de los antiguos derrames, en donde dominan materiales arenosos finos a muy finos, destacándose especialmente dos grandes paleocauces con dirección N110° y N170°, al Sur del actual río Cuarto con paleorrasgos de meandros, algunos abandonados, conformando un abanico cuyo ápice se encuentra fuera del área de estudio en la localidad de La Carlota. Los mismos están ocupados por lagunas de

carácter permanente, asociadas a otras que sólo se anegan en los ciclos más húmedos. En algunos sectores, posee una condición de drenaje impedido, con presencia de rasgos hidrohalmórficos que denotan un nivel freático próximo a la superficie o aflorando. Entre los paleocauces se observan sectores de interfluvios más altos, no afectados por estos procesos, en los que además se infiere la presencia de depósitos eólicos. También se observa al Norte un viejo paleocauce con dirección N60°, aunque menos preservado y más afectado por procesos de anegamiento e hidrohalmorfismo. Estas características indican que la unidad es parte de un importante y viejo abanico de fajas fluviales.

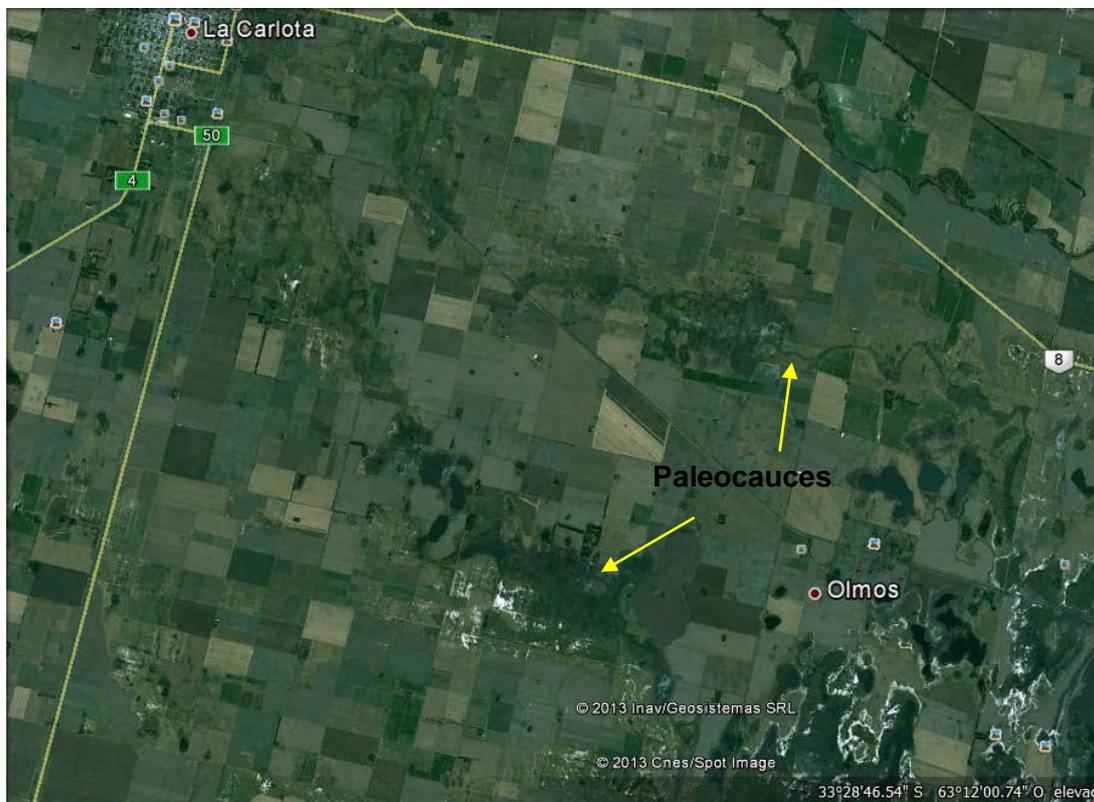


Figura V.5. Imagen Satelital de la unidad "Planicie de antiguos derrames con paleocauces".

A.3- Abanico de Derrames Modernos

Se trata de una unidad conformada por derrames modernos del río Cuarto, más restringidos a una faja cercana al curso y canal actual, reconociéndose varios hacia el Norte de los mismos. En las figuras V.6 y V.7 se pueden observar los derrames claramente asociados a desborde del canal, desde una vista desde la superficie y área durante una inundación en el año 2008, gentileza del Sr. Fernando Zanoni de la Ea. El Chañarito y en la figura V.8 se observan en general y en detalle ejemplos de derrames

desde una imagen satelital. El tipo de material predominante es de tamaño arenas muy finas y finas (capítulo IV). Posee un relieve plano a suavemente ondulado dado por los sucesivos procesos de inundación-sedimentación originados por los derrames, con una pendiente general del orden de 0,2%.

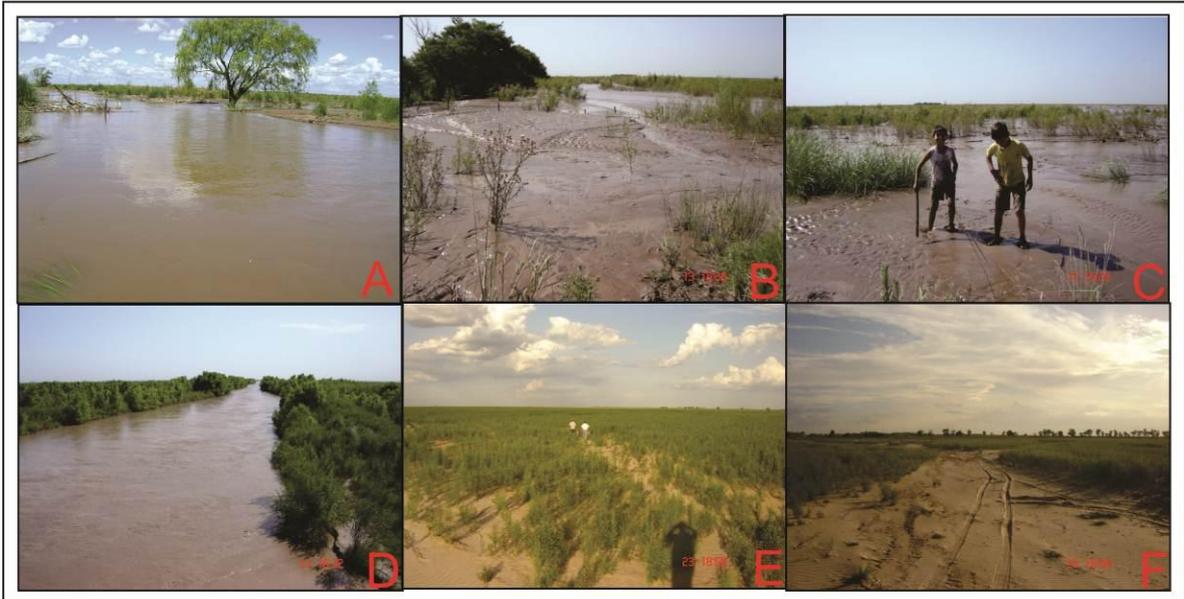


Figura V.6. Vista desde la superficie de derrames actuales del río Cuarto durante el año 2008.
A y D) Curso crecido. B, C, E y F) Derrames propiamente dichos y su depositación.



Figura V.7. Vista aérea de derrames actuales del río Cuarto durante el año 2008

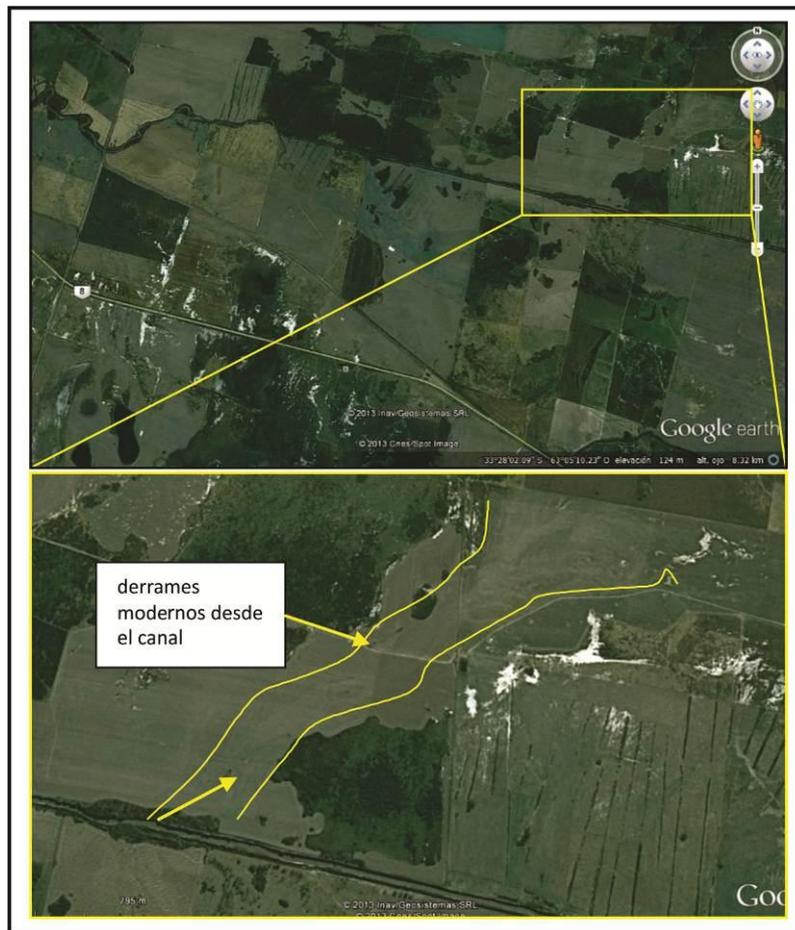


Figura V.8. Imagen Satelital de los derrames del río Cuarto

B- LLANURA DEPRIMIDA CENTRAL

Son planicies plano-cóncavas que se caracterizan por presentar grandes lagunas, condiciones cíclicas o permanentes de anegamiento, inundación, sedimentación, salinización- alcalinización y deflación en la estación seca, todo lo cual denota que el agua freática se encuentra aflorante o muy próxima a la superficie. Posee un relieve moderadamente ondulado de pendiente variable con gradientes desde 0,08% a 0,5%. Su límite occidental es de forma transicional y su límite oriental está dado por el borde del bloque elevado de La Falla del Saladillo que es predominantemente neto ya que en sectores la escarpa de la falla ha sido erosionada (Fig. V.9). Por sus características particulares se dividió a la unidad en dos subunidades:



Figura V.9. Vista de la unidad "Llanura deprimida central" hacia el bloque elevado

B.1- Bañados del Saladillo

Está ubicada en el centro-Norte del área de estudio, constituyendo el área más baja, y se encuentra asociada a la falla del Saladillo, de sentido Noreste-Sudoeste, y también de una serie de lineamientos menores asociados. Esta unidad está compuesta por ambientes de bañados (Fig. V.10 y Fig. V.11) fundamentalmente ligada a su situación topográfica que la convierte en la principal zona de descarga de agua superficial y subterránea regional, aspectos que se detallarán en próximos apartados. Se destaca principalmente la presencia de varios cuerpos lagunares subredondeados, interconectados antrópicamente mediante canalización, construidos con el fin de drenar estos humedales para destinarlos a actividades agropecuarias. Se destaca por sus dimensiones y por las actividades recreativas a las que se destina, la laguna La Helvecia (capítulo VI). Esta subunidad está interconectada a través de canalizaciones, con la subunidad Depresión La Brava, ubicada aguas arriba, como se verá más adelante. El relieve es plano a levemente ondulado generado por la sedimentación episódica de escurrimientos en manto o asociado a canales meandriformes de poco aporte (Degiovanni, 2005 a). En los periodos secos se puede observar la salinización en los bordes de los bañados, resultante de evaporación.

B.2- Depresión La Brava

La unidad se encuentra ubicada hacia el Sur-Oeste del área de estudio. Su origen también se encuentra asociado a la falla regional del Saladillo ya que se encuentra también instalada en el bloque hundido asociado a esta megaestructura. Su característica principal es que se encuentra conformada casi exclusivamente por lagunas que se conectan entre sí y, finalmente, como ya fuera mencionado, al sistema del Saladillo. Estas son grandes lagunas permanentes (como La Brava), y/o pequeñas lagunas asociadas a épocas húmedas, que permanecen solo temporalmente (Fig. V.12). En el perfil N° 3 "Canal La Brava" (capítulo IV) se puede ver el tamaño de grano

de los materiales, siendo éstos arenas finas a muy finas. Al presente, gran parte del sistema se encuentra canalizado, con interconexión de lagunas para drenar las lagunas. Además se observan zanjas a los costados de los caminos, acompañados de alteos, realizados con el fin de evitar la incomunicación social por medio de estas vías de circulación (caminos vecinales) (Fig. V.13).

Los sedimentos de la Formación Laguna Oscura también cubrieron este ambiente y fueron removilizados en épocas más recientes dando origen a cuerpos medanosos dispersos (Degiovanni, 2005 a), pero están muy restringidos y dominan en la unidad los cuerpos de agua y procesos hidrohalomorficos.



Figura V.10. Imagen satelital de los Bañados del Saladillo



Figura V.11. Vista general de la unidad "Bañados del Saladillo". (Imagen de la derecha: Laguna La Helvecia)

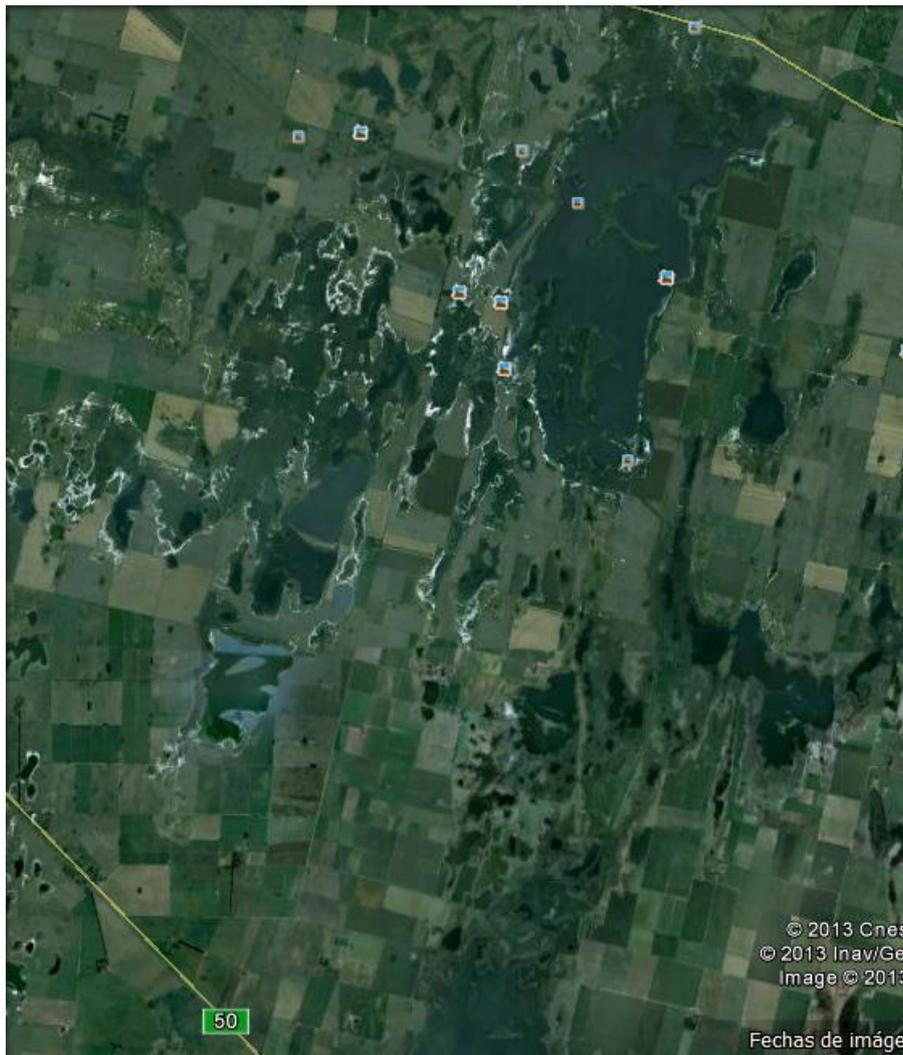


Figura V.12. Vista aérea de la unidad "Depresión La Brava".



Figura V.13. Vista desde la superficie de la unidad "Depresión La Brava". A) Laguna temporaria. B, C y D) Lagunas permanentes. C y D) Laguna La Brava. E y F) Vista panorámica de la unidad. G y H) Canales. I) Zanjas a los costados de los caminos, y alteo de los mismos.

C- PLANICIE ELEVADA ORIENTAL

Esta unidad se encuentra ubicada en el borde oriental de la zona de estudio asociada a la falla regional del Saladillo, representando el bloque elevado asociado a la misma (Fig. V.14). El bloque se encuentra segmentado en otros bloques menores, en general de orientación submeridional, generando una variación en el relieve y otorgando un comportamiento hidrológico diferente. Por tal motivo, se dividió en dos subunidades con particularidades diferentes, una con características propias de una planicie elevada, y otra con numerosas áreas mal drenadas y con procesos halohidromórficos. La primera de ellas posee características que la hacen apta para la siembra de cultivos, mientras la otra no, ya que permanece con agua y/o sales la mayor parte del tiempo.

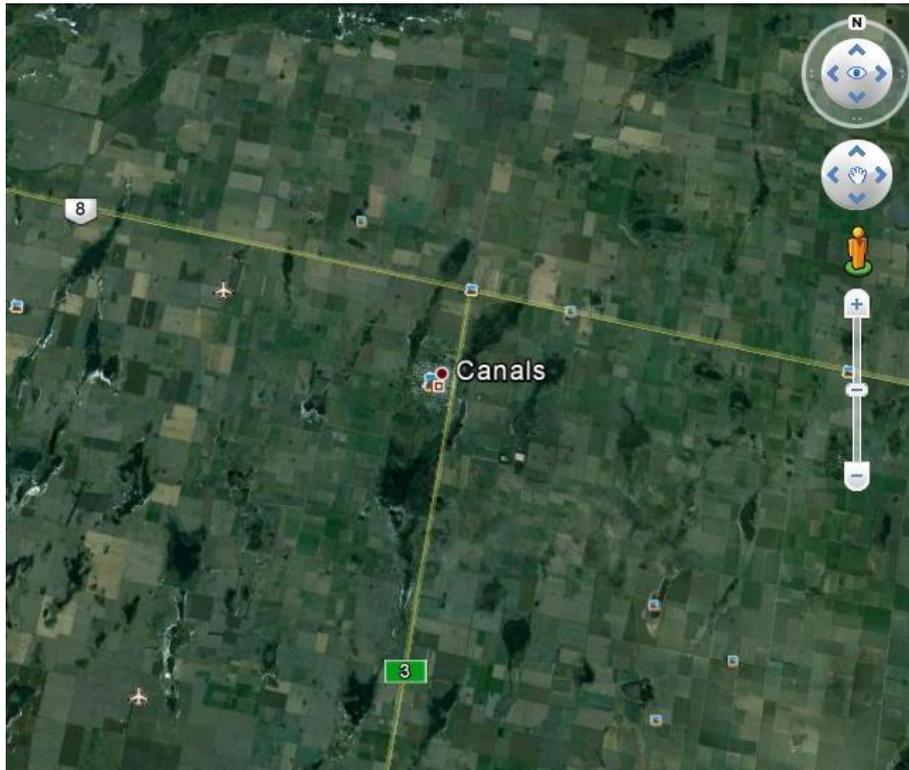


Figura V.14. Imagen satelital del bloque elevado "Planicie elevada oriental"

C.1- Planicie Elevada Oriental Propiamente Dicha

Esta área, conforma la mayor parte de la unidad, y representa la planicie propiamente dicha (Fig. V.15). El relieve es moderadamente ondulado, posee una pendiente menor a 0,1%. Los paleocausas se presenta discontinua y disipada por la cobertura loéssica de la Formación Laguna Oscura (Degiovanni, 2005 a). El material predominantes en esta subunidad, tal como se observa en el Perfil N°4 "Punto Norte-158" (ver capítulo IV) es de tamaño de arenas muy finas a limos-arcillas. Para Iriondo y Brunetto (2008) este ambiente representa un Sistema Eólico Pampeano (SEP) del cuaternario superior caracterizado por la presencia de megadunas parabólicas, de dirección Norte-Sur de 6 a 8 km de longitud, 3.000 m de ancho y 5 m de altura, que se encuentran parcialmente disipadas. Si bien a campo fue posible detectar los sedimentos eólicos, las megadunas son difíciles de distinguir, al igual que en imágenes satelitales.

C.2- Áreas Imperfectamente Drenadas

Esta unidad está constituida por bajos con baja capacidad de drenaje, por lo que se encuentran anegados y/o inundados, con presencia de hidrohalomorfismo en sectores que denotan la presencia del agua subterránea muy próxima a superficie y/o

aflorante, y eutrofización (abundancia de nutrientes por contaminación antropogénica), pudiendo observarse vegetación típicamente hidrohalmórfica (Fig IV.16). En su mayoría se presentan en forma elongada y están asociadas a paleocanales o a depresiones de origen tectónico. El material predominante es de tamaño de arenas muy finas limosas, incluso hasta 10 metros de profundidad, parda clara, suelta, no plástica, con intercalaciones de abundantes concreciones carbonáticas (toscas) poco compactas como lo indican los antecedentes de un ensayo de Bombeo en Planta Láctea La Serenísima (Felizzia J., 2012).



Figura V.15. Vista general de la unidad "Planicie elevada oriental propiamente dicha".



Figura V.16. Áreas imperfectamente drenadas con su vegetación típica. Abajo) Lagunas con rasgos de hidrohalmorfismo y eutrofización.

CAPÍTULO VI

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

“Si lo que vas a decir no es más bello que el silencio:
no digas nada”.

VI.1.HIDROLOGÍA SUPERFICIAL REGIONAL

VI.1.a. Principales cuencas de la región

Al Sur de la provincia de Córdoba se reconocen (Degiovanni y Blarasin, 2005), en base a los aspectos geológico-geomorfológicos, dos grandes ambientes hidrológicos interconectados a) el correspondiente a la región serrana, planicies onduladas e intermedias caracterizadas por la presencia de redes de drenaje organizadas, de carácter permanente y nivel freático medianamente profundo, y b) el asociado a las 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 del 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. VI.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 (Curapaligüe-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.

De las cuencas mencionadas por Degiovanni (2005 b), la de la Depresión del Saladillo, es la más importante de la región, por ser la receptora de todos los sistemas de drenajes desarrollados entre los ríos Tercero y Quinto, y que integran la cuenca del



Figura VI.1. Mapa hidrográfico del Sur de la Provincia de Córdoba. Extraído de Degiovanni (2005 b).

Plata a través del río Saladillo. El río Cuarto, que ingresa canalizado a este sistema, es el curso de mayor envergadura y es el responsable de los máximos aportes líquidos y sólidos; en segundo término debe mencionarse el canal la Brava que si bien aporta sedimentos fundamentalmente proporciona sales disueltas. El complejo sistema de lagunas y bañados que conforman esta depresión están interconectados por conducciones artificiales que tratan de minimizar las áreas inundadas.

La diversidad de ambientes terminales comprendidos entre los ríos Tercero y Quinto, se integraron a uno solo: la depresión del Saladillo. Este diseño forzado no sólo no solucionó los problemas existentes sino que los potenció, multiplicó y trasladó en el espacio, constituyendo un excelente ejemplo de retroalimentación positiva (Blarasin et al., 2002; Blarasin, 2003; Degiovanni, 2005 b).

VI.1.b. Calidad del agua

La mayoría de los ríos y arroyos tienen aguas de buena calidad, con tenores salinos variables entre los sectores serranos (50 mg/l) y las áreas de desembocadura (2000 mg/l aproximadamente). Presenta una evolución geoquímica normal en función del sentido de escurrimiento NW-SE, aunque la misma no es muy marcada debido a la alta velocidad de escurrimiento. Son aguas que se mantienen *bicarbonatadas* aunque en cuencas medias y bajas aumenta el contenido de sulfatos y cloruros, debido también a su interacción con el agua freática (Blarasin, 2003). En las áreas serranas son del tipo *cálcicas* haciéndose *sódicas* hacia los sectores de la llanura.

Las lagunas, de muy variado tamaño y volumen, contienen aguas, en general, de baja salinidad en las zonas medanosas (si no están conectadas al agua freática), hasta muy saladas en la región oriental de la provincia, donde son de régimen permanente por aporte freático y del tipo *sulfatado y/o clorurado sódico*.

Debido a actividades antrópicas, en algunos sectores se observa procesos de degradación del agua superficial.

VI.2. HIDROLOGIA SUPERFICIAL LOCAL

VI.2.a. DINÁMICA SUPERFICIAL

La zona de estudio abarca parte de tres de las seis cuencas descriptas por Degiovanni (2005 b), las cuales corresponden a la "Cuenca de la Depresión del Saladillo" en el sector Nor-Oeste del área estudiada; "Cuenca de la Depresión Oriental Principal" en el vértice Sur-Oeste; y "Cuencas Aisladas de la Planicie Elevada Oriental" en el sector Este.

Con el objeto de conocer el comportamiento hidrológico, y comprender su funcionamiento se confeccionó la red de drenaje de la zona de estudio (Fig. VI.2), contemplando todo tipo de escurrimientos, tanto permanentes, como aquellos escurrimientos efímeros asociados a bajos topográficos que funcionan durante las tormentas. También se tuvo en cuenta para el mapeo, los sistemas lagunares que son propios del área y las modificaciones antrópicas sobre el escurrimiento superficial natural (canalizaciones). La definición de las divisorias de agua parciales, de las líneas de escurrimientos, su origen y su destino, es de fundamental importancia para el análisis del comportamiento hidrológico de la zona de estudio.

La red de drenaje correspondiente a los escurrimientos efímeros se organiza de forma subdendrítica y radial centrípeta, conformada por flujos que convergen en un centro común deprimido, constituido por las grandes áreas anegadas y/o lagunares. Son en general, numerosos escurrimientos pequeños, cortos e irregulares, que circulan en variadas direcciones (W-E, SW-NE, SE-NE), controlados por pequeños altos y bajos de origen estructural (fracturas locales), que generan en ocasiones pequeñas cuencas endorreicas. Aportan al curso principal (río Cuarto), a las canalizaciones artificiales, a sistemas de lagunas, y/o a los bañados que se encuentran en el sector más deprimido del área de estudio. Estas áreas deprimidas reciben tanto el aporte de los escurrimientos efímeros como de los permanentes, y en ocasiones de aguas subterráneas por lo que son propensos a ser anegables y/o inundarse. Los escurrimientos son en general de orden 1° o 2°, lo que indica una estructura de red poco desarrollada e incipiente.

En variadas ocasiones los caminos funcionan como colectores en épocas de precipitaciones (Fig. VI.3) y queda retenida el agua por amplios periodos de tiempo, observándose una importante profundización causada por erosión hídrica (Fig. VI.4), por lo tanto en dichas situaciones generalmente se realizan zanjas por las que circula el agua y alteo en los caminos para mantenerlos sin agua.

El sentido general de los escurrimientos efímeros es hacia el Noreste. Se puede observar que la falla regional del Saladillo es el principal control estructural de los escurrimientos superficiales, representando el bloque elevado la principal divisoria de aguas. En el sector oriental de la divisoria, los escurrimientos también son en sentido Noreste (Fig. VI.2), pero se dirigen hacia fuera del área de estudio, quedando desconectados de los bañados, las pendientes son moderadas a elevadas (de orden de 0,2% a 0,1%) parcialmente vinculadas al control estructural.

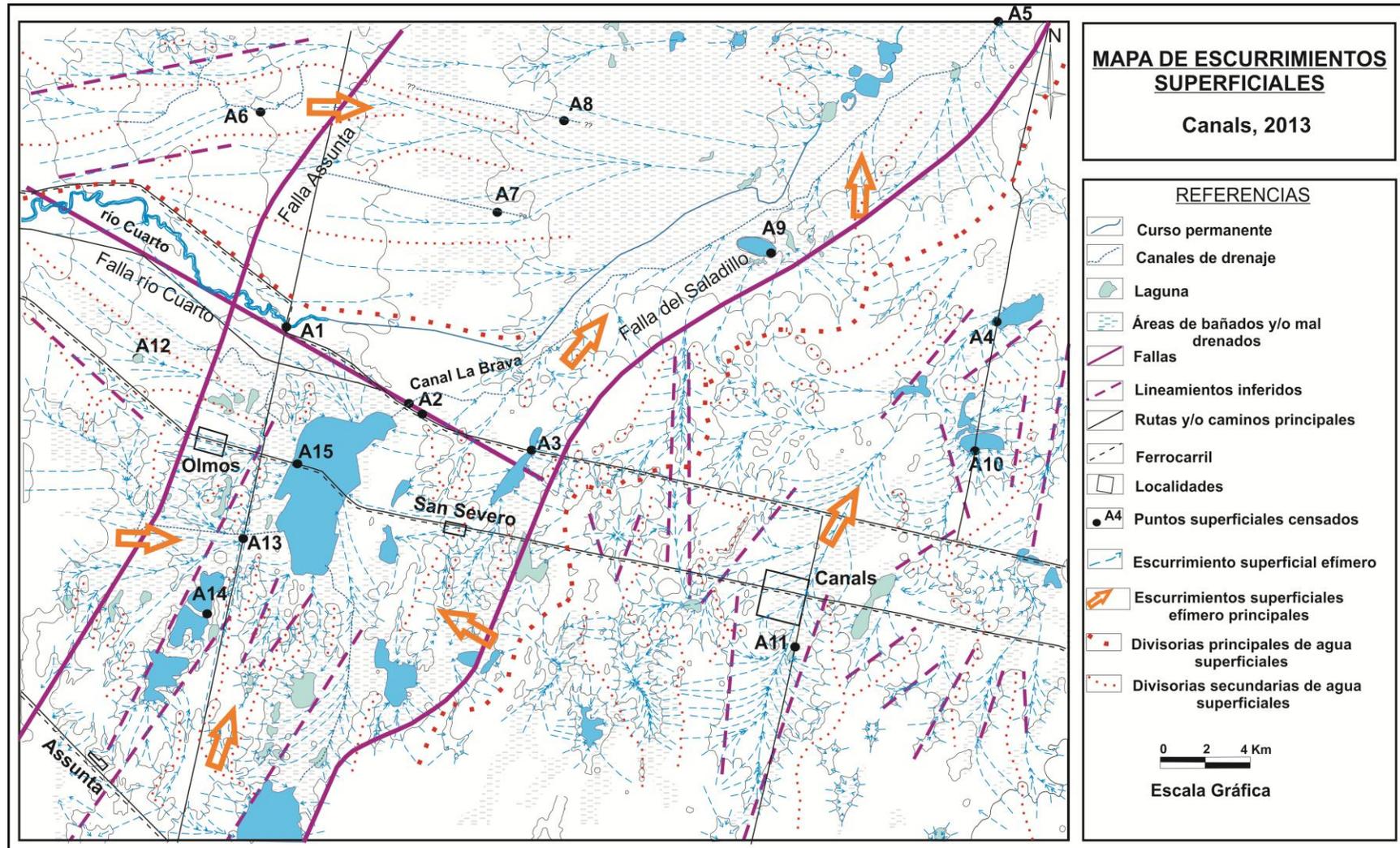


Figura VI.2. Mapa Hidrográfico de la Zona Canals.

Hacia el sector occidental de la divisoria principal de aguas, se observan dos situaciones diferentes, que están controladas por la falla regional del río Cuarto. Hacia el Norte, los escurrimientos son Oeste- Este, con pendientes bajas y tendidas. Y hacia el Sur los escurrimientos tienen un comportamiento radial centrípeto, con sentidos SO-NE, NO-SE y SE-NO, convergiendo hacia una misma zona para luego dirigirse hacia los bañados del Saladillo. En los bordes de unidad de La Brava las pendientes son progresivamente mayores, controladas por pequeños altos y bajos (originados por estructuras menores primigenias, y de origen fluvial y eólico).



Figura VI.3. Escurrimientos encausados antrópicamente



Figura VI.4. Profundización de caminos por erosión hídrica

RIO y CANALES

El área de estudio se inserta en una zona de gran importancia en cuanto a la hidrología superficial para el Sur de la provincia de Córdoba, ya que es la receptora de los sistemas de drenajes de la región, como fue expresado anteriormente.

El río Cuarto (Fig. VI.5) es el principal curso que atraviesa el área, encontrándose en su tramo terminal. Como se ha expresado previamente, su trayecto final ha sido canalizado (Fig. VI.6) conectándolo con el área de bañados. El rumbo del curso es predominantemente O-E, y está controlado por la falla Río Cuarto, que localmente se segmenta en varios fallamientos más pequeños. El río es de régimen permanente por aporte freático con caudales líquidos variables que acompañan la distribución de precipitaciones en la región. El caudal sólido está caracterizado principalmente por material suspensivo y, en menor medida, por saltación y por carga de fondo. Recibe aporte de escurrimientos efímeros tributarios en épocas de lluvias, aunque numerosos cursos le aportan en su cuenca alta y zona pedemontana, con excepción del arroyo del Bañado en la ciudad de Río Cuarto.

Por otro lado, se encuentra el canal La Brava (Fig. VI.7). Este canal conecta las lagunas de la región Sur del área de estudio, con los Bañados del Saladillo, atravesando toda la zona hasta desembocar en el río Saladillo. El rumbo general del canal en esta área es SW-NE, y es receptor de un gran número de flujos efímeros. Posee un ancho relativamente constante, con un promedio de 23 m, y una profundidad aproximada de 1,5 m.



Figura VI.5. A) Imagen satelital del río Cuarto en el marco del área de estudio. B) Vista en planta del río Cuarto en Puente Olmos.



Figura VI.6. Imagen satelital del río Cuarto canalizado en su tramo final.



Figura VI.7. Canal La Brava

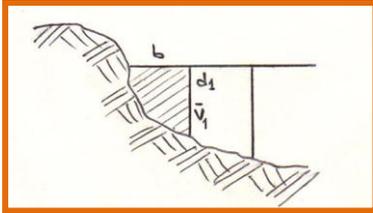
HIDROMETRÍA

Se tomaron mediciones de caudales en tres sectores estratégicos y de interés (Ver Fig. VI.2), las secciones son:

- río Cuarto en el tramo que cruza con el Puente Olmos (A1),
- Canal La Brava donde se intersecta con la Ruta Nacional N°8 (A2),
- Canal La Brava a la salida del área de estudio, luego que atraviesa parte del sistema de los Bañados del Saladillo (A5).

Método de Medición

El método utilizado para medir la velocidad fue el "método por flotadores", donde se deja caer un elemento flotante y se mide el tiempo que tarda en atravesar una longitud determinada. Esta metodología se repite varias veces y luego se saca un promedio de las mediciones realizadas.



Luego se mide el área de la sección de paso, en este caso se utilizó el "método de la sección media compensada".

$$\text{Velocidad} = \text{Espacio} / \text{Tiempo}$$

$$v = L / t$$

$$v = \text{m/seg}$$

$$Q_{01} = \left(\frac{0 + v_1}{2} \right) \times ((b \times d_1) \times 0,75)$$

Caudales Históricos y Medidos en la Región

Según la Estadística Hidrológica de la República Argentina (Edición 2004), el caudal medio anual promedio en "Río Cuarto-Puente Olmos" es de 5,86 m³/seg, el mínimo medio anual de 1,77 m³/seg y el máximo medio anual de 10,05 m³/seg. El valor máximo medio diario correspondiente a crecientes, es de 133 m³/seg. En el "Canal La Brava-Ruta 8", los caudales medio anuales promedio, mínimos y máximos, son de 4,70 m³/seg, 0,47 m³/seg, y 10,46 m³/seg respectivamente.

Por su parte, los caudales instantáneos medidos en el área de estudio durante el relevamiento (septiembre de 2102) se muestran en la tabla VI.1.

Medición de caudales líquidos Septiembre 2012	
Sección	Caudal (m³/s)
Río Cuarto Puente Olmos	8,56
Canal La Brava ruta 8	4,91
Canal La Brava Salida Bañados	4,22

Tabla VI.1. Medición de Caudales Líquidos –Septiembre 2012

Como se observa, los valores medidos se acercan a valores medios de las estadísticas para ambos cursos de agua, lo que se corresponde con el mes de relevamiento en que ya han acontecido algunas lluvias. Se destaca, dado los valores hallados, la gran capacidad receptora de la depresión del Saladillo, quedando evidente en los resultados del canal La Brava, que sale de Los Bañados con menos agua que

con la que entra para el momento. Sin embargo es un dato muy puntual y serían necesarias más mediciones para verificar el comportamiento hidrológico superficial del sistema.

LAGUNAS

Entre las lagunas presentes en el área, pueden definirse aquellas de régimen permanente, de régimen temporario y las de régimen efímero.

Los Bañados del Saladillo estaban integrados originalmente por 40 lagunas semipermanentes con una superficie aproximada de 30.000 ha., se encuentra entre los principales humedales mediterráneos del país para las aves migratorias y es considerado el segundo sitio de mayor biodiversidad de la provincia después de la laguna Mar Chiquita (Miatello y Casañas). Actualmente las obras de canalización para mitigar las inundaciones del Sur de la provincia provocaron cambios significativos en la región, reduciéndose el área de los mismos (4.000 ha) y desapareciendo así varias de las lagunas (Rossia, 2011).

Dentro de los cuerpos de lagunas de carácter permanente se encuentran:

a) algunas lagunas correspondientes a los Bañados del Saladillo, como la laguna la Helvecia (Fig. VI.8) siendo una de las principales, donde se llevan a cabo actividades recreativas y deportivas como por ejemplo pesca y actividad náutica. En las orillas, se observan de protección con elementos diversos para evitar la erosión (Fig. VI.8).

b) lagunas que corresponden a la depresión de la unidad geomorfológica La Brava (Fig. V.2) que se encuentra hacia el Sur-Oeste de los bañados, siendo la más importante la laguna La Brava (Fig. VI.9). A pesar de que se interconectan en las épocas de precipitaciones, se puede observar que los cuerpos de agua se reducen en los periodos más secos, proceso que queda también evidenciado por la típica vegetación de lagunas y bañados, como pastizales naturales adaptados a las condiciones halomórficas del suelo, tales como por ejemplo el denominado "Pelo de Chancho" (*Distichlis spicata*), y por la precipitación de sales debido a la fluctuación de nivel freático en esos sectores (Fig. VI.10).



Figura VI.8. Laguna La Helvecia. A, B, C, D y E) actividades recreativas y deportivas (pesca y actividad náutica. F) Protección con elementos diversos para evitar la erosión



Figura VI.9. Laguna La Brava



Figura VI.10. Precipitación de sales y vegetación halomórfica en los bordes de la laguna

Las lagunas temporarias (Fig. VI.11) son aquellas que se mantienen por varios meses, a veces más de un ciclo, y se vinculan principalmente a lluvias y posiblemente a ascensos freáticos, desapareciendo en años secos cuando el nivel freático baja. Estas lagunas temporarias son más pequeñas que las de régimen permanente, y al estar su lecho compuesto por sedimentos finos impermeables (arcillas, limos arcillosos), generan la acumulación de agua de lluvia durante los períodos estacionales (primavera-verano), y en ocasiones suelen ser responsables de la recarga puntual del acuífero, como se demostrará más adelante. Algunas de ellas presentan rasgos de hidrohalomorfismo a sus alrededores, aunque mucho menos notorio que en el caso de las lagunas permanentes, y por lo general poseen vegetación propia de situaciones de nivel freático fluctuante de estas zonas (Fig.VI.12).

Dentro de las lagunas de régimen efímero, se encuentran aquellas que se forman en áreas deprimidas, a partir de precipitaciones, es decir, se forman en las épocas de mayores lluvias, por lo que sus aguas son dulces, y presentan frecuentemente un nivel freático muy cercano a la superficie. Estas lagunas son en general cuerpos de muy pequeñas dimensiones.



Figura VI.11. Lagunas formadas en épocas de lluvia.



Figura VI.12. Vegetación propia de áreas de lagunas

VI.2.b. CALIDAD DEL AGUA

Con la finalidad de realizar un análisis de relaciones entre el sistema hidrológico superficial y el sistema hidrológico subterráneo, se tomaron diferentes muestras de agua superficial. En la tabla VI.2 se puede observar el tratamiento estadístico univariado realizado para los resultados de los análisis físico-químicos de las mismas (las planillas completas de los resultados analíticos se muestran en el anexo II).

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
pH	15	7,18	9,39	8,50	0,57
CE [uS/cm]	15	546,00	39.700,00	9.363,86	9.519,82
SDT [mg/l]	15	382,20	27.790,00	6.554,70	6.663,87
CO ₃ ⁻ [mg/l]	15	0,00	3.321,00	417,00	859,63
HCO ₃ ⁻ [mg/l]	15	122,50	832,50	385,41	229,05
SO ₄ ⁼ [mg/l]	15	45,50	5.264,80	2.101,21	1.446,15
Cl ⁻ [mg/l]	15	27,10	11.714,30	1.839,80	2.846,45
Na ⁺ [mg/l]	15	88,50	9464,10	2.166,52	2.264,70
K ⁺ [mg/l]	15	8,40	300,10	59,22	69,17
Ca ⁺² [mg/l]	15	11,60	356,00	88,74	95,39
Mg ⁺² [mg/l]	15	3,70	278,00	84,83	86,29
As [ug/l]	15	5,00	600,00	134,33	146,97
F ⁻ [mg/l]	15	0,04	3,60	1,38	1,03
NO ₃ ⁻ [mg/l]	15	0,00	140,00	24,33	38,75

Tabla VI.2. Tratamiento estadístico univariado de los resultados de los análisis físico-químico realizados a las muestras de agua superficial

Observando la tabla V.1 se destaca que el sulfato es el anión que posee la mayor media, siendo igual a 2.101,2 mg/l (mínimo: 45,5 mg/l, máximo: 5.264,8 mg/l), y le sigue en importancia el cloruro con una media de 1.839,8 mg/l (mínimo: 27,1 mg/l, máximo: 11.714,3 mg/l). La media del catión Sodio se encuentra muy por encima de los demás cationes, siendo igual a 2.166,5 mg/l (mínimo: 88,5 mg/l, máximo 9.464,1 mg/l).

Para la clasificación geoquímica del agua se utilizó el diagrama de Piper-Hill (Fig. VI.13), en el cual se incorporan los iones mayoritarios en meq/l expresados porcentualmente. A partir de ello, podemos decir que las aguas son de tipo **sulfatadas y/o cloruradas sódicas** en un 99% de las muestras, y el 1% es de tipo **carbonatada-bicarbonatada sódica**. 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 catión que sobrepasa el 50% de sus sumas respectivas, y cuando no supera este porcentaje se nombra los dos más abundantes. Los resultados indican que se trata de aguas del tipo **sulfatadas sódicas** (46,66%), **sulfatadas-cloruradas sódicas** (33,33%), **cloruradas sódicas** (13,33%), y **bicarbonatada sódica** (6,66%).

Para la clasificación de las aguas basada en el contenido salino se utilizó el criterio de Custodio y Llamas (1983), siendo *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). Fundado en este criterio el 53,33% de las aguas son **saladas**, el 26,66% son **salobres**, y el 20% son **aguas dulces**.

Por tanto, dominan las aguas saladas-salobres y sulfatadas o sulfatadas cloruradas (Fig. VI.14). La zona de estudio representa cuencas bajas y de desembocadura, por lo que es lógico encontrar aguas más evolucionadas. Sin embargo debe destacarse que ciertas muestras son dulces, tal es el caso de algunas lagunas de agua de lluvia, y de aguas que se encuentran en circulación, como el río Cuarto (A1), de aguas con salinidades del orden de 382 mg/l y bicarbonatadas (Fig. VI.14). Es decir que a pesar de que el agua superficial de los sistemas lóticos evoluciona a lo largo del trayecto, por el contacto con los materiales por los que circula, por la llegada de elementos químicos del escurrimiento superficial y por aporte de agua subterránea (como se indicará en el próximo capítulo) dada su importante velocidad no logra salinizarse en forma notoria ni cambiar el tipo geoquímico aniónico. Sí cambia el contenido catiónico, ya que en cuencas altas todos los ríos y arroyos de

la región son de aguas cálcicas, mientras que el río Cuarto en el tramo final en esta zona investigada es de aguas sódicas.

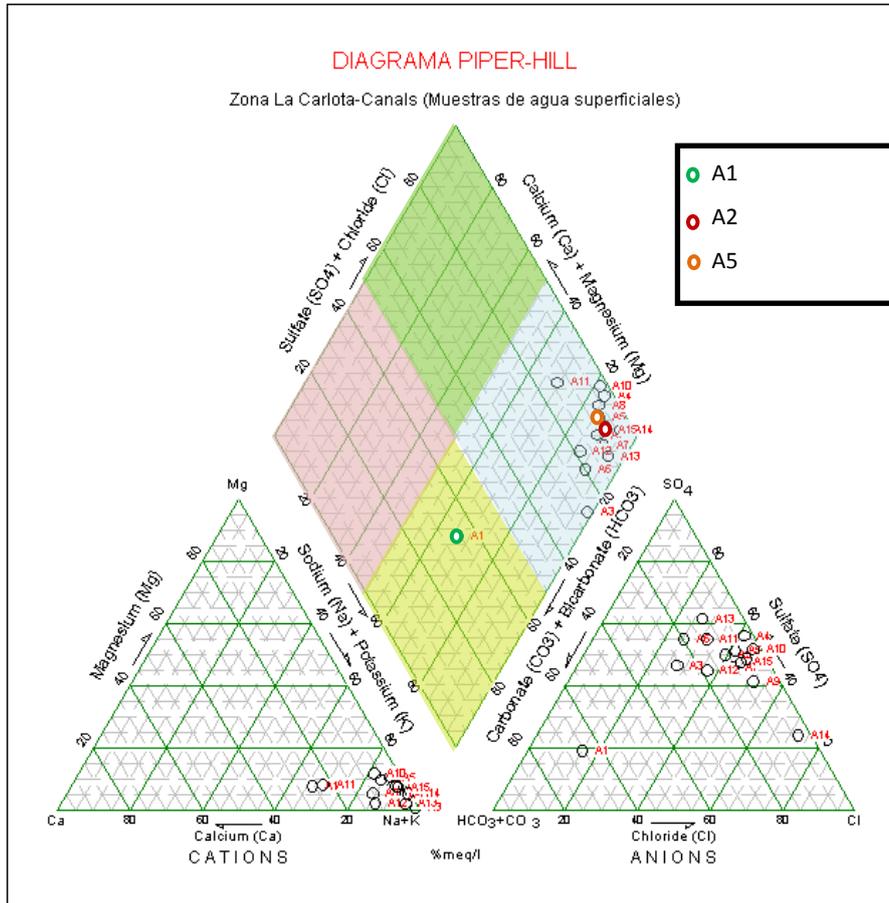


Figura VI.13. Diagrama de Piper-Hill para muestras de agua superficial. Zona La Carlota-Canals

Por otro lado, se pudo observar que las lagunas y bañados (sistemas lénticos) son saladas/salobres y sulfatadas o sulfatadas-cloruradas (VI.14), aspecto fuertemente vinculado a los procesos de evaporación que sufren y a que reciben descarga de aguas subterráneas del mismo contenido iónico, lo que se detallará en el capítulo VII. Estos sistemas proporcionaron aguas sódicas, aspecto vinculado a los procesos de intercambio catiónico, dada la abundancia de sedimentos finos.

Se destaca que el agua del río Cuarto, dado que es dulce, está siendo utilizada para riego de cultivos, observándose los círculos de riego de diferente edad a través de imagen satelitaria (Fig. VI.15), aspecto que puede implicar pérdida de caudal del río.

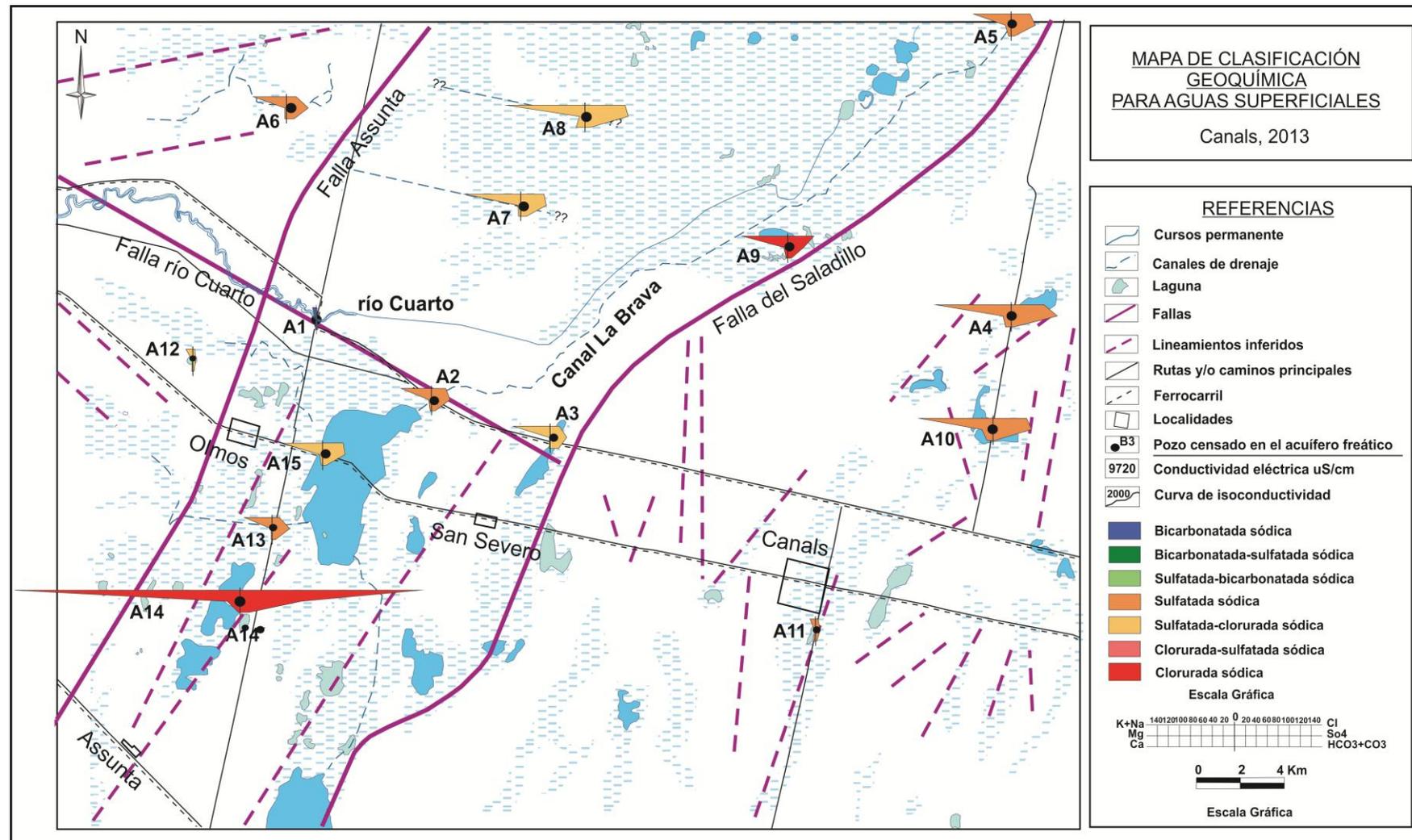


Figura VI.14. Mapa de Clasificación Geoquímica para Aguas Superficiales. Canals



Figura VI.15. Imagen Satelital donde se observan los círculos de riego

CAPÍTULO VII

HIDROGEOLOGÍA

“A veces podemos pasarnos años sin vivir en absoluto, y de pronto toda nuestra vida se concentra en un solo instante”.

VII.1. INTRODUCCIÓN

Según Custodio y Llamas (1983), la Hidrología subterránea (Hidrogeología) es aquella parte de la hidrología que corresponde al almacenamiento, circulación y distribución del agua terrestre en las zonas saturadas de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción antrópica.

El escurrimiento subterráneo puede ser *sub-superficial*, que ocurre cuando el flujo no alcanza la zona saturada permaneciendo en la zona de aireación fluyendo por efecto de la pendiente por encima de capas de materiales de baja permeabilidad y que generalmente desemboca en algún cuerpo de agua superficial; y *subterráneo propiamente dicho*, que conforma los acuíferos, y con velocidad y evolución química más lenta que del anterior, cuyo flujo de circulación activo también finaliza en algún cuerpo hídrico superficial.

VII.2. HIDROGEOLOGÍA REGIONAL

VII.2.a. HIDROLOGÍA SUBTERRANEA

El agua subterránea no es sólo un recurso natural, es también un agente geológico importante, responsable de muchos procesos geológicos. Según Toth (1999), cumple dos roles básicos, la distribución espacial sistematizada y jerarquizada del flujo de agua y su habilidad para interactuar con los distintos componentes de ambientes.

La caracterización de la dinámica y calidad del agua subterránea en el Sur de Córdoba, es muy importante porque es el recurso más utilizado en esta región para todas las actividades (Blarasin y Cabrera, 2005 b).

VII.2.a.i. Características hidrológicas e hidroestratigráficas

Las estructuras geológicas de carácter regional, por haber sido un condicionante fundamental en la evolución geológica Cuaternaria y pre-Cuaternaria y en la sedimentación marina y continental de la región, ha influido en la actual disposición del agua superficial y subterránea (Blarasin y Cabrera, 2005 b). Un modelo conceptual hidrogeológico a nivel regional fue interpretado a partir de numerosas perforaciones, identificando los depósitos aflorantes y los materiales hasta los 400 m de profundidad, por Blarasin et al. (2000), Blarasin (2003) (Fig. VII.1).

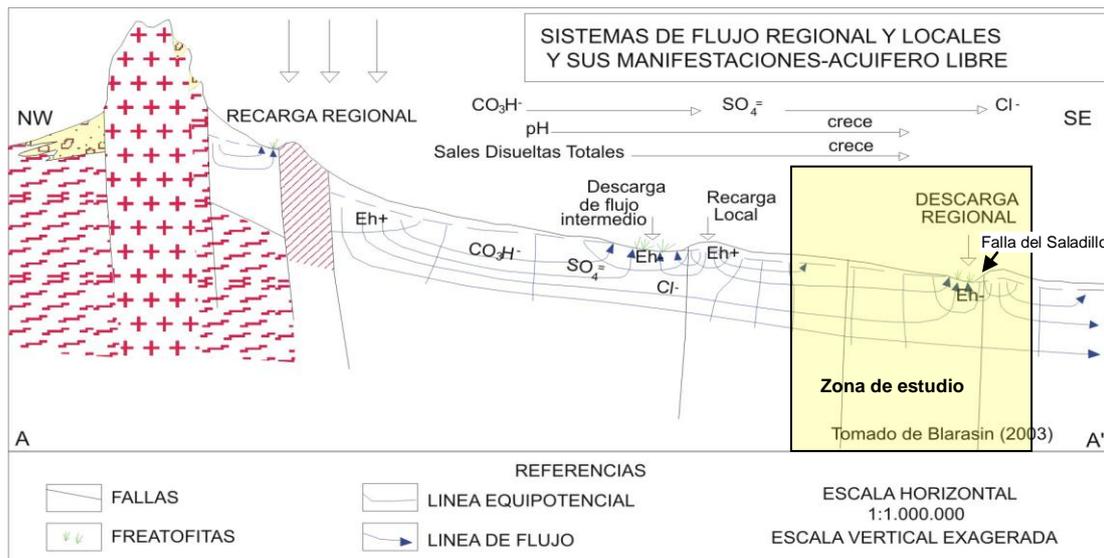


Figura VII.1. Sistemas de flujo regional y locales al Sur de Córdoba. Blarasin (2003).

Acuífero freático

El acuífero freático se aloja en los materiales Cuaternarios eólicos y fluviales de origen continental. Los materiales de mejor aptitud acuífera, con alta conductividad hidráulica y transmisividad están vinculados a las fajas fluviales de los principales ríos y arroyos. El resto de los materiales eólicos y aluviales finos, alojan un acuífero freático de características pobres (Blarasin y Cabrera, 2005 b).

Los acuíferos freáticos en zona de llanura, según los materiales que los conforman, se pueden diferenciar en dos grandes zonas:

- ❖ *Acuífero en fajas fluviales más importantes:* son sectores que bordean el río Cuarto y algunos tramos del sector medio del sistema Santa Catalina-del Gato. Los materiales en general son gruesos (arenas finas, gruesas y gravas) vinculados a paleocauces y alojan un acuífero excelente debido a la alta conductividad y transmisividad de estos depósitos (en general las aguas son dulces). Debe aclararse que hay una diversidad de litofacies lo que provoca heterogeneidades y anisotropías que condicionan el diseño de los pozos y su rendimiento. El espesor medio de las formaciones es entre 20-40 m, la conductividad hidráulica entre 5 y 50 m/día y la transmisividad alcanza los ordenes de 100 a 4000 m²/día (Blarasin, 2003).

- ❖ *Acuífero en el resto de la llanura cordobesa:* corresponde a sedimentos fluviales en posiciones medias y distales y todas las planicies intermedias, deprimidas

y mal drenadas compuestas por material eólico. En esta zona los acuíferos son bastantes homogéneos, compuestos por materiales arenosos finos, limosos y limo arcillosos, con niveles de cementación con carbonatos. El espesor de las formaciones son variables y ubicados a distintas profundidades. Las conductividades hidráulicas van desde 10-3 m/día hasta 1 m/día, los valores más bajos se suelen compensar con potencias importantes lo que genera importante transmisividad. Los caudales de servicio varían entre 5 y 50 m³/h y los específicos oscilan entre 0,5 y 2,5 m³/h/m. A pesar de esto, este ambiente aloja un acuífero de considerada relevancia económica y social ya que casi todas las localidades y zonas rurales se abastecen de él (Blarasin, 2003).

Acuíferos confinados

Los acuíferos confinados se encuentran al Este y Sudeste de la franja pedemontana, encontrándose el área de surgencia algo más restringida al ámbito del Sudeste cordobés (Blarasin y Cabrera, 2005) (Fig. VII.2). Estos sistemas son multicapa, formados por arenas finas, medias y gruesas (a veces gravosas) correspondientes a antiguos depósitos fluviales hacia el Oeste (Blarasin et al., 2000, Blarasin, 2003), Cabrera, 2009), y marinos hacia el Este provincial (Renz, 1993; Gomez, 1995; Blarasin et al, 2000; Maldonado, 2012). Estos sistemas se ubican a profundidades variables reconocidas hasta el presente entre los 130 y los 400 m, y sus techos y bases son potentes paquetes de arcillas ocráceas, al Oeste o bien importantes espesores de materiales areno-limo arcillosos (Cabrera, 2009) y azules hacia el Este, éstos últimos correspondientes a la Formación Paraná (Renz, 1993; Maldonado, 2012).

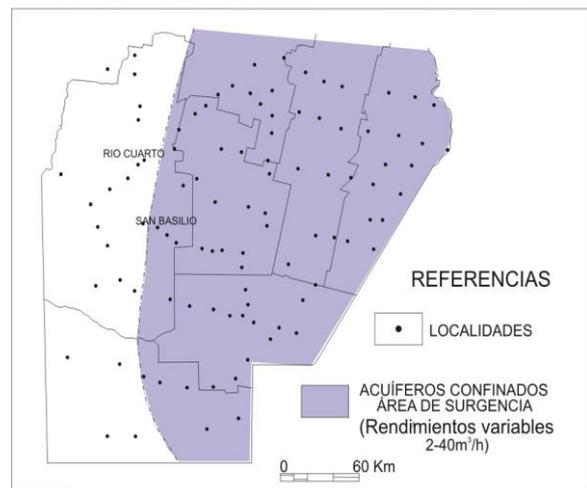


Figura VII.2. Área de surgencia de acuíferos confinados al Sur de Córdoba. Tomado de Blarasin (2003)

VII.2.b. HIDRODINÁMICA SUBTERRÁNEA REGIONAL

La configuración geológica-geomorfológica de bloques basculados al Este-Sudeste es el principal condicionante de los flujos intermedios y regionales, definiendo las áreas de recarga y descarga y los procesos hidrogeoquímicos más importante (Blarasin, 2003).

El agua circula con una dirección general NO-SE (Fig. VII.3), observándose una jerarquización de los flujos, con niveles locales, intermedios y regionales, que interactúan con el ambiente; cumpliendo mecanismos de movilización, transporte y acumulación (Blarasin y Cabrera, 2005 b).

La profundidad del nivel freático está fundamentalmente condicionada por el relieve y fluctúa en respuesta a las lluvias de las estaciones y/o años más húmedos. Las mayores profundidades se destacan en sectores cercanos a las sierras, con valores que van desde los 30 m hasta los 130 m de profundidad, mientras que en las áreas deprimidas se registran profundidades muy someras o afloramiento del agua.

La morfología de la superficie freática es muy variable, coincidente en general con la topografía de superficie.

VII.2.c. HIDROGEOQUÍMICA REGIONAL

El acuífero freático exhibe una evolución natural del agua desde las zonas más altas, hasta las zonas más deprimidas al Este de la provincia. Esta evolución produce un aumento progresivo en el contenido salino (desde 0,2 g/l hasta aproximadamente 15 g/l) (Fig. VII.4) y el cambio gradual del tipo geoquímico, desde aguas bicarbonatadas cálcicas y/o sódicas, luego sulfatadas sódicas y finalmente cloruradas sódicas. También se observa en el sentido de flujo, aumento de pH y transición desde condiciones predominantemente oxidantes a reductoras (Blarasin et al., 2000; Blarasin, 2003).

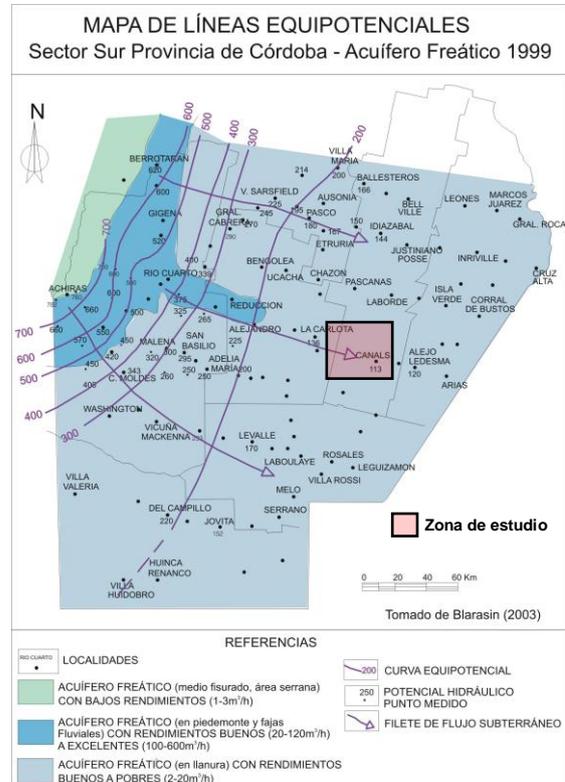


Figura VII.3 Mapa equipotencial para el Sur de Córdoba. Blarasin (2003).

La ocurrencia de exceso de los elementos Flúor y Arsénico es un problema recurrente en numerosas zonas de la región. El Flúor aparecen en tenores que llegan hasta 24 mg/l (Blarasin et al., 2001b) y el Arsénico alcanza hasta 1.700 ug/l (Bernetti, 1996).

La calidad del agua de los acuíferos confinados es variable, en general se interpreta un aumento del contenido salino en sentido del flujo (Blarasin y Cabrera, 2005; Maldonado, 2012).

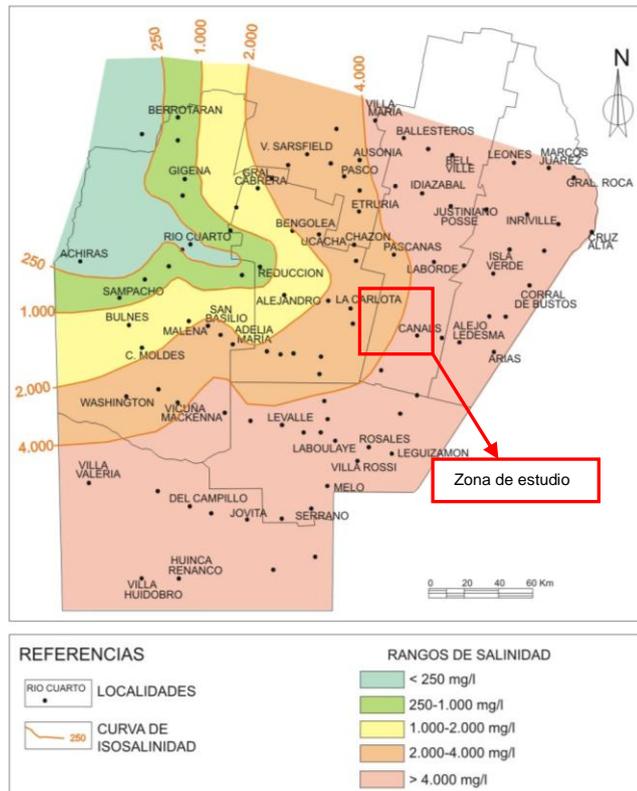


Figura VII.4. Mapa de Salinidad. Acuífero freático del Sur de Córdoba. Blarasin (2000).

VII.3. HIDROGEOLOGÍA LOCAL

En el presente trabajo se tuvo en cuenta principalmente el estudio del acuífero freático de la zona de estudio, a pesar de ello, se observó la presencia de acuíferos más profundos, con diferentes grados de confinamiento, que se presentan en el punto VII.3.c.ii.

VII.3.a. HIDROLITOLOGÍA E HIDROESTRATIGRAFÍA

Considerando los materiales geológicos aflorantes y del subsuelo en la zona de estudio, estos últimos procedentes de perforaciones profundas y someras proporcionadas por diferentes fuentes, además de otras captaciones existentes relevadas (Fig. IV.14) y el mapa Geológico-Geomorfológico realizado a partir de la geología de superficie (Fig. V.2), se elaboró una columna hidroestratigráfica típica para la zona, que se muestra en la figura VII.5 y que se describe a continuación, aunque la información con la que se cuenta es moderada y existe cierta incertidumbre respecto a las profundidades de las perforaciones y litologías atravesadas.

Se puede observar que el acuífero libre no posee un espesor muy variable en la zona de estudio, con un espesor promedio de 60 a 100 metros, variando según la ubicación dentro de las diferentes unidades geomorfológicas que a su vez dependen fuertemente de grandes estructuras presentes y de los espesores de los depósitos de los diversos ambientes descriptos.

El acuífero libre está constituido por materiales limosos y arenosos muy finos, con diferentes grados de cementación carbonática y niveles de toscas, con intercalaciones de depósitos levemente más permeables (arenas finas). La secuencia, representada por las formaciones descriptas en capítulos precedentes, y mostradas en la figura VII.5, representa la alternancia de ciclos húmedos y secos que determinan la actividad fluvial y eólica que caracterizó a la zona durante el Cuaternario. A partir de la columna hidroestratigráfica (Fig. VII.5) se puede decir que el acuífero libre tiene su hidroapoyo sobre una capa de arcillas limosas pardas de 10 metros de espesor aproximadamente. Estas arcillas se intercalan con lentes de arenas gruesas y lentes de arenas finas limosas, este paquete se podría correlacionar a la Fm Ituzaingó-Arenas Puelches del Plioceno superior (capítulo IV). Por debajo se observan 10 a 30 metros de espesor aproximado de arcillas limosas grisáceas. Por debajo a estos materiales se vuelven a apreciar la presencia de arcillas limosas pardas, pero más claras a las anteriores, con un espesor aproximado de 100 metros, estas se intercaladas con arenas limosas de 5-10 metros de espesor y capas menores de arenas gruesas que son las que alojan los sistemas confinados de profundidad, asociadas a la Fm. Entre Ríos, que representan la etapa regresiva de la intrusión marina del Mioceno superior. En forma subyacente se distinguen arcillas verdes azuladas intercaladas con un pequeño paquete de arenas medias a finas limosas, conocidas por representar la ingesión marina de la Fm. Paraná.

El acuífero libre estudiado, a nivel macroscópico, es homogéneo ya que los sedimentos finos (arenas muy finas limosas) son predominantes en el área de estudio, sin embargo, aparecen ciertas heterogeneidades dadas por cambios faciales de materiales localmente más cementados o paquetes levemente más gruesos (de origen fluvial), que implica anisotropías desde el punto de vista hidráulico en una escala más local.

A partir de datos de un ensayo de bombeo realizado en proximidades de la localidad de Canals (Planta láctea La Serenísima, gentileza Lic. Felizzia, 2012) y en

sedimentos similares en la región (Blarasin, 2003; Blarasin et al., 2009, Bécher y Quinodóz, 2012), y teniendo en cuenta esencialmente valores de Conductividad Hidráulica (K) a partir de las tablas VII.1 y VII.2 de Custodio y Llamas (1983) y las tablas VII.3 y VII.4 de Brassington (2007) se establecen valores de K para el acuífero libre en los diferentes sectores.

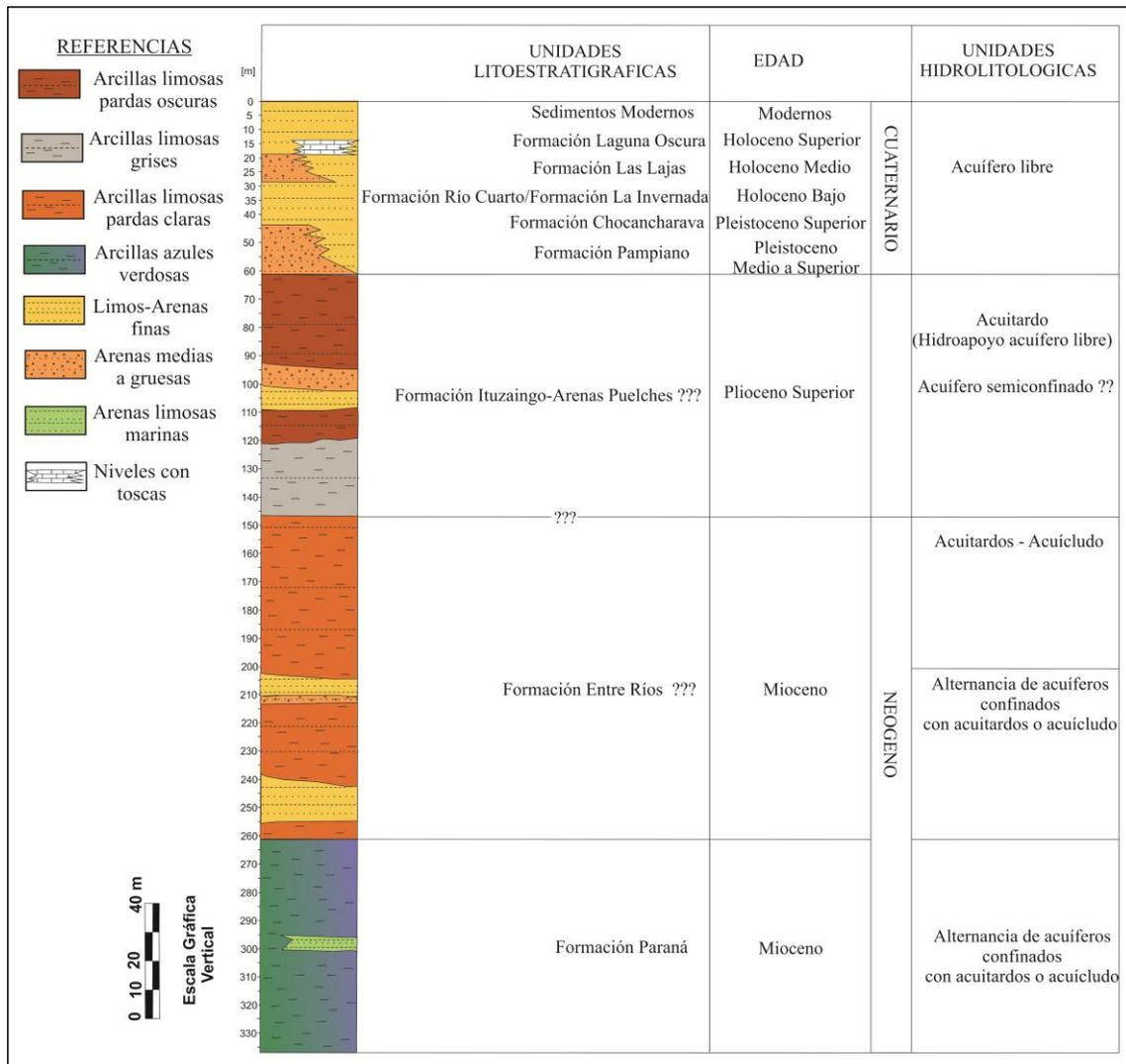


Figura VII.5. Columna Hidroestratigráfica típica para el área de estudio

De este modo se le asigna valores de 1,0-2,5 m/día a los materiales que predominan en la cuenca, de tipo arenas muy finas limosas. En los sectores con materiales más gruesos (arenas finas), debido al origen fluvial de los mismos, los valores de K, localmente podrían alcanzar valores de 2-5 m/día, lo que le confiere

cierta heterogeneidad y anisotropía al acuífero. La K presenta disminuciones cuando se encuentra en materiales cementados (del orden de 1 m/día o menores).

Estos valores se asemejan a los obtenidos por Felizzia (2012) en un ensayo de bombeo realizado en la zona, que arrojó valores de: $K = 2,14$ m/día. En ese mismo ensayo T resultó en el orden de $26 \text{ m}^2/\text{día}$ y $S = 0,12$, éste último típico de un acuífero libre.

Para los sistemas confinados se establecieron K a partir de las tablas VII.1, VII.2, VII.3, VII.4 obteniendo valores del orden de 100 m/d.

Material	K [cm/seg]	K [m/día]
Grava limpia	>1	>1.000
Arena gruesa limpia	1 a 0,001	1.000 a 10
Mezcla de arena	10-2 a $5 \cdot 10^{-3}$	10 a 5
Arena fina	$5 \cdot 10^{-3}$ a 10^{-3}	5 a 1
Arena limosa	$2 \cdot 10^{-4}$ a 10^{-4}	2 a 0,1
Limo	$5 \cdot 10^{-4}$ a 10^{-5}	0,5 a 0,001
Arcilla	< 10^{-6}	<0,001

Tabla VII.1. Valores de K según el tipo de material.
Fuente: Custodio y Llamas (1983).

Material	Porosity (%)	Specific yield (%)	Fraction of porosity producing specific yield
Coarse gravel	28	23	0.80
Medium gravel	32	24	0.75
Fine gravel	34	25	0.73
Coarse sand	39	27	0.69
Medium sand	39	28	0.7
Fine sand	43	23	0.53
Silt	46	8	0.17
Clay	42	3	0.07
Dune sand	45	38	-
Loess	49	18	0.37
Peat	92	44	0.48
Till (mainly silt)	34	6	-
Till (mainly sand)	31	16	-
Till (mainly gravel)	-	16	-
Fine-grained sandstone	33	21	0.54
Medium-grained sandstone	37	27	0.64
Limestone	30	14	0.47
Dolomite	26	-	-
Siltstone	35	12	-
Mudstone	43	-	-
Shale	6	-	-
Basalt	17	-	-
Tuff	41	21	0.51
Schist	38	26	-
Gabbro (weathered)	43	-	-
Granite (weathered)	45	-	0.80

Tabla VII.2. Valores de porosidad en acuíferos. Fuente: Brassington (2007).

Material		Porosidad total %					Porosidad Eficaz %		
Tipo	Descripción	Media	Normal		Extraord.		Media	Max.	Min.
			Max.	Min.	Max.	Min.			
Rocas Masivas	Granito	0,3	4	0,2	9	0,05	<0,2	0,5	0
	Caliza Masiva	8	15	0,5	20		<0,5	1	0
	Dolomita	5	10	2			<0,5	1	0
Rocas Metamórficas		0,5	5	0,2			<0,5	2	0
Rocas Sedimentarias	Aluviones	25	40	20	45	15	15	35	5
Sueltas	Dunas	35	40	30			20	30	10
	Gravas	30	40	25	40	20	25	35	15
	Loess	45	55	40			<5	10	0,1
	Arenas	35	45	20			25	35	10
	Limos	40	50	35			10	20	2
	Arcillas sin Compactar	45	60	40	85	30	2	10	0
	Suelos superiores	50	60	30			10	20	1

Tabla VII.3. Porosidades totales y eficaces de diversos materiales. Fuente: Custodio y Llamas

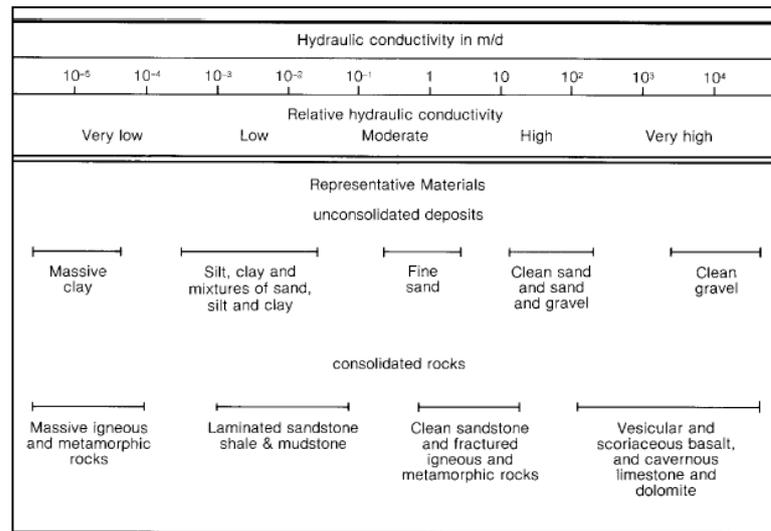


Tabla VII.4. Valores de conductividad hidráulica. Fuente: Brassington (2007).

VII.3.a.i. Captaciones de agua del acuífero freático existentes en la zona

En general, las captaciones existentes poseen molino instalado y si bien algunas constan de un antepozo de profundidad variable, dependiendo de la posición del nivel freático, usualmente no hay antepozo y el cilindro se encuentra en superficie ya que el nivel freático se encuentra muy próximo a ella. En todos los casos, la perforación que le continúa al antepozo penetra pocos metros de profundidad en el acuífero, de acuerdo a la información otorgada por los propietarios y/o encargados de los campos. Los caudales que extraen los molinos son pequeños de aproximadamente 1.500 l/h. En algunas ocasiones, se utiliza bombas electrosumergibles como es el caso del establecimiento La Serenísima, que extrae un caudal de 3.150 l/h (Fig. VII.6 y Fig. VII.7).

A pesar de ello, debido a la baja calidad natural del agua subterránea del acuífero libre, muchos de los molinos se han roto y no han sido arreglados, quedando en desuso incluso hasta desapareciendo, desde hace tiempo. En ciertas ocasiones, el agua que utilizan para consumo humano proviene del agua de lluvia, que se recoge desde los techos que son previamente limpiados, la almacenan en aljibe, y se extrae de forma manual o por medio de "bomba sapo" (Fig. VII.8).

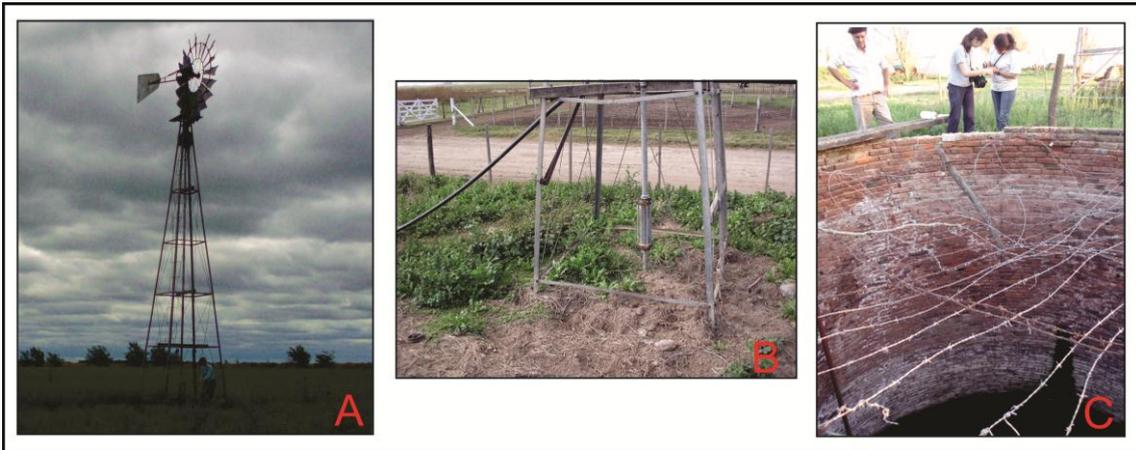


Figura VII.6. Ejemplos de perforaciones muestreadas A) Molino. B) Molino con cilindro en superficie. C) Antepozo de gran diámetro revestido con ladrillos.



Figura VII.7. Salidas de agua de perforaciones a tanques australianos en los que se puede apreciar los caudales de extracción.



Figura VII.8. A) Cultivo de agua de lluvia mediante aljibes. B) Bomba sapo, método de extracción de agua de aljibes.

VII.3.b. HIDRODINÁMICA

VII.3.b.i Acuífero freático

Se confeccionaron los mapas de potenciales hidráulicos y de isoprofundidad para el área de estudio.

Para la elaboración de los mapas se tuvo en cuenta un censo que consistió en el relevamiento de toda información hidrogeológica de interés en 23 puntos. Se midieron niveles estáticos, en antepozos de molinos y perforaciones, con sonda piezométrica de señal lumínica y sonora (Fig. VII.9). En numerosas ocasiones el dato fue informado (por propietarios o encargados del lugar), o inferido a partir de la observación de la posición del cilindro.

Potenciales hidráulicos de acuífero libre

En el mapa de equipotenciales del acuífero libre (Fig. VII.10) se puede observar un sentido del flujo que es coincidente con el sentido de escurrimiento superficial, siendo en general hacia el Noreste. También cabe destacar la presencia de la divisoria de aguas subterránea que es coincidente con el bloque levantado de la falla regional del Saladillo y es prácticamente coincidente con la divisoria superficial. Se observa una dinámica diferencial entre ambos lados de la divisoria, a partir de la cual las líneas de flujo divergen. Hacia el Oeste, en el bloque hundido, los flujos convergen a los bañados del Saladillo; y hacia el Este, en el bloque elevado, los flujos divergen hacia el Este, fuera del área de estudio. Localmente se advierten variaciones, hacia el Norte del río Cuarto, el sentido del flujo es E-O, pero hacia el Sur del mismo, los flujos se organizan de forma radial centrípeta, uniéndose hacia los bañados del Saladillo. Es decir que, en general, a pesar de la pobre expresión del relieve del área, éste condiciona los flujos subterráneos y los superficiales, siendo ambos coincidentes en casi todas las unidades geomorfológicas.

Las relaciones que se observan entre el acuífero y los cuerpos de aguas superficiales son variables. Sin embargo lo primero que se debe destacar es un gran bajo freático en el centro del área, coincidente con la laguna La Brava, el canal La Brava, el tramo canalizado del río Cuarto y los propios Bañados del Saladillo. Es decir se trata de un conjunto de cuerpos de agua que drenan el acuífero (acuífero influente-zona de descarga de agua subterránea), siendo los más importantes en este aspecto los cuerpos de agua lénticos, aspecto que, como se explicara previamente, queda demostrado por la calidad de agua de los diferentes cuerpos evaluados. Este gran

bajo freático acompaña, en la misma dirección la importante divisoria de aguas subterráneas descrita previamente.



Figura VII.9. Medición de niveles estáticos del acuífero freático. A) Con sonda en antepozo de gran diámetro revestido con ladrillos. B) Con sonda en freatímetro realizado de PVC .

Al alejarse del bajo freático principal, se observa que el río Cuarto presenta una relación de influencia respecto al acuífero freático, evidenciado por los filetes de flujo que en general divergen desde el curso en el tramo meandriforme del mismo, luego y, como se indicara, los filetes convergen en el tramo canalizado. En un sector de su margen izquierda se observa convergencia de los filetes de flujo subterráneo, lo que evidencia su carácter de efluente en estos tramos, es decir, el acuífero le aporta agua. Por otro lado, las lagunas por lo general presentan relación de influencia por parte del acuífero probado por la convergencia de los filetes de flujo hacia las mismas.

La recarga del acuífero es principalmente por agua de lluvia a través de infiltración, destacando a la divisoria de aguas como una zona neta de recarga local.

La zona de estudio es receptor del flujo de circulación regional desde las zonas ubicadas hacia el Oeste (cuenca alta), por lo que representa, en general, un área de descarga regional. La descarga principal del acuífero freático en la zona de estudio ocurre en las áreas deprimidas, allí donde las curvas topográficas y las

equipotenciales del mismo valor se cortan dando origen a numerosos bañados y lagunas de carácter permanente.

La morfología que muestra la superficie freática es suavemente ondulada, con gradientes hidráulicos de 0,02% en los sectores más planos y de 0,21% en los sectores más ondulados.

Las velocidades de circulación más bajas están vinculadas a la presencia de depósitos finos, las mismas son iguales a 0,0026 m/día ($K= 2$ m/día, $\rho= 0,15$, gradiente hidráulico= 0,02%) y a 0,028 m/día ($K= 2$ m/día, $\rho= 0,15$, gradiente hidráulico= 0,21%), y para los materiales levemente más gruesos ($K= 5$ m/día, $\rho= 0,25$) las velocidades son del orden de los 0,004 m/día y 0,04 m/día para los gradientes hidráulicos de 0,02% y 0,21% respectivamente.

Profundidad del nivel freático

Las profundidades del nivel freático se observan en la figura VII.11, las mismas no son muy variables, encontrándose los máximos, de hasta 6 metros de profundidad, en el bloque oriental elevado, de la Falla del Saladillo y mínimos, inferiores a 1 m, en los sectores de bañados y hasta aflorante en las lagunas permanentes. La profundidad promedio del nivel freático es de 3 metros. Dado que es un valor que se encuentra próximo a la superficie, en las épocas de lluvias se observa que el nivel asciende pudiendo producir procesos de hidrohalmorfismo o eventualmente afloramiento de agua.

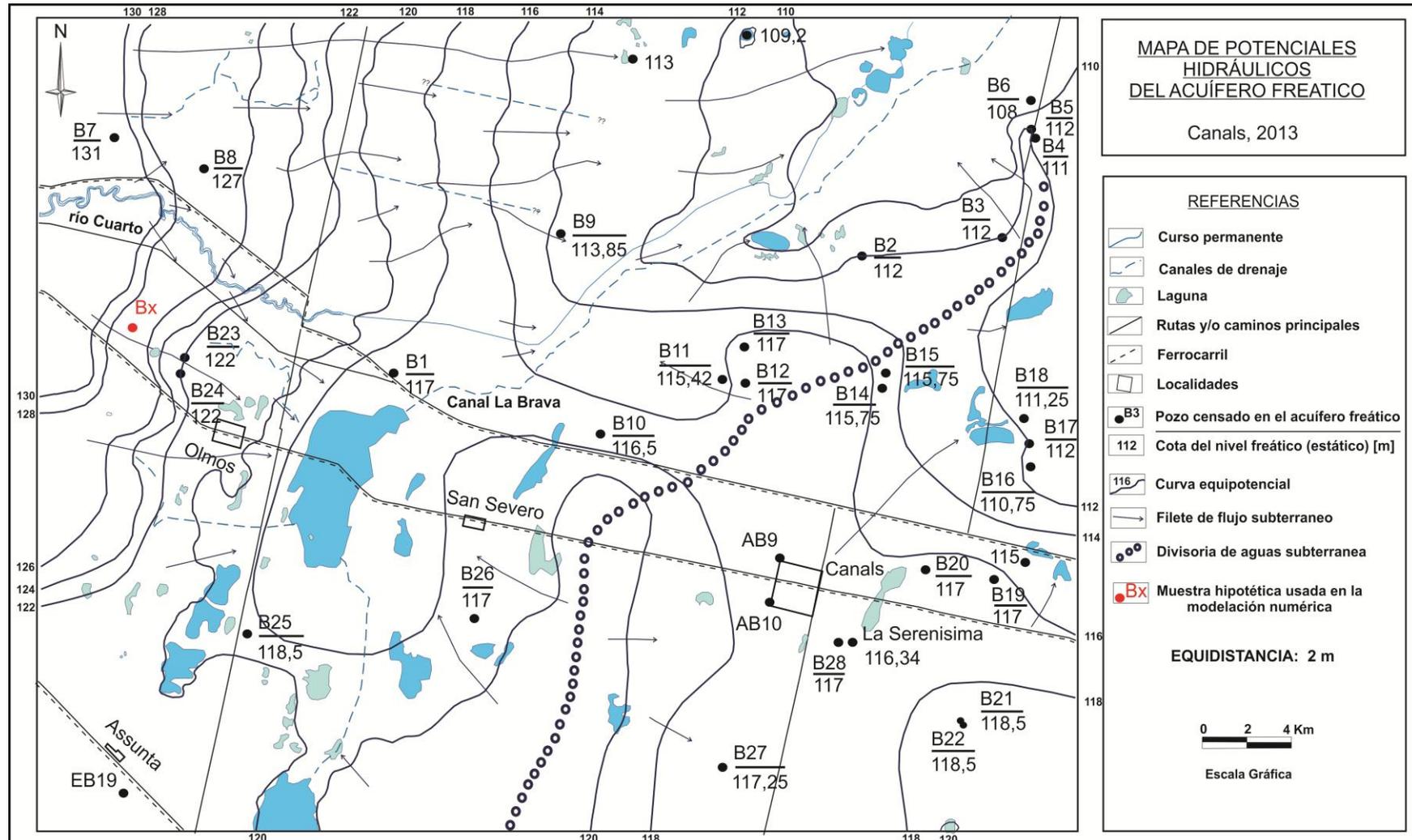


Figura VII.10. Mapa de Equipotenciales del acuífero freático. Canals

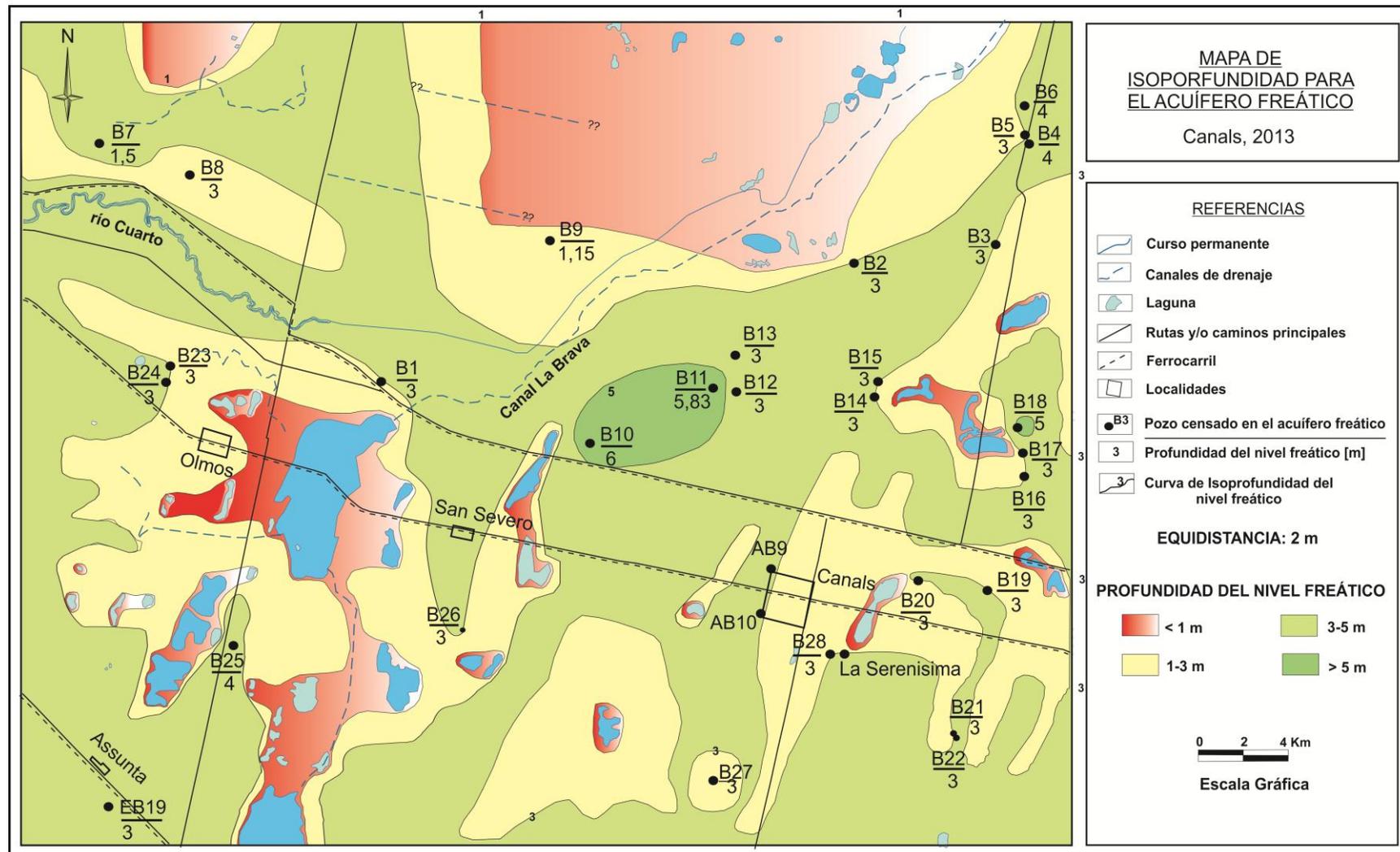


Figura VII.11. Mapa de Isoporfundidad del nivel freático. Canals

VII.3.b.ii. Acuíferos confinados

Se destaca que en oportunidad del censo de pozos se hallaron en el área perforaciones profundas que captan agua de acuíferos confinados, relevándose un total de 7 captaciones (Fig. VII.12 y Tabla VII. 5). Las perforaciones poseen profundidades mínimas de 220 metros, y máximas de 480 metros. Los niveles piezométricos de los pozos censados en todos los casos son de entre 1 y 6-7 m por encima de la superficie del terreno. Se pudo observar, a partir de los datos tomados, que existen al menos dos sistemas confinados, uno menos profundo de 220 a 250 metros aproximadamente, y otro que comienza a partir de los 270 metros de profundidad.



Figura VII.12. Ejemplos de salida de agua de captaciones surgentes procedentes de sistemas acuíferos confinados. A) Muestra C1. B) Muestra C2. C) Muestra C3. D) Muestra C4. E) Muestra C5.

N° de Muestra	Profundidad	Surgencia	Imagen	Observaciones
C1	s/d	Al menos 1 m	Fig. VII.12. A	-
C2	300 m	Al menos 6-7 m	Fig. VII.12. B	Barretos
C3	300 m	s/d	Fig. VII.12. C	Castelberti
C4	285 m	1, 5 m	Fig. VII.12. D	Ea. El Once
C5	220-240 m	5 m aprox.	Fig. VII.12. E	Ea. La Hortencia
C6	214 m	Al menos 1 m	-	-
EC5	450 m	s/d	-	Ea. San José

Tabla VII. 5. Pozos censados en el sistema confinado y sus características mas destacables.

Las profundidades de perforaciones, en todos los casos fueron infromadas por los propietarios de campo o encargados de los mismos. La surgencia del agua de los sistemas confinados fue en algunos casos infromada (C4, C5, C6) y en otras ocasiones estimado (C1, C2).

La muestra C2, conocido como el "surgente Barretos" se encuentra abierto permanentemente, y tiene una surgencia de al menos 6-7 metros con un caño de diametro de 10 cm aproximadamente, completo; este establecimiento se destaca ya que aquí el agua fue embotellada para ser utilizada como agua mineral.

VII.3.c. HIDROGEOQUÍMICA

Conocer la composición geoquímica del agua subterránea es de gran importancia, ya que este recurso puede estar siendo utilizado por la población para distintos usos y actividades. Además, es una componente necesaria en la evaluación de los sistemas acuíferos, ya que considera la interacción entre el agua y los sólidos y también los gases en el subsuelo. Esto permite comprender el funcionamiento del sistema principalmente, los vinculados a las reacciones químicas y los cambios que producen sobre los compuestos naturales y antropogénicos y su vinculación con los aspectos hidrodinámicos, además de lo que implica en los diversos usos que se le da al recurso.

Los iones que se encuentran disueltos en el agua subterránea se dividen en *mayoritarios*, *minoritarios* y *trazas*. Los primeros son **cloruros, sulfatos, bicarbonatos-carbonatos, calcio, magnesio, sodio y potasio**, que están siempre presentes y en concentraciones superiores al 99%. Los iones minoritarios son los que se encuentran en una concentración menor al 1% del contenido iónico total, pudiendo

o no estar presentes en un agua natural, siendo los más importantes: hierro, nitrito, nitrato, flúor, aluminio, sílice, litio, fosfato (etc.). Los iones que se encuentran en un porcentaje menor al 0,1% son los iones trazas, como el arsénico.

VII.3.c.i. Acuífero libre

A partir de las mediciones de los parámetros in situ y los análisis obtenidos en el laboratorio se realizó un análisis estadístico descriptivo de las variables más importantes, para esto se tuvo en cuenta un total de 23 muestras de agua del acuífero libre. Los estadísticos descriptivos más importantes se muestran en la tabla VII.6 (la planilla completa de los resultados analíticos se muestran en el anexo II).

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
pH	23	7,22	8,92	7,83	0,42
CE [uS/cm]	23	1103,00	19420,00	6764,21	4751,75
SDT [mg/l]	23	772,00	13594,00	4734,95	3326,22
CO ₃ [mg/l]	23	0,00	72,20	5,77	19,20
HCO ₃ [mg/l]	23	170,00	2225,00	683,64	451,45
SO ₄ [mg/l]	23	92,50	4140,80	1502,20	1255,66
Cl [mg/l]	23	80,00	4714,30	1107,56	1160,35
Na [mg/l]	23	157,70	3033,40	1198,83	843,09
K [mg/l]	23	12,20	96,00	42,30	24,47
Ca [mg/l]	23	4,80	728,00	147,23	172,82
Mg [mg/l]	23	10,20	617,70	98,39	144,94
As [mg/l]	23	8,00	800,00	156,86	188,62
F [mg/l]	23	0,12	10,00	2,57	2,84
NO ₃ [mg/l]	23	0,00	590,00	109,82	135,67

Tabla VII.6. Estadísticos descriptivos más importantes de las variables analizadas

▪ **Calidad del agua**

Una primera aproximación del comportamiento químico regional del acuífero puede obtenerse a partir de la interpretación de las curvas de isoconductividad eléctrica, que como es sabido expresa la salinidad del agua. De este modo se confeccionó el mapa de conductividad eléctrica (CE) del agua del acuífero freático (Fig. VII.13). En la tabla VII.5 se puede observar los valores mínimos y máximos de CE, siendo estos 1.103 $\mu\text{S/cm}$ y 19.420 $\mu\text{S/cm}$ respectivamente, con una media de

4734,95 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Atendiendo a que la CE expresa la salinidad, ésta varía entonces en la zona de 772 mg/l a 13.594 mg/l.

Se observa que el 43,48% pertenece a **aguas saladas**, el 39,13% son **aguas salobres**, y el 17,39% restante corresponde a **aguas dulces**. Es decir que más del 80 % de las muestras extraídas del acuífero son saladas o salobres.

En el mapa de distribución de las CE se puede observar una distribución areal moderadamente compleja, ya que varía ampliamente en escasas distancias y está vinculada a las unidades geomorfológicas definidas, a características estructurales, litología y, en menor medida, aspectos antrópicos. Los altos valores de CE se deben a que la zona de estudio es receptora del flujo de circulación regional presentando el agua una mayor evolución hidroquímica, dada por la ganancia de sales (disolución de sales, hidrólisis de silicatos, etc) debido al tiempo de contacto agua-sedimento en el trayecto recorrido desde cuenca alta-media.

La divisoria de aguas subterráneas coincidente con el bloque elevado de la falla del Saladillo genera un área de recarga preferencial del agua de lluvia, lo que conjuntamente con las lomas, otorgan el comportamiento diferencial de la calidad del agua. En los sectores de bajos, mal drenados en donde el agua aflora formando bañados, aumenta la salinidad por procesos de evaporación (como es el caso de la muestra B18), y por la presencia de materiales finos que favorecen la mayor permanencia del agua en contacto con los materiales. En algunos casos, el aumento de la salinidad se debe a procesos de contaminación puntual, como es el caso de la muestra B22.

Los bajos valores de CE se deben a la recarga puntual por agua de lluvias como es el caso del bloque elevado, evolucionando a aguas más saladas a medida que se aleja del área de recarga, y a pequeñas lomas que funcionan como recarga (como es el caso de B8, y B25 y EB19), o a recarga preferencial por influencia local de los cuerpos de aguas superficiales, principalmente del río Cuarto que posee conductividades menores a las del acuífero freático en el área por donde circula, y también en los casos de algunas lagunas temporales que acumulan, por un cierto período, agua de lluvia (B23). Dado que la localidad de Canals recibe agua dulce procedente de un acueducto desde Bell Ville y que no posee sistema cloacal, sino que

evacua sus excretas por medio de sistemas de saneamiento in situ, es probable que la calidad del agua del acuífero freático en esa zona se ve afectada por la recarga puntual de los "pozos negros", aspecto que no ha podido corroborarse dada la escala regional de trabajo utilizada.

Para la clasificación geoquímica del agua subterránea, se utilizó también el diagrama de Piper-Hill (Fig. VII.14), como para el caso de las aguas superficiales, con el cual podemos decir que el 78,26% de las muestras son **sulfatadas y/o cloruradas sódicas**, y el 21,74% restante pertenecen a aguas **carbonatadas-bicarbonatadas sódicas**.

Además se utilizó el criterio de Custodio (1993) para una más precisa clasificación, los resultados indican una gran variabilidad en el carácter geoquímico, se trata de aguas del tipo **bicarbonatada sódica** (21,74%), **sulfatadas sódicas** (21,74%), **cloruradas sódicas** (13%), y mixtas **cloruradas-sulfatadas sódicas** (17,4%), **bicarbonatadas-sulfatas sódicas** (8,7%), **sulfatadas-bicarbonatadas sódicas** (8,7%), y **sulfatadas-cloruradas sódicas** (8,7%).

Para mostrar la variación espacial de la composición geoquímica del agua se realizaron los gráficos de Stiff modificados, que están compuestos por 3 ejes horizontales, cada uno de ellos une un catión con un anión, los cationes se encuentran dispuestos a la izquierda del eje vertical del diagrama (K^+Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++}), y los aniones a la derecha (Cl^- , SO_4^{--} , $HCO_3^-+CO_3^{--}$). Los ejes horizontales tienen la misma escala y las concentraciones se encuentran en meq/L. Los diagramas son representados en un mapa de clasificación geoquímica del acuífero freático (Fig. VII.15).

La distribución geoquímica del agua en el acuífero freático es muy similar a la distribución de la salinidad, por lo tanto, los valores más bajos de CE se corresponden con las aguas bicarbonatadas sódicas, y los mayores valores de CE se correlacionan con las aguas sulfatadas y cloruradas. La ubicación de las mismas en el acuífero freático depende de los motivos antes mencionados al explicar la distribución de la CE.

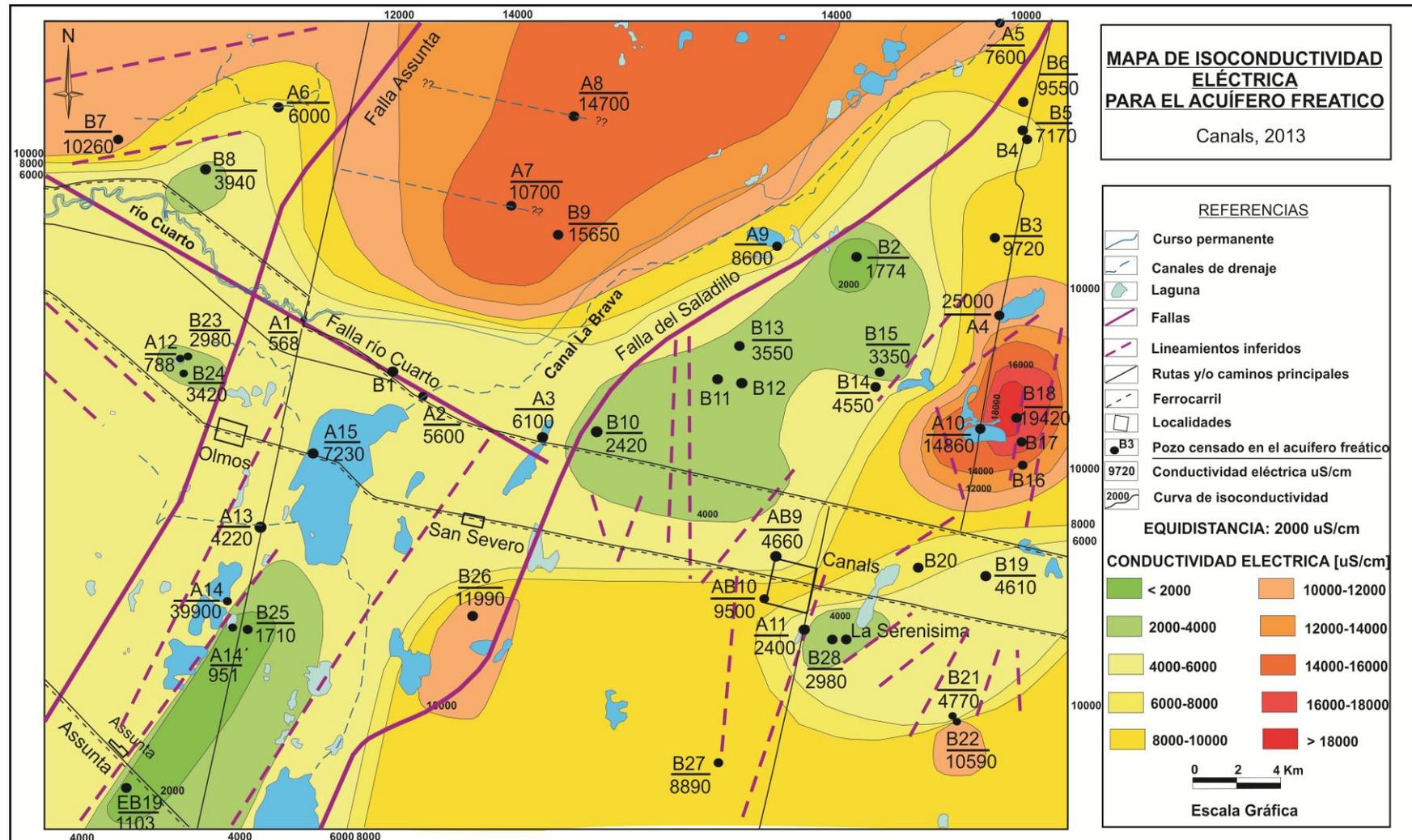


Figura VII.13. Mapa de Conductividad Eléctrica del acuífero libre. Canals

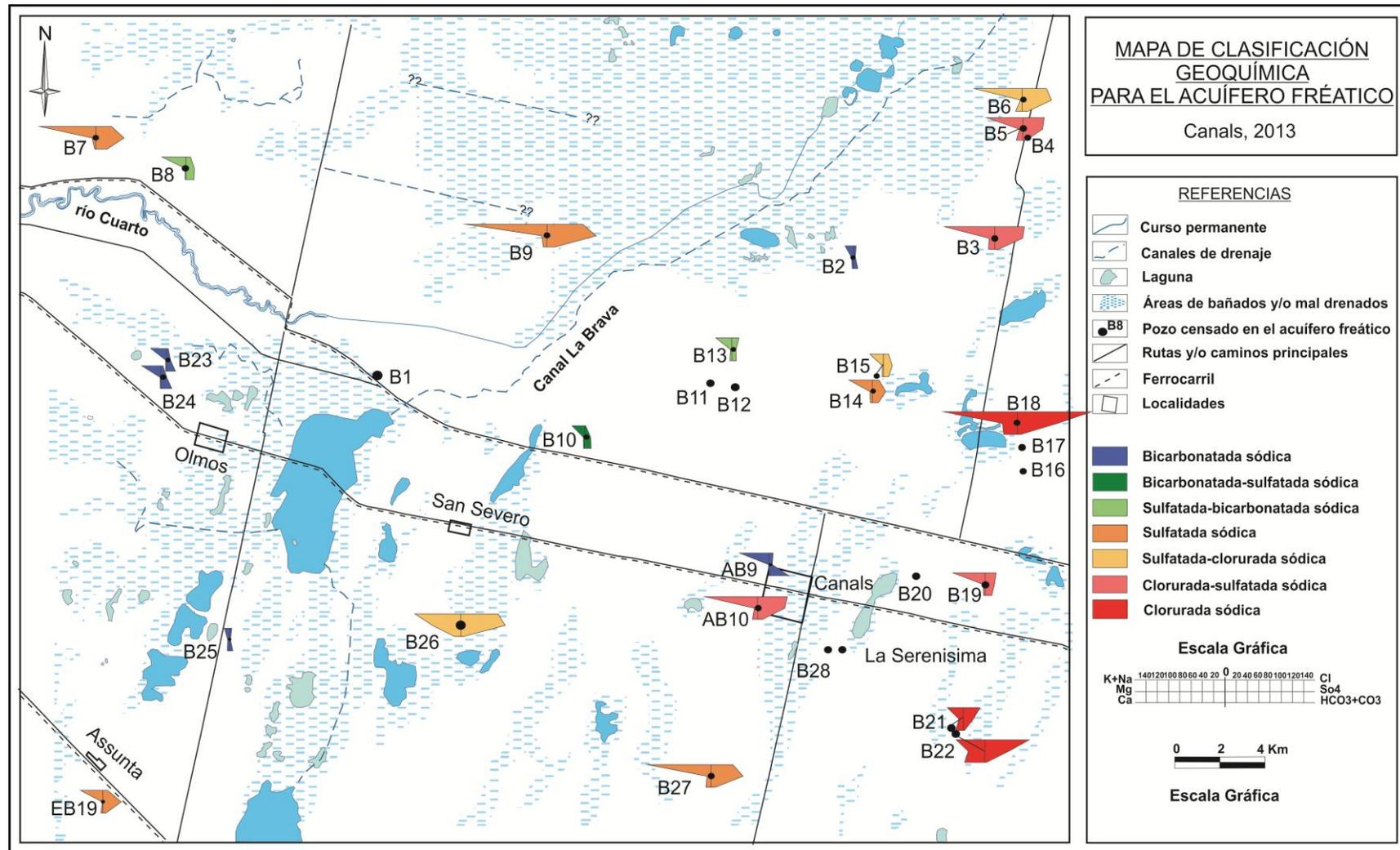


Figura VII.15. Mapa de Clasificación Geoquímica del acuífero libre, para la zona de La Carlota-Canals.

La variabilidad de carácter geoquímico del agua del acuífero freático, muestra la importancia de los tres **aniones mayoritarios (bicarbonato, sulfato y cloruro)** presentes en la zona.

En el caso de las especies del carbono, bicarbonato y carbonato, su presencia depende fuertemente de los valores de pH determinados (Fig. VII.16), y no son oxidables ni reducibles en aguas naturales. Además, suelen precipitar con mucha facilidad como CaCO_3 debido a que son iones muy pocos solubles (poseen Kps muy bajo). Su concentración en el agua se da como consecuencia de procesos de disolución e hidrólisis de los carbonatos por parte del agua de lluvia.

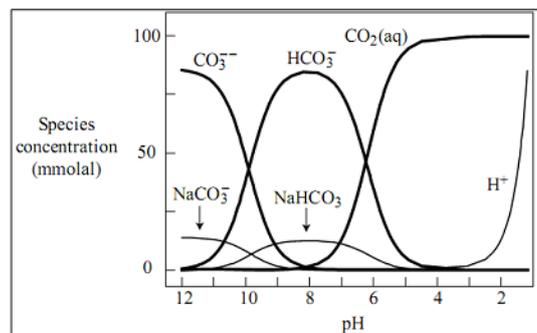


Figura VII.16. Especies de C vs pH. Fuente: Bethke (2002)

Por otro lado, el ion sulfato es muy estable, forma sales moderadamente solubles a muy solubles y precipita químicamente en aguas naturales con mayor dificultad, especialmente cuando existen procesos de evaporación. Procede de disolución de sales sulfatadas (yeso, anhidrita) que pudiera haber en áreas de hirohalomorfismo y también del aporte del agua de lluvia. Cabe destacar que este ion puede ser incorporado por el hombre con el uso excesivo de fertilizantes (por ejemplo sulfato amónico).

Por último, el ion cloruro, en las aguas subterráneas procede fundamentalmente del aporte de agua de lluvias como ocurre en la región (Blarasin, 2003; Cabrera 2009; Matteoda, 2012), es un ion muy estable en solución y muy difícilmente precipita (posee Kps muy elevados). No se oxida ni se reduce en aguas naturales, siendo así el ion conservativo por excelencia, además tampoco es absorbido significativamente ni entra a formar parte de procesos bioquímicos. Sí precipita en superficie por las elevadas tasas de evaporación que concentran la solución salina que se encuentra en lagunas y

bañados, por lo que en ambientes deprimidos como el estudiado es común que haya cloruro de sodio precipitado en superficie en épocas secas.

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

Un aspecto importante de destacar en la calidad del agua subterránea en la zona es la presencia de nitratos (NO_3^-), arsénico (As), y flúor (F^-), reconocidos a través del estudio geoquímico realizado en las muestras censadas. El control sobre las concentraciones de estos elementos en el agua subterránea es de suma importancia por los perjuicios que pueden generar en la salud humana y animales.

Los límites de aptitud de uso humano que se utilizan para el presente trabajo son los estipulados por la Secretaria de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba (SRH).

Nitratos

Los nitratos son uno de los elementos químicos más problemáticos y difundidos potenciales contaminantes del agua subterránea. La contaminación del agua subterránea por nitratos es el resultado del movimientos 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 es 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).

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 que existe contaminación.

El origen de la contaminación antrópica, puede deberse a *fertilizantes* como la urea, fosfato de amonio y sulfato de amonio, que utilizados excesiva o inapropiadamente puede causar daños ambientales severos como la eutrofización en aguas superficiales y la contaminación del agua subterránea (FAO, 1980; Moiser et al.,

2004). Otra fuente posible de nitratos se le asigna a *excretas animales* producidas por la actividad ganadera extensiva e intensiva (feed lots, tambos) y demás animales, y de los humanos.

El límite admisible de nitratos en aguas para el consumo humano es de 45 mg/l. De las 23 muestras extraídas del acuífero libre, 10 poseen tenores de NO_3^- por debajo de este límite, 3 tienen un valor de entre 45-100 mg/l, 6 se encuentran entre los 100 y 200 mg/l, y 4 muestras superan los 200 mg/l (Figs. VII.17 y VII.18). La presencia de NO_3^- en la mayoría de las muestras sugiere que el acuífero está siendo afectado por procesos de contaminación.

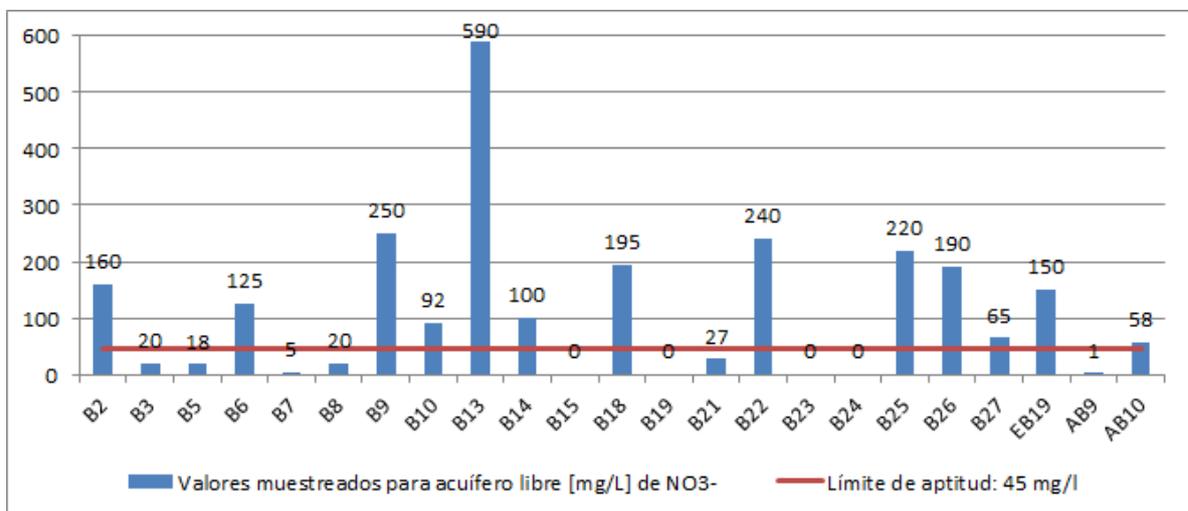


Figura VII.17. Valores de Nitratos para el acuífero libre en la zona de Canals

Para aquellas muestras con tenores menores a 45 mg/l la presencia se debería a contaminación difusa dada en la zona por la práctica agrícola (siembra directa). En cambio los valores superiores a 45 mg/l se deberían a la contaminación puntual, principalmente procedente de corrales de animales (bovinos y feed lot), que representa una alta carga de materia orgánica nitrogenada. El valor más elevado pertenece a la muestra B13 donde se observa la presencia de corrales de animales bovinos muy próximos a la captación de agua y cultivo de soja, en B22 tres años atrás se realizaba cría intensiva, y ahora solo se realiza engorde vacuno, en B25 se observan corrales de cerdos, ovejas dispersas y cultivo de soja, habiendo existido un tambo 7 años atrás (Fig. VII.19).

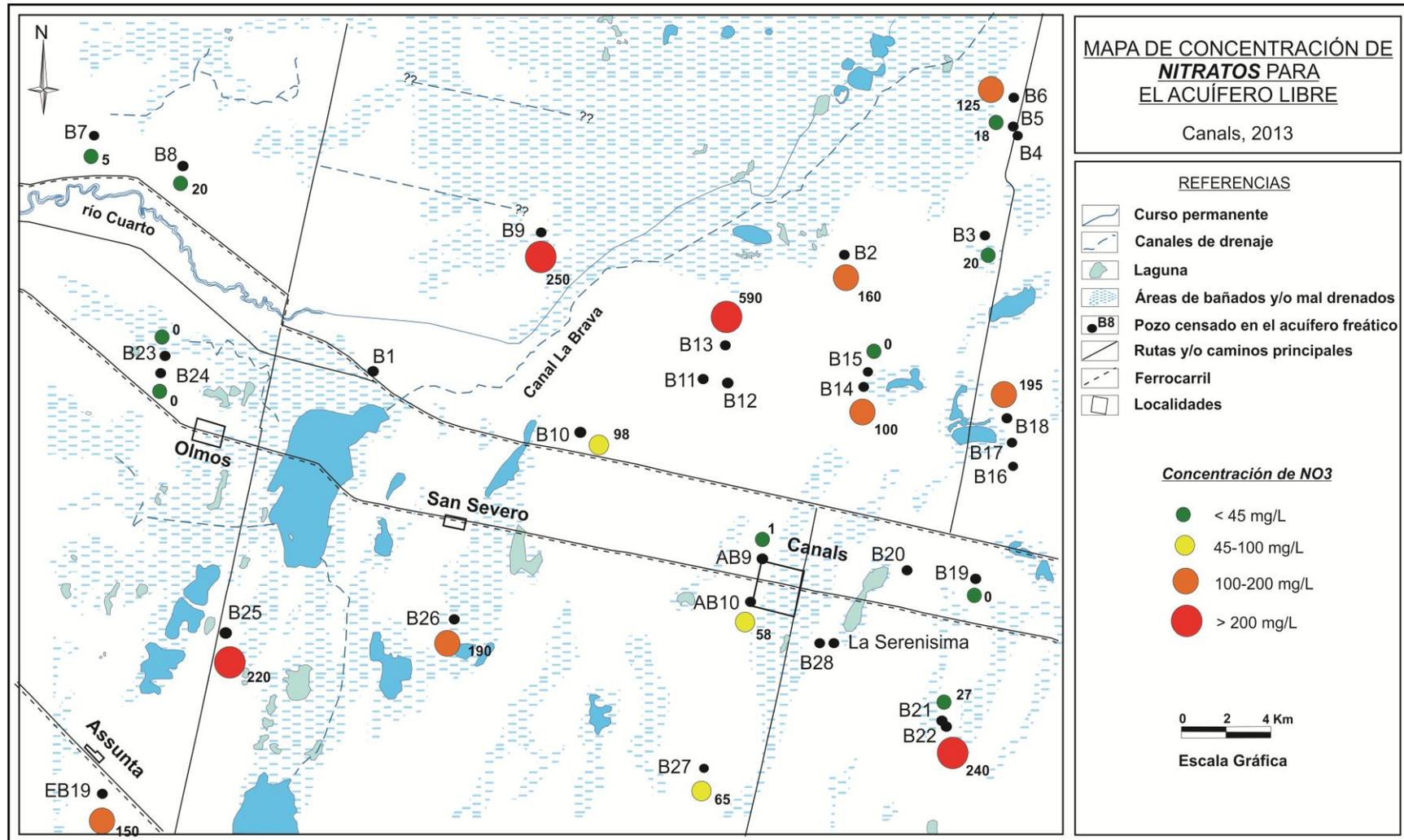


Figura VII.18. Mapa de distribución de concentración nitratos para el acuífero libre. Canals

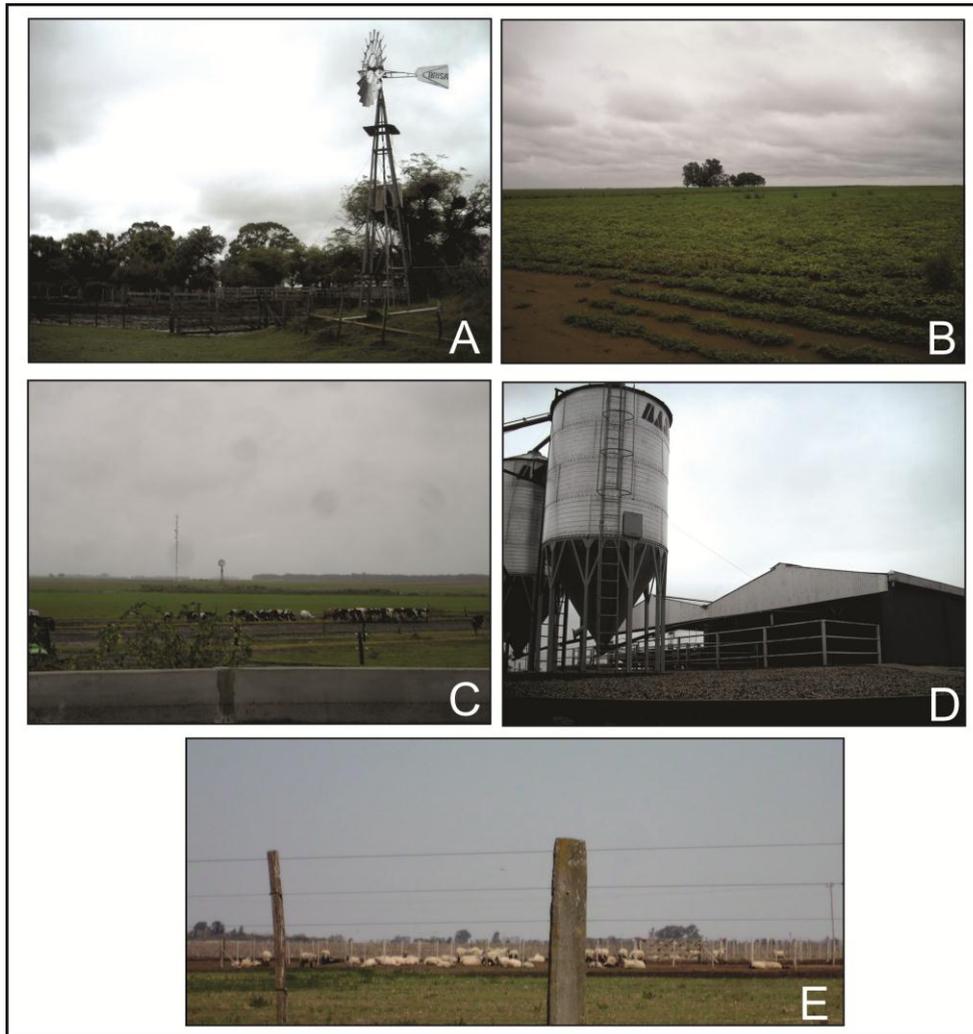


Figura VII.19 A) Captación de molino próxima a corrales. B) Cultivo de soja próxima a "A". C) Animales próximos a captación. D) Tambo correspondiente a la imagen C. E) Ovejas en modalidad intensiva.

Flúor

Números autores de todo el mundo han investigado la fuente de este elemento, pero no existe una única y sencilla razón que explique su presencia. Se citan como probables fuentes de este elemento en aguas para la llanura Chaco Pampeana, principalmente a fluorita (CaF_2) y fluorapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$), minerales muy comunes en los sedimentos loésicos típicos de la llanura y, en forma subordinada, a anfíboles, micas y piroxenos (Edmunds & Smedley, 1996; Villalba, 1999). Algunos autores sugieren que el F^- podría proceder del vidrio volcánico contenido en el loess pampeano (Nicolli et al., 1997; Gonzalez et al., 2009). Los mismos, sugieren además, conjuntamente con otros autores que han investigado la geoquímica del flúor en otras partes del mundo (Armienta y Segovia, 2008; Ayenew, 2008; Rango et al., 2009; Viero

et al., 2009; Johannesson, 2009) que el F^- queda liberado al agua a través del mecanismo de disolución del vidrio volcánico y minerales que contengan flúor en su composición, por ejemplo fluorita. Para la mayoría de los autores el vidrio volcánico es extremadamente reactivo y meteorizable por lo que a altos pH puede disolverse y aportar elementos minoritarios y trazas. Sin embargo, según otros autores (Zack, 1980; Chandra et al., 1981; Blarasin, 1984; Ussunoff, 1996; Villalba, 1999; Dalmaso et al., 2005; Shaji et al., 2009) el F^- también puede quedar liberado al sistema acuífero por intercambio aniónico en minerales que ceden este ion y retienen otros, tales como OH^- y Cl^- .

La presencia de CO_3Ca (calcretos o calcita) en los sedimentos, produce la liberación de iones Ca^{+2} y HCO_3^- al medio ($CaCO_3 + H_2O + CO_2 = Ca^{+2} + 2 HCO_3^-$) por disolución, en función de la presión parcial del CO_2 . Los Ca^{+2} liberados pueden quedar retenidos entonces en las arcillas pero también pueden ser tomados por los iones F^- para precipitar CaF_2 . Por lo tanto, es esperable la existencia de una importante correspondencia positiva de F^- con HCO_3^- y con Na^+ , lo que define la relación de altas concentraciones de F^- con aguas bicarbonatadas sódicas, mientras que se espera buena correlación pero negativa de F^- con Ca^{+2} .

La ingesta diaria del fluor con altos tenores del mismo, producen como efecto principal fluorosis dental, y puede afectar a los huesos cuando se encuentra en cantidades muy altas.

El límite admitido para el consumo humano para la región es de 1,3 mg/l. El 51,2% de las muestras se encuentra por debajo de este límite, el 21,7% presentan valores de concentración de 1,3 a 3 mg/l, el 13% de 3 a 5 mg/l, y el 13% superan valores de 5 mg/l (Figs. VII.20 y VII.25).

En la zona se observa moderada-alta y significativa correlación entre el F^- y As ($r = 0,769$ y $p = 0,01$), moderada y significativa entre F^- y pH ($r = 0,553$ y $p = 0,01$), buena entre F^- y HCO_3^- ($r = 0,64$ y $p = 0,01$), y baja correlación negativa entre F^- y Ca^{+2} ($r = -0,375$) (Fig. VII.21).

Todo esto, permite asumir que el condicionante más importante en las variaciones observadas está vinculada principalmente a los aspectos litológicos (que tiene más uniformidad en el acuífero freático) e hidrológicos locales, asumiendo que la

fuente de aporte principal de F^- al agua serían los materiales loésicos de la región (eólicos puros o bien loess retransportado por los ríos) que poseen alto porcentaje de vidrio volcánico, fluorapatita, anfíboles, piroxenos, entre otros, (Blarasin, 1984, Hernández, 1985) y están parcialmente cementados con $CaCO_3$ (calcretos). Atendiendo a la alta correlación F-As, se asume entonces que el mecanismo de liberación de F^- al agua sería la disolución de vidrios volcánicos que liberarían estos iones.

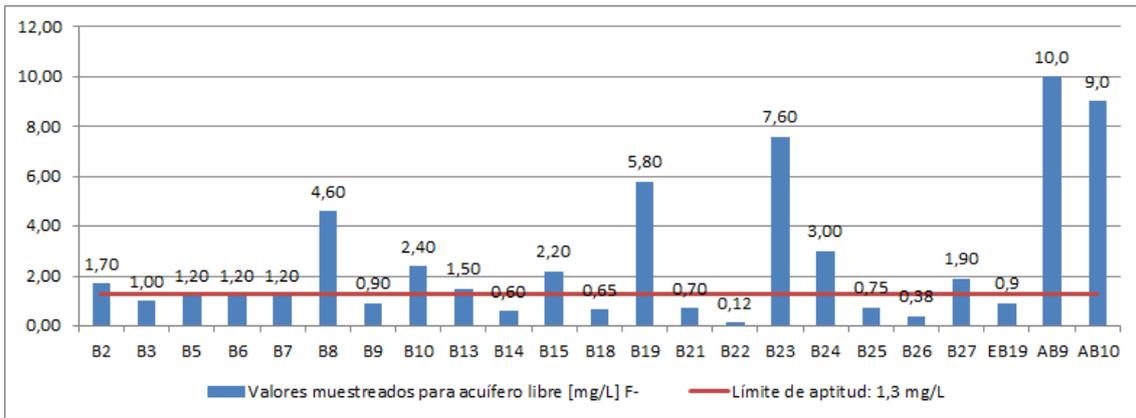


Figura VII.20. Valores de Flúor para el acuífero libre en la zona destudio

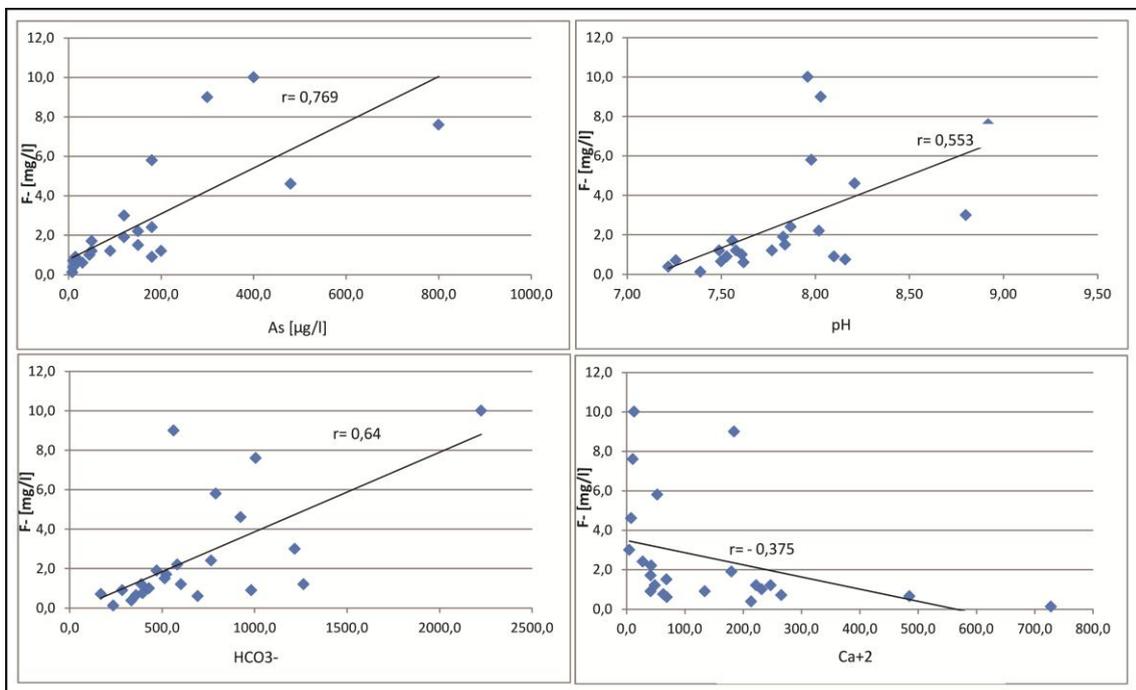


Figura VII.21. a) F^- vs As; b) F^- vs pH; c) F^- vs HCO_3^- ; d) F^- vs Ca^{+2} .

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 aguas naturales son más frecuente las formas en estados +3 (arsenitos) y +5 (arseniato), y las especies químicas más importantes son As, H_3AsO_3 , H_2AsO_4^- , HAsO_4^{2-} (Fig. VII.22). Estas especies son altamente solubles y estables bajo un amplio rango de condiciones de Eh y pH. Así, bajo condiciones oxidantes y en el rango de pH de muchas aguas naturales, domina la especie arseniato (+5) mientras que bajo condiciones reductoras y para los mismos pH, domina la especie arsenito (+3). Sin embargo, bajo condiciones reductoras y en presencia de sulfuros, la movilidad del arsénico se reduce por precipitación como oropimente, rejalgárico o arsenopirita. Además, la movilidad del As está fuertemente restringida por sorción sobre $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y $\text{Al}(\text{OH})_3$, siendo la forma arseniato (+5) más fuertemente sorbida que la forma arsenito (+3).

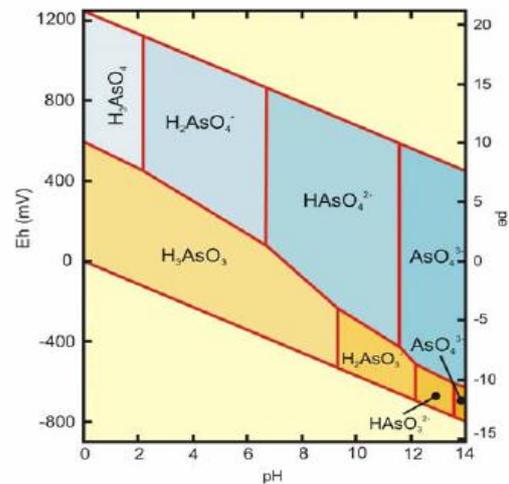


Figura VII.22. Diagrama de estabilidad de As en el rango de Eh-pH de aguas naturales. Fuente: Lehr (2005).

Según Nicolli, et al. (1985), Nicolli et al. (2005 y 2007) y Nicolli (2006) la fuente de As de los sedimentos en la llanura Chaco Pampeana sería el vidrio volcánico del loess (este mineraloide ha sido identificado para la región del Sur de Córdoba en muy altos porcentajes (Blarasin, 1984 y Hernández, 1984, Matteoda, 2012, Giuliano Albo, 2013). El vidrio volcánico es un líquido metaestable superenfriado, que al encontrarse afectado por los procesos típicos del ciclo exógeno, principalmente bajo ciertas condiciones atmosféricas, comienza a alterarse, liberando en su disolución iones tales como As, Na^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2} . Por otro lado, Smedley et al. (2000), Nicolli et al (2005 y 2007) y Nicolli (2006) sostienen la hipótesis de que altos pH y altos tenores de HCO_3^- favorecen los procesos de desorción de As adsorbido a óxidos y oxi-hidróxidos de Fe y Al. A escala de tiempo geológico los mecanismos de adsorción-desorción tienden a ser más rápidos que los de disolución-precipitación. Finalmente para que haya As en concentraciones elevadas en el acuífero, éste no se tiene que haber perdido por

intercambio con la fase sólida o dilución, requiriéndose para ello de flujos de circulación muy lentos.

Por otro lado, Smedley (1996) propone que las fuentes naturales más importantes de este elemento al agua son los minerales sulfurosos (oropimente (As_2S_3), arsenopirita (FeAsS), realgar (AsS) y enargita (Cu_3AsS_4) en donde el As se encuentra como constituyente mayoritario. Además, el As puede ser constituyente secundario de sulfuros (pirita, calcopirita, esfarelita, galena, pirrotina) y óxidos de hierro principalmente (aunque también puede estar asociado a óxidos de Al y Mn). Los sulfuros al formarse bajo condiciones reductoras pueden incorporar As a sus estructuras y luego al cambiar las condiciones del medio (Eh y pH) pueden oxidarse y liberar el As al agua, mientras que los óxidos adsorben el As sobre su superficie (mecanismo más efectivo de retención de As en los sedimentos) y luego los liberan al medio acuoso por desorción.

La ingesta diaria y continua de dosis elevadas de arsénico produce una enfermedad en las personas llamada HACRE (Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico).

El límite para el consumo humano, según la SRH de Córdoba, es de 50 ug/l. De las 23 muestras tomadas, 8 se encuentran por debajo de ese límite, 3 poseen valores entre 50-100 ug/l, 8 entre 100-300 ug/l, y 4 presentan concentraciones superiores o iguales a 300 ug/l (B8, B23, AB9, AB10) (Figs. VII.23 y VII.25).

En la zona se observa (Fig. VII.24) correlación moderada entre As y pH ($r = 0,644$ y $p = 0,01$), y entre As y HCO_3^- ($r = 0,574$ y $p = 0,01$), y alta correlación entre As y F^- ($r = 0,769$ y $p = 0,01$), lo que indica que estos iones pueden tener un origen común, por ejemplo en las litologías predominantemente loésicas o de loess retransportado de la región, e incluso su afinidad por aguas con altos contenidos de bicarbonatos y altos pH.

Se considera para esta zona que el As es un elemento que aparece naturalmente y que su presencia en el agua del acuífero freático estaría aportado principalmente a partir de la disolución del vidrio volcánico (Nicolli et al., 1997), componente principal de los sedimentos loésicos o de éstos retransportados de la región. A este origen se sumaría como mecanismo de distribución y movilización en el propio acuífero, a la desorción a partir de los óxidos de hierro también constituyentes de los mencionados sedimentos. Finalmente, las bajas

velocidades de circulación del agua subterránea, debido a las conductividades hidráulicas relativamente bajas del acuífero y a los bajos gradientes hidráulicos alcanzados, darían las condiciones apropiadas de flujo muy lento para que el As sea transportado y se mantenga en concentraciones elevadas en el agua del acuífero.

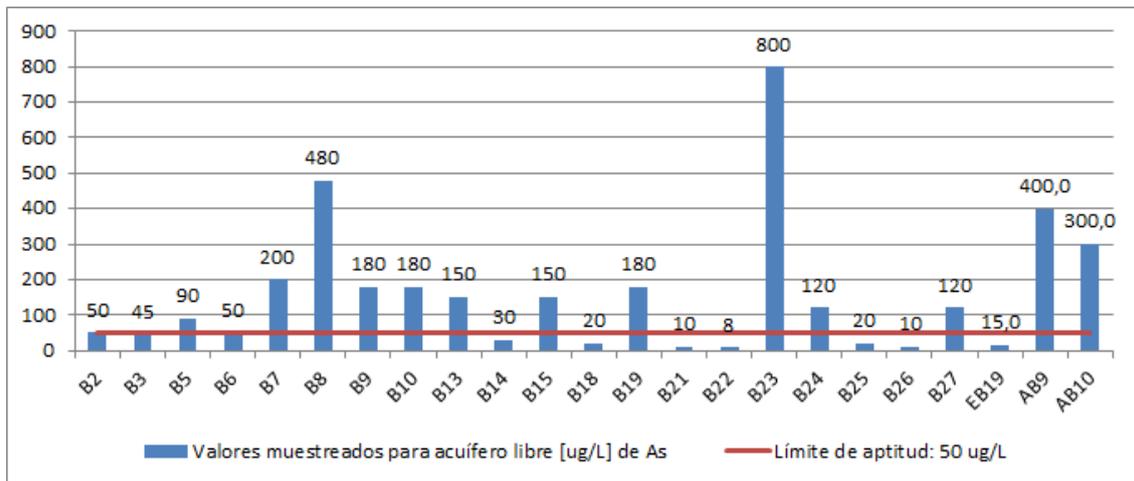


Figura VII.23. Valores de Arsénico para el acuífero libre en la zona de Canals

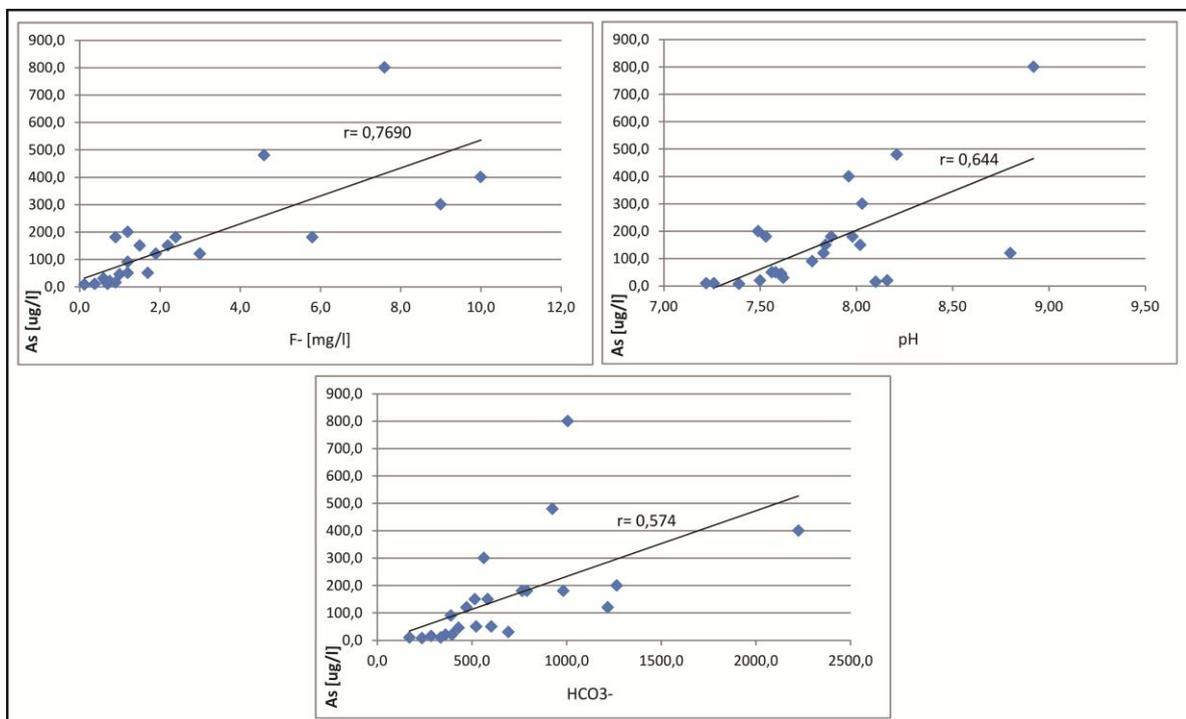


Figura VII.24. a) As vs F⁻; b) As vs pH; c) F⁻ vs HCO₃⁻.

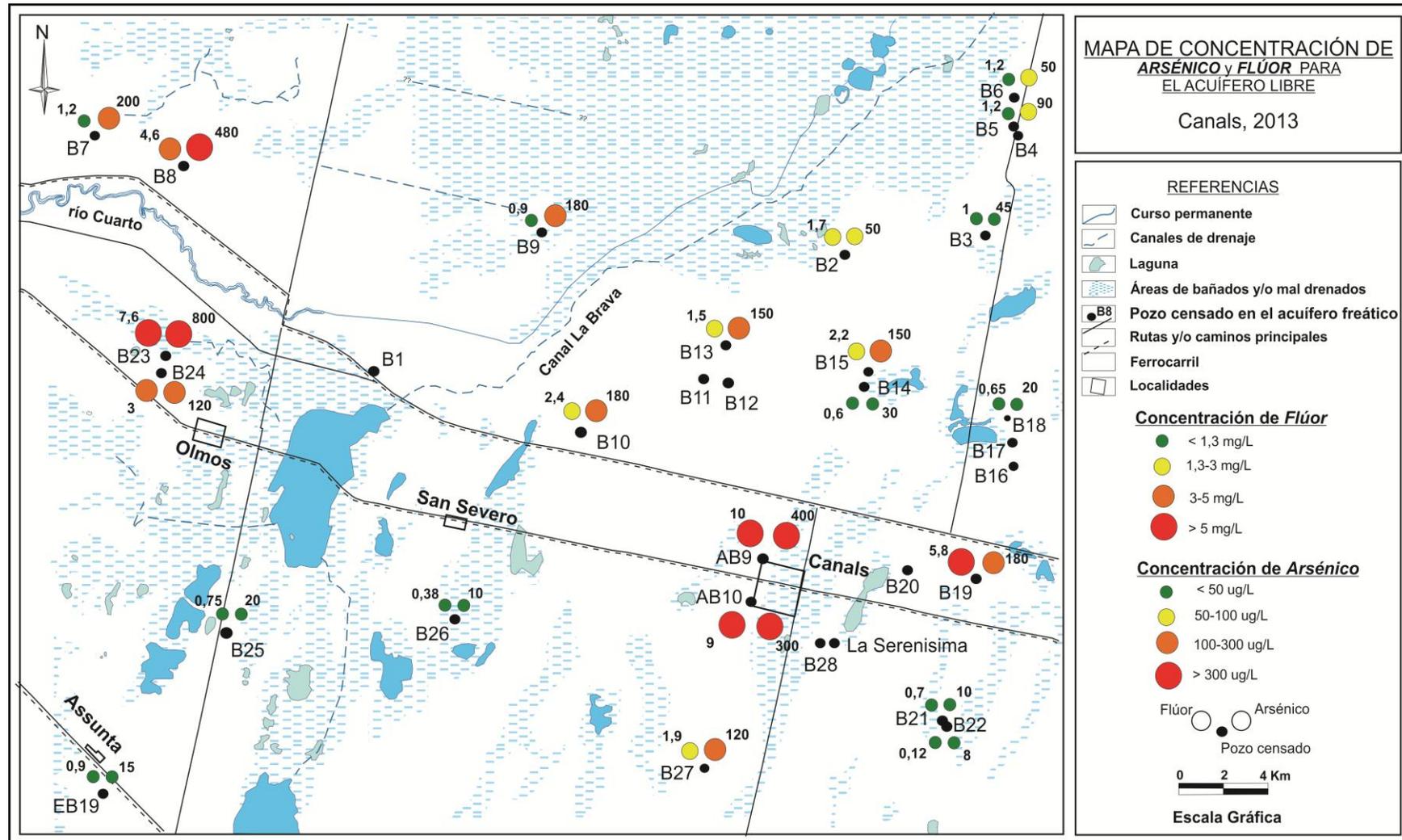


Figura VII.24. Mapa de distribución de concentración de arsénico, flúor y nitratos para el acuífero libre. Canals

Análisis estadístico multivariado de la información geoquímica vinculada al acuífero freático

Se aplicó el análisis de conglomerados (cluster) entre variables, 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 a $\text{pH} > 8,3$).

El **análisis cluster entre variables - Modo R** (Fig. VII.26) muestra dos grandes grupos de variables, unidos con un alto porcentaje, y dos variables individuales, con menor enlace:

a) **Grupo A:** formado por el núcleo pH, F^- al que se le une el As, luego el núcleo $\text{Na}^+\text{-K}^+$, y a estos dos núcleos se une a mayor distancia el HCO_3^- . Este grupo estaría indicando la alta correlación entre el F^- y el As, por tener un origen común, a su vez altamente relacionado al pH y al tipo geoquímico de aguas bicarbonatadas y sódicas.

b) **Grupo B:** está conformado por el núcleo del SO_4^{-2} y Cl^- , al que se le une el Ca^{+2} , y a mayor distancia se une el Mg^{+2} . Este grupo está representado principalmente por los iones mayoritarios, y explica el proceso de salinización del agua, dejando fuera de ellos los que tienen afinidad con F^- y el As.

Las variables individuales son la **CE** y el NO_3^- , la **CE** queda aislada porque se asocia a los dos grupos principales ya que en ambos se presentan iones mayoritarios. El NO_3^- , queda aislado por su particular origen ligado a contaminación, y queda unido a todas las variables anteriores aunque con débil enlace porque cuando aparece en tenores altos (incluso como ion mayoritario) aporta significativamente a la salinidad total del agua.

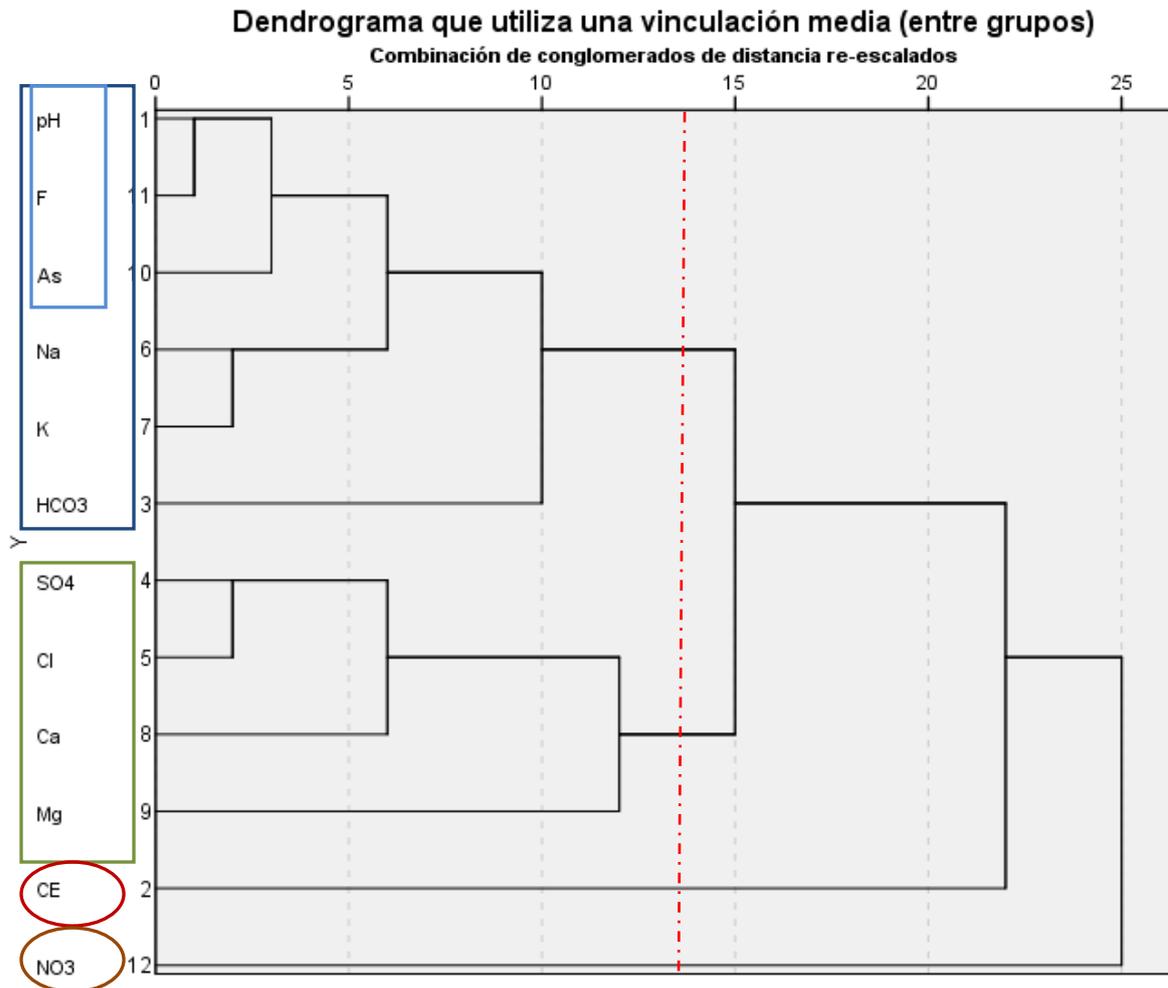


Figura VII.26. Dendrograma entre variables

El **análisis cluster entre observaciones - Modo Q** (Fig. VII.27) resulta en un dendrograma que permite visualizar, con un alto porcentaje, tres grupos y dos observaciones aisladas, con menor enlace, identificados principalmente por el contenido salino. Dos de estos grupos, son los que asocian la mayor cantidad de muestras y se encuentran unidos entre sí con un alto grado mientras que el tercer grupo, que reúne solo a dos observaciones se une a ellos en menor grado que los anteriores.

a) **Grupo A:** asocia a las aguas mas dulces del área de estudio ($< 4.770 \mu\text{S/cm}$). La posición de estas muestras queda restringida a las áreas de recarga preferencial del acuífero, como es la divisoria de aguas vinculada al bloque elevado de la Falla regional del Saladillo y a recarga puntuales dadas por lagunas temporarias que acumula agua de lluvia durante los periodos más húmedos y por el aporte del río

Cuarto (de aguas más dulce) en áreas de influencia del río al acuífero. Dentro de este grupo se puede apreciar subgrupos, el primero es de aguas con una CE intermedia (1.710 $\mu\text{S/cm}$ -2.420 $\mu\text{S/cm}$), y bicarbonatas y bicarbonatadas-sulfatadas, sódicas. El segundo, reúne las muestras con los mayores valores de CE (2.980 $\mu\text{S/cm}$ -4.470 $\mu\text{S/cm}$), con un carácter geoquímico variable. Y por último, la muestra EB19 que posee el menor valor de CE no solo del grupo, sino también del área.

b) **Grupo B:** se caracteriza por presentar mayores CE que el grupo anterior (7.170-11.990 $\mu\text{S/cm}$) y tratarse de aguas más evolucionadas geoquímicamente, sulfatadas, sulfatadas-cloruradas, cloruradas-sulfatadas y cloruradas, siempre sódicas, que representan la salinidad propia de un área de descarga regional.

c) **Grupo C:** unido más débilmente a los dos primeros, esta constituido por las muestras B9 y B18, que presentan los mayores valores de CE para el área de estudio (15.650 $\mu\text{S/cm}$ y 19.420 $\mu\text{S/cm}$, respectivamente) y de carácter geoquímico sulfatado y clorurado, sódico. Estas muestras representarían el área más afectada por procesos de evaporación tales como el Bañados del Saladillo y las áreas imperfectamente drenadas de la planicie elevada oriental.

Por último, las muestras aisladas AB9 (CE = 4.660 $\mu\text{S/cm}$) y AB10 (CE = 9.500 $\mu\text{S/cm}$), se unen a todos los grupos anteriores pero en un muy bajo grado, debido a que si bien sus salinidades las deberían incorporar a los grupos A y B, respectivamente, sus contenidos elevados de Arsénico y Flúor no lo permiten.

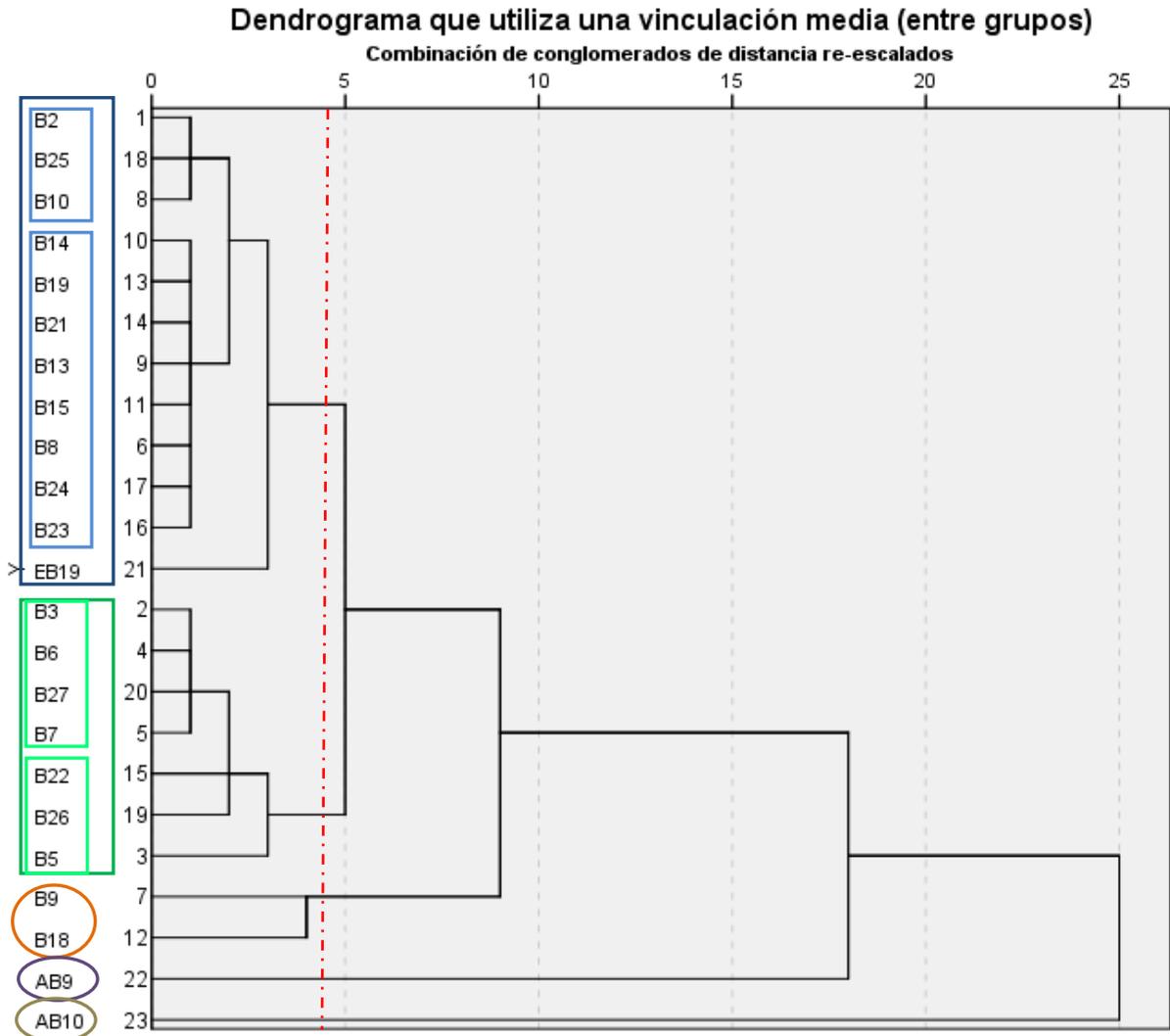


Figura VII.27. Dendrograma modo Q

VII.3.c.ii. Acuífero confinado

En la tabla VII.7 se muestran los estadísticos más importantes analizados para las 7 muestras de las perforaciones presentadas en el ítem VII.3.b.ii y que captan agua de los sistemas profundos de la zona estudiada.

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
pH	7	7,50	7,79	7,64	0,10
CE [μ S/cm]	7	948,00	4630,00	2655,42	1230,39
SDT [mg/l]	7	663,60	27440,00	7258,80	10125,07
CO ₃ [mg/l]	7	,00	,00	0,00	0,00
HCO ₃ [mg/l]	7	262,50	3625,00	908,57	1243,40
SO ₄ [mg/l]	7	193,30	1747,90	946,77	537,14
Cl [mg/l]	7	45,70	305,70	174,15	85,71
Na [mg/l]	7	167,80	910,00	548,74	258,01
K [mg/l]	7	8,20	15,80	11,75	3,34
Ca [mg/l]	7	23,20	68,00	52,80	15,29
Mg [mg/l]	7	4,40	14,10	9,82	3,52
As [μ g/l]	7	30,00	230,00	121,42	71,51
F [mg/l]	7	,35	29,00	8,78	12,26
NO ₃ [mg/l]	7	,00	1,20	0,87	0,39

Tabla VII.7. Estadísticos descriptivos principales de las muestras de agua del acuífero confinado del área de estudio

▪ **Calidad del agua**

Las conductividades eléctricas determinadas para estos sistemas van desde 948 μ S/cm hasta 4.630 μ S/cm, que representan valores de salinidad de 664 mg/l y 3.241 mg/l respectivamente, con una media de 2655,42 μ S/cm (SDT =7258,8 mg/l). El 71,4% de las muestras son **aguas dulces**, y el porcentaje restante pertenecen a **aguas salobres** (según el criterio de Custodio y Llamas, 1983).

Para la clasificación geoquímica del agua de los sistemas de acuíferos confinados se graficaron las muestras en el diagrama de Piper-Hill (Fig. VII.28), a través del cual se puede indicar que el carácter del agua es **sulfatado y/o clorurado sódico**; y según el criterio de Custodio (1993) 6 de las 7 muestras son **sulfatadas sódicas**, y la restante es **bicarbonatada-sulfata sódica**.

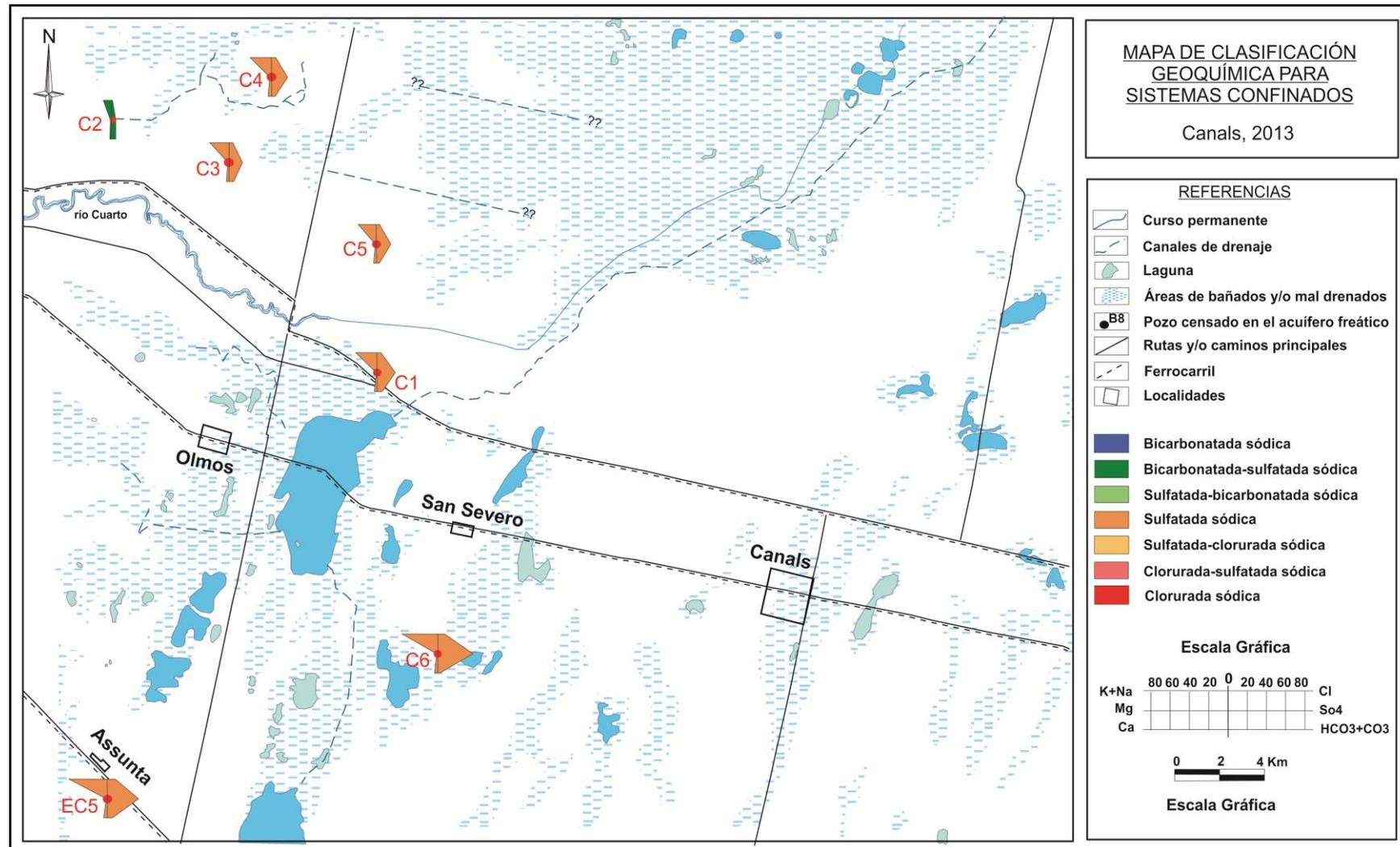


Figura VII.28. Mapa Calcificación Geoquímica de los sistemas de acuíferos confinados, para la zona de La Carlota- Canals.

Elementos minoritarios y trazas para los sistemas confinados: Nitratos, Arsénico y Flúor

Nitratos

Los valores para el acuífero confinado (Figs. VII.30 y VII.33) son de 0 mg/l (14,3% de las muestras), 1 mg/l (71,4%) y 9 mg/l (14,3 %), encontrándose en todos los casos por debajo del límite admisible. Estos muy bajos valores son coherentes con el sistema que se analiza, ya que este sistema profundo se encuentra más protegido que el acuífero libre frente a las contaminaciones antrópicas. Los pequeños valores detectados pueden deberse a procesos naturales por ejemplo a la presencia de una fuente de aporte, como puede ser la materia orgánica, que se haya depositado en forma conjunta con los sedimentos que los constituyen.

Arsénico

El sistema acuífero confinado presenta valores desde 30 ug/l hasta 230 ug/l (Figs. VII.31 y VII.33), el 14,3% de las muestras se encuentran por debajo del límite admisible de As, y el 65,7% se encuentra por encima del límite admisible.

La presencia de este elemento en el agua de los sistemas profundos indicaría la presencia de minerales portadores en el propio acuífero, y el mecanismo de liberación al agua sería la disolución de mineraloides tales como el vidrio volcánico sumado a la desorción a partir de óxidos de Fe y Mn en los materiales que constituyen estos acuíferos. En esta región se ha detectado efectivamente vidrio volcánico en estas capas profundas (Maldonado, 2013).

Flúor

Las muestras tomadas en el sistema acuífero confinado arrojaron valores por debajo de 1,3 mg/l en un 100%. En las figuras VII.32 y VII.33 se pueden observar los distintos valores obtenidos para cada muestra. A pesar de que se ha detectado vidrio volcánico en estos sistemas, los valores de flúor son bajos ya que, a bajos valores de pH, este material no es fácilmente alterable. Lo que no se puede decir con precisión, como si lo fue en el caso del acuífero freático, es que la fuente sea la misma, ya que los datos recolectados son muy pocos, y no se puede precisar si hay diferenciaciones dentro del sistema confinado presentado.

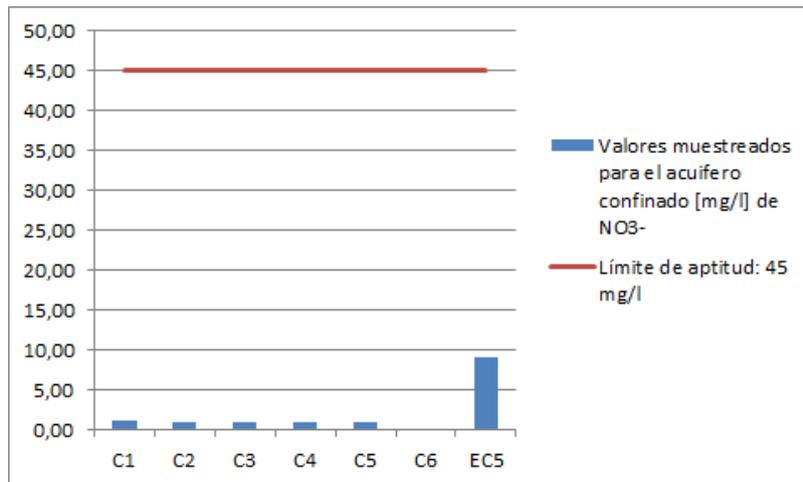


Figura VII.30. Valores de Nitratos para el sistema confinado en la zona de La Carlota-Canals.

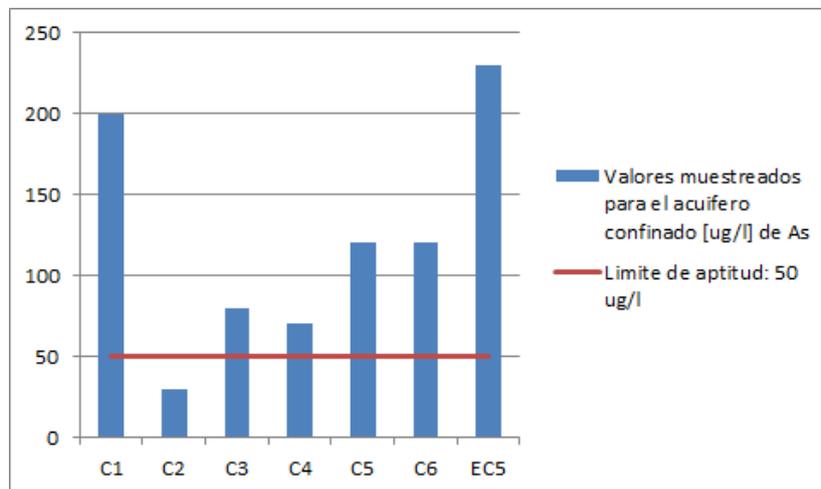


Figura VII.31. Valores de Arsénico para el sistema confinado en la zona de La Carlota-Canals

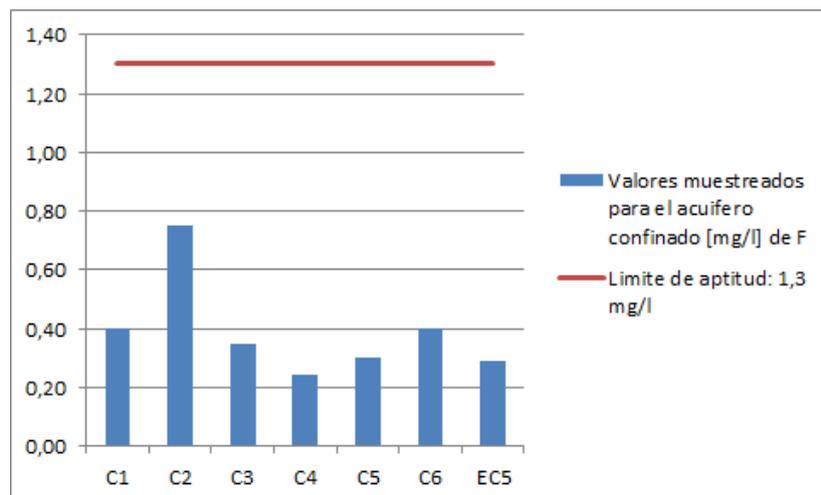


Figura VII.32. Valores de Fluor para el sistema confinado en la zona de La Carlota-Canals

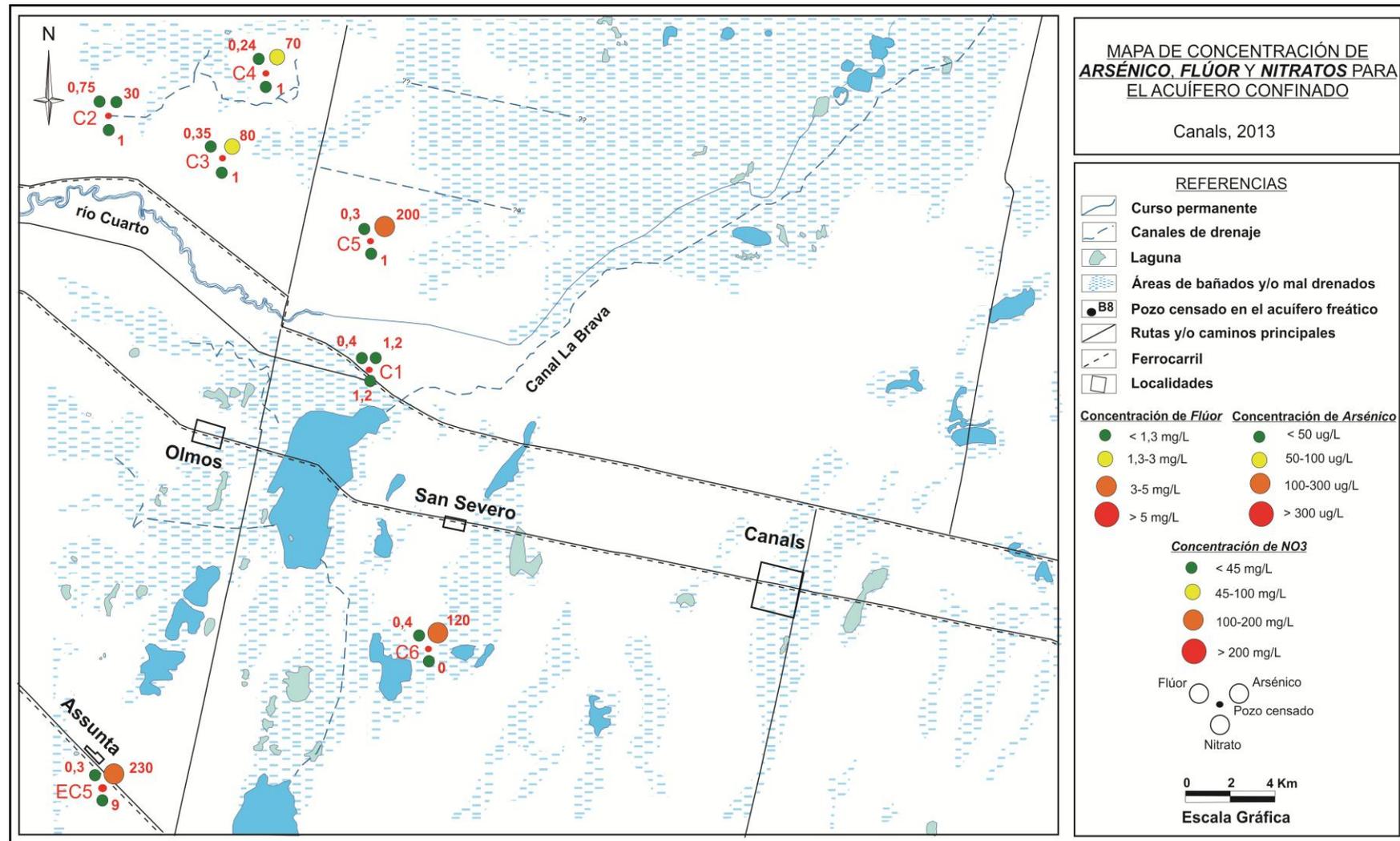


Figura VII.32. Mapa de distribución de concentración de arsénico, flúor y nitratos para el sistema acuífero confinado. La Carlota-Canals

VII.3.c.iii. MODELACIÓN GEOQUÍMICA

Breve introducción a la modelación geoquímica

Se define como **modelo hidrogeoquímico** a toda construcción teórica o conceptual que engloba el conjunto de reacciones químicas que tienen lugar en un acuífero determinado. Se basa en la teoría termodinámica que permite predecir cómo reaccionarán los componentes en sistemas de diferentes complejidad y cuál será el estado final (de equilibrio) del sistema una vez finalizadas las reacciones (Martínez, et al., 2000).

La **modelación hidrogeoquímica** es una herramienta muy importante que permite comprender el origen de la composición del agua y la causa de sus variaciones espaciales y temporales. Sin embargo, un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de establecer un modelo numérico es que se debe tener un acabado conocimiento del modelo conceptual sobre el funcionamiento hidrogeológico del área estudiada.

Los modelos hidrogeoquímicos numéricos sirven para verificar la verosimilitud de un modelo conceptual. Un modelo numérico válido no prueba de forma unívoca que el modelo conceptual es el correcto, pero un modelo conceptual no puede ser correcto si no se puede formular un modelo numérico.

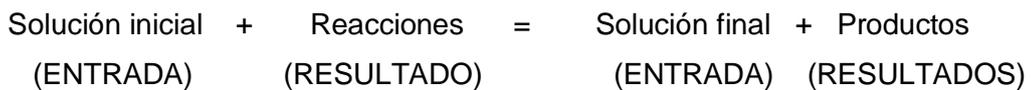
Existen dos tipos de modelación geoquímica:

a) **Modelación directa**: Se aplica a aquellas situaciones donde se conoce la composición inicial de una solución y se establecen las reacciones hidrogeoquímicas que se piensan tienen o tendrán lugar en el sistema, se obtiene como resultado una solución final que es el producto de esas reacciones. Permite hacer predicciones sobre el funcionamiento del sistema en situaciones hipotéticas o con un nivel elevado de incertidumbre sobre las características del medio.

Solución inicial + Reacciones = Solución final + Productos
(ENTRADA) (RESULTADO)

Como resultado de esta modelación se obtiene un único modelo que brinda una serie de fases reactivas cuyas reactividades están restringidas por balance de masas y equilibrio termodinámico.

b) **Modelación Inversa o de balance de masas:** Se aplica en aquellos casos en donde se conoce la composición inicial y final de una solución caracterizada a lo largo de una línea de flujo y los minerales y gases presentes en el medio. A través de esta modelación se calcula mediante balance de masas cuáles son las reacciones atribuidas a disolución o precipitación de las fases reactivas, que pueden explicar los cambios de composición observados en el agua subterránea (Martínez, et al., 2000).



Como resultado de esta modelación se obtienen varias posibles soluciones o puede no converger en ninguna. En el primer caso, el modelador es quien deberá aceptar la más realista en base al modelo conceptual planteado y desechar aquellos inconsistentes, ya que la modelación inversa, como ya se explicó, está basada sólo en cálculos de balance de masas e inherentemente no considera restricciones termodinámicas en el sistema. Al respecto se hace necesario el cálculo de los índices de saturación de las fases reactivas para poder demostrar cuál es la solución más realista.

MODELACIÓN GEOQUÍMICA DEL ACUÍFERO FREÁTICO EN LA ZONA ESTUDIADA

Se aplicó la modelación geoquímica de tipo inversa, la cual permite conocer, a partir de datos observados en una solución inicial y en una final a lo largo de una línea de flujo, las reacciones químicas que tienen lugar en el medio y que condujeron a la evolución observada, asumiendo flujo de tipo pistón. Para la modelación, se aplicó el programa computacional NETPATH (Plummer et al., 1991), por tratarse de una buena herramienta para hacer las primeras aproximaciones de balances de masas. Este programa ha sido diseñado para el cálculo de la distribución de las especies químicas a partir de: a) disolución de minerales, b) procesos de mezcla entre aguas de diferente composición, c) cambios en la temperatura, d) procesos de evaporación y e) cambios en las condiciones redox.

Se ha partido del modelo hidrogeoquímico conceptual, descrito anteriormente, intentando corroborar los procesos de ganancia o pérdida de los componentes

mayoritarios del agua, en función del modelo de evolución geoquímica del agua en el acuífero.

En la modelación inversa realizada se consideraron diferentes escenarios en el ámbito local, de manera de poder simular la evolución del agua del acuífero freático. Además, se simularon las mezclas de agua producidas en sectores de bloques elevados, entre el agua de lluvia que recién ingresa al sistema y el agua propia del acuífero que viene circulando desde sectores pedemontanos. En este marco se contemplaron los siguientes escenarios de modelación:

Evolución geoquímica local por el flujo de circulación:

Para esta situación se siguió la evolución a lo largo de la línea de flujo comprendida entre los pozos B7 y B9 (Fig. VII.10 y tabla VII.8).

N° de Muestra	pH	CE [μS/cm]	CO ₃ ⁼ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺² mg/l	Mg ⁺² mg/l
B7	7,49	10260	0,0	1265,0	2544,2	1028,6	2536,9	58,9	48,8	82,4
B9	7,53	15650	0,0	982,5	4140,8	2250,0	3354,9	61,5	134,4	92,7

Tabla VII.8. Datos físico-químicos de las muestras utilizadas para la modelación, B7 y B9.

Las restricciones (constraints) o datos químicos utilizado son, por lo expresado anteriormente, HCO₃⁻, SO₄⁻², Cl⁻, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ y K⁺. Las fases contempladas, seleccionadas en función de la mineralogía típica de los sedimentos descripta para la zona, son:

- *Reacciones de intercambio catiónico (Ca⁺²/Na⁺)*, típicas en este tipo de sedimentos finos con una importante proporción de arcillas, principalmente illitas, y en menor grado materia orgánica.

- *Illita*, por ser la fracción de arcillas dominante en los sedimentos presentes, en función del clima dominante en la zona (Schiavo, 1991; Ortolani, 2007, Grumelli et al., 2008).

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

- CO_2 gas, disuelto en el agua y responsable principal de la agresividad del agua. Esta fase ha sido considerada por tratarse el sistema analizado de un acuífero libre o freático y por lo tanto abierto al intercambio con CO_2 con la atmósfera, aunque también deriva de actividades biológicas y de algunos procesos de contaminación

- *Biotita, albita y diópsido*, por ser los minerales presentes en el loess en mayor porcentaje. Teniendo en cuenta 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.

- *ClNa*, esta fase fue utilizada como artificio para simular la fuente de Cl^- , ya que en aguas subterráneas poco profundas el Cl^- es derivado casi exclusivamente de la atmósfera, se mantiene inerte y se conserva durante todos los procesos hidrogeoquímicos (Edmunds, 1996). Así, el agua de circulación regional va tomando e incorporando Cl^- desde cuenca alta a cuenca baja por lo que éstos aumentan en la solución. A este proceso, si bien se supone el de mayor influencia sobre el aumento de cloruros desde el pozo inicial al final, el programa no permite simularlo, por lo que se ha tenido que recurrir a este artificio. Sin embargo, también existen sales dispersas de este tipo en áreas de hidrohalmorfismo que pueden ser transportadas por el viento y lavadas por el agua de lluvia e incorporada al acuífero.

- *Yeso*, existen sales de este tipo cuyo origen se vincula fundamentalmente a áreas de hidrohalmorfismo, y se han observado en los perfiles del suelo. Se ha considerado además, como artificio de manera de poder simular el aporte sulfatos derivado del agua de lluvia que recarga el acuífero en toda la zona.

Las variables físico-químicas correspondientes a cada una de las muestras (B7 y B9) fueron cargadas por medio del módulo DB que ofrece además de la salida para el programa NETPATH, el archivo de ingreso al módulo WATEQF (Plumer et al., 1976, ver ítem 11.6.3.2). El módulo WATEQF, base de datos termodinámicos de gran parte de los programas de modelación, permite conocer para cada muestra en particular, las actividades correspondientes a las concentraciones de los iones cargados, las especiaciones posibles (aunque no se encuentren realmente en el medio estudiado), los coeficientes de actividad, los productos de actividad iónica y los índices de saturación (IS) para todas las fases posibles (estén o no realmente en el medio), de

esta manera se pueden estimar las condiciones de equilibrio de la solución con respecto a diferentes especies minerales.

El IS se define como:

$$IS = \text{Log} (IAP/KT)$$

Donde: IAP = es el producto de actividad iónica.

KT = es la constante de equilibrio termodinámica.

Así, un valor negativo de IS indica que la solución se encuentra subsaturada en la fase mineral considerada (posibilidad de disolución), un IS próximo a cero indica saturación y por lo tanto en equilibrio termodinámico con dicha fase, mientras que un valor positivo de IS indica sobresaturación (posibilidad de precipitación).

Para el caso analizado, se observa que tanto la muestra inicial (B7) como la final (B9) se encuentran sobresaturadas ($IS > 0$) en las fases aragonita (CaCO_3) (IS de 0,076 y 0,342), calcita (CaCO_3) (IS de 0,222 y 0,489), dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (IS de 1,025 y 1,164) y magnesita (MgCO_3) (IS = 0,441 y 0,316 respectivamente). De todas estas fases compuestas de carbonatos de calcio y magnesio, se supone para la zona que sólo hay calcita en el medio, por lo que las demás fases no han sido tenidas en cuenta. Este resultado muestra que las concentraciones presentes ya han alcanzado el equilibrio (KPS) pudiendo precipitar.

Luego de correr el NETHPATH, el programa indica que se han testado 36 modelos posibles de los cuales sólo 4 satisfacen las restricciones tenidas en cuenta (Tabla VII.9).

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Calcita [mmol/l]	-14.95780	-15.14517	-14.24359	-14.43096
CO2 gas [mmol/l]	9.99771	10.18508	9.28350	9.47087
Intercambio [mmol/l]	-----	-----	0.71421	0.71421
Illita [mmol/l]	-----	0.12088	-----	0.12088
Gypsum [mmol/l]	16.89889	16.89889	16.89889	16.89889
NaCl [mmol/l]	34.93708	34.93708	34.93708	34.93708
Dióxido (+) [mmol/l]	0.22271	0.41008	0.22271	0.41008
Albita (+) [mmol/l]	1.42842	1.42842	-----	-----
Biotita (+) [mmol/l]	0.07253	-----	0.07253	-----

Tabla VII.9. Modelos numéricos probables.

El signo (+) en las fases indica que se ha establecido la restricción de sólo disolución. Los signos en los distintos modelos indican que: (+) la reacción ocurre de izquierda a derecha, la sal se disuelve. (-) la reacción ocurre a la inversa, la sal precipita.

Los modelos posibles proponen:

Ganancia de SO_4^{-2} y Cl^- entre los pozos inicial y final mediante disolución de Yeso y de ClNa respectivamente, lo cual se encuentra apoyado por los IS de sales de sulfato y cloruro mostrado por WATEQ. En el caso del Cl^- se interpreta además, en función del artilugio que se utilizó para incorporarlo como fase aceptable por el programa, como un aumento de los mismos fundamentalmente debido a la incorporación de este elemento por el agua de lluvia que se infiltra y que va recogiendo el agua circulando en el acuífero.

La **disminución en HCO_3^-** es explicado casi en iguales proporciones, por la disolución de CO_2 gaseoso, que si bien este proceso produciría aumento de iones HCO_3^- al agua, éstos serían tomados para precipitar calcita en el propio acuífero, este último totalmente factible dada la facilidad de precipitación de estas sales.

Las diferencias observadas entre los 4 modelos posibles radican en la explicación de disminución de HCO_3^- , del aumento en las concentraciones de Na^+ , Ca^{+2} , K^+ y Mg^{+2} .

El **aumento en Na^+** queda justificado de la siguiente manera:

- Todos los modelos justifican el incremento en Na^+ a través de la disolución de las sales ClNa , a lo que se suma:

- En los modelos 1 y 2 la meteorización de albita como fuente de este elemento, en la misma proporción, sin considerar el intercambio catiónico entre la solución y las arcillas.

- En los modelos 3 y 4 la liberación de Na^+ de las posiciones de intercambio de los materiales finos (arcillas) a través del proceso de intercambio catiónico (+) sin considerar a la meteorización de albita.

El **aumento en Ca^{+2}** queda explicado de la siguiente manera:

- Todos los modelos justifican el incremento en Ca^{+2} a través de la disolución del Yeso, y en menor medida a la meteorización del dióxido (en distintas proporciones). La retención de parte de este elemento, casi en iguales proporciones, es debido al proceso de precipitación de calcita que contrarresta el Ca^{+2} aportado por parte del dióxido, a lo que se suma:

- En los modelos 3 y 4 la retención del Ca^{+2} por procesos de intercambio catiónico (+), y liberación de Na^+ explicado anteriormente.

El **aumento en Mg^{+2}** se justifica de la siguiente manera:

- Todos los modelos justifican el aumento de Mg^{+2} por meteorización de dióxido, a lo que se suma:

- En los modelos 2 y 4, a partir de la meteorización de la illita, en proporciones un poco inferior que el dióxido.

- Y en los modelos 1 y 3, la meteorización de la biotita, aportando el Mg al medio en mucha menor medida.

El leve **aumento en K^+** se muestra por:

- Los modelos 1 y 3, sostienen la incorporación de K^+ al medio por la meteorización de la biotita.

- Y los modelos 2 y 4, a partir de la meteorización de la illita, en proporciones levemente mayor que en el caso del aporte por la biotita.

Todos los modelos se consideran apropiados para justificar la evolución geoquímica que sufre el agua en el acuífero freático, porque explican que en el sentido de circulación desde B7 a B9, se produce en orden de importancia:

- La disolución de sales tales como Yeso y de ClNa, produciendo el aumento de SO_4^{-2} , Ca^{+2} , Cl^- y Na^+ en el medio, sumando al aumento de Na^+ , el que procede de la disolución de albita en el caso del modelo 1 y 2, o de la liberación desde las posiciones de intercambio en los modelos 3 y 4, considerándose a estos dos últimos más factibles aún.

- La precipitación de calcita, provocando la disminución de HCO_3^- , aportado por la disolución CO_2 gaseoso.

- La disolución de dióxido, que provoca el aumento en Ca^{+2} y Mg^{+2} .

- La meteorización de illita que aumenta el contenido de K^+ y Mg^{+2} presentes en el medio.

- Los modelos 3 y 4 consideran el intercambio catiónico con la retención de Ca^{+2} en las arcillas liberando el Na^+ , por lo que se consideran los más apropiados.

- Los modelos 1 y 3 proponen la meteorización de biotita, y los modelos 2 y 4 proponen la meteorización de illita, como fuente de aporte del K, considerándose más apropiada la fuente proveniente de illita, ya que es muy abundante en el área de estudio y es más propensa a la meteorización.

Por lo todo lo expuesto anteriormente, el modelo 4, entonces es el que se considera el más apropiado.

Mezcla del agua del acuífero freático y de una laguna de agua de lluvia:

Dado que es difícil explicar en algunos casos muy localizados de pozos con agua dulce en entornos salinos altos, para este escenario de simulación se consideró que la composición de la perforación B23 (Fig. VII.34), ubicada aguas abajo de una laguna compuesta fundamentalmente por agua de lluvia, es el resultado de la mezcla producida entre el agua de la laguna (A12) y el agua del acuífero para el sector ubicado aguas arriba de la laguna, es decir valores de conductividad entre 4000-6000 uS/cm. Dado que no se posee una perforación agua arriba de la laguna se usa para la mezcla una muestra hipotética Bx cuya composición química es representativa de ese contenido salino (Fig. VII.10 y tabla VII.10).

N° de Muestra	pH	CE [μS/cm]	CO ₃ ⁼ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺² mg/l	Mg ⁺² mg/l
Bx	7,98	4610	0,0	790,0	820,8	714,3	854,4	26,4	52,8	43,4
B23	8,92	2980	75,2	1006,3	329,8	125,7	639,0	21,7	10,8	12,0
A12	8,30	920	0,0	135,0	258,3	157,1	270,0	20,5	32,0	3,7

Tabla VII.10. Determinaciones físico-químicas de las muestras B7, B23 y A12.

Se tuvieron en cuenta las mismas restricciones (constraints) y fases que las utilizadas en las modelaciones anteriores, y se considera al proceso de evaporación propio del área con el nivel freático próximo a superficie (3 m). En este caso, se observa que la muestra del agua de la laguna (A12) se encuentra subsaturada en todas las fases (IS<0), mientras que la muestra hipotética Bx se encuentra sobresaturada (IS>0) en las fases aragonita, calcita, dolomita y magnesita (IS de 0,534, 0,683, 1,570 y 0,538, respectivamente), considerándose en función de la mineralogía del acuífero, que sólo calcita está presente en el medio. La muestra (B23) resultado de la mezcla entre estas composiciones resulta sobresaturada en aragonita (IS = 0,865), calcita (IS = 1,014), dolomita (IS = 2,385), huntita (IS = 1,298) y magnesita (IS = 1,022).

Luego de correr el NETHPATH el programa indica que han testeado 56 modelos de los cuales sólo 3 satisfacen las restricciones consideradas (Tabla VII.11).

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Agua del acuífero (Bx) (+) (%)	0.96798	0.96798	0.96798
Agua de la laguna (A12) (+) (%)	0.03202	0.03202	0.03202
Calcita [mmol/l]	8,74989	-----	-1,89009
CO2 gas [mmol/l]	4,47943	13,22933	15,11941
Intercambio [mmol/l]	10,63998	1,89009	-----
Illita [mmol/l]	0,72485	0,72485	0,72485
Gypsum [mmol/l]	1,92905	1,92905	1,92905
Albita (+) [mmol/l]	-----	17,49979	21,27996
Factor de dilución (%)	5,547	5,547	5,547

Tabla VII.11. Modelos numéricos probables para la simulación de mezcla entre el agua de una laguna y del acuífero de una muestra típica para el área de estudio.

El signo (+) en las fases indica que se ha establecido la restricción de sólo disolución. Los signos en los distintos modelos indican que: (+) la reacción ocurre de izquierda a derecha, la sal se disuelve. (-) la reacción ocurre a la inversa, la sal precipita.

Los modelos posibles proponen en la misma magnitud una relación de mezcla dada por un 96,8% de agua del acuífero y un 3,2% del agua de la laguna. Además, para poder explicar la composición de la muestra resultante, proponen como los procesos geoquímicos más importantes, en igual proporción, la meteorización de illita y la disolución de yeso, y con un factor de dilución del orden de 5,5% (igual para los tres modelos); y en distinta magnitud, la meteorización de albita (17,5 y 21,3 mmol/l, para los modelos 2 y 3, y el modelo 1 no la tiene en cuenta), la incorporación del CO₂ (4,5; 13,2 y 15,1 mmol/l, respectivamente para los modelos 1, 2 y 3) y el intercambio catiónico (10,6 y 1,9 mmol/l para los modelos 1 y 2 respectivamente). Respecto a la calcita, el modelo 1 propone la disolución de calcita (8,7 mmol/l), no correspondiéndose con los IS obtenidos; el modelo 2 no tiene en cuenta esta fase y el modelo 3 considera la precipitación de calcita (-1,9 mmol/l).

De los 3 modelos posibles, se consideran más probables los números 2 y 3. El modelo 3 es el único que propone precipitación de calcita de manera de contrarrestar el aumento considerable de HCO₃⁻ procedente de la disolución del CO₂ y meteorización de albita en alto grado (15,1 mmol/l y 21,3 mmol/l, respectivamente) ya que no considera al intercambio catiónico Ca⁺²/Na⁺. El modelo 2 en cambio no considera la precipitación de calcita, pero sí intercambio catiónico y meteorización de albita (1,9 mmol/l y 17,5 mmol/l, respectivamente). Por el contrario, como ya fuera

enunciado, no se considera adecuado el modelo 1 porque propone disolución de calcita, lo cual no puede ser sostenido dado que la muestra resultante se encuentran sobresaturadas en esta fase.

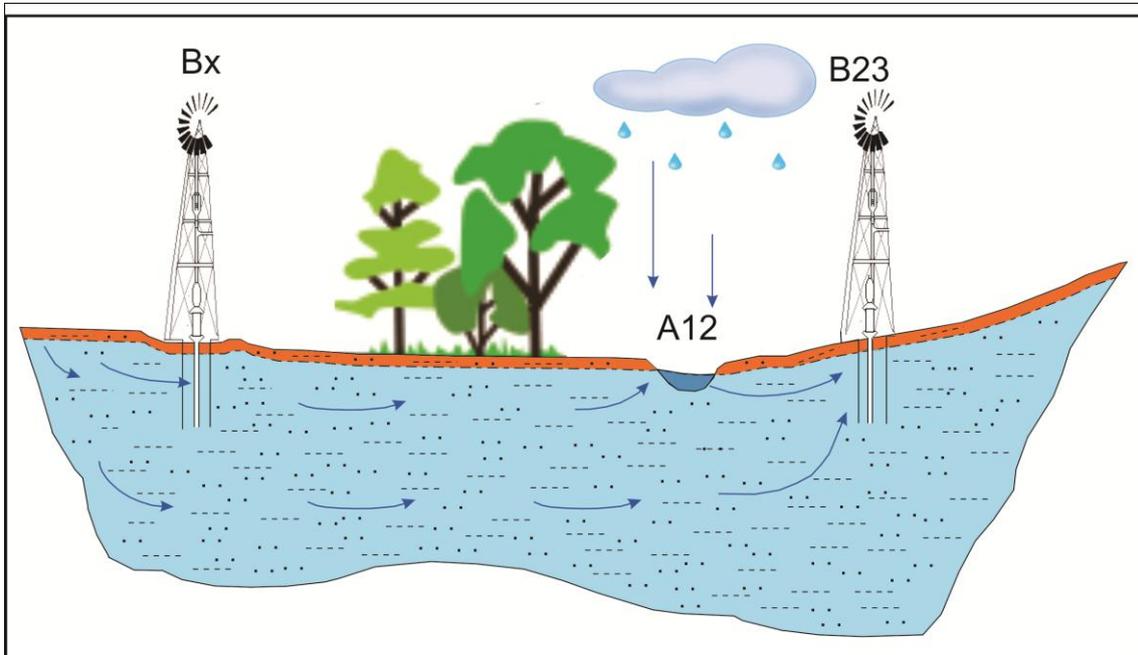


Figura VII.34. Diagrama esquemático representativo del modelo geoquímico: mezcla de dos aguas

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES

“Cada historia tiene un final, pero en la vida cada final
es un nuevo comienzo”.

CONCLUSIONES

La zona de estudio es una planicie típica de cuenca baja, con procesos de anegamiento e hidrohalomorfismo, que posee un fuerte control estructural, dado principalmente por las fallas "del Saladillo" (NNE-SSO) y del "río Cuarto" (E-O), lo que le confieren cierta complejidad al área, condicionando la hidrología superficial y subterránea. La falla regional del Saladillo, de mayor importancia para el área, genera bloques diferencialmente ascendidos. El bloque elevado, al Este, posee características, en general, propias de una planicie elevada aunque en él se distingue la presencia de bajos imperfectamente drenados. Al Oeste, el bloque hundido, genera la depresión central de los sistemas laguna La Brava y los bañados del Saladillo, se constituyen en el área de descarga regional de todo el Sur provincial.

Los sedimentos aflorantes en la zona estudiada son arenas finas a muy finas, y arenas finas limosas correspondiente a depósitos cuaternarios fluviales (río Cuarto) y eólicos, respectivamente. Los materiales más antiguos observados en perforaciones profundas pertenecen al Neógeno, representados por una sucesión de arcillas pardas con intercalaciones de arenas medias y gruesas, y limos, correspondientes a la Formación Ituzaingó del Plioceno y a la Formación Entre Ríos del Mioceno y, a la regresión marina Paranaense del Mioceno, denominadas comúnmente como arcillas verdes o azules en la que se intercalan arenas limosas, de la Formación Paraná.

El clima es mesotermal subhúmedo-húmedo, con precipitaciones medias anuales de 861 mm (1935-2011), que se concentran principalmente en primavera-verano (75,9%), con máximos en el mes de Marzo (126 mm) y mínimos en Agosto (19 mm). Tanto el balance hídrico modular como el seriado muestran excesos hídricos para la zona. El balance modular, muestra excesos de agua importantes (40 mm) durante marzo-abril y octubre-noviembre, mientras que durante enero y agosto muestra escaso déficit hídrico en el suelo (4 mm). El balance hídrico seriado muestra excesos hídricos en la mayoría de los años (media anual de 129 mm) y pequeños déficit pero muy frecuentes en los inviernos (80,30%). Este aspecto es importante ya que condiciona el comportamiento hidrológico superficial y subterráneo en la región.

El área de estudio se inserta en una zona de gran importancia en cuanto a la hidrología superficial para el Sur de Córdoba, ya que es la receptora de los sistemas de drenajes de la región. El río Cuarto, en su tramo terminal, es el principal curso que atraviesa el área. El canal La Brava, que atraviesa toda la zona hasta desembocar en el río Saladillo, conecta las lagunas de la región Sur con los bañados del Saladillo. La red de drenaje efímera se organiza de forma subdendrítica y radial centrípeta,

conformada por flujos que convergen en un centro común deprimido, constituido por las grandes áreas anegadas y/o lagunares. Son en general, numerosos escurrimientos pequeños, cortos e irregulares, que circulan en variadas direcciones (W-E, SW-NE, SE-NE), controlados por pequeños altos y bajos, que generan en ocasiones pequeñas cuencas endorreicas.

Entre las lagunas de régimen permanente se distinguen la laguna La Helvecia correspondiente a los Bañados del Saladillo y la laguna La Brava de la unidad geomorfológica homónima. La calidad del agua indica que son principalmente saladas y sulfatadas sódicas lo que está directamente vinculado a la evolución geoquímica que adquieren las aguas en la zona dada la posición de cuenca baja, receptora del flujo de circulación regional de todo el Sur provincial, a lo que se suma el proceso de evaporación típico de estas zonas. Por el contrario, las lagunas temporarias que se forman en áreas deprimidas a partir de precipitaciones y que permanecen varios meses dado el sustrato impermeable que impide su infiltración, poseen aguas dulces, y en ocasiones suelen ser responsables de la recarga puntual del acuífero.

El acuífero libre está constituido por materiales limosos y arenosos muy finos, con diferentes grados de cementación carbonática, con intercalaciones de depósitos levemente más permeables (arenas finas). Posee un espesor promedio de 80 m y tiene su hidroapoyo sobre una capa de arcillas limosas pardas de 10 m de espesor aproximado. Por debajo se observa la alternancia de capas potentes de arcillas con estratos más pequeños de arenas medias a gruesas y arenas limosas, que son las que alojan los sistemas confinados. El acuífero libre es en general homogéneo a una escala más regional ya que los sedimentos finos son predominantes en el área de estudio, sin embargo a escalas de mayor detalle aparecen ciertas heterogeneidades que implican anisotropías desde el punto de vista hidráulico en una escala más local. Se les asigna valores de 1-2,2 m/día a los materiales que predominan en la cuenca, de tipo arenas muy finas limosas. Los valores de K en los sectores con materiales más gruesos (arenas finas) podrían alcanzar 2-5 m/d. Para los sistemas confinados se establecieron K del orden de 100 m/d.

El sentido del flujo subterráneo es coincidente con el sentido de escurrimiento superficial, siendo en general hacia el Noreste. La morfología de la superficie freática es suavemente ondulada con gradientes hidráulicos y velocidades de circulación, bajos (0,02%-0,21% y 0,0026 m/d-0,04 m/d, respectivamente). Las profundidades del nivel freático son muy variables, desde aflorante, en las áreas de lagunas, a máximos de hasta 6 m. En la zona de estudio, la descarga principal del acuífero freático ocurre

en las áreas deprimidas dando origen a numerosas áreas deprimidas dando origen a bañados y lagunas de carácter permanente. Además, se observa la descarga en algunos tramos del río Cuarto. Sin embargo, se destaca una divisoria de aguas, con una dinámica diferencial que muestra una divergencia de líneas de flujo, coincidente con el bloque elevado de la falla regional del Saladillo, el que se constituye en el área de recarga preferencial más importante del acuífero freático en la zona. A pesar de ellos, también se observa recarga puntual al acuífero asociado a lomas menores.

La calidad del agua del acuífero freático, dada principalmente por su salinidad y el carácter geoquímico, posee una distribución espacial moderadamente compleja, ya que varía ampliamente en escasas distancias y está vinculada a las unidades geomorfológicas definidas, a características estructurales, litológicas y a aspectos antrópicos. Los valores de CE varían desde mínimos de 1.103 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a máximos de 19.420 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El 43,48% de las aguas son saladas, con un carácter geoquímico del tipo bicarbonatada sódica (21,74%) y sulfatadas sódicas (21,74%) principalmente. Los altos valores de CE y los caracteres más evolucionados se deben a que la zona de estudio es receptora del flujo de circulación regional presentando el agua una mayor evolución hidroquímica, dada por la ganancia de sales dado el tiempo de tránsito del agua por los materiales del acuífero. Los valores de CE más bajos y los caracteres menos evolucionados se deben a la recarga local por agua de lluvias como es el caso de la divisoria de aguas subterráneas coincidente con el bloque elevado de la falla del Saladillo y a pequeñas lomas que funcionan como áreas de recarga puntual, o a recarga preferencial por influencia de los cuerpos de aguas superficiales, como el río Cuarto (en sus tramos influentes) y lagunas temporarias.

El 43,5% de las muestras extraídas del acuífero libre poseen nitratos en concentraciones que están por debajo del límite admisible para el consumo humano (45 mg/l). Las bajas concentraciones de nitratos (3-15 mg/l), se debería a contaminación difusa por la práctica agrícola. Los valores superiores se deberían a la contaminación puntual, principalmente procedente de corrales de animales. El 51,2% de las muestras poseen fluoruros en concentraciones menores al límite admitido para el consumo humano (1,3 mg/l), mientras que el 34,8% poseen concentraciones por debajo del límite admisible por la SRH de Córdoba (50 $\mu\text{g}/\text{l}$) de arsénico. La alta correlación y significancia encontrada para arsénico y el flúor indican que estos iones poseen una misma fuente como son las litologías presentes en la zona de estudio, predominantemente loésicas que poseen alto porcentaje de vidrio volcánico, fluorapatita, anfíboles, piroxenos, entre otros además, la buena correlación encontrada entre estos

elementos con pH y bicarbonatos indican la afinidad geoquímica con las aguas de la región.

El análisis estadístico multivariado de la información geoquímica del acuífero freático, permite afianzar el modelo geoquímico conceptual elaborado para la zona.

La modelación numérica realizada para explicar la evolución geoquímica por el flujo de circulación regional muestra como los procesos geoquímicos más importantes que explican la disminución de bicarbonatos y el aumento de todos los otros iones mayoritarios en dirección del flujo, a la disolución de CO₂ gaseoso, precipitación de la calcita, a la disolución de sales como Yeso y ClNa dispersos en el propio acuífero (principalmente en las áreas de humedales), meteorización del dióxido y de illita, e intercambio catiónico, pero con retención de Ca⁺² en las arcillas. Respecto a la modelación numérica realizada para explicar la composición geoquímica en áreas de recarga preferencial dada por el aporte de agua dulce procedente de una laguna temporaria, al agua salada propia de acuífero en esta zona de descarga regional, se pudo comprobar además de una relación de mezcla dada por un 98,8% de agua del acuífero y un 3,2% del agua de la laguna, que los procesos geoquímicos más importantes son: meteorización de illita y albita, disolución de yeso, la incorporación del CO₂ e intercambio catiónico y/o precipitación de calcita, generándose un factor de dilución del orden de 5,5%.

Los sistemas confinados presentes en la zona a profundidades variables desde 220-240 m a 450 m, poseen niveles piezométricos superiores a la superficie. Las perforaciones que captan agua de estos sistemas confinados poseen surgencia variable (desde 1 m hasta al menos 6-7 m). Los sistemas confinados son de aguas dulces (71,4%) y sulfatadas sódicas. En cuanto a elementos minoritarios y trazas, el 100% se encuentran por debajo del límite admitido para nitrato, ya que se encuentran más protegidos de la contaminación antropica y también para el flúor. En cambio para Arsénico, sólo el 14,3% posee tenores por debajo del límite permitido. La presencia, aunque en bajas concentraciones, de estos iones se vincula a la presencia de vidrio volcánico en los sedimentos profundos.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Albouy, R., M. Santamaría, M. Serralunga y P. Rossi*, 1995. Aplicación geoestadística a datos hidrogeoquímicos. *Correlación geológica* N° 11: 15-23. ISSN 217428.
- Aliaga, R., A. Sauquillo y E. Custodio*, 2005. Análisis de las oscilaciones piezométricas producidas por la recarga de un río efímero. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subt.: relación aguas superf.-aguas subt. Río Cuarto. ISBN 950-665-349-6.
- Appelo. C. y D. Postma*, 1996. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema. Rotterdam. ISBN 90 5410 105 9. 536 pp.
- Armienta M.A. y N. Segovia*, 2008. Arsenic and fluoride in the groundwater of Mexico. *Environ. Geochem. Health*. 30(4):345-353.
- 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
- Bécher Quinodóz F., M. Blarasin y A. Cabrera*. 2011. *Caract. hidrogeoquímica conceptual y modelación en la Llanura medanosa de Laguna Oscura*. Cba. Arg. *Calidad y Contam. de Agua Subt. Salta, Arg.* ISBN 978-987-23936-7-0. CD.T48. Pp. 377-384.
- Bécher Quinodóz, F., M. Blarasin y A. Cabrera*. 2012. *Relación acuífero-lagunas saladas en ambientes medanosos: hidrogeoquímica y modelación numérica*. Córdoba. Argentina. XI Congreso Latinoamericano de Hidrogeología. Cartagena de Indias. Colombia.
- Bernetti, G.*, 1996. *Caracterización geohidroquímica del área mal drenada en la hoja Alejo Ledesma*. Tesis de Licenciatura. UNRC. Inédito.
- Bethke, C. M. and T. M. Johnson*, 2002. Paradox of groundwater age: correction. *Geology*, 30(4):385-388.
- Bethke, C.M.*, 2008, *Geochemical and Biogeochemical Reaction Modeling*, Cambridge University Press, 543 pp.
- Blarasin, M.*, 1984. *Hidrología subterránea de la zona de Laguna Oscura*. Córdoba. Tesis de Lic. UNRC. Inédito. 150 pág.
- Blarasin M, Cabrera A. y S. Degiovanni*, 2000. *Hidrogeología Regional: el agua subterránea como recurso fundamental del Sur de Córdoba, Argentina*. I Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. Fortaleza. Brasil. Trabajo completo (20 pág.)

- Blarasin, M., A. Cabrera y G. Villalba, 2001.* Groundwater contaminated with arsenic and fluoride in the Chaco-Pampeana Plain. Journal of Environmental Hydrology. ISSN: 1058-3912. Publ. de la International Association of Environmental Hydrology. Paper 6. Vol. 9. 9 pp.
- Blarasin, M., S. Degiovanni, C. Eric y M. Paris, 2002.* Hirdological risks related to ungauged watersheds in the south de Córdoba province, Argentina. IAHS Decade of Prediction in ungauged basins (PUBs)-20-22 de Nov. Brasilia. Página Webb (6 pág).
- 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. y A. Cabrera, 2005 a.* Geología ambiental: consideraciones sobre amenazas, susceptibilidad, peligros y riesgos naturales e inducidos en relación a los recursos hídricos en el Sur de Córdoba- Parte B: riesgos inducidos e impactos. En "Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Cba.: una perspectiva geambiental". Ed. UNRC ISBN: 950-665-350-X. pag 53-80.
- Blarasin M., S. Degiovanni, A. Cabrera, G. Sagripanti y M. Villegas, 2005 a.* Factores naturales y antrópicos condicionantes de los sistemas hidrológicos que sustentan los humedales del centro Sur de Córdoba. En "Relaciones aguas superficiales-aguas subterráneas" pp 101-108. Ed UNRC. ISBN 950-665-349-6.
- Blarasin M. y A. Cabrera, 2005 b.* Aguas subterráneas: hidrolitología, hidrodinámica e hidrogeoquímica regional "Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: una perspectiva geambiental". Ed. UNRC ISBN 950-665-350-X. pp 41-52
- Blarasin, M. y A. Cabrera. 2005 c.* Capítulo Hidrogeológico: Hoja Geológica 3363-III Río Cuarto. 1:250.000. Programa Nacional de Cartas Geológicas. Secretaría de Minería de la Nación - SEGEMAR. ISSN 0328-2333. Degiovanni, S., M. Villegas, M. Blarasin y G. Sagripanti (Eds.).
- Blarasin, M., S. Degiovanni, A. Cabrera y M. Villegas, 2005 b.* Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: una perspectiva geambiental. 319 pag. Ed UNRC. ISBN: 950-665-350-X.
- Blarasin M., E. Matteoda, F. Hildmann, O. Campanella, A. Cabrera, J. Felizzia y M. A. Bettera, 2006.* Characterization of groundwater and its relation to quality of life for the rural population of Malena, Córdoba, Arg. Distribución del Arsénico en Iberoamérica. Pág. 161. M. Litter (Ed). ISBN 84-96023-58-3.

- 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., A. Cabrera, E. Matteoda, J. Giuliano Albo, J. Felizzia, F. Becher Quinodoz 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". Oruro, Bolivia.
- Blarasin M., A. Cabrera, F. Hildmann, E. Matteoda, F. Becher, J. Giuliano y L. Maldonado. 2011 a.* Fluorides in the phreatic aquifer of the loess plain, Córdoba province, Argentina. Journal of Environmental Hydrology. Paper 17, Volume 19.
- Blarasin M., A. Cabrera, S. Torti y M. Defacci, 2011 b.* Hidrogeoquímica del acuíf. freático e incidencia de ingesta de agua con F en pobladores rurales, Sampacho, Cba. Calidad y Contam. de Agua Subt. Salta, Arg. ISBN :978-987-23936-7-0. CD. T1.Pp.1-10.
- Blarasin M., F. Bécher Quinodóz, J. Felizzia, J. Giuliano Albo y A. Cabrera. 2012 a.* Hirogeoquímica del acuífero freático, anomalías en nitratos y relación con valores de fondo natural, Justo Daract, San Luis. 4 pág. II Reunión Argentina de Geoquímica de la superficie (RAGSU). Bahía Blanca.
- Blarasin M., M. Tione, L. Gambero, F. D'Éramo, M. Moresi y A. Cabrera. 2012 b.* Cafeína, bacterias resistentes e invertebrados como indicadores de impacto antrópico en el acuífero freático de un agroecosistema. XI Congreso Latinoamericano de Hidrogeología. Cartagena de Indias. Colombia.
- Brassington, R., 1988.* Field hydrogeology. Geological Society of London, Professional Handbook Series.
- Cabrera, A. y M. Blarasin. 1996.* Assessment of suitabilities of a phreatic aquifer to plan the use of groundwater for rural activities. Environmental Hydrology Report. ISSN 1067-3997.
- Cabrera, A., y M. Blarasin, 1997 a.* Información de base para la planificación del uso de los recursos hídricos subterráneos en una zona con fuerte control estructural

- en la Llanura Argentina. Investig. Hidrogeol. Cuba. TAHICU '96: 283-301. Arellano y Gómez (Eds.). BI-2133-97.
- Cabrera, A. y M. Blarasin, 1997 b.* Caracterización de los subsistemas ecológicos de la cuenca del arroyo Los Jagüeles y evaluación de la contaminación por nitratos en el acuífero libre del agroecosistema. Prov. de Córdoba. I Congr. Nac. de Hidrogeología y III Seminario Hispano-Arg. sobre temas actuales de Hidrología Subt. Tomo I: 415-429. Bahía Blanca.
- Cabrera A. y M. Blarasin, 1999.* Contamination by nitrates in the phreatic aquifer of an agroecosystem of the chacopampeana plain. Córdoba. Argentina. Journal of Environmental Hydrology, Paper 17, Vol. 7, 10 pp, ISSN 1058-3912.
- Cabrera A. y M. Blarasin, 2000.* Hidrogeoquímica y análisis multivariado en el acuífero freático de una cuenca de llanura al Sur de Córdoba, Argentina. Congreso Mundial Integrado de aguas subterráneas. Fortaleza. Brasil.
- 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 G. Villalba, 2003.* Arsénico en el agua subterránea de ecosistemas rurales del Sur de Cba.: Geoquímica y Problemática Ambiental involucrada. III Congr. Arg. de Hidrogeología y I Seminario Hispano-Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Rosario.
- 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., Blarasin M. y Matteoda E., 2007.* Análisis hidrometeorológico e hidrodinámico del acuífero freático en ambientes morfotectónicos contrastantes. Córdoba. Arg. Pag 422-432. Actas V Cong. Arg. Hidrogeología. E.Ríos. Comp.: Díaz, Tomás, Santi, D'Elía y Dalla Costa ISBN 978-987-23936-3-2.
- Cabrera, A., 2009.* Evolución Hidrogeoquímica e Isótopos Ambientales del Sistema Acuífero asociado a los Ambientes Morfotectónicos de la Falla Regional Tigre Muerto. Córdoba. Argentina. Tesis Doctoral UNRC. Inédito. 354 pág.
- Cabrera, A., M. Blarasin, E. Matteoda y J. Giuliano Albo, 2009.* Modelación geoquímica del acuífero freático sedimentario en la zona de San Basilio, Córdoba. Argentina. En "Aportes de la Hidrogeología al conocimiento de los Recursos Hídricos" pp 642-651. Mariño y Schulz (Eds.) ISBN 978-987-1082-36-0.

- Canter, L. W. 1997. Nitrates in Groundwater. Lewis Publishers. ISBN 0-87371-569-1. 263 p.
- Cantú M. y S. Degiovanni, 1984. Geomorfología del centro-sur de la prov. de Córdoba. IX Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche. Tomo IV: 66-92.
- Cantú M., 1992. El Holoceno en la prov. de Córdoba. Holoceno de la Rep. Arg. Tomo I. Cadinqua. M. Iriondo Ed. Pp. 1-16. Paraná. Argentina.
- 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., 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.
- Cantú M., Becker A., Bedano C., Blarasin M., Parra B., A. Cabrera, Grumelli M., Matteoda E. y H. Schiavo, 2008. Indicadores de sustentabilidad ambiental, Estudio de caso: Cuenca arroyo La Colacha. En "Evaluación de la sustentabilidad ambiental en sistemas agropecuarios" Cantú et al. (Eds.) pp 113-129 Ed. UNRC. ISBN 978-987-1003-58-7.
- 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.
- Casaña, Hernan
[http://www.avesargentinas.org.ar/cs/DESCARGABLES/Observacion/Sitios/Ba%F1ados%20del%20r%EDo%20Saladillo%20\(N&C14\).pdf](http://www.avesargentinas.org.ar/cs/DESCARGABLES/Observacion/Sitios/Ba%F1ados%20del%20r%EDo%20Saladillo%20(N&C14).pdf).
- Chebli G., Mozetic M., Rossello C. y M. Bühler, 1999. Cuencas Sedimentarias de la Llanura Chacopampeana. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Anales 29 (20): 627-644. Bs. As.
- 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.
- Convenio Argentino-Alemán de aguas subterráneas, 1973. Recursos de agua subterránea y su aprovechamiento en la llanura Pampeana y en el Valle del Conlara (provincias de Córdoba, Santa Fe, San Luis, república Argentina). Servicio Geológico de la República Federal de Alemania.
- Custodio, E. y M. Llamas, 1983. Hidrología subterránea. Ediciones 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.
- Dalmaso, M. G., E. E. Mariño y E. J. Ussunoff*, 2005. Evaluación preliminar de la adsorción de flúor en minerales de acuíferos de La Pampa. IV Congreso Argentino de Hidrogeología. Río Cuarto.
- Davis, S. y R. De Wiest*, 1971. Hidrogeología. Ed. Ariel. 554 pág.
- 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 Congreso Nacional de Cuaternario y Geomorfología (S.M.Tucumán). Cuaternario y Geomorfología. ISBN 987-9390-47-4. pág 257-266.
- Degiovanni, S., M. Villegas, M. Blarasin y G. Sagripanti*, 2004. Hoja Geológica río Cuarto-3263-III sec. Minería de la Nación – SEGEMAR. ISSN 0328-2333, 90 pág.
- Degiovanni, S.*, 2005 a. 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.*, 2005 b. Análisis geoambiental del comportamiento de los sistemas fluviales del Sur de la provincia de Córdoba, en especial del ARROYO Achiras-del Gato, como base para su gestión sustentable. Tesis Doctoral en ejecución.
- 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. ISBN950-665-350.
- Degiovanni, S., M. Villegas, M. Blarasin y G. Sagripanti*, 2005. Hoja Geológica 3363-III Río Cuarto. Programa Nacional de Cartas Geológicas- Secretaría de Minería de la Nación. ISSN 0328-2333.
- Degiovanni. S., A. Cabrera y M. Blarasin*. 2012. Caracterización del funcionamiento hidrogeológico y morfodinámico del humedal pampeano "Laguna Pagliero"- Complejo lagunar La Felipa. Córdoba. Argentina. XI Congreso Latinoamericano de Hidrogeología. Cartagena de Indias. Colombia.
- Doffo, N. y S. Degiovanni*, 1993. Geomorfología de la Hoja Río Cuarto, su aplicación en estudios de susceptibilidad de erosión. XII Congreso Geológico Argentino. Mendoza. Tomo VI: 274-282.

- Deluchi, M., E. Kruse, P. Lauracena, E. Carol y A. Rojo, 2005.* Variaciones de los niveles freáticos y su relación con el agua superficial en La Plata, prov. Bs. As. II Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea: relación aguas superficiales aguas subterráneas. Río Cuarto. ISBN 950-665-349-6.
- Deutsch, W., 1997.* Groundwater Contamination Geochemistry. Lewis Publishers. ISBN 0-87371-308-7. 221 p.
- Doering A., 1882.* Informe Oficial de la comisión científica agregada al Estado Mayor General de la Expedición al Río Negro (Patagonia), realizada en los meses de abril, mayo y junio de 1879, bajo las órdenes del General Julio A. 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., 1996.* Indicators in the groundwater environment of rapid environmental change. In "Geoindicators. Assessing rapid environmental changes in earth systems". Berger and Iams (Eds). Pp 135-154. ISBN 90 5410 631 X. Balkema.
- Edmunds, W. y P. Smedley, 1996.* Groundwater, Geochemistry and Health. British Geological Survey. En Geoindicators, Assessing rapid environmental changes in earth systems. 135-150. Editorial Balkema.
- Edmunds, W. M. and P. Shand, 2008.* *Natural Groundwater Quality.* ISBN: 978-1-4051-5675-2. Hardcover. 488 pages. March 2008, Wiley-Blackwell.
- ELANEM, 2000.* Quantitative indicators and indices of environmental quality and sustainability, an Euro-Latin American Network for Environmental Assessment and Monitoring. Annual Report: Región de Río Cuarto. INCO-DC.
- Eric C., 1986.* Geología del cuaternario en el río de las Barrancas, Dpto Río Cuarto, Provincia de Córdoba. Inédito. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- 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.
- Felizzia, Juan*, 2012. Ensayo de bombeo en planta lacte de La Serenisima, Localidad de Canals, Provincia de Córdoba. Informe Técnico
- 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. Defrancesco*, 1973. Geología superficial en las Hojas Castelli, J. M. Cobo y Monasterio (prov. de Bs. As.). V Congreso Geológico Argentino, Actas IV: 27-39.
- Fili, M., O. Tujchneider, M. Paris, M. D'elia y M. Pérez*, 1995. Los ambientes hidrogeológicos y su comportamiento hidroquímico en el Centro-Norte de la provincia de Entre Ríos, República Argentina. Correlación geológica N° 11: 277-288. ISSN 217428.
- 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. CFI. Informe final. Tomo 1.
- Freeze, R. y J. Cherry*, 1979. Groundwater. Prentice Hall, NY. 1-604.
- Garrels, R. y Ch. Christ*, 1965. Solutions, minerals and equilibria. Ed. Freeman, San Francisco: 1-450.
- 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, M.J.* 2013. Evaluación de la contaminación por nitratos en aguas subterráneas de agroecosistemas mediante el uso de isótopos estables 15N-14N, 18O-16O, y otros solutos relacionados. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 385 p. Río Cuarto, Córdoba.
- 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.
- 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.

- Gordillo C. y A. Lencinas, 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, I, 577-650.
- Groeber, P., 1938. Mineralogía y Geología. Espasa Calpe Argentina. Buenos Aires.
- Grumelli, M. del T, M. P. Cantú, H. F. Schiavo y A. R. Becker, 2008. Rasgos micromorfológicos y caracterización mineralógica de suelos aluviales de la Colonia
- 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.
- Hernandez L., 1985. Mineralogía de los depósitos aflorantes en el arroyo Chucul, Cba. Tesis de Lic. Inédito. UNRC.
- Hünicken, M. y M. Pensa, 1980. Estratigrafía y tectónica de las sedimentitas neopaleozoicas (F. Chancani) 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.
- Iriondo M., 1987. Geomorfología y Cuaternario de Santa Fe. D'Orbignyana, N° 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, N° 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.
- Iriondo, M. y E. Brunetto, 2008. El mar de arena Pampeano en el Sureste de Córdoba. XVII Congreso Geológico Argentino. Jujuy, 2008. Pág 1224-1225.
- Jordan T. y R. Allmendinger, 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina; a modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. American Journal of Science 286, 737-764.
- Keeney D., 1986. Sources of Nitrates to Ground Water. CRC Critical Reviews. Environmental Control, Vol. 16, N° 3, pp. 257-304.

- Latrubesse, E.*, 1999. Sistema de Clasificación e mapeamento geomorfológico: una nova proposta. Geosur, Florianópolis, Vol. 14, 27
- Maldonado L., M. Blarasin, A. Cabrera, J. Felizzia, E. Matteoda y J. Giuliano Albo.* 2011. Hidrogeoquímica del acuíf. freático de Gral. Cabrera y entorno rural, Cba. Arg. Calidad y Contam. de Agua Subt. Salta, Arg. ISBN :978-987-23936-7-0. CD.T31. Pp. 244-251.
- Maldonado, L.* 2012. Primer Informe Tesis de Doctorado en Ciencias Geológicas "Evaluación hidrogeológica, hidroquímica e isotópica de acuíferos confinados del Sur de Córdoba. UNRC. Inédito.
- Maldonado, L.* 2013. Segundo Informe Tesis de Doctorado en Ciencias Geológicas "Evaluación hidrogeológica, hidroquímica e isotópica de acuíferos confinados del Sur de Córdoba. UNRC. Inédito
- Martínez, D., 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 Nº 11: 69-80. ISSN 217428.
- 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.
- Massone, H., D. Martínez y M. Tomas,* 2005. Caracterización hidroquímica superficial y subterránea en la cuenca superior del arroyo Grande, prov. de Bs. As. II Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea: relación aguas superficiales aguas subterráneas. Río Cuarto. ISBN 950-665-349-6.
- Matteoda E., Blarasin M., Damilano G., y A. Cabrera,* 2007. Valores característicos del fondo natural de Arsénico y Flúor en aguas subterráneas en la cuenca del arroyo del Barreal, Córdoba. Actas II Taller Sobre Arsénico en aguas "Hacia una integración en la investigación". Pág. 31-42. Paraná, Entre Ríos. Compiladores: E. Díaz, J. Tomás, M. Santi, M. D'Elía y O. Dalla Costa ISBN 978-987-23936-3-2.
- Matteoda E., M. Blarasin y A. Cabrera.* 2011. Hidrogeoquímica de un acuíf. freático sedim. Rel. con asp. 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., 2012. Evaluación hidrodinámica e hidrogeoquímica de la cuenca del arroyo El Barreal para establecer línea de base ambiental, con énfasis en la geoquímica del cromo. Tesis doctoral Inédita.
370 pág. UNRC.
- Matthess, G. y J. Harvey, 1982. The properties of groundwater. John Wiley & Sons, NY: 1-405.
- Merckel, B. y B. Planer-Friedrich, 2008. Groundwater geochemistry. A practical guide to modeling of natural and contaminated aquatic systems. Ed. Nordstrom. 2^o edition. Springer. ISBN 978-3-540-74667-6.
- Miatello, R. y H. Casañas. 2005. Bañados del Río Saladillo. En A. S. Di Giacomo (editor), Áreas importantes para la conservación de las aves en Argentina. Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad:128-130. Temas de Naturaleza y Conservación 5. Aves Argentinas/Asociación Ornitológica del Plata, Buenos Aires.
- Moiser et al, 2004: es Mosier A., Syers J. y J. Freney, 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^o4, pp. 1-68.
- Nicolli, H., P. L. Smedley y J. O. Tullio. 1997. Aguas subterráneas con altos contenidos de F, As y otros oligoelementos en el Norte de La Pampa. Congreso Internacional del Agua. Bs. As. III 40.
- Nicolli, H., T. O'Connor, J. Suriano, M. Koukharsky, M. Gómez Peral, L. Bertini, I. Cohen, L. Corradi, O. Baleani 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.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., 2006. Fuentes y movilidad del As en aguas subterráneas de la llanura Chaco-Pampeana de la Argentina. Taller de distribución de As en Iberoamérica.

- Red Temática 406 RT0282 IBEROARSEN. Centro Atómico Constituy. Bs. As. ISBN 84-96023-58-3. Pp 29.
- 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. y J. Muñoz, 1986.* Geochemical thermodynamics. Blakwell Scientific Publications: 1-477.
- Orbera Hernández, L. y C. Fernández, 1977.* "Métodos morfométricos para la búsqueda de estructuras nuevas". Revista la Minería en Cuba. Vol. III, Nº 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.
- 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.
- Paris, M., O. Tujchneider, M. D'elia y M. Pérez, 2007.* Análisis estadístico multivariado: aplicación a datos hidroquímicos en el Noroeste de la prov. de Entre Ríos. V Congreso Argentino de Hidrogeología. Paraná, Entre Ríos, Argentina. Díaz, Tomás, Santi, D'Elia y Dalla Costa (Comp.). ISBN 978-987-23936-3-2.
- Parkhurst, D., D. Thordtenson y L. Plummer, 1980.* PHREEQE – A Computer Program for Geochemical Calculations. USGS Water Resources Investigations, 80-96, 210.
- Parkhurst, D. y C. Appelo, 1999.* User's guide to PHREEQC (Versión 2)- A computer program for speciation, batch reaction, one dimensional transport, and inverse geochemical calculation. USGS Water Resource Investigations Report 99-4259, 1-312.
- Plumer L.N., B.F. Jones y A. Truesdale, 1976.* WATEQ4F- A FORTRAN.IV version of WATEQ, a Computer Program for Calculating Chemical Equilibrium of Natural Water. U.S.G.S. Techniques of Water-Res. Invest.76, 70 pp.
- Ravelo, C., 1990.* PDIMES. Balance hídrico seriado - Indices de sequía y humedad del cultivo. Manual Teórico/operativo. Asoc. Agronómica de Agrometeorología. 8 pág.
- Ravelo y Herrero Machado, 1999.* PDIWIN 1.0, Software para Balance hídrico seriado PDIMES versión Windows.

- Pinotti L.*, 1988. El batolito Cerro Áspero, Provincia de Córdoba. Modelo de intrusión y su relación con la evolución de las Sierras Pampeanas: Tesis Doctoral, (inérita). Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina, 203 pp.
- Plummer, L., E. Prestemos y D. Parkhurst*, 1991. An interactive code (NETPATH) for modeling net geochemical reactions along a flow path. US Geological Survey. Water-resources Investigations Report 91-4078. Reston, Virginia. 1-277.
- 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).
- 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. Zárate, 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.*, 1999. Las Provincias Geológicas del Territorio Argentina. Geología Argentina. Anales 29 (3): 41-96. Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- Ramsar 2009-2015*. El Plan Estratégico Ramsar 2009-2015. Changwon 2008.
- Ravelo, C.*, 1990. PDIMES. Balance hídrico seriado - Indices de sequía y humedad del cultivo. Manual Teórico/operativo. Asoc. Agronómica de Agrometeorología. 8 pág.
- Ravelo y Herrero Machado*, 1999. PDIWIN 1.0, Software para Balance hídrico seriado PDIMES versión Windows.
- Renz, H.*, 1993. Caracterización Hidrogeológica preliminar del área central de Córdoba. Trabajo Final. UNC. Inédito. Córdoba. Argentina.
- ROCKSTAT*. 1991-1994. Statistical Calculation and Plotting Software. A Rockworks Application. Scientific Software. Versión 2. Rock Ware, Inc.
- Rodríguez, L.*, 1997. Estudio de la interacción río- acuífero en una cuenca semiárida. I Congreso Nacional de Hidrogeología. Bahía Blanca.
- Rossia Patricia*, 2011 (<http://www.puntal.com.ar/noticia.php?id=95811>)
- Russo, A., R. Ferello y G. A. Chebli*, 1979. Llanura Chaco Pampeana. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, I: 139-163.

- Sagripanti G., D. Origlia y O. Campanella, 1998.* Sismicidad en una región de interplaca. Departamento de Río Cuarto, Prov. de Córdoba. Argentina. Actas Conferencia Internacional "Sistemas modernos de Preparación y Respuesta ante Riesgos Sísmicos, Volcánicos y Tsunamis". Santiago. Chile. Pp. 281-293.
- Sagripanti G., C. Costa, D. Origlia y H. Schiavo, 2001.* Avances en la caracterización del peligro sísmico en el departamento de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. IV Congreso de Geología y Minería de la sociedad Cubana de Geología, GEOMIN 2001. Cuba. Actas: CD.
- Sagripanti, G., 2006.* Neotectónica y Peligro sísmico de la región de Sampacho. Dpto. Río Cuarto, Prov. De Córdoba. Tesis Doctoral. UNRC. Inédito.
- Sala, J. M. y A. Rojo, 1997.* Río Quinto-agua subterránea. Probable funcionamiento Hidrológico Regional. I Congreso Nacional de Hidrogeología. Bahía Blanca.
- Santa Cruz, J. N., 1971 a.* Geología al este de la sierra Chica (Prov. de Córdoba) entre La Granja y Unquillo, con especial referencia a las entidades sedimentarias. Quinto Congreso Geológico Argentino. IV: 221-234.
- Santa Cruz, J. N., 1971 b.* Geología al este de la Sierra Chica (Córdoba) Valle del río Primero. Boletín de la Asociación Geológica de Córdoba. Tomo 1: 3-4.
- 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., 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.-
- Stumm, W. y J. J. Morgan, 1981.* Aquatic chemistry-an introduction emphasizing chemical equilibria in natural water. John Wiley and Sons. 2da Ed.: 1-780.
- 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.
- Usunoff, E. J.* 1994. Ejemplos de aplicación del análisis multivariado en estudios hidroquímicos. En: *Temas Actuales de la Hidrología Subterránea*. E. Bocanegra y A. Rapaccini Eds. Univ. Nac. Mar del Plata - CFI p. 273-286.
- Usunoff E.*, 1996. Mecanismos que afectan el transporte del ion fluoruro en acuíferos. XIII Congreso Geológico Argentino, Vol. 4. Pág. 427-444.
- Varela, L., P. Laurencena, E. Kruse, M. Deluchi y A. Rojo*, 2002. Reconocimiento de la Relación Aguas Superficiales - Aguas Subterráneas en el Arroyo Del Gato, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Groundwater and Human Development*. Bocanegra, E., D. Martínez y H. Massone (Eds.). ISBN 987-544-063-9.
- Viero A., Roisenberg C., Roisenberg A. y A. Vigo*, 2009. The origin of fluoride in the granitic aquifer of Porto Alegre, Souterhn 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*.
- Vives, L. y J. Carrera*, 1997. Planificación conjunta de Recursos hidráulicos superficiales y subterráneos. I Congreso Nacional de Hidrogeología. Bahía Blanca.
- 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.
- Wright, C. E.*, 1980. Surface water and groundwater interaction. Unesco. ISBN 92-3-101862-0. Francia.

- Yrigoyen, M., 1969. Problemas estratigráficos del Terciario de Arg. Ameghiniana 6(4):315-329.
- Zack, A. 1980. Geochemistry of fluoride in the Black Creek aquifer system of Horry and Georgetown counties, South Carolina and its Physiological implications. Geological Survey water-supply paper 2067.

ANEXOS

ANEXO I
PLANILLAS BALANCE HÍDRICO

BALANCE HIDRICO SERIADO PARA LA ESTACION: CANALS

PERIODO: 1935- 2011

AGUA UTIL EN LA CAPA SUPERIOR= 25 mm. Y EN LA CAPA INFERIOR= 125 mm.

DICCIONARIO DE VARIABLES:

P: Prec.
ETP: Evapotrans. Potencial
ALMAC: Almacenaje
RP: Recarga Potencial
R: Recarga
APE: Agua potenc. Extraible
AE: Agua extraible
ETR: Evapotrans. Real
ESC: Excesos

Cuadro 1: BALANCE HIDRICO SERIADO

AÑO	MES	P	ETP	ALMAC.	RP	R	APE	AE	ETR	ESC.
1936	1	74	120	107,5	0	0	104,2	42,5	116,5	0
	2	79	81	106,1	42,5	0	58,1	1,4	80,4	0
	3	96	89	113,1	43,9	7	62,9	0	89	0
	4	215	57	150	36,9	36,9	42,4	0	57	121,1
	5	30	45	135	0	0	41,7	15	45	0
	6	90	23	150	15	15	20,8	0	23	52
	7	34	25	150	0	0	25	0	25	9
	8	0	32	119,2	0	0	30,8	30,8	30,8	0
	9	90	45	150	30,8	30,8	35,8	0	45	14,2
	10	139	73	150	0	0	65	0	73	66
	11	53	90	115	0	0	79,2	35	88	0
	12	457	114	150	35	35	87,4	0	114	308
1937	1	13	120	56,7	0	0	104,2	93,3	106,3	0
	2	182	81	150	93,3	93,3	30,6	0	81	7,7
	3	108	89	150	0	0	78,3	0	89	19
	4	70	57	150	0	0	51,7	0	57	13
	5	35	45	140	0	0	41,7	10	45	0
	6	0	23	118,3	10	0	21,7	21,7	21,7	0
	7	0	25	98,6	31,7	0	19,7	19,7	19,7	0
	8	6	32	81,5	51,4	0	21	17,1	23,1	0

	9	75	45	111,5	68,5	30	24,5	0	45	0
	10	78	73	116,5	38,5	5	52,7	0	73	0
	11	73	90	99,5	33,5	0	64,7	17	90	0
	12	4	114	29,3	50,5	0	72,7	70,2	74,2	0
1938	1	76	120	20,7	120,7	0	23,4	8,6	84,6	0
	2	70	81	19,2	129,3	0	11,2	1,5	71,5	0
	3	333	89	150	130,8	130,8	11,4	0	89	113,2
	4	207	57	150	0	0	51,7	0	57	150
	5	103	45	150	0	0	41,7	0	45	58
	6	0	23	127	0	0	23	23	23	0
	7	6	25	110,8	23	0	21,2	16,2	22,2	0
	8	0	32	87,2	39,2	0	23,6	23,6	23,6	0
	9	0	45	61	62,8	0	26,2	26,2	26,2	0
	10	8	73	34,6	89	0	29,7	26,4	34,4	0
	11	60	90	27,7	115,4	0	20,8	6,9	66,9	0
	12	139	114	52,7	122,3	25	21	0	114	0
1939	1	103	120	35,7	97,3	0	42,5	17	120	0
	2	214	81	150	114,3	114,3	21,5	0	81	18,7
	3	44	89	108,3	0	0	78,3	41,7	85,7	0
	4	32	57	90,3	41,7	0	41,2	18,1	50,1	0
	5	17	45	73,4	59,7	0	27,1	16,9	33,9	0
	6	32	23	82,4	76,6	9	11,3	0	23	0
	7	0	25	65,6	67,6	0	16,8	16,8	16,8	0
	8	36	32	69,6	84,4	4	14	0	32	0
	9	86	45	110,6	80,4	41	21,9	0	45	0
	10	26	73	73	39,4	0	52,4	37,6	63,6	0
	11	341	90	150	77	77	43,8	0	90	174
	12	28	114	74,2	0	0	99,2	75,8	103,8	0
1940	1	206	120	150	75,8	75,8	59,3	0	120	10,2
	2	11	81	87,5	0	0	71,7	62,5	73,5	0
	3	28	89	51,9	62,5	0	51,9	35,6	63,6	0
	4	142	57	136,9	98,1	85	19,7	0	57	0
	5	25	45	116,9	13,1	0	39,9	20	45	0
	6	83	23	150	33,1	33,1	18,4	0	23	26,9
	7	50	25	150	0	0	25	0	25	25
	8	69	32	150	0	0	30,8	0	32	37
	9	31	45	136	0	0	41,7	14	45	0
	10	0	73	73,3	14	0	62,7	62,7	62,7	0
	11	133	90	116,3	76,7	43	44	0	90	0
	12	118	114	120,3	33,7	4	79,2	0	114	0
1941	1	86	120	89,6	29,7	0	85,4	30,7	116,7	0

	2	149	81	150	60,4	60,4	48,4	0	81	7,6
	3	146	89	150	0	0	78,3	0	89	57
	4	176	57	150	0	0	51,7	0	57	119
	5	34	45	139	0	0	41,7	11	45	0
	6	4	23	120,8	11	0	21,5	18,2	22,2	0
	7	107	25	150	29,2	29,2	20,1	0	25	52,8
	8	12	32	130	0	0	30,8	20	32	0
	9	0	45	91,7	20	0	38,3	38,3	38,3	0
	10	106	73	124,7	58,3	33	44,6	0	73	0
	11	166	90	150	25,3	25,3	68,2	0	90	50,7
	12	12	114	60,8	0	0	99,2	89,2	101,2	0
1942	1	194	120	134,8	89,2	74	48,7	0	120	0
	2	188	81	150	15,2	15,2	66	0	81	91,8
	3	35	89	100,8	0	0	78,3	49,2	84,2	0
	4	41	57	90,1	49,2	0	38,3	10,8	51,8	0
	5	7	45	67,3	59,9	0	27	22,8	29,8	0
	6	12	23	62,3	82,7	0	10,3	4,9	16,9	0
	7	0	25	51,9	87,7	0	10,4	10,4	10,4	0
	8	54	32	73,9	98,1	22	11,1	0	32	0
	9	7	45	46,4	76,1	0	30	27,5	34,5	0
	10	100	73	73,4	103,6	27	22,6	0	73	0
	11	52	90	44,2	76,6	0	46	29,2	81,2	0
	12	75	114	32,7	105,8	0	33,6	11,5	86,5	0
1943	1	14	120	9,6	117,3	0	26,2	23,1	37,1	0
	2	17	81	5,5	140,4	0	5,2	4,1	21,1	0
	3	128	89	44,5	144,5	39	3,3	0	89	0
	4	58	57	45,5	105,5	1	29,2	0	57	0
	5	44	45	44,5	104,5	0	27,7	1	45	0
	6	54	23	75,5	105,5	31	23	0	23	0
	7	92	25	142,5	74,5	67	25	0	25	0
	8	0	32	112	7,5	0	30,5	30,5	30,5	0
	9	32	45	102,3	38	0	33,6	9,7	41,7	0
	10	100	73	129,3	47,7	27	49,8	0	73	0
	11	212	90	150	20,7	20,7	70,2	0	90	101,3
	12	48	114	90,8	0	0	99,2	59,2	107,2	0
1944	1	147	120	117,8	59,2	27	72,7	0	120	0
	2	50	81	89,1	32,2	0	59,7	28,7	78,7	0
	3	56	89	69,5	60,9	0	52,9	19,6	75,6	0
	4	18	57	51,4	80,5	0	26,4	18,1	36,1	0
	5	58	45	64,4	98,6	13	15,4	0	45	0
	6	0	23	48	85,6	0	16,4	16,4	16,4	0

	7	0	25	40	102	0	8	8	8	0
	8	0	32	31,5	110	0	8,5	8,5	8,5	0
	9	25	45	27,3	118,5	0	9,4	4,2	29,2	0
	10	282	73	150	122,7	122,7	13,3	0	73	86,3
	11	51	90	113,3	0	0	79,2	36,7	87,7	0
	12	65	114	76,3	36,7	0	86,1	37	102	0
1945	1	33	120	32,1	73,7	0	61	44,3	77,3	0
	2	97	81	48,1	117,9	16	17,3	0	81	0
	3	108	89	67,1	101,9	19	31,6	0	89	0
	4	76	57	86,1	82,9	19	34	0	57	0
	5	0	45	52,9	63,9	0	33,1	33,1	33,1	0
	6	0	23	44,8	97,1	0	8,1	8,1	8,1	0
	7	12	25	40,9	105,2	0	7,5	3,9	15,9	0
	8	26	32	39,3	109,1	0	8,7	1,6	27,6	0
	9	98	45	92,3	110,7	53	11,8	0	45	0
	10	37	73	62,3	57,7	0	46,5	29,9	66,9	0
	11	12	90	29,9	87,7	0	37,4	32,4	44,4	0
	12	88	114	24,7	120,1	0	22,7	5,2	93,2	0
1946	1	88	120	19,5	125,3	0	19,8	5,3	93,3	0
	2	24	81	12,1	130,5	0	10,5	7,4	31,4	0
	3	100	89	23,1	137,9	11	7,2	0	89	0
	4	100	57	66,1	126,9	43	14,7	0	57	0
	5	46	45	67,1	83,9	1	30,5	0	45	0
	6	24	23	68,1	82,9	1	23	0	23	0
	7	5	25	48,1	81,9	0	25	20	25	0
	8	21	32	41,3	101,9	0	12,8	6,7	27,7	0
	9	21	45	34,7	108,7	0	12,4	6,6	27,6	0
	10	49	73	29,2	115,3	0	16,9	5,6	54,6	0
	11	96	90	35,2	120,8	6	17,5	0	90	0
	12	171	114	92,2	114,8	57	27	0	114	0
1947	1	266	120	150	57,8	57,8	67,5	0	120	88,2
	2	114	81	150	0	0	71,7	0	81	33
	3	151	89	150	0	0	78,3	0	89	62
	4	235	57	150	0	0	51,7	0	57	178
	5	4	45	111,7	0	0	41,7	38,3	42,3	0
	6	30	23	118,7	38,3	7	17,1	0	23	0
	7	22	25	115,7	31,3	0	20,4	3	25	0
	8	3	32	93,1	34,3	0	24,8	22,6	25,6	0
	9	52	45	100,1	56,9	7	27,9	0	45	0
	10	30	73	70,7	49,9	0	47,9	29,3	59,3	0
	11	59	90	56,1	79,3	0	42,4	14,6	73,6	0

	12	65	114	37,8	93,9	0	42,6	18,3	83,3	0
1948	1	201	120	118,8	112,2	81	30,2	0	120	0
	2	67	81	104,8	31,2	0	60	14	81	0
	3	133	89	148,8	45,2	44	59,8	0	89	0
	4	20	57	113,9	1,2	0	51,4	34,9	54,9	0
	5	51	45	119,9	36,1	6	34,2	0	45	0
	6	0	23	101	30,1	0	18,9	18,9	18,9	0
	7	3	25	86,2	49	0	16,8	14,8	17,8	0
	8	5	32	70,7	63,8	0	18,4	15,5	20,5	0
	9	34	45	65,5	79,3	0	21,2	5,2	39,2	0
	10	5	73	35,8	84,5	0	31,9	29,7	34,7	0
	11	50	90	26,2	114,2	0	21,5	9,5	59,5	0
	12	218	114	130,2	123,8	104	19,9	0	114	0
1949	1	98	120	108,2	19,8	0	91,7	22	120	0
	2	105	81	132,2	41,8	24	57,7	0	81	0
	3	108	89	150	17,8	17,8	70,8	0	89	1,2
	4	64	57	150	0	0	51,7	0	57	7
	5	36	45	141	0	0	41,7	9	45	0
	6	6	23	124,2	9	0	21,8	16,8	22,8	0
	7	129	25	150	25,8	25,8	20,7	0	25	78,2
	8	16	32	134	0	0	30,8	16	32	0
	9	27	45	117,5	16	0	39	16,5	43,5	0
	10	41	73	92,4	32,5	0	57,2	25,1	66,1	0
	11	36	90	59,2	57,6	0	55,5	33,3	69,3	0
	12	9	114	17,7	90,8	0	45	41,4	50,4	0
1950	1	17	120	5,6	132,3	0	14,2	12,2	29,2	0
	2	49	81	4,4	144,4	0	3	1,2	50,2	0
	3	135	89	50,4	145,6	46	2,6	0	89	0
	4	42	57	35,4	99,6	0	30,4	15	57	0
	5	44	45	34,4	114,6	0	15,9	1	45	0
	6	7	23	24,2	115,6	0	11,4	10,2	17,2	0
	7	30	25	29,2	125,8	5	4	0	25	0
	8	0	32	19,8	120,8	0	9,4	9,4	9,4	0
	9	52	45	26,8	130,2	7	6	0	45	0
	10	151	73	104,8	123,2	78	15,7	0	73	0
	11	72	90	86,8	45,2	0	59,6	18	90	0
	12	124	114	96,8	63,2	10	63,9	0	114	0
1951	1	115	120	91,8	53,2	0	71,8	5	120	0
	2	97	81	107,8	58,2	16	48,7	0	81	0
	3	82	89	100,8	42,2	0	60,3	7	89	0
	4	10	57	66,8	49,2	0	39,5	34	44	0

	5	35	45	62,4	83,2	0	20	4,5	39,5	0
	6	1	23	53,2	87,6	0	9,6	9,1	10,1	0
	7	3	25	45,4	96,8	0	8,9	7,8	10,8	0
	8	20	32	41,8	104,6	0	9,7	3,6	23,6	0
	9	0	45	29,2	108,2	0	12,5	12,5	12,5	0
	10	20	73	18,9	120,8	0	14,2	10,3	30,3	0
	11	177	90	105,9	131,1	87	11,3	0	90	0
	12	120	114	111,9	44,1	6	73	0	114	0
1952	1	61	120	67,2	38,1	0	80	44,7	105,7	0
	2	51	81	53,8	82,8	0	36,3	13,4	64,4	0
	3	126	89	90,8	96,2	37	31,9	0	89	0
	4	9	57	55,7	59,2	0	39	35,1	44,1	0
	5	79	45	89,7	94,3	34	16,7	0	45	0
	6	45	23	111,7	60,3	22	23	0	23	0
	7	24	25	110,7	38,3	0	25	1	25	0
	8	15	32	93,7	39,3	0	28,6	17	32	0
	9	80	45	128,7	56,3	35	29	0	45	0
	10	125	73	150	21,3	21,3	58,2	0	73	30,7
	11	62	90	122,5	0	0	79,2	27,5	89,5	0
	12	45	114	66,2	27,5	0	93,1	56,4	101,3	0
1953	1	134	120	80,2	83,8	14	52,9	0	120	0
	2	45	81	56,4	69,8	0	43,5	23,7	68,7	0
	3	268	89	150	93,6	93,6	33,5	0	89	85,4
	4	48	57	141	0	0	51,7	9	57	0
	5	0	45	100,8	9	0	40,2	40,2	40,2	0
	6	73	23	150	49,2	49,2	15,5	0	23	0,8
	7	0	25	125	0	0	25	25	25	0
	8	2	32	100	25	0	26,7	25	27	0
	9	1	45	70,7	50	0	30	29,3	30,3	0
	10	138	73	135,7	79,3	65	34,4	0	73	0
	11	114	90	150	14,3	14,3	73	0	90	9,7
	12	194	114	150	0	0	99,2	0	114	80
1954	1	76	120	109,2	0	0	104,2	40,8	116,8	0
	2	28	81	70,6	40,8	0	59	38,6	66,6	0
	3	98	89	79,6	79,4	9	41,9	0	89	0
	4	142	57	150	70,4	70,4	31,6	0	57	14,6
	5	10	45	116,7	0	0	41,7	33,3	43,3	0
	6	64	23	150	33,3	33,3	17,9	0	23	7,7
	7	11	25	136	0	0	25	14	25	0
	8	29	32	133	14	0	28,5	3	32	0
	9	66	45	150	17	17	38,8	0	45	4

	10	53	73	130	0	0	65	20	73	0
	11	66	90	109,2	20	0	75,8	20,8	86,8	0
	12	63	114	72	40,8	0	83	37,1	100,1	0
1955	1	74	120	50	78	0	57,6	22,1	96,1	0
	2	171	81	140	100	90	27	0	81	0
	3	85	89	136	10	0	74	4	89	0
	4	40	57	119	14	0	48,6	17	57	0
	5	50	45	124	31	5	35,4	0	45	0
	6	11	23	112,7	26	0	19,7	11,3	22,3	0
	7	6	25	98,4	37,3	0	18,8	14,3	20,3	0
	8	5	32	80,7	51,6	0	21	17,7	22,7	0
	9	1	45	57	69,3	0	24,2	23,7	24,7	0
	10	131	73	115	93	58	27,7	0	73	0
	11	103	90	128	35	13	64	0	90	0
	12	99	114	113	22	0	86,1	15	114	0
1956	1	192	120	150	37	37	85,5	0	120	35
	2	126	81	150	0	0	71,7	0	81	45
	3	105	89	150	0	0	78,3	0	89	16
	4	86	57	150	0	0	51,7	0	57	29
	5	37	45	142	0	0	41,7	8	45	0
	6	81	23	150	8	8	22	0	23	50
	7	16	25	141	0	0	25	9	25	0
	8	18	32	127	9	0	29,3	14	32	0
	9	20	45	105,8	23	0	37,8	21,2	41,2	0
	10	272	73	150	44,2	44,2	51,5	0	73	154,8
	11	81	90	141	0	0	79,2	9	90	0
	12	29	114	67,5	9	0	97,7	73,5	102,5	0
1957	1	52	120	36,9	82,5	0	54	30,6	82,6	0
	2	224	81	150	113,1	113,1	19,9	0	81	29,9
	3	79	89	140	0	0	78,3	10	89	0
	4	77	57	150	10	10	50	0	57	10
	5	123	45	150	0	0	41,7	0	45	78
	6	35	23	150	0	0	23	0	23	12
	7	16	25	141	0	0	25	9	25	0
	8	0	32	111,7	9	0	29,3	29,3	29,3	0
	9	14	45	88,6	38,3	0	33,5	23,1	37,1	0
	10	37	73	67,3	61,4	0	43,1	21,3	58,3	0
	11	136	90	113,3	82,7	46	40,4	0	90	0
	12	175	114	150	36,7	36,7	77,4	0	114	24,3
1958	1	64	120	99,2	0	0	104,2	50,8	114,8	0
	2	222	81	150	50,8	50,8	53,6	0	81	90,2

	3	100	89	150	0	0	78,3	0	89	11
	4	26	57	120	0	0	51,7	30	56	0
	5	15	45	96	30	0	36	24	39	0
	6	10	23	87,7	54	0	14,7	8,3	18,3	0
	7	80	25	142,7	62,3	55	14,6	0	25	0
	8	22	32	132,7	7,3	0	30,5	10	32	0
	9	16	45	106,7	17,3	0	38,5	26	42	0
	10	13	73	64	43,3	0	51,9	42,7	55,7	0
	11	90	90	64	86	0	38,4	0	90	0
	12	101	114	58,5	86	0	48,7	5,5	106,5	0
1959	1	130	120	68,5	91,5	10	46,8	0	120	0
	2	156	81	143,5	81,5	75	37,7	0	81	0
	3	155	89	150	6,5	6,5	75,5	0	89	59,5
	4	140	57	150	0	0	51,7	0	57	83
	5	36	45	141	0	0	41,7	9	45	0
	6	49	23	150	9	9	21,8	0	23	17
	7	6	25	131	0	0	25	19	25	0
	8	87	32	150	19	19	27,7	0	32	36
	9	14	45	120	0	0	41,7	30	44	0
	10	81	73	128	30	8	58,4	0	73	0
	11	178	90	150	22	22	73,6	0	90	66
	12	80	114	117,5	0	0	99,2	32,5	112,5	0
1960	1	66	120	75,2	32,5	0	94	42,3	108,3	0
	2	37	81	53,1	74,8	0	40,6	22,1	59,1	0
	3	70	89	46,4	96,9	0	31,5	6,7	76,7	0
	4	2	57	29,4	103,6	0	17,6	17	19	0
	5	3	45	21,2	120,6	0	8,8	8,2	11,2	0
	6	33	23	31,2	128,8	10	3,2	0	23	0
	7	43	25	49,2	118,8	18	12,1	0	25	0
	8	0	32	23	100,8	0	26,1	26,1	26,1	0
	9	60	45	38	127	15	6,9	0	45	0
	10	172	73	137	112	99	23,9	0	73	0
	11	70	90	117	13	0	73,5	20	90	0
	12	60	114	75,4	33	0	86,4	41,6	101,6	0
1961	1	138	120	93,4	74,6	18	60,3	0	120	0
	2	113	81	125,4	56,6	32	49,7	0	81	0
	3	170	89	150	24,6	24,6	67,9	0	89	56,4
	4	70	57	150	0	0	51,7	0	57	13
	5	16	45	121,7	0	0	41,7	28,3	44,3	0
	6	19	23	118,4	28,3	0	18,7	3,2	22,2	0
	7	0	25	98,7	31,6	0	19,7	19,7	19,7	0

	8	7	32	82,2	51,3	0	21,1	16,4	23,4	0
	9	36	45	77,3	67,8	0	24,7	4,9	40,9	0
	10	123	73	127,3	72,7	50	37,6	0	73	0
	11	160	90	150	22,7	22,7	69,3	0	90	47,3
	12	115	114	150	0	0	99,2	0	114	1
1962	1	100	120	130	0	0	104,2	20	120	0
	2	25	81	82,5	20	0	68,3	47,5	72,5	0
	3	137	89	130,5	67,5	48	49	0	89	0
	4	66	57	139,5	19,5	9	47,5	0	57	0
	5	29	45	123,5	10,5	0	40,3	16	45	0
	6	1	23	104,6	26,5	0	19,7	18,9	19,9	0
	7	75	25	150	45,4	45,4	17,4	0	25	4,6
	8	57	32	150	0	0	30,8	0	32	25
	9	3	45	110,8	0	0	41,7	39,2	42,2	0
	10	50	73	93,8	39,2	0	53,9	17	67	0
	11	102	90	105,8	56,2	12	56,3	0	90	0
	12	83	114	82	44,2	0	75,8	23,9	106,9	0
1963	1	127	120	89	68	7	65,6	0	120	0
	2	6	81	44,8	61	0	47,4	44,2	50,2	0
	3	149	89	104,8	105,2	60	26,6	0	89	0
	4	10	57	68,1	45,2	0	42	36,7	46,7	0
	5	50	45	73,1	81,9	5	20,4	0	45	0
	6	29	23	79,1	76,9	6	13,2	0	23	0
	7	4	25	63,6	70,9	0	17,4	15,5	19,5	0
	8	5	32	52,1	86,4	0	13,6	11,4	16,4	0
	9	43	45	51,4	97,9	0	15,6	0,7	43,7	0
	10	86	73	64,4	98,6	13	25	0	73	0
	11	72	90	49,7	85,6	0	39,4	14,7	86,7	0
	12	159	114	94,7	100,3	45	37,8	0	114	0
1964	1	62	120	54,4	55,3	0	69,1	40,3	102,3	0
	2	89	81	62,4	95,6	8	29,4	0	81	0
	3	202	89	150	87,6	87,6	37,4	0	89	25,4
	4	91	57	150	0	0	51,7	0	57	34
	5	19	45	124,2	0	0	41,7	25,8	44,8	0
	6	7	23	110,9	25,8	0	19	13,2	20,2	0
	7	4	25	95,4	39,1	0	18,5	15,5	19,5	0
	8	36	32	99,4	54,6	4	20,4	0	32	0
	9	57	45	111,4	50,6	12	30,1	0	45	0
	10	18	73	70,6	38,6	0	52,2	40,8	58,8	0
	11	107	90	87,6	79,4	17	42,4	0	90	0
	12	176	114	149,6	62,4	62	62,6	0	114	0

1965	1	81	120	113	0,4	0	103,9	36,6	117,6	0
	2	43	81	84,3	37	0	61	28,6	71,6	0
	3	43	89	58,5	65,7	0	50	25,9	68,9	0
	4	46	57	54,2	91,5	0	22,2	4,3	50,3	0
	5	8	45	40,8	95,8	0	16,3	13,4	21,4	0
	6	112	23	129,8	109,2	89	6,3	0	23	0
	7	7	25	111,8	20,2	0	25	18	25	0
	8	0	32	87,4	38,2	0	24,5	24,5	24,5	0
	9	17	45	71	62,6	0	26,2	16,3	33,3	0
	10	173	73	150	79	79	34,6	0	73	21
	11	83	90	143	0	0	79,2	7	90	0
	12	58	114	93,3	7	0	98	49,7	107,7	0
1966	1	127	120	100,3	56,7	7	74,7	0	120	0
	2	67	81	89	49,7	0	53	11,4	78,4	0
	3	347	89	150	61	61	52,8	0	89	197
	4	66	57	150	0	0	51,7	0	57	9
	5	19	45	124,2	0	0	41,7	25,8	44,8	0
	6	10	23	113,4	25,8	0	19	10,8	20,8	0
	7	14	25	105,1	36,6	0	18,9	8,3	22,3	0
	8	0	32	82,7	44,9	0	22,4	22,4	22,4	0
	9	5	45	60,6	67,3	0	24,8	22	27	0
	10	23	73	40,4	89,4	0	29,5	20,2	43,2	0
	11	141	90	91,4	109,6	51	24,2	0	90	0
	12	223	114	150	58,6	58,6	64,4	0	114	50,4
1967	1	105	120	135	0	0	104,2	15	120	0
	2	86	81	140	15	5	69,2	0	81	0
	3	56	89	110	10	0	76,7	30	86	0
	4	44	57	100,5	40	0	41,8	9,5	53,5	0
	5	20	45	83,7	49,5	0	30,1	16,7	36,7	0
	6	11	23	77	66,3	0	12,8	6,7	17,7	0
	7	12	25	70,3	73	0	12,8	6,7	18,7	0
	8	4	32	57,2	79,7	0	15	13,1	17,1	0
	9	70	45	82,2	92,8	25	17,2	0	45	0
	10	253	73	150	67,8	67,8	43,3	0	73	112,2
	11	91	90	150	0	0	79,2	0	90	1
	12	51	114	93,3	0	0	99,2	56,7	107,7	0
1968	1	90	120	74,7	56,7	0	74,7	18,7	108,7	0
	2	45	81	56,7	75,3	0	40,3	17,9	62,9	0
	3	113	89	80,7	93,3	24	33,7	0	89	0
	4	0	57	44,3	69,3	0	36,5	36,5	36,5	0
	5	0	45	31	105,7	0	13,3	13,3	13,3	0

	6	75	23	83	119	52	4,8	0	23	0
	7	0	25	58	67	0	25	25	25	0
	8	0	32	45,6	92	0	12,4	12,4	12,4	0
	9	43	45	45	104,4	0	13,7	0,6	43,6	0
	10	45	73	36,6	105	0	21,9	8,4	53,4	0
	11	0	90	14,6	113,4	0	22	22	22	0
	12	167	114	67,6	135,4	53	11,1	0	114	0
1969	1	70	120	35,5	82,4	0	52	32,1	102,1	0
	2	160	81	114,5	114,5	79	19,2	0	81	0
	3	92	89	117,5	35,5	3	63,2	0	89	0
	4	79	57	139,5	32,5	22	44,7	0	57	0
	5	98	45	150	10,5	10,5	40,3	0	45	42,5
	6	59	23	150	0	0	23	0	23	36
	7	1	25	126	0	0	25	24	25	0
	8	6	32	104,2	24	0	26,8	21,8	27,8	0
	9	44	45	103,5	45,8	0	31,3	0,7	44,7	0
	10	32	73	75,2	46,5	0	50,4	28,3	60,3	0
	11	160	90	145,2	74,8	70	45,1	0	90	0
	12	88	114	119,4	4,8	0	96,3	25,8	113,8	0
1970	1	157	120	150	30,6	30,6	95,5	0	120	6,4
	2	155	81	150	0	0	71,7	0	81	74
	3	199	89	150	0	0	78,3	0	89	110
	4	15	57	110,8	0	0	51,7	39,2	54,2	0
	5	84	45	149,8	39,2	39	33,3	0	45	0
	6	0	23	126,8	0,2	0	23	23	23	0
	7	0	25	105,7	23,2	0	21,1	21,1	21,1	0
	8	0	32	83,1	44,3	0	22,5	22,5	22,5	0
	9	33	45	76,5	66,9	0	24,9	6,7	39,7	0
	10	76	73	79,5	73,5	3	37,2	0	73	0
	11	80	90	72,9	70,5	0	47,4	6,6	86,6	0
	12	127	114	85,9	77,1	13	55,4	0	114	0
1971	1	146	120	111,9	64,1	26	65	0	120	0
	2	69	81	99,9	38,1	0	57,5	12	81	0
	3	120	89	130,9	50,1	31	57	0	89	0
	4	97	57	150	19,1	19,1	47,6	0	57	20,9
	5	26	45	131	0	0	41,7	19	45	0
	6	8	23	117,5	19	0	20,2	13,5	21,5	0
	7	42	25	134,5	32,5	17	19,6	0	25	0
	8	27	32	129,5	15,5	0	28,8	5	32	0
	9	72	45	150	20,5	20,5	37,8	0	45	6,5
	10	72	73	149	0	0	65	1	73	0

	11	48	90	110	1	0	79	39	87	0
	12	74	114	80,7	40	0	83,6	29,3	103,3	0
1972	1	77	120	57,5	69,3	0	64,5	23,1	100,1	0
	2	95	81	71,5	92,5	14	31,1	0	81	0
	3	97	89	79,5	78,5	8	42,8	0	89	0
	4	49	57	71,5	70,5	0	35,4	8	57	0
	5	0	45	45,7	78,5	0	25,9	25,9	25,9	0
	6	25	23	47,7	104,3	2	7	0	23	0
	7	15	25	43,2	102,3	0	9	4,4	19,4	0
	8	60	32	71,2	106,8	28	9,2	0	32	0
	9	108	45	134,2	78,8	63	31,2	0	45	0
	10	71	73	132,2	15,8	0	59,9	2	73	0
	11	190	90	150	17,8	17,8	71,8	0	90	82,2
	12	135	114	150	0	0	99,2	0	114	21
1973	1	84	120	115,8	0	0	104,2	34,2	118,2	0
	2	94	81	128,8	34,2	13	62,6	0	81	0
	3	219	89	150	21,2	21,2	71,7	0	89	108,8
	4	99	57	150	0	0	51,7	0	57	42
	5	17	45	122,5	0	0	41,7	27,5	44,5	0
	6	83	23	150	27,5	27,5	18,8	0	23	32,5
	7	52	25	150	0	0	25	0	25	27
	8	0	32	119,2	0	0	30,8	30,8	30,8	0
	9	10	45	91,4	30,8	0	35,8	27,8	37,8	0
	10	102	73	120,4	58,6	29	44,5	0	73	0
	11	48	90	84,6	29,6	0	66,3	35,8	83,8	0
	12	178	114	148,6	65,4	64	64,3	0	114	0
1974	1	134	120	150	1,4	1,4	103,3	0	120	12,6
	2	64	81	133	0	0	71,7	17	81	0
	3	134	89	150	17	17	75,5	0	89	28
	4	0	57	98,3	0	0	51,7	51,7	51,7	0
	5	11	45	76	51,7	0	29,5	22,3	33,3	0
	6	4	23	66,4	74	0	11,7	9,6	13,6	0
	7	84	25	125,4	83,6	59	11,1	0	25	0
	8	55	32	148,4	24,6	23	29,7	0	32	0
	9	12	45	116,8	1,6	0	41,5	31,6	43,6	0
	10	94	73	137,8	33,2	21	56,9	0	73	0
	11	58	90	108,3	12,2	0	74,7	29,6	87,6	0
	12	74	114	79,4	41,7	0	82,3	28,9	102,9	0
1975	1	181	120	140,4	70,6	61	63,5	0	120	0
	2	159	81	150	9,6	9,6	68,1	0	81	68,4
	3	234	89	150	0	0	78,3	0	89	145

	4	28	57	121,7	0	0	51,7	28,3	56,3	0
	5	39	45	116,8	28,3	0	36,5	4,9	43,9	0
	6	0	23	98,9	33,2	0	17,9	17,9	17,9	0
	7	6	25	86,4	51,1	0	16,5	12,5	18,5	0
	8	29	32	84,6	63,6	0	18,4	1,7	30,7	0
	9	104	45	143,6	65,4	59	25,4	0	45	0
	10	32	73	106	6,4	0	63	37,7	69,7	0
	11	15	90	53	44	0	63,6	53	68	0
	12	30	114	23,3	97	0	40,3	29,7	59,7	0
1976	1	174	120	77,3	126,7	54	18,7	0	120	0
	2	268	81	150	72,7	72,7	44,5	0	81	114,3
	3	45	89	109,2	0	0	78,3	40,8	85,8	0
	4	59	57	111,2	40,8	2	41,5	0	57	0
	5	34	45	102,6	38,8	0	33,3	8,5	42,5	0
	6	0	23	86,9	47,4	0	15,7	15,7	15,7	0
	7	12	25	79,4	63,1	0	14,5	7,5	19,5	0
	8	115	32	150	70,6	70,6	16,9	0	32	12,4
	9	32	45	137	0	0	41,7	13	45	0
	10	55	73	120	13	0	62,8	17	72	0
	11	120	90	150	30	30	72	0	90	0
	12	227	114	150	0	0	99,2	0	114	113
1977	1	102	120	132	0	0	104,2	18	120	0
	2	42	81	98,3	18	0	68,7	33,7	75,7	0
	3	123	89	132,3	51,7	34	58,3	0	89	0
	4	0	57	84,4	17,7	0	47,9	47,9	47,9	0
	5	8	45	63,6	65,6	0	25,3	20,8	28,8	0
	6	28	23	68,6	86,4	5	9,8	0	23	0
	7	0	25	55,1	81,4	0	13,5	13,5	13,5	0
	8	20	32	50,7	94,9	0	11,8	4,4	24,4	0
	9	0	45	35,5	99,3	0	15,2	15,2	15,2	0
	10	139	73	101,5	114,5	66	17,3	0	73	0
	11	39	90	63,2	48,5	0	58,2	38,3	77,3	0
	12	154	114	103,2	86,8	40	48,1	0	114	0
1978	1	251	120	150	46,8	46,8	74,6	0	120	84,2
	2	90	81	150	0	0	71,7	0	81	9
	3	122	89	150	0	0	78,3	0	89	33
	4	14	57	110	0	0	51,7	40	54	0
	5	0	45	77	40	0	33	33	33	0
	6	3	23	66,7	73	0	11,8	10,3	13,3	0
	7	24	25	66,3	83,3	0	11,1	0,4	24,4	0
	8	0	32	52,1	83,7	0	14,1	14,1	14,1	0

	9	189	45	150	97,9	97,9	15,6	0	45	46,1
	10	157	73	150	0	0	65	0	73	84
	11	110	90	150	0	0	79,2	0	90	20
	12	104	114	140	0	0	99,2	10	114	0
1979	1	127	120	147	10	7	102,5	0	120	0
	2	202	81	150	3	3	71,2	0	81	118
	3	148	89	150	0	0	78,3	0	89	59
	4	50	57	143	0	0	51,7	7	57	0
	5	21	45	120	7	0	40,5	23	44	0
	6	117	23	150	30	30	18,4	0	23	64
	7	2	25	127	0	0	25	23	25	0
	8	17	32	114,2	23	0	27	12,8	29,8	0
	9	63	45	132,2	35,8	18	34,3	0	45	0
	10	23	73	89,8	17,8	0	59,9	42,4	65,4	0
	11	229	90	150	60,2	60,2	53,9	0	90	78,8
	12	86	114	122,5	0	0	99,2	27,5	113,5	0
1980	1	0	120	24,5	27,5	0	98	98	98	0
	2	156	81	99,5	125,5	75	13,2	0	81	0
	3	186	89	150	50,5	50,5	56,8	0	89	46,5
	4	160	57	150	0	0	51,7	0	57	103
	5	42	45	147	0	0	41,7	3	45	0
	6	2	23	126	3	0	22,8	21	23	0
	7	5	25	109,2	24	0	21	16,8	21,8	0
	8	0	32	85,9	40,8	0	23,3	23,3	23,3	0
	9	7	45	64,1	64,1	0	25,8	21,8	28,8	0
	10	174	73	150	85,9	85,9	31,2	0	73	15,1
	11	110	90	150	0	0	79,2	0	90	20
	12	84	114	120,8	0	0	99,2	29,2	113,2	0
1981	1	224	120	150	29,2	29,2	96,7	0	120	74,8
	2	31	81	104,2	0	0	71,7	45,8	76,8	0
	3	127	89	142,2	45,8	38	61,8	0	89	0
	4	78	57	150	7,8	7,8	50	0	57	13,2
	5	0	45	108,3	0	0	41,7	41,7	41,7	0
	6	0	23	91,7	41,7	0	16,6	16,6	16,6	0
	7	0	25	76,4	58,3	0	15,3	15,3	15,3	0
	8	0	32	60,1	73,6	0	16,3	16,3	16,3	0
	9	8	45	45,3	89,9	0	18	14,8	22,8	0
	10	90	73	62,3	104,7	17	22	0	73	0
	11	127	90	99,3	87,7	37	39	0	90	0
	12	95	114	80,3	50,7	0	69,1	19	114	0
1982	1	86	120	60,4	69,7	0	62,5	19,9	105,9	0

	2	167	81	146,4	89,6	86	32,6	0	81	0
	3	81	89	138,4	3,6	0	76,8	8	89	0
	4	87	57	150	11,6	11,6	49,4	0	57	18,4
	5	0	45	108,3	0	0	41,7	41,7	41,7	0
	6	0	23	91,7	41,7	0	16,6	16,6	16,6	0
	7	0	25	76,4	58,3	0	15,3	15,3	15,3	0
	8	0	32	60,1	73,6	0	16,3	16,3	16,3	0
	9	97	45	112,1	89,9	52	18	0	45	0
	10	99	73	138,1	37,9	26	52,9	0	73	0
	11	84	90	132,1	11,9	0	74	6	90	0
	12	55	114	83	17,9	0	90,6	49,2	104,2	0
1983	1	238	120	150	67	67	66,4	0	120	51
	2	49	81	119,2	0	0	71,7	30,8	79,8	0
	3	54	89	91,4	30,8	0	70,7	27,8	81,8	0
	4	61	57	95,4	58,6	4	34,7	0	57	0
	5	106	45	150	54,6	54,6	29	0	45	6,4
	6	8	23	135	0	0	23	15	23	0
	7	13	25	123,3	15	0	22,5	11,7	24,7	0
	8	40	32	131,3	26,7	8	26,3	0	32	0
	9	33	45	120	18,7	0	38,4	11,3	44,3	0
	10	81	73	128	30	8	58,4	0	73	0
	11	75	90	114,4	22	0	73,6	13,6	88,6	0
	12	50	114	65,6	35,6	0	87	48,8	98,8	0
1984	1	104	120	58,6	84,4	0	52,5	7	111	0
	2	186	81	150	91,4	91,4	31,7	0	81	13,6
	3	79	89	140	0	0	78,3	10	89	0
	4	41	57	124,2	10	0	50	15,8	56,8	0
	5	7	45	92,7	25,8	0	37,2	31,5	38,5	0
	6	6	23	82,2	57,3	0	14,2	10,5	16,5	0
	7	0	25	68,5	67,8	0	13,7	13,7	13,7	0
	8	11	32	58,9	81,5	0	14,6	9,6	20,6	0
	9	69	45	82,9	91,1	24	17,7	0	45	0
	10	69	73	78,9	67,1	0	43,2	4	73	0
	11	150	90	138,9	71,1	60	47,5	0	90	0
	12	119	114	143,9	11,1	5	92,6	0	114	0
1985	1	73	120	101,5	6,1	0	100,3	42,4	115,4	0
	2	97	81	117,5	48,5	16	54,8	0	81	0
	3	3	89	54,1	32,5	0	65,4	63,4	66,4	0
	4	43	57	49,1	95,9	0	20,6	5,1	48,1	0
	5	0	45	34,3	100,9	0	14,7	14,7	14,7	0
	6	0	23	29,1	115,7	0	5,3	5,3	5,3	0

	7	76	25	80,1	120,9	51	4,8	0	25	0
	8	54	32	102,1	69,9	22	27,6	0	32	0
	9	60	45	117,1	47,9	15	35,3	0	45	0
	10	134	73	150	32,9	32,9	54,5	0	73	28,1
	11	66	90	126	0	0	79,2	24	90	0
	12	139	114	150	24	24	95,2	0	114	1
1986	1	287	120	150	0	0	104,2	0	120	167
	2	42	81	113,3	0	0	71,7	36,7	78,7	0
	3	110	89	134,3	36,7	21	67,2	0	89	0
	4	113	57	150	15,7	15,7	48,2	0	57	40,3
	5	21	45	126	0	0	41,7	24	45	0
	6	6	23	111,7	24	0	19,3	14,3	20,3	0
	7	0	25	93,1	38,3	0	18,6	18,6	18,6	0
	8	0	32	73,2	56,9	0	19,9	19,9	19,9	0
	9	44	45	72,7	76,8	0	22	0,5	44,5	0
	10	120	73	119,7	77,3	47	35,4	0	73	0
	11	97	90	126,7	30,3	7	66	0	90	0
	12	133	114	145,7	23,3	19	85,4	0	114	0
1987	1	59	120	91,7	4,3	0	101,5	54	113	0
	2	124	81	134,7	58,3	43	49,5	0	81	0
	3	136	89	150	15,3	15,3	71,8	0	89	31,7
	4	44	57	137	0	0	51,7	13	57	0
	5	144	45	150	13	13	39,5	0	45	86
	6	0	23	127	0	0	23	23	23	0
	7	58	25	150	23	23	21,2	0	25	10
	8	12	32	130	0	0	30,8	20	32	0
	9	8	45	98,3	20	0	38,3	31,7	39,7	0
	10	113	73	138,3	51,7	40	47,9	0	73	0
	11	74	90	122,3	11,7	0	74,1	16	90	0
	12	129	114	137,3	27,7	15	88,3	0	114	0
1988	1	108	120	125,3	12,7	0	96,5	12	120	0
	2	74	81	118,3	24,7	0	64,1	7	81	0
	3	415	89	150	31,7	31,7	68,5	0	89	294,3
	4	65	57	150	0	0	51,7	0	57	8
	5	4	45	111,7	0	0	41,7	38,3	42,3	0
	6	0	23	94,5	38,3	0	17,1	17,1	17,1	0
	7	20	25	91,4	55,5	0	15,8	3,2	23,2	0
	8	0	32	71,9	58,6	0	19,5	19,5	19,5	0
	9	46	45	72,9	78,1	1	21,6	0	45	0
	10	0	73	37,4	77,1	0	35,5	35,5	35,5	0
	11	0	90	15	112,6	0	22,4	22,4	22,4	0

	12	53	114	8,9	135	0	11,4	6,1	59,1	0
1989	1	49	120	4,7	141,1	0	7,1	4,2	53,2	0
	2	51	81	3,7	145,3	0	2,5	0,9	51,9	0
	3	114	89	28,7	146,3	25	2,2	0	89	0
	4	75	57	46,7	121,3	18	25,8	0	57	0
	5	28	45	29,7	103,3	0	27,9	17	45	0
	6	21	23	27,7	120,3	0	10,2	2	23	0
	7	11	25	20,6	122,3	0	8,8	7,2	18,2	0
	8	8	32	17,3	129,4	0	4,4	3,3	11,3	0
	9	24	45	14,9	132,7	0	5,2	2,4	26,4	0
	10	47	73	12,3	135,1	0	7,2	2,6	49,6	0
	11	53	90	9,3	137,7	0	7,4	3	56	0
	12	139	114	34,3	140,7	25	7	0	114	0
1990	1	79	120	8,3	115,7	0	30,9	26	105	0
	2	149	81	76,3	141,7	68	4,5	0	81	0
	3	187	89	150	73,7	73,7	46,9	0	89	24,3
	4	108	57	150	0	0	51,7	0	57	51
	5	73	45	150	0	0	41,7	0	45	28
	6	0	23	127	0	0	23	23	23	0
	7	34	25	136	23	9	21,2	0	25	0
	8	4	32	110,8	14	0	28,5	25,2	29,2	0
	9	18	45	90,9	39,2	0	33,3	19,9	38	0
	10	82	73	99,9	59,1	9	44,2	0	73	0
	11	142	90	150	50,1	50,1	58,1	0	90	1,9
	12	83	114	120	0	0	99,2	30	113	0
1991	1	226	120	150	30	30	96	0	120	76
	2	91	81	150	0	0	71,7	0	81	10
	3	246	89	150	0	0	78,3	0	89	157
	4	42	57	135	0	0	51,7	15	57	0
	5	67	45	150	15	15	39,2	0	45	7
	6	63	23	150	0	0	23	0	23	40
	7	11	25	136	0	0	25	14	25	0
	8	23	32	127	14	0	28,5	9	32	0
	9	23	45	108,3	23	0	37,8	18,7	41,7	0
	10	76	73	111,3	41,7	3	52,7	0	73	0
	11	69	90	95,3	38,7	0	65,8	16	85	0
	12	209	114	150	54,7	54,7	72,5	0	114	40,3
1992	1	85	120	116,7	0	0	104,2	33,3	118,3	0
	2	60	81	100,3	33,3	0	63	16,3	76,3	0
	3	93	89	104,3	49,7	4	59,5	0	89	0
	4	18	57	76,9	45,7	0	39,5	27,4	45,4	0

	5	0	45	53,8	73,1	0	23,1	23,1	23,1	0
	6	0	23	45,6	96,2	0	8,3	8,3	8,3	0
	7	21	25	44,4	104,4	0	7,6	1,2	22,2	0
	8	63	32	75,4	105,6	31	9,5	0	32	0
	9	47	45	77,4	74,6	2	31,7	0	45	0
	10	93	73	97,4	72,6	20	41,8	0	73	0
	11	113	90	120,4	52,6	23	56,4	0	90	0
	12	77	114	87,7	29,6	0	81,6	32,6	109,6	0
1993	1	190	120	150	62,3	62,3	70,2	0	120	7,7
	2	132	81	150	0	0	71,7	0	81	51
	3	0	89	71,7	0	0	78,3	78,3	78,3	0
	4	105	57	119,7	78,3	48	27,2	0	57	0
	5	96	45	150	30,3	30,3	37,6	0	45	20,7
	6	0	23	127	0	0	23	23	23	0
	7	0	25	105,8	23	0	21,2	21,2	21,2	0
	8	38	32	111,8	44,2	6	22,6	0	32	0
	9	68	45	134,8	38,2	23	33,5	0	45	0
	10	120	73	150	15,2	15,2	60,1	0	73	31,8
	11	71	90	131	0	0	79,2	19	90	0
	12	172	114	150	19	19	96	0	114	39
1994	1	56	120	92,5	0	0	104,2	57,5	113,5	0
	2	56	81	77,1	57,5	0	50	15,4	71,4	0
	3	80	89	72,5	72,9	0	45,7	4,6	84,6	0
	4	41	57	64,7	77,5	0	27,5	7,7	48,7	0
	5	49	45	68,7	85,3	4	19,4	0	45	0
	6	35	23	80,7	81,3	12	12,2	0	23	0
	7	20	25	75,7	69,3	0	19,9	5	25	0
	8	48	32	91,7	74,3	16	20,1	0	32	0
	9	56	45	102,7	58,3	11	33,9	0	45	0
	10	149	73	150	47,3	47,3	49,9	0	73	28,7
	11	111	90	150	0	0	79,2	0	90	21
	12	76	114	114,2	0	0	99,2	35,8	111,8	0
1995	1	111	120	107,3	35,8	0	91,3	6,8	117,9	0
	2	95	81	121,3	42,7	14	58	0	81	0
	3	147	89	150	28,7	28,7	67,7	0	89	29,3
	4	56	57	149	0	0	51,7	1	57	0
	5	47	45	150	1	1	41,5	0	45	1
	6	20	23	147	0	0	23	3	23	0
	7	9	25	131	3	0	24,5	16	25	0
	8	0	32	103,3	19	0	27,7	27,7	27,7	0
	9	11	45	79,9	46,7	0	31	23,4	34,4	0

	10	96	73	102,9	70,1	23	38,9	0	73	0
	11	187	90	150	47,1	47,1	58,7	0	90	49,9
	12	71	114	110	0	0	99,2	40	111	0
1996	1	124	120	114	40	4	88	0	120	0
	2	142	81	150	36	36	60,5	0	81	25
	3	110	89	150	0	0	78,3	0	89	21
	4	106	57	150	0	0	51,7	0	57	49
	5	30	45	135	0	0	41,7	15	45	0
	6	0	23	114,2	15	0	20,8	20,8	20,8	0
	7	0	25	95,1	35,8	0	19	19	19	0
	8	7	32	79,3	54,9	0	20,3	15,9	22,9	0
	9	28	45	70,3	70,7	0	23,8	9	37	0
	10	60	73	64,2	79,7	0	34,2	6,1	66,1	0
	11	89	90	63,8	85,8	0	38,5	0,4	89,4	0
	12	126	114	75,8	86,2	12	48,5	0	114	0
1997	1	158	120	113,8	74,2	38	57,9	0	120	0
	2	95	81	127,8	36,2	14	58,1	0	81	0
	3	88	89	126,8	22,2	0	68,9	1	89	0
	4	72	57	141,8	23,2	15	46,6	0	57	0
	5	7	45	106,7	8,2	0	40,6	35,1	42,1	0
	6	43	23	126,7	43,3	20	16,4	0	23	0
	7	8	25	109,7	23,3	0	23,6	17	25	0
	8	8	32	91,7	40,3	0	23,6	17,9	25,9	0
	9	22	45	77,7	58,3	0	27,5	14,1	36,1	0
	10	177	73	150	72,3	72,3	37,8	0	73	31,7
	11	130	90	150	0	0	79,2	0	90	40
	12	321	114	150	0	0	99,2	0	114	207
1998	1	199	120	150	0	0	104,2	0	120	79
	2	176	81	150	0	0	71,7	0	81	95
	3	79	89	140	0	0	78,3	10	89	0
	4	155	57	150	10	10	50	0	57	88
	5	67	45	150	0	0	41,7	0	45	22
	6	0	23	127	0	0	23	23	23	0
	7	9	25	113,3	23	0	21,2	13,7	22,7	0
	8	0	32	89,2	36,7	0	24,2	24,2	24,2	0
	9	7	45	66,6	60,8	0	26,7	22,6	29,6	0
	10	74	73	67,6	83,4	1	32,4	0	73	0
	11	215	90	150	82,4	82,4	40,5	0	90	42,6
	12	108	114	144	0	0	99,2	6	114	0
1999	1	71	120	100	6	0	103,2	44	115	0
	2	86	81	105	50	5	54	0	81	0

	3	162	89	150	45	45	61	0	89	28
	4	149	57	150	0	0	51,7	0	57	92
	5	12	45	118,3	0	0	41,7	31,7	43,7	0
	6	7	23	105,7	31,7	0	18,1	12,6	19,6	0
	7	5	25	91,6	44,3	0	17,6	14,1	19,1	0
	8	9	32	77,6	58,4	0	19,5	14	23	0
	9	27	45	68,3	72,4	0	23,3	9,3	36,3	0
	10	68	73	66	81,7	0	33,2	2,3	70,3	0
	11	125	90	101	84	35	39,6	0	90	0
	12	140	114	127	49	26	70,1	0	114	0
2000	1	191	120	150	23	23	89,6	0	120	48
	2	82	81	150	0	0	71,7	0	81	1
	3	33	89	99,2	0	0	78,3	50,8	83,8	0
	4	106	57	148,2	50,8	49	37,7	0	57	0
	5	121	45	150	1,8	1,8	41,4	0	45	74,2
	6	0	23	127	0	0	23	23	23	0
	7	1	25	106,7	23	0	21,2	20,3	21,3	0
	8	2	32	85,3	43,3	0	22,8	21,3	23,3	0
	9	11	45	66	64,7	0	25,6	19,3	30,3	0
	10	77	73	70	84	4	32,1	0	73	0
	11	302	90	150	80	80	41,8	0	90	132
	12	115	114	150	0	0	99,2	0	114	1
2001	1	66	120	100,8	0	0	104,2	49,2	115,2	0
	2	37	81	71,3	49,2	0	54,5	29,6	66,6	0
	3	236	89	150	78,7	78,7	42,3	0	89	68,3
	4	165	57	150	0	0	51,7	0	57	108
	5	18	45	123,3	0	0	41,7	26,7	44,7	0
	6	15	23	116,8	26,7	0	18,9	6,6	21,6	0
	7	0	25	97,3	33,2	0	19,5	19,5	19,5	0
	8	52	32	117,3	52,7	20	20,8	0	32	0
	9	179	45	150	32,7	32,7	36,2	0	45	101,3
	10	91	73	150	0	0	65	0	73	18
	11	48	90	110,8	0	0	79,2	39,2	87,2	0
	12	94	114	96,1	39,2	0	84,2	14,8	108,8	0
2002	1	194	120	150	53,9	53,9	76,8	0	120	20,1
	2	13	81	89,2	0	0	71,7	60,8	73,8	0
	3	235	89	150	60,8	60,8	52,9	0	89	85,2
	4	104	57	150	0	0	51,7	0	57	47
	5	28	45	133	0	0	41,7	17	45	0
	6	0	23	112,5	17	0	20,5	20,5	20,5	0
	7	8	25	99,8	37,5	0	18,8	12,8	20,8	0

	8	72	32	139,8	50,3	40	21,3	0	32	0
	9	0	45	99,4	10,3	0	40,3	40,3	40,3	0
	10	128	73	150	50,6	50,6	48,4	0	73	4,4
	11	175	90	150	0	0	79,2	0	90	85
	12	213	114	150	0	0	99,2	0	114	99
2003	1	89	120	120	0	0	104,2	30	119	0
	2	69	81	110,4	30	0	64,8	9,6	78,6	0
	3	223	89	150	39,6	39,6	65,5	0	89	94,4
	4	81	57	150	0	0	51,7	0	57	24
	5	4	45	111,7	0	0	41,7	38,3	42,3	0
	6	0	23	94,5	38,3	0	17,1	17,1	17,1	0
	7	35	25	104,5	55,5	10	15,8	0	25	0
	8	34	32	106,5	45,5	2	23,9	0	32	0
	9	0	45	73,7	43,5	0	32,8	32,8	32,8	0
	10	0	73	37,9	76,3	0	35,9	35,9	35,9	0
	11	37	90	24,5	112,1	0	22,7	13,4	50,4	0
	12	107	114	23,3	125,5	0	18,6	1,1	108,1	0
2004	1	55	120	13,2	126,7	0	18,7	10,1	65,1	0
	2	33	81	9	136,8	0	7,1	4,2	37,2	0
	3	109	89	29	141	20	5,3	0	89	0
	4	115	57	87	121	58	22,2	0	57	0
	5	82	45	124	63	37	33,3	0	45	0
	6	0	23	101	26	0	23	23	23	0
	7	76	25	150	49	49	17,2	0	25	2
	8	17	32	135	0	0	30,8	15	32	0
	9	0	45	95,8	15	0	39,2	39,2	39,2	0
	10	104	73	126,8	54,2	31	46,6	0	73	0
	11	82	90	118,8	23,2	0	69,1	8	90	0
	12	122	114	126,8	31,2	8	82,9	0	114	0
2005	1	121	120	127,8	23,2	1	89,5	0	120	0
	2	113	81	150	22,2	22,2	63,4	0	81	9,8
	3	80	89	141	0	0	78,3	9	89	0
	4	13	57	101,7	9	0	50,2	39,3	52,3	0
	5	0	45	71,2	48,3	0	30,5	30,5	30,5	0
	6	0	23	60,3	78,8	0	10,9	10,9	10,9	0
	7	11	25	54,6	89,7	0	10	5,6	16,6	0
	8	20	32	50,3	95,4	0	11,7	4,4	24,4	0
	9	46	45	51,3	99,7	1	15,1	0	45	0
	10	121	73	99,3	98,7	48	25,1	0	73	0
	11	92	90	101,3	50,7	2	57,2	0	90	0
	12	33	114	47,8	48,7	0	70,2	53,5	86,5	0

2006	1	116	120	46,5	102,2	0	38,2	1,3	117,3	0
	2	74	81	44,3	103,5	0	25,1	2,2	76,2	0
	3	104	89	59,3	105,7	15	26,3	0	89	0
	4	153	57	150	90,7	90,7	27,4	0	57	5,3
	5	3	45	110,8	0	0	41,7	39,2	42,2	0
	6	4	23	96,8	39,2	0	17	14	18	0
	7	1	25	81,3	53,2	0	16,1	15,5	16,5	0
	8	1	32	64,5	68,7	0	17,3	16,8	17,8	0
	9	4	45	46,9	85,5	0	19,4	17,6	21,6	0
	10	102	73	75,9	103,1	29	22,8	0	73	0
	11	179	90	150	74,1	74,1	47	0	90	14,9
	12	231	114	150	0	0	99,2	0	114	117
2007	1	138	120	150	0	0	104,2	0	120	18
	2	197	81	150	0	0	71,7	0	81	116
	3	202	89	150	0	0	78,3	0	89	113
	4	17	57	112,5	0	0	51,7	37,5	54,5	0
	5	0	45	78,8	37,5	0	33,8	33,8	33,8	0
	6	22	23	78,2	71,3	0	12,1	0,5	22,5	0
	7	15	25	73	71,8	0	13	5,2	20,2	0
	8	3	32	58,9	77	0	15,6	14,1	17,1	0
	9	136	45	149,9	91,1	91	17,7	0	45	0
	10	38	73	116,6	0,1	0	65	33,3	71,3	0
	11	37	90	75,4	33,4	0	69,9	41,2	78,2	0
	12	62	114	49,2	74,6	0	57,3	26,1	88,1	0
2008	1	136	120	65,2	100,8	16	39,4	0	120	0
	2	144	81	128,2	84,8	63	37,3	0	81	0
	3	81	89	120,2	21,8	0	69,1	8	89	0
	4	38	57	101,9	29,8	0	44,5	18,4	56,4	0
	5	2	45	72,7	48,1	0	30,6	29,2	31,2	0
	6	9	23	65,9	77,3	0	11,1	6,8	15,8	0
	7	1	25	55,3	84,1	0	11	10,5	11,5	0
	8	1	32	43,9	94,7	0	11,8	11,4	12,4	0
	9	28	45	38,9	106,1	0	13,2	5	33	0
	10	43	73	31,1	111,1	0	18,9	7,8	50,8	0
	11	87	90	30,5	118,9	0	18,7	0,6	87,6	0
	12	32	114	13,8	119,5	0	23,2	16,7	48,7	0
2009	1	59	120	8,2	136,2	0	11,1	5,6	64,6	0
	2	113	81	40,2	141,8	32	4,4	0	81	0
	3	42	89	13	109,8	0	31,5	27,2	69,2	0
	4	31	57	10,7	137	0	4,9	2,2	33,2	0
	5	18	45	8,8	139,3	0	3,2	1,9	19,9	0

	6	0	23	7,4	141,2	0	1,3	1,3	1,3	0
	7	16	25	7	142,6	0	1,2	0,4	16,4	0
	8	0	32	5,5	143	0	1,5	1,5	1,5	0
	9	88	45	48,5	144,5	43	1,7	0	45	0
	10	21	73	19,3	101,5	0	32,5	29,2	50,2	0
	11	95	90	24,3	130,7	5	11,6	0	90	0
	12	294	114	150	125,7	125,7	19	0	114	54,3
2010	1	165	120	150	0	0	104,2	0	120	45
	2	86	81	150	0	0	71,7	0	81	5
	3	26	89	93,3	0	0	78,3	56,7	82,7	0
	4	43	57	84,6	56,7	0	35,5	8,7	51,7	0
	5	46	45	85,6	65,4	1	25,4	0	45	0
	6	5	23	75	64,4	0	13,4	10,6	15,6	0
	7	2	25	63,5	75	0	12,5	11,5	13,5	0
	8	1	32	50,4	86,5	0	13,6	13,1	14,1	0
	9	98	45	103,4	99,6	53	15,1	0	45	0
	10	96	73	126,4	46,6	23	50,1	0	73	0
	11	66	90	102,4	23,6	0	68,9	24	90	0
	12	86	114	83,1	47,6	0	77,4	19,3	105,3	0
2011	1	40	120	38,8	66,9	0	66,5	44,3	84,3	0
	2	117	81	74,8	111,2	36	21	0	81	0
	3	103	89	88,8	75,2	14	46,2	0	89	0
	4	66	57	97,8	61,2	9	38,6	0	57	0
	5	13	45	69,4	52,2	0	34,7	28,4	41,4	0
	6	7	23	62	80,6	0	10,6	7,4	14,4	0
	7	2	25	52,5	88	0	10,3	9,5	11,5	0
	8	10	32	44,8	97,5	0	11,2	7,7	17,7	0
	9	12	45	34,9	105,2	0	13,4	9,9	21,9	0
	10	105	73	66,9	115,1	32	17	0	73	0
	11	93	90	69,9	83,1	3	43,2	0	90	0
	12	16	114	23,1	80,1	0	51,7	46,9	62,9	0

ANEXO II
PROFUNDIDAD Y POTENCIALES HIDRÁULICOS
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

Tabla de dinámica del acuífero freático de la zona de estudio

Nº Muestra	Prof. Nivel Freático [m]	Cota del nivel estático [m]
B1	3	117
B2	3	112
B3	3	112
B4	4	111
B5	3	112
B6	4	108
B7	1,5	131
B8	3	127
B9	1,15	113,85
B10	6	116,5
B11	5,83	115,42
B12	3	117
B13	3	117
B14	3	115,75
B15	3	115,75
B16	3	110,75
B17	3	112
B18	5	111,25
B19	3	117
B20	3	117
B21	3	118,5
B22	3	118,5
B23	3	117
B23	3	122
B24	3	122
B25	4	118,5
B26	3	117
B27	3	117,25
B28	3	117
EB19	S/D	S/D
AB9	S/D	S/D
AB10	S/D	S/D

Aguas superficiales

Nº Muestra	pH	Cond. [μS/cm]	SDT [mg/l]	CO ₃ ⁼ [meq/l]	HCO ₃ ⁻ [meq/l]	SO ₄ ⁼ [meq/l]	Cl ⁻ [meq/l]	Na ⁺ [meq/l]	K ⁺ [meq/l]	Ca ⁺² [meq/l]	Mg ⁺² [meq/l]	F ⁻ [meq/l]	NO ₃ ⁻ [meq/l]	Obs.
A1	7,99	546	382	0,0	3,2	1,0	0,8	3,8	0,2	1,6	0,5	0,0	0,2	Rio IV-Pte Olmos
A2	8,73	5570	3899	0,6	6,6	34,1	26,6	54,8	0,7	2,3	4,8	0,1	0,0	Canal La Brava
A3	9,24	6000	4200	3,7	12,7	30,4	17,8	65,7	1,3	0,6	0,5	0,1	0,0	Laguna
A4	8,24	12910	9037	0,0	3,7	82,5	60,0	135,7	1,7	9,8	15,8	0,0	0,2	Laguna
A5	8,12	7320	5124	0,0	6,1	43,1	34,2	65,7	1,0	2,3	8,1	0,1	0,1	Brazo Río Salad.
A6	8,48	5880	4116	0,4	13,3	39,3	17,9	59,1	1,0	3,1	3,0	0,1	0,0	Canal de drenaje
A7	8,40	10630	7441	0,3	10,4	46,6	43,6	110,2	1,4	3,8	5,7	0,0	0,0	Bñido cost camino
A8	8,05	14460	10122	0,0	8,9	78,9	73,2	140,4	1,5	17,8	8,7	0,0	0,0	Bñido cost camino
A9	9,02	9100	6370	1,6	5,2	39,1	48,0	82,6	1,2	2,6	7,1	0,1	0,7	La Helvecia
A10	8,87	14360	10052	0,9	2,2	69,9	61,6	132,3	1,8	11,3	19,0	0,0	1,0	Lag. Los Novillos
A11	7,18	1502	1051	0,0	2,0	8,3	4,7	9,0	0,5	3,1	1,1	0,0	0,0	Laguna
A12	8,30	920	644	0,0	2,2	5,4	4,4	11,6	0,5	1,6	0,3	0,1	0,9	Laguna
A13	8,52	4240	2968	0,4	5,3	31,9	13,9	49,0	0,7	1,6	1,0	0,1	0,0	Canal
A14	9,39	39700	27790	11,0	5,9	110,6	328,0	407,0	7,5	3,0	22,8	0,0	2,2	Laguna
A15	9,05	7320	5124	1,7	4,8	40,8	38,0	70,4	1,2	2,0	5,8	0,2	0,4	Lag La Brava
EB19	8,10	1103	772	0,0	4,6	2,7	2,2	6,8	0,3	2,1	2,4	0,0	2,4	PiD Edel
EC5	7,50	3920	2744	0,0	5,8	32,9	8,6	39,1	0,4	3,4	1,2	0,0	0,1	PiD Edel
AB9	7,96	4660	3262	0,0	35,6	5,5	7,0	52,2	1,3	0,7	1,5	0,5	0,0	PiD Adriana
AB10	8,03	9500	6650	0,0	9,0	48,3	53,6	92,1	1,9	9,2	5,2	0,5	0,9	PiD Adriana

Nº Muestra	pH	CE [µS/cm]	SDT [mg/l]	CO ₃ ⁼ [mg/l]	HCO ₃ ⁻ [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]
A1	7,99	546	382	0,0	200,0	45,5	27,1	88,5	8,4	31,6	5,6	40	0,8	13
A2	8,73	5570	3899	19,4	412,5	1623,9	950,0	1274,0	29,6	45,6	58,5	150	2,8	0
A3	9,24	6000	4200	112,7	796,3	1447,6	635,7	1528,8	51,6	11,6	6,3	600	2,0	0
A4	8,24	12910	9037	0,0	231,3	3928,2	2142,9	3154,7	69,7	196,8	193,2	40	0,5	14
A5	8,12	7320	5124	0,0	382,5	2051,4	1221,4	1528,8	38,4	46,8	99,2	90	2,0	7
A6	8,48	5880	4116	12,1	832,5	1870,3	640,0	1375,1	41,0	61,6	37,1	60	1,4	0
A7	8,40	10630	7441	9,7	648,8	2220,5	1557,1	2563,2	54,9	75,2	69,8	120	0,8	2
A8	8,05	14460	10122	0,0	557,5	3759,1	2614,3	3265,9	61,5	356,0	106,3	60	0,9	0
A9	9,02	9100	6370	49,7	326,3	1860,6	1714,3	1921,1	48,8	52,8	86,3	120	2,3	46
A10	8,87	14360	10052	26,7	136,3	3329,2	2200,0	3076,8	70,9	226,4	232,2	20	0,1	65
A11	7,18	1502	1051	0,0	122,5	395,8	168,6	208,3	18,8	62,8	13,2	5	0,0	0
A12	8,30	920	644	0,0	135,0	258,3	157,1	270,0	20,5	32,0	3,7	90	1,7	55
A13	8,52	4240	2968	12,1	332,5	1520,0	497,1	1140,5	27,3	32,0	12,4	240	1,6	0
A14	9,39	39700	27790	332,1	368,8	5264,8	11714,3	9464,1	300,1	60,0	278,0	240	0,4	140
A15	9,05	7320	5124	50,9	298,8	1942,7	1357,1	1638,0	46,6	40,0	70,7	140	3,6	23
EC5	7,50	3920	2744	0,0	362,5	1565,9	305,7	910,0	15,4	68,0	14,1	230	0,3	9
EB19	8,10	1103	772	0,0	285,0	126,5	80,0	157,7	12,2	41,6	29,8	15	0,9	150
AB9	7,96	4660	3262	0,0	2225,0	263,1	248,6	1213,3	52,2	13,2	18,8	400	10,0	1
AB10	8,03	9500	6650	0,0	562,5	2298,6	1914,3	2142,6	76,8	184,4	63,2	300	9,0	58

Aguas subterráneas

Nº Muestra	pH	Cond. [µS/cm]	SDT [mg/l]	CO ₃ ⁼ [meq/l]	HCO ₃ ⁻ [meq/l]	SO ₄ ⁼ [meq/l]	Cl ⁻ [meq/l]	Na ⁺ [meq/l]	K ⁺ [meq/l]	Ca ⁺² [meq/l]	Mg ⁺² [meq/l]	F ⁻ [meq/l]	NO ₃ ⁻ [meq/l]
B2	7,56	1774	1242	0,0	8,4	2,9	3,7	14,2	0,5	2,1	2,6	0,1	2,6
B3	7,61	9720	6804	0,0	6,9	49,9	53,8	89,4	1,5	11,6	10,6	0,1	0,3
B5	7,77	7170	5019	0,0	6,2	35,6	38,0	62,6	1,0	11,1	6,0	0,1	0,3
B6	7,58	9550	6685	0,0	9,6	52,8	43,5	83,0	2,1	12,4	2,1	0,1	2,0
B7	7,49	10260	7182	0,0	20,2	53,4	28,8	109,1	1,5	2,4	6,8	0,1	0,0
B8	8,21	3940	2758	0,0	14,8	15,7	8,6	43,0	0,6	0,4	0,9	0,2	0,0
B9	7,53	15650	10955	0,0	15,7	87,0	63,0	144,3	1,5	6,7	7,6	0,0	0,0
B10	7,87	2420	1694	0,0	12,2	11,0	2,8	21,7	0,3	1,4	1,6	0,1	1,5
B13	7,84	3550	2485	0,0	8,2	13,0	7,9	27,3	0,6	3,4	2,6	0,1	9,4
B14	7,62	4550	3185	0,0	11,1	24,9	12,2	40,0	0,8	3,5	4,1	0,0	1,6
B15	8,02	3350	2345	0,0	9,3	16,0	9,8	23,9	0,6	2,1	2,1	0,1	0,0
B18	7,50	19420	13594	0,0	5,8	72,2	132,0	130,4	2,4	24,3	26,8	0,0	3,1
B19	7,98	4610	3227	0,0	12,6	17,2	20,0	36,7	0,7	2,6	3,6	0,3	0,0
B21	7,26	4770	3339	0,0	2,7	18,7	29,8	27,2	0,9	13,3	7,0	0,0	0,4
B22	7,39	10590	7413	0,0	3,8	42,6	79,0	49,3	1,5	36,4	29,5	0,0	3,8
B23	8,92	2980	2086	2,5	16,1	6,9	3,5	27,5	0,5	0,5	1,0	0,4	0,0
B24	8,80	3420	2394	2,0	19,5	10,6	4,3	34,1	0,4	0,2	0,8	0,2	0,0
B25	8,16	1710	1197	0,0	6,3	1,9	3,9	8,3	0,6	3,2	2,8	0,0	3,5
B26	7,22	11990	8393	0,0	5,4	79,2	66,8	79,3	1,9	10,7	50,7	0,0	3,0
B27	7,83	8890	6223	0,0	7,5	57,6	39,0	112,2	1,0	9,0	7,3	0,1	1,0
EB19	8,10	1103	772	0,0	4,6	2,7	2,2	6,8	0,3	2,1	2,4	0,0	2,4
AB9	7,96	4660	3262	0,0	35,6	5,5	7,0	52,2	1,3	0,7	1,5	0,5	0,0
AB10	8,03	9500	6650	0,0	9,0	48,3	53,6	92,1	1,9	9,2	5,2	0,5	0,9

Nº Muestra	pH	CE [µS/cm]	SDT [mg/l]	CO ₃ ⁼ [mg/l]	HCO ₃ ⁻ [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]
B2	7,56	1774	1242	0,0	522,5	136,9	132,1	329,6	19,3	41,6	31,5	50	1,7	160,0
B3	7,61	9720	6804	0,0	428,8	2375,1	1921,4	2079,9	59,2	232,0	128,8	45	1,0	20,0
B5	7,77	7170	5019	0,0	388,8	1693,9	1357,1	1456,0	40,4	222,4	73,2	90	1,2	18,0
B6	7,58	9550	6685	0,0	602,5	2515,2	1553,6	1931,2	82,1	247,2	25,9	50	1,2	125,0
B7	7,49	10260	7182	0,0	1265,0	2544,2	1028,6	2536,9	58,9	48,8	82,4	200	1,2	5,0
B8	8,21	3940	2758	0,0	925,0	746,3	305,7	1001,0	24,0	8,0	11,2	480	4,6	20,0
B9	7,53	15650	10955	0,0	982,5	4140,8	2250,0	3354,9	61,5	134,4	92,7	180	0,9	250,0
B10	7,87	2420	1694	0,0	765,0	522,1	100,0	503,5	13,2	28,0	20,0	180	2,4	92,0
B13	7,84	3550	2485	0,0	515,0	618,2	281,4	635,0	23,2	68,8	32,0	150	1,5	590,0
B14	7,62	4550	3185	0,0	692,5	1184,3	437,1	930,2	32,8	69,2	50,0	30	0,6	100,0
B15	8,02	3350	2345	0,0	582,5	760,2	351,4	556,1	23,7	42,4	25,4	150	2,2	0,0
B18	7,50	19420	13594	0,0	360,0	3438,7	4714,3	3033,4	96,0	485,2	326,6	20	0,7	195,0
B19	7,98	4610	3227	0,0	790,0	820,8	714,3	854,4	26,4	52,8	43,4	180	5,8	0,0
B21	7,26	4770	3339	0,0	170,0	889,7	1065,7	632,0	37,5	265,6	85,4	10	0,7	27,0
B22	7,39	10590	7413	0,0	236,3	2028,1	2821,4	1145,6	58,0	728,0	359,4	8	0,1	240,0
B23	8,92	2980	2086	75,2	1006,3	329,8	125,7	639,0	21,7	10,8	12,0	800	7,6	0,0
B24	8,80	3420	2394	60,6	1217,5	506,8	154,3	793,7	14,9	4,8	10,2	120	3,0	0,0
B25	8,16	1710	1197	0,0	395,0	92,5	138,6	194,1	25,2	63,2	34,6	20	0,8	220,0
B26	7,22	11990	8393	0,0	335,0	3773,6	2385,7	1844,3	75,0	214,0	617,7	10	0,4	190,0
B27	7,83	8890	6223	0,0	471,3	2744,7	1392,9	2608,7	38,7	180,0	89,0	120	1,9	65,0
EB19	8,10	1103	772	0,0	285,0	126,5	80,0	157,7	12,2	41,6	29,8	15	0,9	150,0
AB9	7,96	4660	3262	0,0	2225,0	263,1	248,6	1213,3	52,2	13,2	18,8	400	10,0	1,0
AB10	8,03	9500	6650	0,0	562,5	2298,6	1914,3	2142,6	76,8	184,4	63,2	300	9,0	58,0

Aguas de sistemas acuíferos confinados

Nº Muestra	pH	Cond. [µS/cm]	SDT [mg/l]	CO ₃ ⁼ [meq/l]	HCO ₃ ⁻ [meq/l]	SO ₄ ⁼ [meq/l]	Cl ⁻ [meq/l]	Na ⁺ [meq/l]	K ⁺ [meq/l]	Ca ⁺² [meq/l]	Mg ⁺² [meq/l]	F ⁻ [meq/l]	NO ₃ ⁻ [meq/l]
C1	7,73	2210	1547	0,0	5,3	18,9	4,1	22,0	0,2	2,5	0,6	0,0	0,0
C2	7,79	948	664	0,0	4,2	4,1	1,3	7,2	0,2	1,2	0,4	0,0	0,0
C3	7,69	2330	1631	0,0	5,2	14,4	4,2	20,1	0,4	2,6	0,7	0,0	0,0
C4	7,55	2470	1729	0,0	4,9	16,9	4,8	21,4	0,4	3,0	1,0	0,0	0,0
C5	7,58	2080	1456	0,0	5,0	15,3	3,8	18,3	0,2	2,4	0,8	0,0	0,0
C6	7,65	4630	3241	0,0	1,9	36,7	7,3	37,0	0,3	3,4	1,0	0,0	0,0
EC5	7,50	3920	2744	0,0	5,8	32,9	8,6	39,1	0,4	3,4	1,2	0,0	0,1

Nº Muestra	pH	CE [µS/cm]	SDT [mg/l]	CO ₃ ⁼ [mg/l]	HCO ₃ ⁻ [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]
C1	7,73	2210	1547	0,0	331,3	902,3	146,4	512,6	8,5	50,4	6,8	200	0,4	1,2
C2	7,79	948	664	0,0	262,5	193,3	45,7	167,8	8,2	23,2	4,4	30	0,8	1,0
C3	7,69	2330	1631	0,0	325,0	686,4	151,4	467,1	14,5	51,2	8,8	80	0,4	1,0
C4	7,55	2470	1729	0,0	303,8	804,8	171,4	497,5	15,8	60,8	12,7	70	0,2	1,0
C5	7,58	2080	1456	0,0	312,5	726,8	137,1	424,7	9,8	48,8	9,3	120	0,3	1,0
C6	7,65	4630	3241	0,0	120,0	1747,9	261,4	861,5	10,1	67,2	12,7	120	0,4	0,0
EC5	7,50	3920	2744	0,0	362,5	1565,9	305,7	910,0	15,4	68,0	14,1	230	0,3	9,0

"PIENSA, CREE, SUEÑA Y ATRÉVETE" !!! ...