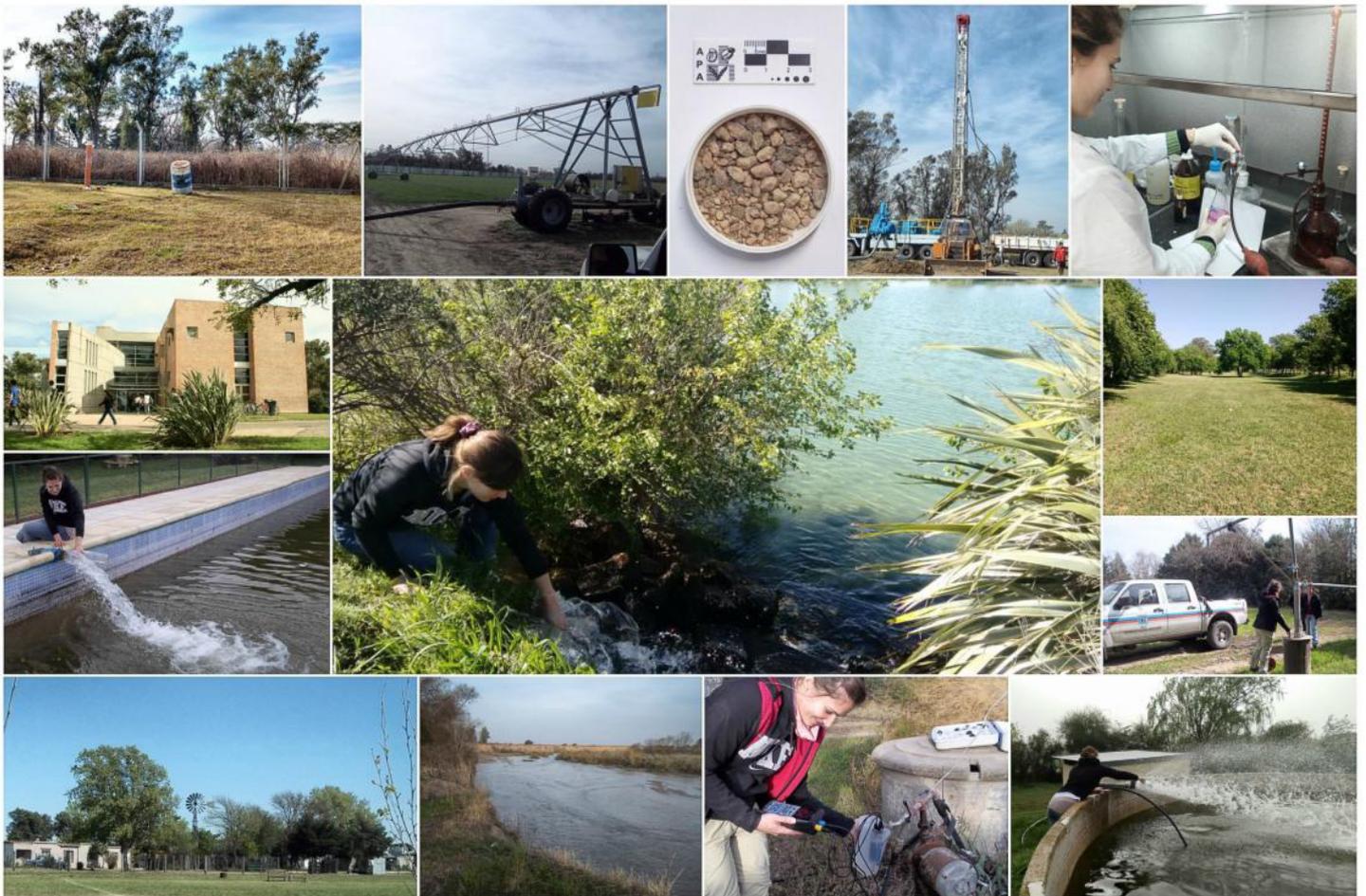




# CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ÁMBITO DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO



Alumna: Daniela Beatriz Giacobone  
Directora: Dra. Mónica Blarasin  
Co Directora: Dra. Edel Matteoda

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi familia, mis papás Ali y Juan, a Nona, Mimi, Cris, Clari, Juanchi y Pablo por haberme dado la oportunidad de estudiar, enseñarme lo importante del trabajo y la dedicación y por la paciencia y el apoyo para que pueda crecer en mis estudios.

A mis amigos de toda la vida por siempre estar al pie del cañón, por sacarme sonrisas, preocuparse, escucharme y acompañarme siempre. Adri, Ale, Belu, Euge, Gise, Guada, Majo, Serg y Sofi... ¡Sin su compañía y apoyo incondicional este camino no hubiera sido lo mismo!

A todas las personas que conocí a través de la geología, muchos a los cuales hoy tengo la suerte tener como amigas, amigos, a mis compañeros... Mucha gente con los que compartí horas de clase, de estudio, nervios, salidas, viajes y locuras... De los cuales tiene un lugar especial las Geoshorras; Ale, Brune, Danita, Flor, Gise, Lu, Maríní, Pame y Vir, por hacer valer lo que es la amistad dentro y fuera del aula.

A todos los profesores que han sabido compartir sus conocimientos, y de forma especial a los que, a lo largo de la carrera, me han ayudado, hecho un lugar para aprender, investigar o ayudar en sus materias y especialmente a Moni, Edel y Adri, que siempre me abrieron sus puertas con la mejor predisposición, me enseñaron, bancaron mis listas eternas de dudas, y compartieron su conocimiento con total vocación.

A todo el grupo de Hidrogeología, porque sin sus aportes ya sea con información, ayudándome en el laboratorio, para juntar datos y hasta dándome consejos, esta tesis tampoco hubiera sido posible... Y espero que podamos seguir en este camino de aprendizaje en el futuro.

A todas las personas que amablemente dispusieron de su tiempo para que pudiera realizar los viajes, muestrear, o me proveyeron información de utilidad para mi tesis. Principalmente al personal no docente de la UNRC.

Y por último y no menos, a la Universidad Nacional de Río Cuarto, porque sin educación pública y gratuita muchos no podríamos estudiar, porque ha sido el lugar que me hizo crecer en conocimientos, como persona, como alumna y ahora como profesional.

iiiiMUCHAS GRACIAS!!!!

## INDICE

### CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

I.1. La importancia del agua .....	6
I.2. Antecedentes y fundamentación .....	6
I.3. Hipótesis de trabajo.....	7
I.4. Objetivos.....	8
I.4.1. Objetivo general .....	8
I.4.2. Objetivos específicos .....	8
I.5. Área de estudio.....	8
I.6. Materiales y métodos.....	9
I.6.1. Trabajos iniciales de gabinete .....	10
I.6.2. Trabajos de campo .....	10
I.6.3. Tareas de laboratorio .....	13
I.6.4. Trabajos finales de gabinete.....	14

### CAPÍTULO II: MARCO REGIONAL

II.1. Marco Geológico.....	18
II.1.1. Sierras Pampeanas .....	19
II.1.2. Llanura Chaco-Pampeana .....	19
II. 2. Marco Estratigráfico .....	19
II.3. Marco Morfo-Estructural .....	24

### CAPÍTULO III: MARCO LOCAL

III.1. Estratigrafía.....	26
III.1.1. Descripción e interpretación de Perfiles Aflorantes .....	26
III.1.2. Descripción e interpretación de Perfiles de Subsuelo .....	33
III.1.3. Descripción e interpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales.....	53
III.1. 4. Secciones geológicas transversales .....	54
III.2. Evolución geológica del área de estudio .....	57

### CAPÍTULO IV: GEOMORFOLOGÍA

IV.1. Marco Geomorfológico Regional .....	60
IV.2. Marco Geomorfológico Local .....	62

### CAPÍTULO V: OCUPACIÓN Y USO DEL TERRITORIO

V.1. Uso urbano .....	71
-----------------------	----

V.2. Uso Agrícola-Ganadero .....	73
V.3. Uso Turístico/Recreativo .....	75
V.4. Bosque Nativo: Reserva Natural “Bosque el Espinal” .....	76
V.5. Uso minero .....	77
V.6. Disposición final de residuos .....	77

## **CAPÍTULO VI: HIDROMETEOROLOGÍA**

VI.1. Temperatura.....	80
VI.2. Precipitaciones .....	81
VI.3. Evapotranspiración Potencial.....	82
VI.4 Balance Hídrico Modular .....	83
VI.5. Balance Hídrico Seriado.....	84
VI.6. Clasificación Climática .....	88

## **CAPÍTULO VII: HIDROLOGÍA SUPERFICIAL**

VII.1. Hidrología Superficial Regional .....	90
VII.1.1. Hidrometría e Hidrología Superficial Regional.....	90
VII.1.2. Hidroquímica Superficial Regional .....	90
VII.2. Hidrología Superficial Local .....	91
VII.2.1. Hidrometría e Hidrología Superficial Local .....	91
VII.2.2. El problema de los escurrimientos superficiales en el campus e inmediaciones .....	93
VII.2.3. Hidroquímica Superficial Local .....	95
VII.2.3.1. Conductividad Eléctrica .....	96
VII.2.3.2. Clasificación Geoquímica .....	97
VII.2.3.3. Dureza .....	98

## **CAPÍTULO VIII: HIDROLOGIA SUBTERRÁNEA**

VIII.1. Hidrología Subterránea Regional .....	100
VIII.1.1. Hidrogeología e Hidrolitología Subterránea Regional .....	100
VIII.1.2 Hidrodinámica Subterránea Regional .....	102
VIII.1.3. Hidroquímica Regional .....	103
VIII.2. Hidrología Subterránea Local .....	104
VIII.2.1. Hidrolitología y aspectos Hidráulicos de las captaciones .....	104
VIII.2.1.1. Cálculo de Conductividades Hidráulicas .....	106
VIII.2.1.2. Cálculo de la Porosidad Efectiva .....	121
VIII.2.1.3. Unidades Hidrogeológicas.....	123
VIII.2.2. Hidrodinámica Local .....	125
VIII.2.2.1. Potenciales Hidráulicos .....	125
VIII.2.2.1.1. Cálculo del Gradiente Hidráulico .....	127
VIII.2.2.1.2. Cálculo de Velocidad de Escurrimiento.....	128

VIII.2.2.2. Profundidad del Nivel Freático.....	129
VIII.2.2.3. Cálculo de Recarga del acuífero libre.....	130
VIII.2.2.4. Cálculo de Reservas del Acuífero Libre .....	139
VIII.2.3. Hidroquímica Local .....	142
VIII. 2.3.1. Conductividad eléctrica.....	142
VIII.2.3.2. Clasificación geoquímica .....	143
VIII.2.3.3. Dureza .....	145
VIII.2.3.4. Elementos traza y minoritarios: As, F-, y NO <sub>3</sub> - .....	148

## **CAPÍTULO IX: APTITUD DE USO**

IX.1. Aptitud para Consumo Humano.....	155
IX.2. Aptitud para Riego: RAS .....	156
IX.3. Aptitud para Consumo Ganadero .....	157

## **CAPITULO X: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

X.1. Conclusiones.....	160
X.2. Recomendaciones .....	163

## **ANEXOS**

Anexo 1.....	165
Anexo 2.....	180
Anexo 3.....	207

## **BIBLIOGRAFÍA**

BIBLIOGRAFÍA .....	216
--------------------	-----

# Capítulo I

## INTRODUCCIÓN

### I.1. La importancia del agua

El agua es un importante agente geológico modelador del paisaje. Además, forma parte de muchos procesos geológicos, gracias a la distribución espacial sistematizada y jerarquizada del flujo de agua y la habilidad para interactuar con los distintos componentes del ambiente (Töth, 1999).

Su importancia no sólo radica en ser un agente geológico, sino que es un recurso natural imprescindible para el desarrollo de las sociedades y culturas. Esto ejerce una presión sobre el recurso, generando un impacto en su uso y complejidad en la gobernanza (Unesco, 2015). Para su estudio es conveniente introducir el concepto de “Cultura del Agua” (Vargas, 2006) que alude al conjunto de modos y métodos utilizados para la satisfacción de necesidades fundamentales relacionadas con el agua y con todo lo que dependa de ella. Esta definición incluye lo que se hace con el agua, en el agua y por el agua para satisfacer necesidades fundamentales de las personas. De esta forma la “Cultura del Agua” construye un marco conceptual en el que coexisten diversas culturas y sectores sociales cuya diversidad debe respetarse al producir conocimientos, objetos materiales y también en las formas de organización, consensuando una cultura que sostenga los valores éticos de la democracia. El presente y futuro de una sociedad sustentable depende de que se comparta un ideal democrático que como meta tenga la felicidad de todos los pueblos (Vargas, 2006). Sólo esto llevará a los pueblos a una adecuada gestión de sus recursos.

Se debe tener en cuenta que del 100 % del agua en el planeta, sólo un 3 % es dulce. Esta última se distribuye en los hielos polares y glaciares (79 %), aguas subterráneas (20 %) y agua superficial (1 %), estas dos últimas accesibles para el hombre (Lean, 1990). Siendo el agua subterránea el mayor reservorio de agua dulce en estado líquido, su importancia radica en que contiene aproximadamente el 0,7 % del total del agua en la tierra (Shiklomanov, 1997), aunque suele presentar grandes problemas de disponibilidad ligados a la calidad, cantidad y ritmo de reposición de agua en los acuíferos (Custodio, 1973, Blarasin et al. 2014) y al costo y la tecnologías necesarias para acceder al recurso.

De esta situación deriva la necesidad de actualizar y de generar conocimiento científico para la adecuada gestión de los recursos hídricos (su uso, manejo y protección) en concordancia con las necesidades de las poblaciones, su “Cultura del Agua” y en pos del desarrollo socioeconómico en un entorno sustentable.

### I.2. Antecedentes y fundamentación

Los cambios ambientales que se han dado en las últimas décadas son resultantes de la interacción entre el medio socio-económico y el medio natural, entre los que se pueden nombrar, en relación a aguas subterráneas, el descenso de niveles piezométricos y la afectación de acuíferos por procesos de contaminación derivados de actividades humanas.

En la provincia de Córdoba el agua subterránea es imprescindible para el desarrollo de las actividades urbanas y rurales, aunque en algunas zonas presenta problemas de

calidad natural (salinidad, altos tenores de arsénico y flúor, entre otros) que han sido detectados y estudiados en los últimos 20 años (Blarasin et al. 2005 y 2014; Matteoda et al. 2007; Cabrera et al. 2005; entre otros). También presenta problemas derivados de las actividades humanas, ya sean rurales o urbanas (Blarasin et al. 2005 y 2014; Matteoda et al. 2007, 2008; Matteoda y Blarasin, 2014; Cabrera et al. 2009; entre otros).

Se puede nombrar el caso de las actividades agrícolas, que incorporan grandes cantidades de contaminantes al suelo en las diferentes prácticas, como la utilización de fertilizantes en la producción de alimentos y leguminosas, que incorpora alrededor de 120 millones de toneladas de nitrógeno de la atmósfera por año en formas reactivas. Los nitratos son los compuestos más estudiados como indicadores ambientales en todo el mundo por su alta movilidad en ambientes oxidantes (Edmunds y Shand, 2008, Blarasin et al. 2008; Matteoda et al. 2008; Giuliano Albo et al. 2012) y pueden tener incidencias en la salud de los rumiantes (Bavera, 2001) y afectaciones a la salud humana. Esta contaminación, acompañada por los fosfatos se incrementa cada vez más en los países y es un trazador de impacto ambiental (Sracejk and Zeman, 2004, Chen et al. 2005; Giuliano y Blarasin, 2012).

Ante este panorama los mayores problemas de gobernanza del agua lo tienen las megaciudades (Unesco, 2017) sin embargo, en las ciudades pequeñas también se generan numerosas dificultades relacionadas al uso y manejo de aguas subterráneas. En el caso de la urbe Río Cuarto-Las Higueras los ejemplos son numerosos (Blarasin et al. 2001 y 2002; Blarasin y Cabrera, 2007; Blarasin y Cabrera, 2015; Blarasin et al. 2016), y dentro de este conjunto se aloja el campus de la Universidad Nacional de Río Cuarto, el cual alberga a miles de personas por día (en el orden de 10.000 promedio) y muestra las características y dinámica de una pequeña ciudad, además de ser una gran usuaria de agua subterránea (abastecida por la Empresa Municipal de Obras Sanitarias, EMOS), motivos que justifican ampliamente el presente estudio.

En esta investigación se hará énfasis en el recurso hídrico subterráneo debido a que es el más utilizado o el único en algunos casos para el suministro de agua potable de todas las actividades humanas de la región, desde su consumo domiciliario en actividades domésticas, para actividades agrícola-ganaderas, comerciales, etc., lo que muestra su gran importancia en el desarrollo socio-económico de la zona. Se estudiará el acuífero libre, ya que hace más de un siglo que el abastecimiento de la zona parte casi exclusivamente del mismo (Blarasin, 2003) a partir de las primeras perforaciones para explotarlo entre 1873 y 1885.

En el área se llevan a cabo variadas actividades humanas como la agrícola, ganadera, urbana, entre otras, las cuales pueden derivar en contaminación y de esta forma es necesario investigar la hidrogeología del área y establecer las características determinantes en la calidad, cantidad y ritmo de reposición del agua superficial y subterránea, y la relación de estas con posibles actividades o focos contaminantes.

### **I.3. Hipótesis de trabajo**

Las principales hipótesis propuestas para el presente trabajo son las siguientes:

- En el ambiente sedimentario del ámbito del campus de la UNRC hay diferentes capas sedimentarias, que constituyen el acuífero libre, cuyas reservas son abundantes y de

alta potencialidad para diversos usos.

- La recarga que alimenta de agua al acuífero libre está ligada a los excesos hídricos procedentes del balance hídrico edáfico, mientras que a su vez el acuífero libre en el ámbito del campus alimenta al río.
- El impacto sobre la calidad de agua del acuífero libre está ligado a llegada de contaminantes de origen agrícola-ganadero y además, urbano.

#### **I.4. Objetivos**

##### **I.4.1. Objetivo general**

- Construir el modelo hidrogeológico y geoquímico conceptual que permita explicar el origen, dinámica y composición química del agua subterránea en el ámbito del campus de la UNRC y su entorno cercano.

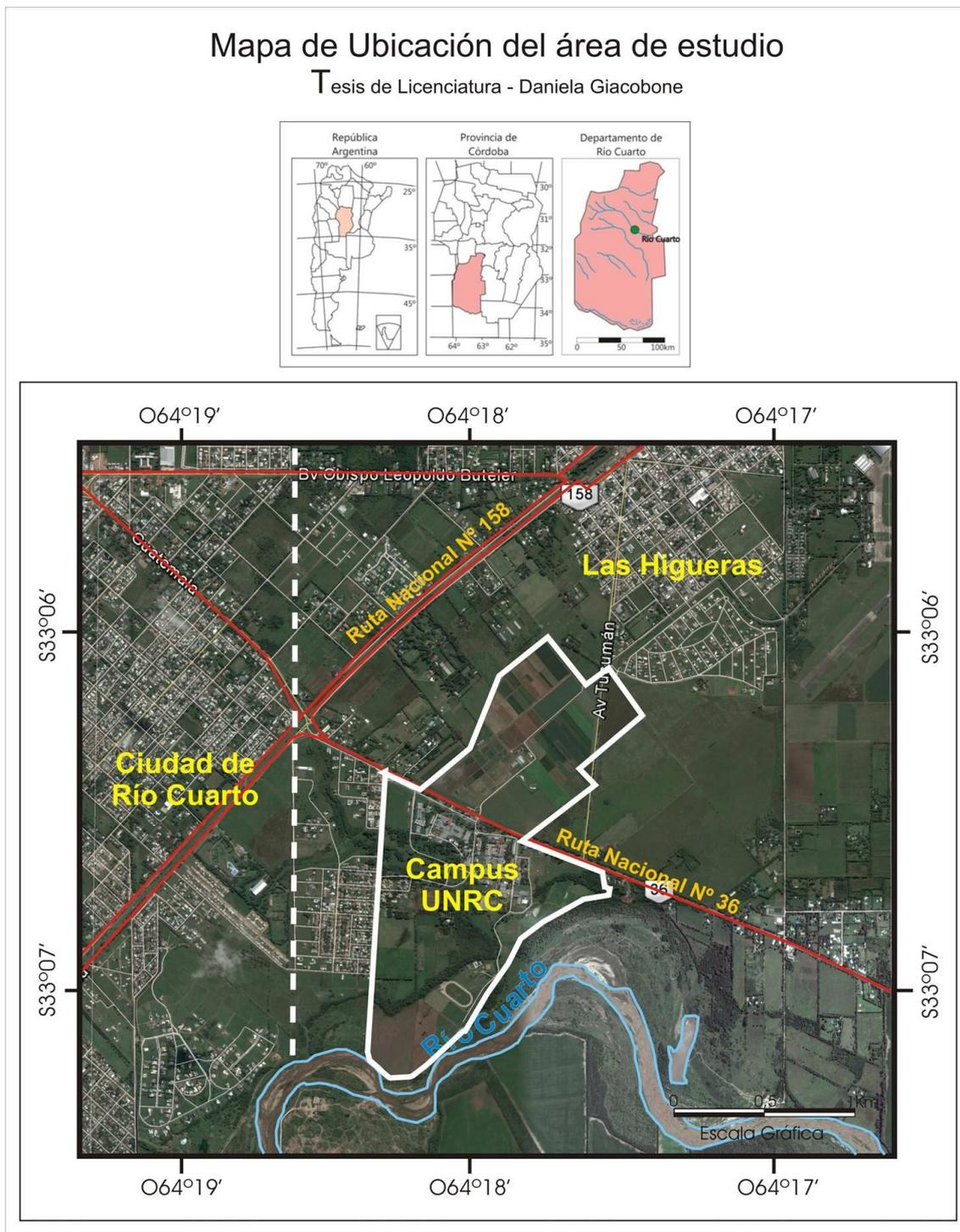
##### **I.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar las características geológicas-geomorfológicas del área de estudio.
- Establecer parámetros texturales del subsuelo y calcular valores de conductividad hidráulica para caracterizar hidrolitológicamente el acuífero libre.
- Definir las principales características de uso del territorio del sector seleccionado.
- Realizar la caracterización hidrodinámica del área, vinculando con el agua atmosférica y superficial, estimando valores de infiltración efectiva al acuífero y reservas de agua.
- Evaluar procesos geoquímicos naturales contrastando con aquellos derivados de contaminación.

#### **I.5. Área de estudio**

La zona bajo estudio está ubicada en el Sur de la provincia de Córdoba, en el departamento de Río Cuarto entre los 33°05'27,10" y 33°07'33,52" de latitud Sur y los 64°16'35,63" y 64°19'23" de longitud Oeste (Figura I.1). La zona comprende el Noreste de la ciudad de Río Cuarto, el Sur de la localidad de Las Higueras, el campus de la UNRC y la zona rural aledaña. Abarca un área de 17Km<sup>2</sup> aproximadamente.

De acuerdo al funcionamiento hidrogeológico regional de la provincia de Córdoba (Blarasin et al. 2014), el sector estudiado pertenece al Sistema hidrogeológico de la Llanura Cordobesa y comprende parte de 2 grandes ambientes: Planicies eólicas intermedias y las Fajas fluviales y abanicos proximales, específicamente la faja fluvial del río Chocancharava. Corresponde a un ambiente sedimentario, donde se alojan aguas subterráneas que están siendo explotadas para actividades agrícola-ganaderas, si bien también hay áreas urbanizadas de diferente envergadura en las que se desarrollan diversos emprendimientos (domésticos, industriales, comerciales, etc.). Por estos motivos, el agua subterránea es un recurso fundamental para el sector y uno de los insumos más utilizados para consumo humano, riego, ganadería, etc.



## I.6. Materiales y métodos

Durante el transcurso de la presente tesis se llevaron a cabo cuatro etapas: Trabajos iniciales de gabinete, de campo, laboratorio y de gabinete final, los que se describen a continuación:

### I.6.1. Trabajos iniciales de gabinete

La tarea inicial de gabinete consistió en la recopilación y posterior análisis de antecedentes del área de estudio: bibliografía, cartografía, hidrometeorología, hidrogeología, etc.

1. La cartografía base geológica-geomorfológica y sobre uso del territorio se confeccionó a partir de la hoja topográfica Río Cuarto 3366-19-1 con escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). También se utilizaron imágenes satelitales del software Google Earth Pro 2017 (Imagen Digital Globe tomada el 3/08/17).

En base a datos previos de perforaciones aportadas por perforistas y de bibliografía, se realizaron perfiles litológicos y perfiles topográficos. Se obtuvo información climática sobre registros pluviométricos y de temperatura de la Estación Agrometeorológica de la Universidad Nacional de Río Cuarto, que cuenta con una serie de 43 años de registros.

2. Se definieron las divisorias de aguas para este tramo de la cuenca en estudio y se elaboró un mapa preliminar de escurrimientos superficiales. Toda la cartografía fue realizada mediante el programa de diseño CorelDraw11. Se recolectó información sobre los valores de caudal del río Cuarto en estaciones de aforo cercanas a la zona de trabajo.

3. Por último, se definió una red preliminar de inventario de pozos para las salidas al campo con densidad adecuada a la zona de trabajo teniendo en cuenta la ubicación, accesibilidad y el objetivo de hacer énfasis en el Campus de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

### I.6.2. Trabajos de campo

Durante las tareas de campo se realizaron las siguientes actividades:

1. Reconocimiento y corroboración de las unidades geológicas-geomorfológicas definidas en la etapa inicial de gabinete, a partir de lo cual se corrigió y completó el mapa inicial.

2. Levantamiento de perfiles sedimentarios aflorantes (Figura I.2) e identificación del uso del territorio, ya que esta variable es muy importante a la hora de explicar la ocurrencia de algunos problemas ambientales y elaborar un modelo hidrogeológico conceptual.



Figura I.2. Levantamiento del Perfil Aflorante Pa2.

3. El grupo de Geohidrología del Departamento de Geología de la UNRC realizó en el Campus UNRC una perforación de 300 m de profundidad con fines de investigación,

financiada por el proyecto PID 35/08 (*Ps1*). La misma está situada a pocos metros de las residencias docentes de la casa de estudios, y las coordenadas son 33°6'40,62" de Latitud Sur y 64°17'46,85" de Longitud Oeste. Esta tarea de campo consistió en:

3.a. La observación de las tareas de perforación (ubicación y armado de máquina de perforar, preparación de pileta de lodos, trépano, etc. por parte de la empresa perforista. Figura I.3. a-e).

3.b. El control geológico de la perforación por parte de personal de Geohidrología de la UNRC y muestreo cada 2 m de avance de la perforación (Figura I.3.f) para obtener todas las muestras que luego fueron tratadas para esta tesis.



Figura I.3. a: Salida de los sedimentos de la perforación. b: Circuito del lodo. c: Equipo de perforación. d: Equipo de perforación con torre para ubicar las barras de perforación. e: Pileta de lodos. f: Muestras procedentes de la perforación.

4. Además, se llevó a cabo el revelamiento hidrológico superficial y subterráneo sobre la base de los sitios seleccionados durante la etapa de *Gabinete Inicial*:

4.a. El Grupo de Geohidrología realizó una perforación de 30 m de profundidad en el acuífero libre (*Pf*), aledaña a *Ps1* con el objeto de monitorear fluctuaciones del nivel freático. En una primera instancia, y para obtener datos también para esta tesis, el procedimiento se realizó con una sonda piezométrica, midiendo manualmente una vez por semana (Figura I.4.a). Posteriormente, se instaló un data logger con compensación barométrica a una profundidad de 18,15 m para medir sistemáticamente cada 24 horas (Figura I.4.b-e) la profundidad del nivel freático.

4.b. En los pozos y perforaciones censadas se procedió a obtener la información relativa al diseño y desarrollo del pozo y a determinar el nivel estático mediante una sonda piezométrica de señal lumínica y sonora (Figura I.5 b).



Figura 1.4: a. Monitoreo del Nivel Freático con sonda piezométrica en *Pf*. b. Preparación del equipo para instalar el data logger. c. Perforación profunda *Ps1* con el equipo instalado. d y e. Perforación *Pf* bajo estudio en la que se instaló el data logger.

4.c. Se recolectaron un total de 2 muestras de agua superficial y 14 muestras de agua subterránea (procedentes de los primeros 10 a 35 m del acuífero libre), para su posterior análisis físico-químico en el laboratorio de Geoquímica de aguas del Departamento de Geología de la UNRC (Figura 1.5.c). Específicamente para el campus, las muestras correspondieron a: pileta de deportes, perforación de riego de calles (al lado de Vieja planta piloto), perforación de riego y la del grupo de energía solar en el campo experimental y 2 perforaciones nuevas realizadas para riego de jardines en el campus.

4.d. El relevamiento hidroquímico in situ de aguas subterráneas y superficiales consistió en la determinación de parámetros físico-químicos de calidad del agua: pH, temperatura, Conductividad Eléctrica y Oxígeno Disuelto con Sonda Multiparamétrica WTW (Figura 1.5.a). En la toma de muestras de agua subterránea en cada perforación, se garantizó la renovación del agua de la captación dejando fluir un mínimo de 3 volúmenes de pozo (Vázquez-Suñé, 2009), controlando además la temperatura del agua hasta su estabilización. Luego, el recipiente de muestreo fue enjuagado 2 veces con el agua de la perforación y llenado por completo. La única perforación que debería ser lavada nuevamente es *Pf* dado el grado de estacionamiento del agua en la tubería, pero sólo se lavó parcialmente dado que se rompió la electro bomba sumergible.

4.e. En todos los puntos visitados se determinaron las coordenadas geográficas y de cota topográfica utilizando un Sistema de Geoposicionamiento Global (con un GPS de marca Garmin) aunque las cotas topográficas utilizadas son las tomadas de las cartas topográficas del IGN.

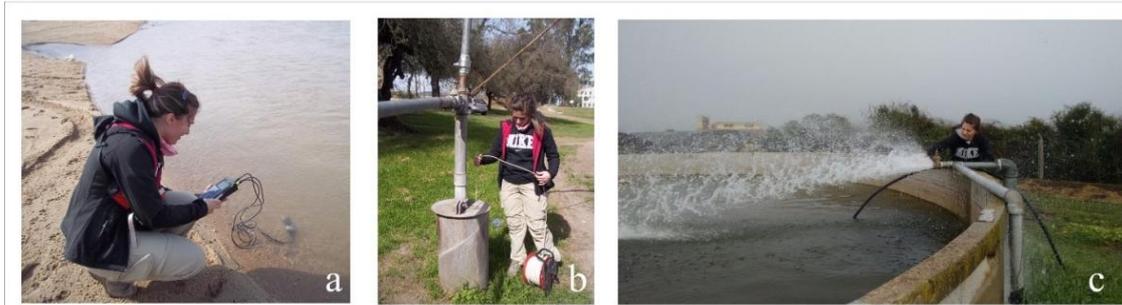


Figura I.5. Procedimientos realizados en los trabajos de campo: a. Medición de parámetros físico-químicos in situ del río Cuarto (muestra *Ad1*). b. Determinación del nivel estático en el pozo del que se extrajo *Bd1*. c. Recolección de la muestra *Bd7* para su posterior análisis físico-químico en la etapa de laboratorio.

### I.6.3. Tareas de laboratorio

El trabajo de laboratorio se dividió en dos etapas: en una primera instancia, se realizó el análisis granulométrico de los primeros 150 m de muestras pertenecientes a la perforación *Ps1*, y en una segunda instancia se realizaron los análisis físico-químicos de laboratorio para todas las muestras de agua recolectadas durante las tareas de campo:

1. El análisis granulométrico de las 30 muestras correspondientes a la mitad superior de la columna sedimentaria atravesada por *Ps1* (el resto fue asignado a otra tesis), consistió en:

- Extracción de dos muestras pequeñas, de aproximadamente 5 gramos, para comprobar la reacción, una, con agua oxigenada ( $H_2O_2$ ) al 10 % y la otra, con ácido clorhídrico (HCl) al 10 % (Figura I.6.a) y decidir el proceso posterior que se le iba a hacer a cada muestra en particular.
- Desagregación manual para secar en estufa, a no más de 40°C (Figura I.6.b).
- Cuarteo, en el cual se separaron aproximadamente 40 gramos de muestra.
- Eliminación de materia orgánica con  $H_2O_2$  diluida al 10 % en agua: Se agregaron 10 mL de solución y se mezcló; hasta en 3 veces (30 mL) o hasta que la muestra no reaccionara más (Figura I.6.c). Cada vez que se agregó  $H_2O_2$  se dejó decantar la muestra y eliminó la solución sobrenadante.
- Lavado de la muestra con agua destilada, tres veces: se agrega la solución, y luego de que decanten los sólidos se elimina el sobrenadante limpio.
- Dispersión ultrasónica con equipo Testlab en un tiempo entre 20 a 30 minutos (Figura I.6.d).
- Secado en estufa a no más de 40°C (Figura I.6.e).
- Mortereado de la muestra, con mortero de goma, en los casos en donde el secado volvió a aglomerar nuevamente los sedimentos.
- Pesado de la muestra total de sedimento a procesar mediante tamizado.
- Tamizado usando tamices ASTM, con escala de Udden-Wendworth, con mallas número 5, 10, 18, 35, 60, 120, 230, 270 y fondo, pesando lo retenido en cada malla (Figura I.6.f).

Se advirtió que durante el proceso de laboratorio, al agregar a las muestras HCl al 10 % mostraron mínima reacción. Sin embargo, con ácido más concentrado, las muestras seleccionadas sí mostraron reacción, por lo que se sugiere en algunas

muestras estudios de laboratorio posteriores de más detalle para lograr mejor dispersión desde el comienzo y verificar los resultados granulométricos finales.



Figura I.6. Procedimientos realizados para la determinación granulométrica en laboratorio: a. Extracción de muestras para comprobar su reacción. b. Desagregación manual para secar en estufa. c. Eliminación de materia orgánica con  $\text{H}_2\text{O}_2$  diluida al 10 % en agua. d. Muestras en la dispersora ultrasónica. e. Segundo secado en estufa. f. Tamizado.

2. Análisis físico-químicos: se realizó el análisis de las muestras para determinar la composición físico-química del agua superficial y subterránea en el Laboratorio de Geoquímica de aguas del Departamento de Geología de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

Mediante electrodos de ión selectivo (Thermo) se determinó el pH. La Conductividad Eléctrica (CE) con conductímetro Hanna. Los iones mayoritarios carbonatos y bicarbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ) se determinaron mediante titulación potenciométrica con electrodo selectivo (Figura I.7.a), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) por turbidimetría y cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) con titulación volumétrica.

Los cationes mayoritarios, calcio y magnesio ( $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ ) se determinaron mediante titulación volumétrica (Figura I.7.b) y sodio y potasio ( $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) mediante fotometría de llama. Se determinaron además elementos minoritarios y traza: los nitratos y fluoruros ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{F}^-$ ) con electrodos de ion selectivo (Thermo) (Figura I.7.c y d) y arsénico con Test Merk (método semicuantitativo) (Figura I.7.e y f).

#### I.6.4. Trabajos finales de gabinete

En el gabinete final se procedió a:

1. Elaborar perfiles y mapas definitivos: Ubicación de los sitios de muestreo, Geológico-Geomorfológico, de Ecurrimientos Superficiales, Cargas hidráulicas, hidrogeoquímicos y Uso del Territorio para la zona de estudio.

2. Interpretar los perfiles sedimentológicos relevados y contrastar con los datos estratigráficos obtenidos para el área. Para los datos litológicos subterráneos se realizaron correlaciones, construyéndose perfiles que permitieran interpretar los cambios faciales.

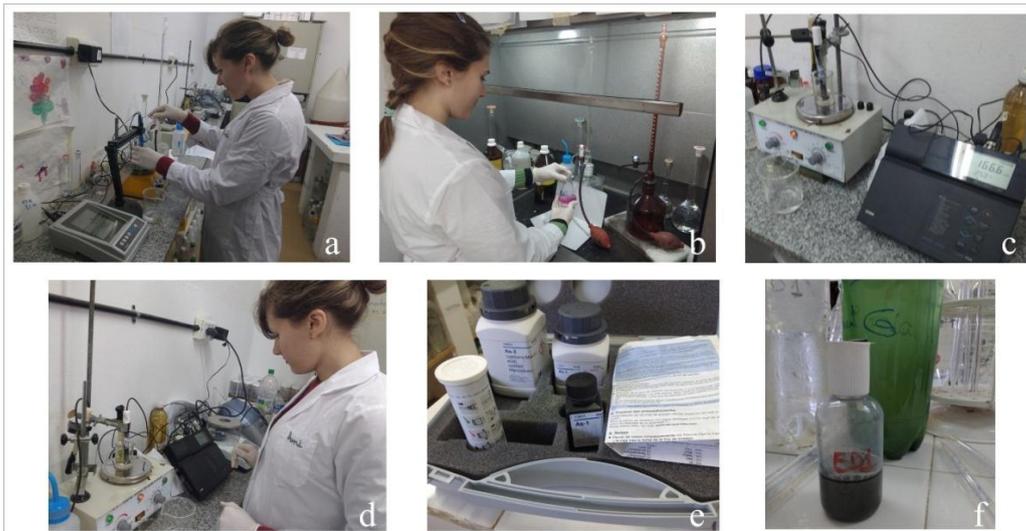


Figura I.7. Procedimientos de análisis físico-químico en el Laboratorio de Geoquímica de la UNRC. Determinación de: a. Iones Carbonatos y Bicarbonatos. b. Calcio. c. Flúor y Nitratos (Equipo Orion). d. Nitratos. e. Arsénico. f. Muestra *Ed1* reaccionando para determinar el contenido de arsénico.

3. Para la perforación *Ps1* situada en el campus de la UNRC se procedió a volcar los resultados del tamizado de las 30 muestras en tablas de Excel, y elaborar histogramas para las fracciones granulométricas obtenidas. Se clasificaron las muestras en base a gráficos bimodales (Figura I.8).

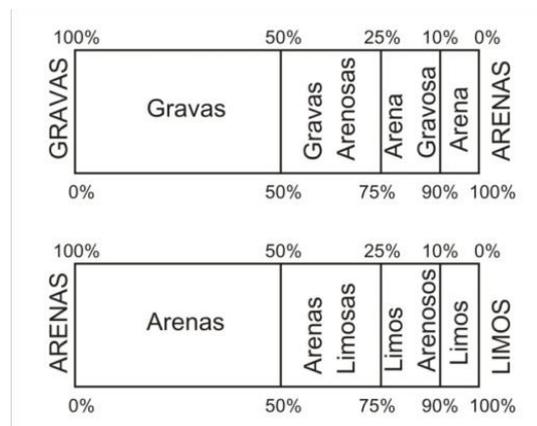


Figura I.8. Gráficos bimodales utilizados para clasificar las muestras obtenidas de *Ps1*.

Posteriormente se construyó el perfil atravesado durante la perforación, el cual se evaluó desde la perspectiva hidrológica de las capas atravesadas, comparando con el perfilaje de Potencial Espontáneo (Sp) y Resistividad. Por último se le asignaron valores de Conductividades Hidráulicas (K) a cada capa en base al software HidroGeosieveXI (2016) y, además, con la metodología propuesta por la USDA adaptada por Fili y Kolomi (Pérez, 2007).

4. Se realizó el tratamiento estadístico e interpretación de la información hidrometeorológica para la serie de la Estación Agrometeorológica UNRC: se hicieron

el balance hídrico modular (según Thornthwaite y Mather, 1955) y el seriado de paso mensual (con software PDIWIN, 1999) para calcular la evapotranspiración real, evaluar los períodos de excesos y déficit hídricos, definir ciclos secos y húmedos y establecer tendencias.

5. Se elaboró el mapa definitivo de escurrimientos superficiales y los mapas de isoprofundidad del nivel freático y de potenciales hidráulicos a partir del cálculo de las cotas de los niveles estáticos. Sobre la base del mapa de equipotenciales se calcularon gradientes hidráulicos y velocidades de circulación del agua subterránea.

6. Para estimar la recarga al acuífero se usó el método de ion cloruro y el de fluctuación de nivel freático (Healy, 2010), éste último a través de la aplicación Likqo (v.1), cuyos detalles se muestran en el capítulo correspondiente.

7. Las reservas de agua fueron estimadas mediante el cálculo de volúmenes de agua contenidos en la porosidad del medio sedimentario.

8. La información hidroquímica se clasificó en diagramas de Piper-Hill con el software EasyQuim (2007). Los diagramas de Piper-Hill son un tipo de diagramas triangulares que consisten en dos triángulos (uno para cationes y otro para aniones) con un rombo que recoge la información de ambos triángulos. En cada triángulo se representan los 3 componentes principales (aniones y cationes), siendo cada vértice el 100 % de cada uno de ellos. Para discriminar mejor el tipo geoquímico se usó, además, la clasificación de Custodio y Llamas (1993), que tiene en cuenta los iones dominantes, nominando a cada grupo geoquímico por el anión o catión que sobrepasa el 50 % de sus sumas respectivas, y en el caso de no superar dicho porcentaje se nombran los dos elementos más abundantes.

9. La cartografía hidroquímica elaborada fue la siguiente: mapas de conductividad eléctrica del agua, de diagramas de Stiff, de concentración de arsénico, fluoruros, nitratos y de dureza. Todos los perfiles y mapas generados durante esta etapa fueron digitalizados con el software de diseño CorelDraw11.

10. Se clasificaron las aguas subterráneas según su aptitud de uso para consumo humano según el Código Alimentario Argentino (CAA), consumo ganadero (Bavera, 2001) y para riego (Riverside, 1954).

11. Con la integración de toda la información se elaboró un modelo conceptual geohidrológico para el área de trabajo, haciendo énfasis en los aspectos hidrológicos y su influencia en los aspectos hidrodinámicos e hidrogeoquímicos del sistema acuífero libre.

# Capítulo II

## MARCO REGIONAL

### II.1. Marco Geológico

Las provincias geológicas son grandes regiones morfoestructurales caracterizadas por una determinada sección estratigráfica, un estilo estructural propio y rasgos geomorfológicos peculiares, producto de una historia geológica común (Rolleri, 1976). En la provincia de Córdoba pueden identificarse dos grandes provincias geológicas (Ramos, 1999): las Sierras Pampeanas de Córdoba y la Llanura Chacopampeana (Figura II.1).

El área de estudio se encuentra en la región morfoestructural de la Llanura Chacopampeana, la cual es una extensa planicie cuya fuente de sedimentos fue, a lo largo de la mayor parte de su evolución, el orógeno Pampeano (Ramos, 1999).

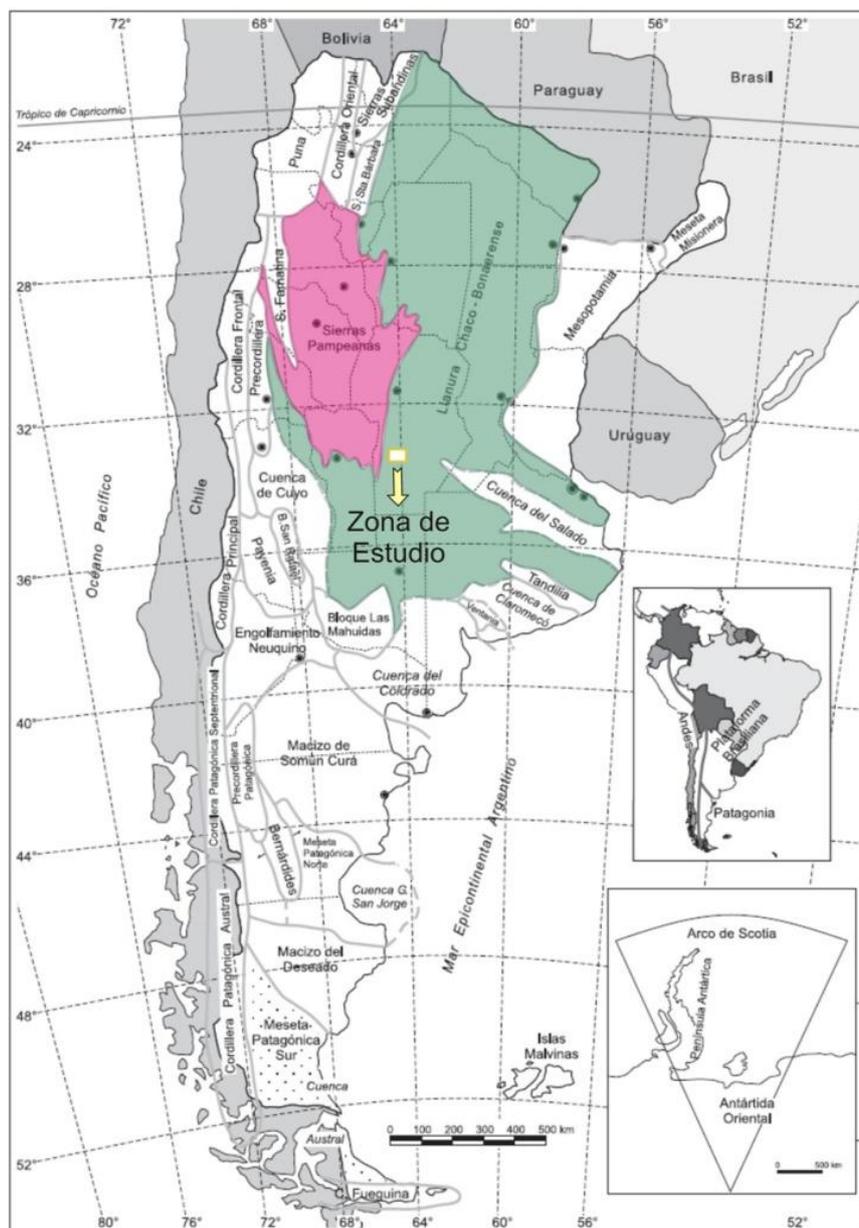


Figura II.1. Grandes provincias geológicas de la Argentina. Se remarcan en color las presentes en la provincia de Córdoba. Tomado de Ramos (1999).

### **II.1.1. Sierras Pampeanas**

Esta provincia se divide en dos: a) Sierras Pampeanas Occidentales: Sierras Pampeanas de Tucumán, Catamarca, La Rioja, San Juan y el sector Oeste de San Luis y b) Sierras Pampeanas Orientales: Generadas en una orogenia Proterozoica, la cual generó magmatismo y metamorfismo cercano al límite Precámbrico-Cámbrico y abarca las sierras de Córdoba Norte, Grande y Chica de Córdoba y la Sierra de Comechingones (Ramos, 1999).

De esta forma, las sierras de Córdoba son el orógeno más oriental de las Sierras Pampeanas. Son cordones montañosos de orientación Norte-Sur limitados por fallas inversas reactivadas en el Neógeno y Cuaternario por la subducción horizontal de la plaza de Nazca. La litología del basamento cristalino metamórfico está en facies de anfibolita y en transición a granulitas (Gordillo, 1984 en Bolanumi et al. 1999) y está intruído por granitoides Proterozoicos y Paleozoicos (Ramos, 1999). Subordinado a estas litologías, afloran cuerpos de mármoles, anfibolitas, metacuarcitas, esquistos filíticos y también fajas discontinuas de rocas máficas y ultramáficas.

Esta provincia geológica conforma el área de aporte de sedimentos de los cursos fluviales situados hacia el Este, en la provincia Llanura Chacopampeana.

### **II.1.2. Llanura Chaco-Pampeana**

Esta llanura se extiende desde Bolivia y Paraguay hacia Argentina, donde está limitada al Oeste por las Sierras Subandinas y Pampeanas, al Sur por la traza del río Colorado, y al Sudeste por las Sierras de Tandilia, Ventania y la zona litoral atlántica (Chebli et al. 1999).

Desde el Paleozoico inferior sufrió varios episodios de subsidencia con leves levantamientos tectónicos, originando una columna estratigráfica potente y completa en las fosas que la componen. Desde el Mioceno es antepaís del levantamiento andino y es más que todo una zona de tránsito de sedimentos hacia el Océano Atlántico.

Russo et al. (1979, en Chebli et al. 1999) propone tres ciclos sedimentarios paleozoicos: Cambro-Ordovícico, Silúrico-Devónico y Carbonífero-Pérmico.

## **II. 2. Marco Estratigráfico**

En el Sur de la provincia de Córdoba y sobre la región morfoestructural de la Llanura Chacopampeana se ubica la zona de estudio y se reconoce una extensa columna estratigráfica (Figura II.2), descrita en la Tesis Doctoral de Blarasin (2003) y en la Hoja Geológica Rio Cuarto 3363-III (Degiovanni et al. 2005) y cuya base de datos fundamental fue la perforación de exploración petrolera realizada en Levalle mas los numerosos datos generados en diversas investigaciones por el Dpto. de Geología de la UNRC. La descripción que se sintetiza más abajo procede fundamentalmente de la mencionada Hoja Geológica. Para la zona de estudio el basamento cristalino no aflora (Figura II.3) sino que lo hace hacia el Oeste, en las Sierras de Comechingones.

### **Paleozoico**

#### *Carbonífero y Pérmico*

En base a un pozo exploratorio de YPF se han reconocido las *Formaciones Ordoñez y Victoriano Rodríguez*. La primera es de origen continental, con influencia glacial en la

base y marina en el techo (Russo et al. 1979 en Astini y Del Papa, 2014) mientras que la *Formación Victoriano Rodríguez* es netamente continental y de menor extensión areal.

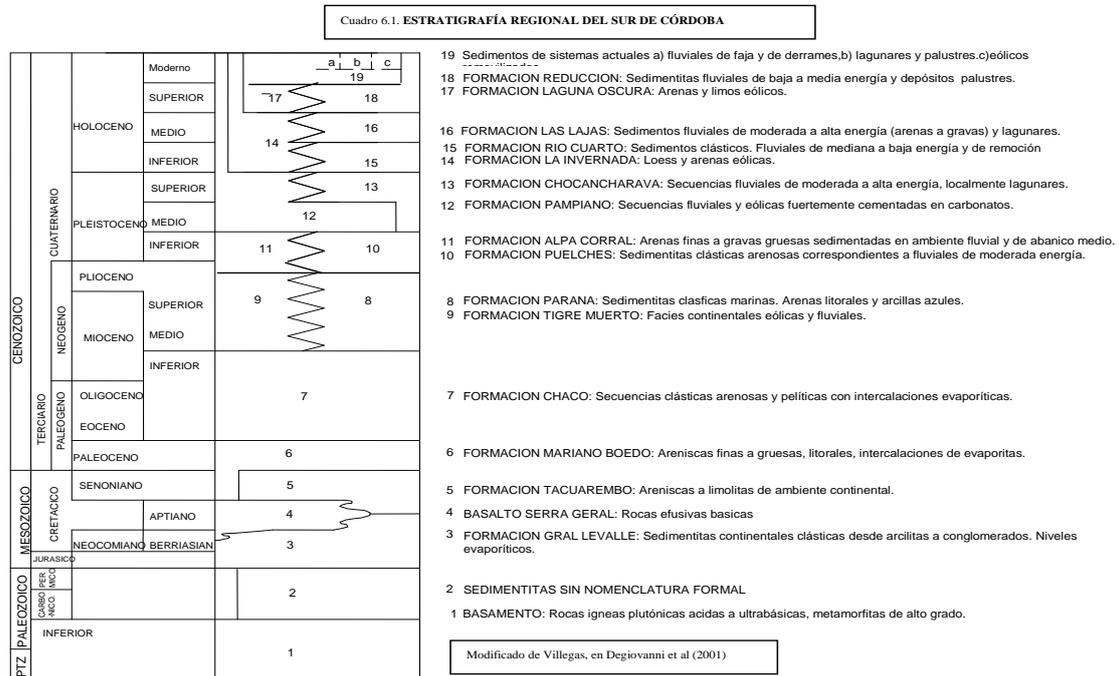


Figura II.2. Cuadro Estratigráfico General de la unidad geológica Llanura Pampeana. Tomado de Blarasin (2003), sobre la base de Degiovanni et al. (2001).

**Mesozoico**

*Cretácico*

En el Sur de la provincia de Córdoba la empresa Hunt Oil Co. propone la siguiente secuencia litoestratigráfica de la *Formación General Levalle: Miembro Areniscas inferiores de rift* (comienza con una base de limolitas arenosas con intercalaciones evaporíticas, y sigue con areniscas que poseen restos carbonosos y conglomerados). Por encima el *Mb Evaporitas* está esencialmente compuesta por Halita. Sigue con *Miembro Limolitas Yesíferas* que son 3 secciones de arcillitas y limolitas cementadas en Yeso de edad Cretácica a Jurásica Superior. La secuencia finaliza con *Miembro Areniscas Superiores de Rift: Areniscas muy finas, gruesas y hasta conglomerádicas* de edad muy similar a las *Limolitas Yesíferas*.

*Cretácico-Paleoceno*

La *Formación Serra Geral* fue descripta por primera vez por White en 1908. Es un conjunto basáltico efusivo de gran extensión areal, de forma que se reconoce en los Pozos Ordoñez y General Levalle.

*Formación Tacuarembó:* Areniscas anaranjadas intercaladas con las efusiones basálticas según Padula y Migramm (1963). Se puede reconocer en el Pozo General Levalle. Estos autores también han definido la *Formación Mariano Boedo* discordante sobre las *Formaciones Tacuarembó y Serra Geral*, compuesta de areniscas rojas continentales con algunas calizas arenosas y areniscas calcáreas de depósitos marinos litorales.

## Cenozoico

A partir del Cenozoico, las sedimentitas se apoyan discordantemente sobre los anteriores depósitos o sobre el basamento y son escasos los afloramientos.

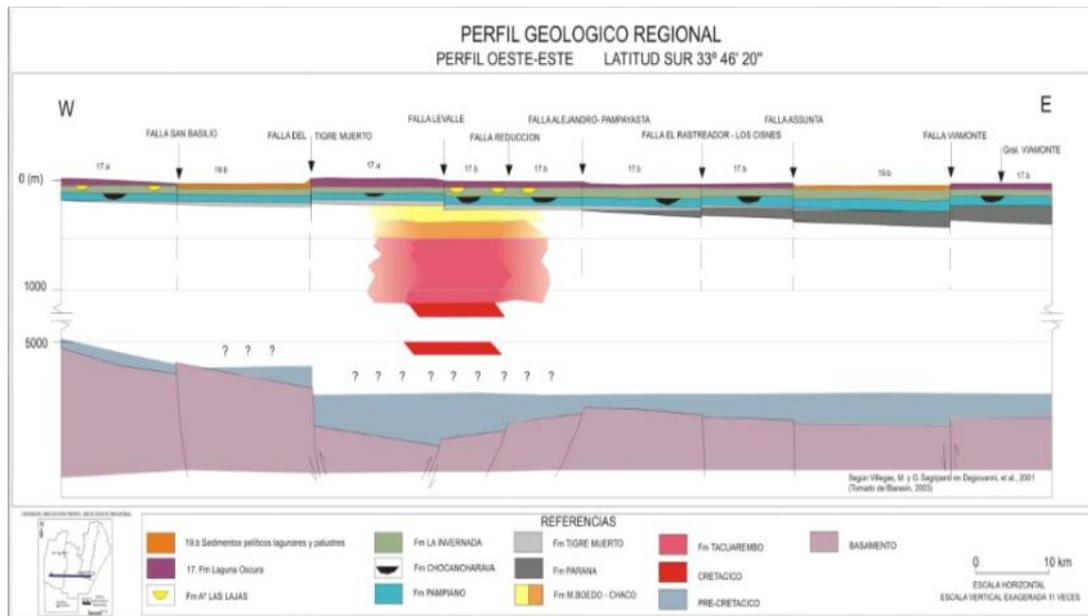


Figura II.3. Perfil geológico regional. Tomado de Villegas y Sagripanti en Degiovanni et al. (2005).

## Neógeno

### Eoceno a Mioceno

La *Formación Chaco*, definida originalmente por Russo et al. (1979) comprende sedimentitas continentales Oligocenas Tardías a Plioceno Tempranas. Son más que todo pelitas, areniscas friables y pelitas arenosas castaño-rojizas, con poco cemento calcáreo, y algunos niveles arenosos y arenosos conglomerádicos amarillentos o rojizos, y algunas intercalaciones pelíticas verdes (Astini et al. 2014).

Le sigue la *Formación Paraná*, de origen marino y que se compone de arcillas masivas y areniscas friables verdes, con moluscos y microfósiles calcáreos (Astini et al. 2014). Se habría depositado en el Mioceno medio y los espesores varían de 50 a 200 m. La primera definición de esta unidad fue realizada por Bravard en 1858.

*Formación Tigre Muerto*: Fue detectada en perforaciones al Oeste y centro-Oeste de la región a profundidades de aproximadamente 100 m, y con espesores que llegan a veces hasta los 150 m, se correlaciona con la Formación Paraná. Son bancos potentes de limos, limos cementados y arcillas oscuras, con arenas ocreas y algunas gravas por lo que corresponde a ambientes lacustres y palustres con intercalaciones de sistemas fluviales (Blarasin et al. 2000).

## Cuaternario

### Plio-Pleistoceno a Pleistoceno Superior

La *Formación Puelches* se constituye de areniscas friables de variados colores y de grano fino a grueso, ocasionalmente conglomerádicas y con pobre selección. Los clastos son irregulares y el principal componente es Cuarzo. Posee 70 m en la

perforación Ordoñez y no está consolidada. Se intercala con niveles de limolitas castañas y arcilitas grises rojizas (Doering, 1882 y Santa Cruz, 1972).

*Formación Alpa Corral*: Cantú (1992) la definió como una unidad de origen fluvial, compuesta por gravas dispersas y arenas medias a gruesas con niveles de gravas intercalados. Son 4 m de espesor que se puede reconocer en los abanicos pedemontanos de la Sierra de Comechingones y también en perforaciones en el Noreste de la Hoja Geológica Río Cuarto (Degiovanni et al. 2005). En base a hallazgos fósiles, Tauber (en Degiovanni et al. 2005) estableció una edad Pliocena para la base de la unidad.

#### *Pleistoceno Medio a Superior*

*Formación Pampiano o Pampeano*: Numerosos autores han descripto esta formación. En Córdoba, Cantú (1992) la asigna a materiales que afloran en los perfiles incididos por los valles fluviales en el pedemonte de la Sierra de Comechingones, que no suelen superar los 10 m. Además diferencia dos tipos de afloramientos: a) Sedimentos limosos pardo rojizos a pardo amarillentos, con mucho  $\text{CO}_3\text{Ca}$  disperso en la masa y niveles de calcretos discontinuos. b) El segundo tipo está formado por materiales limosos y limo-arenosos muy finos pardo rojizos, con nódulos de Fe y Si en varios niveles que pueden dar lugar a duripanes y fragipanes, con  $\text{CO}_3\text{Ca}$  disperso en la masa. Pero es difícil relacionarlos espacial y temporalmente. La presencia de vertebrados fósiles indica su edad Mamífero Lujanense (Pleistoceno Medio a Superior).

La *Formación Chocancharava*, también descripta por primera vez por Cantú (1992) reúne las facies de la provincia que pertenecen a un importante ciclo fluvial perteneciente a un período húmedo del Pleistoceno Tardío, y se puede encontrar en la mayoría de los ríos de Córdoba (Suquía, Xanaes, Ctalamochita, Chocancharava, Popopis y varios arroyos). Se ubica en discordancia erosiva sobre el basamento o sobre la Formación Pampiano. Los espesores no superan los 8 m (Kröling y Carignano, 2014). La unidad está compuesta por secuencias areno-gravosas, granodecrecientes, y presenta estructuras de corte y relleno, las cuales se generaron por las facies típicas de los canales entrelazados y por la disminución de energía en las llanuras de inundación. También se encuentran materiales pelíticos verde amarillentos con rizoconcreciones, que corresponden a ambientes leníticos de circulación restringida asociados a depósitos de flujos densos y algunas representaciones de canales fluviales de alta energía los cuales están conformados por ortoconglomerados monomícticos de clastos redondeados con cemento carbonático, y clastos de la *Formación Pampiano* (Degiovanni et al. 2005).

#### *Holoceno Inferior*

*Formación La Invernada* (Cantú, 1992): Es un manto tabular de loess típico de 2 a 6 m de espesor, y gran extensión areal. Se compone de limos medianos a fino con arenas finas a muy finas subordinadas, de color marrón a amarillo claro, friable y pulverulento. En la base es masivo a ligeramente laminado. Contiene  $\text{CO}_3\text{Ca}$  pulverulento, disperso o en concreciones radiciformes. Es discordante a las *Formaciones Chocancharava* y *Pampiano* en los interfluvios y en las terrazas fluviales; el espesor en la llanura es muy variable.

Este período corresponde a un ambiente muy árido durante el cual los sistemas fluviales menores de la zona se obliteraron mientras que algunos intermedios generaron importantes abanicos en la salida extraserrana. En algunos sectores hacia el

techo puede presentarse interestratificada con depósitos limosos y limo-arcillosos, interpretados como correspondientes a canales efímeros.

En su techo hay restos de un suelo tipo Molisol bien desarrollado que ha sido definido como *Geosuelo Las Tapias* por Cantú (1992) y muestra el mejoramiento climático del Holoceno, entre 9,5-8,2 y 5,2-4 ka A.P. La edad propuesta para la unidad es Pleistoceno Tardío-Holoceno Temprano por Cantú (1992) y Schiavo (2003).

La *Formación Río Cuarto* se vincula lateralmente con la *Formación La Invernada*. Blarasin et al. (2000) la han descrito en las barrancas de cursos fluviales y en perforaciones del área de Río Cuarto. Se compone de gravas en matriz limo-arenosa y arenas de ambiente fluvial de baja energía.

#### *Holoceno Inferior a Medio*

La *Formación Arroyo Las Lajas*, definida en perfiles de arroyos de la zona de Río Cuarto por Cantú (1992) representa un ciclo fluvial de poca magnitud durante el óptimo climático del Holoceno Inferior a Medio, e incluye facies aluviales, coluviales y fluvio-lagunares. La facies aluvial está en la base del canal y son aglomerados con clastos de las *Formaciones Pampiano* y del *Suelo Las Tapias*, y por encima hay finos estratos granodecrecientes de guijas provenientes del basamento cristalino, y rodados de tosca. Por encima, se encuentran arenas limosas a limo arenosas con abundante  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , bioturbado y con alto contenido de material biogénico (gasterópodos, ostrácodos y diatomeas de agua dulce).

#### *Holoceno Superior*

*Formación Laguna Oscura*: Es una cubierta eólica arenosa ampliamente extendida en el Sur de la provincia de Córdoba que sobreyace a la *Formación Arroyo Las Lajas* y en algunas zonas al *Geosuelo Las Tapias*. Se distribuye en fajas de rumbo 25° Este, entre las que afloran las *Formaciones Chocancharava* y *Arroyo Las Lajas* (Cantú, 1992). Esta unidad está formada por arenas finas a muy finas con menos de 15 % de arcillas y limos, y en su composición mineralógica se distinguen minerales de proveniencia volcánica cordillerana, y otros de proveniencia pampeana. Este autor también indica que en la fracción arena predominan cuarzo, feldespatos y vidrio volcánico.

Es la unidad aflorante más amplia dentro de la Hoja Geológica Río Cuarto (Degiovanni et al. 2005), y está cubierta o no se encuentra en zonas de bajos, terrazas fluviales de menor cota y llanuras de derrames actuales.

Degiovanni et al. (2005) reconocen tres miembros: a) *Arenas finas a limosas de génesis eólica*: Un loess arenoso que forma médanos aislados o sistemas de dunas longitudinales, que es típico del Norte del río Cuarto, y el Oeste y Sur de la ciudad de Río Cuarto. b) *Depósitos eólicos arenosos finos a limosos con evidencia de paleocanales profundos*: Loess arenoso fino de variable potencia que constituye cuerpos medanosos reactivados históricamente. c) *Depósitos eólicos arenosos finos a limosos interdigitados con pelitas de derrames*: Arenas finas y limos correspondientes a médanos entre los que se sitúan cuerpos lagunares.

Cantú (1992) y Degiovanni et al. (2005) infieren una edad Holoceno Tardía para esta formación.

La *Formación Reducción* aflora en las márgenes del río Chocancharava y en algunas terrazas de los cursos fluviales mayores del área (Blarasin et al. 2000) y se compone de arenas gruesas a gravas finas con matriz limo-arenosa a arenosa fina que fue

depositada por canales fluviales de baja a moderada energía, con dominio de procesos de acreción lateral. La mineralogía de las arenas muestra la presencia de cuarzo, feldespatos, micas y fragmentos líticos de procedencia granítica. Esta unidad es coetánea con la Formación Laguna Oscura, del Holoceno Tardío, pero evidencia un ambiente con circulación hídrica más restringida (Degiovanni et al. 2005).

#### *Sedimentos modernos*

Para la zona superior de la Serie Holocena, al instalarse el clima Atlántico actual se generaron depósitos de escaso espesor vinculados a una serie de sistemas eólicos, lagunares y fluviales instalados actualmente, y que no se pueden denominar como unidades formacionales, pero sí se pueden dividir en (Blarasin, 2003):

a. *Sedimentos Fluviales de Faja*: Afloran en varios niveles de terrazas y son la manifestación de varios estadios hidrodinámicos y secuencias psamopelíticas de abanicos de derrame (derrames recientes de los ríos Cuarto, Santa Catalina, Del Gato, entre otros).

b. *Sedimentos Pelíticos Lagunares y Palustres* asociados a grandes lagunas y bañados que han variado su extensión según el régimen de precipitaciones y los aportes recibidos (como La Chanchera y los Bajos del Saladillo).

c. La unidad informal de *Arenas Eólicas de la Pequeña Edad de Hielo* (PEH) se refiere a campos de dunas eólicas generados durante el período seco de la Pequeña Edad de Hielo en el Sur de las provincias de Córdoba y Santa Fe. Para Córdoba, Blarasin y Sánchez (1987), Iriondo y Kröhling (1996) y Carignano (1999) citan pequeñas dunas parabólicas. Es un manto de 0,9 m de potencia de arenas muy finas altamente seleccionadas, de color marrón amarillento claro, con pedogénesis en la zona superior.

### **II.3. Marco Morfo-Estructural**

Las Sierras Pampeanas son un conjunto de bloques fallados separados entre sí por valles longitudinales, que al estar basculados presentan morfología asimétrica (Degiovanni et al. 2005): La ladera oriental es tendida y en la occidental la morfología es escarpada.

Diversos autores (González Bonorino, 1950; Gordillo y Lencinas, 1979), indican que los límites entre estos bloques serranos son fallas inversas lítricas de orientación general NorNoroeste-SurSureste. En superficie buzcan entre 50 y 70° hacia el bloque levantado. Este basamento estuvo aflorando o subaflorando desde los eventos de engrosamiento cortical y alzamiento asociados a la acreción de terrenos en el margen Oeste de Gondwana entre fines del Proterozoico y Paleozoico Medio y luego del Paleozoico Superior (Astini, 2014).

En cuanto a la Llanura Chacopampeana, a lo largo de la historia geológica ha sido una parte poco móvil de la corteza y con tendencia negativa, con sedimentación continental y marina como se ha descrito anteriormente. Chebli et al. (1999) reconocieron la presencia de altos estructurales alineados en sentido Noreste-Suroeste, y separando las depresiones del subsuelo: esto evidencia la fracturación del basamento cristalino.

Los sedimentos Paleozoicos Superiores en esta llanura se dieron principalmente en un depocentro cordobés-santafesino, y las formaciones se observan en el subsuelo para la

zona en estudio. Su acomodación fue irregular sobre una paleotopografía de valles (Astini y Del Papa, 2014). Es para este tiempo en el cual se la comienza a llamar Cuenca Chacoparanense en sentido estricto, y estuvo relacionada a un contexto compresional debido a la amalgamación de terrenos en el borde de Gondwana durante Eopaleozoico (Chebli et al. 1999). Astini y Del Papa (2014) proponen una interpretación tectónica diferente, relacionada a procesos de rifting a comienzos del ciclo Gondwánico.

Para el Pérmico Tardío a Triásico Temprano, a fines del Ciclo Gondwánico, comienza a darse un régimen extensional que da origen a los sistemas de rift triásicos, aprovechando zonas de debilidad Paleozoicas (Chebli et al. 1999). Este régimen se continuó en el Ciclo Patagónico para el Jurásico Tardío y Cretácico Temprano, lo que fracturó el basamento cristalino y generó una serie de hemigrábenes (cuencas de Macachín, Levalle-Laboulaye, Salado, Colorado y Chacoparanense) Russo et al. (1979) en Degiovanni et al. 2005.

En estos depocentros Cretácicos la sedimentación continental se asocia a derrames y diques basálticos. La tectónica terciaria posterior asociada al levantamiento andino invirtió los fallamientos y cuencas, y generó la elevación actual de las Sierras Pampeanas (Martino et al. 2014). Ramos (1999) diferencia el proceso de la Orogenia Ándica en dos subciclos que se diferencian por las variaciones en la velocidad de convergencia relativa entre la placa de Nazca y la Sudamericana: Subciclos Paleógeno y Neógeno.

Los movimientos se continuaron en el Holoceno, evidenciados en la dislocación de las unidades sedimentarias Pleistocenas Superiores y la actividad sísmica de la Falla de Las Lagunas (en Sampacho, al Suroeste de Córdoba). Degiovanni et al. 2005.

#### *Sistemas de estructuras frágiles*

El estilo tectónico de la región (Figura II.4) da una morfología escalonada y ondulada que se disipa hacia el Sureste. Degiovanni et al. 2005 proponen que los bloques (elongados Norte-Sur) condicionan la morfología y controlan la red de drenaje. También identifican sistemas con orientación Este-Oeste, Noroeste-Sureste y NorNoreste-SurSuroeste:

-Sistema Norte-Sur: Conformado por las fallas Santa Catalina, San Basilio, del Tigre Muerto, Levalle, Reducción, Alejandro-Pampayasta y El Rastreador-Los Cisnes. La falla de San Basilio se ubica a los 64°20' de longitud Oeste: Se ha inferido su carácter inverso, con plano buzante al Oeste.

-Sistema Este-Oeste: Comprende la falla Río Cuarto (Villegas, 1996 en Degiovanni et al. 2005) y un conjunto de fracturas que limitan bloques menores. Esta falla está a una latitud de 33°10' Sur, y controla al río homónimo hasta aproximarse a la localidad de Reducción, y hacia el Este pueden reconocerse sus evidencias morfológicas en la zona de derrames, en Santa Eufemia.

-Sistema Noroeste-Sureste: Está comprendido por la falla Chaito-Chazón (Cantú y Degiovanni, 1982) y estructuras menores que controlan arroyos hacia el Suroeste de la provincia.

-Sistema NorNoreste-SurSuroeste: Conformado por la falla del Saladillo y Assunta, son los límites oriental y occidental del bloque deprimido donde se sitúan los Bajos del Saladillo y las lagunas alineadas de La Chanchera, La Brava y Santa Ana, al Sur de los Bajos.



Figura II.4. Mapa estructural del Sur de la Provincia de Córdoba. Tomado de Degiovanni et al. (2005).

# Capítulo III

## MARCO LOCAL

### III.1. Estratigrafía

Como se indicara el área de estudio abarca el campus de la UNRC y sus alrededores, en donde afloran sedimentos Cuaternarios de origen eólico y fluvial de la Llanura Chacopampeana.

El análisis de la estratigrafía del área se realizó en base a datos directos del levantamiento de 4 perfiles tipo Selley ubicados en las barrancas del Río Cuarto, el análisis litológico de 18 perforaciones de diversa profundidad y también exploración indirecta por medio de 2 Sondeos Eléctricos Verticales.

La ubicación de cada uno de estos se puede encontrar en la Figura II.1.

#### III.1.1. Descripción e interpretación de Perfiles Aflorantes

En las etapas de campo se han levantado perfiles sedimentarios aflorantes en los bordes de las terrazas del río Cuarto siguiendo la metodología propuesta por Selley.

##### *Perfil Aflorante 1 (Pa1)*

Está ubicado sobre la terraza actual del Río Cuarto, a los 33° 7'8,46" de Latitud Sur, y 64°18'2,28" de Longitud Oeste, a una cota de 417.5 m.s.n.m., y hacia el Norte de la margen del río Cuarto.

Sobre la base cubierta, se alza un perfil homogéneo de 1,8 m de gravas en matriz arenosa fina. Se encuentra cubierto con abundante vegetación presentando bioturbación por la presencia de raíces en todo el perfil (Figura II.2), lo que dificulta la descripción y observación de estructuras sedimentarias.

El perfil se interpreta como resultado de la actividad Holocena del río Cuarto, que ha depositado granulometrías gruesas dado su alta energía y se asume que corresponden a posible superposición de sedimentos de barras similares a las actuales.

##### *Perfil Aflorante 2 (Pa2)*

Se ubica en la margen Norte del Río Cuarto, detrás del campus universitario, en las coordenadas 33° 7'17,85" Sur y 64°18'11,84" Oeste y a una cota de 416 m.s.n.m. Es un pequeño perfil (Figura II.2) de 0,9 m en un camino profundizado que desciende hacia la terraza actual del río Cuarto.

Sobre la base cubierta se reconoce un cuerpo de 0,15 m de gravas en matriz arenosa fina con estratificación cruzada. Sigue un cuerpo de 0,3 m, granodecreciente desde gravas a arenas finas, en el cual se observan clastos de toscas muy deleznales y de dimensiones variables, desde 2 cm hasta 15 cm en su eje mayor. Por encima, un cuerpo de gravas con matriz arenosa fina con estratificación planar, de 0,35 m de espesor. Finalmente se observa un cuerpo tabular de 0,1 m de gravas en matriz arenosa fina, sin estratificación, con abundante materia orgánica y bioturbación.

Los materiales sedimentarios que integran este perfil fueron depositados por un sistema fluvial con barras y por encima sedimentos depositados por flujo laminar con alto régimen de flujo y se interpretan como sedimentos modernos de energía muy similar al actual que estuvo activo durante el último período cálido del Holoceno. En la parte superior hay evidencias de pedogénesis actual.

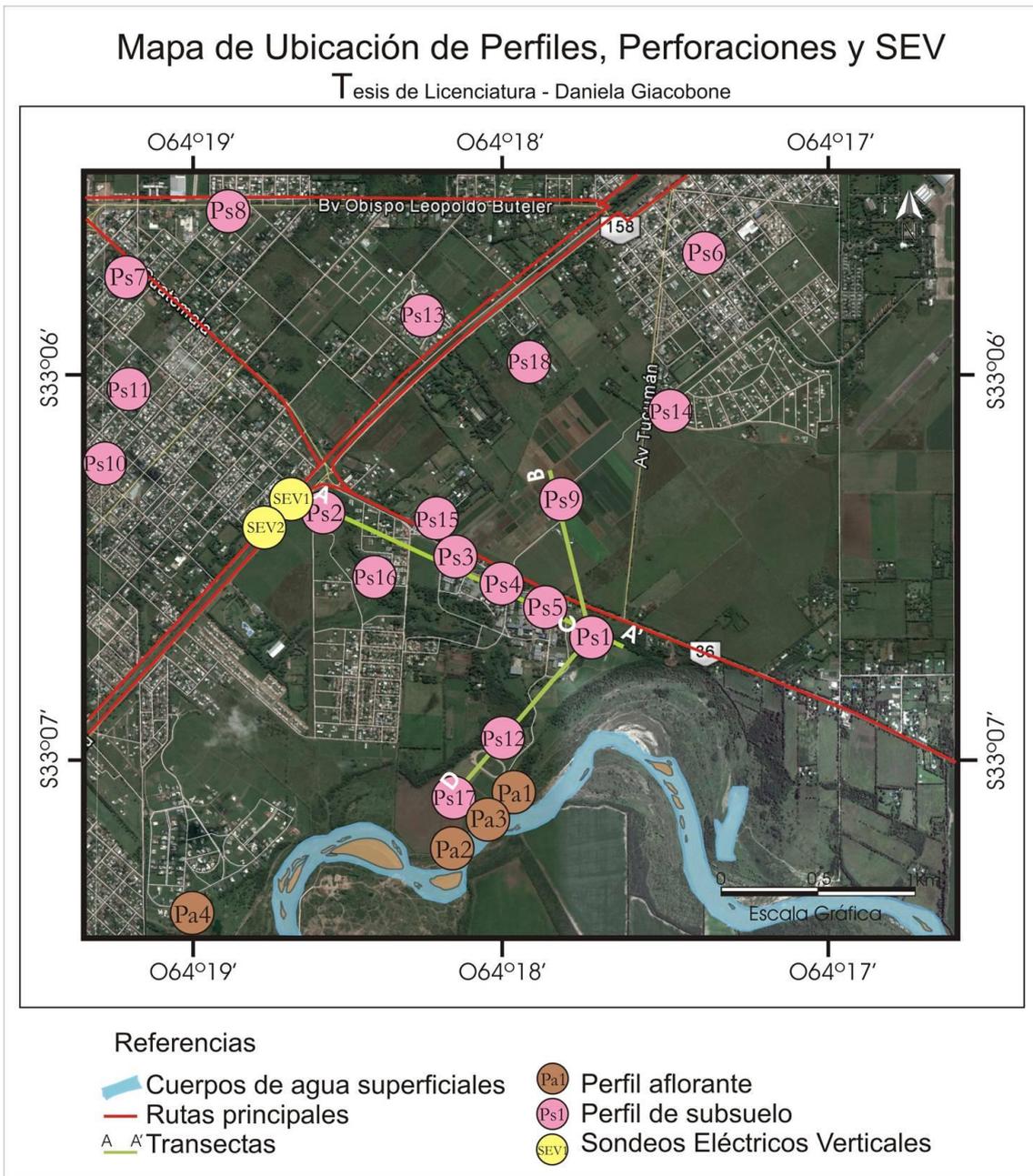


Figura III.1. Mapa de Ubicación de Perfiles, Perforaciones y Sondeos Eléctricos Verticales.

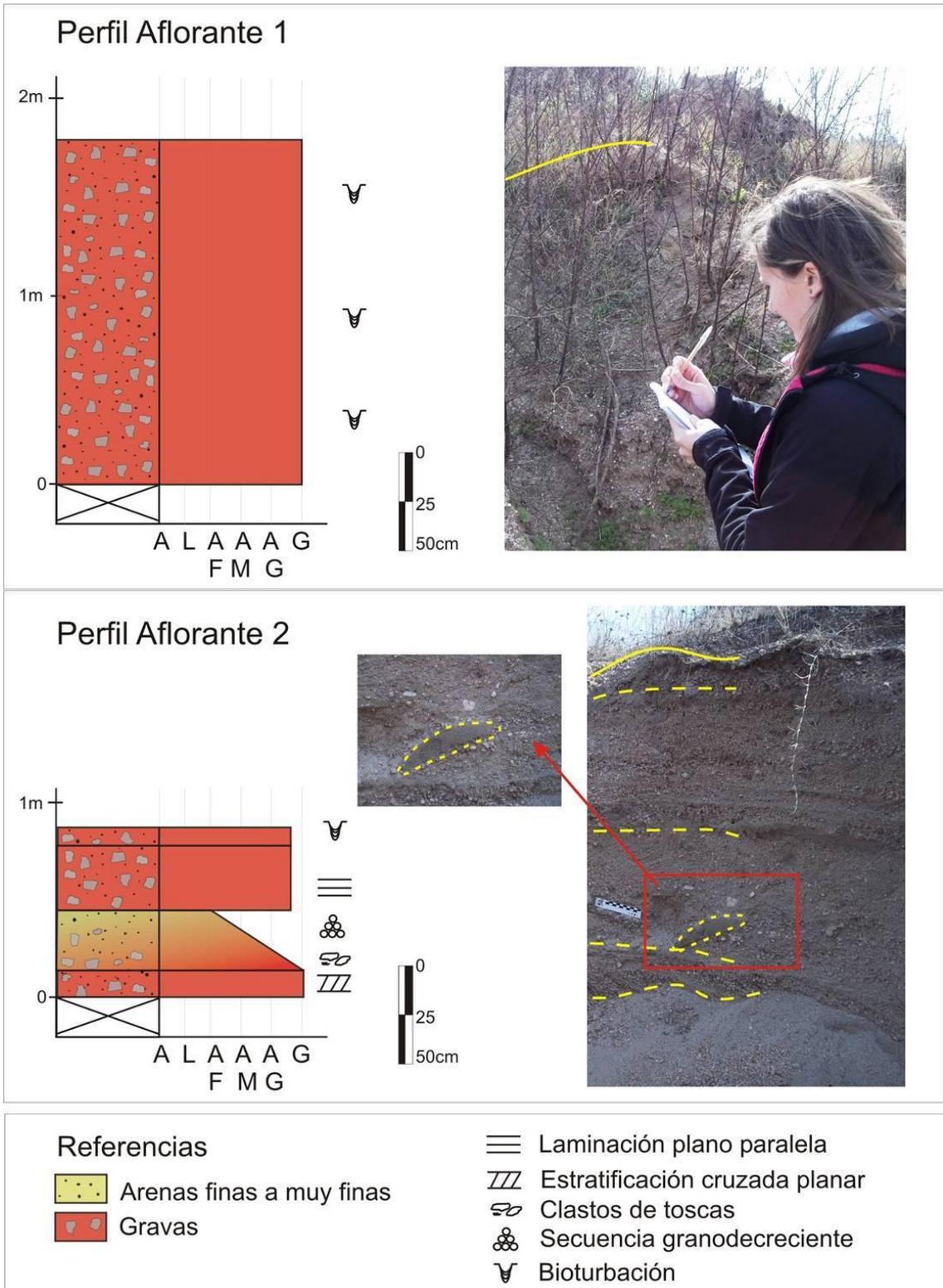


Figura III.2. Perfiles Aflorantes Pa1 y Pa2. Para Pa2 se muestra en detalle los clastos de tosca.

### Perfil Aflorante 3 (Pa3)

Está ubicado en la latitud 33° 7'16,17" Sur y Longitud 64°18'10,16" Oeste, sobre una barranca del curso actual del río Cuarto y a una cota de 416,2 m.s.n.m.

El paquete inferior de 3 m de espesor contiene arenas y gravas con matriz arcillosa y clastos de rocas y minerales de diámetro entre 3 y 4 cm, en general masivo. Se observa (Figura III.3) un importante grado de cohesión, probablemente vinculado a cementación carbonática. El segundo cuerpo comienza con una base erosiva, es gravoso-arenoso de 0,5 m de espesor, con laminaciones plano paralelas y más friable que el inferior. Posteriormente y separado del anterior por una base erosiva se ubica un cuerpo compuesto por arenas y gravas más gruesas muy similar al anterior, con un espesor de 1,5 m. Se observan algunas estructuras laminares. Hacia el techo se observa un cuerpo tabular de 0,3 m de arenas gruesas con laminación plano paralela, con mayor contenido de materia orgánica.

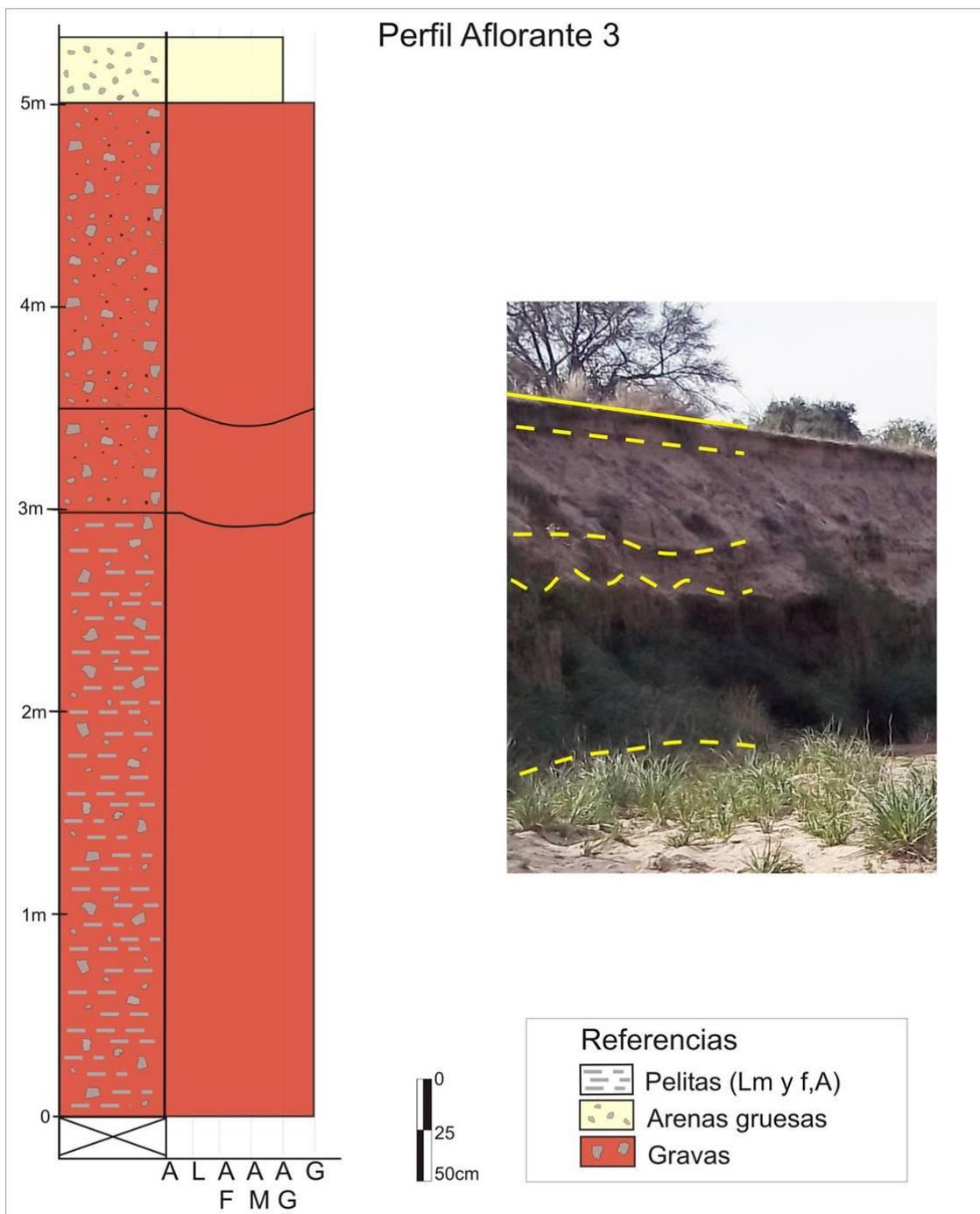


Figura III.3. Perfil Aflorante Pa3.

Estos sedimentos de edad Holocena han sido depositados por un sistema fluvial muy similar al actual sistema del río Cuarto, interpretados como alternancias de facies de canal con otras fluviales de menor energía. Sobre el material superior se observan procesos edáficos.

#### *Perfil Aflorante 4 (Pa4)*

Se levantó en una terraza del río Cuarto ubicada a los 33°7'29,00" de Latitud Sur y 64°19'3,95" de Longitud Oeste, a una cota de 420 m.s.n.m.

El perfil (Figura III.4) comienza con base cubierta y consta de 1,80 m de sedimentos arenosos finos a muy finos, masivos de color pardo grisáceo claro, algo cementado y con estructura de prismas alargados. En contacto neto se ubica un paquete superior de 1.20 m de espesor, también arenoso muy fino a fino, menos cementado y con estructura de bloques irregulares. Este presenta mayor contenido de materia orgánica y está fuertemente bioturbado por pequeñas cuevas de animales y por la presencia de raíces, llegando algunas también al paquete inferior, la que además.

Se infiere que todo el perfil está compuesto por depósitos de origen fluvial que podrían corresponder a desbordes de materiales finos con alta participación de agua; siendo en los 1,80m inferiores un poco más finos que los sedimentos del paquete superior (probablemente equivalente a Fm. Reducción), y con procesos edáficos hacia el techo.

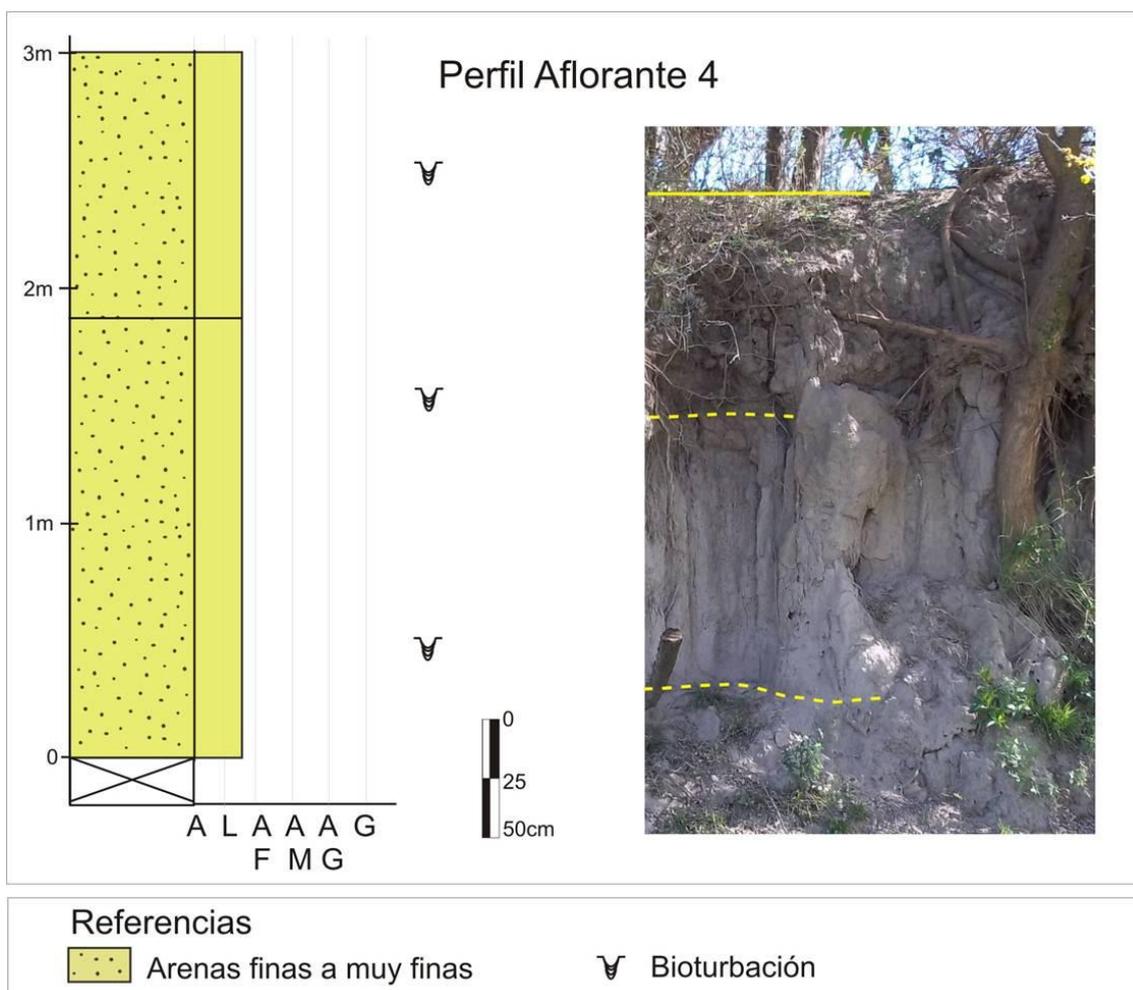


Figura III.4. Perfil aflorante *Pa4*.

### III.1.2. Descripción e interpretación de Perfiles de Subsuelo

Se han recopilado datos de las litologías atravesadas por perforaciones realizadas dentro del área de estudio, ya que son muy importantes para mejorar el conocimiento de la geometría y ubicación de los diferentes materiales presentes en el subsuelo.

Aunque se han realizado los dibujos de los perfiles para la presente tesis, se han respetado las descripciones originales de las perforaciones, adecuando los términos a la nomenclatura sedimentológica.

#### *Perfil de subsuelo 1 (Ps1)*

Este perfil fue obtenido de una perforación ubicada en el predio de la UNRC, a pocos metros de las residencias docentes de la casa de estudios y sus coordenadas son 33°6'40,62" de Latitud Sur y 64°17'46,85" de Longitud Oeste, con una cota de 426,1 m.s.n.m. La perforación fue realizada por la empresa Pettarin y Vaccarini y estuvo bajo la conducción técnica del personal de Geohidrología de la UNRC (responsables: Mónica Blarasin y Juan Felizzia).

Esta perforación posee 310 m de profundidad, habiendo alcanzado basamento a los 292,5 m. El detrito indica que se trataría de rocas metamórficas descritas para el basamento cristalino metamórfico de la región (ver Capítulo II.1.).

La toma de muestras se realizó cada 2 m. El análisis granulométrico de los primeros 150 m fue realizado por Giacobone (2017) y entre los 150 y 310 m por Azcurra (2017) en base a 62 muestras representativas de las diferentes profundidades. A partir de los 150 m de profundidad se observó la presencia de un elevado nivel de cementación en las muestras.

En las Figuras III.5 y 6 se observan las tablas de Excel obtenidas a partir de los análisis granulométricos realizados en laboratorio para las diferentes profundidades de la perforación, las cuales fueron utilizadas posteriormente para realizar la clasificación granulométrica de cada segmento representativo de la muestra, y obtener el perfil litológico-granulométrico porcentual de la perforación de control UNRC Ps1 (Figura III.7).

Los sedimentos fluviales inferiores, desde el basamento hasta los 150 m de profundidad, muestra una predominancia en las fracciones granulométricas de arenas medias, finas y muy finas, lo que se puede traducir en un agente de depositación de menor energía que los estratos más someros.

Desde los 150 hasta los 108 m hay sedimentos arenosos y gravosos abundantes en sedimentos finos, ya que algunas capas alcanzan a tener entre 15 y 30 % de matriz pelítica.

Entre los 108 y 60 m de profundidad se observan depósitos de gravas o arenas muy gruesas a gruesas, denotando una heterogeneidad en los depósitos.

Los 60 m superiores de la perforación se caracterizan por la presencia de lentes de granulometrías gruesas (gravas, arenas muy gruesas y sábulos) con algunas delgadas capas con matriz pelítica (observadas a los 38 y 56 m de profundidad) y los 4 m finales están constituidos por una capa de sedimentos arenosos muy finos.

La perforación fue sometida a perfilaje geofísico de resistividad y potencial espontáneo (SP), y en general se observa que coinciden las granulometrías más gruesas con los valores de resistividad más altos; mientras que las muestras más pelíticas y arenosas finas coinciden con resistividades más bajas. Es decir hay alta concordancia entre el resultado granulométrico de laboratorio y el perfilaje geofísico. A partir de los 292,5m

de profundidad el perfilaje muestra un aumento repentino de la resistividad, y el potencial espontáneo disminuye debido a la presencia del basamento rocoso.

Se asume que los materiales sedimentarios que sobreyacen al basamento Precámbrico-Paleozoico son Neógenos, que se corresponderían con la Fm. Tigre muerto (Blarasin et al., 2000) probablemente en la base más viejos. Por encima de los 120 a 150 m los sedimentos se asumen como pertenecientes al Pleistoceno-Holoceno y contienen, en los últimos 20 m, la mayoría de las formaciones aflorantes descritas en la región, mencionadas en el capítulo anterior.

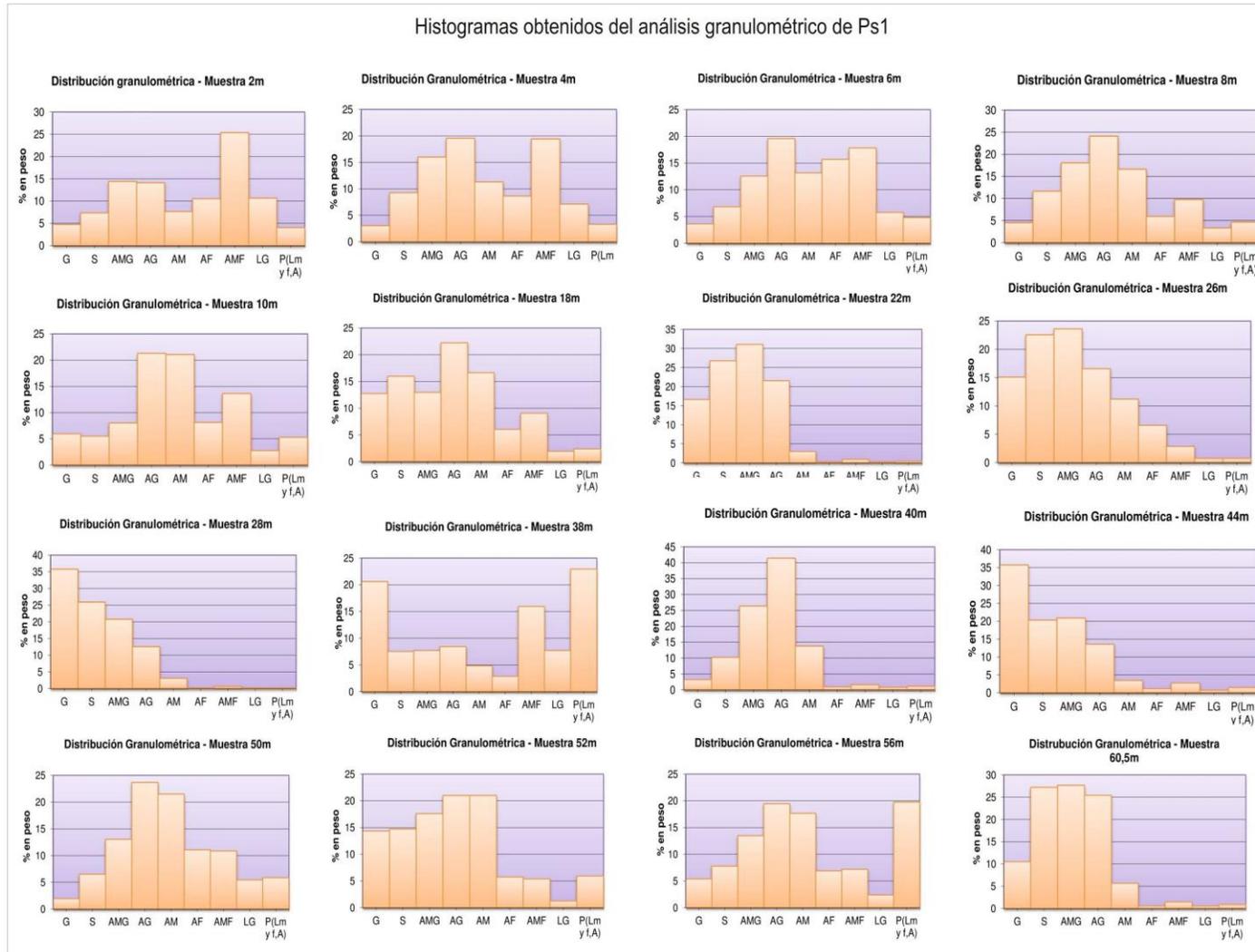


Figura III.5. Resultados del análisis granulométrico en laboratorio para las muestras obtenidas a los 2, 4, 6, 8, 10, 18, 22, 26, 28, 38, 40, 44, 50, 52, 56 y 60,5 m de profundidad en Ps1.

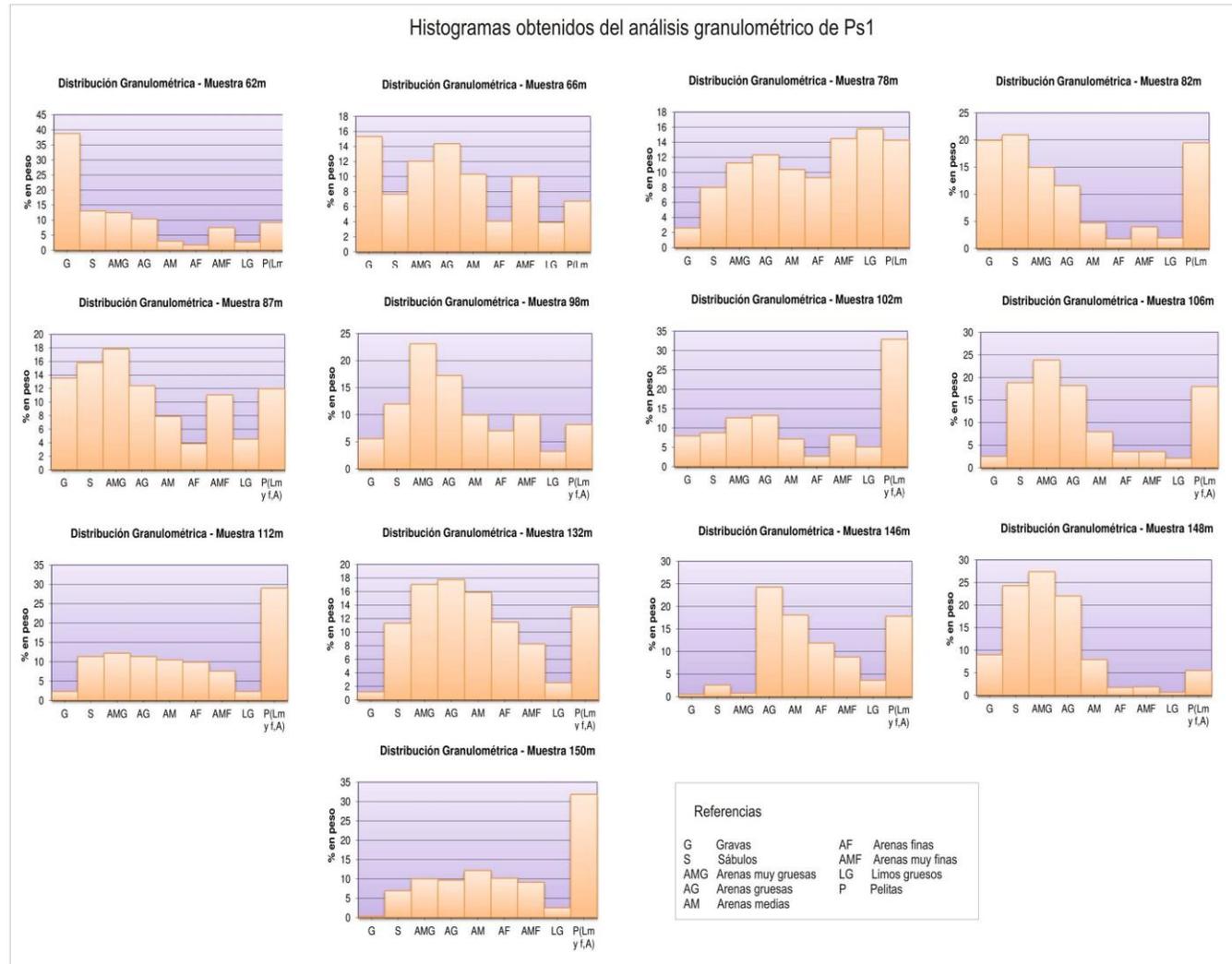


Figura III.6. Resultados del análisis granulométrico en laboratorio para las muestras obtenidas a los 62, 66, 78, 82, 87, 98, 102, 106, 112, 132, 146, 148, y 150 m de profundidad en Ps1.

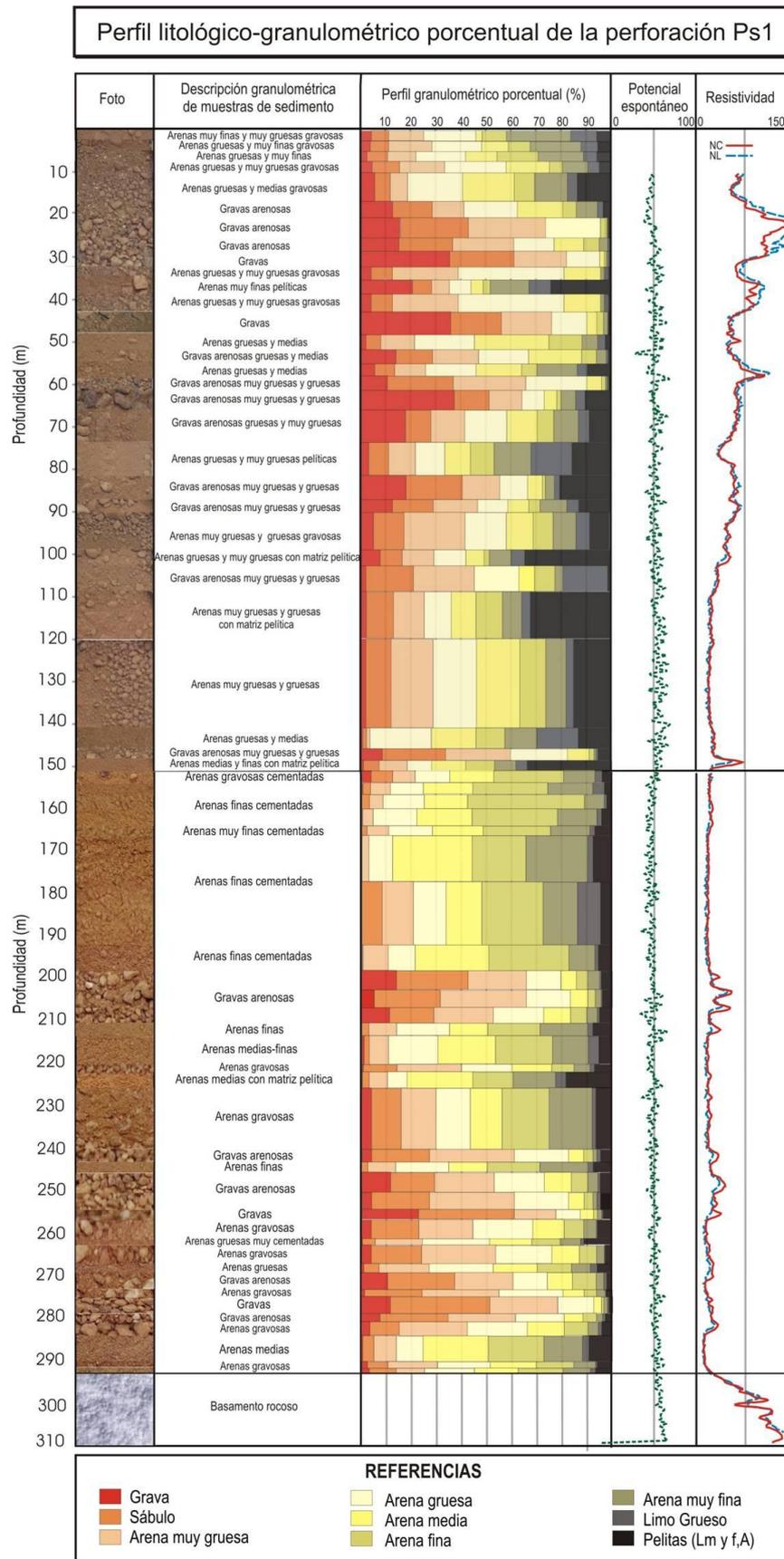


Figura III.7. Perfil granulométrico porcentual del perfil 1 correspondiente a la perforación de investigación UNRC entre 0 y 310 m. Modificado de Giacobone (2017) y Azcurra (2017).

*Perfil de subsuelo 2 (Ps2)*

La perforación de la cual se obtuvo este perfil de subsuelo es la que abastece de agua subterránea al tanque de abastecimiento del Barrio Universidad ( $33^{\circ}07'30''$  Sur,  $64^{\circ}17'40''$  Oeste y con cota: 430,35 m.s.n.m.).

Los datos correspondientes a esta perforación fueron recopilados de la Tesis Doctoral de Blarasin (2003) y cedidos por el Licenciado Juan Felizzia.

El perfil de 96 m de profundidad se puede observar en la Figura III.8. Desde la base del perfil, hasta los 19,5 m se observa la presencia de bancos de toscas, que intercalan con arenas (medianas y muy gruesas), sábulos y gravas compuestas por cuarzo, feldespato potásico y en menor porcentaje fragmentos de rocas.

Desde los 19,5 m hasta los 3,5 m se observan arenas muy finas castañas con trozos de tosca calcárea. Por encima, en los primeros metros del perfil se observa la presencia de limos arcillosos con cementación de carbonato de calcio.

Estos sedimentos se pueden asignar a los sedimentos en general nominados Pampeanos y post-Pampeanos de edad Cuaternaria y, como se observa, corresponden a ciclos de condiciones húmedas con dominancia de materiales fluviales y otros de condiciones secas con dominio de material eólico. Si bien es complicado en las perforaciones asignar nombres formacionales se asume que, aproximadamente, los materiales de los 20 m superiores corresponden a la Fm. Laguna Oscura (Holoceno Superior, ver Capítulo II.2.).

*Perfil de subsuelo 3 (Ps3)*

En la UNRC se realizaron 3 perforaciones de riego, a cargo de la empresa de perforación "El Luchador" en diferentes zonas cercanas a los pabellones para cumplir con un nuevo plan de forestación. Se encuentran a una distancia aproximada de 100 m entre sí y se realizaron los correspondientes muestreos litológicos en cada una.

Los datos de la primera perforación (Figura III.9) fueron descriptos por Zunino (2017) en su informe de práctica profesional co-dirigida por el Licenciado Juan Felizzia, encargado de la conducción técnica por la Empresa perforista. Está situada en los  $33^{\circ}6'30,51''$  de latitud Sur y  $64^{\circ}18'13,07''$  de Longitud Oeste, próxima al Pabellón 4 de la UNRC, a una cota de 429,4 m.s.n.m. y posee una profundidad de 35 m.

El perfil muestra el predominio de sábulos desde los 35 a 33 m de profundidad, y hacia arriba arenas muy gruesas con sábulos y posteriormente arenas gruesas hacia los 23 m. Estas arenas se componen de cuarzo, feldespato y clastos de toscas redondeados. Desde los 23 m hasta la superficie se observan arenas muy finas a finas.

El perfil se interpreta como representativo de la parte superior de la columna cuaternaria de la región, los sedimentos más someros (primeros 20 m) se corresponden con la Fm. Laguna Oscura mientras que los inferiores intercalan depósitos fluviales de los ciclos húmedos mencionados para el Cuaternario.

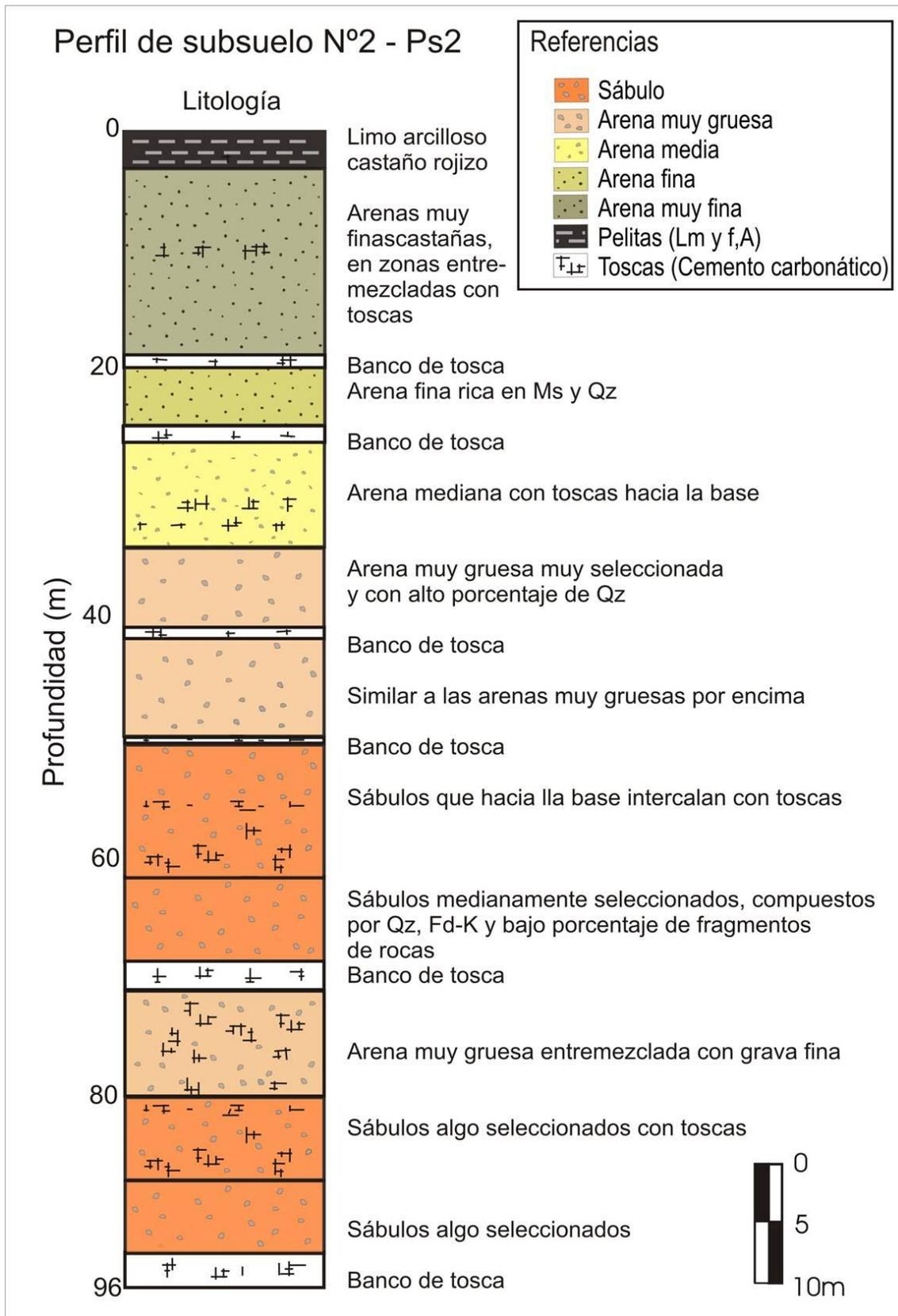


Figura III.8. Perfil de subsuelo Ps2.

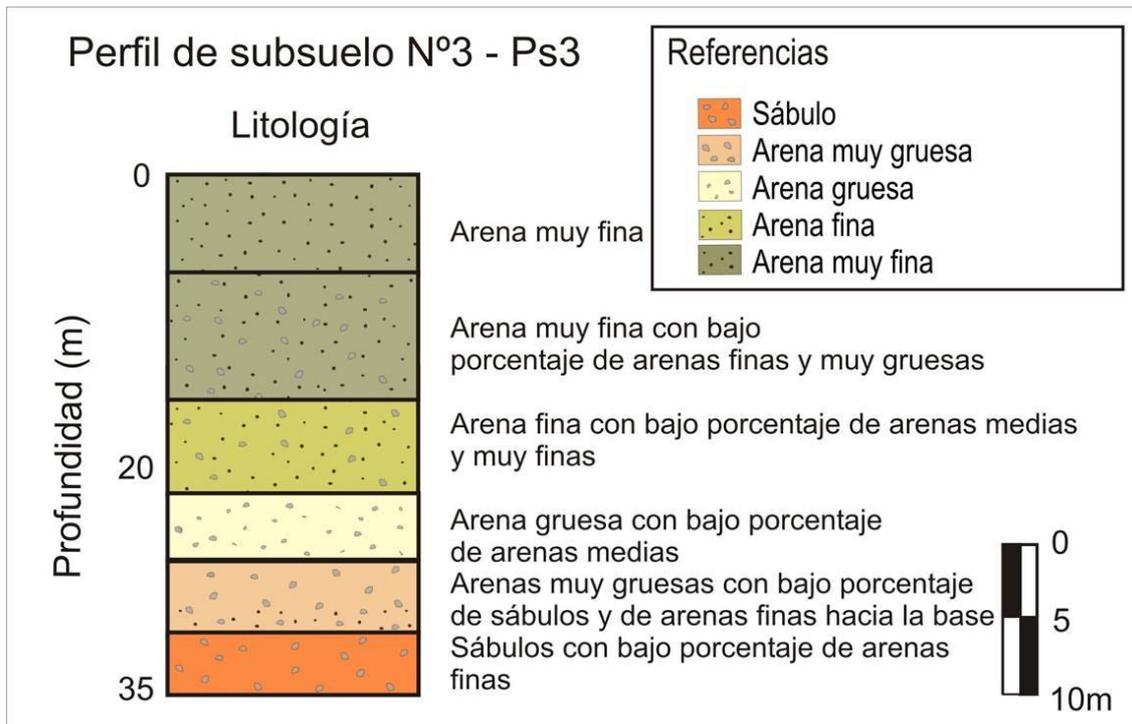


Figura III.9. Perfil de Subsuelo Ps3. Modificado de Zunino (2017).

#### *Perfil de subsuelo 4 (Ps4)*

Otra de las perforaciones de riego de la UNRC se sitúa a los 33°6'35,74" Sur y 64°18'4,55" Oeste con cota de 428,2 m.s.n.m., más específicamente, entre la Biblioteca Central Juan Filloy y la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la casa de estudios.

Los datos fueron aportados por Gualde (2017) en su informe de práctica profesional, co-dirigida por el Licenciado Juan Felizzia, encargado de la conducción técnica por la Empresa perforista. Su profundidad es de 35 m.

En la Figura III.10 se observa que en la base de la perforación se encontraron arenas con sábulos (entre 35 y 31m). Los clastos son gruesos hasta los 28 m de profundidad, con altas fracciones de arena gruesa a muy gruesa. Entre los 28 m y la superficie del terreno se observan arenas muy finas y medias con arcillas, con un suelo abundante en materia orgánica en el techo.

Se observa marcada presencia de cuarzo y relativamente baja cantidad de feldespato potásico. También se observa la presencia de clastos de limos entoscados a profundidades entre 33 a 35 m.

Las características del perfil de esta perforación son muy similares a la *del Perfil de Subsuelo Ps3*; es decir depósitos fluviales con una cubierta eólica del Cuaternario superior.

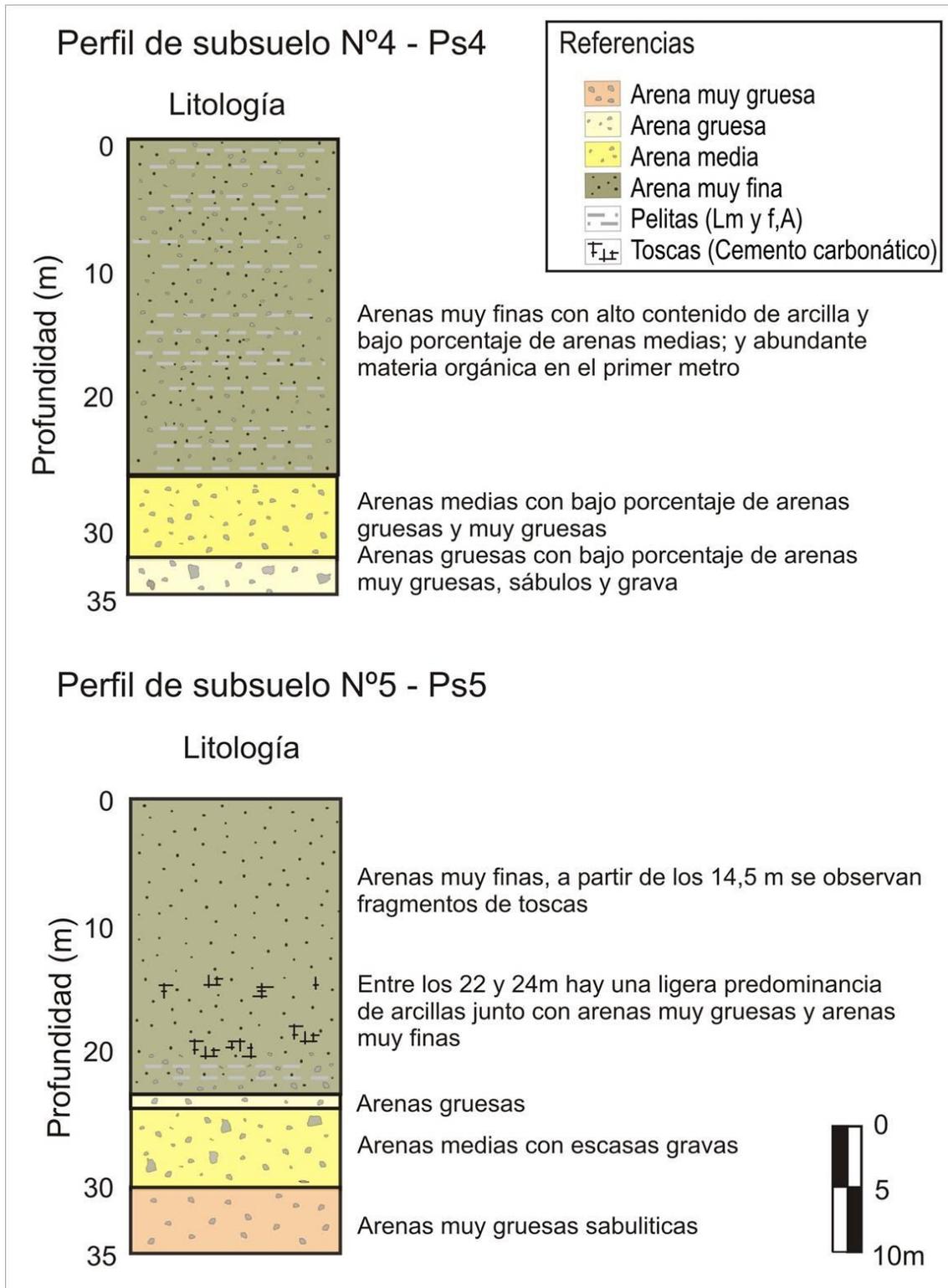


Figura III.10. Perfiles de Subsuelo Ps4 (Modificado de Gualde, 2017) y Ps5 (Modificado de Alfonso, 2017)

*Perfil de subsuelo 5 (Ps5)*

Proviene de otra perforación de la UNRC destinada a riego y se encuentra a los 33°6'37,65" de Latitud Sur y 64°17'56,76" de Longitud Oeste, a una cota de 426,5 m.s.n.m., cercano al vértice Sureste del edificio del Comedor Universitario.

En este caso, los datos fueron aportados por Alfonso (2017) en su informe de práctica profesional, co-dirigida por el Licenciado Juan Felizzia, encargado de la conducción técnica por la Empresa perforista. La perforación llega hasta los 35 m de profundidad (Figura III.10).

Entre los 30 y 35 m de profundidad predominan las arenas muy gruesas a sabulíticas con mayor abundancia de clastos gravosos que los niveles por encima, comúnmente formados por rodados de tosca, cuarzo-feldespáticos, máficos y micáceos. Desde los 30 m hasta profundidades cercanas a los 24 m se observa la fracción arena media con escasas gravas subredondeadas y posteriormente arena gruesa. Estas se componen principalmente por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, muscovita y máficos.

Desde los 24 hasta los 2,5 m se hallaron arenas muy finas con intercalaciones de concreciones carbonáticas subangulosas de 3 mm de diámetro aproximado. En la fracción arenosa fina se observaron granos de cuarzos y feldespatos potásicos subredondeados. Desde la superficie hasta el primer metro de profundidad se encontraron arenas muy finas.

Como puede observarse la columna litológica es similar a las anteriores y se corresponden con una secuencia fluvial y una cubierta eólica (Fm. Laguna Oscura) del Cuaternario superior.

#### *Perfil de subsuelo 6 (Ps6)*

Este perfil se obtuvo de una perforación de producción situada en la localidad de Las Higueras, a una cota de 427,87m.s.n.m. y con coordenadas 33° 5'41,15" Sur y 64°17'24,09" Oeste. Los datos pertenecientes a la misma fueron recopilados de la Tesis Doctoral de Blarasin (2003).

El perfil (Figura III.11) comienza a los 47 m de profundidad, con 9 m de espesor de sábulos de coloración pardo rosada-grisácea, mal seleccionados y con clastos subangulosos de cuarzo, feldespato potásico y líticos. Le siguen arenas muy finas entre los 32 y 38 m de profundidad, que presentan zonas entoscadas, con coloración pardo rojiza clara al igual que las arenas suprayacentes.

Por encima de los 38 m se hacen presentes arenas muy finas y finas pardo rojizas claras, con escasos limos y clastos angulosos de cuarzo y feldespato potásico con agregados cementados con carbonatos en los primeros metros. Hacia el techo se observa un suelo arenoso y con materia orgánica. De este perfil puede interpretarse una coincidencia con lo que se describe para los perfiles anteriores, depósitos fluviales y eólicos del Cuaternario, con diferente grado de cementación. Se asume también en este caso que, por la ubicación de la perforación y la estratigrafía aflorante, los metros superiores se corresponden con el evento eólico de la Fm. Laguna Oscura.

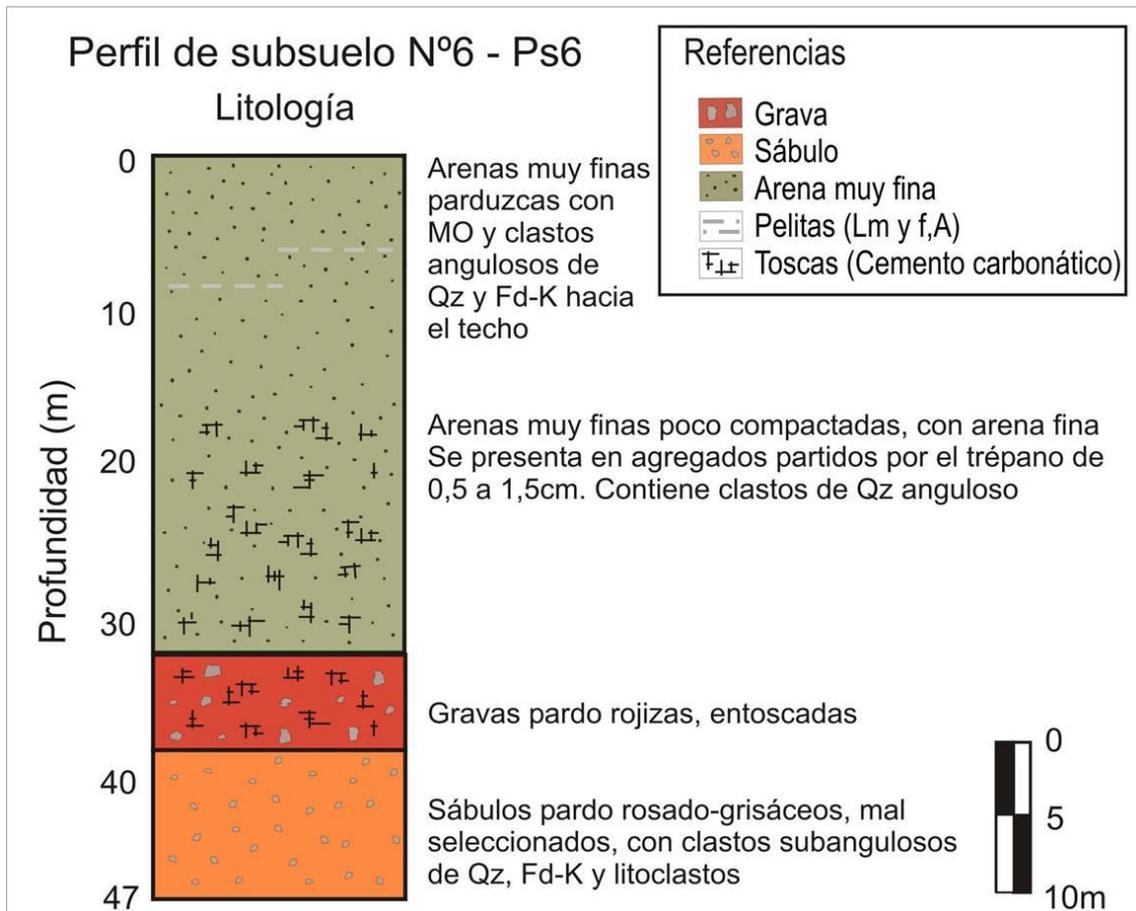


Figura III.11. Perfil de Subsuelo Ps6.

*Perfil de subsuelo 7 (Ps7)*

Este perfil fue tomado de la Tesis Doctoral de Blarasin (2003), provisto por el Ente Municipal de Obras Sanitarias de Río Cuarto (EMOS) y se sitúa al lado de la Clínica Philippe Pinel, sobre la Ruta Nacional N° 36, a los 33°5'43,43" de Latitud Sur y 64°19'15,89" de Longitud Oeste. Su cota corresponde a 441,2 m.s.n.m.

La base de este perfil (Figura III.12) está a los 20 m, y por debajo de esta profundidad se encuentra una serie de sedimentos entoscados de los cuales no se conoce el espesor. Entre los 12 y 20 m se observan gravas y rodados, y por encima hay granulometrías más finas (arenas medias y gravas) hasta los 3,5 m de profundidad. El perfil se corresponde con un ambiente casi netamente de origen fluvial, que puede vincularse con paleocauces recientes del río Cuarto, dada la profundidad somera de yacencia.

*Perfil de subsuelo 8 (Ps8)*

El *perfil de subsuelo 8* fue recopilado de la Tesis Doctoral de Blarasin (2003) (provisto por EMOS), está situado a los 33°5'33,84" Sur y 64°19'2,09" Oeste, de cota 437,6m.s.n.m.. Posee un espesor de 85 metros (Figura III.12), en el cual la única litología observada fueron las arenas muy finas de origen eólico. Las mismas son equivalentes a la Fm. Laguna Oscura depositada durante el Holoceno.

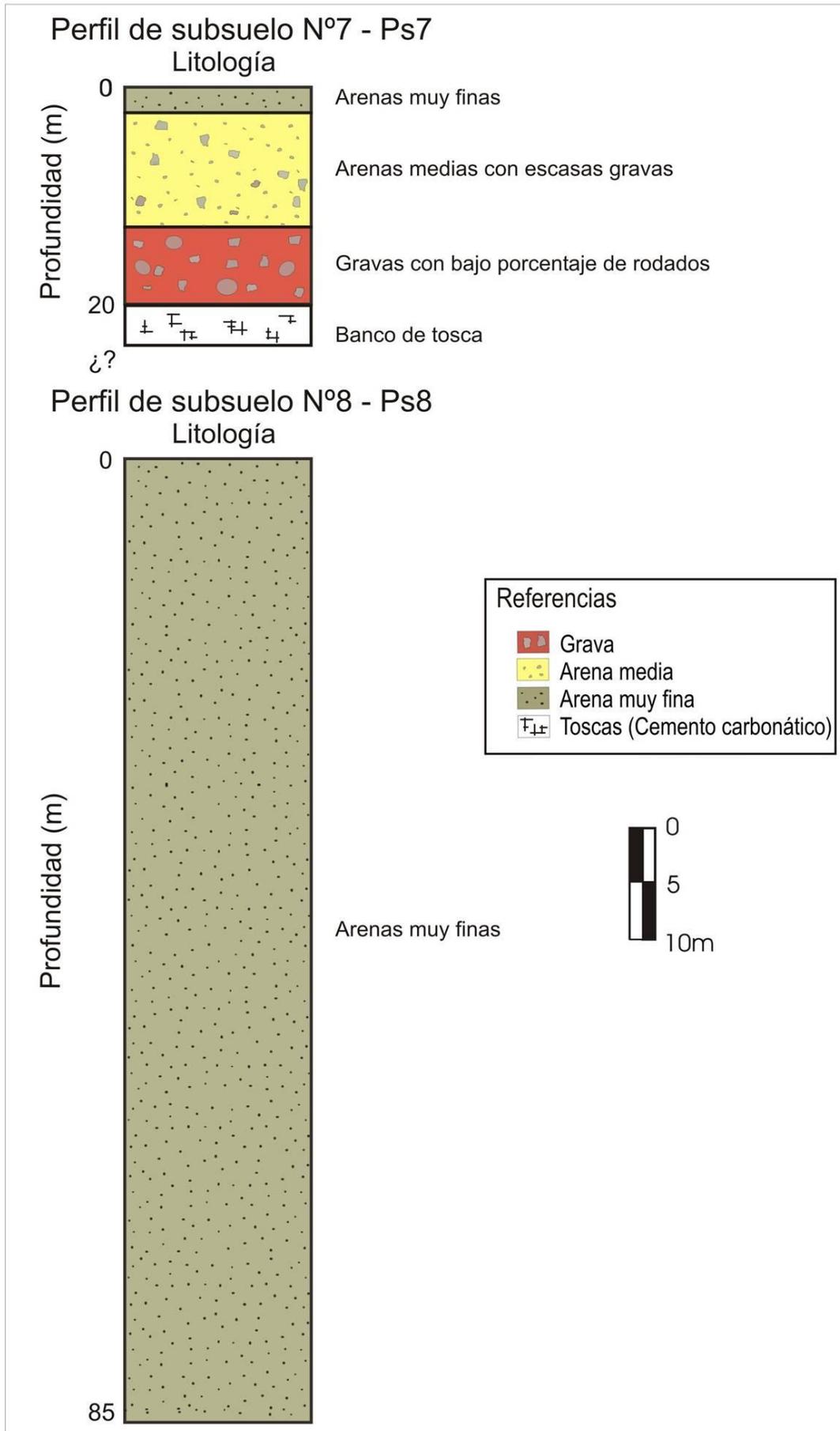


Figura III.12. Perfiles de subsuelo Ps7 y Ps8.

*Perfil de subsuelo 9 (Ps9)*

El perfil (Figura III.13) se obtuvo de una perforación para riego situada en el campo experimental de la UNRC, a los 33°6'22,57" Sur y 64°17'54,25" Oeste, con una cota de 430,73 m.s.n.m. Se recopiló la información de la Tesis Doctoral de Blarasin, 2003.

La perforación fue realizada por la empresa de perforación de Gentile (1996) y tiene 160 m de profundidad. Desde los 160 m hasta los 29 m de profundidad se observa una dominancia de arenas (con gravas dispersas), con la presencia de un nivel entoscado entre los 61 y 70 m. Desde los 20 m hasta superficie hay arenas muy finas con más materia orgánica hacia el techo del perfil. Los depósitos arenosos de casi todo el perfil tienen un claro origen fluvial mientras que los depósitos de arenas muy finas limosas encontrados en la parte superior son equivalentes a los sedimentos eólicos de la Fm. Laguna Oscura.

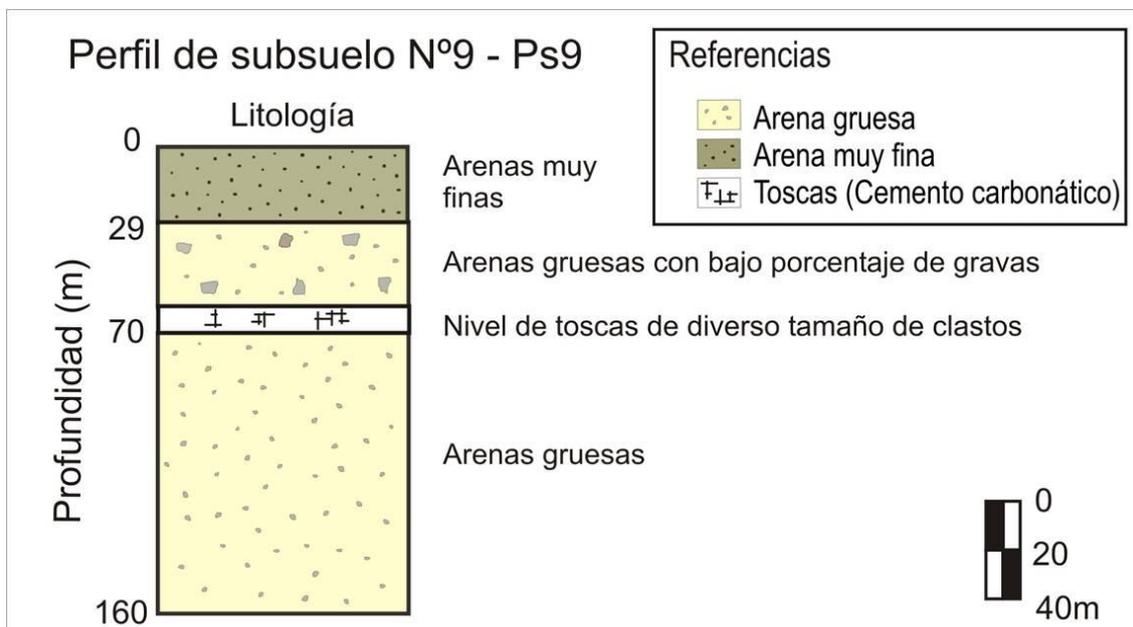


Figura III.13. Perfil de Subsuelo Ps9.

*Perfil de subsuelo 10 (Ps10)*

La perforación somera situada en las coordenadas de 33°6'10,97" de Latitud Sur y 64°19'19,57" de Longitud Oeste (esquina de las calles Cuba y Seguro) fue recopilada de la tesis Doctoral de Blarasin (2003) (provisto por EMOS) y llega sólo hasta los 6 m de profundidad debido a que se realizó para ubicar un "pozo negro". Su cota es de 437,25 m.s.n.m. La misma muestra (Figura III.14) la presencia de un nivel entoscado y por encima del mismo, arenas muy finas. Se asumen como de origen eólico, pertenecientes a la Fm. Laguna Oscura.

*Perfil de subsuelo 11 (Ps11)*

Al igual que la perforación 10 se realizó para situar un pozo negro, con coordenadas 33°6'4,37" Sur y 64°19'15,06" Oeste (esquina de las calles Chile y Bariloche) y a una cota de 438 m.s.n.m. Al igual que la anterior, se recopilaron los datos de la misma de la tesis Doctoral de Blarasin (2003) y también fue provista por EMOS.

Los 7 m de perforación (Figura III.14) muestran la presencia de arena muy fina y a veces entoscada, muy similar al *Perfil de Subsuelo 10*. De esta forma también se pueden relacionar estos sedimentos a los sedimentos Holocenos de la Fm. Laguna Oscura.

#### *Perfil de subsuelo 12 (Ps12)*

A los 33°7'11.09" Sur y 64°18'13.61" Oeste, se ubica la Perforación de Subsuelo 12, con cota de 418 m.s.n.m. La conducción técnica estuvo a cargo de M. Blarasin, quien proveyó la información. Es la perforación que alimenta la pileta de la Universidad Nacional de Río Cuarto, situada en la terraza actual y pocos metros al Norte del río Cuarto. La Figura III.14 muestra que desde la base de la perforación (29 m de profundidad) hasta los 6 m predominan las gravas y arenas gruesas con matriz limosa, entre los 6 y 3 m se observan conglomerados gruesos. Hacia arriba hay arenas finas con algo de materia orgánica hacia el techo.

Por la cercanía al curso actual del río Cuarto y las litologías que muestran los datos de la perforación, se puede inferir que todos estos sedimentos son modernos resultantes de la actividad holocena del río Cuarto depositados en episodios de muy alta energía.

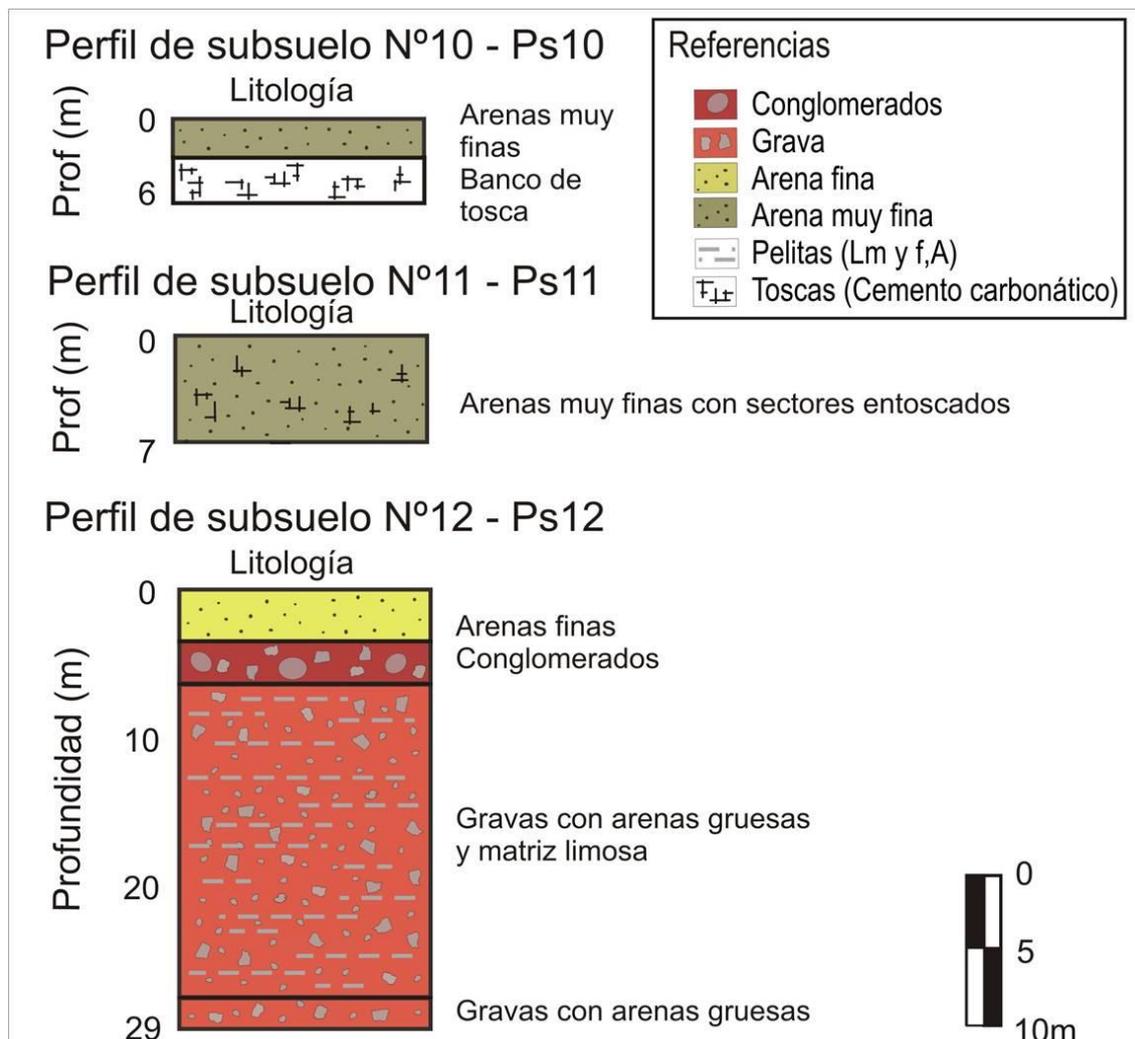


Figura III.14. Perfiles de subsuelo *Ps10*, *Ps11* y *Ps12*.

### Perfil de subsuelo 13 (Ps13)

La perforación 13 (Figura III.15) está situada entre el barrio Banda Norte y la localidad de Las Higueras, al 33°5,49' Sur y 64°18,28' Oeste y a una cota de 433,1 m.s.n.m. Su objetivo es de producción para un particular (Sr. Adelqui), y la información fue provista por gentileza del Licenciado Felizzia. La empresa de perforación encargada fue Carranza Perforaciones, bajo la conducción técnica de Jorge Carranza.

Desde la base del perfil a los 65 m hasta los 17 m se encuentran depósitos con granulometrías que van desde arenas medias y finas a gravas. Por encima se desarrolla un nivel entoscado de 0,5 m de espesor. Para la profundidad entre 16,5 y 11 m hay arenas y gravas. Estas últimas disminuyen en proporción hacia arriba. El resto del perfil, hasta la superficie, contiene arenas muy finas con niveles entoscados.

Las litologías presentes entre los 11 y 65 m corresponden a depósitos fluviales con variable energía. Hacia el techo del perfil se encuentran 11 m de arenas muy finas cuyo origen se

infiere eólico de edad Holocena, por lo tanto serían equivalentes a la Fm. Laguna Oscura.

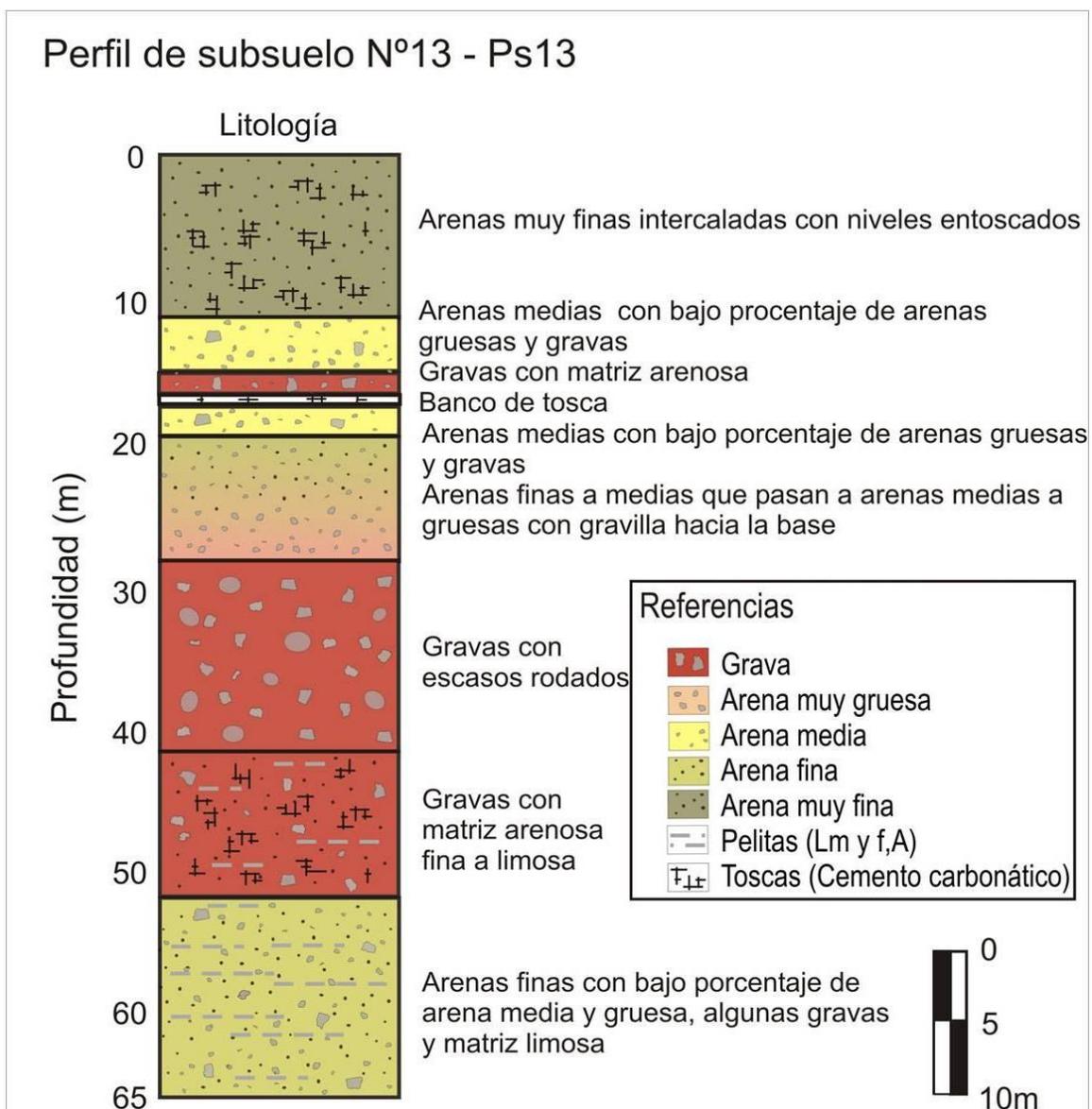


Figura III.15. Perfil de Subsuelo Ps13.

*Perfil de subsuelo 14 (Ps14)*

El barrio privado Los Tilos está abastecido por una perforación de producción situada a los 33°6'5,81" de Latitud Sur y 64°17'31,17" de Longitud Oeste, con una cota de 427,45 m.s.n.m. y posee 80 m de profundidad. Fue realizada por la empresa Carranza Perforaciones bajo la conducción técnica del Licenciado Juan Felizzia quien proveyó la información.

El perfil de dicha perforación (Figura III.16) comienza a los 80 m de profundidad con arenas muy finas hasta los 60 m. En este estrato se intercala una lente de arenas gruesas entre los 65 y 60 m. Desde los 40 hasta los 10 m se observan sedimentos fluviales de tipo gravas arenosas y posteriormente arenas desde esta profundidad hacia la superficie. El resto del perfil consta de arenas muy finas con niveles entoscados y sedimentos finos con materia orgánica en la parte superior.

Los sedimentos más finos se asumen como de origen eólico, los de la parte superior del perfil corresponderían a los materiales holocenos de la Fm. Laguna Oscura, lo que tienen un escaso desarrollo edáfico en la parte superior. En profundidad aparecen intercalaciones con depósitos que son de origen fluvial y otros de probable origen eólico, más viejos.

*Perfil de subsuelo 15 (Ps15)*

Se ubica frente al Campus de la UNRC, con coordenadas 33°6'23,8" Sur y 64°18'14" Oeste y a una cota de 430,5 m.s.n.m. Corresponde a una perforación de producción particular (Sr. Marengo), cuya información fue provista por el Licenciado Felizzia.

El perfil de subsuelo (Figura III.17) está compuesto por secuencia de sedimentos con arenas de variado tamaño y gravas, que van desde los 16 hasta los 12,5 m de profundidad. Los 12,5m del techo pertenecen a una secuencia de arenas muy finas, de color pardo claro, con intercalaciones de limos con concreciones carbonáticas (toscas) y hacia arriba mayor contenido de materia orgánica.

De esta forma, se observa que sobre los sedimentos arenosos que corresponden a un origen fluvial, se encuentra una cubierta arenosa muy fina que es típica de los sedimentos equivalentes a la Fm. Laguna Oscura.

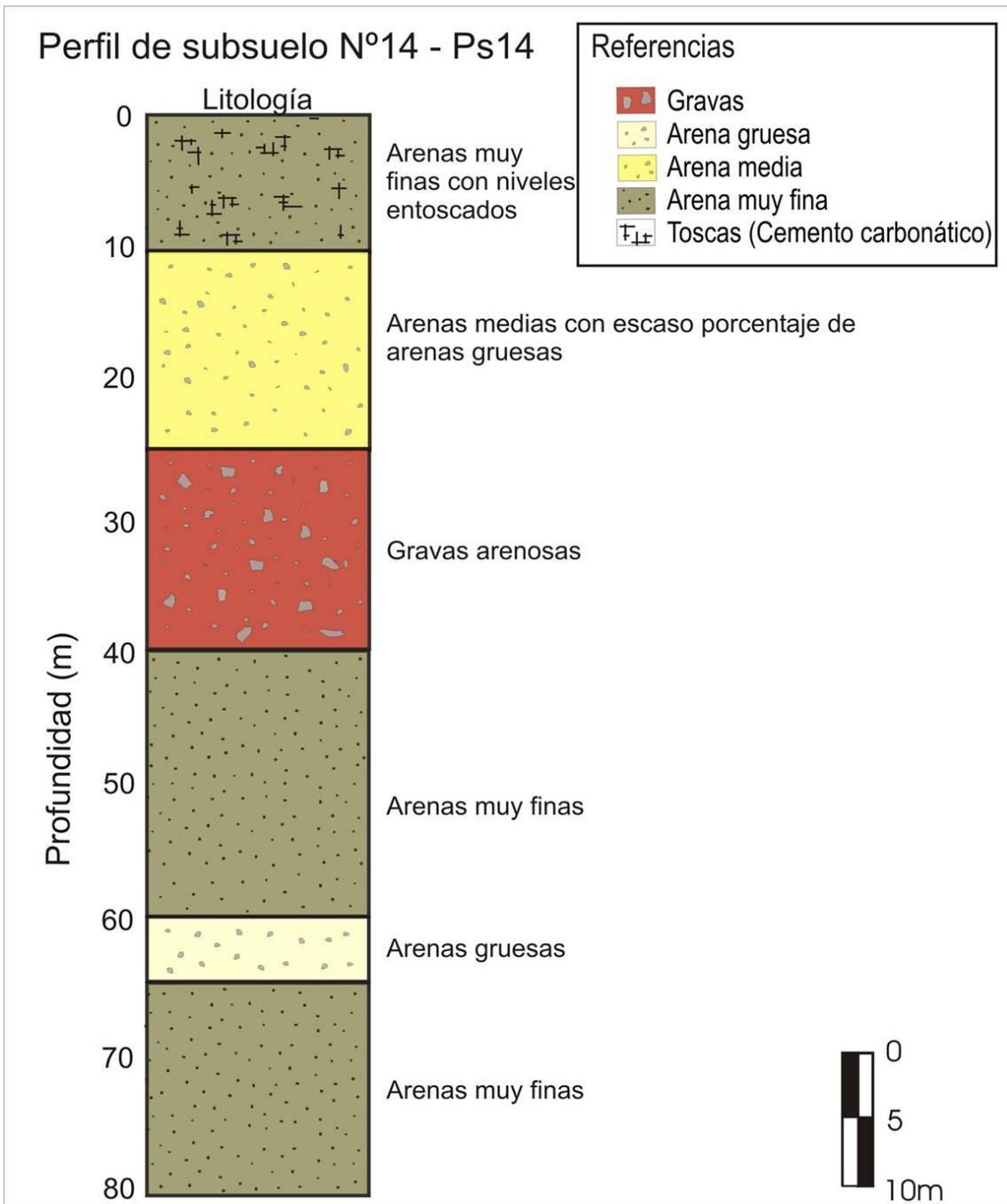


Figura III.16. Perfil de Subsuelo Ps14.

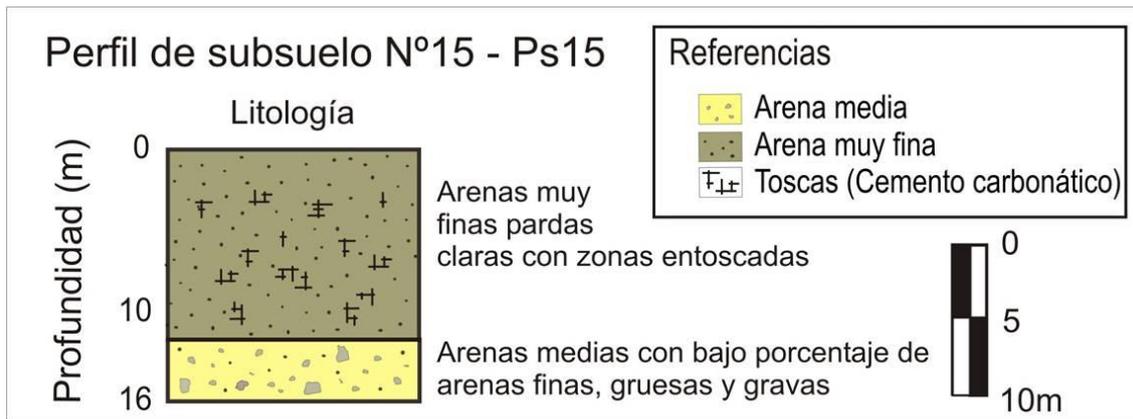


Figura III.17. Perfil de Subsuelo Ps15.

#### *Perfil de subsuelo 16 (Ps16)*

En el Barrio Universidad, a los 33°6'32,80" de Latitud Sur y 64°18'50" de Longitud Oeste y a una cota de 425 m.s.n.m., se encuentra una perforación de producción de 100 m de profundidad. La perforación fue realizada por la empresa Carranza Perforaciones bajo la conducción técnica del Licenciado Juan Felizzia, quien proveyó la información.

El perfil (Figura III.18) comienza a los 100 m de profundidad con 6 m de arcillas limosas. Entre los 94 y 28 m hay una intercalación de capas de arenas limosas y arenas medias o gruesas. Entre los 28 y 17 m sigue una secuencia de sedimentos fluviales, compuesta por una alternancia de arenas de variadas granulometrías y gravas. Por encima, desde los 17 m hasta la superficie se observa una secuencia de arenas muy finas con niveles entoscados intercalados, con aumento de la materia orgánica hacia el techo del estrato.

De forma similar a los *Perfiles de Subsuelo 13 y 14*, este perfil muestra una intercalación de sedimentos de origen eólico y fluvial cuya edad aumenta en profundidad, asumiéndose que aquellos de la parte superior del perfil son pertenecientes a la Fm. Laguna Oscura.

#### *Perfil de subsuelo 17 (Ps17)*

Dentro del campus de la UNRC, hacia la margen Norte del río Cuarto se ubica una perforación de producción con coordenadas son 33°06'58,9" Sur y 64°18'2,8" Oeste, situada a una cota de 420 m. La información fue recopilada de la tesis Doctoral de Blarasin, 2003.

La base del perfil (Figura III.19) está a 29 m de profundidad, está compuesto por arenas y gravas que llegan hasta los 3 m de profundidad. Sobre esto hay 1 m de arenas finas; y 2 m de arenas limosas hacia el techo, sobre los que se ha desarrollado el suelo actual.

Se asume, por su posición en el terreno y las características granulométricas que son todos sedimentos de origen fluvial de diferente energía, vinculados a la actividad holocena del río Cuarto.

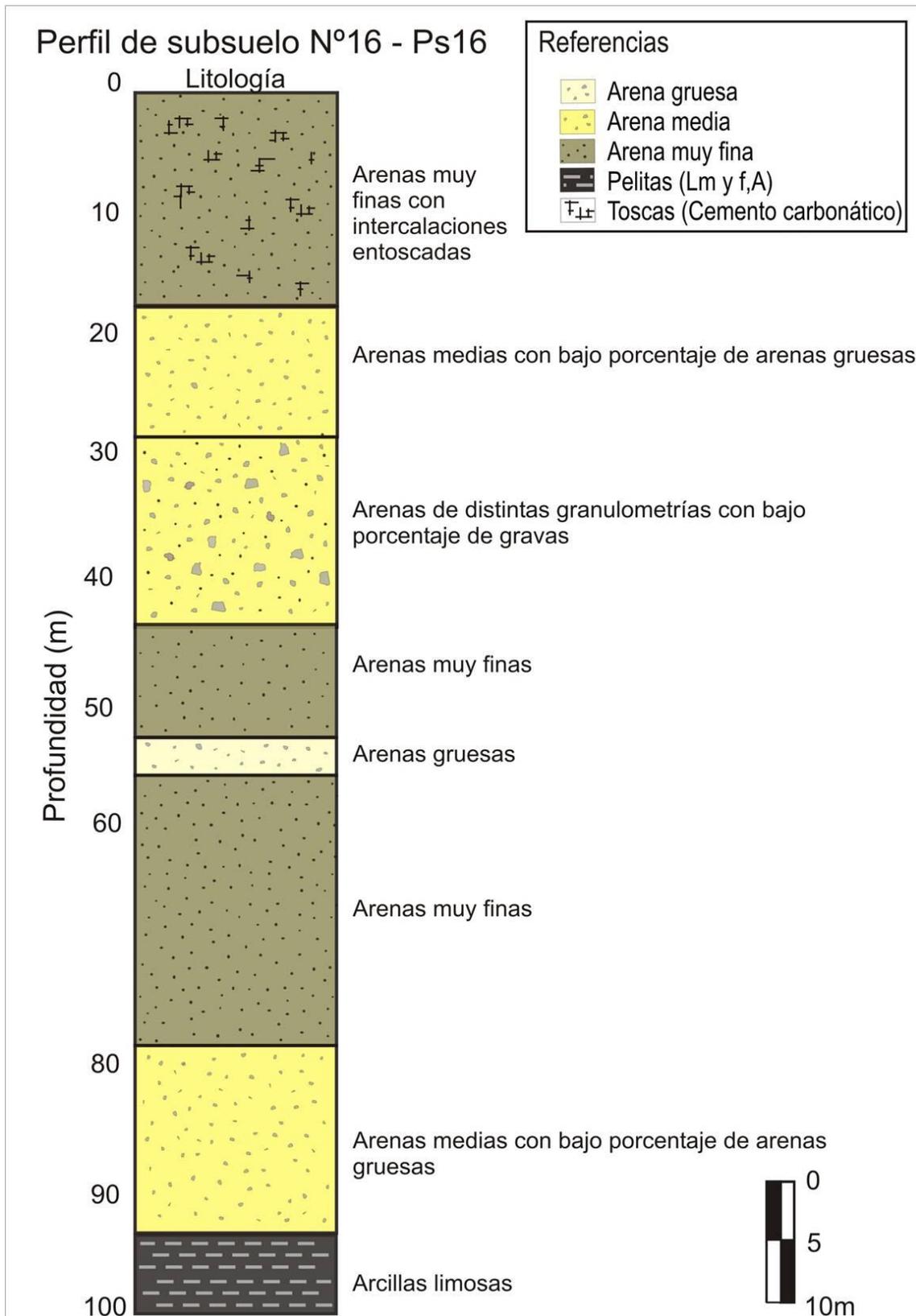


Figura III.18. Perfil de Subsuelo Ps16.

*Perfil de subsuelo 18 (Ps18)*

Se ubica a una Latitud de 33°5'52,26" Sur y Longitud de 64°17'57,92" Oeste, en una residencia particular de la localidad de Las Higueras (Sr. Sosa) (Figura III.19). Se encuentra a una cota de 431,5 m.s.n.m. La información de dicho perfil fue brindada por el Licenciado Juan Felizzia.

Desde la base del perfil (30 m) hasta los 22 m de profundidad se encontraron gravas de 2 a 8 mm de diámetro, y por encima hasta los 17 m arenas finas. La parte superior del perfil se compone de 17 m de arenas muy finas con mayor contenido de materia orgánica en la parte superior.

Los sedimentos gravosos son de origen fluvial mientras que la cubierta arenosa muy fina es típica de los sedimentos equivalentes a la Fm. Laguna Oscura.

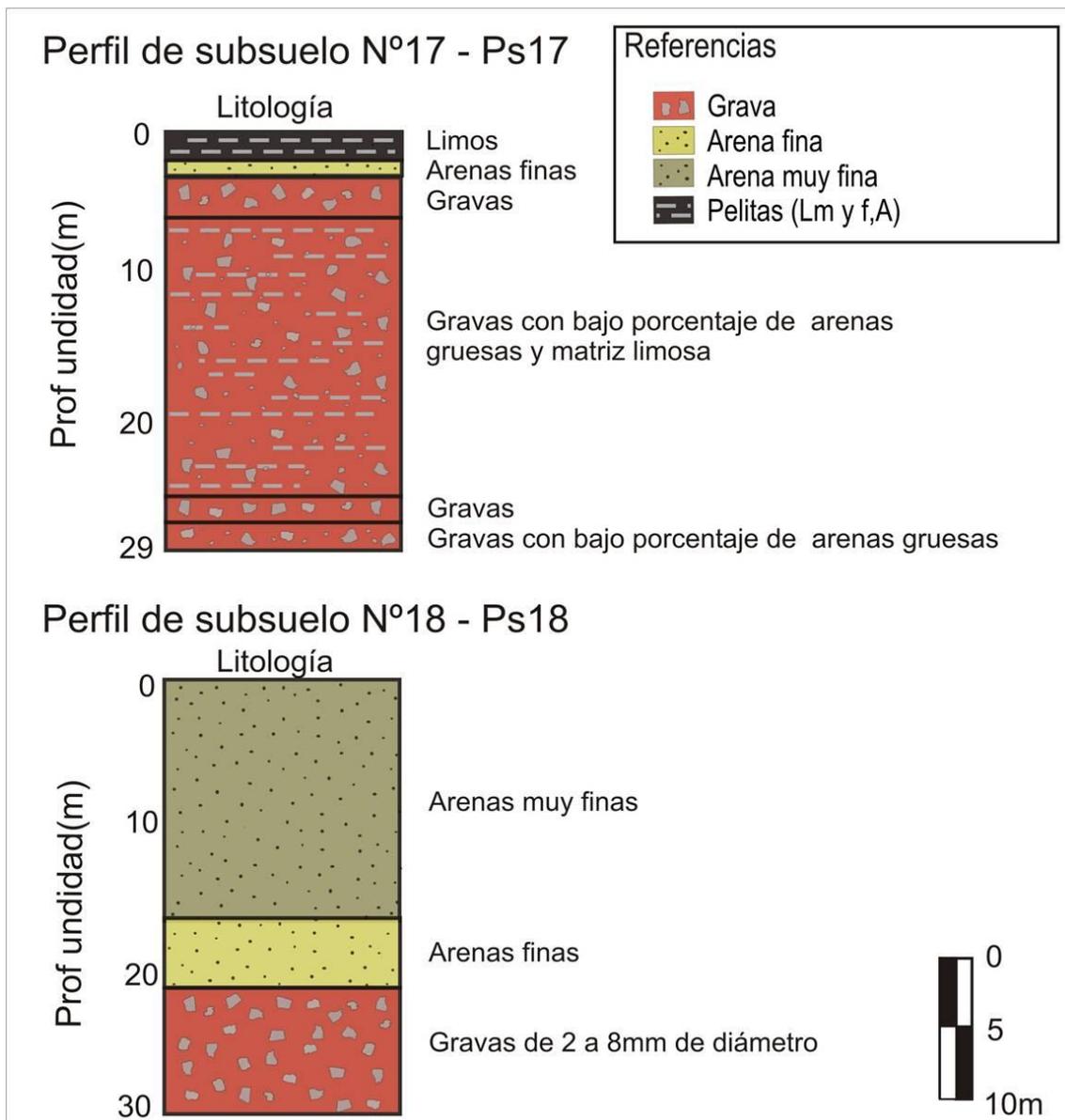


Figura III.19. Perfiles de subsuelo Ps17 y Ps18.

### III.1.3. Descripción e interpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales

Este método geofísico se utiliza para obtener datos geológicos del subsuelo de manera indirecta. El principio físico que lo rige se basa en el hecho de que los distintos materiales presentes en el subsuelo poseen distintos comportamientos ante el paso de una corriente eléctrica, según la resistividad ( $\rho$ ) que poseen. De esta manera una corriente eléctrica aplicada desde la superficie se transmitirá a distintas velocidades a través de las distintas capas que conforman el subsuelo, pudiéndose identificar los diferentes tipos de materiales atravesados y su profundidad, a partir de la comparación con sus resistividades típicas.

Para completar la información de subsuelo del área de estudio se recopilieron datos correspondientes a SEV realizados previamente en la zona (gentileza del Licenciado Felizzia).

#### Sondeo Eléctrico Vertical 1 (SEV1)

Se llevo a cabo sobre calle Reforma Universitaria, al Suroeste de la rotonda, con rumbo fue Noreste-Suroeste en la ubicación geográfica 33°6'21,8" Sur y 64°18,2'43,7" Oeste. Su cota es de 431,2 m.s.n.m.

La curva obtenida en el SEV (Figura III.20) presenta la existencia de 4 electrocapas: La primera de resistividad 26  $\Omega$ .m, pertenece a sedimentos finos, posiblemente limos y arenas finas secas con un espesor de 10,7 m. La segunda capa de 11,2 m de espesor, posee una resistividad de 15  $\Omega$ .m, representando arenas finas o limos saturados. Estas primeras capas se pueden relacionar a los sedimentos eólicos de la Fm. Laguna Oscura. La tercera capa presenta 29,7 m de espesor y posee una resistividad de 70,4  $\Omega$ .m, indicando la presencia de sedimentos gruesos (posiblemente arenas).

Por debajo de la anterior (a los 51,6 m) baja notablemente la resistividad indicando sedimentos muy finos, posiblemente limos y/o limos arcillosos.

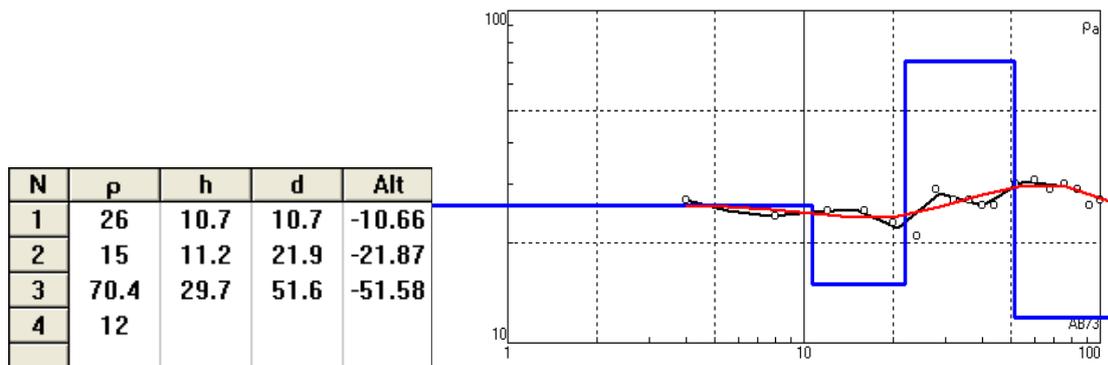


Figura III.20. Resultados del SEV1. Realizado por: Lic. Juan Felizzia

#### Sondeo Eléctrico Vertical 2 (SEV2)

Se realizó en la calle Reforma Universitaria, al Suroeste del Sondeo Eléctrico Vertical 1 con rumbo Noreste-Suroeste y en la ubicación 33°6'26,9" Sur y 64°18'49,2" Oeste, teniendo cota 431,6 m.s.n.m.

La curva del SEV manifiesta la presencia de 4 electrocapas (Figura III.21). La primera de resistividad 27,9  $\Omega$ .m, pertenece a sedimentos finos, posiblemente limos y arenas finas secas con un espesor de 8,32 m (esta profundidad sería la del nivel freático). La

segunda capa de 6,7 m de espesor posee una resistividad de 18,8  $\Omega$ .m, representando arenas finas o limos saturados.

La tercera presenta 38,8 m de espesor y posee una resistividad de 61,5  $\Omega$ .m, indicando la presencia de sedimentos gruesos (posiblemente arenas). Por debajo de la anterior (a los 53,9 m) baja notablemente la resistividad (2,35  $\Omega$ .m) lo que indica sedimentos muy finos, posiblemente limos y/o limos arcillosos.

En general se puede interpretar como un típico perfil en el que se intercala la presencia de sedimentos eólicos y fluviales.

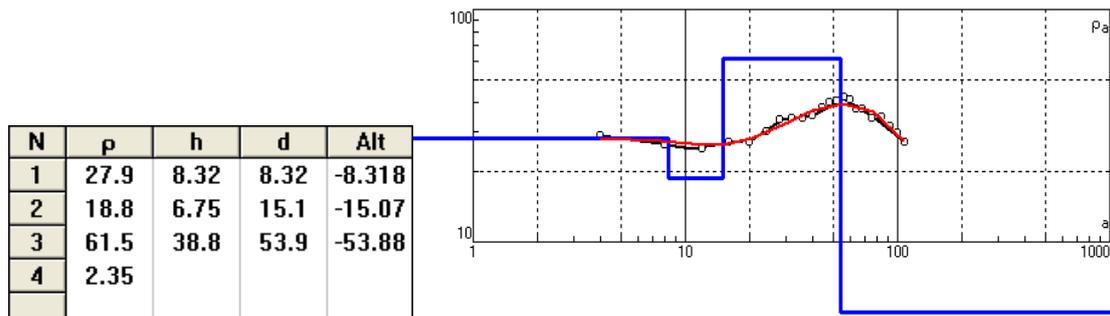


Figura III.21. Resultados del SEV2. Realizado por: Lic. Juan Felizzia

#### III.1. 4. Secciones geológicas transversales

Se han realizado 2 secciones geológicas transversales a partir de la recopilación de datos sedimentarios de subsuelo y de la información topográfica y geofísica preexistente. En ambas se hizo énfasis en atravesar el campus Universitario.

##### *Transecta A-A'*

La transecta (Figura III.22) atraviesa los Perfiles de Subsuelo *Ps2*, *Ps3*, *Ps4*, *Ps5* y *Ps1* de Este a Oeste. Su rumbo es 116°N y recorre 1,66 km de largo. A pesar de estar sobre la misma línea de rumbo de la transecta, no se han incluido los datos del Perfil de Subsuelo *Ps10* debido a que está alejado del campus universitario y su poca profundidad no aporta datos de subsuelo significativos para este estudio.

Sólo hay un dato de la profundidad del basamento cristalino, por lo tanto se ha inferido que la profundidad de 292, 5 m (132 m.s.n.m.) para el basamento es la misma en las inmediaciones, ya que se trata de una zona muy pequeña donde no se esperan cambios bruscos en la profundidad del mismo.

Hacia el Este de la transecta se observa que los sedimentos más profundos son de origen fluvial, habiendo sido depositados por cursos de baja a mediana energía en las mayores profundidades, y se han cementado con carbonato de calcio.

A menores profundidades la energía del curso que depositó los sedimentos fue media a alta, depositando fundamentalmente gravas, arenas muy gruesas y sábulos. De esta forma las granulometrías más gruesas se sitúan entre los 20 y 70 m aproximadamente (420 a 360 m.s.n.m.), siendo depósitos de origen principalmente fluvial, que presentan algunos niveles de toscas e intercalaciones menores con niveles de mayor porcentaje de matriz fina.

Hacia el techo del perfil se observa un manto de arenas muy finas de probable origen eólico continuo en toda el área que sería equivalente a la Fm. Laguna Oscura y cuyo

espesor disminuye hasta desaparecer hacia las cercanías del curso actual del río Cuarto donde en la actualidad domina el ambiente de sedimentación fluvial.

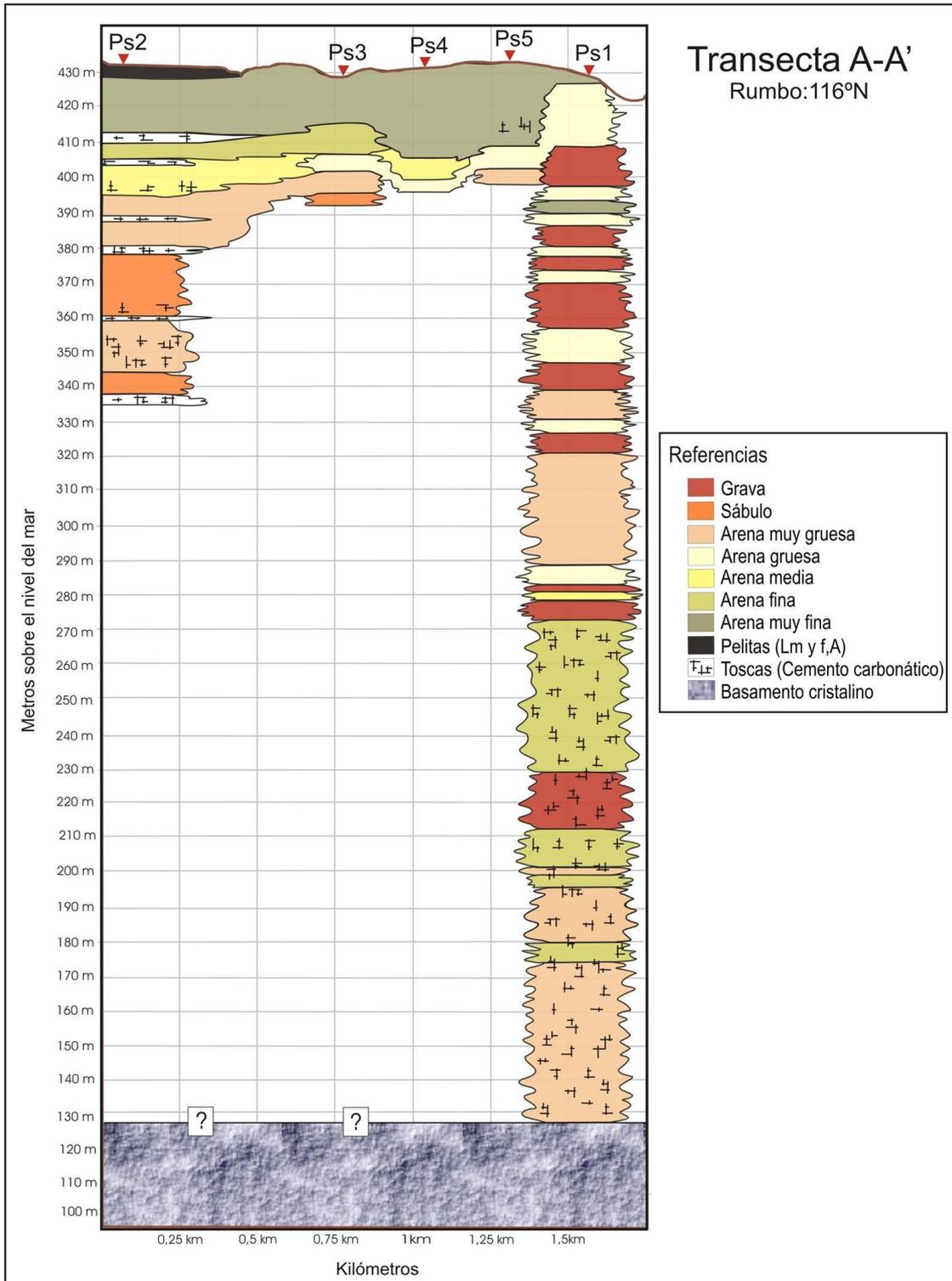


Figura III.22. Transecta A-A'.

*Transecta B-C-D*

Esta transecta (Figura III.23) se construyó en dos tramos, el primero B-C con rumbo 168°N y el segundo C-D de rumbo 221°N, de forma que atraviesa los *Perfiles de Subsuelo Ps9, Ps1, Ps12 y Ps17*.

Como se observa, los sedimentos fluviales están presentes en zonas del subsuelo fuera de la faja fluvial actual por la acción de paleocanales del río Cuarto. A mayor cercanía del curso actual estos sedimentos presentan granulometrías muy gruesas denotando la alta energía del curso fluvial.

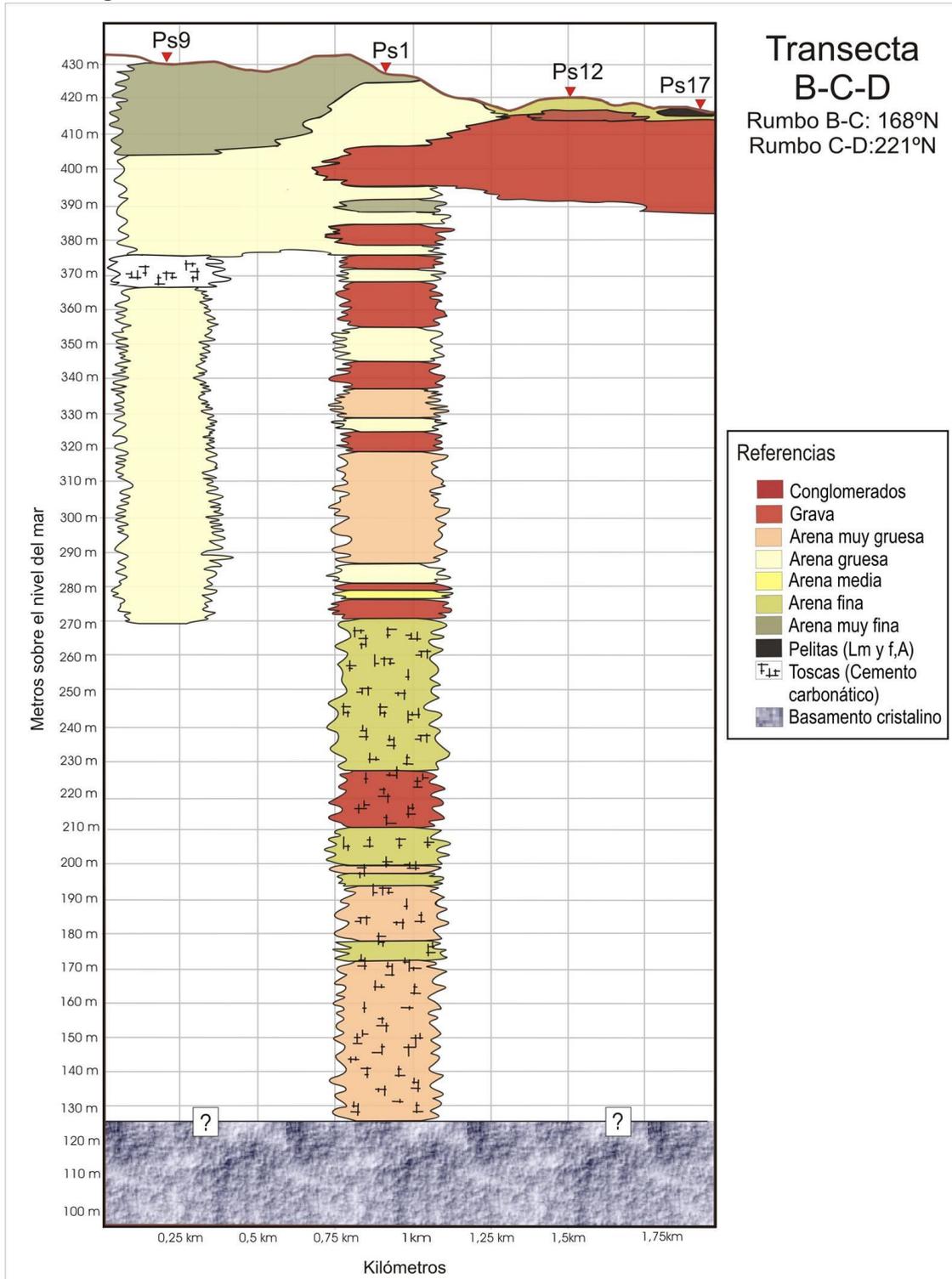


Figura III.23. Transecta B-C-D.

Por otro lado, se observa que el espesor de la cubierta eólica de la Fm. Laguna Oscura es muy pequeña a nula en las cercanías de la faja fluvial actual del río Cuarto.

### III.2. Evolución geológica del área de estudio

La síntesis de la historia geológica que se presenta en este trabajo tiene como base la descripción realizada para la Hoja Geológica Río Cuarto (Degiovanni et al. 2001) y el trabajo de Blarasin (2003); para elaborar una secuencia evolutiva que explique las litologías presentes en las descripciones realizadas en este capítulo.

El basamento del área estudiada, observado en la *Ps1*, está constituido de rocas ígneas y metamórficas del Precámbrico Superior-Paleozoico Inferior, que sufrieron un pico de metamorfismo regional de grado medio a alto en el Cámbrico Inferior debido a la Orogenia Pampeana (Rapela et al., 1998; Sims et al., 1998). A estos eventos de deformación y metamorfismo le sucedió el emplazamiento de extensos granitoides, cuyas edades van desde el Precámbrico Superior al Silúrico (Bonorino, 1950; Gordillo y Lencinas, 1979; Rapela et al. 1998). Otros autores como Ramos (1988) y Rapela y Pankhurst (1996) proponen que las Sierras Pampeanas Orientales corresponden a un orógeno cuya edad se sitúa entre el límite Precámbrico-Cámbrico.

A partir del Paleozoico Inferior, diversos autores sugieren la presencia de un régimen distensivo, para pasar a un régimen tectónico compresivo durante el Ciclo Gondwánico (Carbonífero-Pérmico) con subducción buzando hacia el Este.

En el Pérmico Tardío-Triásico, a fines del Ciclo Gondwánico el régimen se modifica a extensional; que se continúa en el Ciclo Patagonídico (Ramos, 1999) hasta el Cretácico Temprano, durante el que se fractura el zócalo cristalino y se genera un estilo estructural de bloques con orientación submeridional.

Durante el Ciclo Ándico (Ramos, 1999) se dan cambios en la velocidad de convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana y comienza un régimen compresivo, y durante el Mioceno a Plioceno, segmentan los Andes y se generan suturas eopaleozoicas y las fallas normales Paleozoicas-Mesozoicas afectadas por la inversión tectónica se transforman, en su mayoría, en fallas inversas de alto ángulo con plano buzante al Este.

La sedimentación en el área de estudio, directamente ubicada sobre el basamento cristalino, como muestra *Ps1* se correspondería con los materiales sedimentarios de origen continental, de edad Neógena, descritos como Fm. Tigre Muerto (Blarasin et al., 2000) aunque en la base podrían ser más viejos, aspecto a corroborar con estudios específicos. En la base aparecen estratos que indican pulsos de gran energía correlacionables con los pulsos del levantamiento de los cordones montañosos en esa época, intercalados con paquetes de sedimentos más finos.

Por encima, desde aproximadamente los 150 m, los sedimentos, que en general están más sueltos, serían desde Pleistocenos a Holocenos. Dada la dificultad de establecer formaciones y edades en las perforaciones, que por otro lado no era el objetivo de este trabajo, es difícil establecer la evolución geológica. Sin embargo se observa claramente que continúan los materiales sedimentarios de origen continental, aunque las granulometrías denotan una gran energía. Dada la posición de las perforaciones estas granulometrías están muy vinculadas a antiguos paleocauces del río Cuarto, el que desarrolló diferentes sistemas de abanico pleistocenos y holocenos.

Los 20 a 30 m superiores de la columna descrita en la transecta, permiten observar que aparecen, con variable espesor, los materiales que han sido descritos en los perfiles aflorantes en el área o en otros sectores de la región (Blarasin, 2003). Así, se destaca la Fm. Pampiano (Cantú, 1992) de edad pleistocena media a superior. Estos niveles “entoscados”, que incluyen tanto a sedimentos eólicos como fluviales, constituyen la base de distintos tramos del lecho del río Cuarto. El techo de la Formación Pampiano es una superficie de erosión de extensión regional, que puede también observarse en distintos puntos en la zona de estudio (Blarasin, 2003), aunque en los perfiles aflorantes descritos no fue detectada, pero en algunos tramos afloraba en el lecho. En las perforaciones algunos niveles de tosca pueden asumirse como la presencia de esta formación (Por ejemplo *Ps6*).

Por encima se disponen sedimentos pertenecientes al período húmedo del Pleistoceno Superior, representados por secuencias fluviales de distinta energía, particularmente gruesas cuando se asocian al río Cuarto, pertenecientes a la Formación Chocancharava (Cantú, 1992). En los interfluvios este ciclo húmedo queda manifiesto por paleosuelos (Suelo Ea. El Cerrito, Cantú, 1992) desarrollados sobre la Formación Pampiano.

En el Pleistoceno superior-Holoceno se produce la aridización del clima, que culmina con la depositación en forma discordante sobre la formación anterior, de sedimentos loésicos, masivos limo arenosos muy finos de la Formación La Invernada (Cantú, 1992), cuyo espesor es variable desde centímetros hasta varios metros. Asociados al río Cuarto, que no se desactivó completamente en esa época árida, aparecen sedimentos fluviales pertenecientes a la Formación Río Cuarto (Blarasin et al., 2000). En el arroyo Santa Catalina la Formación La Invernada puede presentarse interestratificada hacia el techo con depósitos limosos y limo-arcillosos correspondientes a canales efímeros.

En el Holoceno medio sobreviene un período húmedo (Hypsitermal) representado en algunos perfiles por un importante nivel de paleosuelos desarrollados a partir de sedimentos del ciclo anterior (Suelos Las Tapias, Cantú, 1992), a la par que en los valles se depositaban sedimentos fluviales de moderada energía de la Formación Las Lajas (Cantú, 1992).

La secuencia culmina con una importante acumulación de sedimentos loésicos arenosos muy finos de edad holocena superior (Fm. Laguna Oscura, Cantú, 1992), en un período muy seco. Como se observa en numeroso perfiles descrito para la planicie fluvioeólica esta formación es la que cubre el área. Para ese periodo el río siguió depositando materiales muy finos correspondientes a una etapa de muy baja energía (Formación Reducción, Blarasin et al. 2000a).

En las perforaciones ubicadas en plena faja fluvial (*Ps12* y *Ps17*) puede observarse que se suceden depósitos que se corresponderían con equivalentes a la Fm. Chocancharava, Río Cuarto, Las Lajas y Reducción, es decir depósitos fluviales de variable energía. En la base de las perforaciones de riego del campus, también por debajo de la cubierta eólica de 10 a 20 m aparecen este tipo de formaciones.

Finalmente, y en correspondencia con la instauración del clima húmedo reinante (1100 A.P.) se produce la edafización de los depósitos anteriores, generando el suelo actual. Coetáneamente se desarrolla la actual faja fluvial del río Cuarto.

# Capítulo IV

## GEOMORFOLOGÍA

### IV.1. Marco Geomorfológico Regional

La Llanura Chacopampeana se trata de una extensa unidad geomorfológica cuyas formas de relieve están vinculadas principalmente a sedimentación Cenozoica de sistemas fluviales y aluviales efímeros y depósitos eólicos y subordinadamente lacustres y/o palustres.

A esta unidad se la divide en tres grandes regiones naturales a partir de sus características morfosedimentarias: Chaco, Pampa Norte y Pampa Sur (Iriondo, 2010).

Los depósitos eólicos Pleistocenos y Holocenos dominan la Llanura Chacopampeana, conformando un potente manto que cubre casi toda su superficie, y que fueron agrupados por Iriondo (1990a, b y c, 1997) en la unidad Sistema Eólico Pampeano.

A fines del Pleistoceno una secuencia de episodios áridos y húmedos (Cantú y Degiovanni 1984, Carignano 1996, 1997a y b, 1999, Iriondo 1981, Iriondo y Kröhling, 2007, en Carignano et al., 2014) condicionó la dinámica geomorfológica, y los rasgos morfológicos que se reconocen en esta llanura. El paisaje actual es resultado fundamentalmente del período húmedo correspondiente al Estadio Isotópico de Oxígeno 3 (64 a 36 ka), durante el cual se labró la red fluvial actual (Iriondo y Kröhling, 2007) y de la actividad eólica de los episodios secos del Pleistoceno Tardío (ca. 30 a 1 ka) y Holoceno Tardío (3,5 a 1,4 ka), con la depositación de un manto de loess durante el Último Máximo Glacial (24 a 18 ka) que suavizó las formas del paisaje: elementos estructurales, fluviales y eólicos y además generó campos de dunas y numerosas cubetas de deflación (de las cuales muchas están actualmente ocupadas por lagunas). Las deformaciones neotectónicas, que dominaron durante el Plioceno, y se extienden hasta la actualidad, se originaron por esfuerzos compresivos (Brunetto e Iriondo, 2007, en Carignano et al. 2014) e influyen significativamente en la configuración del relieve. Así, el fallamiento y la reactivación de importantes estructuras, ha contribuido a la conformación actual de bloques altos y depresiones tectónicas, descendentes en general hacia el Este, que si bien no son tan notorios como en el sistema serrano, existen en la llanura y tienen influencia en la dinámica hidrológica regional (Blarasin y Cabrera, 2015).

En la provincia de Córdoba la Llanura chacopampeana se caracteriza por la presencia de 3 ambientes: al Norte y Noreste la Depresión de Mar Chiquita, hacia el centro la Planicie Fluvio eólica Central (Carignano et al., 2014) la cual está conformada por grandes abanicos aluviales (Suquía, Xanaes, Ctalamochita, Chocancharava y Popopis) generados por los ríos mayores que drenan desde las Sierras Pampeanas Orientales hacia la Llanura, al igual que abanicos más pequeños asociados a cursos de jerarquía menor. Hacia el Sur y Sureste de la provincia se encuentra la Planicie Eólica Arenosa del Sur (Carignano et al. 2014).

La zona en estudio se sitúa en el Sur de la Planicie Fluvio eólica Central. Los mega-abanicos que la componen se han construido por yuxtaposición, incisión y progradación de sucesivos abanicos aluviales generados por un mismo río en diferentes estadios, al variar de posición por los cambios climáticos y por la actividad neotectónica (Degiovanni et al., 2005). Estos abanicos acumularon sedimentos fluviales y removilizaron el loess depositado durante el Cuaternario Superior generando ambientes complejos (Carignano et al., 2014).

En la Figura IV.1 se observan los rasgos geomorfológicos más relevantes de la provincia de Córdoba mediante un modelo digital del terreno.

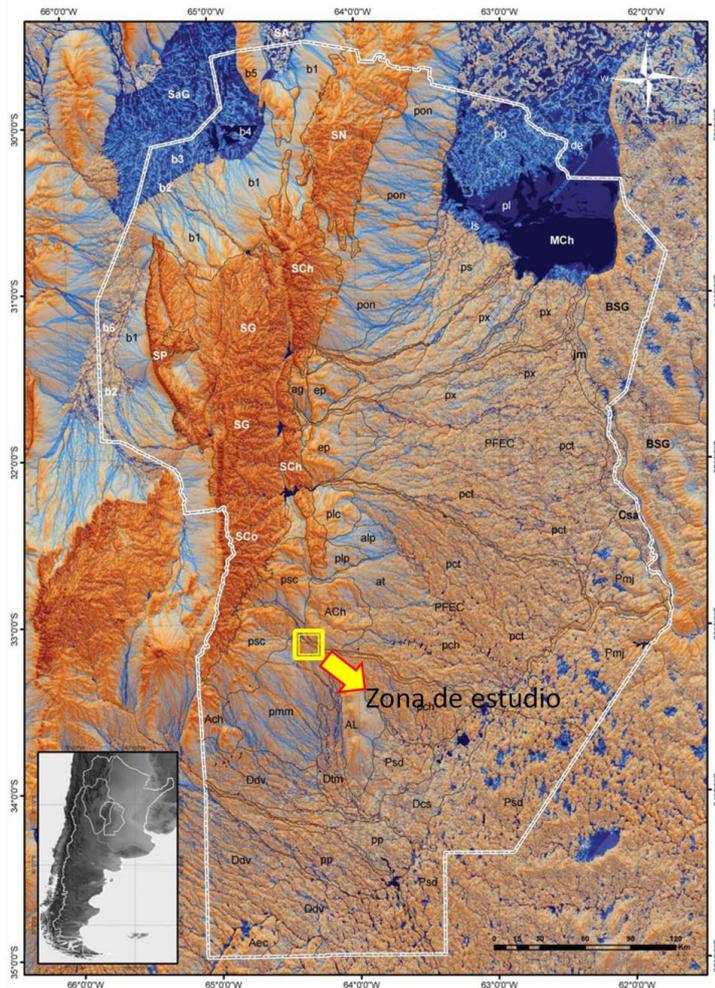


Figura IV.1. Modelo digital del terreno de la Provincia de Córdoba realizado mediante combinación de índice de humedad, factor longitud de pendientes y sombreado analítico de tendencia de pendientes, para resaltar zonas deprimidas y concentración de drenajes (tonos de azul y celeste) y el gradiente de la pendiente en sectores elevados (tonos de marrón y naranja). Límites entre unidades líneas grises. SN= Sierra Norte-Ambargasta. SG= Sierras Grandes. SCo= Comechingones. Sch= Sierras Chicas. SP= Sierras de Pocho-Guasapampa. SaG= Salinas Grandes. Sa= Ambargasta. b1= Abanicos aluviales del piedemonte. b2= Campos de dunas y zonas con mantos de arenas o médanos aislados. b3= Barreales y playas salinas. b4= Lagunas salinas. b5= Elevaciones estructurales. b6= Depresión estructural con drenaje deficiente. MCh= laguna Mar Chiquita. pl= Planicie lacustre. Is= Campos de dunas Las Saladas-Campo Mare. de= Planicie aluvial distal y delta del río Dulce. pd= Paleodelta del río Dulce. jm= Depresión de Jeanmaire. PFEC= Planicie fluvioeólica central. ps= Paleobanico aluvial del río Suquia. px= Paleobanico aluvial del río Xanaes. pct= Paleobanico aluvial del río Ctalamochita. pch= Paleobanico aluvial del río Chocanchavara. pp= Paleobanico aluvial del río Popopis. BSG= Bloque elevado de San Guillermo. pon= Piedemonte oriental norte. ep= Elevación Pampeana. ag= Valle Estructural Alta Gracia-San Agustín. plc Bajada Los Cóndores. plp= Bajada Las Peñas. alp= Abanico aluvial del arroyo Las Peñas. at= Abanico aluvial del Arroyo Tegua. Ach= Alto estructural de Chaján. psc= Piedemonte oriental de la Sierra de Comechingones. AL= Alto estructural de Levalle. pmj= Planicie loésica de Marcos Juárez-Corral de Bustos. Csa= Depresión tectónica de la Cañada San Antonio. Dcs= Depresión Curapaligue-Saladillo. Psd= Planicie sudoriental con campos de dunas. ppm= Planicie arenosa de Moldes y Malena. Dtm= Depresión del Tigre Muerto. Ddv=Campo de dunas de Villa Valeria-Laguna Oscura. Aec= Alto El Cuero. Tomado de Carignano et al., 2014.

## IV.2. Marco Geomorfológico Local

Estructuralmente, la zona en estudio se caracteriza por un conjunto de bloques definidos por las estructuras regionales (meridianas a submeridianas y otras de rumbo Este-Oeste) siendo las más destacadas: a) El lineamiento Oeste-Este al que se ajusta el curso del río Cuarto al Sur de la Ciudad de Río Cuarto, y b) Los fallamientos de rumbo Noroeste-Sureste y Noreste-Suroeste que ejercen un control de la traza del río Cuarto en las cercanías de la Ciudad.

La red de drenaje se elaboró en base a la Carta Topográfica Río Cuarto teniendo en cuenta los bajos y lomas topográficas identificables en la escala de detalle de este estudio. La red se demarcó identificando todos los bajos topográficos que pueden conducir agua en las tormentas en forma efímera y además aquellos cursos permanentes. El único de este tipo en el área es el curso del río Cuarto. El escurrimiento superficial de tipo efímero es subparalelo en el centro-Norte del área en estudio con dirección NorNoroeste-Sureste, mientras que en las zonas más próximas al río el drenaje se dirige hacia el curso de agua desde las dos márgenes, como se observa en la Figura IV.2.

Las unidades geomorfológicas reconocidas en este trabajo tienen como antecedente los trabajos de Degiovanni y Doffo (1993), la Hoja Geológica Río Cuarto de Degiovanni et al. (2005), y otros trabajos con mayor grado de detalle (Ludueña, 2001) y Blarasin (2003). Para la definición de las Unidades y Subunidades Geomorfológicas también se revisaron la hoja topográfica Río Cuarto, imágenes satelitales del software Google Earth, y posteriormente se corroboraron en el campo, utilizando criterios morfoestructurales, morfogenéticos y morfodinámicos como se observan en la Figura IV.3.

*1. Unidad Planicie Eólica con Paleorasgos Fluviales:* Planicie suave a moderadamente ondulada con pendiente hacia el Sureste de 0,6 a 1% pero localmente llega a valores máximos de 4% (Figuras IV.4. a y b). El relieve está caracterizado por la existencia de dunas longitudinales (arenas muy finas-limos) de orientación Noroeste-Sureste, muy disipadas correspondientes a la ya descrita Fm. Laguna Oscura (Cantú, 1992) que aflora en toda la unidad. En el sector correspondiente a la localidad de Las Higueras se observa un relieve más plano que en el resto de la unidad.

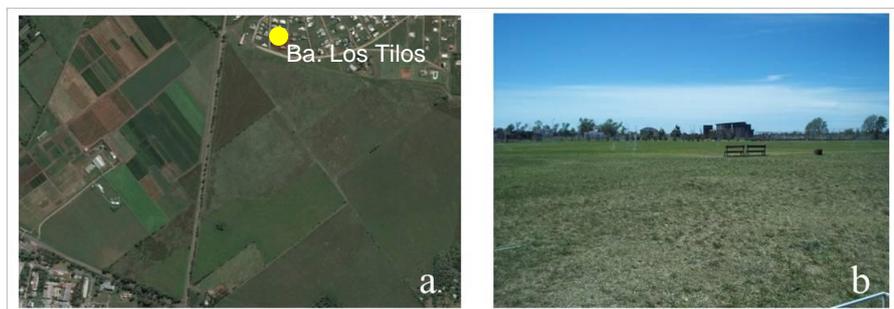


Figura IV.4. Imágenes de detalle de la planicie eólica a. Tomada de Google Earth, sector al Sur de la localidad de Las Higueras. b. Sector del Barrio Los Tilos.

Se observan paleorasgos fluviales discontinuos y poco manifiestos en superficie, pero bien reconocidos en perforaciones. En la Figura IV.5 se observa un perfil Noroeste-Sureste correspondiente a esta unidad realizado con Google Earth, donde se observan muy disipados, algunos paleocanales.

En las zonas más bajas se hallan los suelos más desarrollados: hapludoles y argiudoles típicos.

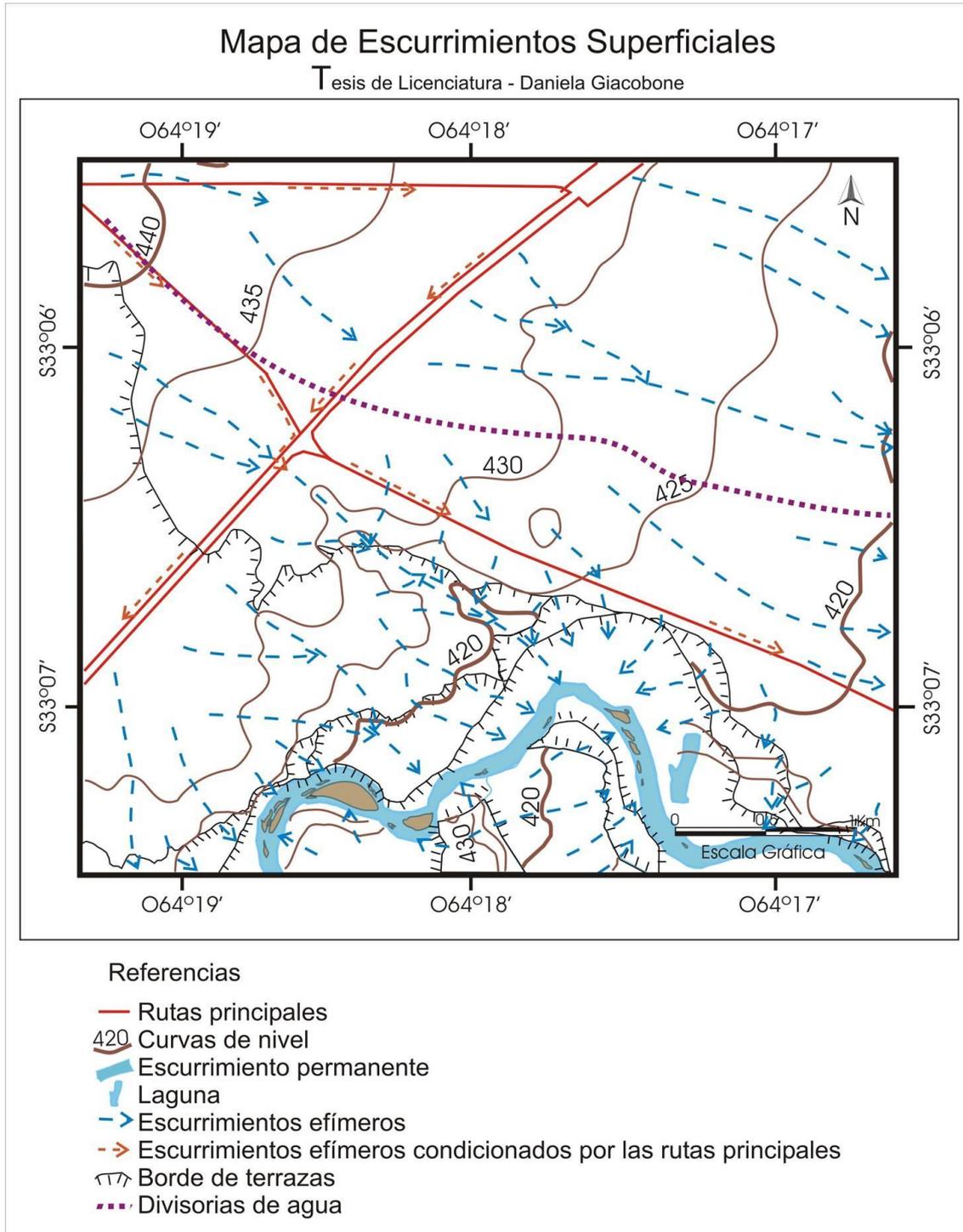


Figura IV.2. Mapa de Escurrimientos Superficiales

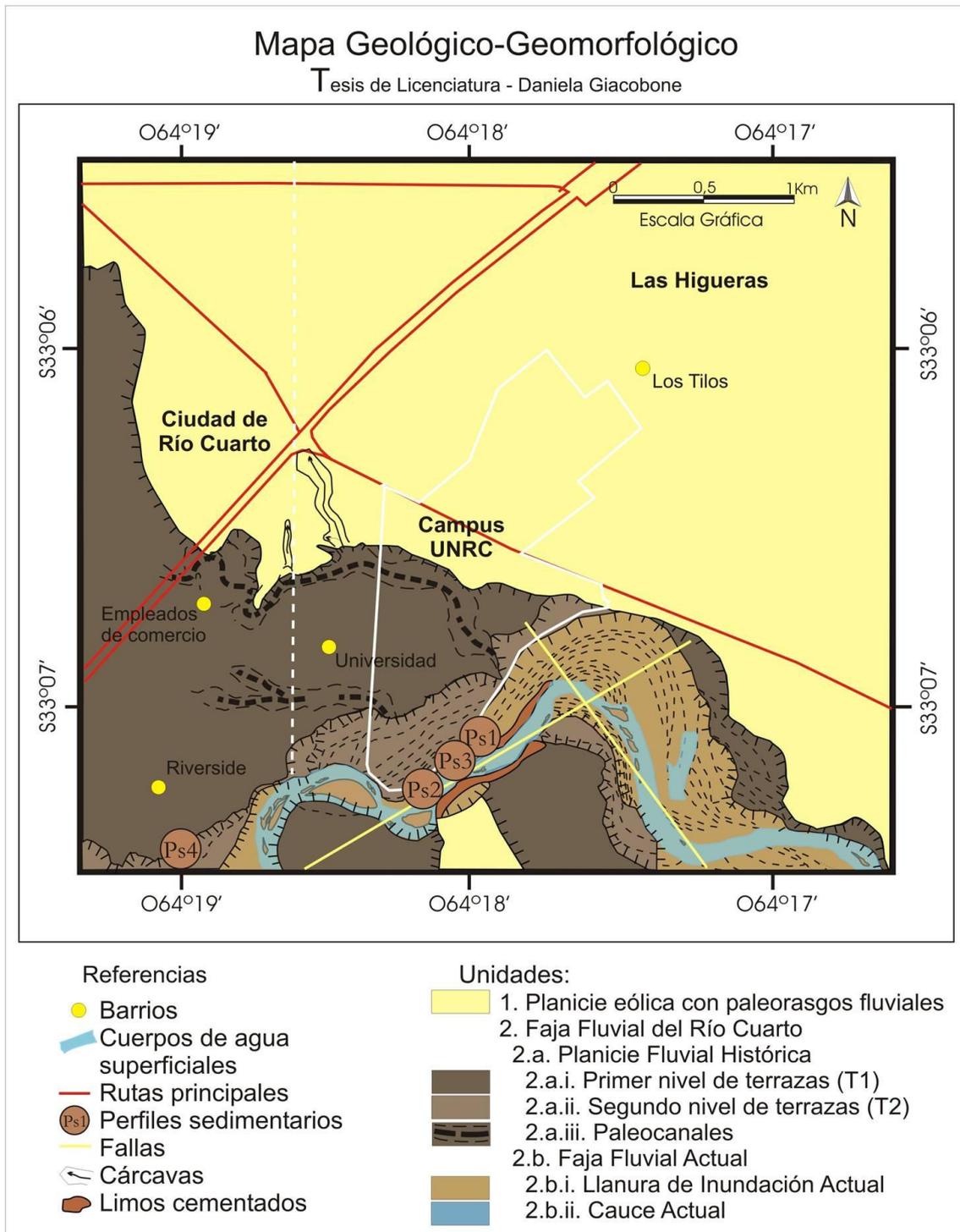


Figura IV.3. Mapa Geológico-Geomorfológico.

Los procesos que se registran actualmente son de erosión hídrica relacionados a actividades antrópicas, a los gradientes y a la susceptibilidad de los materiales eólicos: laminar, especialmente en la zona agrícola, y en surcos y cárcavas en caminos y predios rurales. Actualmente se está trabajando en obras de desagües en el Noroeste del área de estudio, abarcando el sector Nor-Noreste de la ciudad de Río Cuarto para evitar los problemas de anegamiento y la formación y avance de cárcavas.

En las zonas más bajas se hallan los suelos más desarrollados: hapludoles y argiudoles típicos.

Los procesos que se registran actualmente son de erosión hídrica relacionados a actividades antrópicas, a los gradientes y a la susceptibilidad de los materiales eólicos: laminar, especialmente en la zona agrícola, y en surcos y cárcavas en caminos y predios rurales. Actualmente se está trabajando en obras de desagües en el Noroeste del área de estudio, abarcando el sector Nor-Noreste de la ciudad de Río Cuarto para evitar los problemas de anegamiento y la formación y avance de cárcavas.

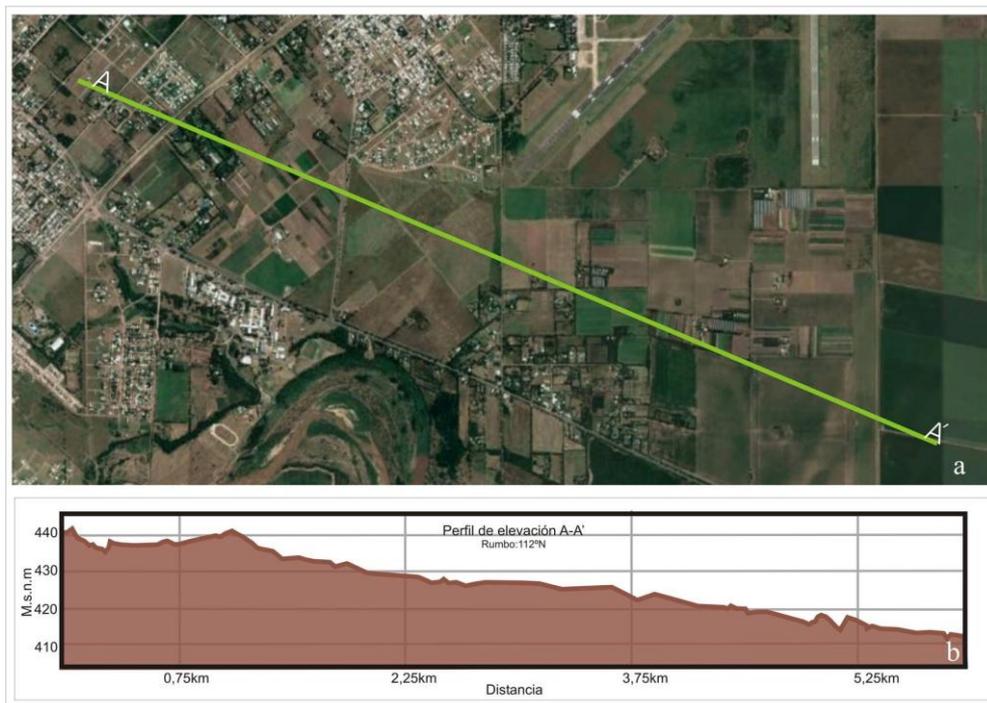


Figura IV.5. a y b. Perfil Noroeste-Sureste de la planicie eólica con paleorasgos fluviales.

**2. Unidad Faja Fluvial del Río Cuarto:** Esta faja comienza fuera de la zona de estudio en la unión de los ríos Las Cañitas y Piedras Blancas. Este curso drena una superficie aproximada de 220 km<sup>2</sup> desde su nacimiento en las Sierras de Comechingones hasta los Bajos del Saladillo, de forma que es uno de los más importantes del Sur de Córdoba. En el Suroeste de la zona de estudio se observa un pequeño tramo del río Cuarto, cuya traza está controlada estructuralmente y por las litologías presentes en el sector. Esta unidad incluye todos los rasgos vinculados a la dinámica del río Cuarto a lo largo del Cuaternario en el tramo mencionado, constituyendo una faja que varía entre los 400 y 700 m de ancho. Se observan morfologías fluviales típicas (terrazas, barras, meandros, espiras, etc.) y las subunidades detectadas se explican a continuación:

**2.a. Subunidad Planicie Fluvial Histórica:** Es la subunidad más extensa y de desarrollo areal muy variable (Figura IV.6 a y b). Se ha generado por variados procesos fluviales y está caracterizada por diferentes niveles de terrazas en los que se observan paleocanales, ambientes de llanuras de inundación y divagación de meandros. Las pendientes son muy bajas, de forma que los procesos de erosión hídrica sólo se

observan en los bordes de las terrazas. Desde el punto de vista litológico está caracterizada por una importante amplitud granulométrica, típica de este ambiente fluvial.

*2.a.i. Primer Nivel de Terrazas (T1):* Es la más intervenida por el hombre, aquí se encuentran instalados el campus de la UNRC y los Barrios Universidad, Riverside y de Empleados de Comercio, entre otros.

Es la terraza más antigua y su relieve es muy plano (1,5 % de pendiente), mostrando un predominio de sedimentos finos correspondientes a facies de llanura de inundación (arenas muy finas y limos). La excepción son algunos bajos que han sido generados por paleocanales y están muy poco manifiestos, los que muestran pendientes de 4 % aproximadamente y presencia de granulometrías más gruesas.

Su borde erosivo tiene diferentes niveles de preservación, dada la afectación por procesos gravitatorios y de erosión hídrica. Los suelos presentes poseen alto contenido de materia orgánica y gravillas dispersas en los perfiles y son Hapludoles Típicos y Argiudoles en las llanuras de inundación, y Fluventes y Acuentes en los paleocanales (Blarasin, 2003).

*2.a.ii. Segundo Nivel de Terrazas (T2):* Se manifiesta discontinuamente y en el área de estudio no supera los 200 m de ancho. Se generó debido a la intensa divagación de canales meándricos que han dejado más que todo, depósitos de facies de barra y canal (espiras y surcos por migración de meandros, paleocanales sinuosos y llanuras de inundación, muy similar a la dinámica actual, con granulometrías medias a gruesas. Los procesos pedogenéticos son incipientes a nulos (Blarasin, 2003) encontrándose Udifluventes Típicos.



Figura IV.6. Vistas aéreas tomadas de Google Earth del Primer y Segundo nivel de Terrazas (T1 y T2 respectivamente). a. Al Sur del meandro situado detrás de la UNRC y b. En la zona del Campus de la UNRC

*2.a.iii. Paleocanales:* Se observa la presencia de paleocanales de diferentes edades y envergaduras, y por lo tanto también muestran distinto grado de preservación. Todos son meandriformes, de 100 a 200 m de ancho.

Su morfología está suavizada por depósitos coluviales generados al evolucionar sus laderas observándose la presencia de sedimentos más finos por relleno y colmatación. En el centro de los canales se han llegado a medir espesores de hasta 0,8 m de materiales arcillosos muy ricos en materia orgánica. Los espesores de arenas llegan a los 5 m de potencia, de forma que muchos se explotan para extracción de áridos.

Algunos paleocanales funcionan incorporándose a la red de drenaje producto de desbordes del río Cuarto o de excedentes pluviales de la ciudad. En muchos casos se han realizado obras de infraestructura para conducir el agua a través de ellos hacia el cauce actual, como en el caso del paleocanal que atraviesa el Barrio Universidad y el Campus universitario (Figura IV.7), en cuyo sector se ha formado una cárcava que en la actualidad ha sido muy modificada.



Figura IV.7. Paleocanal que pasa por el predio de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

*2.b. Subunidad Faja Fluvial Actual:* El actual diseño meándrico ha generado migración de espiras, mientras que en los tramos más rectilíneos el diseño es entrelazado, con barras móviles, centrales y laterales (Figura IV.8).

Se ha realizado un perfil de elevación mediante el Software Google Earth para diferenciar esta subunidad de la subunidad Planicie Fluvial Histórica con sus dos niveles de terrazas (Figura IV.9. a y b).



Figura IV.8. Barras móviles laterales y centrales hacia el Sureste del área.

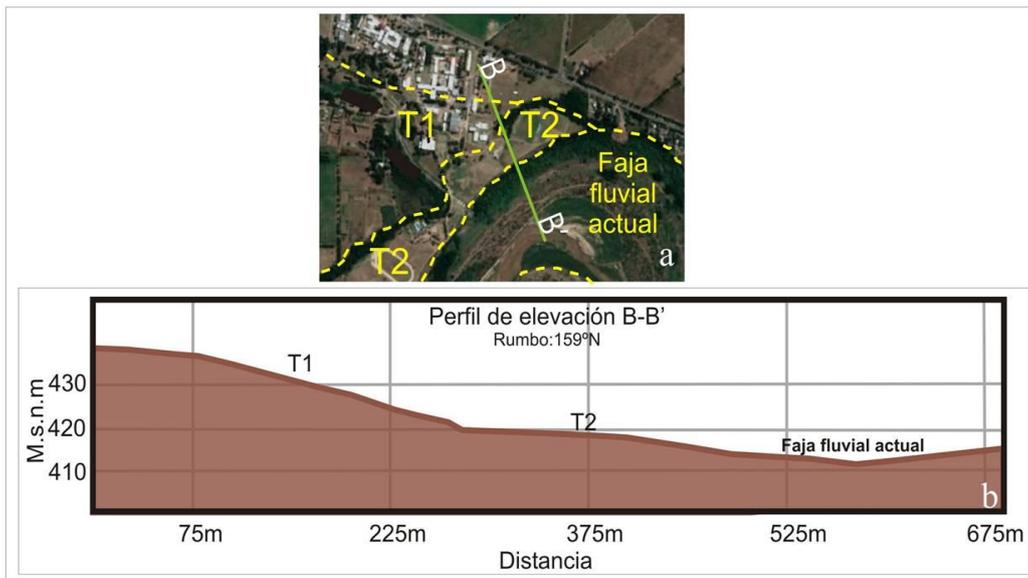


Figura IV.9. a. Imagen tomada de Google Earth diferenciando la Faja Fluvial Actual de los dos Niveles de Terrazas Antiguas T1 y T2. b. Perfil de elevación.

*2.b.i. Llanura de inundación actual:* Está muy relacionada a la dinámica del tramo, de forma que en los sectores más meándricos adquiere un buen desarrollo areal con la formación de espiras y surcos (que generan un microrrelieve por la migración de los meandros). En los tramos entrelazados es más angosta y muestra rasgos de acreción lateral de barras.

En crecidas extraordinarias se inunda, aunque hay cuerpos lagunares de carácter permanente o semipermanente en los meandros abandonados, asociados al aporte de agua subterránea. Posee incipiente desarrollo edáfico: fluvents y acuentos (Blarasin, 2003).

Los materiales, de granulometría arena media y grava, se explotan para extracción de áridos. En la Figura IV.10 se observa el meandro aledaño al campus de la UNRC en el que se distinguen el cauce actual y la llanura de inundación con viejas espiras e incluso una laguna en un tramo del meandro abandonado.



Figura IV.10. Meandro situado hacia el Este del Campus de la UNRC.

*2.b.ii. Cauce Actual:* En esta área el control está dado por una megaestructura de rumbo Noroeste-Sureste, y en tramos menores por estructuras Noreste-Suroeste y Norte-Sur. La Formación Pampiano constituye el lecho del curso y al poseer algún grado de cementación, permite la generación de formas erosivas como acanaladuras, hoyas y rápidos.

El diseño de canal va de meándrico de media a baja sinuosidad a un diseño entrelazado, dependiendo del caudal y de la carga tractiva. La granulometría dominante son gravas y arenas medias (Figura IV.11).

Los meandros del área de estudio tienen un radio de curvatura entre 160 y 445 m y amplitudes entre 200 y 700 m. Han tenido una alta movilidad, a lo largo del Cuaternario, especialmente por migración la que han generado graves problemas de erosión en el Este del Campus Universitario y en el Barrio Riverside, por lo cual se han tomado medidas conducentes al manejo de la erosión lateral y rectificación de meandros.

Otro proceso importante en toda la zona es la profundización del río.



Figura IV.11. Depósitos de granulometría grava a arena media en el borde del cauce del río Cuarto. Zona hacia el Sur del Campus de la UNRC.

# Capítulo V

## OCUPACIÓN Y USO DEL TERRITORIO

El sistema socio-cultural ejerce una presión sobre el medio físico natural, de forma que es importante realizar un análisis de la ocupación y uso del territorio para verificar su incidencia sobre los factores ambientales, en este caso el agua. De esa interacción surgen problemas ambientales como la contaminación de cuerpos superficiales y subterráneos por vertido de efluentes domésticos o industriales, o riesgos naturales y/o mixtos derivados de procesos naturales y potenciados por el tipo de uso del territorio, como anegamiento, inundación, erosión hídrica y eólica, etc.

Blarasin (2003), Blarasin et al. 2010 a y b, han estudiado los principales problemas hidrogeológicos de la ciudad de Río Cuarto y entorno rural, entre los que se pueden nombrar problemas ambientales relacionados con el sistema de saneamiento por vertido de efluentes domésticos sin tratar, e importantes ascensos de los niveles freáticos.

Las actividades presentes en el área de estudio se pueden verificar en la Figura V.5.

### V.1. Uso urbano:

#### V.1.1. Localidad de Río Cuarto

##### V.1.1.1. Banda Norte

Es una zona residencial, con densidad poblacional entre 1000 a 2000 habitantes por kilómetro cuadrado, y en donde la mayoría de las casas posee red de agua potable pero no todas tienen red cloacal (INDEC, 2008), de modo que hay una gran cantidad de pozos negros.

##### V.1.1.2. Zona de los Barrios Riverside, Las Delicias y empleados de comercio

Estos barrios se sitúan en el extremo Suroeste del área de trabajo; y a pesar de sus diferencias se han agrupado debido a que la información disponible del Censo Nacional del año 2008 los muestra en conjunto. La densidad poblacional promedio es entre 1.000 a 2.000 habitantes por kilómetro cuadrado, si bien Riverside tiene una muy baja densidad y Las Delicias muy alta. La red de agua potable no está totalmente construida (INDEC, 2008): Riverside es un barrio privado que no cuenta con red de agua potable pero sí hay varias perforaciones en el predio, ya sea para consumo humano, recreación y para llenar un lago artificial.

Ninguno cuenta con red cloacal. Se destaca la presencia de varios microbasurales en el barrio Las Delicias, que se verán en el apartado V.6.1 de este capítulo.

En el centro y Sur de esta zona se han tomado las muestras de agua Bd9 y Bd11 respectivamente, como se verá más adelante.

#### V.1.2. Localidad de Las Higueras

##### V.1.2.1. Área de material Río Cuarto/Las Higueras de la Fuerza Aérea Argentina

En el predio de 900 hectáreas del área de material Río Cuarto/Higueras se realizan actividades relacionadas al mantenimiento y vuelo de aeronaves, por lo tanto en él se encuentran pistas, hangares, instalaciones de uso múltiple y servicios concurrentes al vuelo (Web Letras Uruguay, 2017).

Es la única parte perteneciente a la localidad de Las Higueras que cuenta con servicio de cloacas (Ver punto V.6.2. de este capítulo).

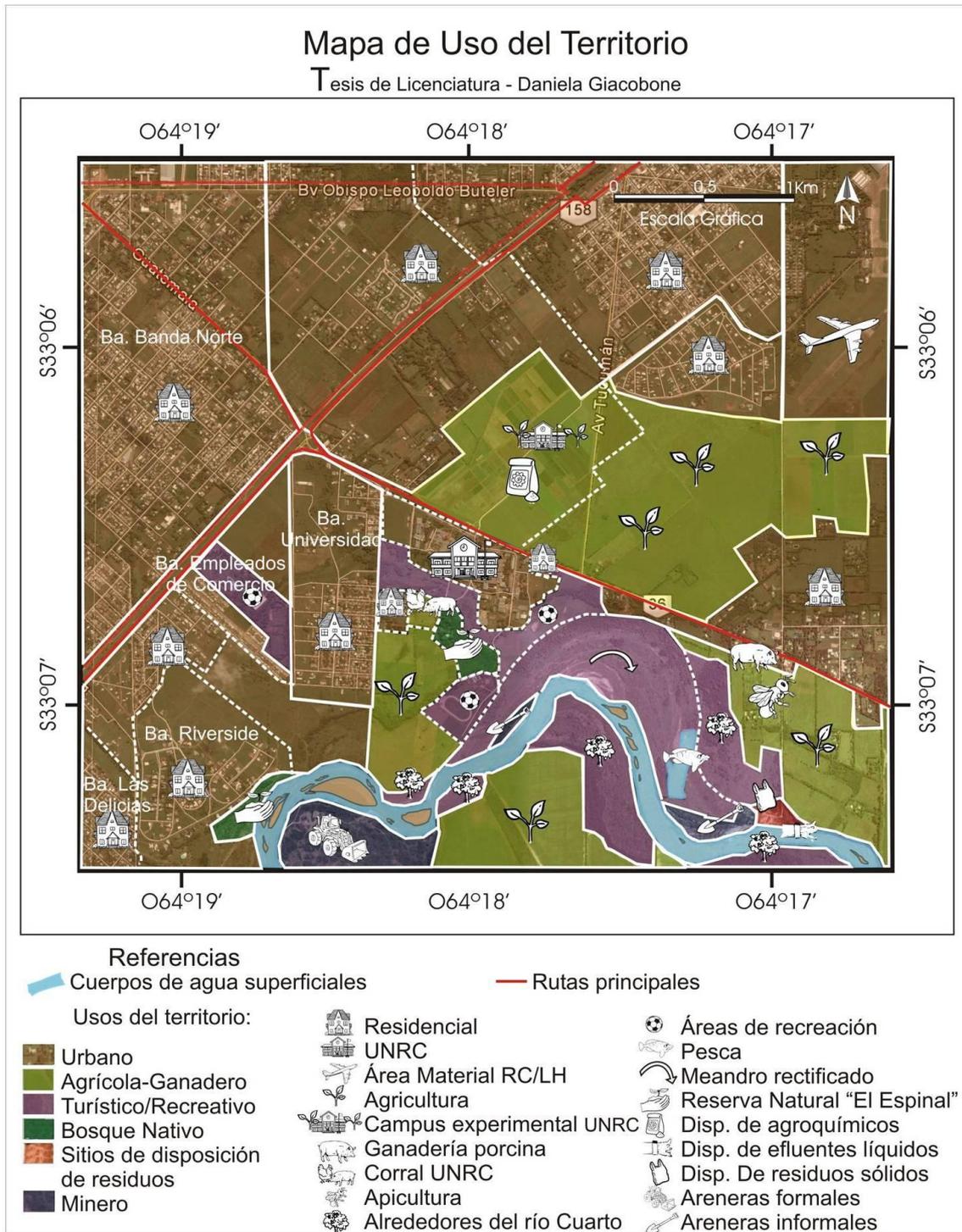


Figura V.45. Mapa de Usos del Territorio.

### V.1.2.2. Predio de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC)

La casa de estudios superiores consta de una oferta académica de pregrado, grado y posgrado, con la que suma un total de 17.599 estudiantes, 1.855 docentes, 587 no docentes y 92 autoridades, según la síntesis académica de la UNRC para el año 2016 (2017). De esta forma circulan miles de personas por día en las instalaciones.

Además del *Campo Experimental* (Ver punto V.2.1.1. Campo Experimental de la UNRC de este capítulo) hay pabellones de aulas y oficinas, cubículos, plantas piloto, gimnasios, canchas de diferentes deportes y áreas recreativas (ver en punto V.3.2. de este capítulo), galpones de automotores y de servicio, entre otros.

También se encuentra dentro del predio de la UNRC la *Reserva Natural "Bosque el Espinal"* (ver punto V.4. de este capítulo) y 100 m hacia el Oeste de la misma los *corrales de la Facultad de Agronomía y Veterinaria* con caballos, vacas, mulas, ovejas, cabras y pollos. Estos se encuentran a una cota de 424 m.s.n.m. y los escurrimientos superficiales se dirigen desde este punto hacia el eje del paleocanal que pasa por la UNRC. Por último, la casa de estudios también cuenta con *residencias estudiantiles* (en el borde Oeste del predio) y *docentes* (situadas en el extremo Noreste) que alberga de manera casi continua a 340 estudiantes de grado y postgrado.

Los efluentes generados en la UNRC son dispuestos en diversos pozos negros en distintos sectores del campus. La UNRC también cuenta con una Planta de Tratamiento y Reutilización de Efluentes que tiene como principal objetivo descontaminar el 50 % de los efluentes crudos que se generan en las Residencias estudiantiles (Crespi, 2015). La planta realiza el tratamiento de 25.000 L diarios de efluentes y consta de una cámara principal que concentra los efluentes y dos líneas de tratamiento, una líquida (línea de aguas), y una sólida (línea de fangos), en donde se ubica un biodigestor que hace la transformación de los residuos sólidos en biogás, que se utiliza para energía térmica o energía eléctrica. De este modo, ambas tienen un tratamiento particular hasta llegar a la descontaminación de esos efluentes. Se destaca que esta planta no es solamente de tratamiento, sino también de reutilización de los efluentes, ya que los mismos son nuevamente usados para riego.

La planta se divide en dos partes cuyos resultados son los mismos, descontaminar efluentes:

a. Planta convencional, que funcionó entre los años 2003 y 2009, se trata de una planta compacta, que se utiliza habitualmente en países con más recursos económicos y que no tienen mucho espacio. Su costo en inversión para ponerla en marcha es alto por el gasto en materiales que hace falta para ponerla en marcha y el de su mantenimiento.

b. Planta no convencional, más propia de países sudamericanos que ocupa mayor espacio y se trata fundamentalmente de lagunas, usando plantas terrestres flotantes o emergentes para el tratamiento y energía solar. Esta es un sistema ecológico, de más bajo costo.

## V.2. Uso Agrícola-Ganadero

En esta unidad se llevan a cabo diferentes tipos de actividades productivas, principalmente en el centro y Oeste del área de estudio, y en áreas de poca extensión.

### V.2.1. Agrícola

En el área evaluada esta actividad se realiza en terrenos que usualmente no superan las 100 ha.

#### V.2.1.1. Campo Experimental de la UNRC

En el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto los estudiantes y docentes de la carrera Ingeniería Agronómica de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC hacen ensayos de diferentes variedades, cultivos de verano como soja, girasol, maní y maíz; y cultivos de invierno entre los que se pueden nombrar diferentes variedades de centeno, cebada y trigo. En parcelas más pequeñas se siembra alfalfa, triticale, diferentes variedades de sorgo, cultivos no tradicionales (como quinoa, amaranto y quenaff) y distintos tipos de césped. Además, hay un galpón que posee dependencias con maquinaria agrícola, que tiene diferentes implementos para con los que laborean el suelo: Arados de reja y discos, rastras, rolos, doble acción, cuerpo espín, sembradoras convencionales y de siembra directa, máquinas cosechadoras, pulverizador, entre otras; que se utilizan en dichas prácticas, al igual que los sistemas de riego (Figura V.2. a). También en ámbito del campo experimental se encuentra el área de investigación de la Facultad de Ingeniería, sector paneles solares, donde hace algunos años se realizó una perforación para uso de los investigadores (Bd7); de este campo se han extraído las muestras Bd7 y Bd3 que, en ambos casos, se ubican contiguas a las parcelas cultivadas (Figura V.2. b y c).



Figura V.2. Campus experimental de la UNRC: a. Sistema de riego. b y c. Perforaciones de la cuales se obtuvieron las muestras Bd7 y Bd3 respectivamente.

Durante el muestreo se observó la presencia de envases de distintos tipos de productos químicos utilizados en el campo experimental de la UNRC (Figura V.3), los cuales se listan en la Tabla V.1.

Si bien en esta visita no se pudo hablar con los diferentes empleados del campo experimental, en una visita anterior se tomaron muestras de urea y sulfato de amonio, que también se usan como fertilizantes.

#### V.2.1.2. Ganadería porcina

Esta actividad se desarrolla a muy pequeña escala y fue detectada en un sector muy próximo al meandro abandonado. Corresponde a un corral de porcinos que posee 15-20 animales.

Tabla V.1. Tipos de productos químicos encontrados en el campus experimental de la UNRC.

Nombre	Tipo	Función	Peligrosidad (Clasificación Toxicológica)
Aceite Quimeco Plus	Concentrado emulsionable	Coadyuvante, insecticida y acaricida	Clase IV – Producto que normalmente no ofrece peligro
Natur'l Óleo	Concentrado emulsionable	Insecticida y coadyuvante	Clase IV – Producto que normalmente no ofrece peligro
Nimbus	Concentrado emulsionable	Coadyuvante	Clase II: Moderadamente peligroso
Uanphos	Líquido soluble	Fertilizante de Nitrógeno y Fósforo	-
PhosFértil 30	Líquido	Fertilizante de Fósforo	-
Barex Saborizado	Medicinal	Laxante osmótico	-



Figura V.3.a, b, c, d y e. Productos químicos utilizados en el Campo Experimental de la UNRC.

### V.2.1.3. Apicultura

Esta actividad corresponde a un emprendimiento familiar de pequeña escala (8 colmenas) y se realiza en un terreno situado en el sudeste del área de estudio.

## V.3. Uso Turístico/Recreativo

### V.3.1. Alrededores del Río cuarto

Las actividades humanas han restringido la presencia de vegetación natural hacia las cercanías de la faja fluvial actual y algunos parches aislados de bosque han quedado como relictos y que se usan eventualmente como áreas recreativas. En las cercanías del curso fluvial, que generalmente se inunda durante las crecidas por el aumento del caudal del río Cuarto, Pillon (2013) ha observado en este sector especies nativas como *Clematis montevidensis Spreng.* (barba de viejo), *Cynodon dactylon* (gramon), *Bidens subalternans* (amor seco), *Agrostis montevidensis Spreng.* (pasto ilusión), *Bothriochloa barbinodis* (penacho blanco) y *Schkuria pinnata* (matapulgas) entre otras especies.

### V.3.2. Área de deportes de la UNRC

Dentro del predio de la UNRC se encuentran el Gimnasio Menor y Mayor (Figura V.4.a), que cuentan con diferentes tipos de actividades y canchas al aire libre de diferentes deportes (básquet, fútbol, paddle, jockey dependientes de la Subsecretaría de Deportes de la Facultad de Ciencias Humanas) y grandes espacios al aire libre y áreas recreativas, entre las que se puede nombrar la pileta (que se alimenta de una perforación de la cual se obtuvo la muestra Bd2. Figura V.4.b) dependientes de la Secretaría de Bienestar de la UNRC.



Figura V.4: a. Gimnasio Mayor de la UNRC. b. Zona recreativa de la pileta UNRC.

### V.3.3. Laguna del meandro rectificad

Está ubicada en el Sureste del área de estudio y sus dimensiones son 375 m de largo y 70 m de ancho. El avance de un meandro hacia la margen izquierda del curso, ponía en serio riesgo de derrumbe al predio de la UNRC y la Ruta Nacional 36, por lo que se procedió a realizar una rectificación permanente del mismo para relocalizar la amenaza en el año 1996. Como resultado se ha generado una laguna por aporte de agua subterránea hacia el Este de la rectificación, sobre parte de las espiras abandonadas y en ella se suele practicar la pesca.

### V.4. Bosque Nativo: Reserva Natural “Bosque el Espinal”

La Reserva se encuentra dentro de los predios de la UNRC y del Barrio Riverside. En la UNRC es un área cerrada de 7 has (Figura V.5), en la que se practica la no intervención para permitir la recuperación de la vegetación nativa ya que en ella hay relictos de más de 191 especies vegetales.

Este relictos del paisaje original de la región se corresponde a la zona fitogeográfica del bosque El Espinal; la cual se extiende en forma de arco desde el centro de la provincia de Corrientes, norte de Entre Ríos, pasando por el centro de Santa Fe, y Córdoba, centro de San Luis y La Pampa, hasta el sur de Buenos Aires.

En ella domina un bosque poco denso de árboles xerófilos caducifolios bajos con copas aparasoladas, donde las especies dominante son: *Prosopis alba*, *Prosopis nigra*, *Prosopis caldenia*, a los que acompañan la *Acacia caven*, *Geoffroea decorticans*, *Celtis tala*, *Schinus fasciculatus*, entre otros (Extraído de la página web de la reserva): Los árboles dominantes son el algarrobo y el caldén, y los acompañan el espinillo, el chañar, el tala y el moradillo entre otros (Oggero et. al 2013).

La única medida que se realiza dentro de la Reserva, según Oggero et al. (2013) es eliminar las plantas exóticas, además de actividades educativas, capacitaciones a los voluntarios y tareas de divulgación e investigación.



Figura V.5. Entrada de la Reserva Natural "Bosque el Espinal".

### V.5. Uso minero

La principal actividad minera de la zona es la extracción de áridos, los cuales se relacionan a la buena calidad de los áridos para su uso en construcción.

Se observó la presencia de extracciones de arena a gran escala, con palas mecánicas de gran porte, del cauce del río Cuarto (cantera húmeda) y de la llanura de inundación situada en el meandro en proximidades del Barrio Riverside (Figura V.6).



Figura V.6.a y b. Extracción minera a gran escala. Fotografías gentileza de la cátedra de Geomorfología – Departamento de Geología UNRC.

También se observaron extracciones informales a pequeña escala, en sitios más restringidos espacialmente, pero mayores en número como se observó en el curso del río Cuarto a la altura de la UNRC, y en el camino que va hacia la laguna del meandro abandonado (Figura V.7.d).

### V.6. Disposición final de residuos

#### V.6.1. Sólidos

Se observó la presencia de un microbasural informal sobre la margen izquierda del río Cuarto, con residuos de tipo domiciliarios y escombros (Figura V.7.e). Hay otros menores distribuidos en diferentes puntos.

### V.6.2. Líquidos

Las cloacas de Área material Río Cuarto ubicada en Las Higueras son conducidas hacia el río Cuarto por un caño que corre en dirección Norte-Sur, entubado y cubierto hasta que empieza su tramo final. A la vera del camino que lleva a la laguna formada en el meandro abandonado desagua a una canaleta que se encuentra a la vera del camino (Figura V.7.a y b); 20 m aguas abajo se ensancha conformando un pequeño humedal, y posteriormente continúa el canal que lleva estos efluentes hacia el río (Figura V.7.c y f) en el punto situado a  $33^{\circ}7'25,97''$  Sur y  $64^{\circ}16'55,97''$  Oeste.

Esta descarga provoca un proceso de degradación de la calidad local del paisaje por los olores que genera y cambio local en calidad de agua del río, aspectos que se explica en apartados posteriores.

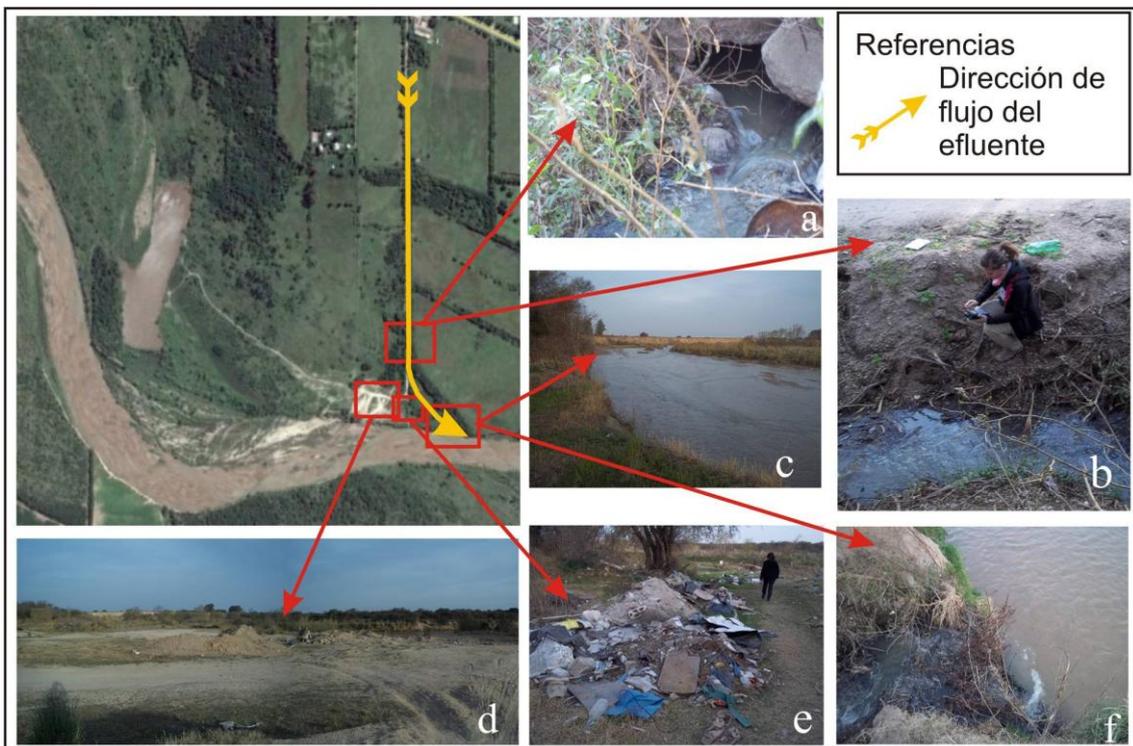


Figura V.7: a. Canal de desagüe de cloacas del Área material Río Cuarto/Las Higueras de la Fuerza Aérea Argentina (flecha amarilla). b. Muestreo del efluente (muestra Ed1). c y f. Sitio del vertido del efluente hacia el curso del Río Cuarto. d. Arenera informal. e. Microbasural.

# Capítulo VI

## HIDROMETEOROLOGIA

El Clima es un conjunto de situaciones que determinan el estado medio atmosférico de una determinada región, durante un período de tiempo. En él influyen muchos factores como la latitud, altura sobre el nivel del mar, corrientes marinas, lluvias, entre otros.

Con el objetivo de caracterizar climáticamente la zona y conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca, se deben evaluar los parámetros meteorológicos como Temperatura, Precipitaciones y Evapotranspiración. Además con estos valores se realizó un balance hídrico utilizando el software PDIWIN (Ravelo y Machado, 1999), y la clasificación climática se realizó con la metodología de Thornthwaite (1948).

En el área de estudio se cuenta con datos de una sola estación meteorológica: La Estación Agrometeorológica de la UNRC con registros desde el año 1974 hasta la actualidad (42 años de datos completos).

### VI.1. Temperatura

Con los valores de temperatura para la serie 1974-2017 se observa una temperatura media anual de 16,48°C. Los meses que registran medias mayores a 20°C son Diciembre a Marzo siendo Enero el mes de temperaturas más altas, con una media de 23°C. Las temperaturas más bajas corresponden los meses entre Mayo y Septiembre, siendo Julio, con un valor de 9,2°C el de temperatura media más baja. (Figura VI.1 y Tabla 1 del Anexo 1).

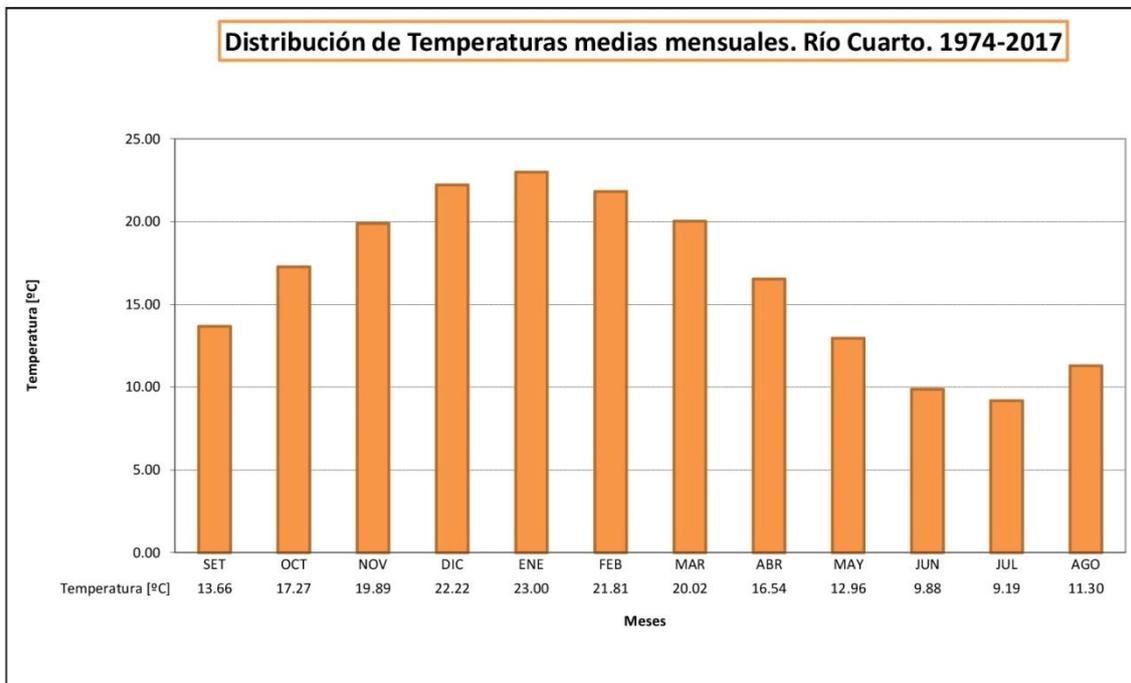


Figura IV.1. Gráfico de distribución de temperaturas medias mensuales. Estación Agrometeorológica UNRC, Río Cuarto. 1974-2017.

## VI.2. Precipitaciones

La serie analizada (1974-2017) indica un promedio anual de precipitaciones de 787 mm (Ver Tabla 2 de Anexo 1). El gráfico de precipitaciones anuales (Figura VI.2) muestra ciclos alternados, el primero es un ciclo seco (1974-1977), con una precipitación media para el ciclo de 700,8 mm. Sigue un ciclo húmedo desde el año 1978, (uno de los dos años más húmedos del ciclo, junto con el año 1984, este último con el valor más alto de la serie, 1200 mm), el cual duró hasta el año 1987, con una precipitación media de 889,8 mm. El tercer ciclo muestra un predominio de años secos entre 1988 y 1997, con una precipitación media de 706,8 mm. Los años 1988 y 1989 fueron los más secos de toda la serie. En el año 1998 comienza otro ciclo húmedo, hasta el año 2008. La precipitación media del ciclo es de 833,4 mm, con años muy húmedos como 1998, 1999 y 2004. Desde el año 2009 hasta la actualidad se observa un período seco, con una media calculada hasta el año 2017 de 741,4mm.

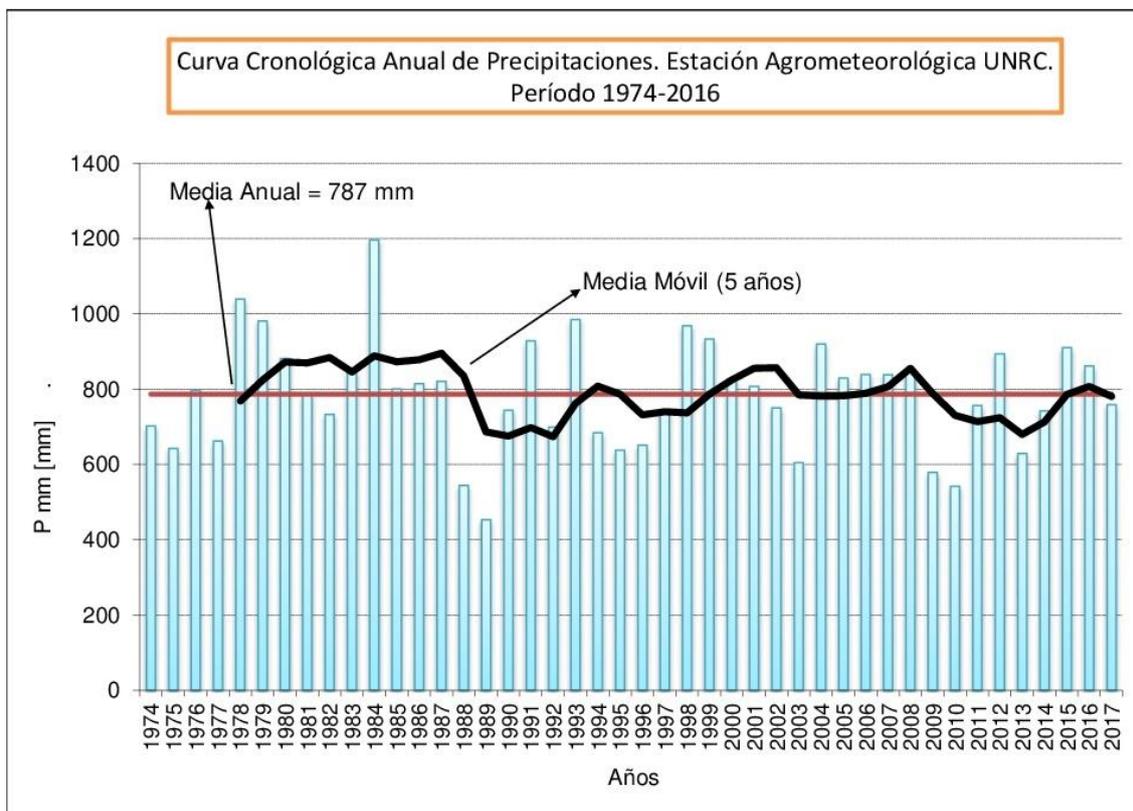


Figura VI.2. Curva Cronológica Anual de Precipitaciones. Estación Agrometeorológica UNRC. Periodo 1974-2017.

Si se observa la curva de distribución de promedios mensuales para la serie analizada, comenzando el año hidrológico en el mes de Septiembre, se observa un aumento gradual de las precipitaciones para llegar a las máximas en los meses de Diciembre y Enero (hasta 120 mm de precipitación media), lo que corrobora la típica concentración de las precipitaciones en primavera y verano en la zona (Figura VI.3). Posteriormente disminuye, y los meses de Junio y Julio son los más secos, con menos de 12 mm de precipitación media mensual.

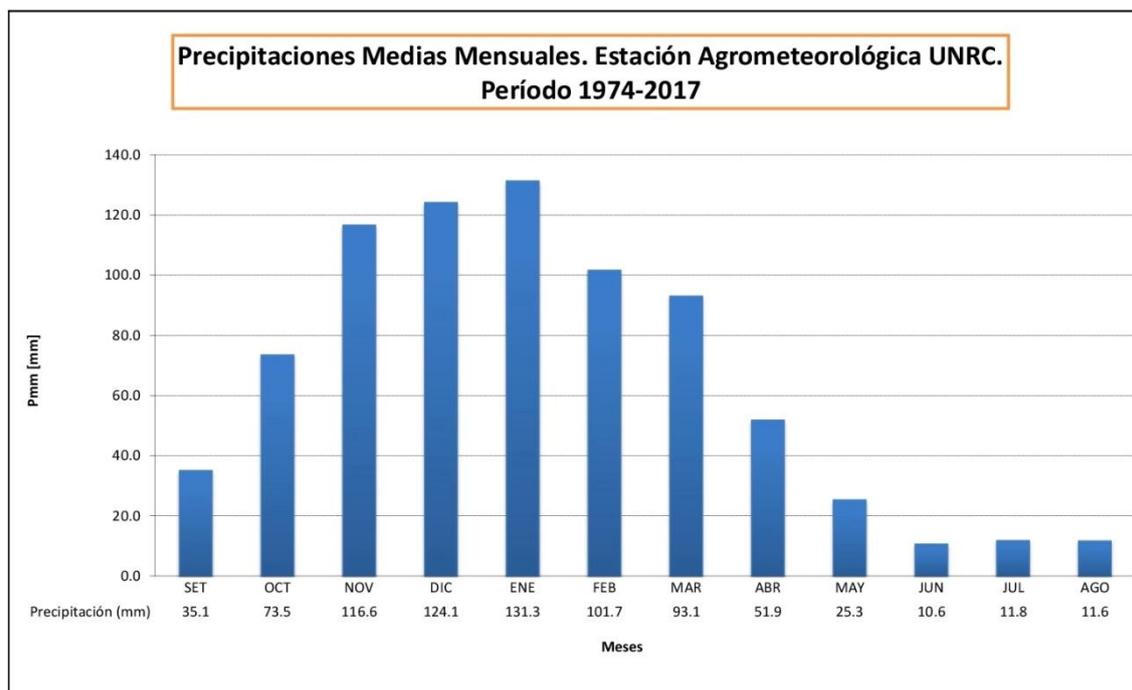


Figura VI.3. Gráfico de precipitaciones medias mensuales para la estación Agrometeorológica UNRC entre 1974 y 2017.

Los índices de concentración estacional (Ice) indican cómo se reparten las precipitaciones según las estaciones, a partir de la fórmula:

$$Ice = \frac{\text{Precipitación en cada estación}}{\text{Precipitación anual}} \times 100$$

Ice Primavera = 28,63 %

Ice Verano = 45,4 %

Ice Otoño = 21,64 %

Ice Invierno = 4,33 %

Primavera y verano concentran el 74,03% de las precipitaciones totales por año, y el período más seco es durante los meses de otoño e invierno, con sólo el 25,97% del total anual de precipitaciones.

### VI.3. Evapotranspiración Potencial

Con la metodología de Thornthwaite y Matter (1945) se calculó la Evapotranspiración Potencial, utilizando los valores de Temperaturas Medias Mensuales registradas en la Estación Agrometeorológica de la UNRC.

Para realizar este cálculo se ha utilizado una tabla de Excel generada por la Universidad de Salamanca (USAL). Con la misma se obtuvo un valor de Evapotranspiración Potencial Media Anual de 815,5mm (Tabla VI.2), con los valores de Evapotranspiración Potencial Mensual más elevados entre los meses de Octubre y Marzo, en concordancia con el régimen térmico y pluviométrico.

Tabla VI.2. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial (Thorthwaite y Matter, 1945).  
Río Cuarto. Período 1974-2017.

	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Total
<b>Temperatura</b>	<b>13.66</b>	<b>17.27</b>	<b>19.89</b>	<b>22.22</b>	<b>23</b>	<b>21.81</b>	<b>20.02</b>	<b>16.54</b>	<b>12.96</b>	<b>9.88</b>	<b>9.19</b>	<b>11.3</b>	<b>197.74</b>
i	4.58	6.53	8.09	9.57	10.08	9.30	8.17	6.12	4.23	2.80	2.51	3.44	<b>75.42</b>
ETP sin corr	43.8	65.2	82.8	99.9	105.9	96.8	83.7	60.6	40.1	25.3	22.4	31.8	
nºdías mes	30	31	30	31	31	28.25	31	30	31	30	31	31	
nº horas luz	11.76	12.91	13.8	14.26	14	13.25	12.45	11.25	10.45	10.33	10.25	10.95	
ETP corr.	<b>42.9</b>	<b>72.4</b>	<b>95.2</b>	<b>122.6</b>	<b>127.7</b>	<b>100.6</b>	<b>89.7</b>	<b>56.8</b>	<b>36.0</b>	<b>21.8</b>	<b>19.7</b>	<b>29.9</b>	<b>815.5</b>

#### VI.4 Balance Hídrico Modular

El Balance Hídrico Modular (Tabla VI.3), también con un programa elaborado en Excel por USAL se realizó con las precipitaciones medias mensuales para la serie completa y con la Evapotranspiración Media Mensual previamente calculada. El método utilizado fue el de Thornthwaite y Matter (1945).

De esta forma se obtuvieron los valores de Evapotranspiración Real Media Mensual y de los Excesos y Déficits Hídricos Mensuales. Para una Precipitación Media Anual de 787 mm y la Evapotranspiración Potencial de 815,5 mm por año, la Evapotranspiración Real resultó ser de 787 mm. Así, se interpreta que, en promedio para la serie de 42 años analizada, toda la precipitación es evapotranspirada realmente, que hay un déficit hídrico anual promedio de 28,7 mm y que hay ausencia de excesos hídricos.

Tabla VI.3. Cálculo de la Evapotranspiración Real (Thorthwaite y Matter, 1945). Río Cuarto. Período 1974-2017.

	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Total
													<b>Reserva máx: 150</b>
<b>Precipitación</b>	<b>35.1</b>	<b>73.5</b>	<b>116.6</b>	<b>124.1</b>	<b>131.3</b>	<b>101.7</b>	<b>93.1</b>	<b>51.9</b>	<b>25.3</b>	<b>10.6</b>	<b>11.8</b>	<b>11.6</b>	<b>787</b>
ETP corr.	42.9	72.4	95.2	122.6	127.7	100.6	89.7	56.8	36.0	21.8	19.7	29.9	815.5
ETR	35.1	72.4	95.2	122.6	127.7	100.6	89.7	56.8	36.0	21.8	17.0	11.6	<b>787</b>
Déficit	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	18.3	<b>28.9</b>
Reserva	0	0.0	1.1	22.5	23.9	27.5	28.6	32.0	27.1	16.4	5.2	0.0	
Excedentes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0.0</b>

En este Balance también se observa (Tabla VI.3 y Figura VI.4) que la recuperación de agua en el perfil del suelo se da en las épocas de primavera y verano, ya que son los meses en los que la Precipitación supera la Evapotranspiración Real.

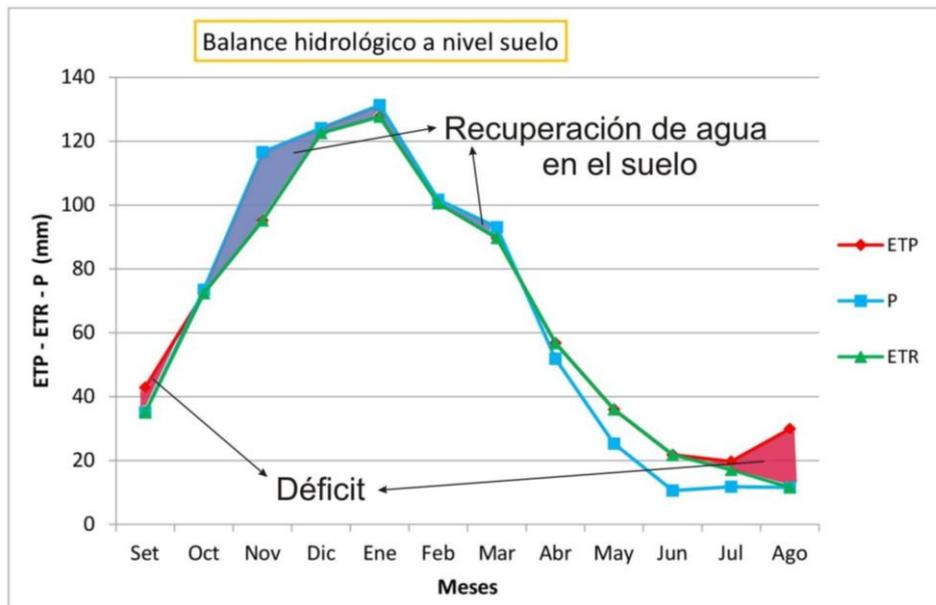


Figura VI.4. Balance Hidrológico Modular.

### VI.5. Balance Hídrico Seriado

Esta metodología utiliza los valores de precipitaciones mensuales de cada año de la serie tratada (1974 - 2017), la humedad antecedente del suelo y la evapotranspiración potencial media mensual. Al enlazar un mes con otro de cada año (es decir paso de tiempo más detallado) y respetando la humedad que va quedando en el suelo entre un año y otro, permite obtener resultados más ajustados a lo que realmente pasa en el suelo. Se realiza con el software PDIWIN (Ravelo y Machado, 1999).

Este Balance es importante debido a que indica con detalle cuáles son los momentos del año en que se generan los Excesos y Déficit Hídricos. Y calcula para todos los meses en los años de la serie, los valores de Almacenamiento, Recarga Potencial, Recarga, Agua Potencialmente Extraíble, Agua Extraída, Evapotranspiración Real y Esguerrimiento (Tabla 3 del Anexo 1).

La diferencia entre la Evapotranspiración Real y Potencial para los datos, muestra que en la mayoría de los años de la serie hay déficit hídrico (Figura VI.5.a-d). Este déficit es más importante en los períodos con bajas precipitaciones: Entre los años 1975 y 1978; 1988 a 1990; 1995 a 1997; 2001 a 2004 y 2009 a 2013.

En el resto de los años, donde se registraron más precipitaciones en general, la diferencia entre Evapotranspiración Real y Potencial es 0 o muy pequeña. Y en los años que las precipitaciones superan mucho al valor de la Evapotranspiración Real se producen los Excesos Hídricos que recargan el acuífero y también generan la Escurrencia Superficial. Estos Excesos se dan especialmente en las estaciones de primavera y verano. Como se observa en la Figura VI.6 prácticamente desde el 2009 la zona es fundamentalmente deficitaria, sin embargo se corta en los años 2013, 2015 y 2016 mostrando exceso de agua.

En la Tabla V.4 se muestra la cantidad de excesos o déficit que ocurrieron en los distintos ciclos húmedos y secos a lo largo de la serie analizada. Estos ciclos que se vislumbran en la serie de precipitaciones se muestran con más definición en el gráfico de excesos hídricos. Como se observa en la mencionada tabla, hubo dos ciclos

especialmente húmedos (1978 - 1981 y 1998 - 2005) donde los excesos constituyeron el 15,6 y 14,7 % de las precipitaciones caídas.

El promedio de excesos hídricos para toda la serie analizada

Tabla V.4. Excesos y déficit hídricos según los ciclos húmedos y secos.

Período	Años del ciclo y tipo	Precipitación	Excesos	Déficit	Excesos como % de P
1976 a 1977	2 – Seco	1459	70,7	277,5	4,85
1978 a 1981	4 - Húmedo	3688	573,8	160,6	15,56
1982 a 1983	2 – Seco	1579	38,7	139,6	2,45
1984 a 1988	5- Húmedo	4175	535,5	321	12,83
1989 a 1992	4 – Seco	2823	60,8	543,5	2,15
1993 a 1995	3 - Húmedo	2307	129,6	239,3	5,62
1996 a 1997	2 – Seco	1393	1,4	344,8	0,10
1998 a 2005	8 - Húmedo	6639	973,1	727,4	14,66
2006	1 – Seco	839	0	82,3	0,00
2007 a 2008	2 - Húmedo	1689	176,9	93,3	10,47
2009 a 2012	4 – Seco	2771	92,4	595,1	3,33
2013 a 2016	4 - Húmedo	3142	186,5	261,5	5,94
Total		32504	2839,4	3785,9	Promedio 6,5

Excesos totales como % de Precipitaciones totales	8,74%
Excesos como % de precipitaciones en periodos húmedos	10,9%
Excesos como % de precipitaciones en periodos secos	2,15%

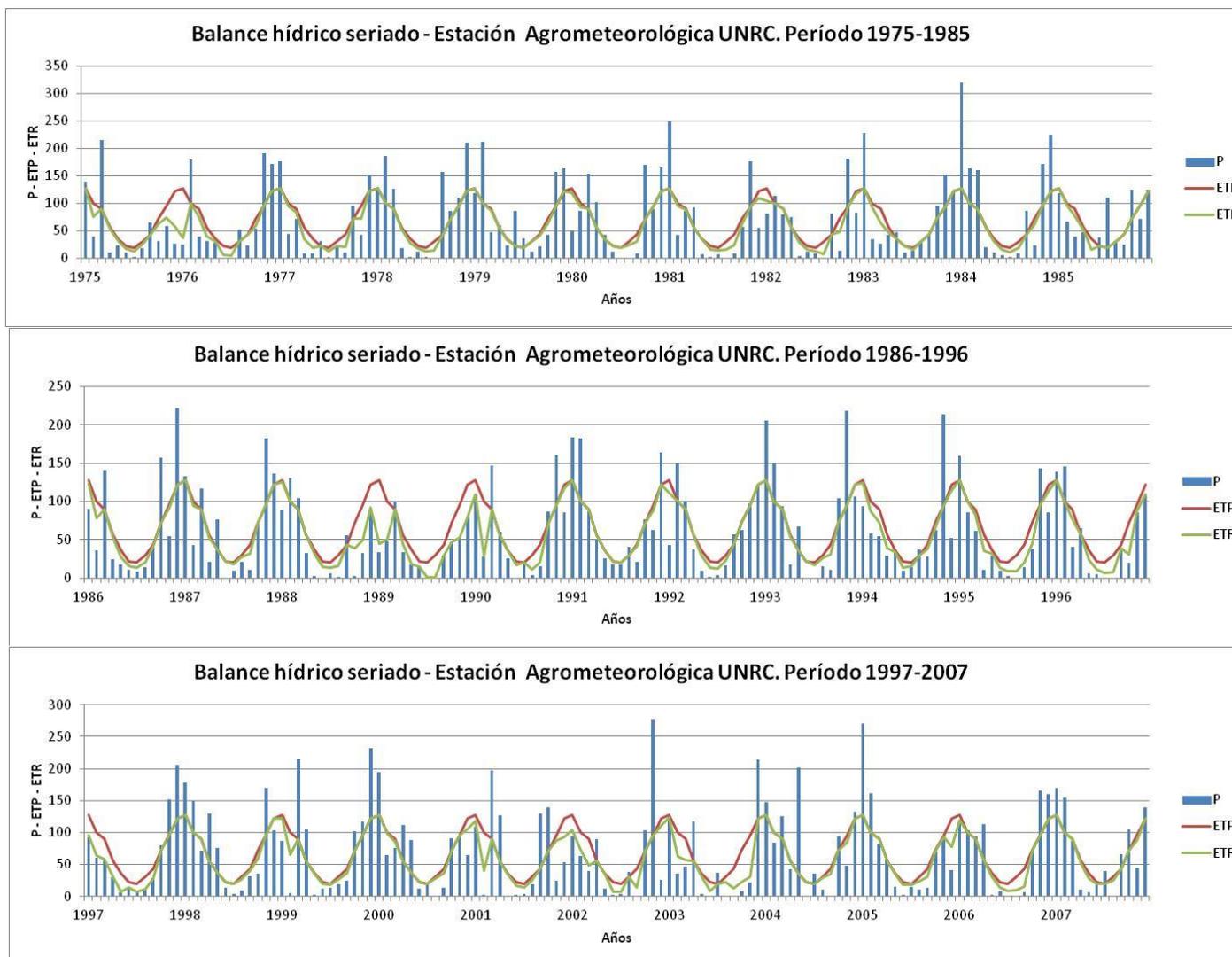


Figura VI.5.a, b y c. Balance hídrico seriado. Estación Agrometeorológica Río Cuarto. 1975-2007.

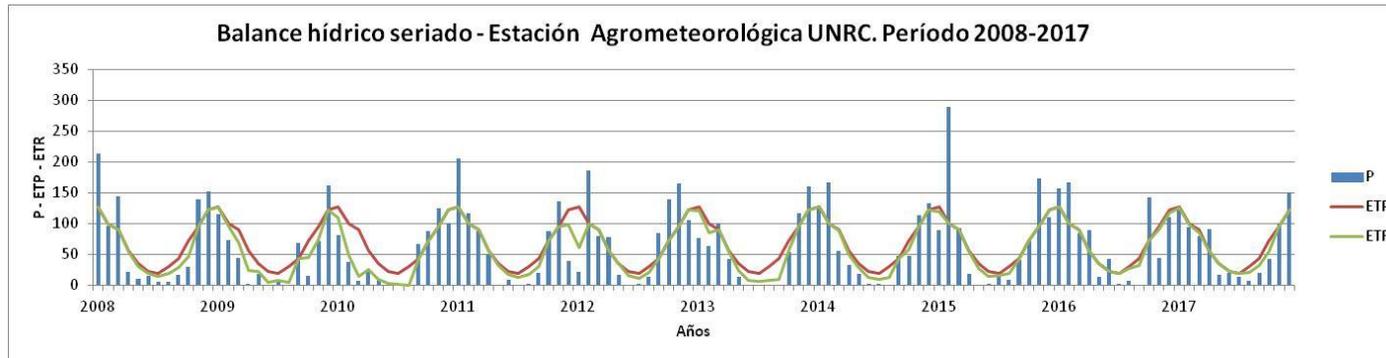


Figura V.5.d. Balance hídrico seriado. Estación Agrometeorológica Río Cuarto. 2008-2017.

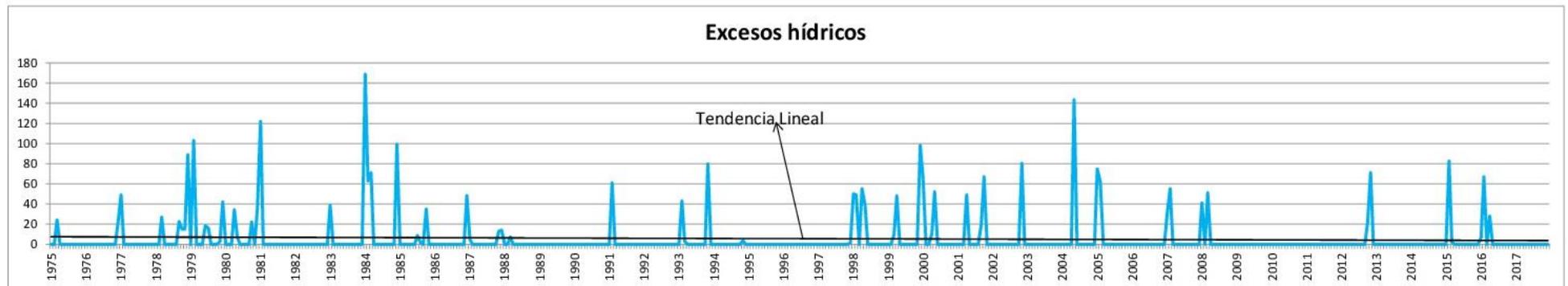


Figura VI.6. Excesos hídricos. Serie Estación Agrometeorológica Río Cuarto. 1975-2017.

## VI.6. Clasificación Climática

Esta metodología propuesta por Thornthwaite y Matter (1948) se basa en los valores promedios anuales de Precipitación (P), Evapotranspiración Potencial (ETP) y Evapotranspiración Real (ETR). A partir de ellos se calcula una serie de índices que permiten establecer el tipo de clima:

*Índice de Eficiencia térmica:* Permite clasificar el clima de la zona como Mesotermal.

*Índice Hídrico Anual:*

$$I_m = \frac{100 \times \text{exceso de agua} - 60 \times \text{deficiencia de agua}}{\text{necesidad de agua}}$$

*Índice de Humedad:*

$$I_h = \frac{100 \times \text{exceso de agua}}{\text{necesidad de agua}}$$

*Índice de Aridez:*

$$I_a = \frac{100 \times \text{deficiencia de agua}}{\text{necesidad de agua}}$$

Siendo:

$$\text{Exceso de agua} = P - ETR$$

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

$$\text{Deficiencia de agua} = ETP - ETR$$

Los valores obtenidos para la zona de estudio del área de la UNRC y sus alrededores son los expresados en la Tabla V.5 a continuación:

Tabla V.5. Valores calculados para clasificar el clima según Thornthwaite y Matter (1948).

Parámetro	Valor
P media anual	787mm
ETP media anual	815,5mm
ETR media anual	787mm
Exceso de agua	0mm
Necesidad de agua	815.5mm
Deficiencia de agua	28.5
<i>I<sub>m</sub></i>	-2,09 %
<i>I<sub>h</sub></i>	0%
<i>I<sub>a</sub></i>	3,49 %

De acuerdo al índice de Eficiencia Térmica y al Índice Hídrico Anual el clima en el área de estudio es de tipo mesotermal subhúmedo-seco con nulo o poco exceso de agua.

# Capítulo VII

## HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Las redes de drenaje de un ambiente quedan condicionadas principalmente por las características del medio físico, la dinámica de la atmósfera y el factor antrópico (Dasso et. al, 2014). Los sistemas hídricos de la provincia son numerosos, siendo uno de los más importantes el del río Cuarto, en el que se inscribe la zona de trabajo seleccionada.

### VII.1. Hidrología Superficial Regional

#### VII.1.1. Hidrometría e Hidrología Superficial Regional

El río Cuarto nace fuera de la zona de estudio en la unión de los ríos Las Cañitas y Piedras Blancas y pocos kilómetros aguas abajo recibe la afluencia de los ríos San Bartolomé/La Invernada y Las Barrancas/Seco. Antes de la confluencia con el río Seco, su faja posee dirección Suroeste-Noreste y un ancho variable entre 600 y 1.500 m, dos niveles de terrazas, un canal rectilíneo y su lecho es principalmente rocoso o cohesivo de forma que se presentan “meandros rectangulares” encajados o semiconfinados en secuencias de la Formación Pampiano o Chocancharava, ambas cementadas. Luego de la unión de los ríos nombrados anteriormente la carga areno-gravosa de fondo aumenta sustancialmente, el canal se ensancha y adopta diseño entrelazado y baja sinuosidad (Ulla, 2008, en Carignano et al. 2014).

En la zona de llanura, posterior a la confluencia del río Seco y antes de pasar por la localidad de Río Cuarto, no atraviesa grandes obstáculos estructurales y corre en dirección Noroeste-Sureste por su planicie aluvial (cuyo ancho promedio es de 2 km, aunque en algunas zonas llega hasta 4 km), su cauce toma moderada a baja sinuosidad, y desarrolla una tercera terraza al profundizar su valle. Desde Río Cuarto hasta la localidad de Reducción fluye en dirección Este, y luego Sureste por control estructural. Aguas abajo de Alejandro Roca, mantiene un curso Este-Sureste hasta proximidades de La Carlota, donde origina una zona de bañados. En cuenca baja se ha canalizado hacia los Bañados del Saladillo (Blarasin 2003; Carignano et al. 2014).

#### VII.1.2. Hidroquímica Superficial Regional

Los ríos y arroyos presentes en el Sur de Córdoba, incluyendo el río Cuarto, muestran la presencia de aguas de buena calidad, dulces y cuyos tenores salinos varían desde menos de 50 mg/L en algunos arroyos serranos en cuenca alta, 200 mg/L en cuenca media y en el orden de 1.300 mg/L en su desembocadura (Blarasin y Cabrera, 2005, Blarasin et al. 2014). Las aguas son de tipo bicarbonatadas cálcicas, aunque en cuenca media y baja se vuelven más sódicas, acompañado por un aumento de sulfatos y cloruros. En estos cursos se pueden ver procesos locales de degradación del recurso por actividades antrópicas (descarga de efluentes cloacales, volcado de residuos de actividades agropecuarias, basurales, entre otros) que se evidencian por aumentos de los tenores de nitratos entre 10 y 30 mg/L y en ocasiones altos recuentos de coliformes totales y fecales.

## VII.2. Hidrología Superficial Local

### VII.2.1. Hidrometría e Hidrología Superficial Local

El río Cuarto es el colector principal del área de estudio, con carácter permanente por el aporte del acuífero libre (ver capítulo VIII). Como se indicara en el capítulo previo, la red de drenaje del área estudiada está formada por bajos topográficos donde circulan esporádicamente escurrimientos excedentes de las precipitaciones hasta alcanzar a su colector principal

El caudal líquido de un curso de agua, es resultado de la sumatoria del caudal procedente de los escurrimientos superficiales, del escurrimiento subsuperficial, del subterráneo (caudal de base) y de las precipitaciones que caen sobre el mismo. En el caso del río Cuarto, como en los restantes de la región (Blarasin et al. 2014) las mayores contribuciones derivan de los escurrimientos superficiales y del aporte subterráneo, como se verá además en el capítulo VIII.

La cuenca del río Cuarto, como otras cuencas del Sur de Córdoba muestra crecidas muy importantes por su régimen torrencial. Esto se debe a que sus nacientes se encuentran en las Sierras de Comechingones en donde las rocas son muy poco permeables, hay alta pendiente y un régimen de precipitaciones con eventos de alta intensidad. A esto se suma el deterioro de la cubierta vegetal, que lleva a un aumento del escurrimiento superficial, de la erosión y de la carga sólida en los cursos fluviales (Blarasin, 2003).

La Ex Empresa de Agua y Energía de la Nación (1967) ha medido para el río Cuarto los siguientes caudales:

- Caudal Medio: 3, 57 m<sup>3</sup>/seg.
- Caudales instantáneos en estiaje: 1,7 m<sup>3</sup>/seg.
- Caudal máximo instantáneo en estiaje: entre 40 y 70 m<sup>3</sup>/seg.

Además, en crecidas anuales o bianuales el caudal llega a 250 m<sup>3</sup>/seg, con frecuencia de 10 años: 700 m<sup>3</sup>/seg y en crecidas con recurrencia de más de 100 años puede llegar a un caudal de 2.000 m<sup>3</sup>/seg.

Para evaluar diferentes peligros (inundaciones, erosión fluvial, etc.) se debe hacer un seguimiento de variables hidrológicas como el caudal y la altura del agua. Información parcial de estas variables pueden observarse en las Tablas VII.1 y 2. A partir de los datos que allí se exhiben se observa que los caudales de estiaje, entre 2 a 7 m<sup>3</sup>/seg, se dan entre los meses de Abril y Octubre y corresponden a agua aportada principalmente por el acuífero libre. Los menores caudales de los mencionados coinciden con el invierno debido a que son los meses más secos. Los mayores valores se encuentran en los meses de primavera-verano y están relacionados con los meses en los que se dan las mayores precipitaciones y la mayor cantidad de excesos hídricos en esta región. Las crecidas anuales superan entre 40 y 75 veces el caudal de estiaje e implican una altura de pelo de agua superior al metro, lo que explica la gran dinámica erosiva-sedimentaria que se da durante estos eventos y su impacto en la infraestructura (Degiovanni y Doffo, 2005).

Tabla VII.1. Altura de agua y caudal medidos con transductor de presión y método de sección media compensada. Estación de aforo Río Cuarto. Tomado de Degiovanni y Doffo (2005).

Fecha	Hora	Display	Altura agua	Caudal (m <sup>3</sup> /s)		Estación
				Medido	Inferido	
19/04/01	13:00	0,22	0,20	14,0		Pte. Juan Filloy
08/05/01	14:30	0,06	0,18	12,758		Pte. Juan Filloy
15/05/01	14:30	0,1	0,11	9,9		Pte. Juan Filloy
07/06/01	17:00	0,64	0,65	45,5		Pte. Juan Filloy
23/10/01	15:00	1,20	1,09	76,0		Pte. Juan Filloy
18/02/02	12:00	0,01			6,0	Pte. Juan Filloy
09/05/02	11:00	0,25			16,0	Pte. Juan Filloy
03/03/02	16:00	0,12			10,0	Pte. Juan Filloy
06/09/02	15:15	0,01			6,0	Pte. Juan Filloy
04/02/03	11:55	0,58			31,0	Pte. Juan Filloy
07/02/03	14:15	0,22			15,0	Pte. Juan Filloy
07/02/03(Pmax)					80,0	Pte. Juan Filloy
21/02/03	13:00	0,25		23,52		Pte. Juan Filloy
12/02/04	15:20			220,0		Pte. Islas Malvinas
25/05/04(Pmax)	16:30		1,20	151,0		Pte. Islas Malvinas
08/06/04	13:45			22,82		Pte. Islas Malvinas
26/11/04	12:10		1,5	340,0		Pte. Islas Malvinas

Tabla VII.2. Datos directos de la Estación de Aforo Puente Islas Malvinas. Tomados de la base de datos de aforo del departamento de Geología.

Fecha	Caudal (m <sup>3</sup> /s)						
12/09/2006	3,01	30/09/2006	4,25	25/12/2006	70,0	12/03/2014	10,0
13/09/2006	70	01/10/2006	10	07/01/2007	900,0	20/05/2014	8,3
14/09/2006	900	02/10/2006	8,33	22/10/2007	5,2	30/07/2014	4,0
15/09/2006	5,16	03/10/2006	3,97	17/09/2010	2,2	10/09/2014	1,8
16/09/2006	2,24	04/10/2006	1,81	15/09/2011	2,3	20/10/2014	2,6
17/09/2006	2,3	05/10/2006	2,61	29/09/2011	2,5	03/12/2014	3,6
18/09/2006	2,53	06/10/2006	3,63	08/03/2012	10,0	19/02/2015	22,6
19/09/2006	10	07/10/2006	22,63	26/04/2012	1,2	27/04/2015	5,4
20/09/2006	1,15	08/10/2006	5,41	11/06/2012	5,9	27/05/2015	5,0
21/09/2006	5,88	09/10/2006	4,96	15/08/2012	5,8	24/06/2015	2,6
22/09/2006	5,79	10/10/2006	2,57	27/09/2012	10,0	09/05/2016	19,6
23/09/2006	10	11/10/2006	19,56	11/12/2012	7,8	06/07/2016	10,2
24/09/2006	7,75	12/10/2006	10,17	13/05/2013	3,9	19/09/2016	5,4
25/09/2006	3,86	13/10/2006	5,38	02/07/2013	3,5	14/12/2016	8,3
26/09/2006	3,51	14/10/2006	8,34	15/08/2013	3,0	30/05/2017	6,5
27/09/2006	2,95	15/10/2006	6,47	10/10/2013	2,8	07/07/2017	6,9
28/09/2006	2,8	16/10/2006	6,93	18/11/2013	2,7	03/08/2017	5,0
29/09/2006	2,67	17/10/2006	4,96	23/12/2013	4,2		

## VII.2.2. El problema de los escurrimientos superficiales en el campus e inmediaciones

### VII.2.2.a. Intervenciones en el cauce del río Cuarto

Degiovanni y Doffo (2005) remarcan la importancia de las crecidas de recurrencia anual en el peligro de inundación de las terrazas bajas del río Cuarto, y el incremento del peligro de erosión en los tramos rectificadores del curso, tal como el caso de los *meandros 1* y *2* situados en las cercanías del Campus de la UNRC (Figura VII.1). Para disminuir el riesgo de erosión de márgenes y la afectación al campus y la ruta nacional N°36, se han realizado intervenciones en los mencionados meandros: En el meandro 1 se han practicado medidas menores como la construcción de espigones, forestación de márgenes y dragado del canal, especialmente luego de una creciente en el año 2014 que erosionó sobre la margen izquierda y puso en riesgo las edificaciones del Barrio Riverside.

El tramo del *meandro 2* se ha rectificado en el año 1996 a través de una canalización excavada sobre los materiales areno-gravosos, sin obras de atenuación complementarias. Entre los años 1970 y 1989 este meandro se trasladó y extendió, y posteriormente, hasta el año 2005 comenzó a rotar hacia aguas abajo (Degiovanni y Doffo, 2005). Como se observa en la Figura VII.1, desde el año 2006 hasta la actualidad, el *meandro 2* migró hacia el Norte, llegando en el año 2016 a una posición próxima a la que tenía previamente a la rectificación, pero para el 2017 migró nuevamente hacia el Sur.

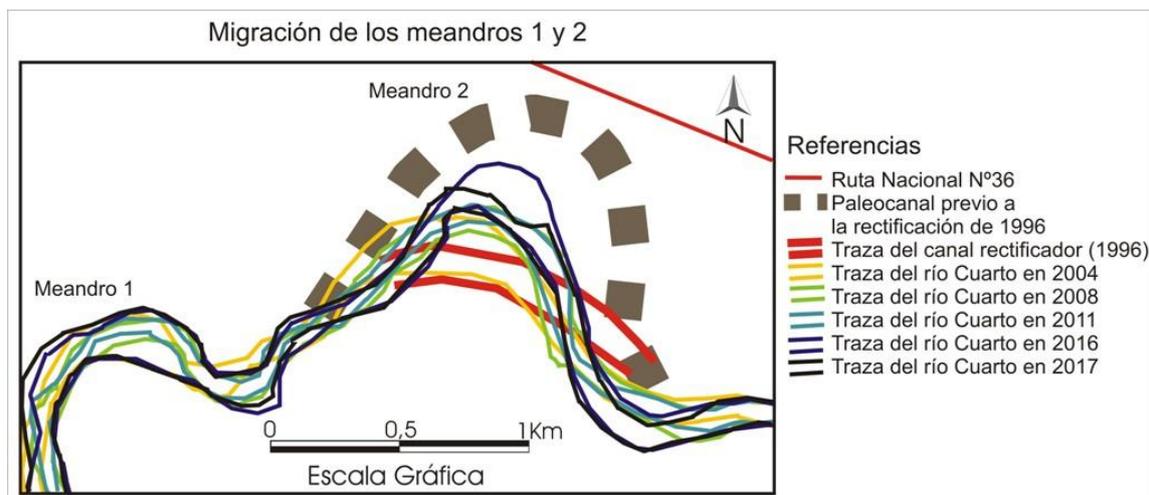


Figura VII.1. Trazas del río Cuarto entre los años 2004 y 2017. Generado con datos de Degiovanni y Doffo (2005) e imágenes satelitales de Google Earth.

### VII.2.2.b. Bajos topográficos afectados por erosión y obra de Desagües

Durante todo el año 2017 se han realizado obras (Figura VII.2) fundamentalmente en el paleocauce que pasa por la vieja Planta Piloto Ingeniería, el cual en diferentes tramos fue afectado por erosión hídrica e incluso tenía una laguna instalada (“Charca de las Brujas”) en el tramo ubicado al pie de la Planta Piloto.

Estas obras se realizaron para sistematizar los desagües y conducir los excedentes pluviales desde el sector Este del Barrio Jardín Norte, (próximo a la ruta nacional N° 36), la salida de este sistema de drenaje asociado a la ruta hasta la rotonda Marcelo T. de Alvear, y posteriormente por calle Guatemala hasta la intersección con la rotonda conocida como de la Universidad, para finalmente drenar hacia el río Cuarto desde la cárcava instalada sobre el paleocanal mencionado. También se procedió a realizar obras entre la calle Laguna Blanca y las vías del Ex Ferrocarril Mitre ya que hay un canal no revestido que recolecta los escurrimientos de las calles Guatemala, Cuba, Uruguay y

Paul Groussac y los conduce hacia una obra de cruce frente al complejo AGEC (Asociación Gremial Empleados de Comercio), que también desagua en el paleocanal que pasa por el predio de la UNRC y es conducido hacia el río Cuarto (Instituto Nacional de Recursos Hídricos, 2008).

La memoria ingenieril del proyecto (Instituto Nacional de Recursos Hídricos, 2008) expone que estas medidas estructurales drenarán un área de 1.007,6 km<sup>2</sup> y evitarán los problemas de inundaciones relacionadas al crecimiento urbano y al inadecuado manejo de las cuencas urbanas. Mediante modelos hidrodinámicos han calculado que la sistematización de desagües permitirá evacuar caudales del orden de 10,6 m<sup>3</sup>/s en el canal que pasa por la Rotonda de la Universidad, 23,5 m<sup>3</sup>/s por el canal aledaño al predio de AGECE, y en su unión hasta 32,2 m<sup>3</sup>/s para luego llegar hasta el río Cuarto con un caudal aproximado de 42 m<sup>3</sup>/s, para un tiempo de recurrencia de 25 años.

En la Figura VII.2 se muestra la ubicación de dos de las obras que se están construyendo actualmente en el predio de la UNRC (comparación en VII.3), las cuales tendrán además diferentes puntos de regulación de caudal.

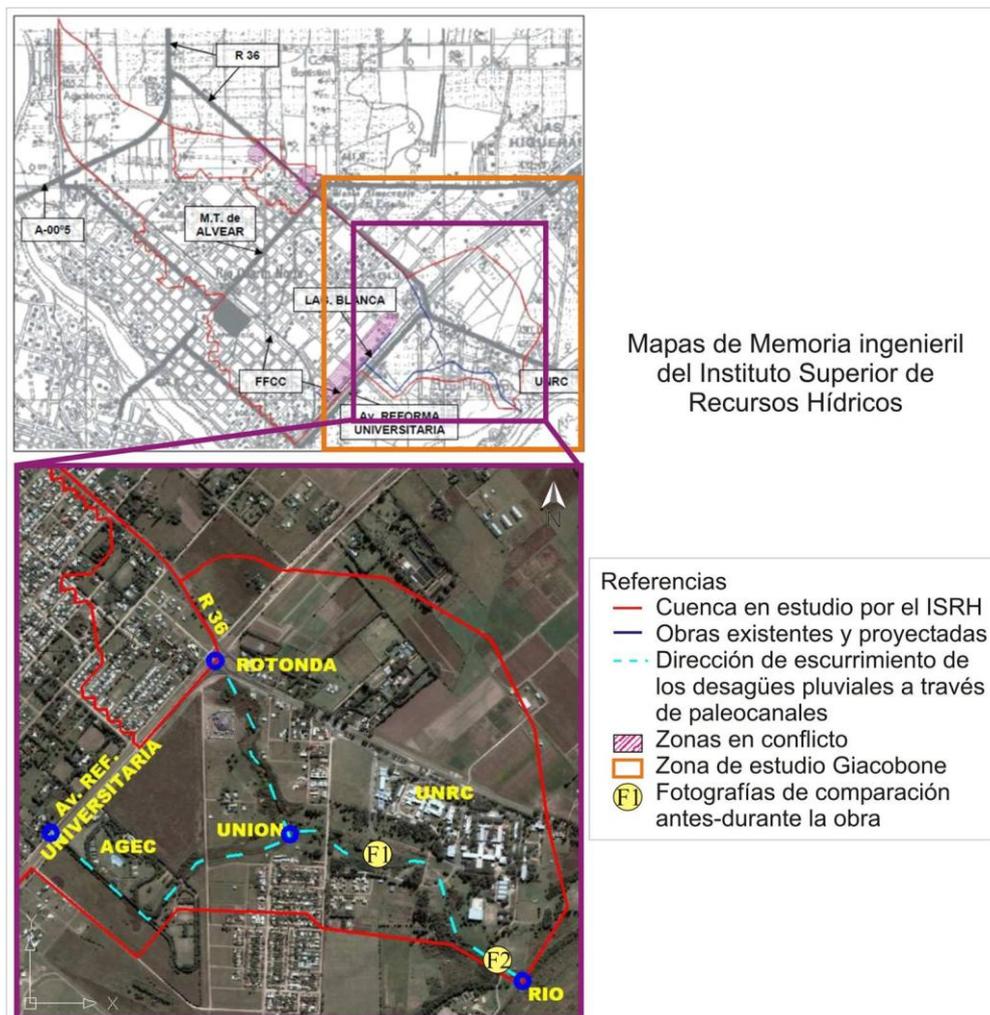


Figura VII.2. Mapas de la memoria ingenieril del Instituto Nacional de Recursos Hídricos con la ubicación de las obras existentes y proyectadas. Tomado del Instituto Nacional de Recursos Hídricos (2008).

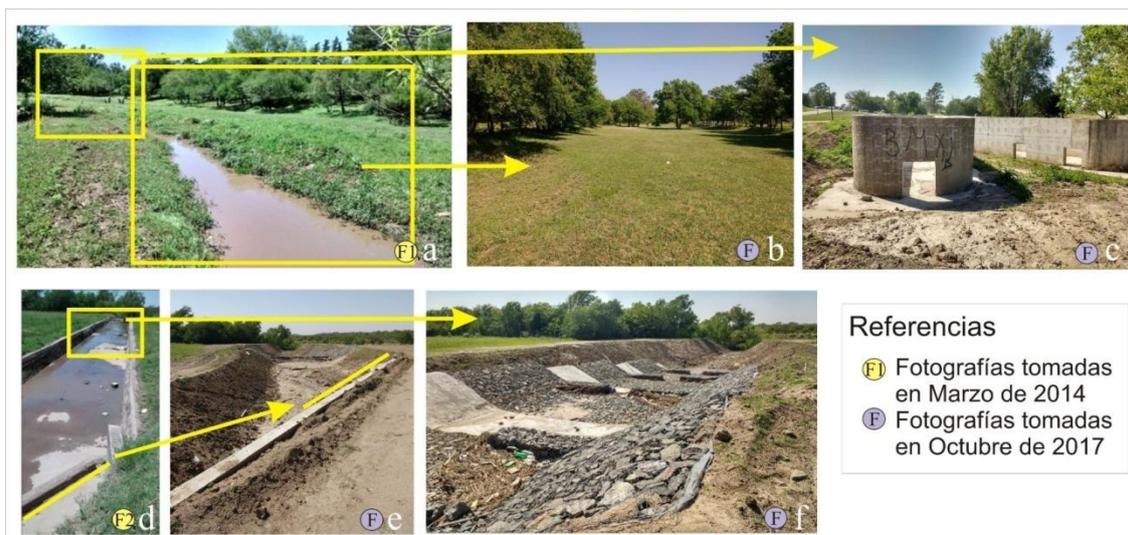


Figura VII.3. Comparación de sitios previos y durante a las obras de desagüe: a. Zona de la “Charca de las Brujas” previo a las obras. b y c. Zona de la “Charca de las Brujas” durante las obras. d. Canal de desagüe desde el predio de la UNRC hacia el río Cuarto previo a las obras. e y f. Canal de desagüe desde el predio de la UNRC hacia el río Cuarto durante las obras.

### VII.2.3. Hidroquímica Superficial Local

Si bien hay antecedentes de la calidad de agua del río Cuarto, para disponer de información actual se realizó el análisis físico-químico de una muestra de agua superficial, y como en el área estudiada el río recibe la llegada de un canal superficial permanente que conduce aguas procedentes de un efluente que procede del área material Río Cuarto/Las Higueras se procedió a muestrearlo, de manera de inferir la degradación que sufre el río luego de recibir estas aguas. Los lugares de extracción de las muestras superficiales se muestran en la Figura VII.4, y los resultados de los análisis físico-químicos realizados se muestran en la Tabla VII.3

Tabla VII.3. Resultado de los análisis Físico-Químicos de laboratorio de muestras de agua superficial.

Fecha	Procedencia	Nº	pH	CE	SDT	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	As	F <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		Muestra		[µS/cm]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[ug/L]	[ug/L]	[mg/L]	[mg/L]
23/08/2017	Río IV- UNRC	AD1	7.81	338	237	0	163	6.29	8.57	29.32	6.15	41.60	0.98	6	0.21	17.00
23/08/2017	Efluente Área Mat RC/LH	ED1	6.90	1249	874	0	640.0	15.73	31.43	153.69	20.51	68.80	4.39	4	0.52	3.00

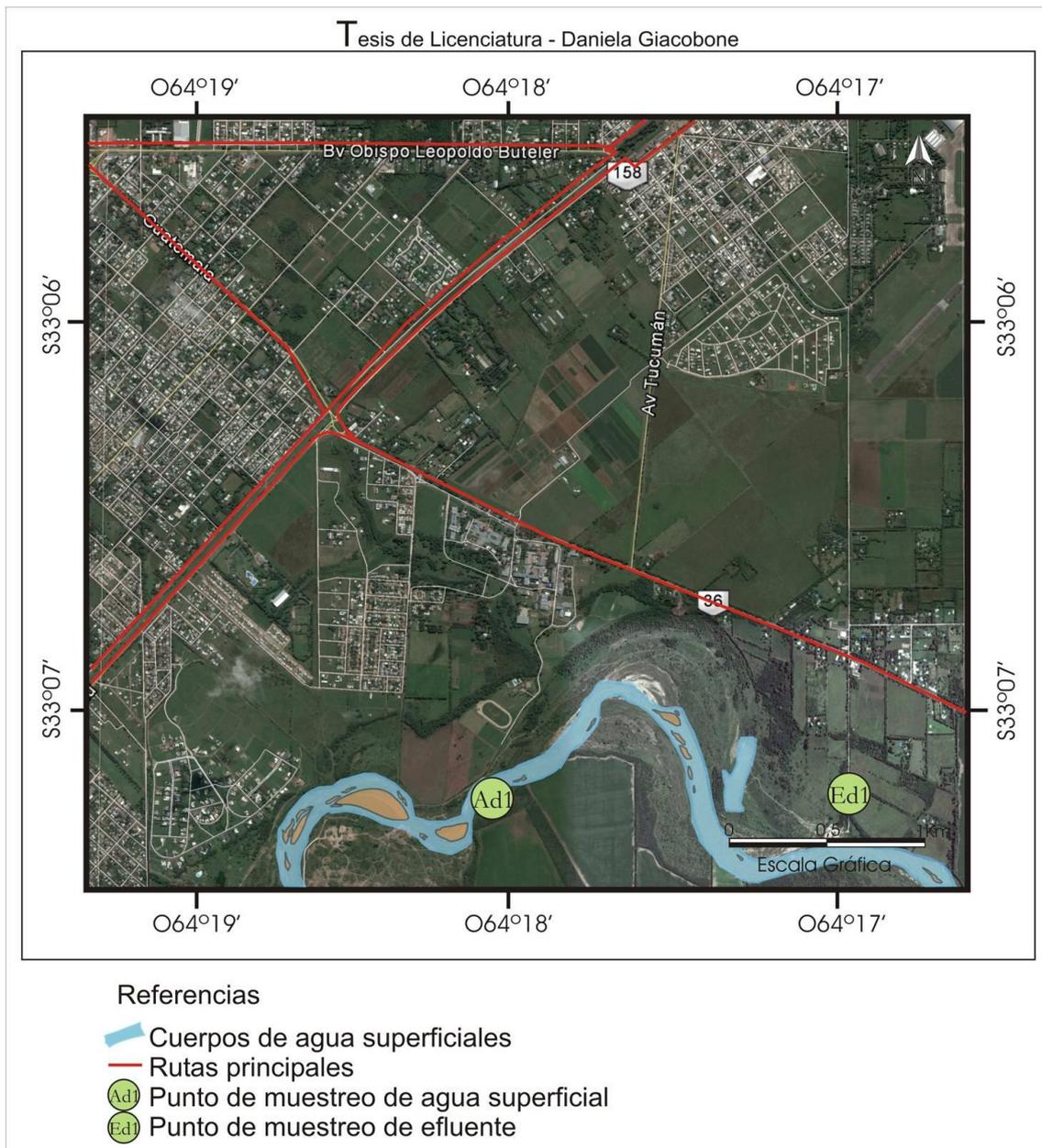


Figura VII.4. Mapa de Ubicación de muestras de agua superficial.

### VII.2.3.1. Conductividad Eléctrica

Uno de los valores de fácil medición en campo y que permite caracterizar la calidad del agua es la Conductividad Eléctrica (CE). Los Sólidos Disueltos Totales (SDT) o salinidad del agua están directamente relacionados con la Conductividad Eléctrica.

Se ha utilizado la clasificación de Custodio y Llamas (1983) de la Tabla VII.4 para clasificar ambas muestras siendo *Ad1* la que posee menor conductividad eléctrica y tenor salino, en concordancia con la hidroquímica regional, al encontrarse en la zona de cuenca media del curso del río Cuarto. Es similar además a datos obtenidos en muestreos previos (Blarasin, 2003) y se trata de un agua dulce, cuyo bajo contenido salado está muy relacionado al aporte superficial de agua dulces desde cabeceras serranas y a la circulación por un lecho de materiales muy gruesos con alta

componente de minerales poco meteorizables, por lo que se dificultan los procesos que transfieren iones a la solución.

El elevado valor de Sales Disueltas Totales de la muestra *Ed1* se debe a que, al tratarse de un efluente de tipo cloacal, los altos valores de los contenidos iónicos se corresponden con la alta carga de nutrientes típica de estos efluentes (especies del N, PO<sub>4</sub>, C, Ca, Mg, etc.). El aspecto y características de la muestra (olor fétido, coloración verde y viscosa) explica las concentraciones iónicas halladas. Si bien el río Cuarto no ha sido muestreado aguas abajo de recibir este efluente, debido a que las posibilidades de acceso al sector fueron imposibilitadas, se estima que la calidad del río se vea degradada por la llegada de aguas de estas características (ED1), aunque sólo será de forma local debido a la gran capacidad de oxigenación del río Cuarto, según lo manifiestan estudios antecedentes (Martínez de Fabricius, 1996, Martínez de Fabricius et al. 2017), vinculados al alto poder de autodepuración que posee el río debido a sus velocidades de circulación y características del lecho.

Tabla VII.4. Clasificación según salinidad del agua de Custodio y Llamas (1983).

Sales Disueltas Totales (mg/L)	Clasificación
<2.000	Dulce
2.000 - 5.000	Salobre
5.000 – 40.000	Salada
>40.000	Salmuera

#### VII.2.4.2. Clasificación Geoquímica

A todas las muestras estudiadas (superficiales y subterráneas) se las clasificó según los iones dominantes y se graficaron en diagramas de Piper-Hill (Figura VII.5) y de Stiff.

A partir de los datos obtenidos en los análisis físico-químicos de laboratorio se pudo determinar que las aguas del río Cuarto (muestra *Ad1*) son Bicarbonatadas Cálcicas, muy poco evolucionadas debido al rápido tránsito de las mismas y a la dificultad en cargarse en otros iones más solubles.

La clasificación de la muestra *Ed1* (efluente cloacal) muestra que es Bicarbonatada Sódica. Los bicarbonatos están en concentraciones mayores al doble que el promedio del resto de las muestras de la zona (ver Tabla VII.3 de este capítulo y VIII.16 del siguiente capítulo) y el catión dominante es Sodio, cambio geoquímico que tienen que ver con el origen ya explicado de los iones y compuestos en esta muestra.

El diagrama de Stiff de la muestra del río (no la del efluente) se dibujo, con fines comparativos con el sistema subterráneo, en el mapa donde se han colocado las muestras de agua subterránea como puede observarse en el capítulo VIII.

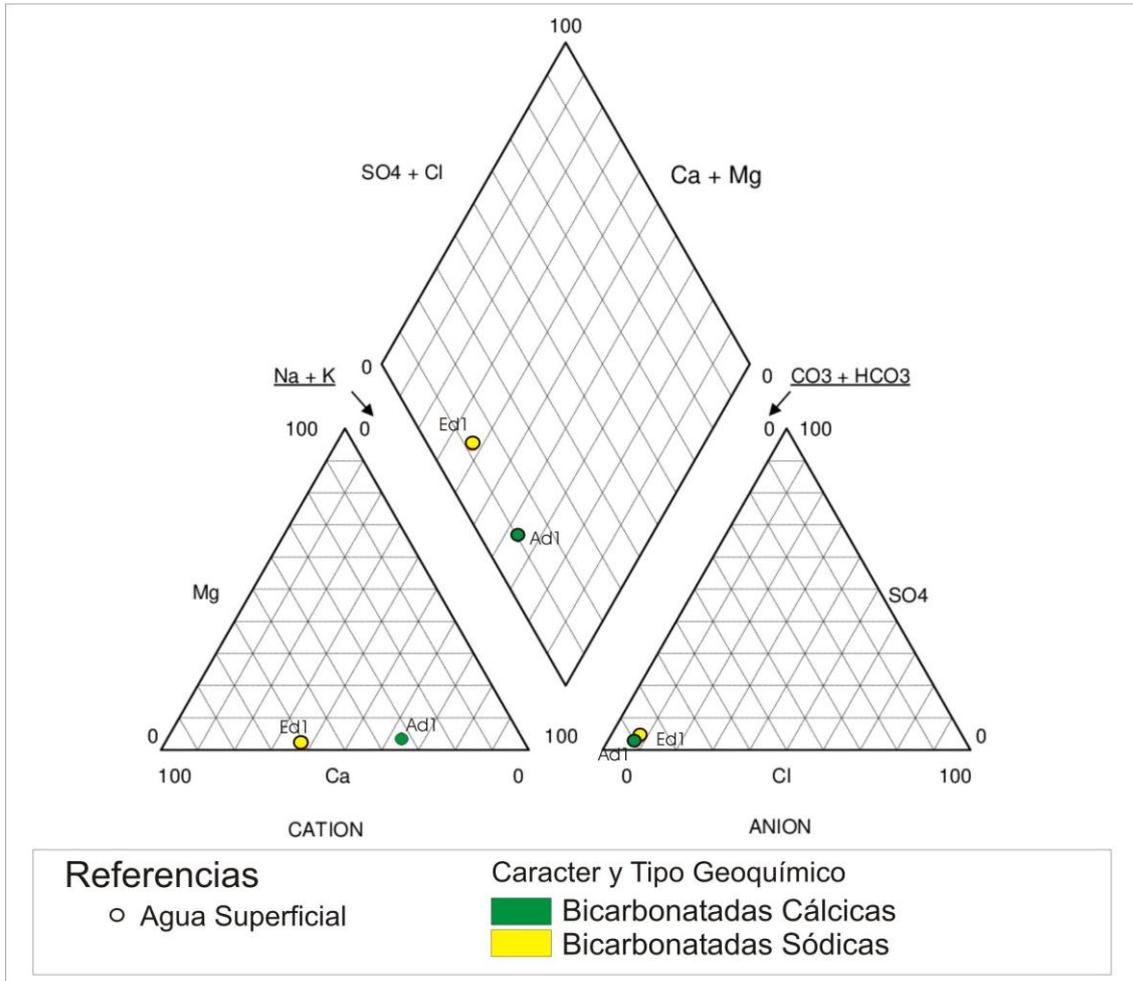


Figura VII.5. Diagrama de Piper-Hill para las muestras de agua superficial.

**VII.2.4.3. Dureza**

La dureza es la capacidad de consumir jabón del agua. En este caso se ha calculado en mg/L de Carbonato de Calcio, con un Software Online del Centro Canario del Agua (2015) en base a los mg/L de Calcio y Magnesio y posteriormente se los clasificó en base a la Tabla VII.5 propuesta por Custodio y Llamas (1983).

La muestra del río Cuarto (*Ad1*) es la que posee el menor valor de dureza, siendo de 107,93 mg/L de CaCO<sub>3</sub> y por lo tanto es algo dura; mientras que *Ed1*, con un valor de 189,9 mg/L de CaCO<sub>3</sub> es dura.

Tabla VII.5. Clasificación de la dureza del agua según Custodio y Llamas (1983).

Dureza en mg/L CaCO <sub>3</sub>	Clasificación de Custodio y Llamas (1983)
<50	Blanda
50-100	Algo dura
100-200	Dura
>200	Muy dura

# Capítulo VIII

## HIDROLOGIA SUBTERRÁNEA

### VIII.1. Hidrología Subterránea Regional

#### VIII.1.1. Hidrogeología e Hidrolitología Subterránea Regional

En la provincia de Córdoba se distinguieron dos grandes sistemas hidrogeológicos (Blarasin et al. 2014), los cuales se vinculan a las Provincias Geológicas Sierras Pampeanas y Llanura Chacopampeana. La estructura de bloques geológicos descendentes desde las sierras, las litologías, la geomorfología y las variaciones climáticas del Cuaternario son los controles fundamentales sobre el comportamiento hidrogeológico regional (Blarasin et al. 2014):

-*Sistema Hidrogeológico de las Sierras de Córdoba*: Incluye acuíferos en medios fracturados y además en medios sedimentarios en valles intermontanos y en Pampa de altura.

-*Sistema Hidrogeológico de la Llanura*: Esta planicie principalmente agradacional, ya descrita en capítulos anteriores, aloja al acuífero libre y capas acuíferas confinadas a distintas profundidades, y tiene mayor potencial hidrogeológico (mayores reservas y caudales posibles de extracción) que el *sistema fracturado*.

Mayor detalle de ambientes contenidos en los ya mencionados sistemas mayores se observan en el mapa Hidrogeológico de la provincia de la Figura VIII.1 (Blarasin et al. 2014).

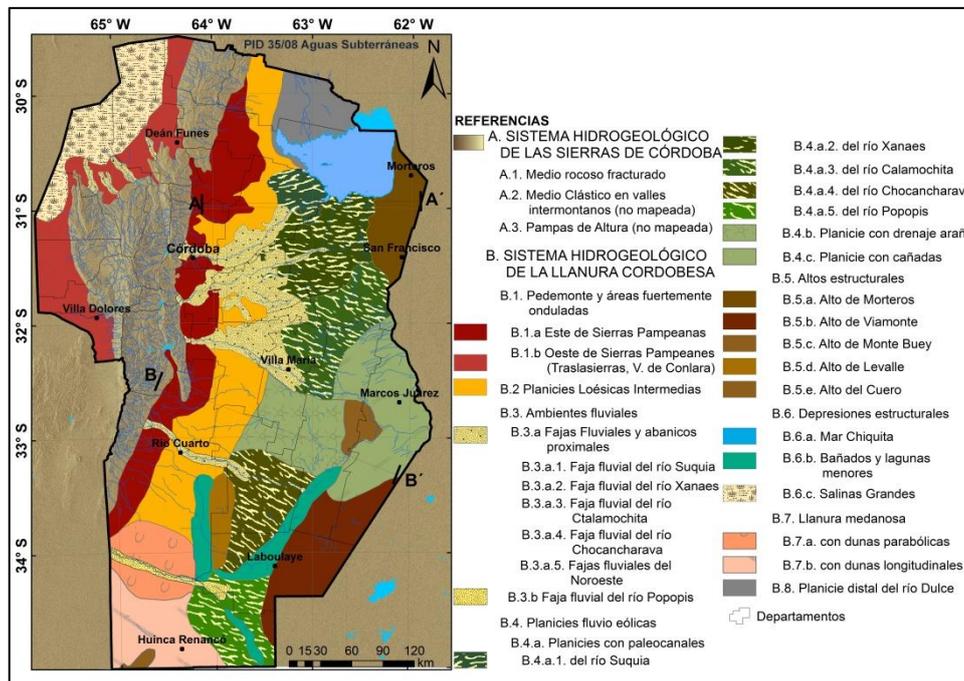


Figura VIII.1. Tomada de Blarasin et al. 2014.

La estratigrafía de las formaciones acuíferas de la región se puede observar en la Tabla VIII.1 tomada de Blarasin et al. (2014), que es una síntesis de los depósitos aflorantes y materiales identificados hasta los 450 m de profundidad dados a conocer para el Norte por CAAAS (1973) y para el Sur por Blarasin et al. (2000) y Blarasin (2003). Esta estratigrafía se extiende para toda la llanura cordobesa ya que contiene información

estratigráfica o geomorfológica de base de Cantú (1992), Iriondo y Krohling (1995), Carignano et al. (1999) y Blarasin y Cabrera (2005), entre otros.

Según Blarasin et al. (2014) los sedimentos que componen el acuífero libre regional son materiales Cuaternarios, de origen continental (eólico, fluvial y subordinadamente, palustre) que se conocen como sedimentos Pampeanos y Postpampeanos. Su espesor es variable, desde pocos metros en las proximidades de las serranías, hasta aproximadamente 80 a 100 m en la zona de llanura.

EDAD	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS	UNIDADES HIDROLITOLÓGICAS
	NORTE y SUR CORDOBA		
CUATERNARIO	Holoceno superior	EPIPARANIANO	Nivel freático a profundidad variable
	Holoceno medio		ACUÍFERO LIBRE (espesor variable hasta 80-100m)
	Holoceno bajo- Pleistoceno superior		
	Pleistoceno superior		
	Pleistoceno medio a superior		
	Pleistoceno bajo		
NEÓGENO	Plioceno	PARANIANO	ACUÍFEROS CONFINADOS (capas acuíferas intercaladas con capas acuitardas o acuícludas de diferente espesor, hasta profundidades de 450 m)
	Mioceno medio-superior		
PALEÓGENO	Eoceno	HIPOPARANIANO	

Tabla VII.1. Síntesis hidroestratigráfica para el Sur de Córdoba. Tomado de Blarasin et al. 2014.

Para el acuífero libre los materiales con mayor aptitud acuífera son los de las Formaciones *Chocancharava* y *Las Lajas* y otros sedimentos más profundos sin denominación formal, y se relacionan a las fajas fluviales de los principales ríos y arroyos. Su aptitud radica en las altas conductividades hidráulicas y altas transmisividades (que permiten obtener importantes caudales), mientras que los

alojados en formaciones eólicas o aluviales muy finas como *La Invernada* y *Laguna Oscura* son acuíferos más pobres y dan rendimientos muy bajos (Blarasin et al.2014). A mayores profundidades, para los sistemas acuíferos confinados (SAC), se distinguen dos ambientes de sedimentación: marino y continental para el sector oriental de la provincia de Córdoba, y continental para el sector occidental; de edad paleógena y neógena y en estos materiales se alojan los acuíferos confinados más importantes (Blarasin, 2003). Algunos acuíferos confinados más someros se alojan en los depósitos cuaternarios más viejos (Pleistoceno).

### VIII.1.2 Hidrodinámica Subterránea Regional

Como sucede en las regiones de relieve ondulado, en Córdoba se observa una jerarquización de los flujos de agua subterránea distinguiéndose niveles locales, intermedios y regionales que interactúan con el ambiente. Hay un flujo descendente en las áreas de recarga y ascendente en áreas de descarga como bañados y lagunas; este flujo está condicionado por la geología y geomorfología de la provincia, y condiciona también los procesos geoquímicos que ocurren en los acuíferos (Blarasin et al.2014).

Para toda la provincia el acuífero libre presenta un flujo de agua de tipo radial, divergente desde las sierras y hacia la periferia; siendo el ambiente pedemontano el área de recarga regional neta. El agua subterránea (Figura VIII.2) fluye hacia el Oeste y Noroeste en la zona de Traslasierra. En la llanura oriental fluye hacia el Este-Noreste en el Norte de Córdoba, descargando gran parte en la laguna Mar Chiquita. El agua fluye hacia el Sudeste en el Sur de la provincia, descargando parcialmente en los bañados del Tigre Muerto y en las lagunas Santa Ana, La Chanchera, los Bañados del Saladillo y las lagunas de Buchardo (Blarasin et al., 2014).

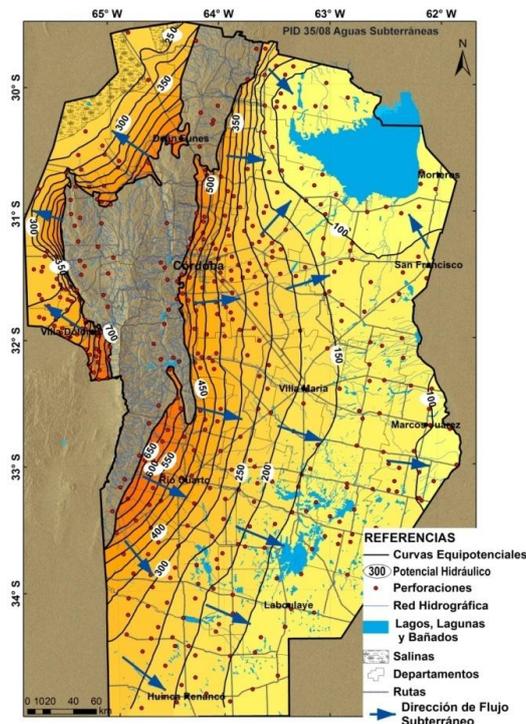


Figura VIII.2. Mapa de líneas equipotenciales para la provincia de Córdoba. Tomado de Blarasin et al. (2014).

Los cálculos de recarga de acuíferos muestran que las precipitaciones son la entrada principal de agua a los sistemas de agua subterránea de la zona de llanura (Blarasin et al. 2014). Además, la profundidad a la que se puede encontrar el nivel freático está condicionada por el relieve y fluctúa en respuesta a las lluvias de las estaciones y/o años más húmedos. La morfología de la capa freática es muy variable y depende de las características locales de cada sector, pudiendo ser plana, suavemente ondulada o radial (Blarasin y Cabrera, 2005).

### VIII.1.3. Hidroquímica Regional

El objetivo de hacer un estudio hidroquímico del acuífero es necesario para evaluar la interacción entre el agua y los sólidos y gases presentes en el subsuelo, permitiendo comprender su hidrodinámica y las reacciones químicas y sus efectos en los compuestos naturales y antropogénicos (Blarasin, 2003).

En el mismo sentido que la red de flujo de agua subterránea de la provincia, se observa una evolución geoquímica del agua (Figura VIII.3). Este aspecto queda evidenciado por el aumento de conductividad eléctrica en el sentido de circulación del agua (Figura VIII.4). En las fajas fluviales de los principales ríos y arroyos estos valores no superan los  $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ , aspecto fundamentalmente ligado a las litologías y granulometrías gruesas de esos ámbitos que impiden reacciones de meteorización y el paso de iones a la solución (Blarasin et al. 2014). La presencia de paquetes eólicos con cementaciones carbonáticas y las bajas pendientes condicionan el aumento de salinidad, dado el mayor tiempo de interacción agua-sedimento.

Otro parámetro que aumenta a medida que evoluciona el agua subterránea es el pH, dado que cuando el agua circula se van consumiendo protones en las diferentes reacciones de meteorización, y cambian las condiciones de predominantemente oxidantes a reductoras (Blarasin et al, 2014). En relación al tipo geoquímico, también se produce un cambio desde aguas Bicarbonatadas Cálcicas y/o Sódicas a Sulfatadas Sódicas y por último a Cloruradas Sódicas.

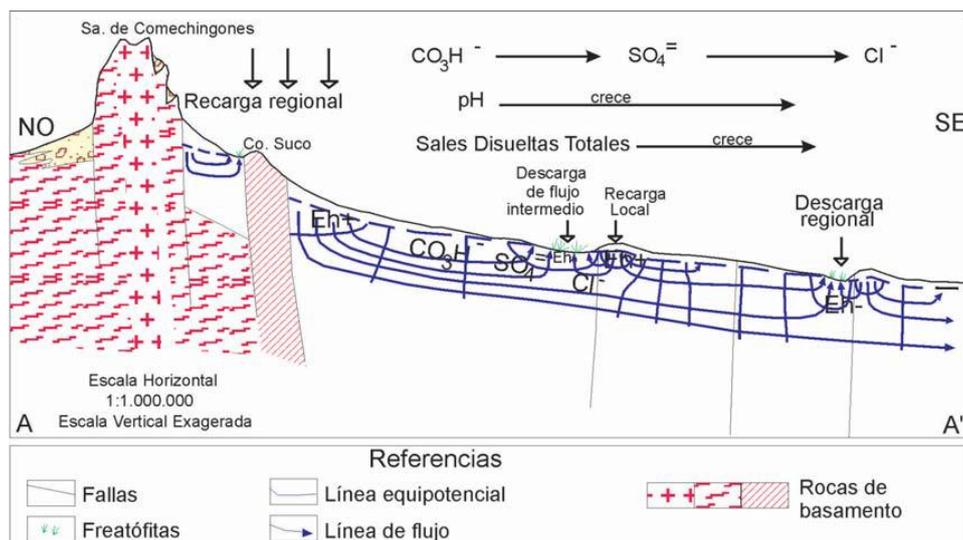


Figura VIII.3. Flujos regionales y locales de aguas subterráneas en el acuífero libre y sus manifestaciones en el paisaje del Sur de la provincia de Córdoba (Blarasin et al. 2014).

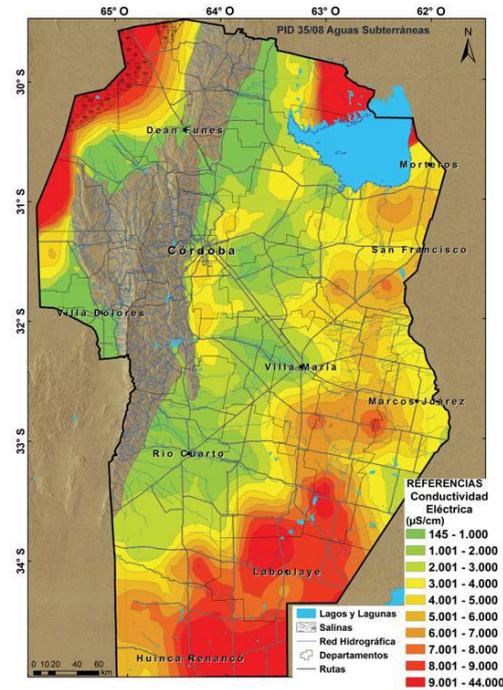


Figura VIII.4. Mapa distribución de la Conductividad Eléctrica para el acuífero libre, año 2013. Tomado de Blarasin et al. (2014).

## VIII.2. Hidrología Subterránea Local

El acuífero libre bajo estudio está ubicado en el *Sistema Hidrogeológico de la Llanura*, y más específicamente en la unidad “Faja fluvial del río Chocancharava” como se indica en la Figura VIII.1.

En el mapa de la Figura VIII.5 se pueden observar las perforaciones censadas y muestreadas para llevar a cabo el estudio geoquímico en esta tesis.

### VIII.2.1. Hidrolitología y aspectos Hidráulicos de las captaciones

En este apartado se analizan las características hidrogeológicas, especialmente las hidrolíticas, que son aquellas que determinan la capacidad de las rocas y/o sedimentos del acuífero libre para recibir, alojar y transmitir el agua subterránea.

El acuífero libre es de gran relevancia debido a que es la principal fuente de abastecimiento para las diferentes actividades que se realizan en el sector. Se aloja principalmente en materiales Cuaternarios de origen fluvial relacionados a la actividad pleistocena y holocena del curso del río Cuarto. Los sedimentos más finos hallados en diferentes perforaciones están relacionados en general a depósitos eólicos de edad pleistocena y holocena, como se indicara en el apartado de estratigrafía. Algunos paquetes de sedimentos finos hallados en perforaciones se corresponden con procesos fluviales de llanura de inundación que han depositado arenas muy finas limos y arcillas.

Según la metodología de Struckmejer y Margat (1995) el medio que contiene el agua es poroso de tipo clástico y heterogéneo debido a que los cambios de facies le confieren variaciones en los valores de Conductividad Hidráulica Media (K). Se debe tener en cuenta que Domenico y Schwartz (1990) según las distribuciones estadísticas han demostrado que los valores de K varían en 1 o 2 órdenes de magnitud en la

mayoría de las formaciones geológicas; de modo que se toman las formaciones con valores de K monomodales como Homogéneas y las formaciones Heterogéneas son multimodales (Blarasin, 2003).

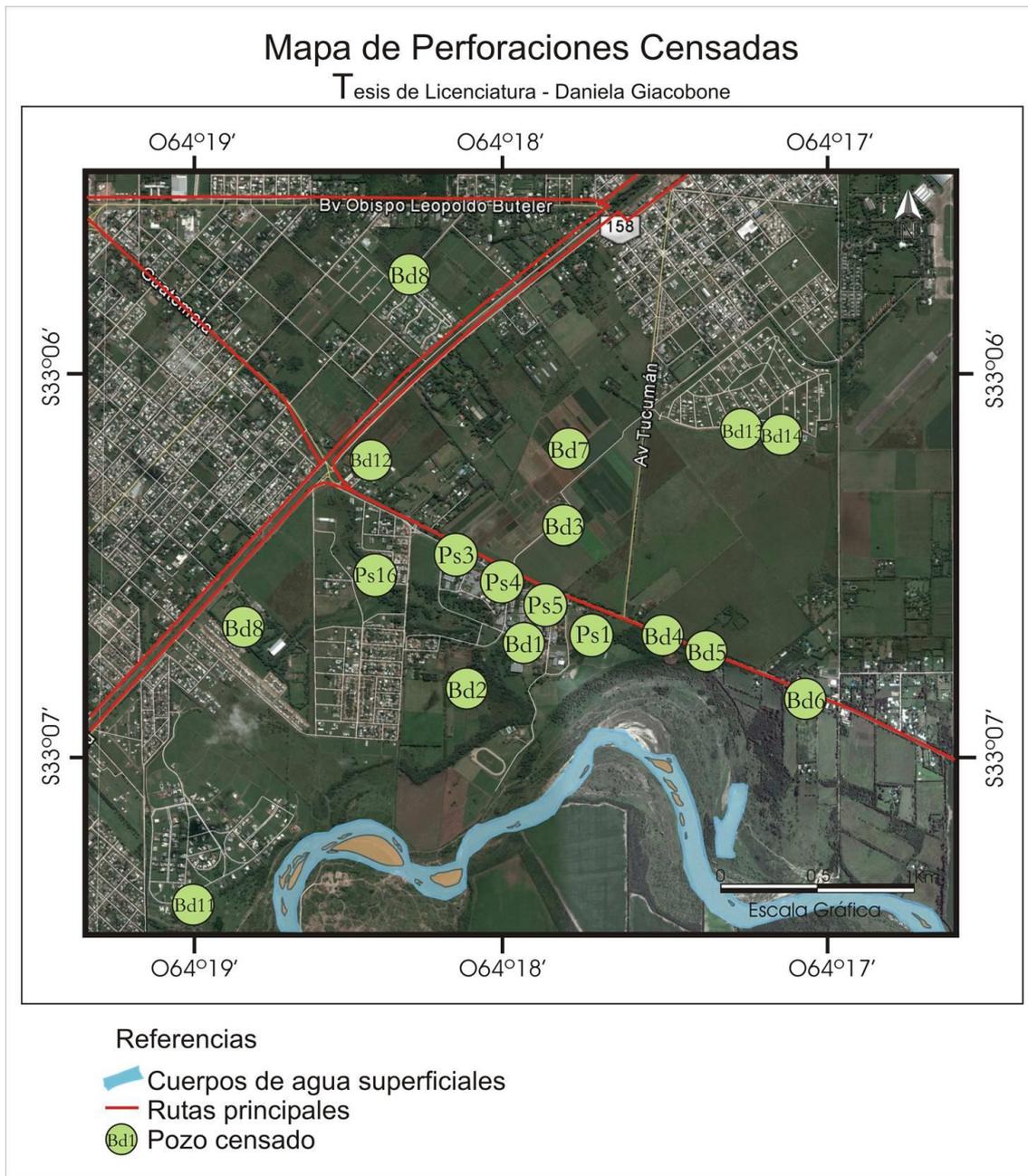


Figura VIII.5. Mapa de perforaciones relevadas y muestreadas.

Los datos recolectados de perfiles subterráneos y SEVs realizados en la zona permitieron definir que los sedimentos fluviales que conforman el acuífero libre son más que todo arenas medias y gravas, y que la potencia y predominancia de estas granulometrías es mayor en las cercanías de la faja fluvial del río Cuarto. También se ha observado la presencia de paleocauces intercalados entre los sedimentos eólicos, y en ese caso son de granulometrías tipo arenas gruesas y gravas. Los sedimentos eólicos, arenosos muy finos, cobran mayor importancia en el subsuelo del Norte y

Oeste del área en estudio, pero su explotación es menor debido a que casi todas las perforaciones interceptan capas fluviales de buena aptitud como las descritas anteriormente.

La base estimada del acuífero libre pudo ser determinada en pocas perforaciones, encontrándose entre los 73 y 81m aproximadamente. Se trata de sedimentos más finos con diferente grado de cementación.

Se cuenta con el diseño de varias perforaciones en el área de estudio los cuales se han obtenido de Blarasin (2003), informes de las Prácticas Profesionales de Alfonzo (2017), Gualde (2017) y Zunino (2017) o provistos por gentileza del Licenciado Juan Felizzia. Todos han sido realizados por empresas de perforación, entre las que se pueden nombrar Carranza Perforaciones, Caffaratti Perforaciones y Sosa perforaciones. Se detallan en la Figura VIII.6 algunos de los perfiles ya citados en este estudio, aunque en este caso desde una perspectiva hidrogeológica.

En ellos se muestran el diseño de perforación, realizado sobre la base de la potencialidad hidrolitológica de las formaciones atravesadas. En general, todas las perforaciones tienen caño camisa, pre-filtro de grava y se les ha colocado filtro de ranura continua, en pocos casos se han utilizado filtros de acero galvanizado. Muchas son perforaciones someras (entre 15 y 35 m de profundidad), pero las que explotan los caudales más importantes llegan a profundidades entre los 80 y 160 m. El modo de explotación es por medio de electro bombas sumergibles, centrífugas, etc. dependiendo de las características del pozo y en campo se observaron muchos casos de molinos de agua en desuso, aunque algunos se han refuncionalizado aprovechando el antepozo para perforar e instalar bombas centrífugas a una mayor profundidad.

Los caudales que se obtienen de las perforaciones son variables, obteniéndose desde 1-2m<sup>3</sup>/h en molinos hasta aproximadamente 15 m<sup>3</sup>/h en perforaciones pequeñas. Las de mayor porte de las censadas son las de la UNRC (Campo experimental con 600 m<sup>3</sup>/h y pileta con 500 m<sup>3</sup>/h) ambas con electrobomba sumergible, y captan de sedimentos de granulometrías fluviales muy gruesas. Los caudales específicos se encuentran en el orden de los 1,77m<sup>3</sup>/h/m hasta los 48 m<sup>3</sup>/h/m (en el caso de la pileta UNRC, de los más altos de la región) debido a la variabilidad de litologías y granulometrías de los depósitos fluviales.

#### **VIII.2.1.1. Cálculo de Conductividades Hidráulicas**

Desde el punto de vista hidrogeológico, se define a la Conductividad Hidráulica como el volumen de agua gravífica que atraviesa una sección de acuífero unitaria, cuando disminuye el gradiente hidráulico en una unidad a la temperatura de 20°C en un tiempo unitario (Custodio, 1993)

Blarasin (2003) optó por representar los valores de Conductividad Hidráulica en el ámbito de la Faja Fluvial del Río Cuarto con rangos debido a que el promedio no suele ser un valor representativo en estos ambientes: Los datos de ensayos de bombeos muestran variaciones desde 5 a 50 m/día, calificando a los materiales como acuíferos muy buenos a buenos (Custodio y Llamas, 1983).

Uno de los métodos más convenientes para determinar las propiedades hidráulicas de un acuífero son los ensayos de bombeo. Con ellos se obtienen resultados fidedignos que, por lo general, son representativos de un volumen acuífero mucho mayor que los obtenidos con otro tipo de procedimientos (permeámetros o cálculos con expresiones empíricas). Dado que para esta tesis no se pudieron llevar a cabo ensayos de bombeo

para estimar rangos de conductividades hidráulicas al acuífero en estudio, los valores se han obtenido de informes técnicos de perforaciones y la bibliografía consultada. Además, y por la gran representatividad que posee para el campus la perforación profunda de investigación (*Ps1*), se ha procedido a asignarle valores en base a un análisis textural exhaustivo realizado en la etapa de laboratorio.

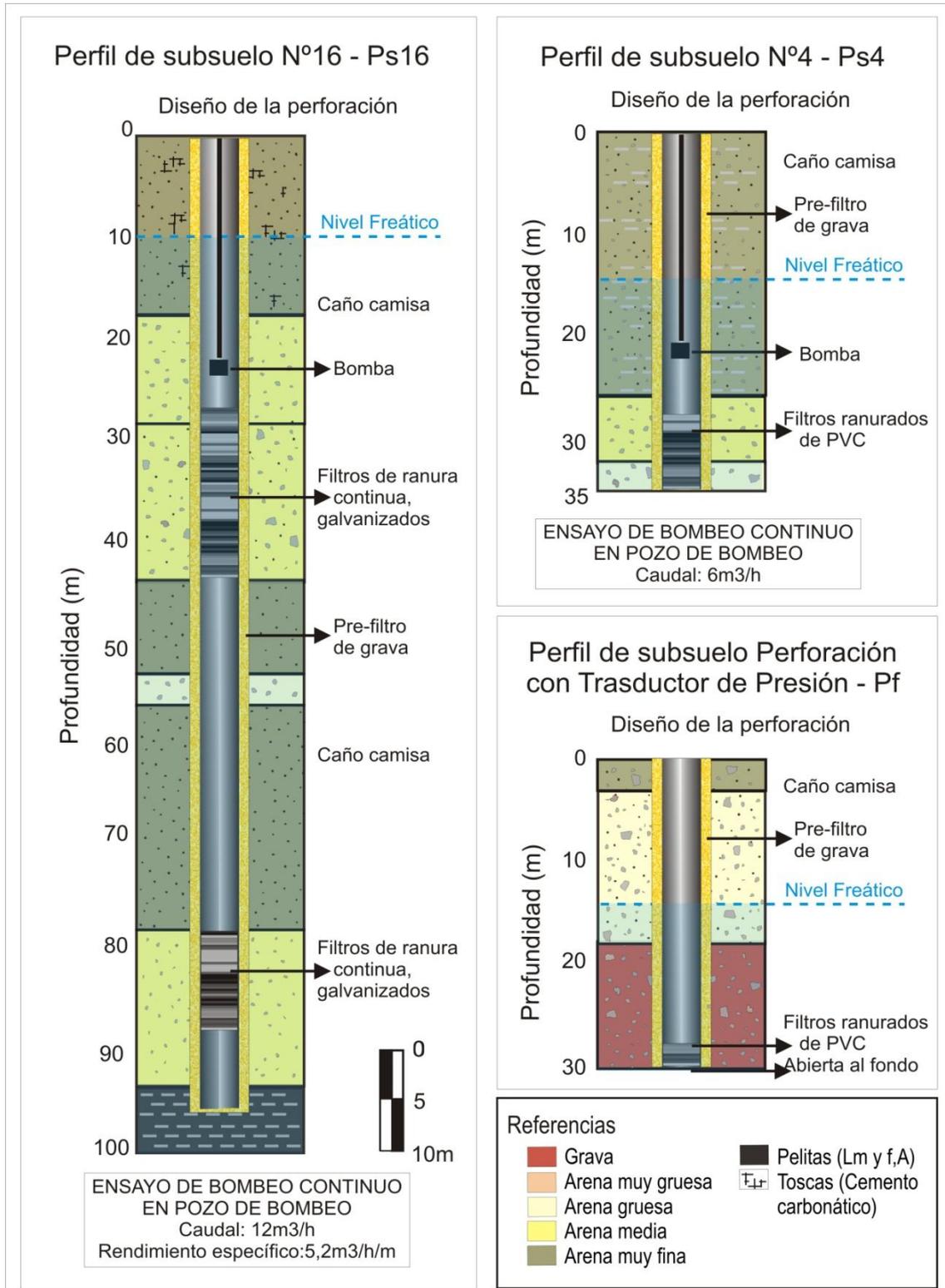


Figura VIII.6. Diseño de perforaciones de interés en el área de estudio.

*Perfil de subsuelo 1:*

En una primera instancia a este perfil (Giacobone, 2017) se le asignaron valores de Conductividad Hidráulica tomados de tablas según la clasificación propuesta por Fetter (1994) en base a los materiales representativos para cada profundidad del acuífero. Sin embargo, dado que se pueden sobrevalorar las conductividades hidráulicas, especialmente en los rangos de materiales gravosos y areno-gravosos, se decidió utilizar otra metodología para estimar este parámetro.

Se utilizaron los datos obtenidos del análisis granulométrico de laboratorio entre los 0 y 150 m, profundidad por debajo de la cual ya aparecen materiales que constituyen otras capas acuíferas.

Los valores de conductividades hidráulicas se calcularon de dos maneras:

- a. Con el Software HydroGeoSieveXI (2015), una herramienta de Excel que la estima a partir del tamaño de grano, y
- b. Con la metodología Perfil Granulométrico Porcentual (PGP) desarrollada por Fili y Kolomi (Pérez, 2007).

a. En el primer caso, el Software HydroGeoSieveXI brinda una técnica de bajo costo y simple para estimar Conductividades Hidráulicas mediante diferentes ecuaciones de distintos autores que se basan en valores granulométricos porcentuales, cuyo resultado final es muy variado entre las diferentes ecuaciones. En este tipo de procedimientos de laboratorio y gabinete hay una serie de factores que disminuyen la obtención de un valor totalmente representativo como el que se puede obtener mediante ensayos de bombeo, entre los que se pueden nombrar: La heterogeneidad geológica del acuífero, la naturaleza de la porosidad, pequeños efectos relacionados al tamaño de grano y su empaque, y en algunos casos la presión de agua en los poros (Devlin, 2016). A pesar de esto, y aunque las muestras no guardan todas características naturales de la yacencia, se decidió utilizar este tipo de metodologías empíricas porque se ha comprobado que las estimaciones de la conductividad hidráulica para arenas y gravas es buena contrastando con diversos autores, y porque propone más de una técnica para hacerlo, de forma que el usuario puede elegir la que mejor se adapte a las muestras.

La salida del programa propone 15 valores de conductividad hidráulica basada en ecuaciones de diversos autores (Ver TablaVIII.2) con los que también obtiene promedios geométrico y aritmético, haciendo un total de 17 valores diferentes de K. En este caso se decidió utilizar los valores de:

-Promedio Aritmético: El Software realiza un promedio aritmético entre todos los resultados de Conductividad hidráulica que obtiene mediante las 15 fórmulas. Estas son las ecuaciones de Hazen simplificada (Freeze y Cherry, 1979), Hazen (1892), Slichter (1898), Terzaghi (1925), Beyer (1964), Sauerbrei (1932), Vuković y Soro (1992), Krüger (1919), Kezeny-Carmen (1953), Zunker (1930), Zamarin (1928), USBR (Bialas, 1966), Barr (2001), Alyamani y Sen (1993), Chapuis (2004) y Krumbein y Monk (1942).

-Fórmula de Hazen simplificada (Freeze y Cherry, 1979): Recomendada para arenas uniformemente gradadas.

-Beyer (1964): Para granulometrías en las que el tamaño de grano correspondiente al 10 % en peso de la muestra tiene entre 0,006 y 0,06 cm.

- Sauerbrei (1964): Para arenas y arenas arcillosas en las que el percentil 17% es menos a 0,05cm.
- Krumbein y Monk (1942): Para arenas naturales con una distribución de tamaño de grano lognormal; parece una metodología más adecuada para la distribución granulométrica presente en las muestras de Ps1.

De esta forma se generaron gráficos para comparar los 15 diferentes valores de Conductividad Hidráulica que calcula el Software (Anexo 2) para cada tramo de la perforación Ps1.

Tabla VIII.2. Tomada de Devlin (2016).

Fuente	N	$\varphi(n)$	$d_e$	Condiciones Aplicables
Hazen simplificada (Freeze y Cherry, 1979)	$10 \frac{\mu}{\rho g}$	1	$d_{10}$	Arenas uniformemente gradadas, $n = 0.375$ $T = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$
Hazen (1892) <sup>a</sup>	$6 \times 10^{-4}$	$[1+10(n-0.26)]$	$d_{10}$	$0.01 \text{ cm} < d_{10} < 0.3 \text{ cm}$ $U < 5$
Slichter (1898) <sup>a</sup>	$1 \times 10^{-2}$	$n^{3.287}$	$d_{10}$	$0.01 \text{ cm} < d_{10} < 0.5 \text{ cm}$
Terzaghi (1925) <sup>a</sup>	10.7 x 10 <sup>-3</sup> granos lisos 6.1 x 10 <sup>-3</sup> granos gruesos	$\left(\frac{n - 0.13}{\sqrt[3]{1 - n}}\right)^2$	$d_{10}$	Suelos arenosos, arenas gruesas
Beyer (1964) <sup>a</sup>	$5.2 \times 10^{-4} \log \frac{500}{U}$	1	$d_{10}$	$0.006 \text{ cm} < d_{10} < 0.06 \text{ cm}$ $1 < U < 20$
Sauerbrei (1932) <sup>a</sup> (Vuković y Soro, 1992)	$(3.75 \times 10^{-5}) \times \tau$ $\tau \cong 1.093 \times 10^{-4} T^2 + 2.102 \times 10^{-2} T + 0.5889$	$\frac{n^3}{(1 - n)^2}$	$d_{17}$	Arenas y arcillas arenosas $d_{10} < 0.05 \text{ cm}$
Krüger (1919) <sup>a</sup>	$4.35 \times 10^{-4}$	$\frac{n}{(1 - n)^2}$	$\frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{\Delta w_i}{d_i}}$	Arenas medias $U > 5$ $T = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$
Kozeny-Carmen (1953) <sup>a</sup>	$8.3 \times 10^{-3}$	$\frac{n^3}{(1 - n)^2}$	$d_{10}$ ó $\frac{1}{\frac{3}{2} \frac{\Delta w_1}{d_1} + \sum_{i=2}^m \Delta g_i \frac{d_i^g + d_i^d}{2 d_i^g d_i^d}}$ $d_1 = \frac{1}{\frac{1}{2} \left( \frac{1}{\frac{1}{d_i^g} + \frac{1}{d_i^d}} \right)}$	Arena gruesa
Zunker (1930) <sup>a</sup>	0.7 x 10 <sup>-3</sup> para granos angulares, no uniformes, arcillosos 1.2 x 10 <sup>-3</sup> para no uniformes 1.4 x 10 <sup>-3</sup> para granos gruesos uniformes 2.4 x 10 <sup>-3</sup> para arenas uniformes, granos redondeados	$\frac{n}{(1 - n)}$	$\frac{1}{\sum_{i=1}^m \Delta g_i \frac{d_i^g - d_i^d}{d_i^g d_i^d \ln \left( \frac{d_i^g}{d_i^d} \right)}}$	No para fracciones más finas que $d = 0.0025 \text{ mm}$

Zamarin (1928) <sup>a</sup>	$8.65 \times 10^{-3}$	$\frac{n^3}{(1-n)^2} C_n$ $C_n = (1.275 - 1.5n)^2$	$\frac{1}{\sum_{i=1}^m \Delta g_i \frac{\ln\left(\frac{d_i^g}{d_i^d}\right)}{d_i^g - d_i^d}}$	Arenas de granulometría gruesa sin fracciones con $d < 0.00025 \text{ mm}$
USBR (United States Bureau of Reclamation) (Bialas, 1966) <sup>a</sup>	$(4.8 \times 10^{-4})(10^{0.3})$	1.0	$d_{20}^{1.15}$	Medium grained sands with $U < 5$ ; derived for $T = 15 \text{ oC}$
Barr (2001)	$\frac{1}{36)5C_s^2}$ $C_s^2 = 1$ para granos esféricos $C_s^2 = 1.35$ para granos angulares	$\frac{n^3}{(1-n)^2}$	$d_{10}$	Sin especificar
Alyamani and Sen (1993)	1300	1.0	$[I_o + 0.025(d_{50} - d_{10})]$	Sin especificar
Chapuis (2004)	$\frac{\mu}{\rho g}$	$10^{1.291\xi - 0.6435}$ $\xi = \frac{n}{1-n}$	$d_{10}^{\frac{10^{(0.5504 - 0.2937\xi)}}{2}}$	$0.3 < n < 0.7$ $0.10 < d_{10} < 2.0 \text{ mm}$ $2 < U < 12$ $d_{10}/d_5 < 1.4$
Krumbein y Monk (1942)	$7.501 \times 10^{-6}$	$e^{(-1.31 \times \sigma\phi)}$ $\sigma\phi = \frac{d_{84\phi} - d_{16\phi}}{d_{95\phi} - d_{5\phi}}$ $\frac{4}{6.6}$	$2^{\left(\frac{d_{16\phi} + d_{50\phi} + d_{84\phi}}{3}\right)}$	Arenas naturales con distribución de tamaño de grano log normal

Siendo:

<sup>a</sup>Indica fórmulas extraídas de Vuković y Soro (1992)

$N$  = Constante dependiente de las características del medio poroso

$\varphi(n)$  = Función de la porosidad

$T$  = Temperatura del agua (°C)

$g = 980 \text{ cm s}^{-2}$

$\rho = 3.1 \times 10^{-8}T^3 - 7.0 \times 10^{-6}T_2 + 4.19 \times 10^{-2}T + 0.99985$

$\mu = -7.0 \times 10^{-8}T^3 + 1.002 \times 10^{-5}T^2 - 5.7 \times 10^{-4}T + 0.0178$

$\tau = 1.093 \times 10^{-4}T^2 + 2.102 \times 10^{-2}T + 0.5889$

$n$  = Porosidad como fracción del volumen del acuífero

$d_i^g$  = El máximo diámetro de grano en la fracción  $i$

$d_i^d$  = El mínimo diámetro de grano en la fracción  $i$

$d_{10}$  = Tamaño de grano (cm) correspondiente al 10% en peso pasante a través de los tamices

$d_{20}$  = Tamaño de grano (cm) correspondiente al 20% en peso pasante a través de los tamices

$d_{50}$  = Tamaño de grano (cm) correspondiente al 50% en peso pasante a través de los tamices

$d_{60}$  = Tamaño de grano (cm) correspondiente al 60% en peso pasante a través de los tamices

$U = d_{60}/d_{10}$

$\Delta g_i$  = La fracción de masa que pasa entre los tamices  $i$  y  $i+1$ , donde  $i$  es el tamiz más

$\Delta w_i$  = Fracción del peso total de la muestra con el identificador de la fracción " $i$ "

$d_i$  = Diámetro de grano medio de la fracción  $i$

$m$  = Número total de fracciones

$d_{i\phi}$  = Diámetro de grano medio de la fracción  $i$  en unidades de phi ( $\Phi = \log_2(d_e/d_o)$ ,  $d_e$  en mm,  $d_o = 1 \text{ mm}$ )

$I_o$  = Intercepción-x (tamaño de grano) de una curva de retención de grano planteada en ejes aritméticos y enfocada en los datos por debajo del 50% retenido

b. En cuanto al PGP de Fili y Kolomi (Pérez, 2007), se utiliza para arenas de grano medio con coeficiente de uniformidad menor a 5, y también utiliza el perfil granulométrico obtenido en laboratorio reordenando los datos de la muestra en un compuesto ternario A, B y C. El componente A se compone de la fracción pelítica (Arcillas y Limos pasantes por el Tamiz ASTM 230), B por la fracción arena fina y muy fina (pasante por el Tamiz ASTM 60 y retenida en el 230) y C por la fracción arena media a gruesa (pasante por el Tamiz ASTM 5 y

retenida en el 60) los valores calculados para realizar la metodología se pueden observar en las Tablas VIII.3 y 4.

De tal forma los porcentajes que corresponden a los compuestos ternarios se vuelcan al diagrama triangular propuesto por la USDA (United States Department of Agriculture) y adaptado por Fili y Kolomi (Figura VIII.7) para determinar un punto dentro de alguna de las zonas de diferente Conductividad Hidráulica que lo componen.

Tablas VIII.3(izq.) y 4(der.): Datos originales del tratamiento granulométrico en laboratorio y el reordenamiento de datos originales del tratamiento granulométrico en compuestos ternarios.

Profundidad		Tamiz (peso retenido)								
Desde	Hasta	Grava T5	Sábulo T10	Arena muy gruesa T18	Arena gruesa T35	Arena media T60	Arena fina T120	Arena muy fina T230	Limo grueso T270	Pelitas Tfondo
0,0	2,0	3,3	5,1	10	9,8	5,3	7,3	17,6	7,4	2,8
2,0	4,0	2,4	7,3	12,6	15,4	8,9	6,8	15,3	5,6	2,6
4,0	6,5	3,7	7	12,9	20,1	13,5	16,1	18,3	5,9	4,9
6,5	10,0	3,8	9,8	15,2	20,3	14	5	8,2	2,8	3,9
10,0	20,0	5,2	4,8	7	18,6	18,4	7,1	11,9	2,4	4,6
20,0	24,0	10,5	16,9	19,6	13,6	1,9	0,2	0,6	0,2	0,3
24,0	28,0	10,1	15,1	15,8	11,1	7,5	4,4	1,9	0,5	0,5
28,0	31,5	17,4	12,6	10,1	6,1	1,5	0,1	0,3	0,1	0,1
31,5	34,0	2	6,4	16,5	25,9	8,6	0,6	1	0,5	0,7
34,0	39,0	11,5	4,2	4,3	4,7	2,7	1,6	8,9	4,3	12,8
39,0	42,0	2	6,4	16,5	25,9	8,6	0,6	1	0,5	0,7
42,0	48,0	25	14,2	14,6	9,5	2,4	0,8	1,9	0,5	1
48,0	51,5	0,9	3	6	10,9	9,9	5,1	5	2,5	2,7
51,5	55,0	8	8,2	9,8	11,7	11,7	3,2	3	0,7	3,3
55,0	59,0	1,8	2,6	4,5	6,5	5,9	2,3	2,4	0,8	6,6
59,0	66,0	52,2	17,6	16,8	14	4,1	2,3	10,1	3,7	12,4
66,0	73,0	9,8	4,9	7,7	9,2	6,6	2,6	6,4	2,5	4,3
73,0	81,0	1,2	3,7	5,2	5,7	4,8	4,3	6,7	7,3	6,6
81,0	90,0	13,6	14,3	10,2	7,9	3,2	1,2	2,7	1,3	13,3
90,0	99,0	1,9	4,1	7,9	5,9	3,4	2,4	3,4	1,1	2,8
99,0	102,5	3,9	4,3	6,2	6,5	3,5	1,3	4	2,5	16,5
102,5	108,0	1,2	9	11,4	8,7	3,8	1,7	1,7	1	8,6
108,0	120,0	0,8	3,9	4,2	3,9	3,6	3,4	2,6	0,8	10
120,0	140,5	0,7	6,7	10,1	10,5	9,4	6,8	4,9	1,5	8,1
140,5	146,5	0,2	1	0,3	9,4	7	4,6	3,4	1,4	6,9
146,5	148,5	6,7	18,1	20,4	16,4	5,9	1,3	1,4	0,5	4,1
148,5	150,0	0,2	4,1	5,9	5,7	7,2	6	5,4	1,5	18,8

% A – F, limo-arcillosa (pasante por T230)	% B – F, arena fina y muy fina (pasante T60, retenido T230)	% C – F, arena mediana a gravas (pasante T5, retenido T60)	PGP Fili y Kolomi K (cm/s)	PGP Fili y Kolomi K (m/día)
14.87	36.30	48.83	0.05	43.2
10.66	28.74	60.60	0.05	43.2
10.55	33.59	55.86	0.05	43.2
8.07	15.90	76.02	0.09	77.76
8.75	23.75	67.50	0.07	60.48
0.78	1.25	97.96	0.1	86.4
1.49	9.42	89.09	0.1	86.4
0.41	0.83	98.76	0.2	172.8
1.93	2.57	95.50	0.2	172.8
31.09	19.09	49.82	0.000001	0.000864
1.93	2.57	95.50	0.2	172.8
2.15	3.86	93.99	0.2	172.8
11.30	21.96	66.74	0.07	60.48
6.71	10.40	82.89	0.1	86.4
22.16	14.07	63.77	0.005	4.32
12.09	9.31	78.60	0.09	77.76
12.59	16.67	70.74	0.09	77.76
30.55	24.18	45.27	0.000001	0.000864
21.57	5.76	72.67	0.005	4.32
11.85	17.63	70.52	0.09	77.76
39.01	10.88	50.10	0.00001	0.00864
20.38	7.22	72.40	0.005	4.32
32.53	18.07	49.40	0.000001	0.000864
16.35	19.93	63.71	0.07	60.48
24.27	23.39	52.34	0.0005	0.432
6.15	3.61	90.24	0.2	172.8
37.04	20.80	42.15	0.000001	0.000864

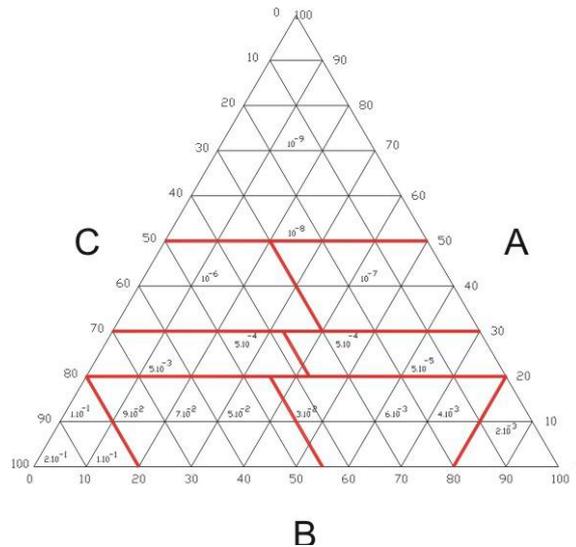


Figura VIII.7. Diagrama recompensado para calcular la Conductividad Hidráulica con el método PGP de Fili y Kolomi (Tomado de Pérez. 2007).

Los valores de Conductividad Hidráulica obtenidos por todos estos métodos empíricos tanto aquellos cálculos con el HydroGeoSieveXI (2015) como con Fili y Kolomi, se muestran en la Tabla VIII.5. En ella se muestran además los valores de transmisividad (T) en  $m^2/día$  relacionados a cada una de las Conductividades Hidráulicas calculadas y las calificaciones para los acuíferos propuestas por Custodio y Llamas (1983) en base a los valores de conductividad hidráulica y transmisividad. Además se realizaron perfiles de comparación entre el perfil litológico-granulométrico, de potencial espontáneo, resistividad y conductividad hidráulica para cada metodología (Figuras VIII.8 a13).

Profundidad (m)		Clasificación Litológica Bimodal	Clasificación Litológica (HidroGeo Sieve XI)	Conductividad Hidráulica K (m/d)						Espesor	Promedio Aritmético		Hazen		Beyer		Sauerbrei		Krumbein		PGP Fill y Kolomi		Acuífero
Desde	Hasta			Promedio Aritmético Hidro Geo SieveXI	Hazen	Beyer	Sauerbrei	Krumbein y Monk	PGP Fill y Kolomi		Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	K Ponderada (m/d)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	K Ponderada (m/d)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	K Ponderada (m/d)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	K Ponderada (m/d)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	K Ponderada (m/d)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	K Ponderada (m/d)	
0.0	2.0	Arenas muy finas y muy gruesas gravosas	Arenas probremente seleccionadas con finos	0.99	2.48	2.65	0.88	1.97	43.2	2.0	1.98	4.96		5.3		1.76		3.94		86.4		ZNS	
2.0	4.0	Arenas gruesas y muy finas gravosas	Arena gravosa probremente seleccionada con finos	2.65	2.46	2.81	1.04	4.06	43.2	2.0	5.3	4.92		5.62		2.08		8.12		86.4			
4.0	6.5	Arenas gruesas y muy finas	Arena gravosa probremente seleccionada con finos	2.31	2.8	2.98	1.38	2.82	43.2	2.5	5.775	3.12	7	4.29	7.45	4.80	3.45	3.16	7.05	7.39	108		
6.5	10.0	Arenas gruesas y muy gruesas gravosas	Arena gravosa probremente seleccionada con finos	2.9	3.57	4.09	2.11	6.97	77.76	3.5	10.15		12.495		14.315		7.385		24.395		272.16		
10.0	15.4	Arenas gruesas y medias gravosas	Arena gravosa probremente seleccionada con pocos finos	4.61	6.79	7.65	6.3	13.03	60.48	5.4	24.894		36.666		41.31		34.02		70.362		326.592		
15.4	20.0	Arenas gruesas y medias gravosas	Arena gravosa probremente seleccionada con pocos finos	4.61	6.79	7.65	6.3	13.03	60.48	4.6	21.206		31.234		35.19		28.98		59.938		278.208		
20.0	24.0	Gravas arenosas	Arena gravosa probremente seleccionada con pocos finos	235.75	441.55	363.85	313.06	229.45	86.4	4.0	943		1766.2		1455.4		1252.24		917.8		345.6		
24.0	28.0	Gravas arenosas	Arena gravosa probremente seleccionada con pocos finos	21.89	41.99	43.16	31.81	59.2	86.4	8.0	175.12		335.92		345.28		254.48		473.6		691.2		
28.0	31.5	Gravas	Arena gravosa probremente seleccionada con pocos finos	221.84	521.91	465.42	358.90	225.30	172.8	3.5	776.44		1826.685		1628.97		1256.15		788.55		604.8		
31.5	34.0	Arenas gruesas y muy gruesas gravosas	Arena gravosa moderadamente bien seleccionada con pocos finos	93.99	153.72	122.14	143.41	88.74	172.8	2.5	234.975		384.3		305.35		358.525		221.85		432		
34.0	39.0	Arenas muy finas pelticas	Arenas gravosas moderadamente seleccionadas con finos	0.29	0.25	0.27	0.15	0.04	0.000864	5.0	1.45		1.25		1.35		0.75		0.2		0.00432		
39.0	42.0	Arenas gruesas y muy gruesas gravosas	Arenas moderadamente bien seleccionadas con pocos finos	93.99	153.72	122.14	143.41	88.74	172.8	3.0	281.97	57.24	461.16	101.44	366.42	90.09	430.23	74.17	266.22	53.31	518.4	89.72	ZS: Freático
42.0	48.0	Gravas	Arenas gravosas probremente seleccionadas con pocos finos	91.5	231.19	225.04	155.92	80.52	172.8	6.0	549		1387.14		1350.24		935.52		483.12		1036.8		
48.0	51.5	Arenas gruesas y medias	Arenas probremente seleccionadas con finos	2.6	2.54	2.78	1.58	3.42	60.48	3.5	9.1		8.89		9.73		5.53		11.97		211.68		
51.5	55.0	Gravas arenosas gruesas y medias	Arenas probremente seleccionadas con finos	4.49	6.3	7.78	9.18	8.69	86.4	3.5	15.715		22.05		27.23		32.13		30.415		302.4		
55.0	59.0	Arenas gruesas y medias	Arenas gravosas probremente seleccionadas con finos	1.63	0.36	0.42	0.22	0.19	4.32	4.0	6.52		1.44		1.68		0.88		0.76		17.28		
59.0	66.0	Gravas arenosas muy gruesas y gruesas	Arenas gravosas probremente seleccionadas con finos	70.38	1.51	1.17	1.08	2.39	77.76	7.0	492.66		10.57		8.19		7.56		16.73		544.32		
66.0	73.0	Gravas arenosas gruesas y muy gruesas	Arenas gravosas probremente seleccionadas con finos	2.69	1.73	2.08	0.83	1.8	77.76	7.0	18.83		12.11		14.56		5.81		12.6		544.32		
73.0	81.0	Arenas gruesas y muy gruesas pelticas	Arenas gravosas probremente seleccionadas con finos	0.25	0.91	1.01	0.51	0.25	0.000864	8.0	2	0.25	7.28	0.91	8.08	1.01	4.08	0.51	2	0.25	0.0006912	0.000864	ZS: Base Freático
81.0	90.0	Gravas arenosas muy gruesas y gruesas	Arenas gravosas probremente seleccionadas con finos	17.8	0.36	0.26	0.21	0.33	4.32	9.0	160.2	10.51	3.24	1.05	2.34	1.18	1.89	0.60	2.97	1.58	38.88	41.04	ZS: Semiconfinado
90.0	99.0	Arenas muy gruesas y gruesas gravosas	Arenas gravosas probremente seleccionadas con finos	3.22	1.74	2.09	0.99	2.83	77.76	9.0	28.98		15.66		18.81		8.91		25.47		699.84		
99.0	102.5	Arenas gruesas y muy gruesas con matriz peltica	Arenas gravosas probremente seleccionadas con finos	0.59	0.12	0.12	0.07	0.01	0.000864	3.5	2.065	0.59	0.42	0.12	0.12	0.12	0.245	0.07	0.035	0.01	0.003024	0.000864	ZS: Base semiconfinado
102.5	110.0	Gravas arenosas muy gruesas y gruesas	Arenas gravosas probremente seleccionadas con finos	6.01	0.41	0.73	0.25	0.52	4.32	5.5	33.055		2.255		4.015		1.375		2.86		23.76		
110.0	120.0	Arenas muy gruesas y gruesas con algo de matriz peltica	Arenas gravosas probremente seleccionadas con finos	0.39	0.15	0.18	0.09	0.02	0.000864	###	4.68		1.8		2.16		1.08		0.24		0.010368		
120.0	140.5	Arenas gruesas y muy gruesas	Arenas gravosas probremente seleccionadas con finos	1.71	0.78	0.94	0.52	0.75	60.48	###	35.055	2.76	15.99	2.10	19.27	3.02	10.66	2.93	15.375	1.69	1239.84	35.04	ZS: Confinado
140.5	146.5	Arenas gruesas y medias	Arenas probremente seleccionadas con finos	0.66	0.39	0.47	0.25	0.18	0.432	6.0	3.96		2.34		2.82		1.5		1.08		2.592		
146.5	148.5	Gravas arenosas muy gruesas y gruesas	Arenas gravosas probremente seleccionadas con finos	25.11	37.06	55.3	60.13	29.17	172.8	2.0	50.22		74.12		110.6		120.26		58.34		345.6		
148.5	150.0	Arenas medias y finas con matriz peltica	Arenas probremente seleccionadas con finos	0.12	0.13	0.15	0.08	0.01	0.000864	1.5	0.18	0.12	0.195	0.13	0.225	0.15	0.12	0.08	0.015	0.01	0.001296	0.000864	ZS: Base Confinado

K m/d	Calificación	Comportamiento	K m/d	Calificación	Comportamiento	T m <sup>2</sup> /d	Calificación	T m <sup>2</sup> /d	Calificación
<0.01	Muy baja	Impermeables	10 a 100	Alta	Buenos	<10	Muy baja	100 a 1000	Alta
0.01 a 1	Baja	Pobres	>100	Muy alta		10 a 100	Baja	> 1000	Muy alta
1 a 10	Media	Buenos							

Tabla VIII.5. Conductividades Hidráulicas calculadas por medio de métodos empíricos, cálculo de Transmisividad Hidráulica y Conductividad Hidráulica Ponderada para los distintos tramos del acuífero freático, capas confinantes y acuífero semiconfinado.

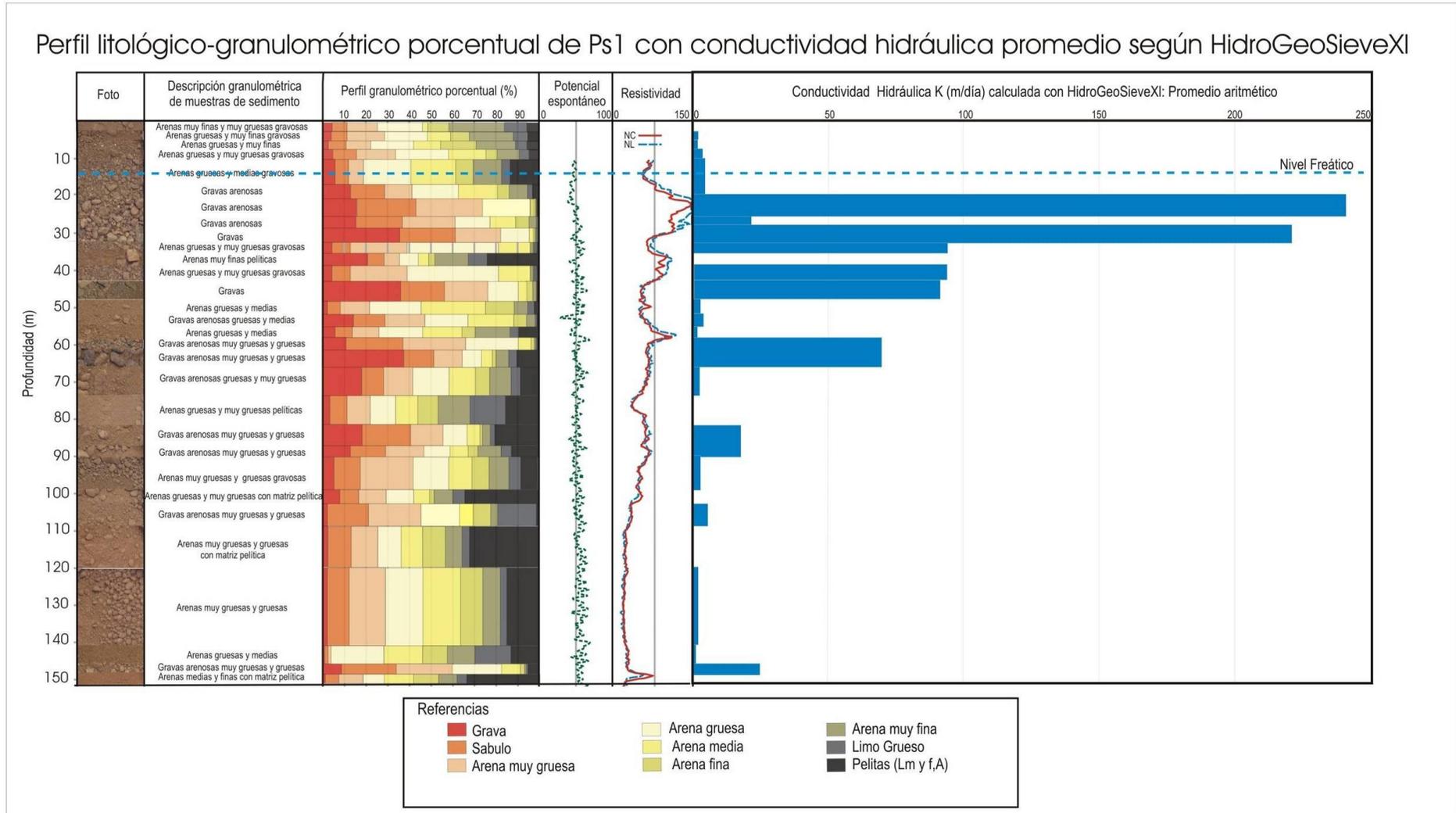


Figura VIII.8. Comparación entre el perfil litológico-granulométrico, de Potencial Espontáneo, Resistividad y Conductividad Hidráulica con el Promedio Aritmético calculado con HydroGeo SieveXI.

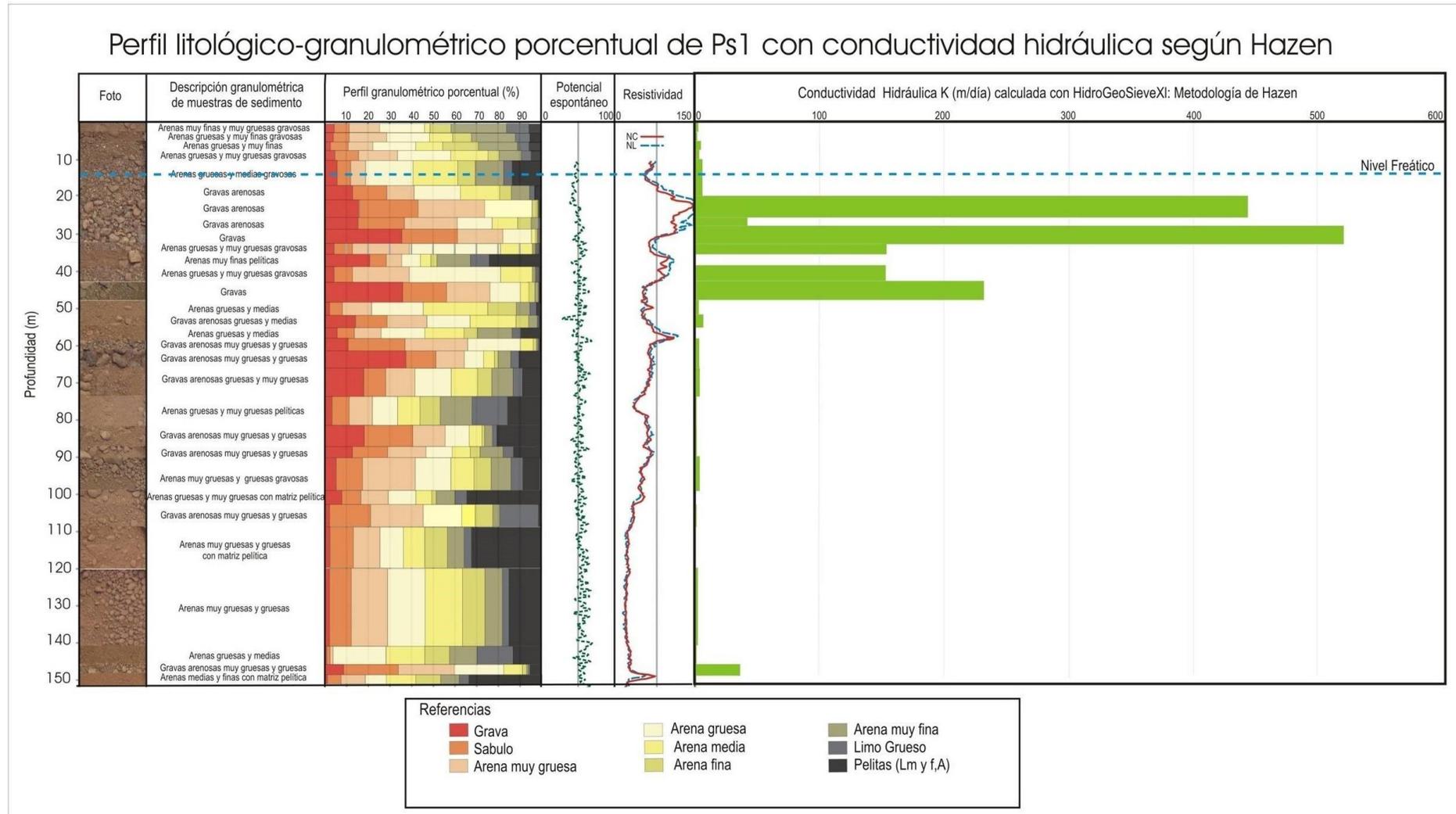


Figura VIII.9. Comparación entre el perfil litológico-granulométrico, de Potencial Espontáneo, Resistividad y Conductividad Hidráulica con conductividad según Hazen calculada con HydroGeo SieveXI.

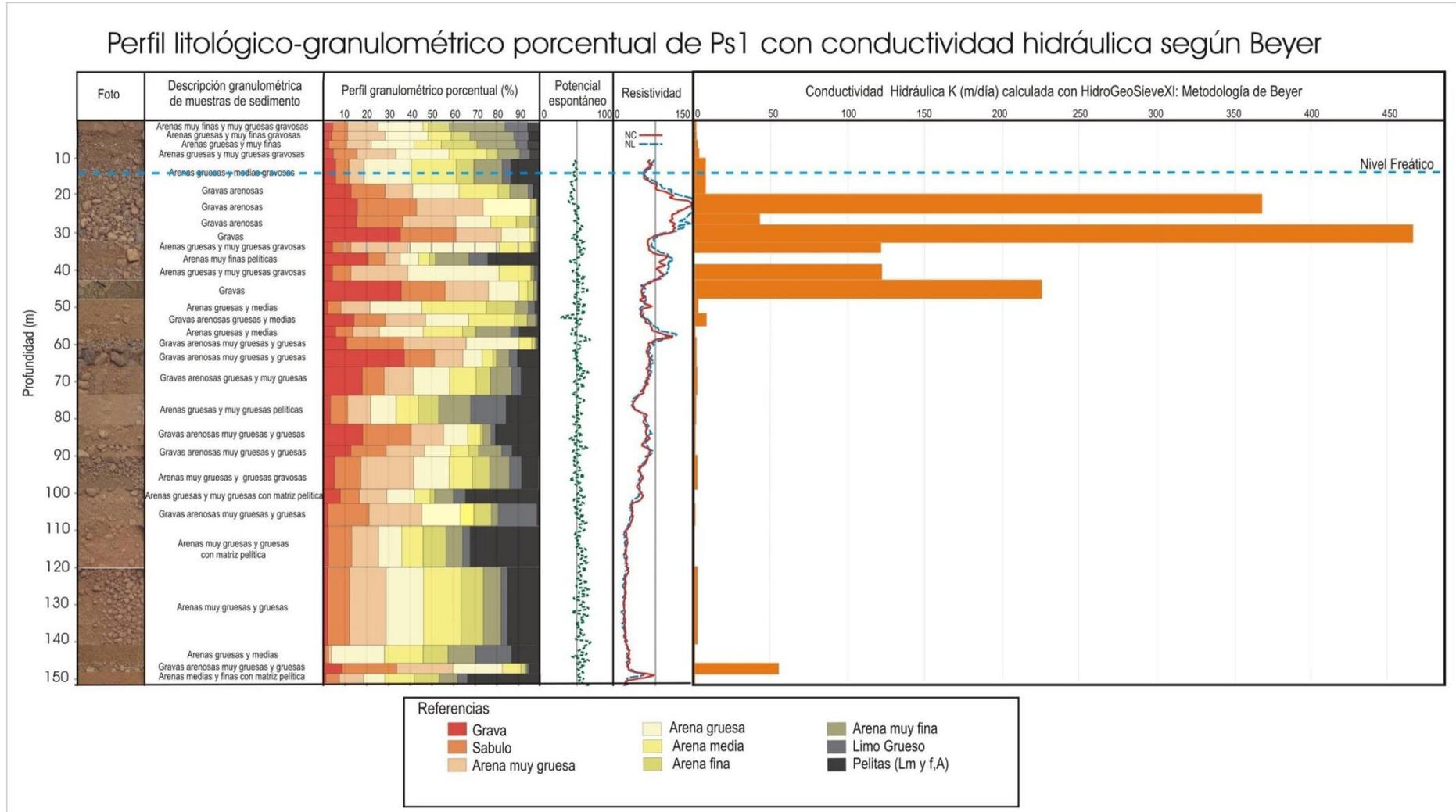


Figura VIII.10. Comparación entre el perfil litológico-granulométrico, de Potencial Espontáneo, Resistividad y Conductividad Hidráulica con conductividad según Beyer calculada con HydroGeo SieveXI.

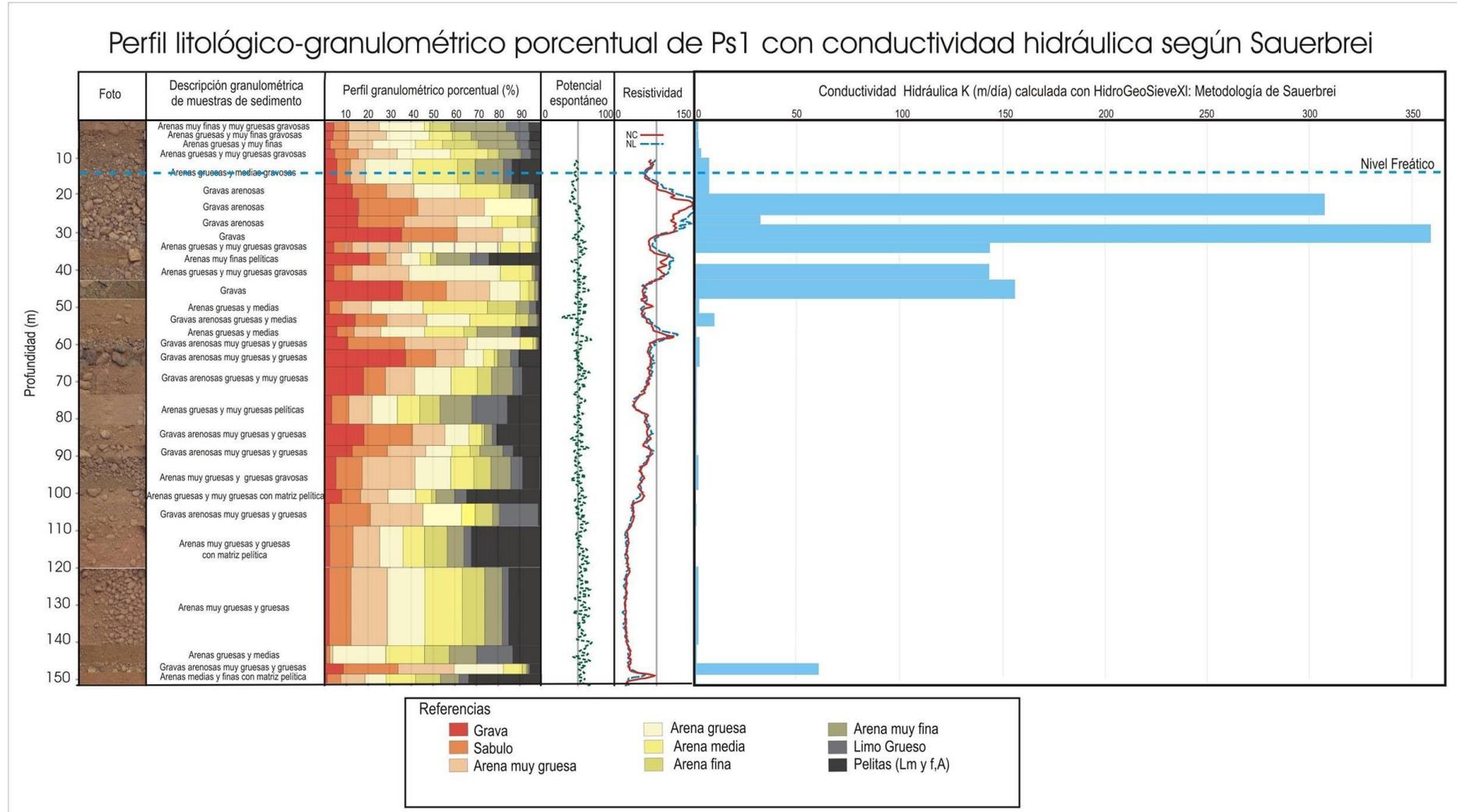


Figura VIII.11. Comparación entre el perfil litológico-granulométrico, de Potencial Espontáneo, Resistividad y Conductividad Hidráulica con conductividad según Sauerbrei calculada con HydroGeo SieveXI.

### Perfil litológico-granulométrico porcentual de Ps1 con conductividad hidráulica según Krumbein y Monk

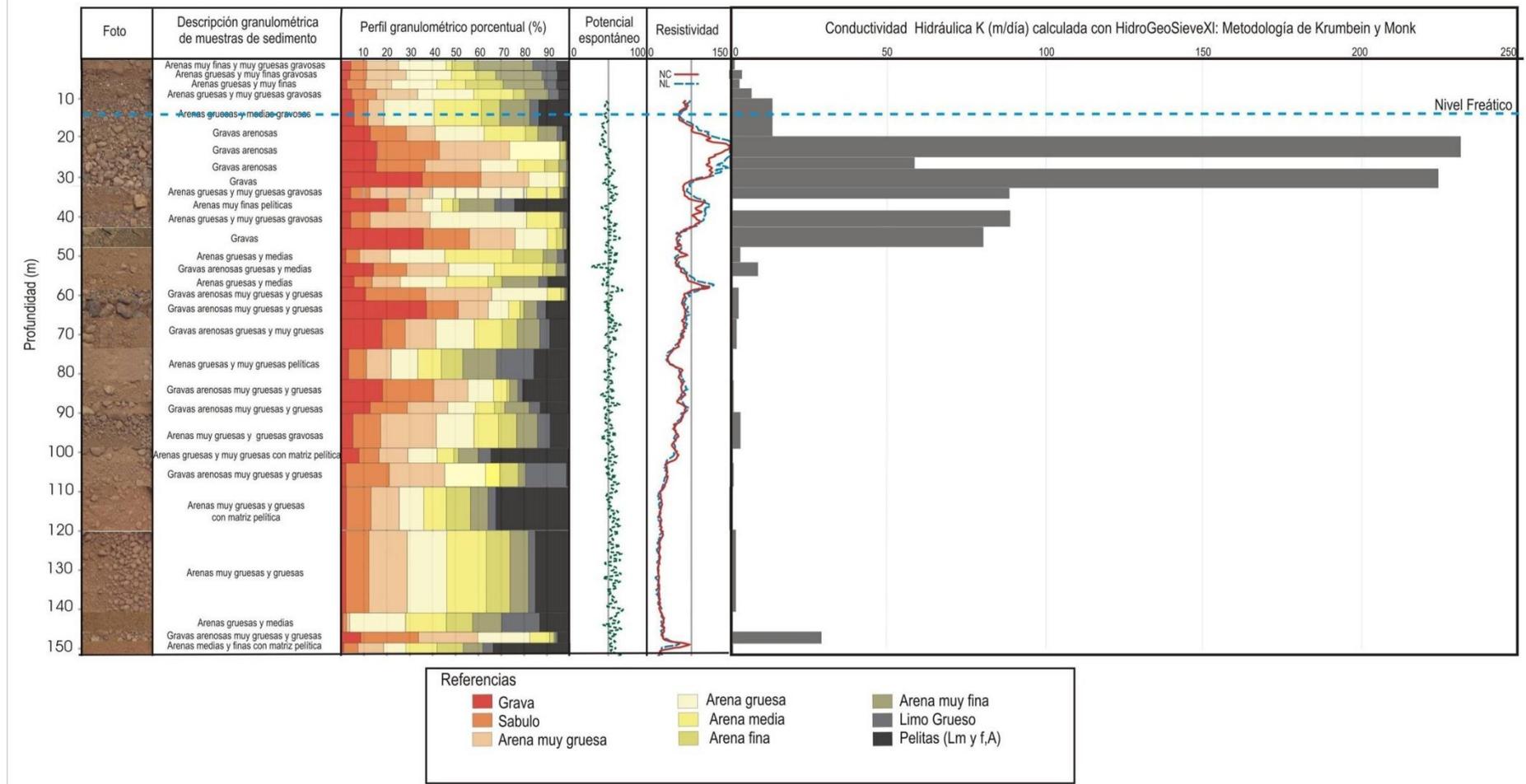


Figura VIII.12. Comparación entre el perfil litológico-granulométrico, de Potencial Espontáneo, Resistividad y Conductividad Hidráulica con conductividad según Krumbein y Monk calculada con HydroGeo SieveXI.

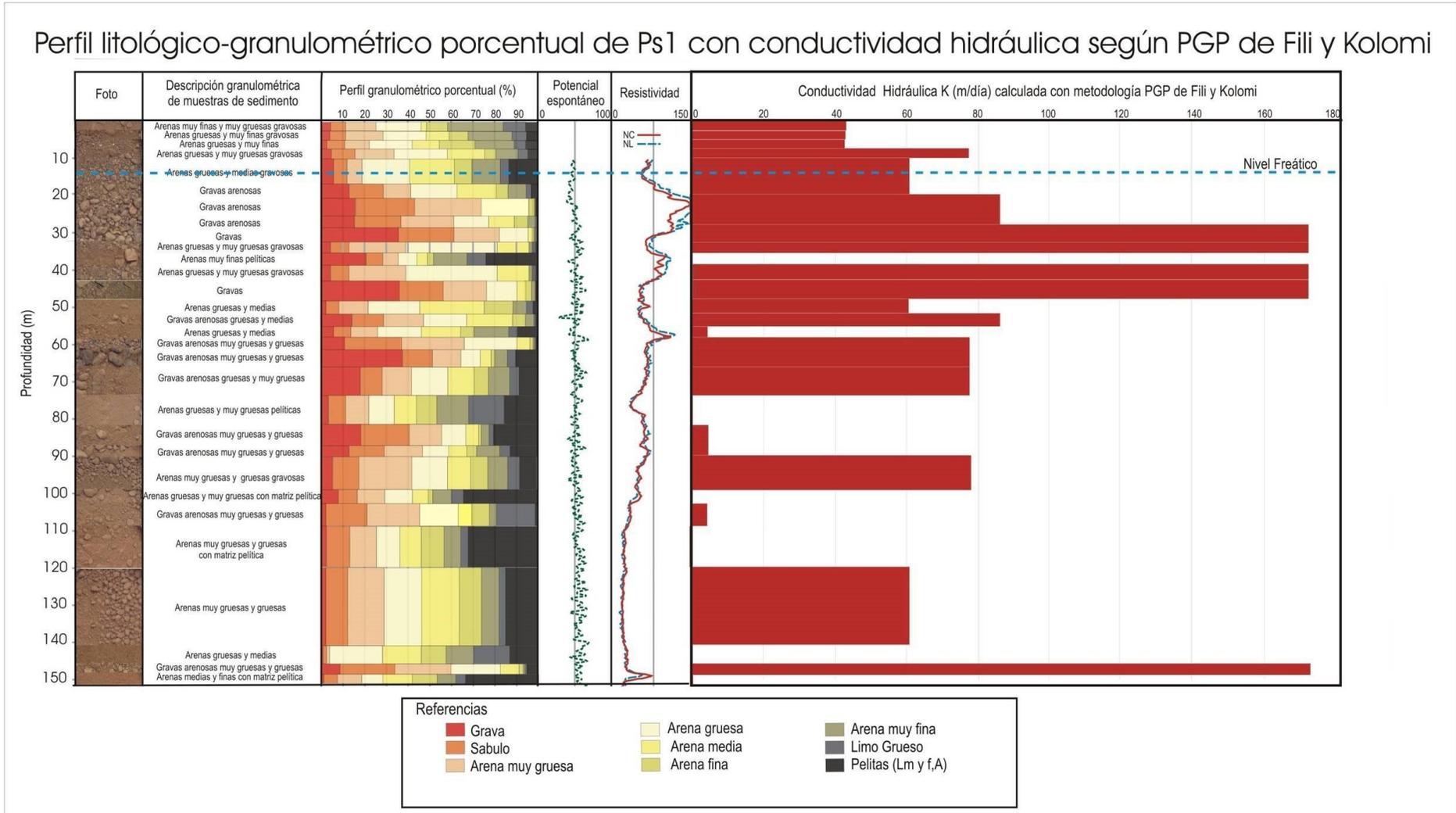


Figura VIII.13. Comparación entre el perfil litológico-granulométrico, de Potencial Espontáneo, Resistividad y Conductividad Hidráulica con conductividad según el PGP de Fili y Kolomi.

**ACUÍFERO LIBRE:**

Para la perforación *Ps1* situada en el campus de la UNRC, el acuífero libre se encuentra entre los 15,4 y 73 m (ver apartado siguiente), estimándose que los materiales que siguen actúan como base del mismo. La metodología de Hazen simplificada (Freeze y Cherry, 1979) arroja valores intermedios a altos (entre 0,25 a 522 m/d) y un valor ponderado por el espesor de cada capa de 101,44m/d. Según la metodología de Beyer (1964) las conductividades hidráulicas son bastante similares (valores desde 0,27 m/d a 465 m/d) y el valor ponderado por el espesor de cada capa es de 90m/d. Sauerbrei (1964) da valores entre 0,15 m/d y 359 m/d una conductividad hidráulica ponderada por el espesor de cada capa de 74 m/d. Según Krumbein y Monk (1942) los valores también son intermedios a altos (0,04 a 229 m/d) y el valor ponderado por el espesor de cada capa es 53 m/d. El Promedio Aritmético calculado a partir de las 15 metodologías del programa HydroGeo SieveXI (2016) muestra valores intermedios a altos de conductividad hidráulica (desde 0,29 m/d a 236 m/d) con un valor ponderado por el espesor de cada capa de 57 m/d (algo más bajo que el finalmente usado a partir de lo que se muestra en la Tabla VIII.6). Con la metodología PGP de Fili y Kolomi (Pérez, 2007) los valores son muy bajos a muy altos (entre 0,00086 m/d y 173 m/d) y la conductividad hidráulica ponderada por el espesor de cada capa es de 90 m/d. Un resumen de todos estos valores se puede ver en la Tabla VIII.6.

Tabla VIII.6. Resumen de los valores de K obtenidos para el acuífero libre.

Método	K menor (m/d)	K mayor (m/d)	K ponderada por espesor (m/d)	Promedio
Hazen Simplificada	0,25	522	101	73
Beyer	0,27	465	90	
Sauerbrei	0,15	359	74	
Krumbein y Monk	0,04	229	53	
Fili y Kolomi	0,00086	173	90	
Promedio Aritmético HydroGeo SieveXI	0,29	236	57	-

En general se observa que los valores más altos se encuentran entre los 20 y 48 m de profundidad (relacionado al predominio de gravas y arenas limpias), y valores más bajos hacia la base del acuífero y la zona no saturada, lo que muestra la anisotropía y heterogeneidad de los materiales. La conductividad hidráulica ponderada según todas las metodologías utilizadas le da una calificación de K moderada a alta, que le confiere la calificación de acuífero muy bueno a excelente en algunos tramos.

**BASE DEL ACUÍFERO LIBRE Y OTRAS CAPAS ACUÍFERAS MÁS PROFUNDAS:**

Se asume, por las características observadas en el perfil, que actúan como base los sedimentos presentes a partir de aproximadamente los 73 a 81m que tienen una composición pelítica mayor, con una K media de 0,48 m/d entre todas las metodologías. Sin embargo, y tal como lo evidencia el perfilaje, aparece un conjunto de estratos entre los 81 y los 99 m con una K promedio de 9 m/d que, aunque contiene materiales finos, son más permeables, y podrían actuar con algo de confinamiento (tal vez correspondan a un acuífero semiconfinado). Luego entre los 99 y 120 m hay un paquete con importante composición pelítica con una K media de 1 m/d que podría estar separando toda la parte superior del perfil de aquellas capas que, si bien no se presentan en la presente tesis, aparecen más abajo en esta perforación (por ejemplo entre 220 y 260 m) y que en toda la región son

acuíferos muy buenos con importante confinamiento con perforaciones de tipo surgente (Blarasin et al.2016).

### VIII.2.1.2. Cálculo de la Porosidad Efectiva

La porosidad efectiva o eficaz es la relación de volumen de agua contenida en el volumen del sedimento extraíble por gravedad y el volumen total del sedimento (Custodio y Llamas, 1983). Es un factor muy importante para definir la calidad hidrogeológica de un área dado que da una idea de la capacidad del acuífero de contener agua y posibilidad de permitir su flujo. Dada la dificultad de calcularla a campo e incluso en laboratorio, es común que se estimen valores en función de la K de los sedimentos, como se observa en la bibliografía citada en este capítulo (Custodio y Llamas, 1983, entre otros).

- En una primera instancia se ha estimado la porosidad efectiva para todo el espesor del acuífero, en base a un promedio de 73 m/día calculado entre los resultados de Conductividad Hidráulica obtenidos por las metodologías de Hazen Simplificada, Beyer, Sauerbrei y Krumbein y Monk obtenidas por medio de HydroGeo SieveXL y el PGP de Fili y Kolomi. Este dato se ha combinado con la granulometría del acuífero realizada según la Clasificación Litológica Bimodal para ingresar en la Tabla VIII.7 (Custodio y Llamas, 1983) y la Tabla VIII.8 propuesta por Sanders (1998) y la Figura VIII.14. propuesta por Chilton (1996) Con toda esta información, es decir, los datos de K calculados con los métodos indicados y las tablas citadas, se estimaron valores de porosidad efectiva. Esto se realizó para cada cambio litológico en los 60 m saturados que conforman el espesor estimado de acuífero libre (entre 15 y 75 m aprox.). El promedio estimado resultó del 22 % y se advierte que este *dato será el utilizado para los cálculos de reserva del acuífero libre*. Un aspecto a destacar es la importante dificultad en realizar este tipo de estimaciones ya que los rangos que ofrecen las tablas son demasiado poco específicos.

Tabla VIII.7. Porosidad total y Eficaz (o Efectiva) de diversos materiales (Custodio y Llamas, 1983).

Material		Porosidad total %					Porosidad eficaz %		
Tipo	Descripción	Media	Normal		Extraordinaria		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 Sedi-mentarias Sueltas	Aluviones	25	40	20	45	15	15	35	5
	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

- Por otro lado, se ha procedido a calcular la conductividad hidráulica de la parte superior del acuífero, es decir, entre los 15,4 y 34 m debido a que es el espesor saturado que involucra la mayoría de las perforaciones del campus y las restantes censadas en su entorno (Tabla VIII.9) Para este tramo, se estima una conductividad hidráulica en el orden de los 100 m/d.

De esta forma se estimaron según tablas valores entre 20 y 40 % de porosidad eficaz, decidiéndose utilizar un valor de 25 % para la parte superior del acuífero, evidentemente algo más alto dado que comprende las capas de gravas más sobresalientes alumbradas. Este valor de Porosidad específica de 25 % será el usado para los cálculos de velocidad de agua en el mapa equipotencial construido, atendiendo a que esta fue la parte involucrada en general en el censo de perforaciones.

Tabla VIII.8. Valores estimados de porosidad (%) según Sanders (1998)

	Total	Eficaz
Arcillas	40 a 60	0 a 5
Limos	35 a 50	3 a 19
Arenas finas, arenas limosas	20 a 50	10 a 18
Arena gruesa o bien clasificada	21 a 50	22 a 35
Grava	25 a 40	13 a 26
Shale intacta	1 a 10	0,5 a 5
Shale fracturada/alterada	30 a 50	
Arenisca	5 a 35	0,5 a 10
Calizas, dolomías no carstificadas	0,1 a 25	0,1 a 5
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	0,01 a 1	0,0005
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	1 a 10	0,00005 a 0,01

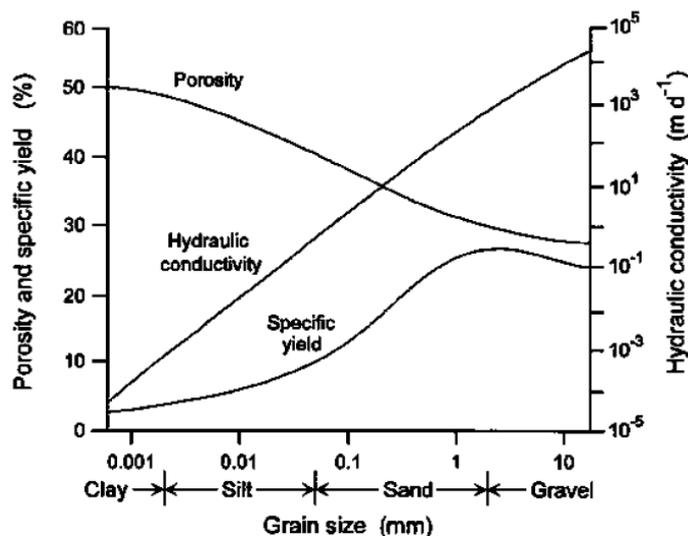


Figura VIII.14. Porosidad, porosidad eficaz y conductividad hidráulica de materiales granulares (Tomado de Chilton, 1996).

Tabla VIII.9. Conductividades hidráulicas ponderadas entre los 15,4 y 34 m para la perforación Ps1.

Profundidad (m)		Clasificación Litológica Bimodal	Espesor	Promedio Aritmético		Hazen		Beyer		Sauerbrei		Krumbein		PGP Fili y Kolomi	
Desde	Hasta			Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	K Ponderada (m/d)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	K Ponderada (m/d)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	K Ponderada (m/d)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	K Ponderada (m/d)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	K Ponderada (m/d)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	K Ponderada (m/d)
15.4	20.0	Arenas gruesas y medias gravosas	4.6	21.206	31.234		35.19		28.98		59.938		278.208		
20.0	24.0	Gravas arenosas	4.0	943	1766.2		1455.4		1252.24		917.8		345.6		
24.0	28.0	Gravas arenosas	8.0	175.12	335.92	192.23	345.28	166.823	254.48	139.397	473.6	108.926	691.2	104.0623	
28.0	31.5	Gravas	3.5	776.44	1826.685		1628.97		1256.15		788.55		604.8		
31.5	34.0	Arenas gruesas y muy gruesas gravosas	2.5	234.975	384.3		305.35		358.525		221.85		432		

### VIII.2.1.2. Unidades Hidrogeológicas

En base a los datos de materiales aflorantes, de perforaciones y las unidades propuestas en Blarasin (2003) se pueden delimitar tres unidades hidrogeológicas diferentes para el área de estudio (Figura VIII.15):

- **Acuífero de alta y media permeabilidad y alta heterogeneidad (UHA):** Pertenece a los sectores de faja fluvial moderna que se encuentran en la franja centro-sur del área en estudio, con la presencia de materiales gruesos (desde arenas finas a gravas) de permeabilidad alta y con buena recarga por la infiltración del agua de lluvia, ya que no poseen la cubierta eólica por encima de los sedimentos fluviales y las pendientes son bajas. La conductividad hidráulica media en este sector es muy heterogénea: varía de 5 a 70m/día, y muy localmente podrían ser valores más altos, causado por los cambios verticales y horizontales de facies y eventualmente pueden disminuir por la intercalación de depósitos aluviales finos o eólicos más viejos.

Las abundantes perforaciones de consumo, de riego y recreación en esta unidad demuestran que permite obtener buenos caudales de extracción. Además, en esta misma unidad, aguas arriba de la zona de estudio, la Empresa Municipal de Obras Sanitarias posee las baterías de perforaciones que abastecen a la ciudad.

Este acuífero se puede diferenciar en dos subunidades:

**UHA1:** Corresponde a las terrazas más antiguas del curso del río Cuarto, con granulometrías que van desde arenas muy finas a medias y muy gruesas.

**UHA2:** Se relaciona a los depósitos más modernos del curso del río Cuarto, con materiales mucho más gruesos (predominan las arenas muy gruesas, sábulos y gravas) permitiendo obtener caudales de explotación más importantes en comparación con *UHA1*, y a una profundidad mucho más somera.

-**Acuífero de baja permeabilidad, homogéneo (UHB):** A nivel regional es un ambiente hidrogeológico muy extendido, aunque en la zona de estudio sólo se encuentra un pequeño sector al Sur del río.

Desde su superficie hasta grandes profundidades poseen sedimentos arenosos muy finos-limosos con algunos sectores (a diferentes profundidades y de variados espesores) de cementación carbonática; las comúnmente llamadas "toscas" que le otorgan cierta anisotropía al conjunto. A diferencia del ambiente *UHA*, la posibilidad de aprovechamiento del recurso es mucho menor debido a una menor recarga del acuífero y sus valores de Conductividad Hidráulica medios del orden de 1 a 3 m/día.

- **Acuífero de alta, media y baja permeabilidad y moderada heterogeneidad (UHC):** Corresponde a la unidad Planicie Eólica con Paleorasgos Fluviales, situada en la franja Norte del área de estudio, en la que se observan rasgos correspondientes a períodos de divagación del río Cuarto, fundamentalmente en el Cuaternario. Estos se intercalan con depósitos eólicos de arenas muy finas a limos. Estos sedimentos eólicos forman una cubierta continua en toda la superficie de la unidad, y cuyo espesor es mayor hacia el Oeste y Norte del área de estudio.

De esta forma es un ambiente muy variable en el perfil vertical ya que la presencia de los sedimentos fluviales gruesos aparece a diferentes profundidades, aumentando la conductividad hidráulica de la unidad. Otro factor que influye en la permeabilidad es la

presencia de clastos de toscas o niveles con cementación carbonática de variados espesores y a diferentes profundidades.  
 Es un acuífero multicapa, debido a que se conforma por una alternancia de acuíferos buenos y pobres, pero con una buena aptitud hidrogeológica en general.

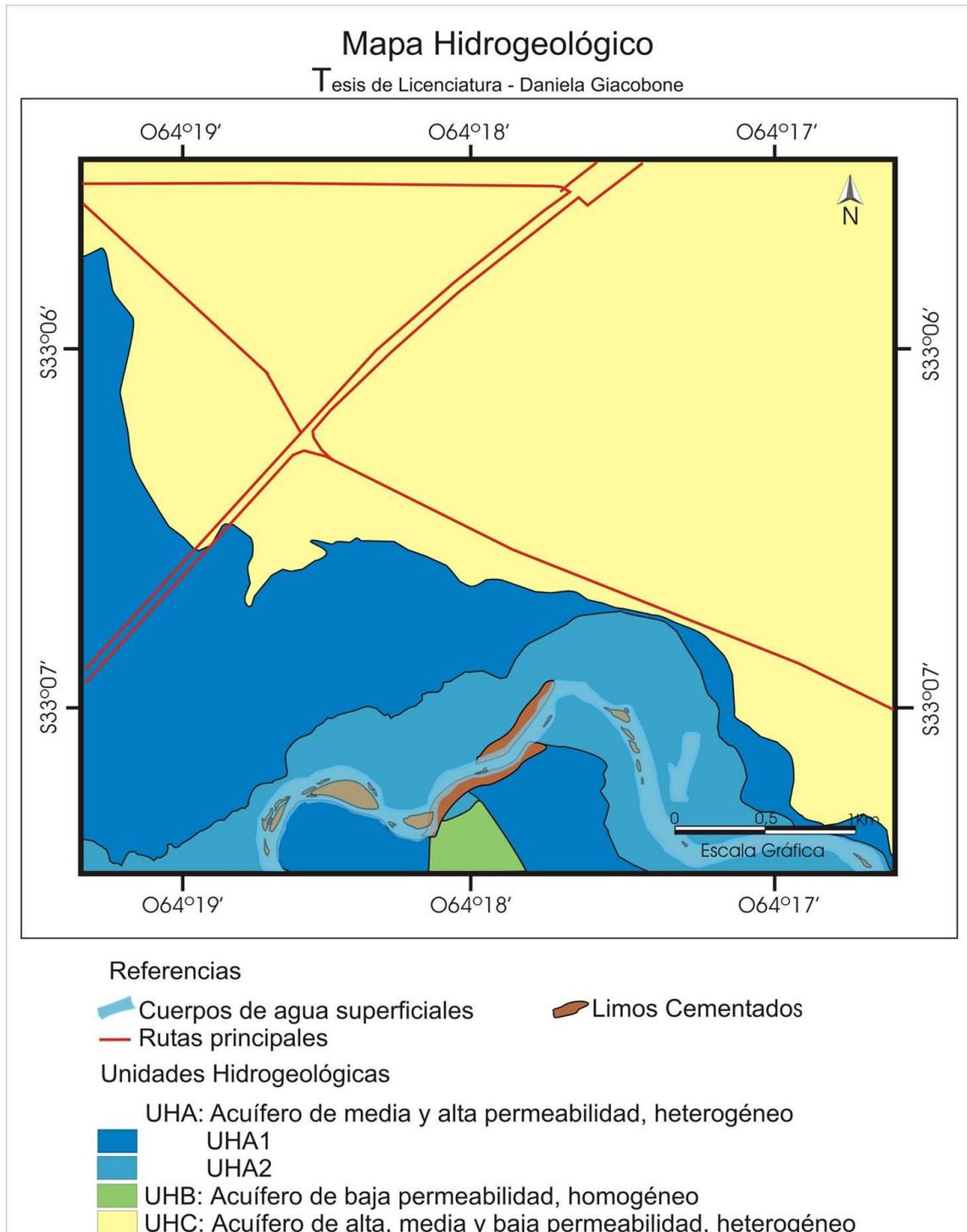


Figura VIII.15. Mapa Hidrogeológico.

### VIII.2.2. Hidrodinámica Local

La profundidad del nivel freático determina el espesor de la zona no saturada que lo separa de la superficie del terreno. Esta información es muy importante para los procesos de perforación, migración de contaminantes y recarga del acuífero por precipitaciones o retornos de riego, infraestructura, entre otros (Blarasin et al. 2014).

Para realizar la caracterización del movimiento del agua subterránea dentro del acuífero libre se relevaron datos de cota de la superficie topográfica y de la profundidad del nivel freático dentro del acuífero libre en 18 perforaciones que captan del acuífero libre, y a partir de los cuales se calcularon los valores de potenciales hidráulicos (Tabla VIII.10).

Con estos datos se elaboraron los mapas de isopropundidad del nivel freático y de líneas equipotenciales para el acuífero en el medio sedimentario. En algunos casos en que no se pudo medir el nivel freático en forma directa, la posición fue estimada en función de la profundidad de la unidad de bombeo y características generales constructivas del pozo.

Tabla VIII.10. Cálculos de potenciales hidráulicos para los pozos censados durante las tareas de campo y por Moreno (2017).

Pozo censado	Cota topográfica (m.s.n.m.)	Profundidad del Nivel Freático (m)	Potencial hidráulico (m)
Pf	426.1	15.4	410.7
Ps3	429.3	15	414.3
Ps4	428.2	15.11	413.09
Ps5	426.5	15.26	411.24
Ps16	425	10	415
Bd1	420	6.95	413.05
Bd2	418	3.5	414.5
Bd3	431	13.05	417.95
Bd4	423.8	14.5	409.3
Bd5	423.4	14	409.4
Bd6	421.38	13.5	407.88
Bd7	430.73	12	418.73
Bd8	430.73	7.54	423.19
Bd9	431	9.27	421.73
Bd11	417	5.23	411.77
Bd12	432.15	8.24	423.91
Bd13	419.8	8.13	411.67
Bd15	431.2	10	421.12

#### VIII.2.2.1. Potenciales Hidráulicos

A partir de los datos del censo de pozos (Tabla VIII.10) se elaboró el Mapa de Equipotenciales del acuífero libre (Figura VIII.16). Este muestra las líneas de isopiezas (líneas que poseen el mismo potencial hidráulico), las líneas de flujo subterráneo principales, y las divisorias de aguas subterráneas. A partir de esto, se pueden inferir las áreas de recarga y descarga del acuífero, y las relaciones hidráulicas con el río Cuarto.

En general la dirección del flujo es Noroeste-Sureste y se observa que el paleocanal que pasa por el Campus de la UNRC es importante en la definición de las direcciones de flujo

subterráneas además de superficiales, es decir que genera también un bajo freático, conduciendo el flujo de agua hacia el río. Al Sur de este paleocanal el flujo es más NorNoroeste-SurSureste, siendo conducido también hacia el río Cuarto.

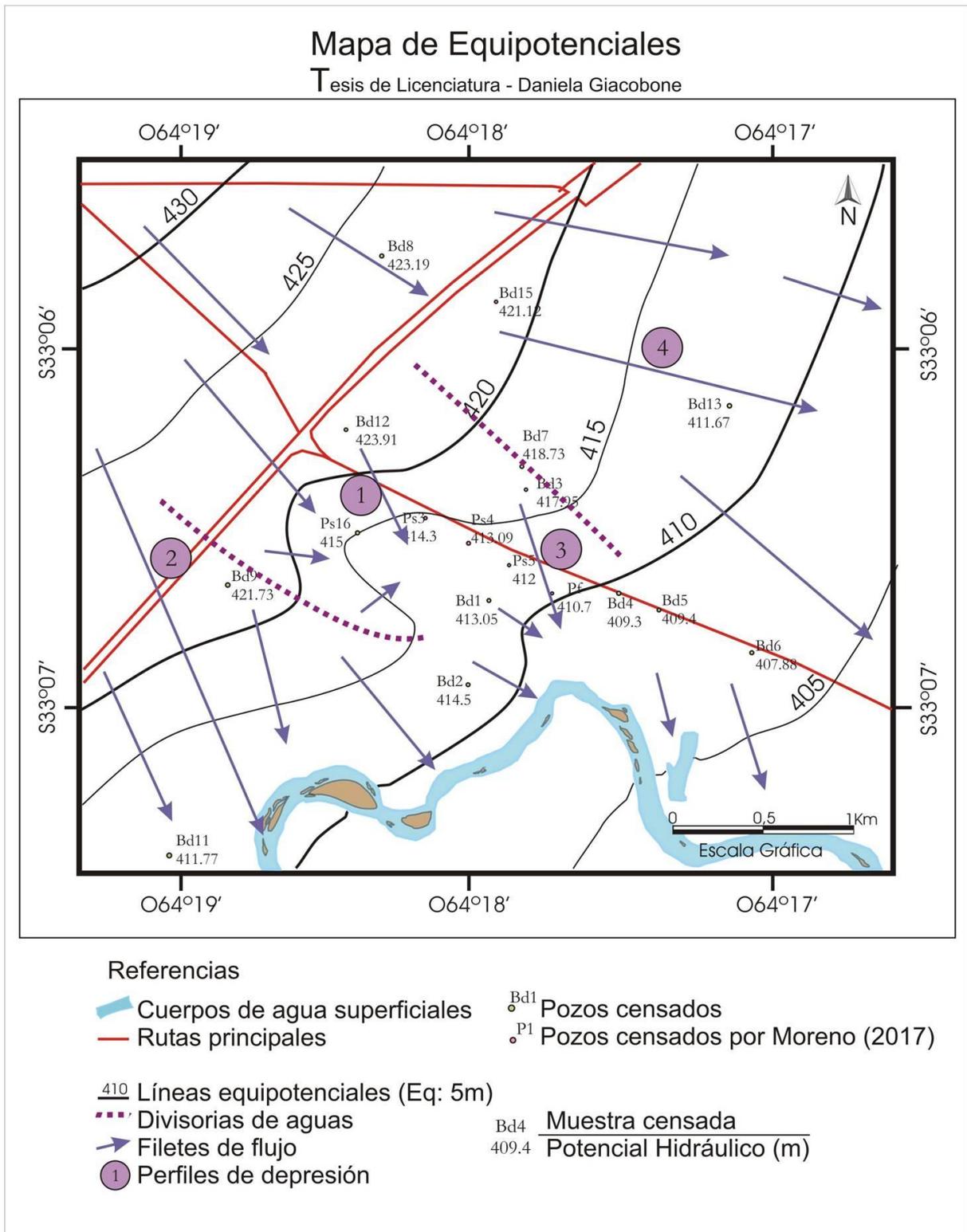


Figura VIII.16. Mapa de Equipotenciales del acuífero libre.

La morfología de la capa es plana en la zona situada el Noreste del área de estudio, en la cual el flujo subterráneo es conducido hacia fuera del área de estudio y la morfología es ondulada en el resto de la zona.

Este mapa también permite ver que la llamada “Charca de las Brujas” que estaba situada en el paleocauce dentro del campus de la UNRC (33°6'42,24” de Latitud Sur y 64°18'14,36” de Longitud Oeste) no correspondía al agua freática aflorando, si bien se encontraba situada en este bajo freático tan importante, en esta zona no se interceptan las curvas equipotenciales y topográficas del mismo valor (Figura VIII.17). Lo que alimentaba esta laguna temporaria eran las precipitaciones y escurrimientos superficiales que no podían infiltrar en esta zona, debido a la gran cantidad de sedimentos finos, arcillosos, depositados por relleno y colmatación (Ver capítulo IV).

### VIII.2.2.1.1. Cálculo del Gradiente Hidráulico

El gradiente representa la variación de la pendiente de la superficie de agua subterránea o la pérdida hidráulica por unidad de longitud. Los gradientes hidráulicos del agua subterránea son variables y están condicionados fundamentalmente por la topografía, aunque también puede controlarlos la litología

Para una mejor visualización de las relaciones entre la superficie topográfica y la superficie freática, se realizaron 5 perfiles de depresión (Figura VIII.17) en algunos sectores de interés: el paleocanal que pasa por el Campus de la UNRC (Perfil de Depresión número 1), y al Noroeste (Perfil de Depresión 2) y centro a Este del área (Perfiles de Depresión 3 y 4).

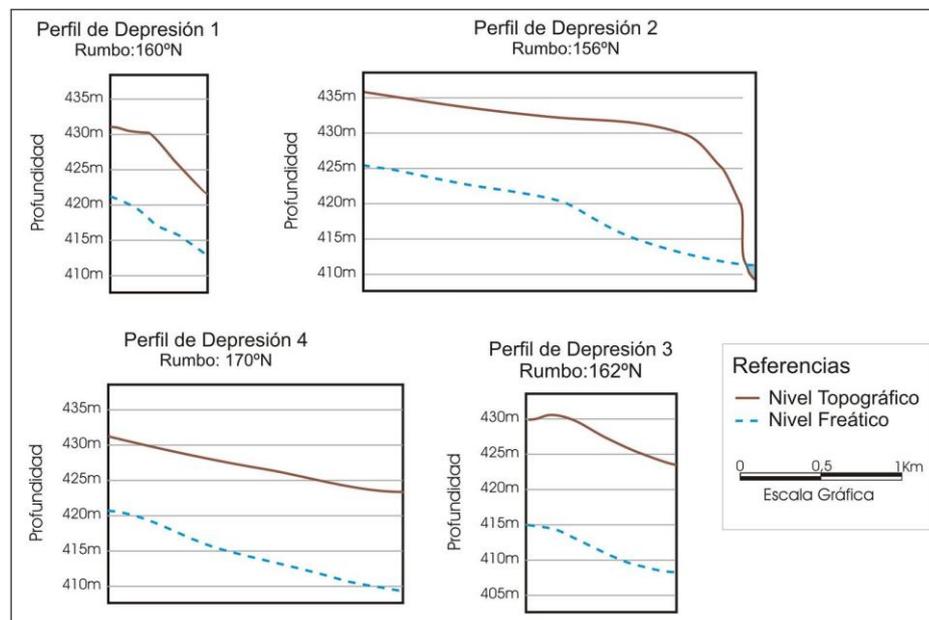


Figura VIII.17. Perfiles de Depresión número 1, 2, 3 y 4.

El gradiente hidráulico “*i*” (Tabla VIII.11) se obtiene a partir de la Ley de Darcy, es una pendiente que muestra cómo se mueve el agua en el medio poroso del acuífero libre, en este caso:

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

Siendo:

$\Delta h$ : Diferencia de niveles estáticos en dos puntos diferentes.

$\Delta l$ : Distancia entre dos puntos.

Tabla VIII.11. Cálculo de los Gradientes Hidráulicos.

Filete	$h1 (m)$	$h2 (m)$	$\Delta l (m)$	$i$	$i (\%)$
1	420	415	369.5	0.0135	1.35
2	425	415	1541.6	0.0065	0.64
3	415	410	500	0.0100	1.00
4	420	410	1543.4	0.0065	0.64

El gradiente hidráulico promedio es de más de 1 % para unidad fluvial, debido a las variaciones topográficas que ejerce la presencia de paleocanales, lo cual se manifiesta también en el acuífero libre. Para el Noreste del área de estudio el valor obtenido fue menor (0,64 %) debido a que el relieve del terreno y de la superficie freática son más tendidos que en las demás zonas. En el Perfil de Depresión 2 (Figura VIII.16) se observa que el acuífero es interceptado por el río dada la importante profundización de éste en el sector. Los valores de carga hidráulica demuestran que el acuífero aporta agua al río.

#### VIII.2.2.1.2. Cálculo de Velocidad de Esguerrimiento

Para mejorar el modelo hidrodinámico del acuífero libre, se calculó la velocidad del agua subterránea en los perfiles de depresión descriptos anteriormente (Ver capítulo VIII.2.2.1.1. Cálculo de Gradientes Hidráulicos). La ecuación que permite realizar el cálculo es la siguiente:

$$V_{real} = K \cdot \frac{i}{Pe}$$

Siendo:

$V_{real}$ : Velocidad real efectiva de esguerrimiento (m/d)

$K$ : Conductividad Hidráulica (m/d)

$i$ : Gradiente Hidráulico (%)

$Pe$ : Porosidad efectiva (%)

Para realizar estos cálculos (Tabla VIII.12) se utilizaron los valores de conductividad hidráulica y porosidad específica estimados en el punto VIII.2.2.1.1 debido a que la zona de interés para conocer este valor es el espesor acuífero involucrado por las perforaciones censadas.

TablaVIII.12. Cálculo de las velocidades de esguerrimiento

Filete	$K (m/d)$	$i (\%)$	$Pe (\%)$	$V_{real} (m/d)$	$V_{real}(m/h)$
1	100	1.35	25	5.41	0.226
2	100	0.65	25	2.59	0.108
3	100	1	25	4.00	0.167
4	100	0.65	25	2.59	0.108

### VIII.2.2.2. Profundidad del Nivel Freático

Conocer la profundidad del nivel freático y sus fluctuaciones es muy importante en hidrogeología (uso del agua, recarga del acuífero, tasas de explotación, afectación a infraestructura, etc.).

En una perforación (*Pf*) ubicada a pocos metros de la correspondiente a *Ps1* en el campus de la UNRC se instaló un instrumental tipo “diver” que funciona como un transductor de presión (Figura VIII.18) que mide la presión de la columna de agua y permite realizar un seguimiento diario de las fluctuaciones del nivel freático. El mismo se encuentra a 18,15 m de profundidad, por debajo del nivel freático y en el momento de instalación quedó con una columna de agua por encima de 2,94 m.

De esta forma se cuenta con valores diarios de nivel desde el 17 de Mayo de 2017 hasta la actualidad (tabla en Anexo 3 y Figura VIII.19). Otro dato que registra este aparato es la temperatura del agua, mostrando una temperatura promedio de 18,26°C para el periodo monitoreado (en el orden de 2º mayor que la temperatura media del aire en esta zona).



Figura VIII.18.a y b. Instalación del “diver” para monitoreo diario del Nivel Freático.



Figura VIII.19. Gráfico de variaciones del Nivel Freático.

En el Mapa de Profundidad del nivel freático (Figura VIII.20) se puede observar como varía el espesor de la zona no saturada en las diferentes zonas del área de estudio. Para la zona central del campus UNRC, en donde el censo de pozos cuenta con más datos, se observa un sector con mayor espesor de zona no saturada, coincidente con la loma de la superficie freática que acompaña por el borde norte el paleocanal, en zona de terrazas más viejas, límite con la unidad eólica, en donde también se observa una suave loma topográfica.

Los valores más bajos de profundidad de nivel freático se ubican en la margen del río Cuarto, alcanzando la superficie topográfica en el borde mismo del río.

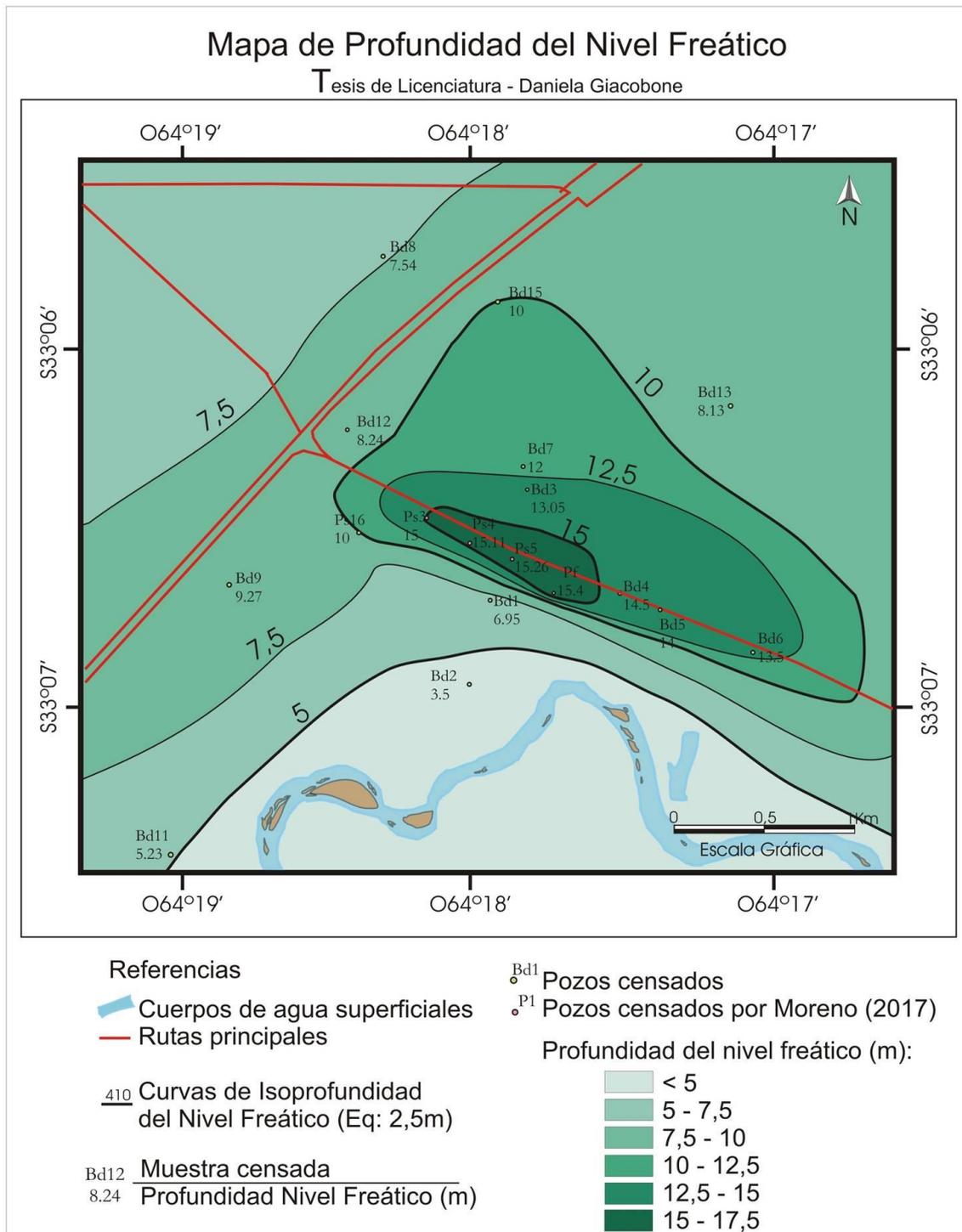


Figura VIII.20. Mapa de Profundidad del Nivel Freático.

### VIII.2.2.3. Cálculo de Recarga del acuífero libre

La Recarga o Infiltración Eficaz (Ie) es la “Recarga Efectiva”, es decir agua que atraviesa el límite inferior de la Zona No Saturada, llega al acuífero libre y produce ascensos medibles del Nivel Freático (Sophocleous, 1991). Conocer este valor es de gran importancia debido a que nos permite tener herramientas al momento del manejo y protección del recurso hídrico subterráneo. Esto se debe a que la recarga puede aumentar reservas, pero también puede generar aumentos indeseados de nivel freático, etc.

Los principales mecanismos de recarga al acuífero según Vries y Simmers (2002) son:

-*Recarga directa*: Agua agregada al reservorio de agua subterránea procedente de los excesos del suelo por percolación vertical a través de la zona vadosa, como resultado de la caída del agua de lluvia. Algunos autores la llaman *Recarga Difusa*.

-*Recarga Indirecta*: Percolación hacia el Nivel Freático a través del lecho de los cursos de agua superficiales. Es la *Recarga Concentrada* para algunos autores.

-*Recarga Localizada*: Es una forma intermedia de recarga, resultante de la concentración de agua en superficies horizontales o sub-horizontales en ausencia de canales bien definidos. Algunos autores la llaman *Recarga Preferencial* (Custodio, 1997) e incluyen en ella la existencia de grietas, conductos verticales y fisuras en el subsuelo que permiten que el agua concentrada en superficie penetre por ellas fácilmente.

Los procesos y mecanismos de la Recarga de los acuíferos son bien conocidos, pero obtener una estimación fiable de la magnitud de la recarga natural todavía presenta grandes dificultades, relacionadas a la variabilidad espacial y temporal de las condiciones climáticas y en la variabilidad espacial de los factores que determinan la ocurrencia, magnitud y calidad de la recarga. Debido a ello, la mayoría de los métodos utilizados para su estimación dan resultados con alto índice de incertidumbre (Carrica, 2009).

Además, la interacción de factores como el clima, geología, geomorfología, vegetación, uso del territorio y el tipo de suelo determinan el proceso de recarga.

En zonas de llanura, como es el caso del área en estudio, dominan los vectores verticales en el movimiento del agua y puede producirse recarga a partir de lluvias locales; pudiendo alcanzar valores importantes (Bécher Quinódoz, 2014, Blarasin et al. 2016). Para el acuífero loésico del área de la ciudad de Río Cuarto Blarasin (2003) determinó mediante el balance de cloruros una Infiltración Eficaz de 11,2% de la precipitación anual, con balance hidrológico global (Visual Balan) de 11,6% y con el método de fluctuación de niveles freáticos de 13,2% y de 11,23% con el método de balance del Ión Cl.

#### *Método de Fluctuaciones del Nivel Freático*

De los múltiples métodos que existen, en el presente caso, las tasas de recarga se estimaron mediante el método de fluctuaciones del nivel freático: se mide la fluctuación del nivel freático en un pozo de observación y se interpretan los hidrogramas de niveles freáticos durante los eventos de infiltración.

Este método, según Healy y Cook (2002) es aplicable sólo a acuíferos libres, y además de conocer el nivel freático se requiere conocer la porosidad efectiva ( $S$ ) del acuífero; aunque utilizar un solo valor de porosidad efectiva puede originar errores en las estimaciones. Aceptando que el ascenso en el nivel del agua subterránea se debe al agua de recarga que llega al nivel freático, el cálculo es (Figura VIII.21):

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Siendo:

$R$ : Recarga

$S_y$ : Almacenamiento específico

$h$ : Nivel Freático

$t$ : tiempo (días, meses o años)

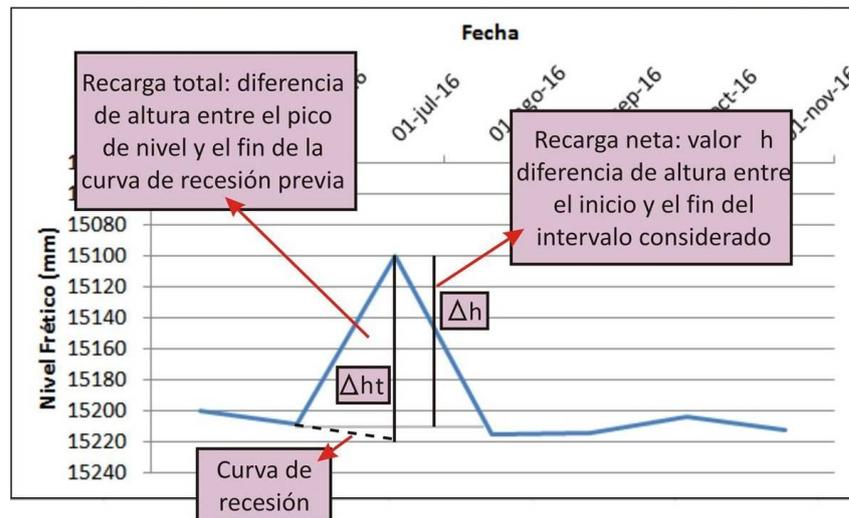


Figura VIII.21. Fundamento del método de fluctuaciones del nivel freático.

Para que la ecuación sea correcta se asume que el agua que llega al Nivel Freático pasa a integrar el flujo subterráneo, y que la evapotranspiración desde el Nivel Freático, el aporte al flujo base o al flujo regional subterráneo y otras salidas o entradas al sistema subterráneo son nulas (Healy y Cook, 2002).

El cálculo se realizó mediante el Software Liqko v.1. (Alincaastro y Algozino, 2010) que permite calcular la recarga neta con distintos pasos de tiempo (anual, mensual o semanal) utilizando la ecuación de Healy y Cook (2002).

Para el cálculo se dispuso de los valores diarios del nivel freático del Transductor de Presión instalado en  $P_f$  y de Precipitaciones diarias aportados por la Estación Agrometeorológica de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC, permite analizar con detalle las fluctuaciones de nivel en el lapso entre el 17 de Mayo de 2017 y el 28 de Febrero de 2018 (9 meses y medio). Un aspecto importante a mencionar es que no hay actividades que pueden interferir en el nivel freático en inmediaciones de la perforación. Por ejemplo, los sistemas de saneamiento vinculados a la residencia docente ubicada a 200 m hace varios años que han sido conectados a la red cloacal (informado por escrito por la secretaria de Coordinación técnica de la UNRC).

Se realizó el gráfico de variaciones del nivel freático con respecto a las precipitaciones (Figura VIII.221) para la serie completa el cual muestra que, posterior a una precipitación el nivel sube unos milímetros con un retardo del ascenso de nivel freático en relación a entrada de excedentes de precipitación entre 1 y 4 días posteriores a ocurrida la lluvia, y posteriormente desciende, en general, en forma también rápida, aspecto que puede estar vinculado a los materiales presentes. A partir de Septiembre las precipitaciones aumentan pero el nivel freático tiende a descender. Solo los meses de Diciembre y Enero tienen una tendencia al ascenso del nivel. En forma general el gráfico muestra que para el periodo total considerado de 9 meses el nivel freático descendió en el orden de 0,30 m. Esto puede vincularse a lo explicado en capítulo VI, en donde se demuestra que 2017 fue un año más seco.

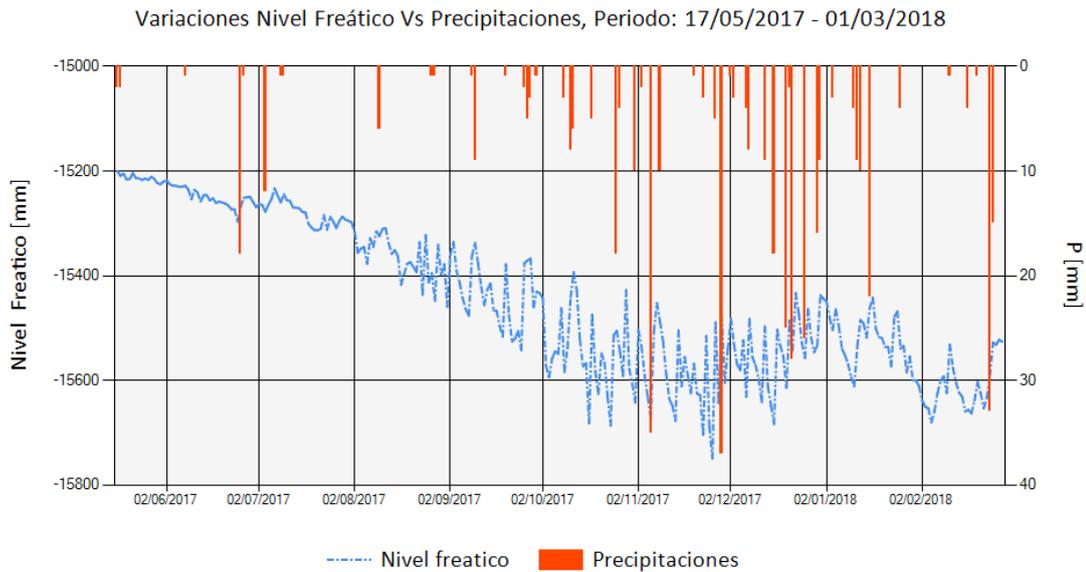


Figura VIII.22. Gráfico de variaciones del nivel freático y precipitaciones.

También se compararon las variaciones del nivel freático respecto al nivel precedente con paso diario y mensual (Figuras VIII. 23 y 24). Estos gráficos son de interés para mejorar el conocimiento del comportamiento del acuífero. El primer aspecto que debe marcarse es que como mínimo debería tenerse 1 año de datos, por lo que este análisis es incompleto. Sin embargo, pareció de utilidad comenzar a explicar y desentrañar qué ocurre en un acuífero de tipo aluvial en el que nunca se monitorearon niveles en la región.

Si se observa la variación del nivel freático diario respecto al precedente (Figura VIII.22) se destaca que las variaciones de ascensos y descensos son similares, pero para las diferentes estaciones muestran diferente magnitud. Así, son pequeñas para invierno, mayores para primavera y grandes para el verano. Hacia fines del verano las amplitudes de las variaciones comienzan de nuevo a descender. En el verano se observa que la mayor variación positiva (ascenso) respecto al día precedente fue de 0,25 m, mientras que la mayor variación negativa (descenso o descarga) fue de 0,15 m. En general, la similitud de variaciones entre ascensos y descensos indicaría similares posibilidades del acuífero para la recarga y la descarga, no mostrando el acuífero inercia para descargarse, aspecto coherente con la posición del freatígrafo. Es decir, el acuífero posee posibilidades de flujo hacia una descarga de base cercana (el río Cuarto). En cambio, en otros lugares de la llanura si la descarga está más imposibilitada, los excesos se acumulan y se producen elevaciones muy relevantes del nivel. Un aspecto a destacar es que a pesar de que la variación diaria muestra similitudes de ascenso y descenso dentro de cada estación, cuando se comparan las variaciones mes a mes (Figura VIII.23), el verano queda positivo, es decir el acuífero se ha recargado en esa estación.

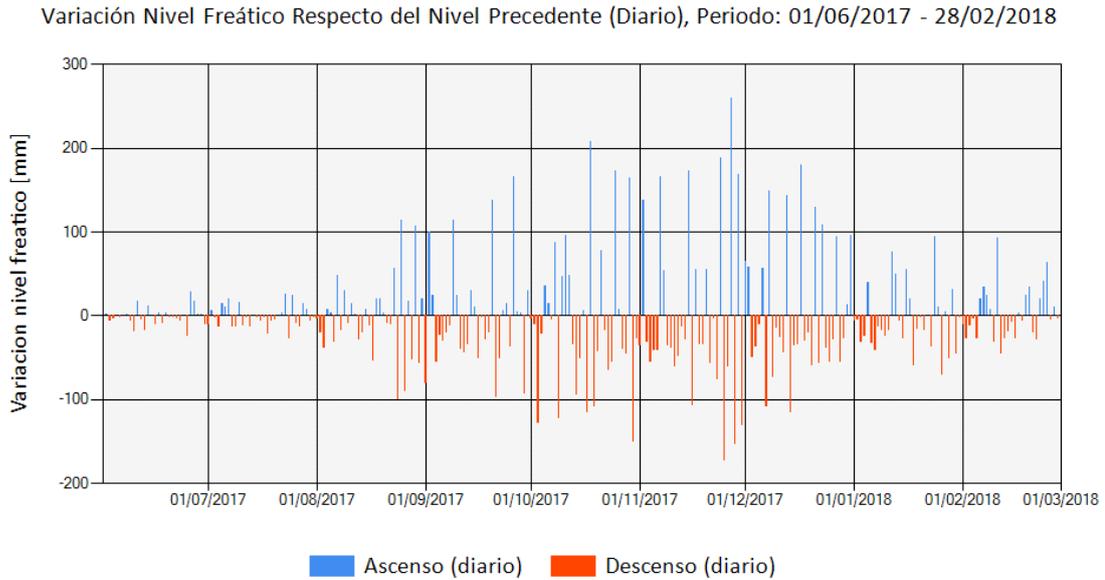


Figura VIII.23. Variaciones del nivel freático respecto al nivel precedente con paso diario.

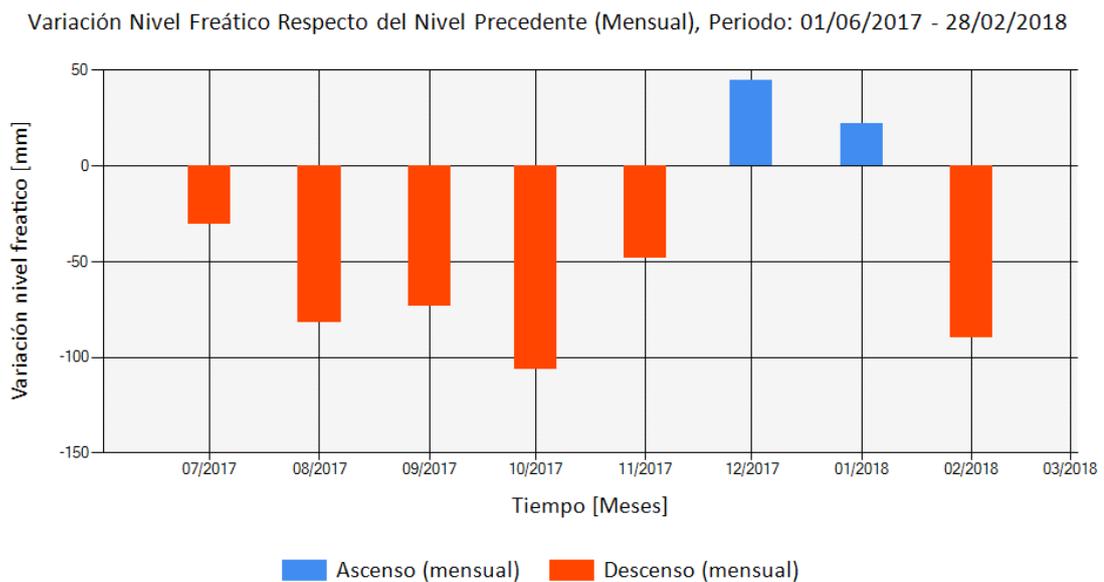


Figura VIII.24. Variaciones del nivel freático respecto al nivel precedente con paso mensual.

Para esta tesis la recarga se calculó con un paso de tiempo mensual; desde los meses de Junio de 2017 a Febrero de 2018 debido a que se cuenta con datos completos para ese periodo. Se hizo una aproximación de la porosidad específica para los materiales que se encuentran entre los 13,4 y 17,4 m (es decir, 2 m por encima y por debajo del nivel freático), llegándose a un valor de porosidad específica entre 20 y 15 % ya que se trata de materiales más finos que en el resto del acuífero. Dada la incertidumbre habitual en este tipo de cálculo, fundamentalmente vinculada al parámetro “S”, se procedió a calcular la recarga con estos dos valores (TablasVIII.13 y 15) para disponer de unos primeros valores estimativos.

a. Para una porosidad específica de 15 % durante los 9 meses de datos:

Un aspecto a destacar es que, calculada la recarga, se observa que hay meses en que la lámina de agua de recarga es mayor a la lluvia caída. Esto puede deberse a frentes de humedad en tránsito que han quedado en la zona no saturada. Sin embargo, es difícil explicar esta situación y estos aspectos deberán ser analizados con más detalle cuando se tengan más datos. Si se observa el monto total de recarga, éste duplica el valor de lluvia caída, por lo que no es fácil explicar el comportamiento del acuífero. Por otro lado, si se observan los montos totales, la recarga total es superada por la descarga, lo que explica sí la posición final del nivel (más baja que al inicio). El valor de balance neto recarga/descarga es entonces negativo.

Dada la situación explicada se decidió en principio y hasta tanto se disponga de más información evaluar fundamentalmente el ítem “balance de agua” entre recarga y descarga. Así, aquellos meses con balances positivos se consideraron lámina de agua ingresada al acuífero, calculándose el porcentaje que representan de la precipitación de ese mes. Como se observa en la Tabla VIII.14 los meses con balance positivo fueron Septiembre, Noviembre, Diciembre y Febrero. Calculado el porcentaje en relación a la precipitación se observa que los meses que más recargaron fueron Diciembre y Febrero, obteniéndose un promedio muy adecuado (14 % de la precipitación) para la región de acuerdo a estimaciones ya realizadas en otros sitios, aunque con sedimentos más finos (Blarasin 2003, Cabrera, 2009).

En resumen, se obtuvo que el total de recarga en relación a las precipitaciones varía entre 5,4 y 23,6 %; dando un promedio de 14,8 %. Si este valor de recarga promedio se extrapolara a 12 meses se podría estimar una recarga anual de 19,71 % de las precipitaciones. Sin embargo, a pesar de que se recargó el acuífero en algunos periodos, hubo un proceso de descarga importante que descendió el nivel durante el lapso analizado (Tabla VIII.14).

Los valores de recarga calculados para esta porosidad específica de 15% son algo bajos para lo que se espera de un acuífero de este tipo, pero se podría relacionar con la poca precipitación para los meses estudiados, ya que el año 2017 fue levemente más seco que la media anual de precipitaciones para Río Cuarto según la serie de la Estación Agrometeorológica Río Cuarto.

Tabla VIII.13. Calculo para Pe=15%

Periodo	Precipitación (mm)	Recarga (mm)	Descarga (mm)	Balance (mm)
<b>Junio 2017</b>	20	13,35	19,2	-5,85
<b>Julio 2017</b>	14	18,15	25,35	-7,2
<b>Agosto 2017</b>	8	70,65	82,65	-12
<b>Septiembre 2017</b>	22	100,2	95,85	4,35
<b>Octubre 2017</b>	44	144,75	170,7	-25,95
<b>Noviembre 2017</b>	103	189,15	183,6	5,55
<b>Diciembre 2017</b>	149	154,35	138,9	15,45
<b>Enero 2018</b>	52	57,6	81	-23,4
<b>Febrero 2018</b>	54	57	44,25	12,75
<b>Total</b>	466	805,2	841,5	-36,3

Tabla VIII.14. Meses con recarga (Pe=15%)

Mes	Precipitación (mm)	Balance (mm)	Recarga (% de P)
Septiembre 2017	22	4,35	19,8
Noviembre 2017	103	5,55	5,4
Diciembre 2017	149	15,45	10,4
Febrero 2018	54	12,75	23,6
		<b>Promedio</b>	<b>14,8</b>

b. Realizando el cálculo de recarga con un valor de porosidad específica de 20 %: Los meses en los que se genera recarga del acuífero dan entre 7,2 y 31,5 % de la precipitación (Tabla VIII.15), resultando en un promedio de 19,7 % (Tabla VIII.16). Si esto se extrapolara a 12 meses equivaldría a una recarga anual de 26,27 %, que en principio parece como muy alta, aunque no debe perderse de vista la alta permeabilidad de los sedimentos. De igual manera que en el caso anterior, el balance entre recarga descarga da negativo, indicando que en el periodo analizado el balance da negativo, indicando que el nivel freático descendió con respecto a la posición inicial que tenía cuando comenzó a ser medido

Tabla VIII.15. Cálculo para Pe=20%.

Periodo	Precipitación (mm)	Recarga (mm)	Descarga (mm)	Balance (mm)
Junio 2017	20	17,8	25,6	-7,8
Julio 2017	14	24,2	33,8	-9,6
Agosto 2017	8	94,2	110,2	-16
Septiembre 2017	22	133,6	127,8	5,8
Octubre 2017	44	193	227,6	-34,6
Noviembre 2017	103	252,2	244,8	7,4
Diciembre 2017	149	205,8	185,2	20,6
Enero 2018	52	76,8	108	-31,2
Febrero 2018	54	76	59	17
<b>Total</b>	<b>466</b>	<b>1073,6</b>	<b>1122</b>	<b>-48,4</b>

Tabla VIII.16. Meses con recarga (Pe=20).

Meses	Precipitación (mm)	Balance (mm)	Recarga (% de P)
Septiembre 2017	22	5,8	26,4
Noviembre 2017	103	7,4	7,2
Diciembre 2017	149	20,6	13,8
Febrero 2018	54	17	31,5
		<b>Promedio</b>	<b>19,7</b>

Además, se realizaron gráficos comparativos entre la precipitación y el balance de agua (Se eligió el de porosidad 15 % ya que cualquier valor de porosidad específica dará un gráfico similar. En él se observa (Figura VIII.25) que el balance de agua en el acuífero acompaña a las precipitaciones, es decir cuando las lluvias bajan es negativo, cuando las lluvias son altas es positivo.

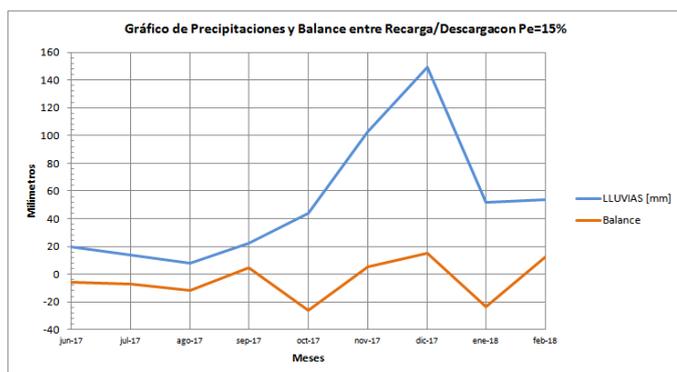


Figura VIII.25. Gráfico de Precipitaciones y Balance entre Recarga y Descarga para los meses desde Junio de 2017 a Febrero de 2018 para una  $Pe=15\%$ .

#### *Cálculo de recarga relacionando pico de ascenso de nivel freático - lluvia caída*

Para verificar el cálculo de la recarga se acudió a medir la misma evaluando sólo los picos de ascenso que pudieran más claramente vincularse a lluvias caídas. Esto dio los valores observados en las tablas VIII.17 y 18, y si bien da valores algo menores que los anteriores, el cambio no es tan notorio y sigue apareciendo el problema de que se recarga más de lo que precipita.

Tablas VIII.17. y VIII.18. Cálculo de recarga en base a ascensos del nivel freático relacionados a precipitaciones para una  $Pe=15\%$  y  $20\%$ .

Periodo	Variación h (mm)	Precipitación (mm)	Porosidad Especifica	Recarga
Junio 2017	88,89	20,00	0,15	13,33
Julio 2017	53,43	14,00	0,15	8,01
Agosto 2017	133,33	8,00	0,15	20,00
Septiembre 2017	166,47	22,00	0,15	24,97
Octubre 2017	473,91	44,00	0,15	71,09
Noviembre 2017	1004,44	103,00	0,15	150,67
Diciembre 2017	1071,11	149,00	0,15	160,67
Enero 2018	408,89	52,00	0,15	61,33
Febrero 2018	204,44	54,00	0,15	30,67
<b>Total</b>		466,00		540,74

Periodo	Variación h (mm)	Precipitación (mm)	Porosidad Especifica	Recarga
Junio 2017	88,89	20,00	0,2	17,78
Julio 2017	53,43	14,00	0,2	10,69
Agosto 2017	133,33	8,00	0,2	26,67
Septiembre 2017	166,47	22,00	0,2	33,29
Octubre 2017	473,91	45,00	0,2	94,78
Noviembre 2017	1004,44	103,00	0,2	200,89
Diciembre 2017	1071,11	149,00	0,2	214,22
Enero 2018	408,89	52,00	0,2	81,78
Febrero 2018	204,44	54,00	0,2	40,89
<b>Total</b>		467,00		720,98

*Método de Balance de Masa del Ion Cloruro*

El cloruro es el ión más conservativo en comparación con otros disueltos en el agua, debido a que prácticamente no se altera durante la infiltración. De esta forma la infiltración eficaz se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$Inf = \frac{I}{P} = \left(1 - \frac{Es}{P}\right) \times \frac{Cp}{Ci}$$

Siendo:

*I*: Infiltración

*P*: Precipitación

*Es*: Escorrentía Superficial

*Cp*: Concentración de cloruros en el agua de lluvia

*Ci*: Concentración de cloruros en el agua del acuífero

Si la Escorrentía “Es” tiene un valor muy pequeño a nulo, se puede asumir que:

$$Ie = \frac{Cp}{Ci} \times 100$$

Los datos de las perforaciones censadas dentro del Campus de la UNRC y los resultados obtenidos con este procedimiento se muestran en las Tablas VIII.19 y 20. Todas las muestras utilizadas para la medición de cloruros extraen agua entre los 20 y 35 m de profundidad. Excepto *Bd7* que también posee filtros desde los 29 a 46 m, y desde 61 a 70 m.

El valor de concentración de cloruros en el agua de lluvia se tomó de Blarasin (2003), haciendo un promedio entre los años de los que se posee valores (1994, 2001 y 2002) y por otro lado usando el promedio de varios años de Cabrera et al. (2013).

Tabla VIII.19. Porcentaje de lluvia recargado por precipitación utilizando el método de Balance de Masa del ión cloruro con datos de concentración de Cl en lluvia de Blarasin (2003).

Muestra	Cp (mg/L)	Ci (mg/L)	R (%)
Bd2	4.023	17.14	23.47
Bd7	4.023	11.43	35.20
P4	4.023	14.30	28.13
P5	4.023	14.30	28.13
		<b>Promedio</b>	<b>28.73</b>

Tabla VIII.20. Porcentaje de lluvia recargado por precipitación utilizando el método de Balance de Masa del ión cloruro con datos de concentración de Cl en lluvia de Cabrera et al. (2013).

Muestra	Cp (mg/L)	Ci (mg/L)	R (%)
Bd2	5.1	17.14	29.75
Bd7	5.1	11.43	44.63
P4	5.1	14.30	35.66
P5	5.1	14.30	35.66
		<b>Promedio</b>	<b>36.43</b>

Comparando ambos métodos, se observa que los valores de recarga obtenidos por medio del método de Fluctuaciones del nivel freático con una porosidad específica de 20 % son similares a los estimados con del Balance de masa del ión cloruro.

Todas las estimaciones permiten concluir que es necesario contar con más datos, probar con otros métodos, comparar con cálculos con año hidrológico en lugar de año calendario, considerar para el método de fluctuación del nivel freático en forma más discriminada solo los ascensos estrictamente vinculados a una tormenta, etc. Todas estas consideraciones deberán realizarse en el futuro.

#### VIII.2.2.4. Cálculo de Reservas del Acuífero Libre

Conocer las reservas del acuífero permite determinar y cuantificar las posibilidades de explotación para distintos fines, estableciendo pautas generales de extracción de agua (Giuliano et al., 2011) ya que al calcular las reservas se estima la cantidad total de agua movilizable en el acuífero.

Para los acuíferos freáticos (Figura VIII.26), la escuela francesa clasifica las reservas en:

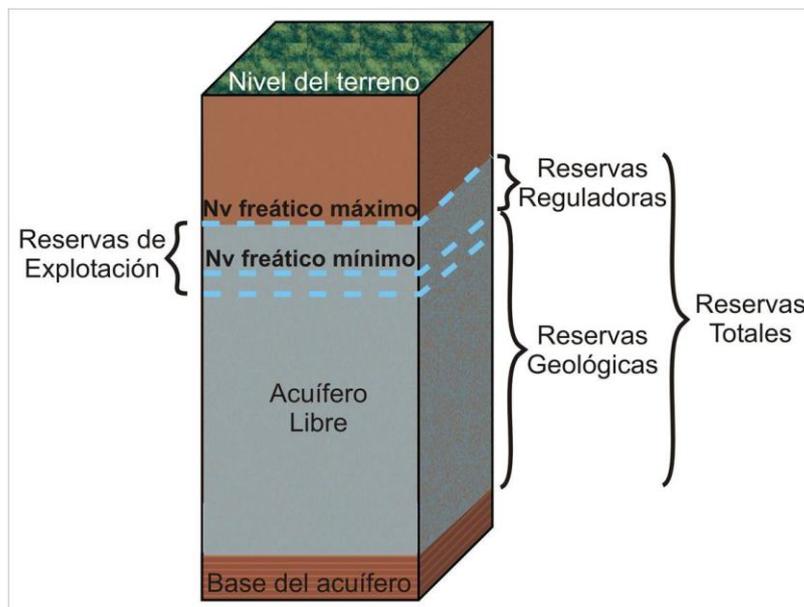


Figura VIII.26. Tipos de reservas en un acuífero libre según la escuela francesa.

a. *Reservas Reguladoras, Generadoras o Fluctuantes*: Cantidad de agua libre almacenada en el acuífero en el transcurso de una recarga importante por medio de la alimentación natural. Sufren por consiguiente las consecuencias del ritmo estacional o interanual de las precipitaciones y están en estrecha relación con las variaciones del nivel piezométrico.

Como se dispone de las aproximaciones de porcentaje de lluvia recargado para el período Junio de 2017 a Febrero de 2018, se procedió a calcular el volumen de Reservas Reguladoras a partir de un promedio de la posible recarga anual, que se traduce en una lámina de agua recargada; de esta forma el volumen de reserva reguladoras será:

$$\text{Reservas Reguladoras} = A \cdot La$$

Siendo:

*Reservas Reguladoras*: Volumen de agua recargado

*A*: Área

*La*: Lámina de agua recargada en un año.

Para calcular la lámina de agua que se puede incorporar anualmente debe tenerse en cuenta las posibilidades de recarga del acuífero, lo que se resume en porcentajes en la tabla VIII.19. Considerando que la precipitación media anual para Río Cuarto es 787 mm y tomando el criterio que se muestra en la tabla VIII.21 de que en promedio el 28 % podría acceder al acuífero, se tiene una lámina de 220 mm, que podría constituir la reserva reguladora. Además, el área para la cual se han calculado las reservas del acuífero libre es la del campus de la UNRC que posee aproximadamente 2 km<sup>2</sup>.

Tabla VIII.21. Promedios calculados de recarga de lluvia al acuífero a partir de los diferentes resultados de los cálculos de recarga.

Método	Porcentajes de recarga de lluvia al acuífero			
	Fluctuaciones del nivel freático		Balance de masas del ion cloruro	
	Pe=15%	19,71	Promedio Cl en P=4,023 mg/L	28,73
	Pe=20%	26,27	Promedio Cl en P=5,1 mg/L	36,43
Promedio de cada método	23		33	
<b>Promedio general</b>	<b>28</b>			

De esta forma:

$$\begin{aligned} \text{Reservas Reguladoras} &= A \cdot La \\ \text{Reservas Reguladoras} &= 2\text{km}^2 \cdot 0,00022\text{km} = 4,4 \times 10^{-4} \text{km}^3 = \mathbf{0,44 \text{ Hm}^3} \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta que circulan aproximadamente 15.000 personas diariamente en la UNRC (esta cálculo es una sobreestimación, ya que claramente durante algunos meses no circula esa cantidad de gente en el campus), estas reservas reguladoras corresponden a casi 80 L/hab/día disponibles para el uso.

*b. Reservas Geológicas, Permanentes o Seculares:* Cantidad de agua extraíble de un acuífero pero que se encuentran entre el nivel estático mínimo y el piso del acuífero (espesor mínimo “e mín”) y por lo tanto permiten una explotación más importante, pero no se deben extraer en su totalidad. Su cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$\text{Reservas Geológicas} = A \cdot e_{\text{mín}} \cdot pe1$$

Para este cálculo se toma en cuenta el espesor acuífero mencionado y calculado a partir de la perforación Ps1 (entre 15,4 y 73 m de profundidad). Como se indicara previamente se usó el valor de porosidad específica 22 % para todo el espesor acuífero el cual se explicara en el apartado VIII.2.1.1 de este capítulo, el espesor mínimo del acuífero se considera desde los 73 m de la base hasta aproximadamente 17 m de profundidad del nivel freático, considerando que en un ciclo muy seco podría llegar a bajar hasta esa profundidad. Esto se basa en datos antecedentes (Blarasin et al., 2014 y 2016) y del propio comportamiento del nivel freático en el pozo de monitoreo el que en casi 1 año seco ha bajado 0,60 m.

$$\text{Reservas Geológicas} = 2\text{km}^2 \cdot 0,056\text{Km} \cdot 0,22 = 0,02464\text{Km}^3 = \mathbf{24,64 \text{ Hm}^3}$$

*c. Reservas Totales:* Es la suma de las Reservas Reguladoras (RR) y Geológicas (RG).

$$\begin{aligned} \text{Reservas Totales} &= \text{Reservas Geológicas} + \text{Reservas Reguladoras} \\ \text{Reservas Totales} &= 0,44 \text{ Hm}^3 + 24,64 \text{ Hm}^3 = \mathbf{25,08 \text{ Hm}^3} \end{aligned}$$

*d. Reservas de Explotación:* Es la cantidad máxima de agua que podría ser explotada del acuífero sin riesgos de perjuicios, están constituidas por las reservas reguladoras más una parte de las Geológicas. Éstas se definen no sólo con criterio hidrogeológico (factores técnicos), sino también en función de los factores socio-políticos y económicos. Dada la necesidad de hacer más mediciones y evaluar estos factores no se presenta el cálculo en este caso.

Los valores obtenidos se muestran en la Tabla VIII.22.

No se han calculado las reservas para el acuífero semiconfinado presente en el área de estudio debido a que se desconoce el Coeficiente de Almacenamiento del mismo.

Tabla VIII.22. Reservas calculadas para el acuífero libre.

<b>Reservas Reguladoras (RR) (Hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Reservas Geológicas (RG) (Hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Reservas Totales (RT) (Hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Reservas de Explotación (RE) (Hm<sup>3</sup>/año)</b>
0,44	24,64	25,08	A estimar

### VIII.2.3. Hidroquímica Local

En ausencia de actividades humanas la calidad natural de las aguas es resultado de los procesos climáticos, geológicos, biológicos e hidrológicos. De esta forma, el estudio hidroquímico de un acuífero se enfoca en establecer relaciones entre la composición, distribución y circulación del agua subterránea con la geología, mineralogía y el sistema de flujos del agua (Vazquez Suñé, 2009). Si al estudio se agregan las actividades de uso, entonces ya se trata de un estudio en el que se intenta verificar la interacción entre los compuestos y procesos naturales con aquellos derivados de la actividad humana.

Para estudiar la hidroquímica en la zona de estudio, se recolectaron 12 muestras de agua subterránea procedentes de las perforaciones ya descritas para la zona y se obtuvieron 2 análisis de muestras realizadas por Moreno (2017), provenientes de de las dos perforaciones de riego de la UNRC (P4 y P5) que, como se indicara, también captan del acuífero libre. Los resultados de los análisis físico-químicos se observan en la Tabla VIII.23.

Tabla VIII.23. Resultado de los análisis Físico-Químicos de laboratorio de muestras de agua subterráneas.

Fecha	Procedencia	Nº	pH	CE	SDT	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	As	F <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		Muestra		[µS/cm]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[µg/L]	[µg/L]	[mg/L]	[mg/L]
29/09/2017	UNRC - Riego	BD1	8.26	419	293	0	145.0	60.77	17.14	18.20	6.15	45.60	5.85	5	0.18	11.50
29/09/2017	UNRC - Pileta	BD2	7.69	571	400	0	197.5	43.27	17.14	18.20	7.03	57.60	5.85	5	0.15	27.00
23/08/2017	Rio IV	BD3	8.00	453	317	0	240.0	22.81	8.57	42.47	8.50	54.40	7.80	8	0.40	30.00
23/08/2017	Rio IV	BD4	7.80	460	322	0	247.5	14.95	11.43	38.42	8.06	56.80	4.88	8	0.26	15.00
23/08/2017	Rio IV	BD5	8.12	557	390	0	300.0	10.62	14.29	55.61	8.94	60.80	6.34	3	0.24	28.00
23/08/2017	Rio IV	BD6	8.00	509	356	0	297.5	14.55	11.43	69.77	7.62	51.20	7.32	6	0.20	5.00
29/09/2017	UNRC - Campo Exp.	BD7	8.34	440	308	2.42	162.5	5.51	11.43	16.68	6.45	45.60	3.90	4	0.35	13.20
03/10/2017	Bº Los Quebrachos	BD8	7.90	536	375	0	212.5	83.45	8.57	32.86	7.62	51.60	10.00	6	0.26	9.00
03/10/2017	AYUP	BD9	7.01	437	306	0	150.0	56.24	11.43	13.14	7.33	51.20	9.76	4	0.15	21.00
03/10/2017	Bº Riverside	BD11	7.40	501	351	0	162.5	42.87	14.29	35.39	8.06	60.00	3.90	3	0.12	32.00
03/10/2017	Rio Cuarto	BD12	8.11	397	278	0	145.0	56.24	8.57	26.29	6.59	48.00	4.39	3	0.13	13.00
03/10/2017	Bº Los Tilos	BD14	8.22	431	301.7	0	177.5	105.14	8.57	36.40	7.03	44	10.24	1	0.14	1.5
01/03/2017	Riego - UNRC	P4	7.55	485	340	0.00	233.00	33.00	14.30	63.7	5.10	40.8	10.20	10	0.60	19.00
01/03/2017	Riego - UNRC	P5	7.68	410	287	0.00	215.00	37.00	14.30	45.50	5.60	40.00	8.80	8	0.40	10.50

#### VIII. 2.3.1. Conductividad eléctrica

La Conductividad Eléctrica es la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica. Sirve como medida indirecta para conocer la concentración de Sales Disueltas Totales debido a la relación directa entre los dos parámetros. En el caso de todas las muestras analizadas, el contenido salino permite afirmar que son dulces porque no superan los 2.000 mg/L de sales disueltas totales, siguiendo la clasificación de Custodio y Llamas (1983) (Tabla VII.4 del capítulo anterior)

La Figura VIII.27 muestra que en toda la zona las aguas procedentes del acuífero libre sedimentario son dulces, con conductividades eléctricas desde 397 hasta los 600 µS/cm, es decir, es un rango pequeño que muestra bastante homogeneidad salina para todo el ámbito evaluado.

El mapa también permite determinar que las aguas más dulces están en la franja central del área de estudio, con valores entre los 397 a 500 µS/cm, relacionadas a perforaciones que poseen sus filtros en materiales areno-gravosos,

independientemente de la unidad hidrogeológica en que se encuentren, ya que aunque algunas están en la unidad fluvio eólica, captan agua de paleocauces.

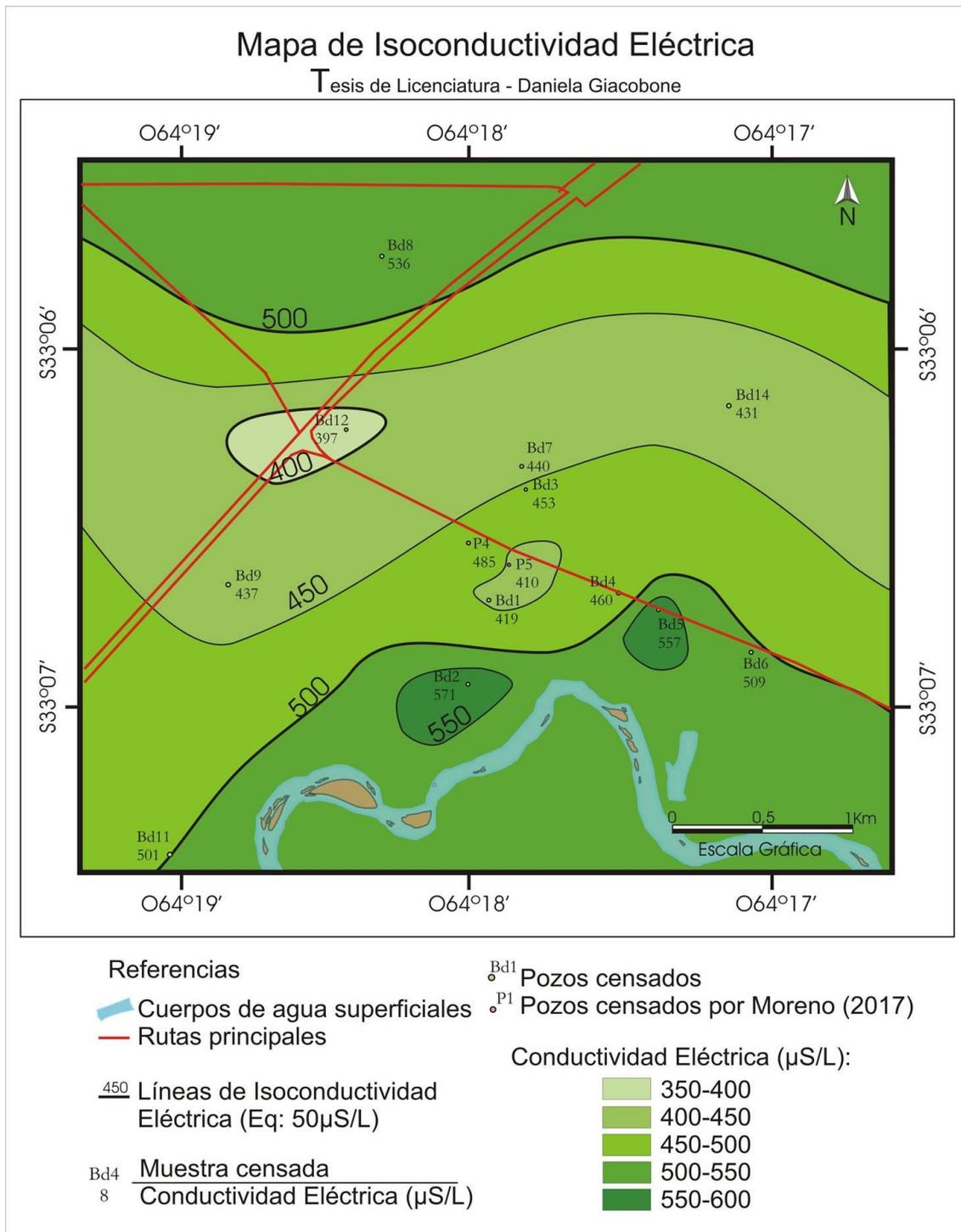


Figura VIII.27. Mapa de Isoconductividad Eléctrica del acuífero libre.

### VIII.2.3.2. Clasificación geoquímica

A partir de los datos obtenidos de los análisis físico-químicos (Tabla VIII.23) se procedió a realizar la clasificación geoquímica de las muestras de agua subterránea, según la

concentración de iones mayoritarios, utilizando el diagrama de Piper-Hill (Figura VIII.28) el cual fue graficado con el software EasyQuim (2007).

Los diagramas de Piper-Hill permitieron determinar que el 64,28 % (9 muestras: *Bd1*, *Bd2*, *Bd3*, *Bd4*, *Bd7*, *Bd8*, *Bd9*, *Bd11* y *Bd12*) de las muestras son Bicarbonatadas Cálcidas, mientras que un 28,57 % (4 muestras: *Bd5*, *Bd14*, *P4* y *P5*) corresponden a aguas Bicarbonatadas Cálculo-Sódicas. El menor porcentaje es de 7,14 % y corresponde a una sola muestra de tipo Bicarbonatada Sódico-Cálcida, *Bd6*.

El anión dominante en todas las muestras es el bicarbonato, mientras que el catión prevalente es calcio.

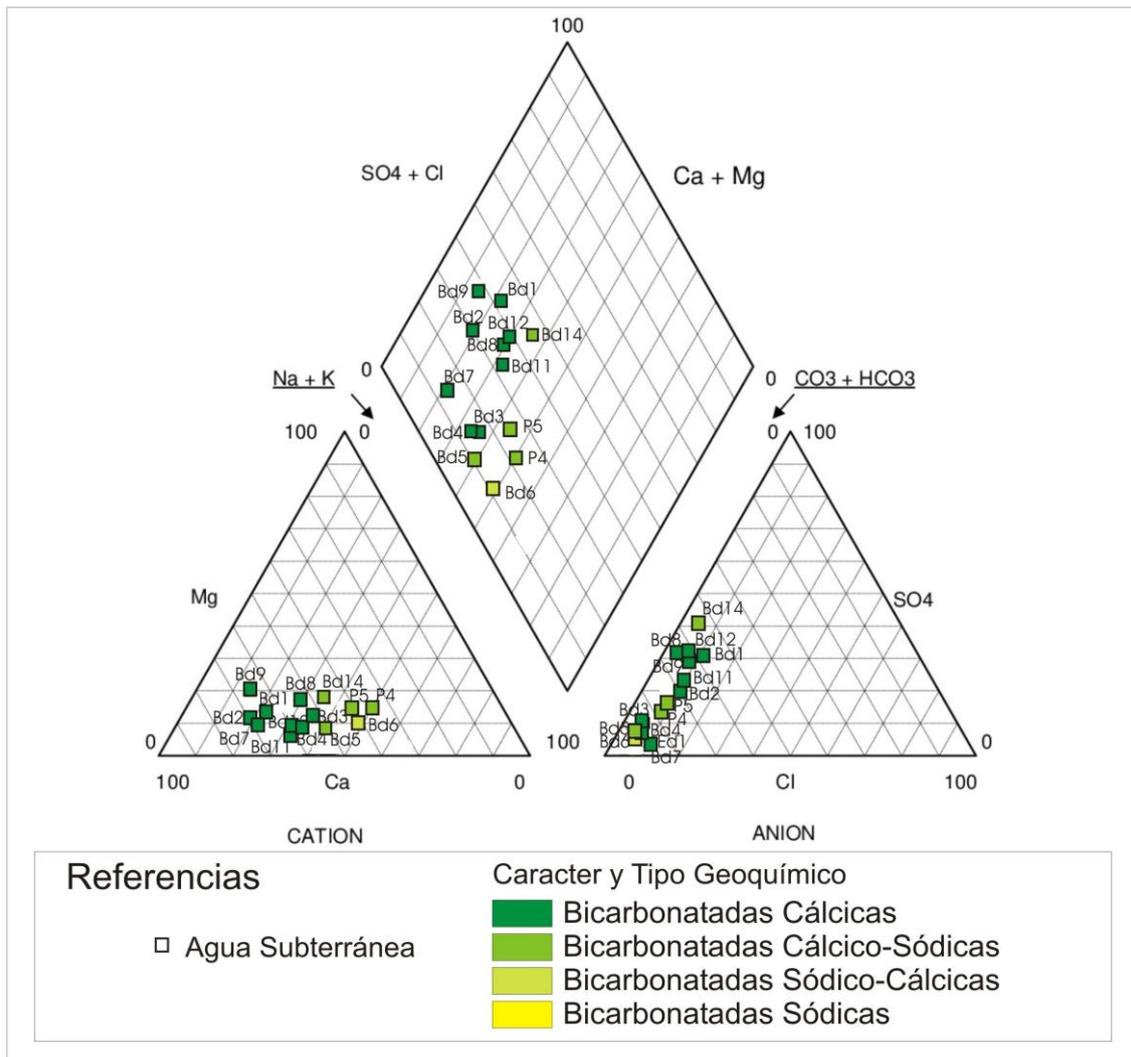


Figura VIII.28. Diagrama de Piper-Hill de las muestras de agua subterránea.

Las muestras Bicarbonatadas Cálcidas tienen una amplia distribución en el área de estudio, y están presentes en las diferentes unidades geomorfológicas descritas en el Capítulo IV, y están alojadas en los acuíferos *UHA* y *UHC*.

En el caso del acuífero *UHA* (*Acuífero de media y alta permeabilidad, heterogéneo*) las muestras son exclusivamente Bicarbonatadas Cálcidas. Según Blarasin (2003) este tipo se corresponde con materiales gruesos con alta tasa de recarga y mayores velocidades

de circulación. Al tener un nivel libre somero el agua que infiltra tiene menos contacto con los sedimentos y por ende se carga de pocas sales. La principal reacción que produce el predominio de los bicarbonatos es la incorporación de  $\text{CO}_2$  del agua de lluvia y de su paso por la zona edafizada donde se oxida materia orgánica disponible a expensas del Oxígeno disuelto en el agua, produciendo dióxido de carbono. También son bicarbonatadas cálcicas las muestras que se obtuvieron en la unidad hidrogeológica *UHC*, que provienen de capas con depósitos más gruesos.

Las muestras Bicarbonatadas Cálcico Sódicas se encuentran en la zona Centro-Este, y la única muestra con característica Bicarbonatada Sódico-Cálcica se sitúa al Este del área; ambas se relacionan a la unidad geomorfológica *Planicie Eólica con Paleorasgos Fluviales* (Ver Capítulo IV.1) y al *acuífero de alta, media y baja permeabilidad, heterogéneo (UHC)* que al poseer capas de diferentes granulometrías el agua tendrá mayor tiempo de interacción con las fase sólida del acuífero, lo que explica una mayor concentración de elementos químicos en la solución.

Los Diagramas de Stiff representan las concentraciones de los componentes principales representados en miliequivalentes por litro (meq/L) para una muestra. El perfil de los cationes es representado a la izquierda y el de los aniones a la derecha. Se utilizan para mostrar la distribución espacial de los tipos geoquímicos como se observa en la Figura VIII.29. En este caso, y con fines comparativos, se ha procedido a graficar el diagrama de Stiff de la muestra obtenida del río Cuarto junto a las de agua subterránea.

Como puede observarse hay una importante homogeneidad geoquímica, tratándose de aguas escasamente evolucionadas y de gran similitud al agua superficial. Puede indicarse además que las precipitaciones que infiltran y recargan el acuífero, especialmente en la unidad *UHC* que está cubierta por sedimentos eólicos, no incorporan grandes cantidades de sales en su paso por la zona no saturada. Desde la perspectiva del flujo lateral de agua subterránea las muestras son representativas de flujos que circulan desde el pedemonte, predominantemente por este tipo de materiales gruesos, lo que disminuye los procesos de meteorización que permitirían que la solución se cargue en sales.

### VIII.2.3.3. Dureza

La dureza del agua es la suma de concentraciones de iones metálicos polivalentes disueltos, de los cuales  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  son predominantes y además esenciales para el ser humano (formación de huesos y dientes). En el caso del magnesio se destaca su rol cardio-protector, habiéndose estimado para ello valores necesarios superiores a 6 mg/L. Las aguas duras generan obstrucción por precipitación de sales insolubles de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  (incrustaciones) en cañerías y sanitarios.

Dada su importancia, este parámetro fue analizado para todas las muestras, observándose que exhiben un rango de muy poca variabilidad, desde 129,94 hasta 170,03 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . La distribución en el mapa de isolíneas indica que algunas muestras algo más blandas se vinculan a la unidad hidrogeológica *UHC*.

Según la clasificación de Custodio y Llamas (1983) son todas *aguas duras* (Figura VIII.30 y Tabla VIII.24).

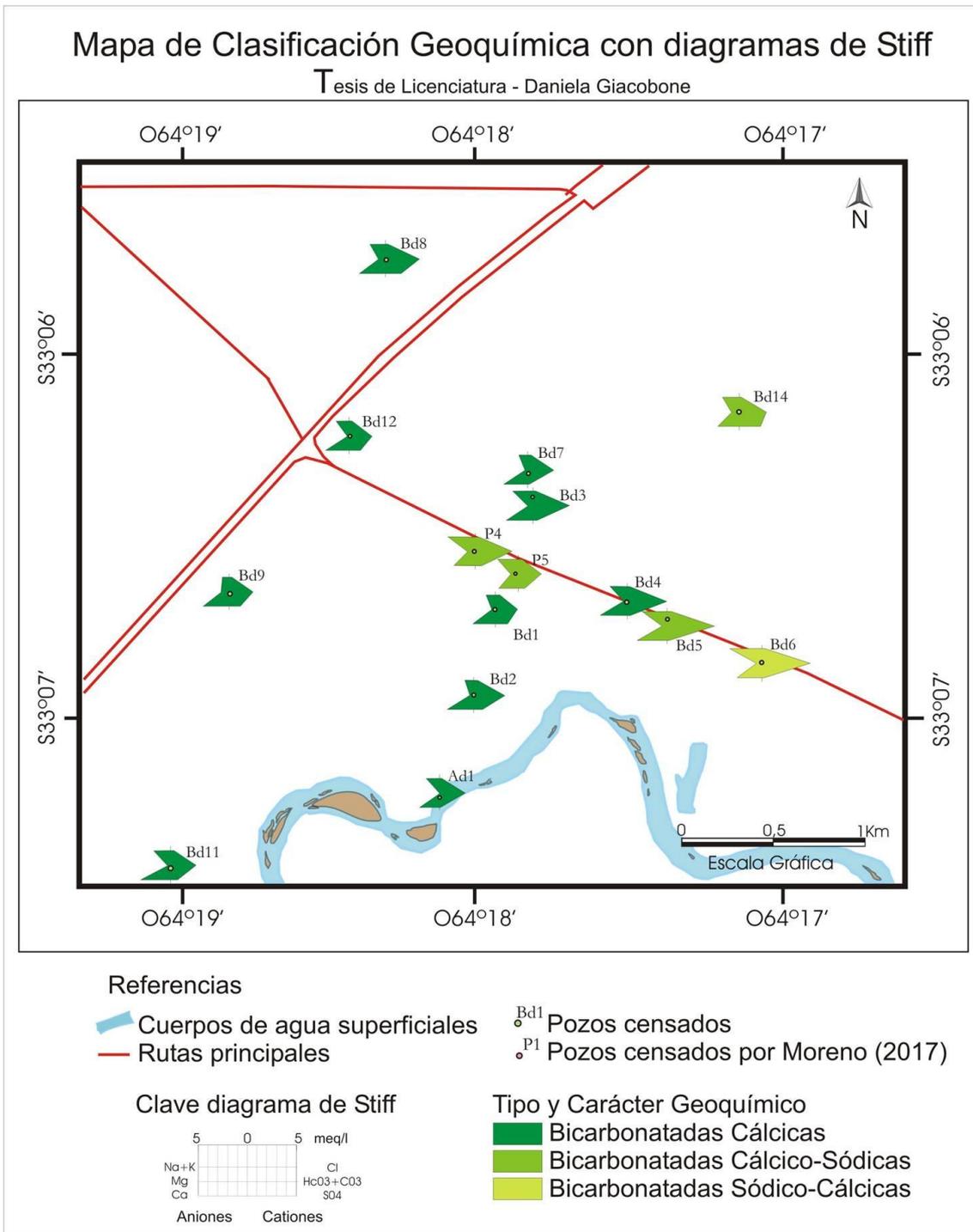


Figura VIII.29. Mapa de diagrama de Stiff para las muestras de agua subterráneas y para la muestra proveniente del río Cuarto, que muestra la clasificación geoquímica correspondiente.

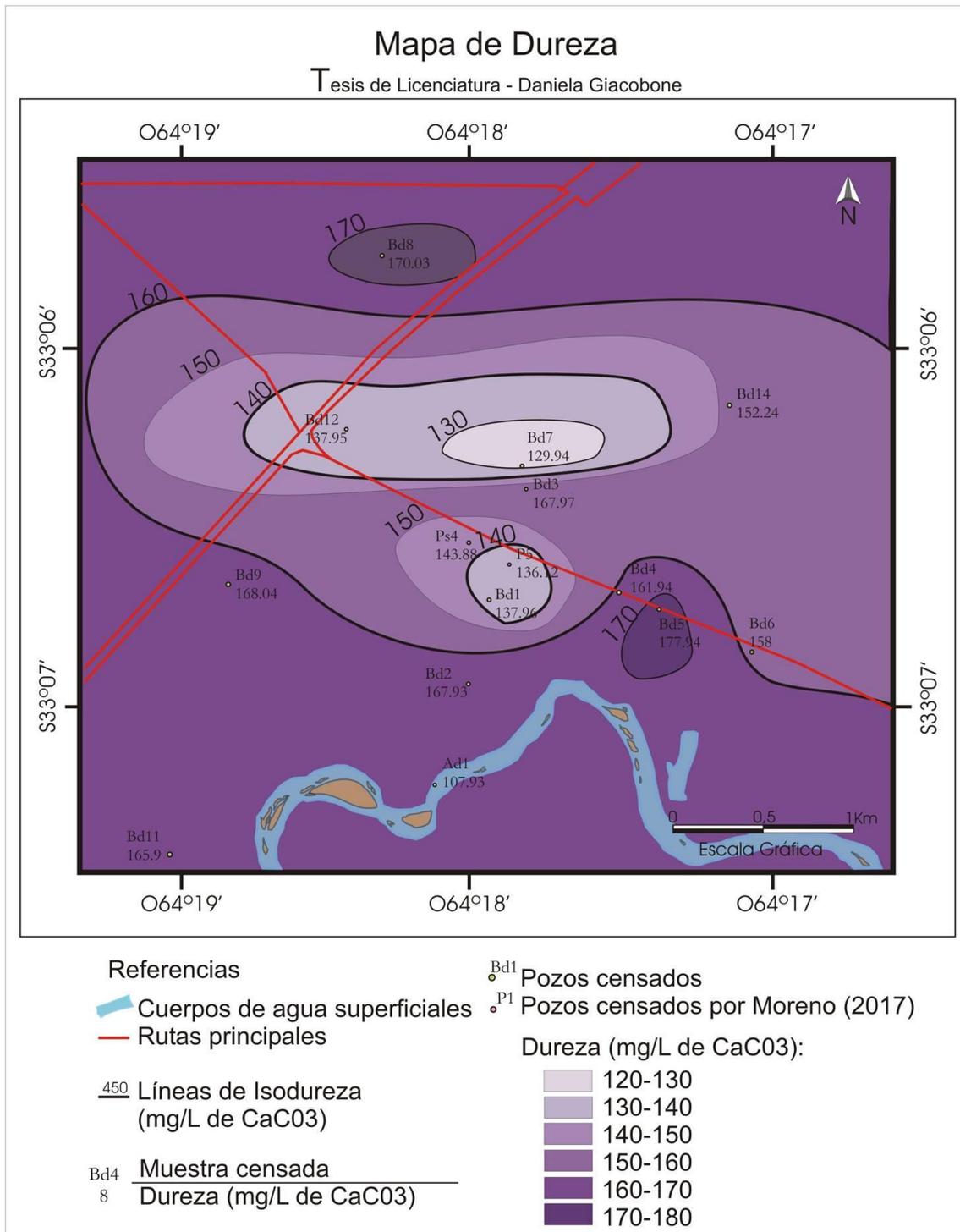


Figura VIII.30. Mapa de Dureza del acuífero libre

Tabla VIII.24. Valores de Dureza calculados con el Software Online del Centro Canario del Agua (2015) para las muestras subterráneas analizadas.

Muestra	mg/L de CaCO <sub>3</sub>	Clasificación de Custodio y Llamas (1983)
Bd1	137,96	Dura
Bd2	167,93	Dura
Bd3	167,97	Dura
Bd4	161,94	Dura
Bd5	177,94	Dura
Bd6	158	Dura
Bd7	129,94	Dura
Bd8	170,03	Dura
Bd9	168,04	Dura
Bd11	165,9	Dura
Bd12	137,95	Dura
Bd14	152,24	Dura
P4	143,88	Dura
P5	136,12	Dura

#### VIII.2.3.4. Elementos traza y minoritarios: As, F<sup>-</sup>, y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Los elementos minoritarios son elementos o compuestos químicos que se encuentran disueltos a muy bajas o moderadas concentraciones (fluoruros, nitratos, etc.). En cuanto a los elementos traza, están a muy bajas concentraciones y el clásico ejemplo es el de los metales (arsénico, plomo, cromo, entre otros).

De estos se analizarán en detalle sólo F<sup>-</sup>, As y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ya que su presencia es común en las aguas subterráneas del Sur de la provincia de Córdoba, y a veces sus concentraciones superan los límites de aptitud estipulados, produciendo efectos patológicos en las personas o animales que los consumen por un tiempo prolongado (Blarasin et al. 2014).

##### VIII.2.3.4.1. Fluoruros

No hay una sola razón que explique su presencia y comportamiento en el acuífero, sin embargo, Blarasin et al. (2014) remarcan la clara vinculación entre la composición mineralógica de los sedimentos y los tenores de flúor disueltos; específicamente la fluorita y la fluorapatita, y en forma subordinada el anfíbol, micas y piroxenos son las fuentes más probables para la *Llanura Chacopampeana*. Además, un pH entre 7,6 y 8,6 es favorable para su entrada en solución. Los minerales derivados de rocas ígneas y metamórficas también pueden aportar flúor al agua subterránea por procesos de disolución (Nicolli et. al. 1997) e intercambio aniónico (Zack, 1980). Estos autores también han observado que los tenores de calcio y sodio son los principales factores que controlan la concentración de fluoruros en aguas naturales, siendo calcio el que inhibe su concentración y sodio el que la facilita (Blarasin, 2003); de forma que el flúor se suele encontrar en aguas subterráneas bicarbonatadas sódicas o con altas concentraciones de bicarbonatos y poco calcio.

Los datos obtenidos en el análisis físico-químico de laboratorio se han volcado en la Figura VIII.31. Los resultados muestran valores desde los 0,12 hasta 0,60 mg/L, de modo que se trata de contenidos muy bajos. Los más bajos están relacionados al

ambiente hidrogeológico UHA: *Acuífero de media y alta permeabilidad, heterogéneo*. En cuanto a las concentraciones de flúor situados en la unidad UHC (*Acuífero de alta, media y baja permeabilidad, heterogéneo*) muestran valores variables, desde los 0,13 a 0,60 mg/L. Esto puede deberse a que la cubierta eólica es más espesa en dicha unidad hidrogeológica. Teniendo en cuenta que el vidrio volcánico del loess ha sido indicado como un posible origen del flúor, esta podría ser una causa del leve aumento.

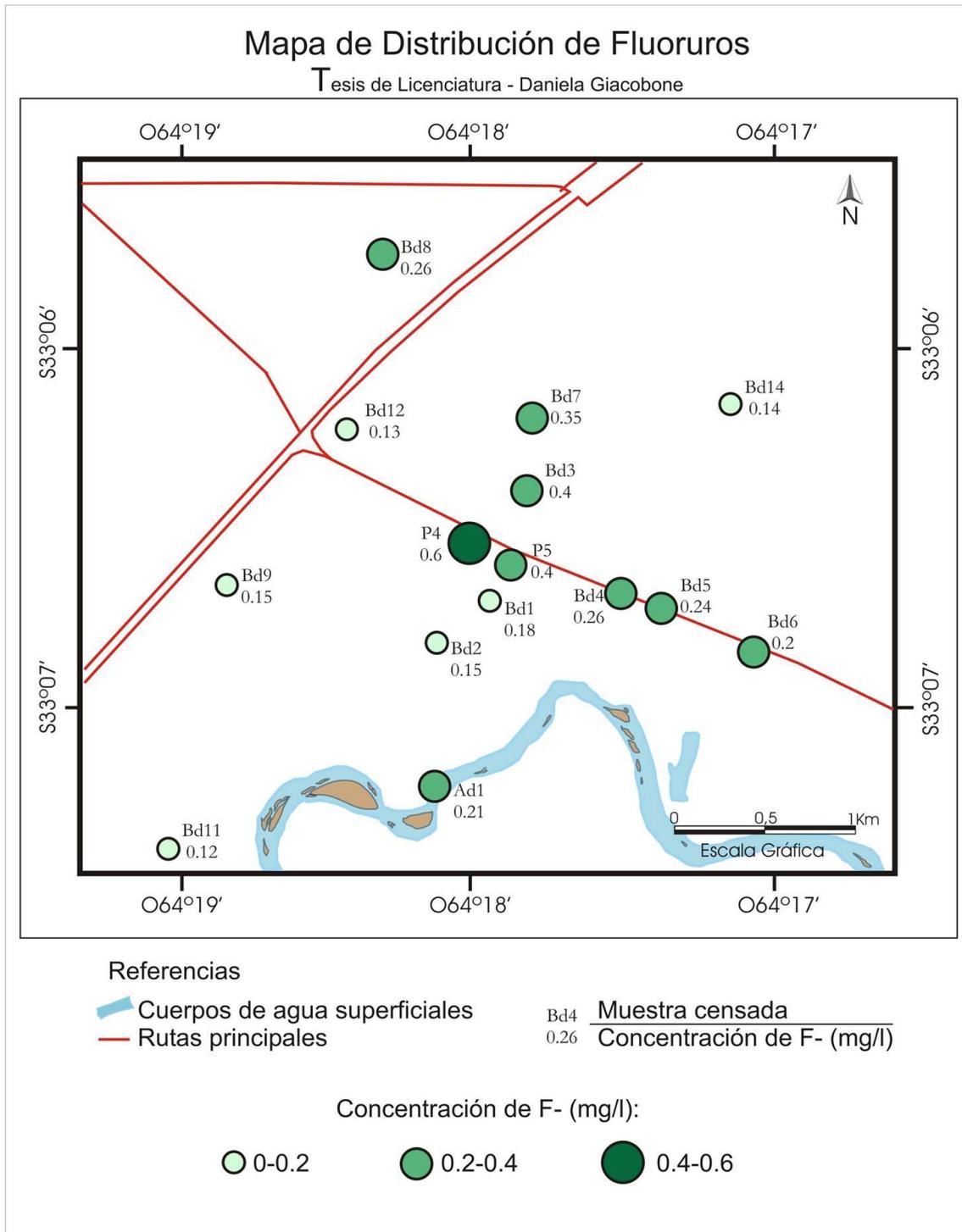


Figura VIII.31. Mapa de Distribución y Concentración de fluoruros en las muestras de agua subterránea y la muestra del curso del río Cuarto.

#### VIII.2.3.4.2. Arsénico

La Llanura Chacopampeana es un área reconocida mundialmente por poseer una de las más altas concentraciones de arsénico en el agua subterránea (Smedley y Kinninburg, 2002). El origen de este elemento ha sido asociado por diversos autores (Smedley y Kinninburg, 2002; Nicolli et. al, 1997; Blarasin, 2003; entre otros) a los componentes principales de los sedimentos loésicos, tales como vidrio, minerales y fragmentos líticos de origen volcánico. Si bien en otros ambientes geológicos el arsénico también puede ser constituyente secundario de algunos sulfuros (pirita, calcopirita, esfarelita, entre otros), en esta región ha sido comúnmente asociados a óxidos de hierro, que pueden estar presentes en los sedimentos que componen al acuífero, desde cuyas superficies y a altos pH el arsénico puede sufrir procesos de desorción. A nivel regional, en el acuífero libre de la provincia de Córdoba, según Blarasin et al. (2014) los valores de arsénico muestran una fuerte vinculación con las unidades hidrogeológicas: los valores menores a 30  $\mu\text{g/L}$  se agrupan en el área correspondiente a llanuras fuertemente onduladas y fajas fluviales, por la recarga de agua superficial con casi nulos tenores de arsénico y las altas conductividades hidráulicas (relacionadas a la presencia de sedimentos areno-gravosos) que disminuyen la interacción del agua con la fase mineral y por lo tanto, la capacidad de cargarse de iones. Posteriormente y en sentido del flujo subterráneo, cuando los espesores de sedimentos finos fluviales y especialmente loésicos aumentan, los valores de arsénico disuelto son cada vez más altos, alcanzando valores desde más de 30 y hasta 500  $\mu\text{g/L}$  o más en algunos sitios. Estos autores también han observado que los pH altos y las aguas con altos tenores de bicarbonatos son condiciones propicias para la presencia de Arsénico en solución.

En la zona estudiada los valores de Arsénico presentes en el acuífero libre son muy bajos, en el rango de 1 a 10  $\mu\text{g/L}$  lo que demuestra la importancia de los sedimentos fluviales gruesos del que extraen agua todas las perforaciones.

Su distribución espacial (Figura VIII.32) muestra que sobre la unidad hidrogeológica *UHA* los valores son siempre bajos, en concordancia con los sedimentos fluviales, de granulometría gruesa y con una mineralogía poco reactiva.

Por otro lado, el resto de los valores, que varían entre 1 y 10  $\mu\text{g/L}$  se ubican en la unidad hidrológica *UHC* que, como ya se ha nombrado anteriormente, ofrece diferentes concentraciones de los elementos en relación a la presencia de sedimentos más finos e incluso eventualmente eólicos, más propicios para aportar estos elementos.

Por la afinidad química entre los tenores de arsénico y flúor, según Blarasin (2003) es normal que presenten un elevado coeficiente de correlación positiva “*r*”. De este modo, si la correlación es alta indica que similares condiciones geoquímicas favorecen la movilización de ambos elementos, ya sea en bajas o altas proporciones.

De esta forma se calculó el coeficiente de correlación lineal obteniéndose un valor de  $r=0,73$  para todas las muestras subterráneas (Figura VIII.33.a). Si los valores de ambos elementos son comparados, pero teniendo en cuenta las unidades hidrogeológicas (*UHA* y *UHC*), se obtienen aún mejores correlaciones, de  $r=0,8$  en ambos casos. Notoriamente, y si bien los valores son en general muy bajos, al agruparlos por unidad hidrogeológica se observa que los valores de ambos se duplican (o triplican en el caso

de F) en el ambiente donde hay más participación de sedimentos eólicos (Figura VIII.33.b y c).

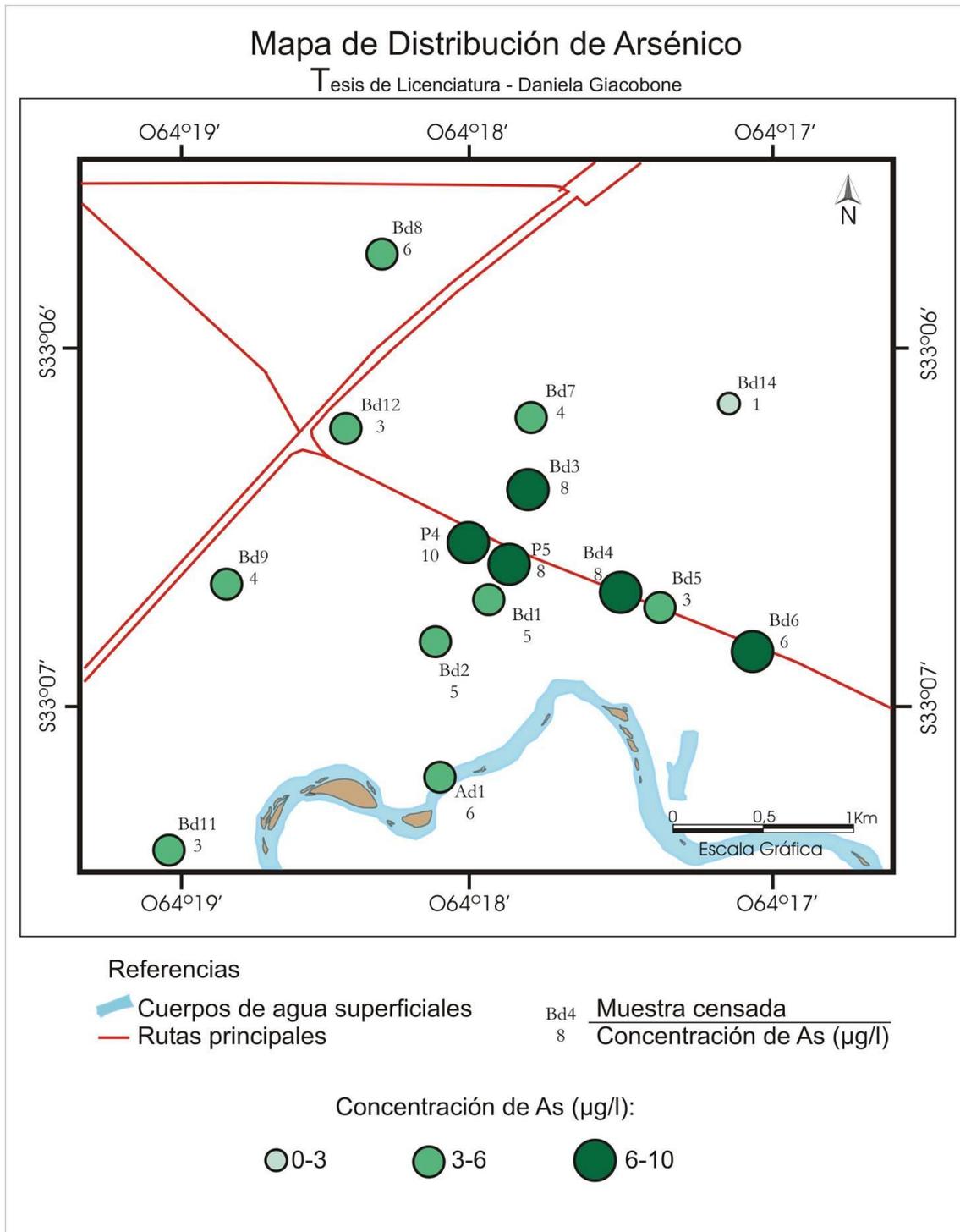


Figura VIII.32. Mapa de Distribución y Concentración de arsénico en las muestras de agua subterránea y la muestra del curso del río Cuarto.

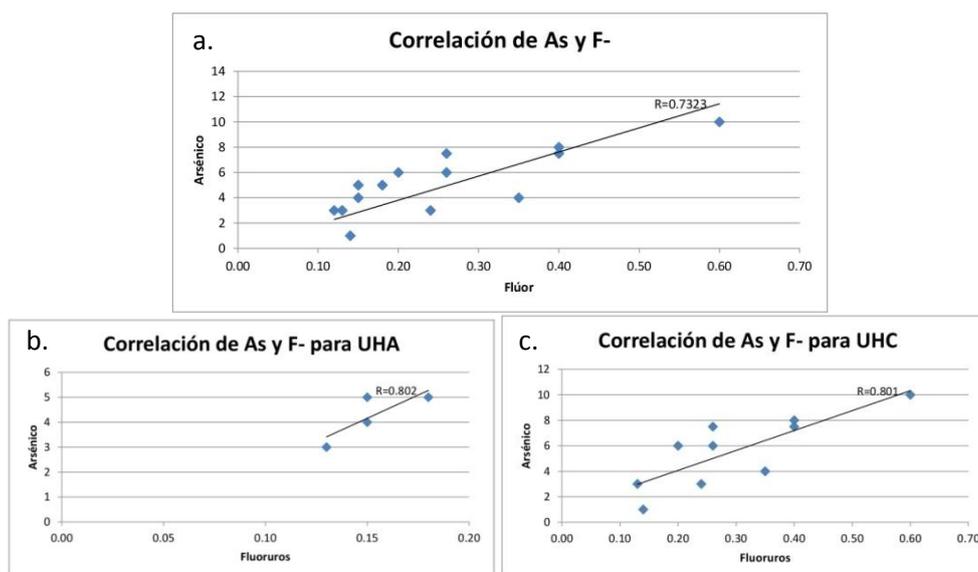


Figura VIII.33: Correlación de arsénico y flúor. a. Para todas las muestras. b. Para las muestras ubicadas en la unidad UHA. c. Para las muestras ubicadas en la unidad UHC.

#### VIII.2.3.4.3. Nitratos

El impacto de los lixiviados de sistemas de saneamiento in situ, pérdidas de cañerías de sistemas cloacales y enterramientos de residuos sólidos, uso de fertilizantes y la ganadería pueden aumentar, junto a otros factores, las especies del nitrógeno presentes en el agua (Blarasin et al. 2014).

Para Blarasin et al. (2014) los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) pueden derivar de compuestos naturales como la descomposición de materia orgánica en el suelo, pero se destacan los derivados de las actividades humanas. Otros factores de importancia son su gran movilidad en medios oxidantes, ya que no son adsorbidos por los materiales del acuífero y no precipitan formando minerales, de forma que permanecen en el agua y pueden viajar grandes distancias. Según estos autores, a nivel regional, los sectores menos afectados son las llanuras onduladas y fajas fluviales, lo que se relaciona a la menor carga contaminante, mayores espesores de zona no saturada, y por las mayores velocidades de flujo del agua subterránea (que lleva a una mayor posibilidad de dispersión hidrodinámica y dilución del Nitrato).

En la Figura VIII.34 se muestran los valores obtenidos en este estudio. Para el mapeo se han tenido en cuenta rangos entre los cuales el más bajo, entre 0 y 10 mg/L, obedece al que se considera rango de fondo natural para la región (Blarasin et al., 2014). Por encima de 10 puede esperarse que procedan de contaminación. En general los valores hallados son bajos, con tenores de hasta 20 mg/L para la mayoría de las muestras analizadas (7) situadas en el sector Centro-Norte de la zona de estudio. También se observaron 4 valores entre 20 y 30 mg/L.

El único valor por encima de los 30 mg/L se encuentra en el Suroeste de la zona de estudio, en la unidad hidrogeológica UHA. Es un valor anómalo debido a la gran cantidad de pozos negros presentes en las inmediaciones del pozo, dado que no se cuenta con servicio de cloacas.

En el campo experimental UNRC, a pesar de encontrarse a escasos metros del sitio de disposición de residuos agroquímicos y de su lugar de aplicación, en las muestras Bd3 y

*Bd7* no se observan altos valores de Nitrato por la gran cantidad de material gravoso que compone el subsuelo: la carga contaminante que no se atenúa en la zona no saturada, si llega al acuífero libre puede diluirse por el gran espesor de arenas, que posee altas conductividades hidráulicas. El valor levemente más alto en *Bd3* puede deberse a que está aguas abajo de un predio de importante aplicación de agroquímicos.

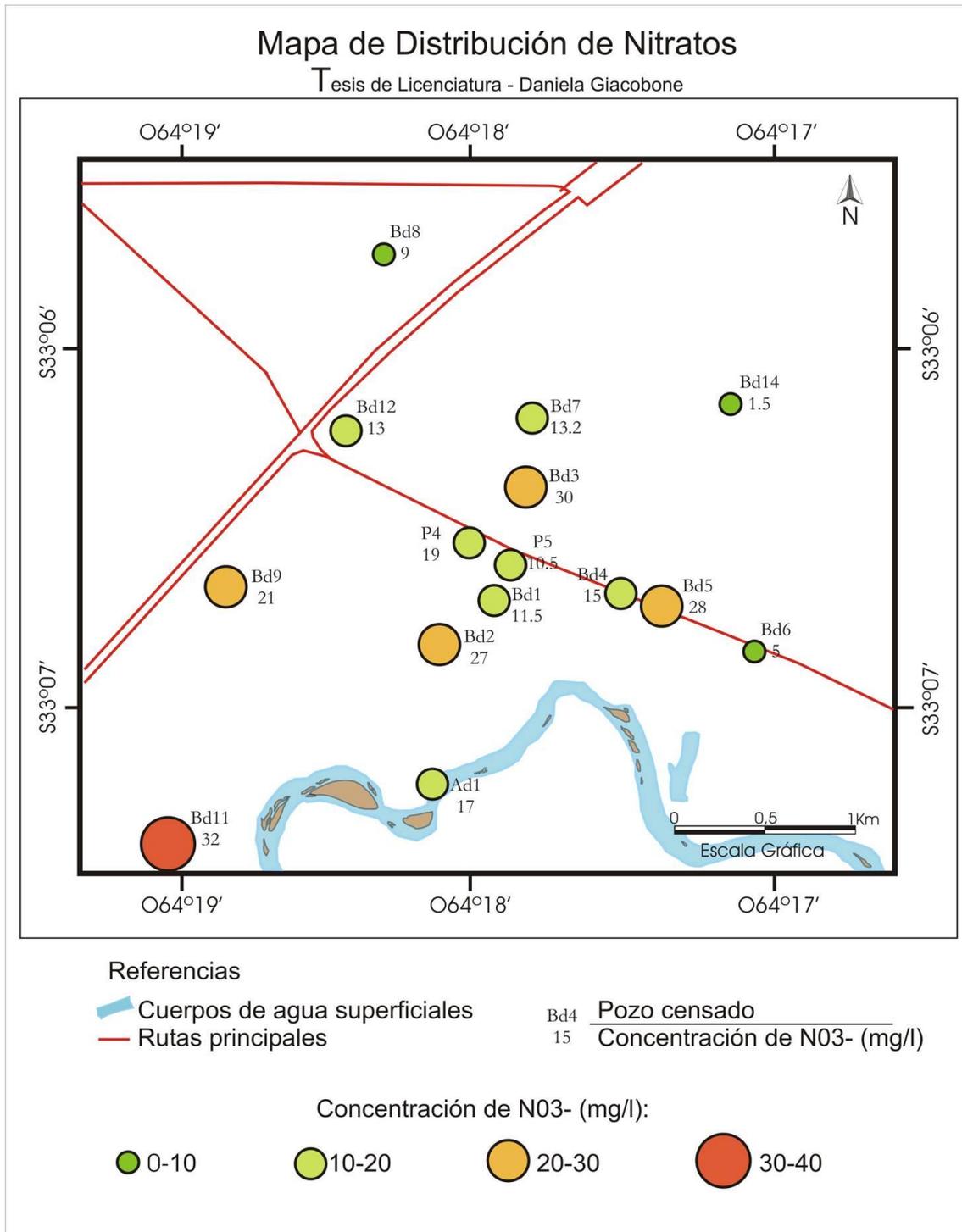


Figura VIII.34. Mapa de Distribución y Concentración de nitratos en las muestras de agua subterránea y la muestra del curso del río Cuarto.

# Capítulo IX

## APTITUD DE USO

Como se mencionara en el capítulo introductorio, la mayor parte de la población de la zona recurre a las captaciones de agua subterránea para consumo o para llevar a cabo diferentes tipos de actividades económicas. Sin embargo, muchas veces no se conoce la calidad del agua utilizada, más que todo, en el caso de captaciones viejas.

La aptitud para uso del agua depende de la capa acuífera que se explote, debido a que son también variables el contenido salino, sulfatos, nitratos, arsénico y/o flúor, entre otros, que condicionan las diferentes aptitudes de uso (Blarasin et al. 2014).

### IX.1. Aptitud para Consumo Humano

El agua potable para consumo es un derecho humano básico, ya que el consumo de agua no potable y la falta de servicios de saneamiento son las principales causas de enfermedades, con un impacto negativo en el desarrollo de las comunidades, la salud de la población y la integridad de los ecosistemas (Consejo Hídrico Federal, 2003).

Es sabido que el agua de consumo debe contener bajo contenido salino en relación a procesos fisiológicos básicos del cuerpo humano. Por los mismos motivos son importantes las cantidades de Ca, Mg, Na, etc. En el caso de elementos minoritarios o traza, debe haber bajo contenido o nulo de diversos elementos. Para la región se destacan F<sup>-</sup>, As y NO<sub>3</sub>. El flúor es beneficioso para la salud dental cuando está por debajo de los límites admitidos, pero si se consumen por tiempo prolongado aguas que sobrepasan estos límites (1,3 mg/L para nuestra región) puede generar fluorosis dental (intoxicación crónica) y osteoporosis (García Hoyos, 2006 en Blarasin et al. 2014).

En cuanto al arsénico, cuya principal vía de adsorción es la gastrointestinal, depende mucho de la dosis y duración de la exposición: García Hoyos (2011) indica que si se consume prolongadamente por encima de los límites admitidos puede generar Hidroarsenismo Crónico Regional Endémico (HACRE) provocando enfermedades en la piel ya que también se encuentra en tejidos ricos en queratina, como la piel, cabello, uñas, y en menor medida, en huesos y dientes. Puede incluso generar cáncer en órganos (hígado, bazo, riñones, pulmones y tracto gastrointestinal).

En el caso de los nitratos, se ha demostrado (Pacheco et al. 2002; Antón y Lizaso, 2003; etc.) que consumir cantidades elevadas puede generar metahemoglobina y nitrosaminas (cancerígenas), los valores de nitratos en la sangre también pueden elevar el riesgo de padecer cáncer de estómago y disminuyen la adsorción de oxígeno en la sangre.

Los límites admisibles para consumo humano según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Código Alimentario Argentino (CAA) se detallan en la Tabla IX.1.

Para asignar las aptitudes a las muestras en este caso se han utilizado los límites propuestos por el Código Alimentario Argentino.

Todas las muestras analizadas para el acuífero freático cumplen con las normas establecidas para consumo humano.

En cuanto a los resultados de las muestras de aguas superficiales, AD1 (obtenida del curso del río Cuarto) también es apta para consumo humano. Si bien no corresponde evaluar la aptitud de uso humano de la muestra ED1 del efluente cloacal, independientemente del contenido en iones, no cumple con los parámetros físicos y debería además tener monitoreo bacteriológico.

Tabla IX.1. Límites admisibles de los elementos para consumo humano según la OMS y CAA.

Elemento	Unidad	OMS	CAA
pH	mg/l	<8,0	6,5-8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	2.000	1.500
Sulfato	mg/l	400	400
Arsénico	µg/l	10	10
Cloruro	mg/l	250	350
Dureza total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	500	400
Fluoruros	mg/l	1,3 a 16°C de T <sup>o</sup> media	1,3 a 16°C de T <sup>o</sup> media
Nitratos	mg/l	45	45

### IX.2. Aptitud para Riego: RAS

Para clasificar la aptitud para riego se ha utilizado el índice Riverside de Richards (1954) ya que es el más utilizado en el país; éste tiene en cuenta el riesgo de sodificación del suelo o RAS. La sodificación se produce cuando hay una acumulación de sodio intercambiable que dispersa las arcillas y solubiliza la materia orgánica presente en el suelo afectando negativamente sus propiedades físicas para el crecimiento de los cultivos.

El valor de RAS se calcula con la siguiente fórmula:

$$RAS = \frac{rNa^+}{\left(\frac{rCa^{+2} + rMg^{+2}}{2}\right)^{1/2}}$$

Siendo:

$rNa^+$  = Porcentaje de miliequivalentes de sodio por litro.

$rCa^{+2}$  = Porcentaje de miliequivalentes de calcio por litro.

$rMg^{+2}$  = Porcentaje de miliequivalentes de magnesio por litro.

El índice RAS obtenido se combina con el valor medido de Conductividad Eléctrica en µS/cm, ya que este valor influye en el riesgo de salinización. Ambos valores se han planteado con el Software EasyQuim (2007) en el cuadro de clasificación para obtener la peligrosidad salina y sódica de cada muestra analizada (Figura X.1), y a partir de ésta, conocer su aptitud para riego con la Tabla IX.2.

Tabla IX.2. Aptitud para riego según el índice RAS.

Clase	Aptitud	Peligrosidad Salina y Sódica
I	Excelente	C1-S1
II	Buena	C1- S2, C2- S2, C2- S1
III	Buena a Regular	C1-S3, C2-S3, C3-S1, C3-S2, C3-S3
IV	Regular a Media	C1-S4, C2-S4, C4-S1, C4-S2, C4-S3, C4-S4
V	Inapropiada	CE mayor a 5000 µS/cm y RAS mayor a 30

De esta forma todas las muestras del acuífero estudiadas son de *Clase II*, es decir, de buena aptitud para riego. Para las muestras de agua superficial, la del río Cuarto también es *Clase II*: buena para su utilización en riego, y la proveniente del efluente cloacal del Área Material RC/LH (*Ed1*) es *Clase III*, es decir, buena a regular. Esto se debe a su mayor conductividad eléctrica y mayor tenor de sales totales disueltas, de las cuales el sodio, que interviene en el cálculo de los índices es efectivamente una de

las más abundantes. Las aguas de efluentes, dado su alto contenido en nutrientes suelen ser un buen recurso para riego.

Tesis Daniela Giacobone

Salinity Diagram for Classification of Irrigation Waters

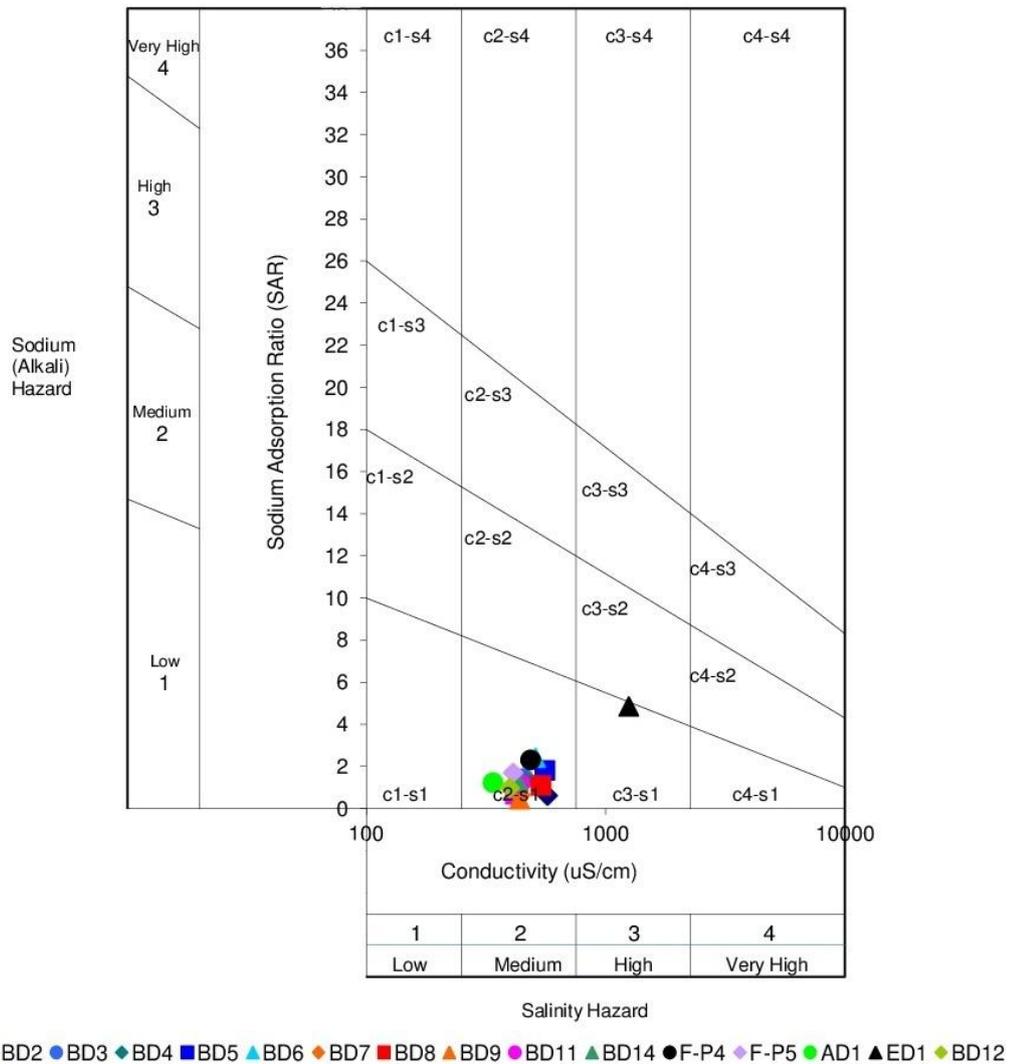


Figura IX.1. Localización en el gráfico de las muestras analizadas en laboratorio.

**IX.3. Aptitud para Consumo Ganadero**

Esta clasificación se realizó en base a los límites establecidos por Bavera (2001). Los valores de salinidad, sulfatos, etc. son variables dependiendo del uso (Bovino de cría o tambo e invernada. Tabla IX.3) y lo óptimo es que se utilice un agua salobre (entre 2.000 y 4.000 mg/L). En cuanto al arsénico puede resultar tóxico entre 150 y 300 mg/L y el flúor a más de 16 mg/L.

El resultado obtenido para utilizar las aguas del acuífero freático y del curso del río Cuarto para consumo ganadero en bovinos de cría y de tambo e invernada es deficiente debido a que son aguas demasiado dulces, y deberían utilizarse complementos para cumplir las necesidades nutricionales del ganado.

En el caso de *Ed1* dado su origen, no debería ser usada sin algún tipo de monitoreo o eventualmente tratamiento.

Tabla IX.3. Límites permitidos para Consumo Ganadero (Bavera, 2001).

Cría	Tambo e invernada	SDT	ClNa	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Deficiente	Deficiente	<1000mg/l	-	-	-	-
Satisfactoria	Muy buena	>1000mg/l	600mg/l	500mg/l	200mg/l	50mg/l
Muy buena	Buena	<2000mg/l	1200mg/l	1000mg/l	250mg/l	200mg/l
Buena	Aceptable	< 4000mg/l	2400mg/l	1500mg/l	300mg/l	300mg/l
Aceptable	Mala usable	<7000mg/l	4200mg/l	2500mg/l	400mg/l	400mg/l
Mala usable	-	<11000mg/l	6600mg/l	4000mg/l	500mg/l	500mg/l
Uso condicionado	-	<13000mg/l	10000mg/l	7000mg/l	600mg/l	-

En la Tabla IX.4 se muestra un resumen de las aptitudes para todas las muestras analizadas.

Tabla IX.4. Aptitud para consumo humano, para riego y consumo ganadero de las 16 muestras analizadas.

Tipo	Muestra	Aptitud para consumo humano (CAA)	Aptitud para riego			Aptitud ganadera	
			RAS	Clasificación	Aptitud	Bovino de cría	Tambo e invernada
Subterránea	BD1	Si	2,21	C2-S1	Buena	Deficiente	Deficiente
Subterránea	BD2	Si	2,11	C2-S1	Buena	Deficiente	Deficiente
Subterránea	BD3	Si	2,73	C2-S1	Buena	Deficiente	Deficiente
Subterránea	BD4	Si	2,66	C2-S1	Buena	Deficiente	Deficiente
Subterránea	BD5	Si	2,99	C2-S1	Buena	Deficiente	Deficiente
Subterránea	BD6	Si	3,54	C2-S1	Buena	Deficiente	Deficiente
Subterránea	BD7	Si	2,20	C2-S1	Buena	Deficiente	Deficiente
Subterránea	BD8	Si	2,48	C2-S1	Buena	Deficiente	Deficiente
Subterránea	BD9	Si	1,98	C2-S1	Buena	Deficiente	Deficiente
Subterránea	BD11	Si	2,56	C2-S1	Buena	Deficiente	Deficiente
Subterránea	BD12	Si	2,46	C2-S1	Buena	Deficiente	Deficiente
Subterránea	BD14	Si	2,67	C2-S1	Buena	Deficiente	Deficiente
Subterránea	P4	Si	3,55	C2-S1	Buena	Deficiente	Deficiente
Subterránea	P5	Si	3,09	C2-S1	Buena	Deficiente	Deficiente
Superficial	AD1	Si	2,81	C2-S1	Buena	Deficiente	Deficiente
Superficial	ED1	No	5,12	C3-S1	Buena a regular	Deficiente	Deficiente

# Capítulo X

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### X.1. Conclusiones

- El estudio del marco regional y local, permite afirmar que, si bien las rocas del basamento de composición ígnea y metamórfica no afloran en el área de estudio, constituyen la base de la secuencia estratigráfica. Las formaciones sedimentarias reconocidas en los materiales aflorantes y en perforaciones hasta 300 m se estiman de edad Cenozoica. Dado el importante control estructural de la región circundante, que influencia el área estudiada, puede concluirse que la secuencia estratigráfica representa las variaciones acaecidas en el contexto geológico regional (pulsos de levantamiento de las sierras y periodos de mayor estabilidad) y los cambios climáticos ocurridos. Entre los 300 y 150 m de profundidad yacen depósitos continentales, predominantemente finos (aluviales y eólicos) intercalados con capas más delgadas de sedimentos areno-gravosos de claro origen fluvial, de edad Neógena (probable Paleógena en la base) asignados a la Fm. Tigre Muerto. Las variaciones climáticas correspondientes al período Cuaternario, pudieron ser identificadas especialmente en las secuencias aflorantes y se estima que se extienden en profundidad hasta los 100-150 m superiores de la secuencia. Se trata de una alternancia de formaciones sedimentarias representativas de una sucesión de ciclos húmedos y secos. Los primeros están relacionados a momentos interglaciares durante los cuales el río Cuarto desarrolló importantes depósitos y formas fluviales, incluyendo abanicos de diferente envergadura (se destacan Formaciones como Chocancharava y Río Cuarto, entre otras). Los ciclos secos son coincidentes con época frías glaciares y se caracterizaron por la depositación de importantes mantos de secuencias loésicas (se destaca la Fm. Laguna Oscura del Holoceno superior que cubre parte del área de estudio y casi toda la llanura del sur provincial). Con la instauración del clima húmedo actual (1100 A.P.) estos depósitos se edafizaron, generándose el suelo actual, al mismo tiempo que se desarrollaba la faja fluvial actual del río Cuarto.

- Las características estructurales geomorfológicas y litológicas del área, permitieron definir dos grandes ambientes: fluvio-eólico y fluvial. El primero presenta un patrón cuyos rasgos más sobresalientes están constituidos por alineaciones medanosas arenosas muy finas a limosas del Holoceno superior, sobreimpuestas a distintos subambientes. Entre éstos se destacan paleocanales discontinuos y poco manifiestos, aunque en profundidad tienen importante expresión dado los espesos depósitos fluviales hallados en perforaciones. El segundo está ligado a la actividad cuaternaria del río Cuarto, determinando geoformas fluviales asociadas a distintos estadios hidrodinámicos (diferentes niveles de terrazas, paleocanales meandriformes de variada envergadura, migraciones de meandros, de barras de canales entrelazados, derrames, entre otros). Estas geoformas y sedimentos fluviales y eólicos, tienen gran y variada influencia en las reservas, dinámica y calidad de agua, como se indica más adelante.

- De acuerdo a los cálculos realizados, y como ya fuera indicado en estudios previos, Río Cuarto se inscribe en el clima de tipo Mesotermal Subhúmedo-Seco con poco a nulo exceso de agua. La distribución de las precipitaciones exhibe una estacionalidad muy marcada, con una concentración de las lluvias (74,03 %) desde Noviembre a Marzo es decir, primavera verano, con una precipitación media para la serie que no

muestra tendencia positiva ni negativa, sino estabilidad a lo largo de las décadas. Aunque el balance hídrico modular es deficitario, y con ausencia de excesos hídricos en todo el año, el balance hídrico seriado evidencia la existencia de ciclos húmedos y secos de diferente longitud. Los primeros muestran excesos hídricos del orden de 5 a 16 % de las precipitaciones, los que producirán escurrimientos superficiales y recarga de acuíferos. La tendencia de los excesos hídricos en el balance seriado es decreciente, aspecto que se ve influenciado por varios años secos (por debajo de la precipitación media) en los últimos 10 años.

- Desde la perspectiva hidrológica superficial, el área de estudio comprende un pequeño tramo de uno de los ríos más importantes de la región: el río Cuarto. Todos los escurrimientos superficiales efímeros que circulan en bajos durante las tormentas se dirigen con dirección Noroeste-Sureste predominante, hacia ese colector. Algunos escurrimientos de gran envergadura, rurales y procedentes de desagües pluviales del área urbanizada Rio Cuarto han generado la necesidad de su manejo y conducción, para evitar afectaciones a infraestructuras. Las aguas del curso del río Cuarto son dulces y bicarbonatadas cálcicas, muy influenciadas por el aporte de aguas del mismo tipo procedente de las serranías, por circular sobre un lecho muy grueso y de materiales poco meteorizables y por el aporte freático.

- El acuífero libre estudiado, conformado por sedimentos de edad neógena, posee un espesor aproximado 70 m cuyo nivel freático varía entre 5 y 15 m. Desde el punto de vista hidrológico, y condicionado por la geomorfología del sector, se distinguieron dos unidades hidrogeológicas más importantes: una de origen fluvial (UHA) y otra de origen fluvio eólico (UHC). Esto implica una importante heterogeneidad acuífera con sedimentos de variable conductividad hidráulica. En el ambiente fluvial el acuífero está caracterizado por intercalaciones de arenas, sábulos, gravas y pelitas, aunque dominan los sedimentos psefíticos. En el ambiente fluvio-eólico, aparecen intercalaciones de sedimentos fluviales con materiales de tipo loésicos, es decir arenas muy finas limosas. En ambas unidades aparecen heterogeneidades dadas por la presencia de cementación carbonática diferencial.

- En esta tesis, ante la imposibilidad de realizar ensayos de bombeo y dada la oportunidad de disponer de datos de granulometrías en forma detallada en la perforación de investigación Ps1 (ubicada en el ambiente fluvial), se aplicaron diferentes ecuaciones para calcular conductividades hidráulicas en forma empírica. La conductividad hidráulica promedio calculada fue de 73 m/día. Las más altas conductividades se encuentran en la parte superior del acuífero, hasta los 48 m de profundidad (con valores promedio de 134 m/d) y están relacionadas a la presencia de las litologías gravo-arenosas. Entre los 48 a 73 m de profundidad, los valores promedio son más bajos (16 m/día) por el aumento de fracciones psefíticas más finas o pelitas. Se puede concluir que, aunque las distintas fórmulas empíricas utilizadas difieren parcialmente en los valores obtenidos, en general concuerdan en la definición de los rangos de altas, medias y pequeñas conductividades hidráulicas para las diferentes profundidades, corroborando además la heterogeneidad del acuífero. Los valores hallados permiten establecer que, en especial en los primeros 50 m, se trata de un acuífero que puede calificarse como excelente por sus capacidad para contener agua y posibles rendimientos, en función de las conductividades hidráulicas y de las porosidades específicas (o coeficiente de almacenamiento) estimados a partir de ellas (entre 15 a 25 %).

- La Recarga del acuífero se ha estimado mediante los métodos de Fluctuaciones del Nivel Freático (MFN) y de Balance de Masa del Ión Cloruro (BMC), aplicados a la zona específica del campus UNRC, obteniéndose rangos de valores variables con las dos metodologías. Con el método MFN se obtuvieron valores anuales estimados entre un 19,7 % a 26 % del total de las precipitaciones, en función de la porosidad específica seleccionada para el cálculo (15 y 20 % respectivamente). Con el método BMC, se obtuvo un valor promedio de 32,58 %. Los valores obtenidos son mayores que los estimados en la región para acuíferos formados por sedimentos loésicos más finos, lo que asegura una importante reposición de agua anual al acuífero del Campus y entorno. Sin embargo, es necesario contar con más información para ajustar los resultados de recarga al acuífero, ya que los valores obtenidos son muy altos en comparación con los excesos hídricos obtenidos en los balances seriados. Un aspecto muy relevante a destacar es que el periodo analizado (9 meses) muestra que, muy influenciado por la menor cantidad de precipitaciones en 2017, en el acuífero, si bien hubo recargas parciales, predominó la descarga y el nivel freático descendió 0,30 m.

- Las estimaciones de las reservas de agua para el acuífero libre en la zona del Campus de la UNRC muestran la presencia de grandes volúmenes de agua almacenada: Con el volumen de agua recargado, extrapolado a un año a partir de los 9 meses evaluados las reservas reguladoras son de 0,44 Hm<sup>3</sup>/año y las reservas geológicas son de 24,64 Hm<sup>3</sup>/año, conformando una Reserva Total de 25,08 Hm<sup>3</sup>/año. Sólo con las reservas reguladoras se alcanzaría a proveer 80 L de agua diarios por persona en el Campus de la UNRC, si se considerara la circulación diaria de 15.000 personas dentro del campus. Dado que la cantidad de gente circulante es menor, sobre todo en algunos meses del año, las estimaciones son por demás promisorias para la explotación de agua subterránea por parte de la institución.

-La dirección de circulación de las aguas subterráneas es en general Noroeste-Sureste, y en el mapa equipotencial se muestra la importancia que ejerce en el flujo el paleocanal que pasa por el predio de la UNRC. Para la zona, el acuífero libre es influente al curso del río Cuarto, aportando su caudal de base, constituyéndose el río en una evidente zona de descarga hidrológica local. Los mayores gradientes hidráulicos (1 %) y velocidades de escurrimiento (0,2 m/h) se relacionan a la unidad fluvial y están afectados por los cambios topográficos, fundamentalmente condicionados por la presencia de los niveles de terrazas.

-Si se tiene en cuenta la composición química del agua subterránea se observa que hay una importante homogeneidad geoquímica, todas las muestras de agua resultaron dulces y en su mayoría (64,28%) bicarbonatadas cálcicas al igual que el agua superficial, aspectos fuertemente relacionados a agua captada de los paleocauces, e independiente de la unidad hidrogeológica en la que se encuentren las perforaciones. Como puede observarse se trata de aguas escasamente evolucionadas representativas fundamentalmente de flujos que circulan en sedimentos gruesos con mineralogía muy inerte, lo cual disminuye los procesos de meteorización que aportan sales a la solución.

-En cuanto a los elementos minoritarios, la presencia de flúor y arsénico muestra una buena correlación en las diferentes unidades hidrogeológicas en coincidencia con la amplia bibliografía que apoya su similar comportamiento ante condiciones geoquímicas dadas. Los valores medidos de ambos iones son muy bajos (0,12 a 0,6 mg/L y 1 a 10 µg/L respectivamente) debido al poco tiempo de contacto estimado entre el medio acuoso y los sedimentos, dado que las velocidades de circulación son

altas y los minerales portadores posibles son escasos en los materiales fluviales, especialmente en los espesores acuíferos en los que se habilitaron las perforaciones.

- En cuanto a los nitratos, clásico indicador de contaminación, los valores medidos fueron bajos para la mayoría de las muestras (entre 1,5 y 20 mg/L). Considerando valores de fondo natural estimado en la región como menores a aproximadamente 10 mg/L, sólo el 28,5 % tuvo valores superiores que podrían considerarse derivados de contaminación por actividades agropecuarias y/o urbanas. En general los bajos valores pueden estar relacionados a la gran capacidad de dilución de la carga contaminante por dispersión hidrodinámica en el material pefítico que constituye el acuífero libre.

- En cuanto a las aptitudes de uso, las propiedades e iones analizados de todas las muestras provenientes del acuífero libre objeto de esta tesis, cumplen con las normativas para consumo humano según el Código Alimentario Argentino. Para riego son todas buenas excepto la muestra del efluente, que es buena a regular. Por otro lado, todas las muestras analizadas son deficientes para consumo ganadero, ya sea bovino de cría o tambo e invernada, debido a su baja salinidad.

## **X.2. Recomendaciones**

Posterior a la realización de este estudio es pertinente realizar una devolución de los conocimientos adquiridos a la sociedad, con el objetivo de mejorar la gestión del recurso hídrico en este sector de la cuenca del río Cuarto. En el caso de los análisis químicos, el resultado fue enviado a cada uno de los propietarios de las perforaciones.

Se sugiere además:

- Complementar los estudios de cálculos de conductividades hidráulicas con ensayos de bombeo en perforaciones dispuestas en diferentes lugares de la zona de estudio, para corroborar los datos obtenidos mediante datos empíricos y mejorar el modelo hidrogeológico. De esta forma también se podrá conocer cuál de las metodologías utilizadas para los cálculos empíricos es la más adecuada para este tipo de acuíferos.

- Realizar más perforaciones en el Campus de la UNRC para abastecimiento propio de agua y no sólo para riego, ya que se cuenta con grandes cantidades de reservas de agua de excelente calidad en el acuífero libre, y que se están desaprovechando.

- Continuar con el monitoreo de la variación del nivel freático, para tener un seguimiento del mismo y tener una serie más larga para calcular la Recarga del acuífero y las Reservas Reguladoras, de manera de ajustar las estimaciones realizadas.

- Realizar una correcta disposición final de los envases vacíos de agroquímicos, en todos los establecimientos rurales y en el campo experimental de la UNRC en especial, evitando su disposición a la intemperie y en zonas cercanas a captaciones de aguas subterráneas.

- Realizar análisis microbiológicos a todas las muestras analizadas para complementar con los datos físico-químicos de laboratorio, y de esta forma corroborar su aptitud para los diferentes tipos de consumo.

- Plantear otra posible situación para los efluentes que proceden de Higuera que no sea el volcado al río, dado el impacto local que generan, por ejemplo, aprovecharlos para riego, por la alta cantidad de nutrientes que contienen.

# Anexos

**Anexo 1.** Hidrometeorología.

Tabla 1. Datos Meteorológicos.

Fuente: Estación Meteorológica UNRC. Río Cuarto

Temperaturas Medias Mensuales (°C)

Periodo: 1974-2017

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	SUMA	PROMEDIO
1974	23.1	20.7	20.3	16.6	13.8	9.5	10.0	10.5	11.9	17.2	19.5	20.7	193.8	16.15
1975	22.8	22.0	18.9	17.0	13.6	12.8	7.2	9.4	13.9	16.5	19.4	24.1	197.6	16.47
1976	24.3	22.1	17.4	14.8	12.3	9.7	9.1	10.0	13.1	16.3	19.8	21.3	190.2	15.85
1977	22.7	21.3	20.3	17.7	12.6	11.1	9.8	12.1	15.5	19.0	20.7	23.0	205.8	17.15
1978	21.5	21.2	20.1	18.0	13.5	9.2	11.9	9.8	15.0	16.5	19.5	21.8	198.0	16.50
1979	22.9	21.6	19.2	15.9	13.6	10.5	11.3	13.4	11.4	16.9	17.7	20.8	195.2	16.27
1980	24.2	22.2	23.0	16.1	14.6	8.3	9.2	11.8	14.3	17.0	18.9	22.2	201.8	16.82
1981	22.0	22.5	20.8	16.9	15.2	9.0	9.4	12.9	13.1	17.3	18.6	21.5	199.2	16.60
1982	22.6	20.7	20.1	18.0	15.1	9.4	9.9	11.7	14.8	17.2	18.7	22.9	201.1	16.76
1983	22.4	21.3	19.8	17.6	12.6	7.2	7.9	10.0	12.9	19.2	19.9	23.9	194.7	16.23
1984	23.7	22.7	19.8	15.8	12.8	7.8	7.7	10.1	14.0	17.8	18.6	19.0	189.8	15.82
1985	21.6	21.7	20.8	16.3	15.3	11.9	9.1	11.6	13.5	16.1	20.3	22.2	200.4	16.70
1986	23.1	22.3	19.3	17.5	13.8	11.1	11.0	11.0	14.4	17.7	19.4	23.2	203.8	16.98
1987	23.7	22.8	19.8	17.5	10.3	11.3	10.9	10.3	13.4	17.8	20.5	20.3	198.6	16.55
1988	22.5	22.0	20.9	15.9	10.4	9.2	7.6	11.3	12.6	16.6	21.9	23.4	194.3	16.19
1989	24.7	24.9	19.1	17.3	12.7	11.4	9.6	12.5	12.8	17.2	20.5	23.7	206.4	17.20
1990	24.1	23.0	18.9	15.6	12.3	9.3	9.1	14.1	12.5	18.1	20.8	21.6	199.4	16.62
1991	21.9	21.3	21.4	17.2	14.0	9.9	8.3	10.3	13.5	14.8	19.6	20.7	192.9	16.08
1992	22.7	21.6	21.1	15.8	12.0	11.0	6.4	12.0	13.6	17.2	18.0	21.5	192.9	16.08
1993	23.2	21.4	21.7	16.2	11.5	9.5	7.3	11.3	13.0	16.7	18.9	21.9	192.6	16.05
1994	22.4	21.5	20.2	15.8	14.5	11.9	9.0	11.0	14.8	15.9	19.5	25.3	201.8	16.82
1995	21.7	20.2	20.4	17.1	13.9	9.8	8.4	10.0	14.9	17.3	20.9	24.7	199.3	16.61
1996	22.0	20.3	20.9	16.2	14.7	8.6	9.1	13.8	12.8	18.0	20.6	21.9	198.9	16.58
1997	25.0	22.7	21.2	18.9	15.7	10.4	12.1	12.6	14.7	16.2	19.6	21.1	210.2	17.52
1998	21.8	19.4	18.4	14.8	13.1	10.4	11.6	11.1	12.1	18.6	18.2	21.4	190.9	15.91
1999	21.3	23.6	19.9	14.9	13.2	9.1	8.4	11.1	15.4	16.9	19.2	21.1	194.1	16.18
2000	22.5	21.6	19.2	17	12.1	9.7	7.4	10.4	9.6	17.1	18.5	22.3	187.4	15.62
2001	23.1	25.3	20.7	15.6	11.5	12.5	8.5	11.9	12.9	16.7	19.1	22.9	200.7	16.73
2002	22.1	21.2	20	15.3	13.6	8	9.2	11.3	14.2	19.1	20.4	19.3	193.7	16.14
2003	23.2	22	20.6	15.8	12.8	11.1	8.5	9.7	14.6	19.5	22.1	20.8	200.7	16.73
2004	23.7	20.4	20.6	16.2	9.7	9.7	9.0	10.8	14.3	16.9	19.4	21.6	192.2	16.02
2005	22.4	21.4	19.2	14.5	11.9	10.3	9.7	10.6	12.8	16.7	21.1	22.4	193.0	16.08
2006	23.9	21.1	19.1	16.8	10.9	10.7	11.0	11.1	14.8	19.1	20.1	22.8	201.4	16.78
2007	21.9	21.0	19.3	16.5	10.0	8.6	6.7	7.5	14.4	17.6	19.8	22.0	185.3	15.44
2008	22.8	21.7	19.1	15.9	12.5	8.4	11.7	11.2	14.1	17.7	23.0	21.6	199.7	16.64
2009	21.8	21.6	21.6	19.9	13.9	9.7	8.7	13.9	12.2	18.6	21.3	20.7	203.9	16.99
2010	24.2	22.7	21.6	15.7	12.4	9.9	7.9	10.0	13.3	15.7	19.8	23.1	196.3	16.36
2011	23.2	20.2	19.0	16.9	12.7	8.3	8.9	10.1	16.1	16.7	21.5	23.0	196.6	16.38
2012	25.5	22.9	20.5	16.6	14.4	9.6	8.0	11.4	14.5	16.3	20.6	22.8	203.1	16.93
2013	23.4	21.9	18.1	18.9	13.0	10.9	9.4	11.0	12.7	18.8	20.7	24.9	203.6	16.97
2014	24.1	20.5	18.1	15.8	12.9	10.0	10.3	13.3	15.6	19.9	19.7	22.9	203.0	16.91
2015	23.6	21.4	21.1	19.0	15.1	9.6	10.1	12.8	13.9	14.1	18.5	23.0	202.2	16.85
2016	23.1	23.4	19.3	14.5	11.1	8.0	8.1	12.0	14.2	16.4	19.9	23.5	193.7	16.14
2017	23.6	22.4	20.3	15.6	12.7	10.2	9.9	12.3	13.1	16.9	20.4	23.0	200.5	16.71
SUMA	1012.0	959.7	881.0	727.9	570.3	434.5	404.2	497.0	601.2	759.9	875.2	977.8		
PROMEDIO	23.00	21.81	20.02	16.54	12.96	9.88	9.19	11.30	13.66	17.27	19.89	22.22		16.48

Tabla 2. Datos Meteorológicos  
Fuente: Estación Meteorológica UNRC. Río Cuarto  
Precipitaciones a 1,5m (mm)  
Período: 1974-2017

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	SUMA	PROMEDIO
1974	81	72	136	4	74	5	32	27	17	95	36	123	702	58.50
1975	140	39	215	11	24	10	1	19	66	32	59	26	642	53.50
1976	25	180	40	32	28	0	0	53	23	54	191	171	797	66.42
1977	177	44	71	9	9	31	1	20	11	96	42	151	662	55.17
1978	127	186	126	18	2	12	3	0	157	87	110	211	1039	86.58
1979	119	212	47	60	23	87	36	12	22	42	157	164	981	81.75
1980	49	87	154	103	43	12	0	0	8	170	89	166	881	73.42
1981	250	42	87	92	7	3	7	0	9	57	177	56	787	65.58
1982	82	113	79	75	4	12	9	0	81	13	182	83	733	61.08
1983	228	35	26	42	47	11	14	30	44	96	153	120	846	70.50
1984	320	163	161	20	10	5	1	9	86	24	172	225	1196	99.67
1985	119	67	40	47	0	38	110	32	25	125	72	125	800	66.67
1986	90	36	141	24	18	11	8	14	40	157	54	221	814	67.83
1987	133	43	117	21	76	0	9	21	11	72	182	136	821	68.42
1988	89	130	104	33	3	0	6	1	55	3	33	87	544	45.33
1989	34	48	100	34	17	14	0	0	29	46	52	79	453	37.75
1990	109	28	147	61	26	0	21	4	15	87	160	86	744	62.00
1991	184	182	87	50	26	18	18	40	21	76	62	164	928	77.33
1992	43	150	101	37	9	1	4	16	57	62	97	122	699	58.25
1993	205	149	93	17	67	0	0	15	11	104	218	106	985	82.08
1994	93	58	54	29	34	9	14	37	28	63	213	52	684	57.00
1995	159	85	61	11	29	9	3	0	14	38	143	86	638	53.17
1996	139	146	40	65	6	5	0	0	37	20	86	107	651	54.25
1997	92	61	56	30	6	14	7	11	28	80	152	205	742	61.83
1998	178	149	72	129	75	14	3	9	32	35	169	103	968	80.67
1999	86	5	215	104	2	12	14	19	25	102	117	232	933	77.75
2000	194	64	75	112	88	12	19	1	13	91	93	65	827	68.92
2001	109	2	198	127	0	2	3	19	130	139	24	54	807	67.25
2002	93	63	40	90	12	2	4	38	1	103	278	26	750	62.50
2003	119	36	46	117	4	1	37	1	0	8	22	214	605	50.42
2004	147	84	126	43	202	0	35	10	0	93	48	132	920	76.67
2005	270	162	82	56	15	2	15	11	13	70	92	41	829	69.08
2006	116	103	93	113	2	8	1	0	6	71	166	160	839	69.92
2007	169	155	86	11	7	17	40	0	66	104	44	139	838	69.83
2008	214	96	145	22	10	15	6	5	16	30	140	152	851	70.92
2009	115	74	45	3	19	0	5	0	69	15	72	162	579	48.25
2010	81	38	7	25	8	2	1	0	67	88	125	100	542	45.17
2011	205	117	88	51	0	8	0	3	20	88	136	40	756	63.00
2012	22	187	80	78	17	0	1	13	84	140	166	106	894	74.50
2013	76	64	101	43	14	0	0	0	0	54	117	160	629	52.42
2014	126	167	56	33	18	1	1	0	47	47	113	133	742	61.83
2015	90	289.4	92	19	0	1.6	12.8	8.4	40.5	72.3	172.8	111.3	910.1	75.84
2016	157	166.5	85.2	89.4	14.4	42.8	3.4	6.8	0	142.3	44	110	861.8	71.82
2017	122.8	95	79.7	91	17.3	19.5	14	7.1	20.06	42.1	101	149.4	758.96	63.25
SUMA	5776.8	4472.9	4094.9	2281.4	1112.7	466.9	519.2	512.3	1544.6	3234	5131.8	5461.7	34608.9	2884.07
PROMEDIO	131.3	101.7	93.1	51.9	25.3	10.6	11.8	11.6	35.1	73.5	116.6	124.1	787	

Tabla 3. Balance Hídrico Seriado  
Fuente: Estación Agrometeorológica UNRC  
Período: 1974-2017

Agua útil en la capa superior: 25mm

Agua útil en la capa inferior: 125mm

Diccionario de Variables:

P	Precipitación	APE	Agua Potencialmente Extraíble
ETP	Evapotranspiración Potencial	AE:	Agua Extraída
ALMAC	Almacenaje	ETR	Evapotranspiración Real
RP	Recarga Potencial	ESC	Excesos
R	Recarga		

AÑO	MES	P	ETP	ALMAC	RP	R	APE	AE	ETR	ESC
1974	1	81	128	106.7	0	0	110.8	43.3	124.3	0
	2	72	100	86.8	43.3	0	71.1	19.9	91.9	0
	3	136	90	132.8	63.2	46	52.1	0	90	0
	4	4	56	88.4	17.2	0	47.3	44.4	48.4	0
	5	74	36	126.4	61.6	38	21.2	0	36	0
	6	5	22	109.4	23.6	0	22	17	22	0
	7	32	20	121.4	40.6	12	16.1	0	20	0
	8	27	30	118.4	28.6	0	26.8	3	30	0
	9	17	43	95.3	31.6	0	34.6	23.1	40.1	0
	10	95	72	118.3	54.7	23	45.7	0	72	0
	11	36	95	72.4	31.7	0	68.7	45.9	81.9	0
	12	123	122	73.4	77.6	1	58.9	0	122	0
1975	1	140	128	85.4	76.6	12	62.3	0	128	0
	2	39	100	49.2	64.6	0	55	36.2	75.2	0
	3	215	90	150	100.8	100.8	29.5	0	90	24.2
	4	11	56	108.3	0	0	50.8	41.7	52.7	0
	5	24	36	99.7	41.7	0	26	8.7	32.7	0
	6	10	22	91.7	50.3	0	14.6	8	18	0
	7	1	20	80.1	58.3	0	12.2	11.6	12.6	0
	8	19	30	74.2	69.9	0	16	5.9	24.9	0
	9	66	43	97.2	75.8	23	21.3	0	43	0
	10	32	72	65.8	52.8	0	47.2	31.4	63.4	0
	11	59	95	50	84.2	0	41.7	15.8	74.8	0
	12	26	122	18	100	0	40.7	32	58	0
1976	1	25	128	5.6	132	0	15.4	12.4	37.4	0
	2	180	100	85.6	144.4	80	3.8	0	100	0
	3	40	90	50.5	64.4	0	51.3	35.1	75.1	0
	4	32	56	42.4	99.5	0	18.9	8.1	40.1	0
	5	28	36	40.2	107.6	0	10.2	2.3	30.3	0
	6	0	22	34.3	109.8	0	5.9	5.9	5.9	0
	7	0	20	29.7	115.7	0	4.6	4.6	4.6	0
	8	53	30	52.7	120.3	23	5.9	0	30	0
	9	23	43	32.7	97.3	0	27	20	43	0
	10	54	72	26.7	117.3	0	16.7	6	60	0
	11	191	95	122.7	123.3	96	16.9	0	95	0
	12	171	122	150	27.3	27.3	88.2	0	122	21.7
1977	1	177	128	150	0	0	110.8	0	128	49
	2	44	100	99.2	0	0	87.5	50.8	94.8	0
	3	71	90	86.6	50.8	0	59.5	12.6	83.6	0
	4	9	56	59.5	63.4	0	32.3	27.1	36.1	0
	5	9	36	48.8	90.5	0	14.3	10.7	19.7	0
	6	31	22	57.8	101.2	9	7.2	0	22	0
	7	1	20	45.5	92.2	0	12.6	12.3	13.3	0
	8	20	30	42.5	104.5	0	9.1	3	23	0
	9	11	43	33.4	107.5	0	12.2	9.1	20.1	0
	10	96	72	57.4	116.6	24	16	0	72	0
	11	42	95	27	92.6	0	39.8	30.5	72.5	0
	12	151	122	56	123	29	21.9	0	122	0
1978	1	127	128	55	94	0	46.3	1	128	0

AÑO	MES	P	ETP	ALMAC	RP	R	APE	AE	ETR	ESC
1974	1	81	128	106.7	0	0	110.8	43.3	124.3	0
	2	72	100	86.8	43.3	0	71.1	19.9	91.9	0
	3	136	90	132.8	63.2	46	52.1	0	90	0
	4	4	56	88.4	17.2	0	47.3	44.4	48.4	0
	5	74	36	126.4	61.6	38	21.2	0	36	0
	6	5	22	109.4	23.6	0	22	17	22	0
	7	32	20	121.4	40.6	12	16.1	0	20	0
	8	27	30	118.4	28.6	0	26.8	3	30	0
	9	17	43	95.3	31.6	0	34.6	23.1	40.1	0
	10	95	72	118.3	54.7	23	45.7	0	72	0
	11	36	95	72.4	31.7	0	68.7	45.9	81.9	0
	12	123	122	73.4	77.6	1	58.9	0	122	0
1975	1	140	128	85.4	76.6	12	62.3	0	128	0
	2	39	100	49.2	64.6	0	55	36.2	75.2	0
	3	215	90	150	100.8	100.8	29.5	0	90	24.2
	4	11	56	108.3	0	0	50.8	41.7	52.7	0
	5	24	36	99.7	41.7	0	26	8.7	32.7	0
	6	10	22	91.7	50.3	0	14.6	8	18	0
	7	1	20	80.1	58.3	0	12.2	11.6	12.6	0
	8	19	30	74.2	69.9	0	16	5.9	24.9	0
	9	66	43	97.2	75.8	23	21.3	0	43	0
	10	32	72	65.8	52.8	0	47.2	31.4	63.4	0
	11	59	95	50	84.2	0	41.7	15.8	74.8	0
	12	26	122	18	100	0	40.7	32	58	0
1976	1	25	128	5.6	132	0	15.4	12.4	37.4	0
	2	180	100	85.6	144.4	80	3.8	0	100	0
	3	40	90	50.5	64.4	0	51.3	35.1	75.1	0
	4	32	56	42.4	99.5	0	18.9	8.1	40.1	0
	5	28	36	40.2	107.6	0	10.2	2.3	30.3	0
	6	0	22	34.3	109.8	0	5.9	5.9	5.9	0
	7	0	20	29.7	115.7	0	4.6	4.6	4.6	0
	8	53	30	52.7	120.3	23	5.9	0	30	0
	9	23	43	32.7	97.3	0	27	20	43	0
	10	54	72	26.7	117.3	0	16.7	6	60	0
	11	191	95	122.7	123.3	96	16.9	0	95	0
	12	171	122	150	27.3	27.3	88.2	0	122	21.7
1977	1	177	128	150	0	0	110.8	0	128	49
	2	44	100	99.2	0	0	87.5	50.8	94.8	0
	3	71	90	86.6	50.8	0	59.5	12.6	83.6	0
	4	9	56	59.5	63.4	0	32.3	27.1	36.1	0
	5	9	36	48.8	90.5	0	14.3	10.7	19.7	0
	6	31	22	57.8	101.2	9	7.2	0	22	0
	7	1	20	45.5	92.2	0	12.6	12.3	13.3	0
	8	20	30	42.5	104.5	0	9.1	3	23	0
	9	11	43	33.4	107.5	0	12.2	9.1	20.1	0
	10	96	72	57.4	116.6	24	16	0	72	0
	11	42	95	27	92.6	0	39.8	30.5	72.5	0
	12	151	122	56	123	29	21.9	0	122	0
1978	1	127	128	55	94	0	46.3	1	128	0

1978	2	186	100	141	95	86	39.7	0	100	0
	3	126	90	150	9	9	75.2	0	90	27
	4	18	56	114.2	0	0	50.8	35.8	53.8	0
	5	2	36	88.3	35.8	0	27.4	25.9	27.9	0
	6	12	22	82.4	61.7	0	12.9	5.9	17.9	0
	7	3	20	73.1	67.6	0	11	9.3	12.3	0
	8	0	30	58.5	76.9	0	14.6	14.6	14.6	0
	9	157	43	150	91.5	91.5	16.8	0	43	22.5
	10	87	72	150	0	0	64.2	0	72	15
	11	110	95	150	0	0	83.3	0	95	15
	12	211	122	150	0	0	105.8	0	122	89
	1979	1	119	128	141	0	0	110.8	9	128
2		212	100	150	9	9	86	0	100	103
3		47	90	110	0	0	79.2	40	87	0
4		60	56	114	40	4	41.1	0	56	0
5		23	36	103.4	36	0	27.5	10.6	33.6	0
6		87	22	150	46.6	46.6	15.2	0	22	18.4
7		36	20	150	0	0	20	0	20	16
8		12	30	132	0	0	29.2	18	30	0
9		22	43	113.3	18	0	37	18.7	40.7	0
10		42	72	90.7	36.7	0	54.4	22.7	64.7	0
11		157	95	150	59.3	59.3	57.4	0	95	2.7
12		164	122	150	0	0	105.8	0	122	42
1980	1	49	128	80	0	0	110.8	70	119	0
	2	87	100	73.1	70	0	53.3	6.9	93.9	0
	3	154	90	137.1	76.9	64	43.8	0	90	0
	4	103	56	150	12.9	12.9	48.2	0	56	34.1
	5	43	36	150	0	0	34.2	0	36	7
	6	12	22	140	0	0	22	10	22	0
	7	0	20	120.8	10	0	19.2	19.2	19.2	0
	8	0	30	96.7	29.2	0	24.2	24.2	24.2	0
	9	8	43	74.1	53.3	0	27.7	22.6	30.6	0
	10	170	72	150	75.9	75.9	35.6	0	72	22.1
	11	89	95	144	0	0	83.3	6	95	0
	12	166	122	150	6	6	104.8	0	122	38
1981	1	250	128	150	0	0	110.8	0	128	122
	2	42	100	97.5	0	0	87.5	52.5	94.5	0
	3	87	90	95.5	52.5	0	58.5	1.9	89	0
	4	92	56	131.6	54.5	36	35.7	0	56	0
	5	7	36	103.7	18.5	0	32.8	27.8	34.8	0
	6	3	22	90.6	46.3	0	15.2	13.1	16.1	0
	7	7	20	82.7	59.4	0	12.1	7.8	14.8	0
	8	0	30	66.2	67.3	0	16.5	16.5	16.5	0
	9	9	43	51.2	83.8	0	19	15	24	0
	10	57	72	46.1	98.8	0	24.6	5.1	62.1	0
	11	177	95	128.1	103.9	82	29.2	0	95	0
	12	56	122	74.9	21.9	0	91.6	53.2	109.2	0
1982	1	82	128	51.9	75.1	0	63.9	23	105	0
	2	113	100	64.9	98.1	13	34.6	0	100	0
	3	79	90	53.9	85.1	0	39.7	11	90	0

1982	4	75	56	72.9	96.1	19	20.7	0	56	0
	5	4	36	48.1	77.1	0	26.2	24.8	28.8	0
	6	12	22	44.9	101.9	0	7.1	3.2	15.2	0
	7	9	20	41.6	105.1	0	6	3.3	12.3	0
	8	0	30	33.3	108.4	0	8.3	8.3	8.3	0
	9	81	43	71.3	116.7	38	9.5	0	43	0
	10	13	72	35.8	78.7	0	39.5	35.5	48.5	0
	11	182	95	122.8	114.2	87	22.7	0	95	0
	12	83	122	88.7	27.2	0	88.2	34.1	117.1	0
1983	1	228	128	150	61.3	61.3	75.7	0	128	38.7
	2	35	100	91.7	0	0	87.5	58.3	93.3	0
	3	26	90	52.6	58.3	0	55	39.1	65.1	0
	4	42	56	47.7	97.4	0	19.6	4.9	46.9	0
	5	47	36	58.7	102.3	11	11.4	0	36	0
	6	11	22	47.7	91.3	0	14.5	11	22	0
	7	14	20	45.7	102.3	0	6.4	1.9	15.9	0
	8	30	30	45.7	104.3	0	9.1	0	30	0
	9	44	43	46.7	104.3	1	13.1	0	43	0
	10	96	72	70.7	103.3	24	22.7	0	72	0
	11	153	95	128.7	79.3	58	46.3	0	95	0
	12	120	122	126.7	21.3	0	92.1	2	122	0
1984	1	320	128	150	23.3	23.3	95.6	0	128	168.7
	2	163	100	150	0	0	87.5	0	100	63
	3	161	90	150	0	0	79.2	0	90	71
	4	20	56	115.8	0	0	50.8	34.2	54.2	0
	5	10	36	95.8	34.2	0	27.8	20.1	30.1	0
	6	5	22	84.9	54.2	0	14	10.9	15.9	0
	7	1	20	74.1	65.1	0	11.3	10.8	11.8	0
	8	9	30	63.8	75.9	0	14.8	10.4	19.4	0
	9	86	43	106.8	86.2	43	18.3	0	43	0
	10	24	72	69.2	43.2	0	50.6	37.5	61.5	0
	11	172	95	146.2	80.8	77	43.8	0	95	0
	12	225	122	150	3.8	3.8	103.4	0	122	99.2
1985	1	119	128	141	0	0	110.8	9	128	0
	2	67	100	110.8	9	0	86	30.2	97.2	0
	3	40	90	73.9	39.2	0	66.5	36.9	76.9	0
	4	47	56	69.5	76.1	0	27.6	4.4	51.4	0
	5	0	36	52.8	80.5	0	16.7	16.7	16.7	0
	6	38	22	68.8	97.2	16	7.7	0	22	0
	7	110	20	150	81.2	81.2	17.4	0	20	8.8
	8	32	30	150	0	0	29.2	0	30	2
	9	25	43	132	0	0	40	18	43	0
	10	125	72	150	18	18	61.2	0	72	35
	11	72	95	127	0	0	83.3	23	95	0
	12	125	122	130	23	3	102	0	122	0
1986	1	90	128	97.5	20	0	107.5	32.5	122.5	0
	2	36	100	55.9	52.5	0	65	41.6	77.6	0
	3	141	90	106.9	94.1	51	33.5	0	90	0
	4	24	56	78.1	43.1	0	41.9	28.8	52.8	0
	5	18	36	68.7	71.9	0	18.7	9.4	27.4	0

1986	6	11	22	63.7	81.3	0	10.1	5	16	0
	7	8	20	58.6	86.3	0	8.5	5.1	13.1	0
	8	14	30	52.3	91.4	0	11.7	6.2	20.2	0
	9	40	43	51.3	97.7	0	15	1	41	0
	10	157	72	136.3	98.7	85	24.6	0	72	0
	11	54	95	99.4	13.7	0	76.9	36.9	90.9	0
	12	221	122	150	50.6	50.6	80.9	0	122	48.4
1987	1	133	128	150	0	0	110.8	0	128	5
	2	43	100	98.3	0	0	87.5	51.7	94.7	0
	3	117	90	125.3	51.7	27	59	0	90	0
	4	21	56	93.6	24.7	0	45.7	31.7	52.7	0
	5	76	36	133.6	56.4	40	22.5	0	36	0
	6	0	22	111.6	16.4	0	22	22	22	0
	7	9	20	102.9	38.4	0	15.3	8.8	17.8	0
	8	21	30	96.7	47.1	0	20.6	6.2	27.2	0
	9	11	43	76.1	53.3	0	27.7	20.6	31.6	0
	10	72	72	76.1	73.9	0	36.5	0	72	0
	11	182	95	150	73.9	73.9	48.2	0	95	13.1
	12	136	122	150	0	0	105.8	0	122	14
1988	1	89	128	113.3	0	0	110.8	36.7	125.7	0
	2	130	100	143.3	36.7	30	75.6	0	100	0
	3	104	90	150	6.7	6.7	76.3	0	90	7.3
	4	33	56	127	0	0	50.8	23	56	0
	5	3	36	99.2	23	0	30.3	27.8	30.8	0
	6	0	22	84.6	50.8	0	14.5	14.5	14.5	0
	7	6	20	76.7	65.4	0	11.3	7.9	13.9	0
	8	1	30	61.9	73.3	0	15.3	14.8	15.8	0
	9	55	43	73.9	88.1	12	17.7	0	43	0
	10	3	72	38.4	76.1	0	36.8	35.5	38.5	0
	11	33	95	22.5	111.6	0	24.3	15.9	48.9	0
	12	87	122	17.3	127.5	0	18.3	5.3	92.3	0
1989	1	34	128	6.4	132.7	0	14.7	10.8	44.8	0
	2	48	100	4.2	143.6	0	4.3	2.2	50.2	0
	3	100	90	14.2	145.8	10	2.5	0	90	0
	4	34	56	3.9	135.8	0	11.3	10.3	44.3	0
	5	17	36	3.4	146.1	0	0.9	0.5	17.5	0
	6	14	22	3.2	146.6	0	0.5	0.2	14.2	0
	7	0	20	2.8	146.8	0	0.4	0.4	0.4	0
	8	0	30	2.2	147.2	0	0.6	0.6	0.6	0
	9	29	43	2	147.8	0	0.6	0.2	29.2	0
	10	46	72	1.7	148	0	1	0.3	46.3	0
	11	52	95	1.2	148.3	0	1.1	0.5	52.5	0
	12	79	122	0.8	148.8	0	1	0.3	79.3	0
1990	1	109	128	0.7	149.2	0	0.7	0.1	109.1	0
	2	28	100	0.4	149.3	0	0.5	0.4	28.4	0
	3	147	90	57.4	149.6	57	0.2	0	90	0
	4	60	56	61.4	92.6	4	31.7	0	56	0
	5	26	36	51.4	88.6	0	27.7	10	36	0
	6	0	22	34.7	98.6	0	16.7	16.7	16.7	0
	7	21	20	35.7	115.3	1	4.6	0	20	0

1990	8	4	30	28.9	114.3	0	7.7	6.8	10.8	0
	9	15	43	23.5	121.1	0	8.3	5.4	20.4	0
	10	87	72	38.5	126.5	15	11.3	0	72	0
	11	160	95	103.5	111.5	65	27.5	0	95	0
	12	86	122	72.8	46.5	0	75.8	30.8	116.8	0
1991	1	184	128	128.8	77.2	56	62.1	0	128	0
	2	182	100	150	21.2	21.2	76.9	0	100	60.8
	3	87	90	147	0	0	79.2	3	90	0
	4	50	56	141	3	0	50.3	6	56	0
	5	26	36	131	9	0	32.7	10	36	0
	6	18	22	127	19	0	19.3	4	22	0
	7	18	20	125	23	0	17	2	20	0
	8	40	30	135	25	10	25	0	30	0
	9	21	43	115	15	0	37.5	20	41	0
	10	76	72	119	35	4	55.2	0	72	0
	11	62	95	92.8	31	0	73.8	26.2	88.2	0
	12	164	122	134.8	57.2	42	75.5	0	122	0
1992	1	43	128	65.9	15.2	0	100.4	68.9	111.9	0
	2	150	100	115.9	84.1	50	43.9	0	100	0
	3	101	90	126.9	34.1	11	64.4	0	90	0
	4	37	56	107.9	23.1	0	46.1	19	56	0
	5	9	36	87.6	42.1	0	26.4	20.3	29.3	0
	6	1	22	75.3	62.4	0	12.8	12.3	13.3	0
	7	4	20	67.3	74.7	0	10	8	12	0
	8	16	30	61	82.7	0	13.5	6.3	22.3	0
	9	57	43	75	89	14	17.5	0	43	0
	10	62	72	65	75	0	37.6	10	72	0
	11	97	95	67	85	2	41	0	95	0
	12	122	122	67	83	0	53.2	0	122	0
1993	1	205	128	144	83	77	55.6	0	128	0
	2	149	100	150	6	6	84.5	0	100	43
	3	93	90	150	0	0	79.2	0	90	3
	4	17	56	113.3	0	0	50.8	36.7	53.7	0
	5	67	36	144.3	36.7	31	27.2	0	36	0
	6	0	22	122.3	5.7	0	22	22	22	0
	7	0	20	105.8	27.7	0	16.5	16.5	16.5	0
	8	15	30	95.2	44.2	0	21.2	10.6	25.6	0
	9	11	43	74.9	54.8	0	27.3	20.3	31.3	0
	10	104	72	106.9	75.1	32	36	0	72	0
	11	218	95	150	43.1	43.1	63.2	0	95	79.9
	12	106	122	134	0	0	105.8	16	122	0
1994	1	93	128	103.3	16	0	108.2	30.7	123.7	0
	2	58	100	74.4	46.7	0	68.9	28.9	86.9	0
	3	54	90	56.5	75.6	0	44.6	17.9	71.9	0
	4	29	56	46.4	93.5	0	21.1	10.2	39.2	0
	5	34	36	45.7	103.6	0	11.1	0.6	34.6	0
	6	9	22	41.8	104.3	0	6.7	4	13	0
	7	14	20	40.1	108.2	0	5.6	1.7	15.7	0
	8	37	30	47.1	109.9	7	8	0	30	0
	9	28	43	38	102.9	0	16.6	9.1	37.1	0

1994	10	63	72	35.7	112	0	18.2	2.3	65.3	0
	11	213	95	150	114.3	114.3	22.6	0	95	3.7
	12	52	122	87.5	0	0	105.8	62.5	114.5	0
1995	1	159	128	118.5	62.5	31	74.7	0	128	0
	2	85	100	103.5	31.5	0	71.8	15	100	0
	3	61	90	81.7	46.5	0	59.9	21.8	82.8	0
	4	11	56	57.2	68.3	0	30.5	24.5	35.5	0
	5	29	36	54.5	92.8	0	13.7	2.7	31.7	0
	6	9	22	49.8	95.5	0	8	4.7	13.7	0
	7	3	20	44.1	100.2	0	6.6	5.6	8.6	0
	8	0	30	35.3	105.9	0	8.8	8.8	8.8	0
	9	14	43	28.5	114.7	0	10.1	6.8	20.8	0
	10	38	72	22	121.5	0	13.7	6.5	44.5	0
	11	143	95	70	128	48	13.9	0	95	0
	12	86	122	41.7	80	0	54.1	28.3	114.3	0
1996	1	139	128	52.7	108.3	11	35.6	0	128	0
	2	146	100	98.7	97.3	46	35.8	0	100	0
	3	40	90	61.4	51.3	0	56.9	37.3	77.3	0
	4	65	56	70.4	88.6	9	22.9	0	56	0
	5	6	36	52.8	79.6	0	20.1	17.6	23.6	0
	6	5	22	46.8	97.2	0	7.7	6	11	0
	7	0	20	40.6	103.2	0	6.2	6.2	6.2	0
	8	0	30	32.5	109.4	0	8.1	8.1	8.1	0
	9	37	43	31.2	117.5	0	9.3	1.3	38.3	0
	10	20	72	20.4	118.8	0	15	10.8	30.8	0
	11	86	95	19.1	129.6	0	12.9	1.2	87.2	0
	12	107	122	17.2	130.9	0	15.6	1.9	108.9	0
1997	1	92	128	13.1	132.8	0	14.7	4.1	96.1	0
	2	61	100	9.7	136.9	0	8.7	3.4	64.4	0
	3	56	90	7.5	140.3	0	5.8	2.2	58.2	0
	4	30	56	6.2	142.5	0	2.8	1.3	31.3	0
	5	6	36	5	143.8	0	1.5	1.2	7.2	0
	6	14	22	4.7	145	0	0.7	0.3	14.3	0
	7	7	20	4.3	145.3	0	0.6	0.4	7.4	0
	8	11	30	3.7	145.7	0	0.9	0.5	11.5	0
	9	28	43	3.4	146.3	0	1.1	0.4	28.4	0
	10	80	72	11.4	146.6	8	1.6	0	72	0
	11	152	95	68.4	138.6	57	10	0	95	0
	12	205	122	150	81.6	81.6	53	0	122	1.4
1998	1	178	128	150	0	0	110.8	0	128	50
	2	149	100	150	0	0	87.5	0	100	49
	3	72	90	132	0	0	79.2	18	90	0
	4	129	56	150	18	18	47.8	0	56	55
	5	75	36	150	0	0	34.2	0	36	39
	6	14	22	142	0	0	22	8	22	0
	7	3	20	125	8	0	19.5	17	20	0
	8	9	30	107.5	25	0	25	17.5	26.5	0
	9	32	43	99.6	42.5	0	30.8	7.9	39.9	0
	10	35	72	75	50.4	0	47.8	24.6	59.6	0
	11	169	95	149	75	74	47.5	0	95	0

1994	10	63	72	35.7	112	0	18.2	2.3	65.3	0
	11	213	95	150	114.3	114.3	22.6	0	95	3.7
	12	52	122	87.5	0	0	105.8	62.5	114.5	0
1995	1	159	128	118.5	62.5	31	74.7	0	128	0
	2	85	100	103.5	31.5	0	71.8	15	100	0
	3	61	90	81.7	46.5	0	59.9	21.8	82.8	0
	4	11	56	57.2	68.3	0	30.5	24.5	35.5	0
	5	29	36	54.5	92.8	0	13.7	2.7	31.7	0
	6	9	22	49.8	95.5	0	8	4.7	13.7	0
	7	3	20	44.1	100.2	0	6.6	5.6	8.6	0
	8	0	30	35.3	105.9	0	8.8	8.8	8.8	0
	9	14	43	28.5	114.7	0	10.1	6.8	20.8	0
	10	38	72	22	121.5	0	13.7	6.5	44.5	0
	11	143	95	70	128	48	13.9	0	95	0
	12	86	122	41.7	80	0	54.1	28.3	114.3	0
1996	1	139	128	52.7	108.3	11	35.6	0	128	0
	2	146	100	98.7	97.3	46	35.8	0	100	0
	3	40	90	61.4	51.3	0	56.9	37.3	77.3	0
	4	65	56	70.4	88.6	9	22.9	0	56	0
	5	6	36	52.8	79.6	0	20.1	17.6	23.6	0
	6	5	22	46.8	97.2	0	7.7	6	11	0
	7	0	20	40.6	103.2	0	6.2	6.2	6.2	0
	8	0	30	32.5	109.4	0	8.1	8.1	8.1	0
	9	37	43	31.2	117.5	0	9.3	1.3	38.3	0
	10	20	72	20.4	118.8	0	15	10.8	30.8	0
	11	86	95	19.1	129.6	0	12.9	1.2	87.2	0
	12	107	122	17.2	130.9	0	15.6	1.9	108.9	0
1997	1	92	128	13.1	132.8	0	14.7	4.1	96.1	0
	2	61	100	9.7	136.9	0	8.7	3.4	64.4	0
	3	56	90	7.5	140.3	0	5.8	2.2	58.2	0
	4	30	56	6.2	142.5	0	2.8	1.3	31.3	0
	5	6	36	5	143.8	0	1.5	1.2	7.2	0
	6	14	22	4.7	145	0	0.7	0.3	14.3	0
	7	7	20	4.3	145.3	0	0.6	0.4	7.4	0
	8	11	30	3.7	145.7	0	0.9	0.5	11.5	0
	9	28	43	3.4	146.3	0	1.1	0.4	28.4	0
	10	80	72	11.4	146.6	8	1.6	0	72	0
	11	152	95	68.4	138.6	57	10	0	95	0
	12	205	122	150	81.6	81.6	53	0	122	1.4
1998	1	178	128	150	0	0	110.8	0	128	50
	2	149	100	150	0	0	87.5	0	100	49
	3	72	90	132	0	0	79.2	18	90	0
	4	129	56	150	18	18	47.8	0	56	55
	5	75	36	150	0	0	34.2	0	36	39
	6	14	22	142	0	0	22	8	22	0
	7	3	20	125	8	0	19.5	17	20	0
	8	9	30	107.5	25	0	25	17.5	26.5	0
	9	32	43	99.6	42.5	0	30.8	7.9	39.9	0
	10	35	72	75	50.4	0	47.8	24.6	59.6	0
	11	169	95	149	75	74	47.5	0	95	0

1998	12	103	122	130	1	0	105.2	19	122	0
1999	1	86	128	94.3	20	0	106.9	35.8	121.8	0
	2	5	100	34.6	55.7	0	62.8	59.7	64.7	0
	3	215	90	150	115.4	115.4	20.7	0	90	9.6
	4	104	56	150	0	0	50.8	0	56	48
	5	2	36	117.5	0	0	34.2	32.5	34.5	0
	6	12	22	109.7	32.5	0	17.2	7.8	19.8	0
	7	14	20	105.3	40.3	0	14.6	4.4	18.4	0
	8	19	30	97.6	44.7	0	21.1	7.7	26.7	0
	9	25	43	85.9	52.4	0	28	11.7	36.7	0
	10	102	72	115.9	64.1	30	41.2	0	72	0
	11	117	95	137.9	34.1	22	67.4	0	95	0
	12	232	122	150	12.1	12.1	98	0	122	97.9
2000	1	194	128	150	0	0	110.8	0	128	66
	2	64	100	115.8	0	0	87.5	34.2	98.2	0
	3	75	90	104.3	34.2	0	69.5	11.6	86.6	0
	4	112	56	150	45.8	45.8	38.9	0	56	10.3
	5	88	36	150	0	0	34.2	0	36	52
	6	12	22	140	0	0	22	10	22	0
	7	19	20	139	10	0	19.2	1	20	0
	8	1	30	112.5	11	0	27.3	26.5	27.5	0
	9	13	43	90	37.5	0	32.3	22.5	35.5	0
	10	91	72	109	60	19	43.2	0	72	0
	11	93	95	107	41	0	64.6	2	95	0
	12	65	122	66	43	0	80	41	106	0
2001	1	109	128	57.6	84	0	56.3	8.4	117.4	0
	2	2	100	20	92.4	0	38.4	37.7	39.7	0
	3	198	90	128	130	108	12	0	90	0
	4	127	56	150	22	22	46.3	0	56	49
	5	0	36	115.8	0	0	34.2	34.2	34.2	0
	6	2	22	100.4	34.2	0	17	15.4	17.4	0
	7	3	20	89	49.6	0	13.4	11.4	14.4	0
	8	19	30	82.5	61	0	17.8	6.5	25.5	0
	9	130	43	150	67.5	67.5	23.6	0	43	19.5
	10	139	72	150	0	0	64.2	0	72	67
	11	24	95	86.7	0	0	83.3	63.3	87.3	0
	12	54	122	47.4	63.3	0	70.5	39.3	93.3	0
2002	1	93	128	36.3	102.6	0	40.4	11.1	104.1	0
	2	63	100	27.4	113.7	0	24.2	9	72	0
	3	40	90	18.2	122.6	0	16.4	9.1	49.1	0
	4	90	56	52.2	131.8	34	6.8	0	56	0
	5	12	36	28.2	97.8	0	27	24	36	0
	6	2	22	23.8	121.8	0	4.8	4.5	6.5	0
	7	4	20	21.3	126.2	0	3.2	2.5	6.5	0
	8	38	30	29.3	128.7	8	4.3	0	30	0
	9	1	43	16.4	120.7	0	13	12.8	13.8	0
	10	103	72	47.4	133.6	31	7.9	0	72	0
	11	278	95	150	102.6	102.6	35.5	0	95	80.4
	12	26	122	65.8	0	0	105.8	84.2	110.2	0
2003	1	119	128	61.9	84.2	0	56.2	4	123	0

2003	2	36	100	35.5	88.1	0	41.3	26.4	62.4	0
	3	46	90	25.1	114.5	0	21.3	10.4	56.4	0
	4	117	56	86.1	124.9	61	9.4	0	56	0
	5	4	36	58.2	63.9	0	29.5	27.9	31.9	0
	6	1	22	50.1	91.8	0	8.5	8.2	9.2	0
	7	37	20	67.1	99.9	17	6.7	0	20	0
	8	1	30	46.1	82.9	0	21.3	21	22	0
	9	0	43	32.9	103.9	0	13.2	13.2	13.2	0
	10	8	72	18.8	117.1	0	15.8	14	22	0
	11	22	95	9.7	131.2	0	11.9	9.2	31.2	0
	12	214	122	101.7	140.3	92	7.9	0	122	0
	2004	1	147	128	120.7	48.3	19	77.6	0	128
2		84	100	104.7	29.3	0	72.8	16	100	0
3		126	90	140.7	45.3	36	60.7	0	90	0
4		43	56	127.7	9.3	0	48.9	13	56	0
5		202	36	150	22.3	22.3	30.5	0	36	143.7
6		0	22	128	0	0	22	22	22	0
7		35	20	143	22	15	17.2	0	20	0
8		10	30	123.3	7	0	28	19.7	29.7	0
9		0	43	88	26.7	0	35.4	35.4	35.4	0
10		93	72	109	62	21	42.2	0	72	0
11		48	95	72.7	41	0	64.4	36.2	84.2	0
12		132	122	82.7	77.3	10	59.2	0	122	0
2005	1	270	128	150	67.3	67.3	67.2	0	128	74.7
	2	162	100	150	0	0	87.5	0	100	62
	3	82	90	142	0	0	79.2	8	90	0
	4	56	56	142	8	0	49.5	0	56	0
	5	15	36	121.7	8	0	32.8	20.3	35.3	0
	6	2	22	105.4	28.3	0	17.8	16.2	18.2	0
	7	15	20	101.9	44.6	0	14.1	3.5	18.5	0
	8	11	30	89	48.1	0	20.4	12.9	23.9	0
	9	13	43	71.2	61	0	25.5	17.8	30.8	0
	10	70	72	70.3	78.8	0	34.2	0.9	70.9	0
	11	92	95	68.9	79.7	0	44.5	1.4	93.4	0
	12	41	122	31.7	81.1	0	56	37.2	78.2	0
2006	1	116	128	29.1	118.3	0	27	2.5	118.5	0
	2	103	100	32.1	120.9	3	19.4	0	100	0
	3	93	90	35.1	117.9	3	19.9	0	90	0
	4	113	56	92.1	114.9	57	15.7	0	56	0
	5	2	36	63.1	57.9	0	29.9	29	31	0
	6	8	22	57.2	86.9	0	9.3	5.9	13.9	0
	7	1	20	50	92.8	0	7.6	7.2	8.2	0
	8	0	30	40	100	0	10	10	10	0
	9	6	43	30.1	110	0	11.5	9.9	15.9	0
	10	71	72	29.9	119.9	0	14.5	0.2	71.2	0
	11	166	95	100.9	120.1	71	18.9	0	95	0
	12	160	122	138.9	49.1	38	74.1	0	122	0
2007	1	169	128	150	11.1	11.1	103.2	0	128	29.9
	2	155	100	150	0	0	87.5	0	100	55
	3	86	90	146	0	0	79.2	4	90	0

2007	4	11	56	105	4	0	50.2	41	52	0
	5	7	36	84.7	45	0	25.2	20.3	27.3	0
	6	17	22	81.9	65.3	0	12.4	2.8	19.8	0
	7	40	20	101.9	68.1	20	10.9	0	20	0
	8	0	30	76.4	48.1	0	25.5	25.5	25.5	0
	9	66	43	99.4	73.6	23	21.9	0	43	0
	10	104	72	131.4	50.6	32	48	0	72	0
	11	44	95	88	18.6	0	74.7	43.4	87.4	0
	12	139	122	105	62	17	71.6	0	122	0
2008	1	214	128	150	45	45	82.1	0	128	41
	2	96	100	146	0	0	87.5	4	100	0
	3	145	90	150	4	4	78.5	0	90	51
	4	22	56	117.5	0	0	50.8	32.5	54.5	0
	5	10	36	97.1	32.5	0	28.2	20.4	30.4	0
	6	15	22	92.6	52.9	0	14.2	4.5	19.5	0
	7	6	20	84	57.4	0	12.3	8.6	14.6	0
	8	5	30	70	66	0	16.8	14	19	0
	9	16	43	57.4	80	0	20.1	12.6	28.6	0
	10	30	72	41.3	92.6	0	27.5	16.1	46.1	0
	11	140	95	86.3	108.7	45	26.2	0	95	0
	12	152	122	116.3	63.7	30	64.6	0	122	0
2009	1	115	128	103.3	33.7	0	87.7	13	128	0
	2	74	100	82.8	46.7	0	65.6	20.5	94.5	0
	3	45	90	57.9	67.2	0	49.7	24.8	69.8	0
	4	3	56	37.5	92.1	0	21.6	20.5	23.5	0
	5	19	36	33.2	112.5	0	9	4.2	23.2	0
	6	0	22	28.4	116.8	0	4.9	4.9	4.9	0
	7	5	20	25.5	121.6	0	3.8	2.8	7.8	0
	8	0	30	20.4	124.5	0	5.1	5.1	5.1	0
	9	69	43	46.4	129.6	26	5.9	0	43	0
	10	15	72	16.8	103.6	0	31.7	29.6	44.6	0
	11	72	95	14.3	133.2	0	10.7	2.6	74.6	0
	12	162	122	54.3	135.7	40	11.6	0	122	0
2010	1	81	128	25	95.7	0	45.1	29.3	110.3	0
	2	38	100	14.6	125	0	16.6	10.3	48.3	0
	3	7	90	6.5	135.4	0	8.8	8.1	15.1	0
	4	25	56	5.2	143.5	0	2.4	1.4	26.4	0
	5	8	36	4.2	144.8	0	1.2	1	9	0
	6	2	22	3.7	145.8	0	0.6	0.6	2.6	0
	7	1	20	3.2	146.3	0	0.5	0.5	1.5	0
	8	0	30	2.6	146.8	0	0.6	0.6	0.6	0
	9	67	43	26.6	147.4	24	0.7	0	43	0
	10	88	72	42.6	123.4	16	24.8	0	72	0
	11	125	95	72.6	107.4	30	33.2	0	95	0
	12	100	122	50.6	77.4	0	55.8	22	122	0
2011	1	205	128	127.6	99.4	77	42.6	0	128	0
	2	117	100	144.6	22.4	17	76.3	0	100	0
	3	88	90	142.6	5.4	0	76.8	2	90	0
	4	51	56	137.6	7.4	0	49.3	5	56	0
	5	0	36	105.2	12.4	0	32.3	32.3	32.3	0

2011	6	8	22	95.4	44.8	0	15.4	9.8	17.8	0
	7	0	20	82.7	54.6	0	12.7	12.7	12.7	0
	8	3	30	67.8	67.3	0	16.5	14.9	17.9	0
	9	20	43	57.4	82.2	0	19.4	10.4	30.4	0
	10	88	72	73.4	92.6	16	27.6	0	72	0
	11	136	95	114.4	76.6	41	46.2	0	95	0
	12	40	122	55.4	35.6	0	82.8	59	99	0
2012	1	22	128	16.3	94.6	0	47.3	39.2	61.2	0
	2	187	100	103.3	133.7	87	10.8	0	100	0
	3	80	90	93.3	46.7	0	58.9	10	90	0
	4	78	56	115.3	56.7	22	36.4	0	56	0
	5	17	36	96.3	34.7	0	31.6	19	36	0
	6	0	22	80.6	53.7	0	15.6	15.6	15.6	0
	7	1	20	70.4	69.4	0	10.8	10.2	11.2	0
	8	13	30	62.4	79.6	0	14.1	8	21	0
	9	84	43	103.4	87.6	41	17.9	0	43	0
	10	140	72	150	46.6	46.6	49.6	0	72	21.4
	11	166	95	150	0	0	83.3	0	95	71
	12	106	122	134	0	0	105.8	16	122	0
2013	1	76	128	89.2	16	0	108.2	44.8	120.8	0
	2	64	100	67.8	60.8	0	59.4	21.4	85.4	0
	3	101	90	78.8	82.2	11	40.7	0	90	0
	4	43	56	66.9	71.2	0	31.3	11.9	54.9	0
	5	14	36	57.1	83.1	0	16	9.8	23.8	0
	6	0	22	48.7	92.9	0	8.4	8.4	8.4	0
	7	0	20	42.2	101.3	0	6.5	6.5	6.5	0
	8	0	30	33.8	107.8	0	8.4	8.4	8.4	0
	9	0	43	24.1	116.2	0	9.7	9.7	9.7	0
	10	54	72	21.2	125.9	0	11.6	2.9	56.9	0
	11	117	95	43.2	128.8	22	13.4	0	95	0
	12	160	122	81.2	106.8	38	36.1	0	122	0
2014	1	126	128	79.2	68.8	0	63.6	2	128	0
	2	167	100	146.2	70.8	67	51.8	0	100	0
	3	56	90	113.9	3.8	0	77.5	32.3	88.3	0
	4	33	56	96.5	36.1	0	42.5	17.5	50.5	0
	5	18	36	84.9	53.5	0	23.1	11.6	29.6	0
	6	1	22	73	65.1	0	12.4	11.9	12.9	0
	7	1	20	63.7	77	0	9.7	9.2	10.2	0
	8	0	30	51	86.3	0	12.7	12.7	12.7	0
	9	47	43	55	99	4	14.6	0	43	0
	10	47	72	43.9	95	0	27.1	11.1	58.1	0
	11	113	95	61.9	106.1	18	27.8	0	95	0
	12	133	122	72.9	88.1	11	48.4	0	122	0
2015	1	90	128	43.7	77.1	0	57.9	29.1	119.1	0
	2	289	100	150	106.3	106.3	29.1	0	100	82.7
	3	92	90	150	0	0	79.2	0	90	2
	4	19	56	115	0	0	50.8	35	54	0
	5	0	36	87.4	35	0	27.6	27.6	27.6	0
	6	2	22	75.7	62.6	0	12.8	11.7	13.7	0
	7	13	20	72.2	74.3	0	10.1	3.5	16.5	0

2015	8	8	30	61.6	77.8	0	14.4	10.6	18.6	0
	9	41	43	60.8	88.4	0	17.7	0.8	41.8	0
	10	72	72	60.8	89.2	0	29.2	0	72	0
	11	173	95	138.8	89.2	78	38.5	0	95	0
	12	111	122	127.8	11.2	0	98.6	11	122	0
2016	1	157	128	150	22.2	22.2	100.5	0	128	6.8
	2	167	100	150	0	0	87.5	0	100	67
	3	85	90	145	0	0	79.2	5	90	0
	4	89	56	150	5	5	50	0	56	28
	5	14	36	128	0	0	34.2	22	36	0
	6	43	22	149	22	21	18.8	0	22	0
	7	3	20	132	1	0	20	17	20	0
	8	7	30	111.7	18	0	26.2	20.3	27.3	0
	9	0	43	79.7	38.3	0	32	32	32	0
	10	142	72	149.7	70.3	70	38.2	0	72	0
	11	44	95	103	0.3	0	83.2	46.6	90.6	0
	12	110	122	94.8	47	0	83.8	8.2	118.2	0
2017	1	123	128	91.6	55.2	0	80.9	3.2	126.2	0
	2	95	100	88.6	58.4	0	61.1	3.1	98.1	0
	3	80	90	82.7	61.4	0	53.2	5.9	85.9	0
	4	91	56	117.7	67.3	35	30.9	0	56	0
	5	17	36	98.7	32.3	0	31.8	19	36	0
	6	20	22	96.7	51.3	0	15.9	2	22	0
	7	14	20	91.4	53.3	0	13.9	5.2	19.2	0
	8	7	30	77.4	58.6	0	18.3	14	21	0
	9	20	43	65.6	72.6	0	22.2	11.9	31.9	0
	10	42	72	52.4	84.4	0	31.5	13.1	55.1	0
	11	101	95	58.4	97.6	6	33.2	0	95	0
	12	150	122	86.4	91.6	28	46.6	0	122	0
2018	1	0	128	19.3	63.6	0	67.2	67.2	67.2	0
	2	0	100	6.4	130.7	0	12.8	12.8	12.8	0
	3	0	90	2.6	143.6	0	3.9	3.9	3.9	0
	4	0	56	1.6	147.4	0	1	1	1	0
	5	0	36	1.2	148.4	0	0.4	0.4	0.4	0
	6	0	22	1	148.8	0	0.2	0.2	0.2	0
	7	0	20	0.9	149	0	0.1	0.1	0.1	0
	8	0	30	0.7	149.1	0	0.2	0.2	0.2	0
	9	0	43	0.5	149.3	0	0.2	0.2	0.2	0
	10	0	72	0.3	149.5	0	0.2	0.2	0.2	0
	11	0	95	0.1	149.7	0	0.2	0.2	0.2	0
	12	0	122	0	149.9	0	0.1	0.1	0.1	0

**Anexo 2.** Gráficos de salida del programa HidrogeoSieveXI para cada uno de los tramos del acuífero freático, las capas confinantes y el acuífero semiconfinado.



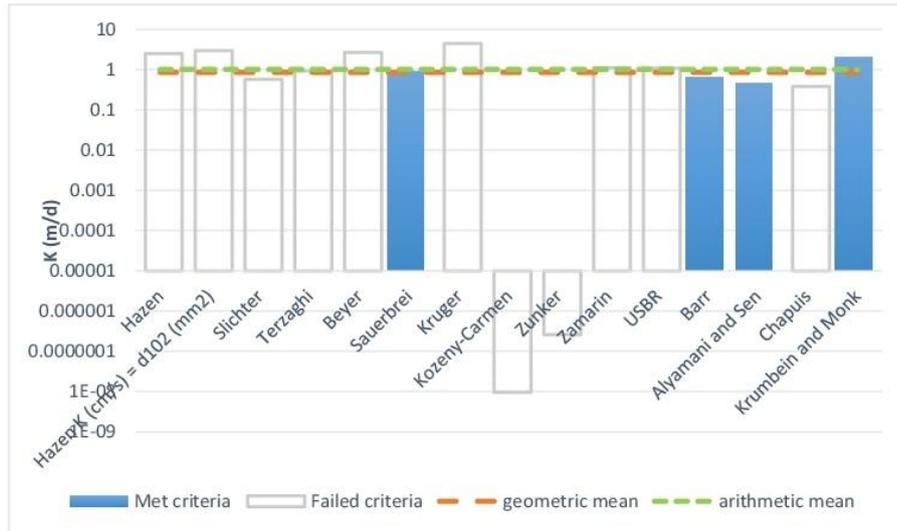
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 0-2m

Mass Sample (g): 68.6 T (oC) 20

**Poorly sorted gravelly sand with fines**



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.287E-02	.287E-04	2.48	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.342E-02	.342E-04	2.96	
Slichter	.655E-03	.655E-05	0.57	
Terzaghi	.106E-02	.106E-04	0.91	
Beyer	.306E-02	.306E-04	2.65	
Sauerbrei	.101E-02	.101E-04	0.88	
Kruger	.511E-02	.511E-04	4.41	
Kozeny-Carmen	.110E-10	.110E-12	0.00	
Zunker	.297E-09	.297E-11	0.00	
Zamarin	.127E-02	.127E-04	1.10	
USBR	.125E-02	.125E-04	1.08	
Barr	.761E-03	.761E-05	0.66	
Alyamani and Sen	.514E-03	.514E-05	0.44	
Chapuis	.435E-03	.435E-05	0.38	
Krumbein and Monk	.229E-02	.229E-04	1.97	
geometric mean	.976E-03	.976E-05	0.84	
arithmetic mean	.114E-02	.114E-04	0.99	



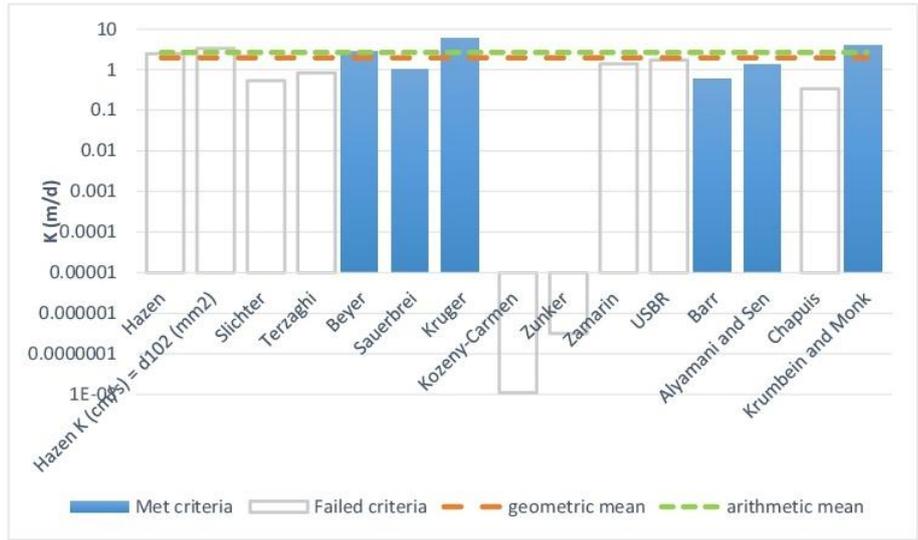
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 2-4m

Mass Sample (g): 76.9 T (oC) 20

Poorly sorted gravelly sand with fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.285E-02	.285E-04	2.46	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.386E-02	.386E-04	3.33	
Slichter	.611E-03	.611E-05	0.53	
Terzaghi	.952E-03	.952E-05	0.82	
Beyer	.325E-02	.325E-04	2.81	
Sauerbrei	.120E-02	.120E-04	1.04	
Kruger	.702E-02	.702E-04	6.07	
Kozeny-Carmen	.129E-10	.129E-12	0.00	
Zunker	.368E-09	.368E-11	0.00	
Zamarin	.161E-02	.161E-04	1.39	
USBR	.198E-02	.198E-04	1.71	
Barr	.687E-03	.687E-05	0.59	
Alyamani and Sen	.151E-02	.151E-04	1.31	
Chapuis	.389E-03	.389E-05	0.34	
Krumbein and Monk	.470E-02	.470E-04	4.06	
geometric mean	.226E-02	.226E-04	1.95	
arithmetic mean	.306E-02	.306E-04	2.65	



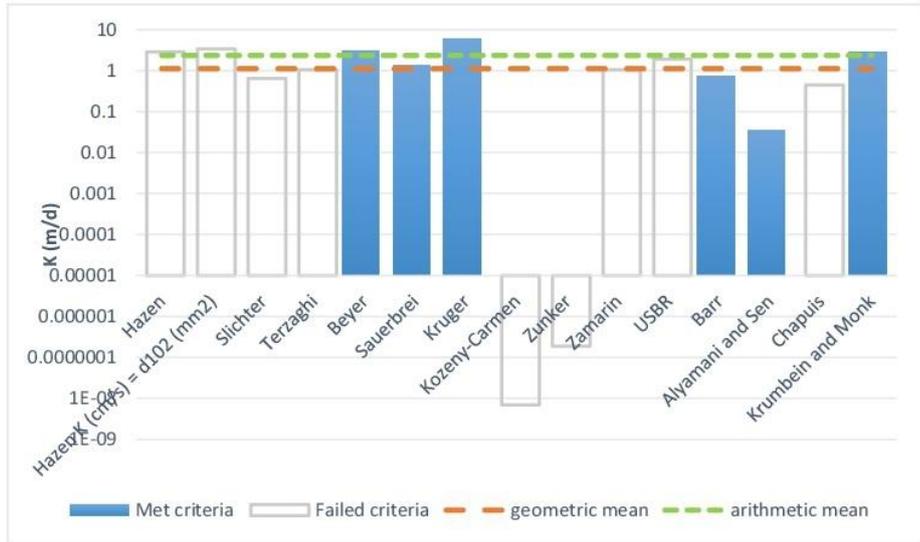
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 4-6.5m

Mass Sample (g): 102.4 T (oC) 20

**Poorly sorted gravelly sand with fines**



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.324E-02	.324E-04	2.80	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.385E-02	.385E-04	3.33	
Slichter	.741E-03	.741E-05	0.64	
Terzaghi	.120E-02	.120E-04	1.03	
Beyer	.345E-02	.345E-04	2.98	
Sauerbrei	.160E-02	.160E-04	1.38	
Kruger	.681E-02	.681E-04	5.88	
Kozeny-Carmen	.807E-11	.807E-13	0.00	
Zunker	.217E-09	.217E-11	0.00	
Zamarin	.120E-02	.120E-04	1.04	
USBR	.216E-02	.216E-04	1.87	
Barr	.861E-03	.861E-05	0.74	
Alyamani and Sen	.413E-04	.413E-06	0.04	
Chapuis	.513E-03	.513E-05	0.44	
Krumbein and Monk	.327E-02	.327E-04	2.82	
geometric mean	.128E-02	.128E-04	1.11	
arithmetic mean	.267E-02	.267E-04	2.31	



K from Grain Size Analysis Report

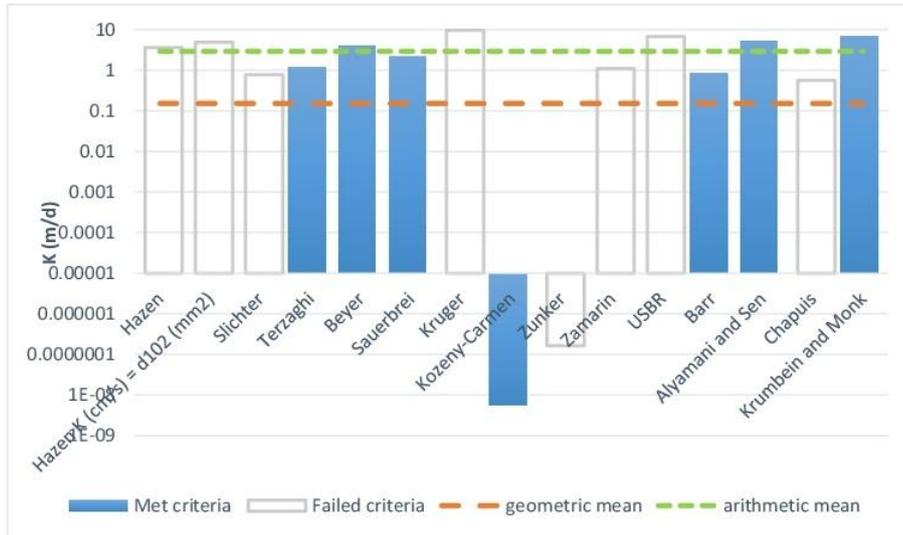
Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 6.5-10m

Mass Sample (g): 83

T (oC) 20

**Poorly sorted gravelly sand with fines**



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.413E-02	.413E-04	3.57	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.564E-02	.564E-04	4.87	
Slichter	.883E-03	.883E-05	0.76	
Terzaghi	.137E-02	.137E-04	1.19	
Beyer	.473E-02	.473E-04	4.09	
Sauerbrei	.245E-02	.245E-04	2.11	
Kruger	.109E-01	.109E-03	9.44	
Kozeny-Carmen	.658E-11	.658E-13	0.00	
Zunker	.189E-09	.189E-11	0.00	
Zamarin	.127E-02	.127E-04	1.10	
USBR	.783E-02	.783E-04	6.76	
Barr	.992E-03	.992E-05	0.86	
Alyamani and Sen	.590E-02	.590E-04	5.10	
Chapuis	.642E-03	.642E-05	0.56	
Krumbein and Monk	.807E-02	.807E-04	6.97	
geometric mean	.175E-03	.175E-05	0.15	
arithmetic mean	.336E-02	.336E-04	2.90	



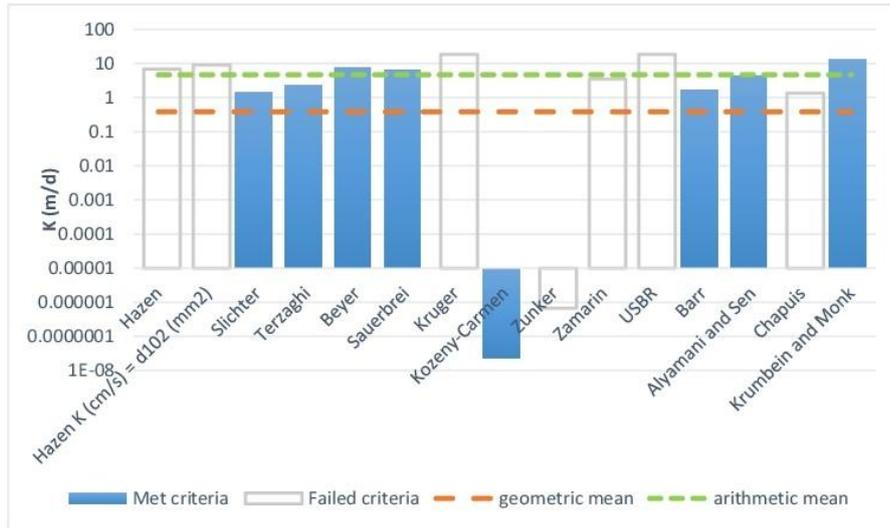
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 10-20m

Mass Sample (g): 46.3 T (oC) 20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.786E-02	.786E-04	6.79	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.104E-01	.104E-03	8.96	
Slichter	.171E-02	.171E-04	1.47	
Terzaghi	.268E-02	.268E-04	2.32	
Beyer	.886E-02	.886E-04	7.65	
Sauerbrei	.729E-02	.729E-04	6.30	
Kruger	.211E-01	.211E-03	18.27	
Kozeny-Carmen	.273E-10	.273E-12	0.00	
Zunker	.769E-09	.769E-11	0.00	
Zamarin	.396E-02	.396E-04	3.42	
USBR	.212E-01	.212E-03	18.33	
Barr	.193E-02	.193E-04	1.67	
Alyamani and Sen	.510E-02	.510E-04	4.41	
Chapuis	.156E-02	.156E-04	1.35	
Krumbein and Monk	.151E-01	.151E-03	13.03	
geometric mean	.431E-03	.431E-05	0.37	
arithmetic mean	.533E-02	.533E-04	4.61	



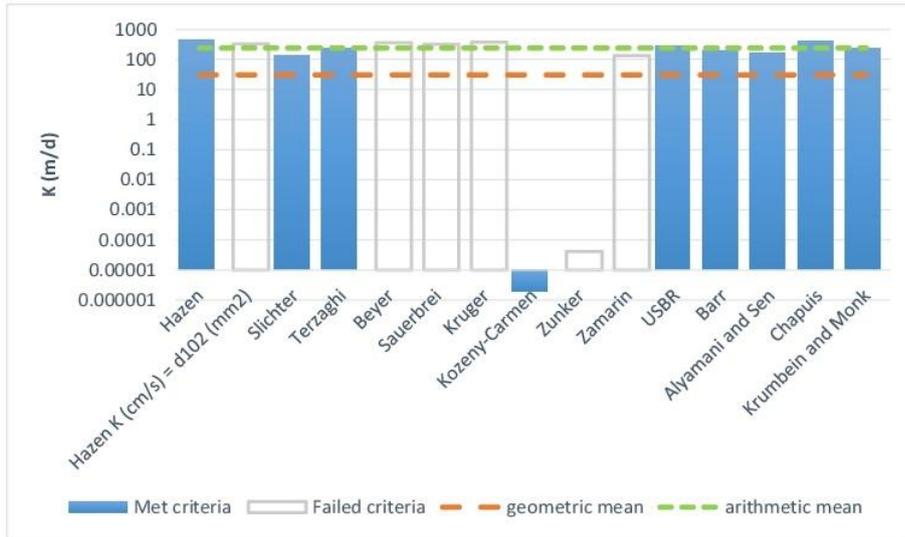
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 20-24m

Mass Sample (g): 63.8 T (oC) 20

**Moderately well sorted gravelly sand low in fines**



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.511E+00	.511E-02	441.55	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> <sup>2</sup> (mm)	.381E+00	.381E-02	328.82	
Slichter	.164E+00	.164E-02	142.11	
Terzaghi	.286E+00	.286E-02	247.39	
Beyer	.421E+00	.421E-02	363.85	
Sauerbrei	.362E+00	.362E-02	313.06	
Kruger	.436E+00	.436E-02	376.94	
Kozeny-Carmen	.226E-08	.226E-10	0.00	
Zunker	.475E-07	.475E-09	0.00	
Zamarin	.154E+00	.154E-02	132.81	
USBR	.329E+00	.329E-02	284.59	
Barr	.230E+00	.230E-02	198.80	
Alyamani and Sen	.192E+00	.192E-02	166.03	
Chapuis	.477E+00	.477E-02	411.82	
Krumbein and Monk	.266E+00	.266E-02	229.45	
geometric mean	.359E-01	.359E-03	31.06	
arithmetic mean	.273E+00	.273E-02	235.75	



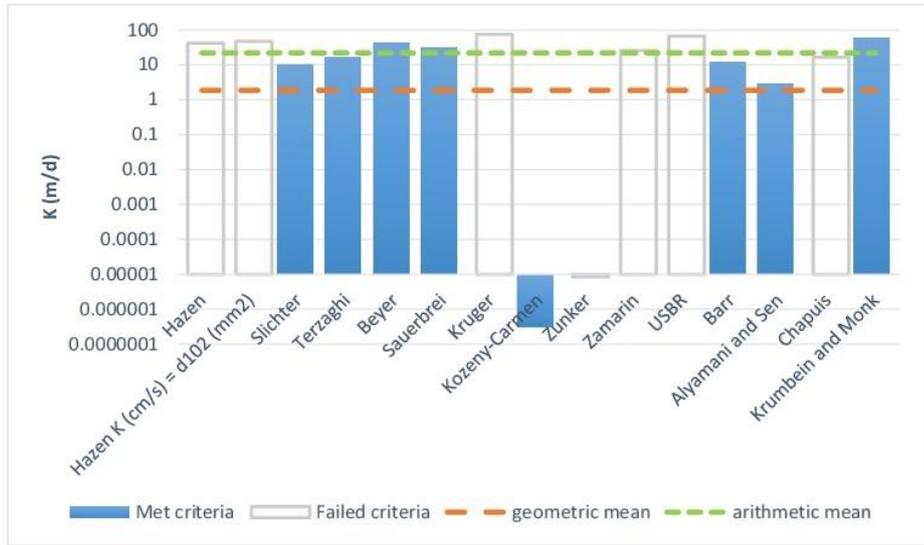
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 24-28m

Mass Sample (g): 66.9 T (oC) 20

Poorly sorted gravelly sand low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.486E-01	.486E-03	41.99	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.541E-01	.541E-03	46.77	
Slichter	.115E-01	.115E-03	9.96	
Terzaghi	.189E-01	.189E-03	16.32	
Beyer	.500E-01	.500E-03	43.16	
Sauerbrei	.368E-01	.368E-03	31.81	
Kruger	.856E-01	.856E-03	73.94	
Kozeny-Carmen	.372E-09	.372E-11	0.00	
Zunker	.972E-08	.972E-10	0.00	
Zamarin	.298E-01	.298E-03	25.76	
USBR	.770E-01	.770E-03	66.54	
Barr	.136E-01	.136E-03	11.78	
Alyamani and Sen	.339E-02	.339E-04	2.93	
Chapuis	.191E-01	.191E-03	16.46	
Krumbein and Monk	.685E-01	.685E-03	59.20	
geometric mean	.216E-02	.216E-04	1.87	
arithmetic mean	.253E-01	.253E-03	21.89	



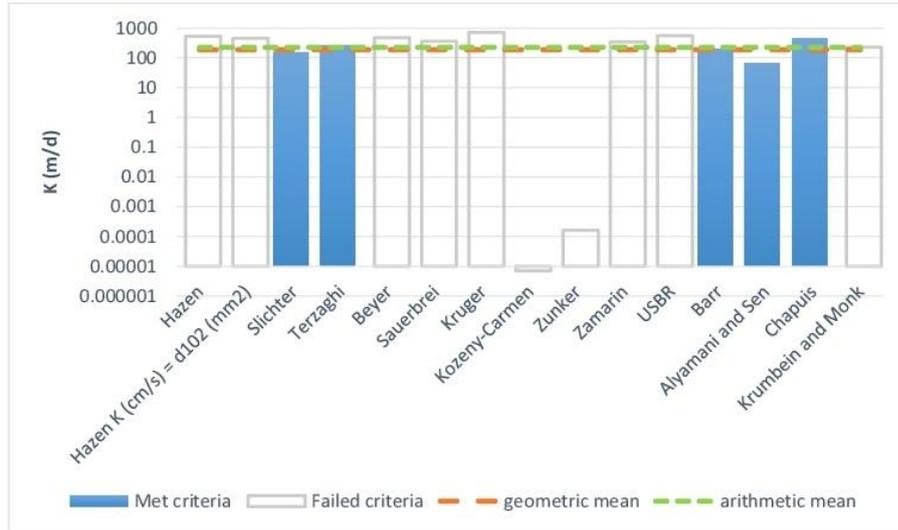
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 28-31.5m

Mass Sample (g): 48.3 T (oC) 20

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.604E+00	.604E-02	521.91	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.524E+00	.524E-02	452.60	
Slichter	.171E+00	.171E-02	147.33	
Terzaghi	.292E+00	.292E-02	252.27	
Beyer	.539E+00	.539E-02	465.42	
Sauerbrei	.415E+00	.415E-02	358.90	
Kruger	.818E+00	.818E-02	706.44	
Kozeny-Carmen	.813E-08	.813E-10	0.00	
Zunker	.186E-06	.186E-08	0.00	
Zamarin	.396E+00	.396E-02	342.38	
USBR	.650E+00	.650E-02	561.94	
Barr	.221E+00	.221E-02	190.98	
Alyamani and Sen	.780E-01	.780E-03	67.40	
Chapius	.522E+00	.522E-02	451.23	
Krumbein and Monk	.261E+00	.261E-02	225.30	
geometric mean	.214E+00	.214E-02	184.86	
arithmetic mean	.257E+00	.257E-02	221.84	



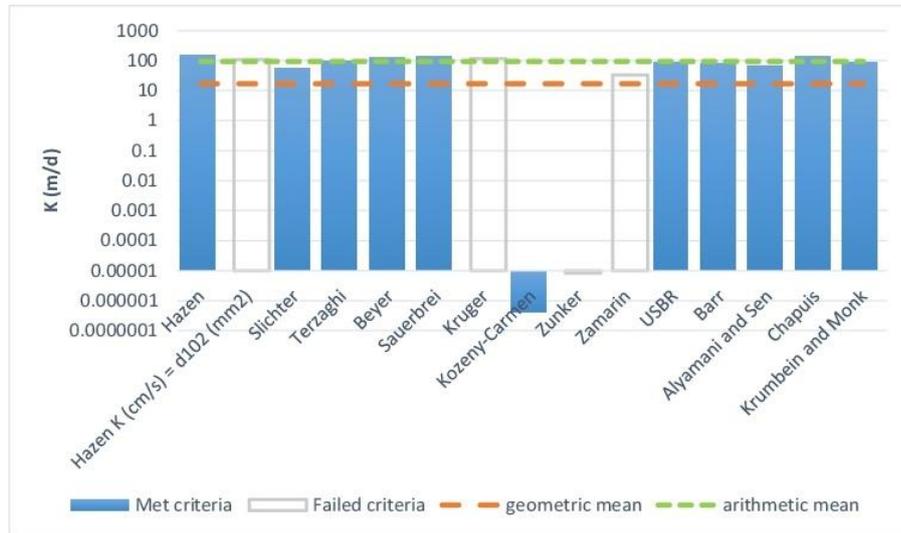
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 31.5-34m

Mass Sample (g): 62.2 T (oC) 20

**Moderately well sorted gravelly sand low in fines**



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.178E+00	.178E-02	153.72	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.122E+00	.122E-02	105.49	
Slichter	.619E-01	.619E-03	53.49	
Terzaghi	.108E+00	.108E-02	93.70	
Beyer	.141E+00	.141E-02	122.14	
Sauerbrei	.166E+00	.166E-02	143.31	
Kruger	.134E+00	.134E-02	115.42	
Kozeny-Carmen	.486E-09	.486E-11	0.00	
Zunker	.974E-08	.974E-10	0.00	
Zamarin	.379E-01	.379E-03	32.71	
USBR	.106E+00	.106E-02	91.58	
Barr	.910E-01	.910E-03	78.62	
Alyamani and Sen	.796E-01	.796E-03	68.75	
Chapuis	.162E+00	.162E-02	139.81	
Krumbein and Monk	.103E+00	.103E-02	88.74	
geometric mean	.197E-01	.197E-03	17.02	
arithmetic mean	.109E+00	.109E-02	93.99	



K from Grain Size Analysis Report

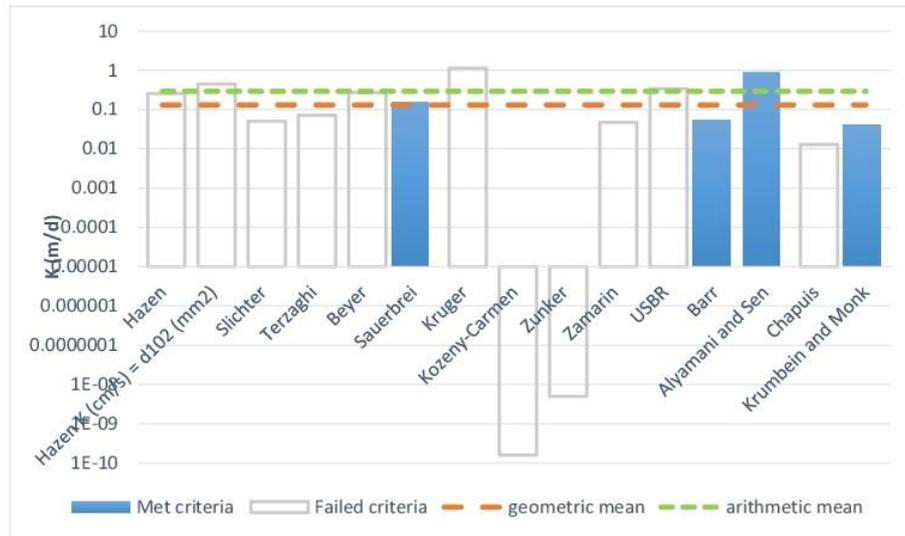
Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 34-39m

Mass Sample (g): 55

T (oC) 20

Poorly sorted gravelly sand with fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.295E-03	.295E-05	0.25	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.519E-03	.519E-05	0.45	
Slichter	.580E-04	.580E-06	0.05	
Terzaghi	.828E-04	.828E-06	0.07	
Beyer	.311E-03	.311E-05	0.27	
Sauerbrei	.177E-03	.177E-05	0.15	
Kruger	.131E-02	.131E-04	1.13	
Kozeny-Carmen	.183E-12	.183E-14	0.00	
Zunker	.581E-11	.581E-13	0.00	
Zamarin	.543E-04	.543E-06	0.05	
USBR	.392E-03	.392E-05	0.34	
Barr	.622E-04	.622E-06	0.05	
Alyamani and Sen	.106E-02	.106E-04	0.92	
Chapuis	.149E-04	.149E-06	0.01	
Krumbein and Monk	.460E-04	.460E-06	0.04	
geometric mean	.152E-03	.152E-05	0.13	
arithmetic mean	.337E-03	.337E-05	0.29	



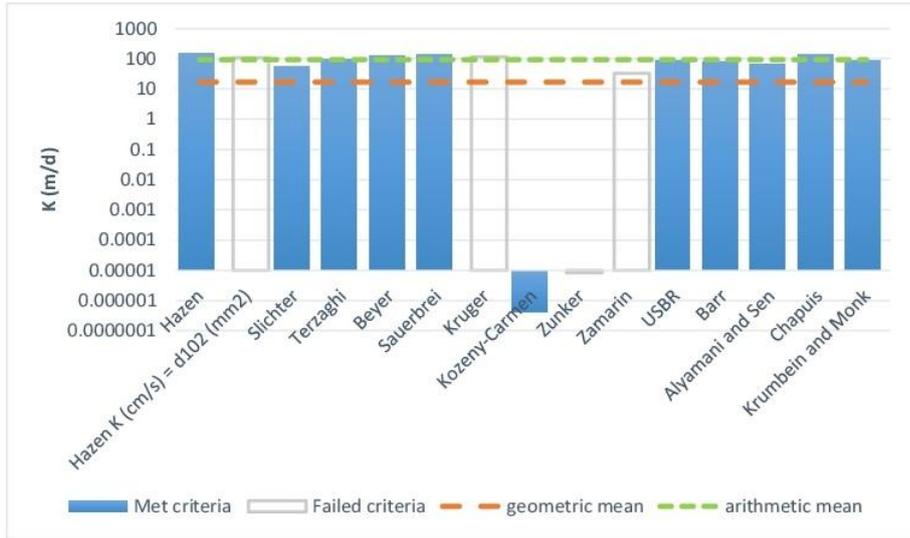
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 39-42m

Mass Sample (g): 62.2 T (oC) 20

**Moderately well sorted gravelly sand low in fines**



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.178E+00	.178E-02	153.72	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.122E+00	.122E-02	105.49	
Slichter	.619E-01	.619E-03	53.49	
Terzaghi	.108E+00	.108E-02	93.70	
Beyer	.141E+00	.141E-02	122.14	
Sauerbrei	.166E+00	.166E-02	143.31	
Kruger	.134E+00	.134E-02	115.42	
Kozeny-Carmen	.486E-09	.486E-11	0.00	
Zunker	.974E-08	.974E-10	0.00	
Zamarin	.379E-01	.379E-03	32.71	
USBR	.106E+00	.106E-02	91.58	
Barr	.910E-01	.910E-03	78.62	
Alyamani and Sen	.796E-01	.796E-03	68.75	
Chapuis	.162E+00	.162E-02	139.81	
Krumbein and Monk	.103E+00	.103E-02	88.74	
geometric mean	.197E-01	.197E-03	17.02	
arithmetic mean	.109E+00	.109E-02	93.99	



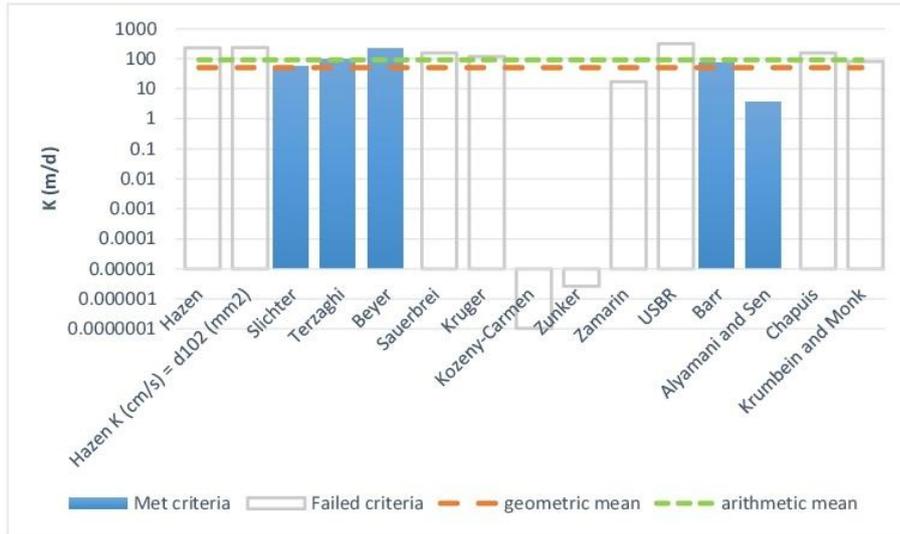
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 42-48m

Mass Sample (g): 69.9 T (oC) 20

Poorly sorted sandy gravel low in fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.268E+00	.268E-02	231.19	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.271E+00	.271E-02	234.10	
Slichter	.674E-01	.674E-03	58.23	
Terzaghi	.113E+00	.113E-02	97.30	
Beyer	.260E+00	.260E-02	225.04	
Sauerbrei	.180E+00	.180E-02	155.92	
Kruger	.139E+00	.139E-02	119.96	
Kozeny-Carmen	.122E-09	.122E-11	0.00	
Zunker	.305E-08	.305E-10	0.00	
Zamarin	.196E-01	.196E-03	16.90	
USBR	.363E+00	.363E-02	313.80	
Barr	.822E-01	.822E-03	71.04	
Alyamani and Sen	.422E-02	.422E-04	3.65	
Chapuis	.179E+00	.179E-02	154.97	
Krumbein and Monk	.932E-01	.932E-03	80.52	
geometric mean	.585E-01	.585E-03	50.56	
arithmetic mean	.105E+00	.105E-02	91.05	



K from Grain Size Analysis Report

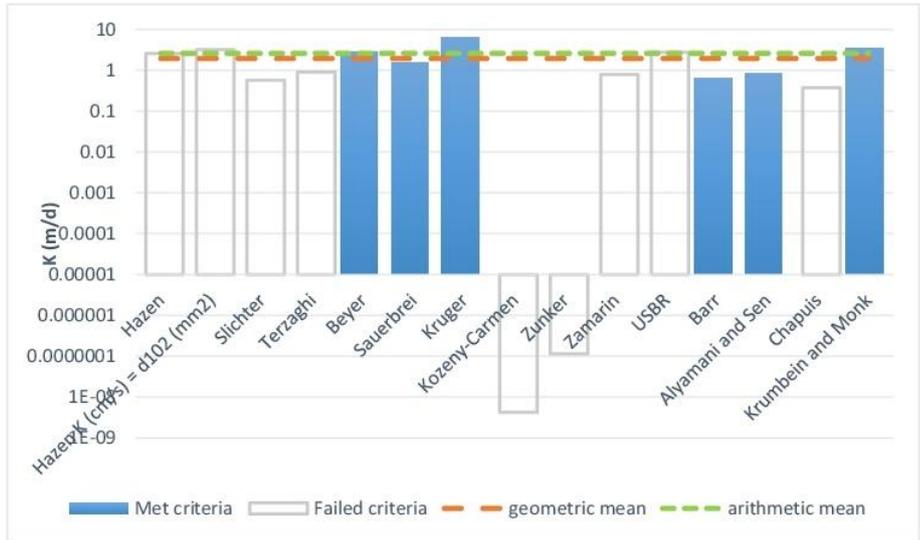
Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 48-51.5m

Mass Sample (g): 46

T (oC) 20

Poorly sorted sand with fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.293E-02	.293E-04	2.54	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.367E-02	.367E-04	3.17	
Slichter	.653E-03	.653E-05	0.56	
Terzaghi	.104E-02	.104E-04	0.90	
Beyer	.322E-02	.322E-04	2.78	
Sauerbrei	.183E-02	.183E-04	1.58	
Kruger	.733E-02	.733E-04	6.33	
Kozeny-Carmen	.488E-11	.488E-13	0.00	
Zunker	.135E-09	.135E-11	0.00	
Zamarin	.901E-03	.901E-05	0.78	
USBR	.314E-02	.314E-04	2.71	
Barr	.748E-03	.748E-05	0.65	
Alyamani and Sen	.999E-03	.999E-05	0.86	
Chapuis	.428E-03	.428E-05	0.37	
Krumbein and Monk	.395E-02	.395E-04	3.42	
geometric mean	.224E-02	.224E-04	1.94	
arithmetic mean	.301E-02	.301E-04	2.60	



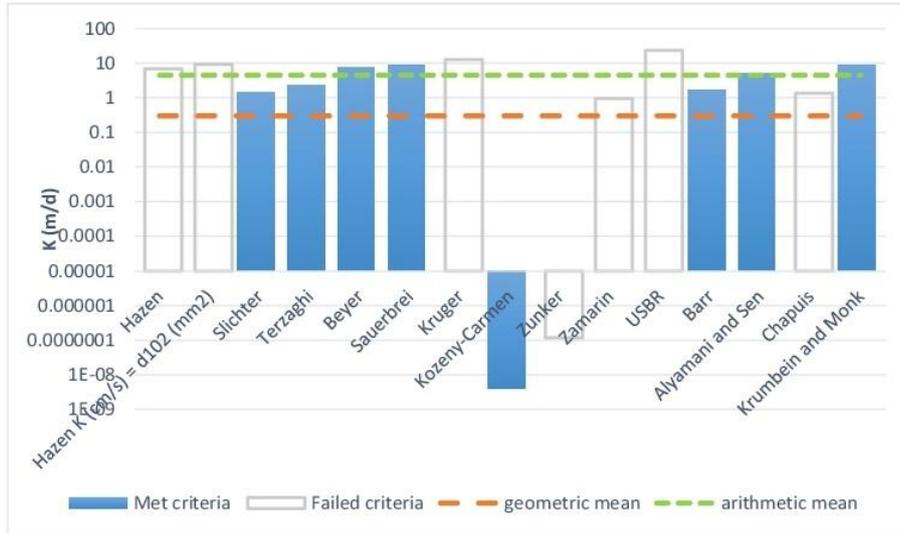
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 51.5-55m

Mass Sample (g): 59.6 T (oC) 20

**Poorly sorted gravelly sand with fines**



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.788E-02	.788E-04	6.80	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.107E-01	.107E-03	9.26	
Slichter	.169E-02	.169E-04	1.46	
Terzaghi	.262E-02	.262E-04	2.27	
Beyer	.901E-02	.901E-04	7.78	
Sauerbrei	.106E-01	.106E-03	9.18	
Kruger	.145E-01	.145E-03	12.53	
Kozeny-Carmen	.476E-11	.476E-13	0.00	
Zunker	.136E-09	.136E-11	0.00	
Zamarin	.110E-02	.110E-04	0.95	
USBR	.270E-01	.270E-03	23.29	
Barr	.189E-02	.189E-04	1.64	
Alyamani and Sen	.572E-02	.572E-04	4.94	
Chapuis	.155E-02	.155E-04	1.34	
Krumbein and Monk	.101E-01	.101E-03	8.69	
geometric mean	.349E-03	.349E-05	0.30	
arithmetic mean	.520E-02	.520E-04	4.49	



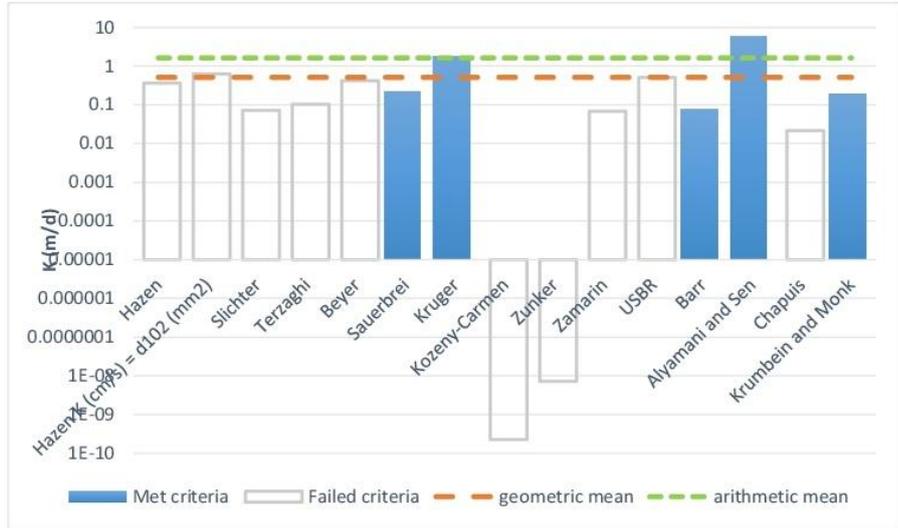
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 55-59m

Mass Sample (g): 33.4 T (oC) 20

Poorly sorted gravelly sand with fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.419E-03	.419E-05	0.36	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.719E-03	.719E-05	0.62	
Slichter	.828E-04	.828E-06	0.07	
Terzaghi	.119E-03	.119E-05	0.10	
Beyer	.487E-03	.487E-05	0.42	
Sauerbrei	.253E-03	.253E-05	0.22	
Kruger	.208E-02	.208E-04	1.80	
Kozeny-Carmen	.262E-12	.262E-14	0.00	
Zunker	.825E-11	.825E-13	0.00	
Zamarin	.790E-04	.790E-06	0.07	
USBR	.579E-03	.579E-05	0.50	
Barr	.892E-04	.892E-06	0.08	
Alyamani and Sen	.680E-02	.680E-04	5.88	
Chapuis	.246E-04	.246E-06	0.02	
Krumbein and Monk	.219E-03	.219E-05	0.19	
geometric mean	.588E-03	.588E-05	0.51	
arithmetic mean	.189E-02	.189E-04	1.63	



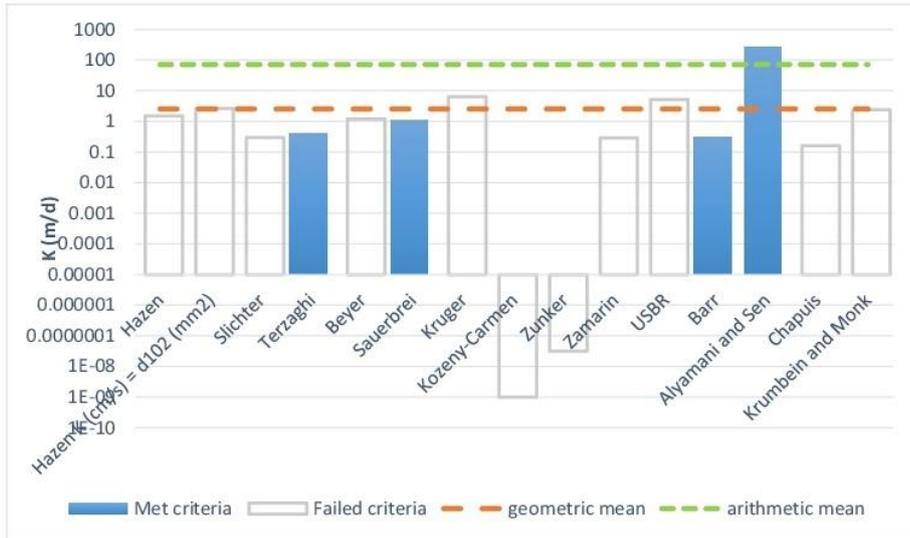
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 59-66m

Mass Sample (g): 133.2 T (oC) 20

Poorly sorted sandy gravel with fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.174E-02	.174E-04	1.51	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.308E-02	.308E-04	2.66	
Slichter	.343E-03	.343E-05	0.30	
Terzaghi	.488E-03	.488E-05	0.42	
Beyer	.136E-02	.136E-04	1.17	
Sauerbrei	.125E-02	.125E-04	1.08	
Kruger	.723E-02	.723E-04	6.24	
Kozeny-Carmen	.114E-11	.114E-13	0.00	
Zunker	.362E-10	.362E-12	0.00	
Zamarin	.329E-03	.329E-05	0.28	
USBR	.597E-02	.597E-04	5.16	
Barr	.367E-03	.367E-05	0.32	
Alyamani and Sen	.324E+00	.324E-02	279.70	
Chapuis	.182E-03	.182E-05	0.16	
Krumbein and Monk	.276E-02	.276E-04	2.39	
geometric mean	.292E-02	.292E-04	2.52	
arithmetic mean	.815E-01	.815E-03	70.38	



K from Grain Size Analysis Report

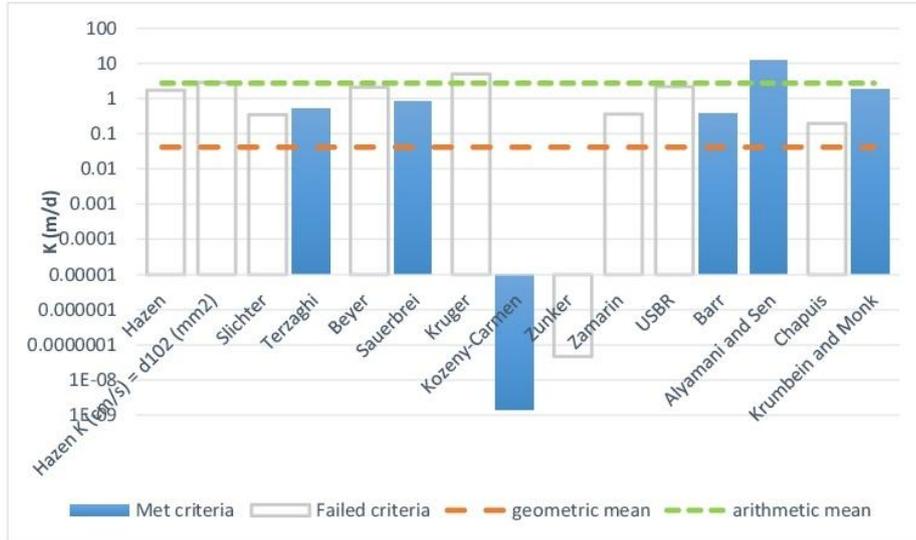
Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 66-73m

Mass Sample (g): 54

T (oC) 20

Poorly sorted gravelly sand with fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.200E-02	.200E-04	1.73	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.329E-02	.329E-04	2.85	
Slichter	.401E-03	.401E-05	0.35	
Terzaghi	.587E-03	.587E-05	0.51	
Beyer	.241E-02	.241E-04	2.08	
Sauerbrei	.960E-03	.960E-05	0.83	
Kruger	.578E-02	.578E-04	4.99	
Kozeny-Carmen	.172E-11	.172E-13	0.00	
Zunker	.532E-10	.532E-12	0.00	
Zamarin	.422E-03	.422E-05	0.36	
USBR	.249E-02	.249E-04	2.15	
Barr	.435E-03	.435E-05	0.38	
Alyamani and Sen	.146E-01	.146E-03	12.60	
Chapuis	.223E-03	.223E-05	0.19	
Krumbein and Monk	.209E-02	.209E-04	1.80	
geometric mean	.484E-04	.484E-06	0.04	
arithmetic mean	.311E-02	.311E-04	2.69	



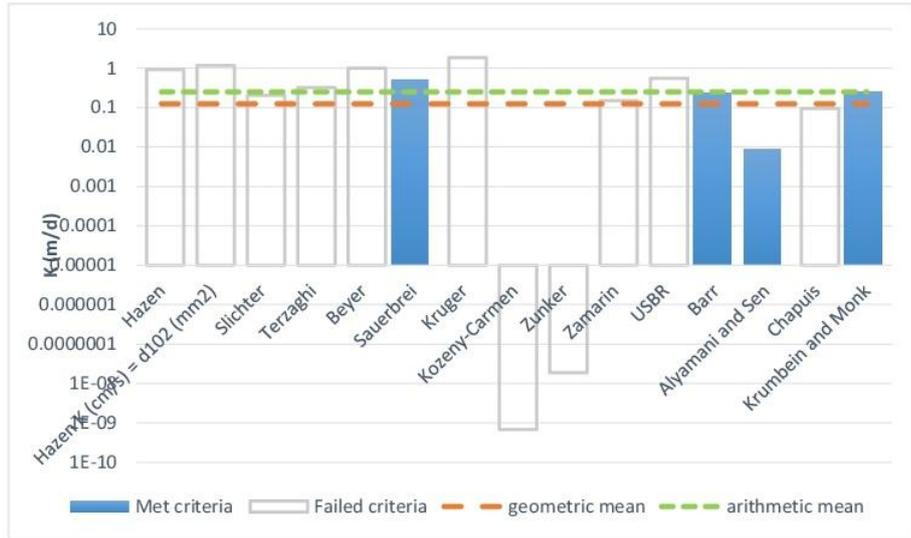
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 73-81m

Mass Sample (g): 45.5 T (oC) 20

Poorly sorted gravelly sand with fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.106E-02	.106E-04	0.91	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.134E-02	.134E-04	1.15	
Slichter	.234E-03	.234E-05	0.20	
Terzaghi	.371E-03	.371E-05	0.32	
Beyer	.116E-02	.116E-04	1.01	
Sauerbrei	.585E-03	.585E-05	0.51	
Kruger	.214E-02	.214E-04	1.85	
Kozeny-Carmen	.785E-12	.785E-14	0.00	
Zunker	.218E-10	.218E-12	0.00	
Zamarin	.174E-03	.174E-05	0.15	
USBR	.641E-03	.641E-05	0.55	
Barr	.267E-03	.267E-05	0.23	
Alyamani and Sen	.995E-05	.995E-07	0.01	
Chapuis	.108E-03	.108E-05	0.09	
Krumbein and Monk	.287E-03	.287E-05	0.25	
geometric mean	.145E-03	.145E-05	0.13	
arithmetic mean	.287E-03	.287E-05	0.25	



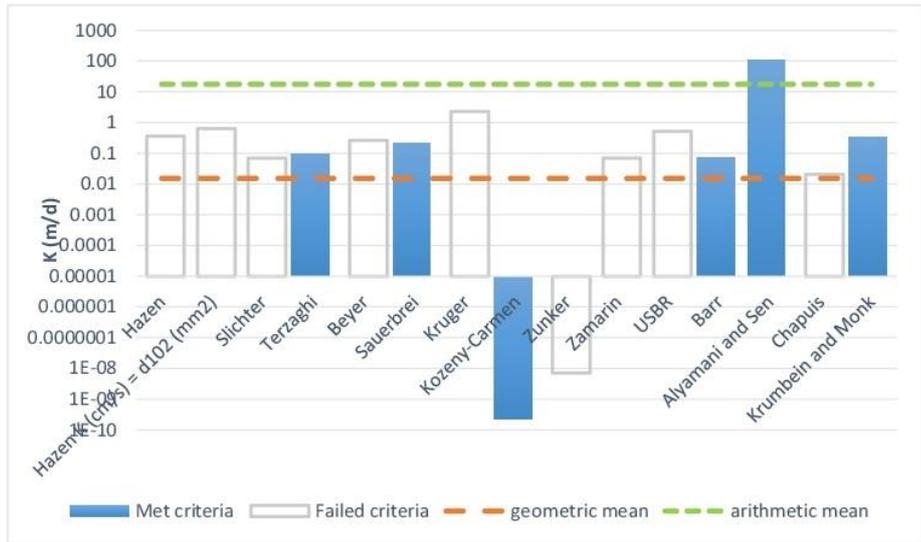
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 81-90m

Mass Sample (g): 67.7 T (oC) 20

Poorly sorted gravelly sand with fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.412E-03	.412E-05	0.36	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.728E-03	.728E-05	0.63	
Slichter	.810E-04	.810E-06	0.07	
Terzaghi	.115E-03	.115E-05	0.10	
Beyer	.303E-03	.303E-05	0.26	
Sauerbrei	.246E-03	.246E-05	0.21	
Kruger	.261E-02	.261E-04	2.26	
Kozeny-Carmen	.255E-12	.255E-14	0.00	
Zunker	.812E-11	.812E-13	0.00	
Zamarin	.811E-04	.811E-06	0.07	
USBR	.600E-03	.600E-05	0.52	
Barr	.868E-04	.868E-06	0.08	
Alyamani and Sen	.123E+00	.123E-02	106.11	
Chapuis	.239E-04	.239E-06	0.02	
Krumbein and Monk	.378E-03	.378E-05	0.33	
geometric mean	.176E-04	.176E-06	0.02	
arithmetic mean	.206E-01	.206E-03	17.80	



K from Grain Size Analysis Report

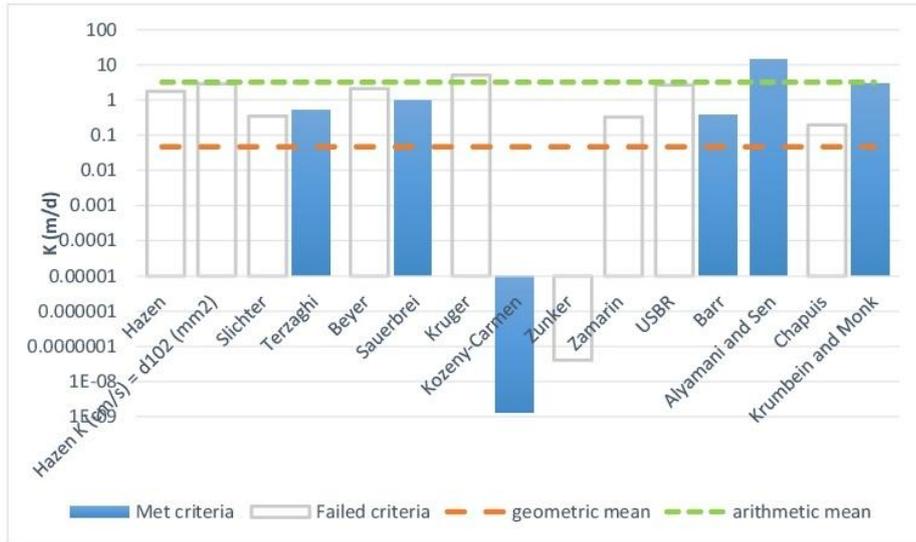
Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 90-99m

Mass Sample (g): 32.9

T (oC) 20

**Poorly sorted gravelly sand with fines**



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.201E-02	.201E-04	1.74	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.330E-02	.330E-04	2.85	
Slichter	.403E-03	.403E-05	0.35	
Terzaghi	.591E-03	.591E-05	0.51	
Beyer	.242E-02	.242E-04	2.09	
Sauerbrei	.115E-02	.115E-04	0.99	
Kruger	.580E-02	.580E-04	5.01	
Kozeny-Carmen	.151E-11	.151E-13	0.00	
Zunker	.467E-10	.467E-12	0.00	
Zamarin	.384E-03	.384E-05	0.33	
USBR	.309E-02	.309E-04	2.67	
Barr	.437E-03	.437E-05	0.38	
Alyamani and Sen	.169E-01	.169E-03	14.61	
Chapuis	.225E-03	.225E-05	0.19	
Krumbein and Monk	.328E-02	.328E-04	2.83	
geometric mean	.540E-04	.540E-06	0.05	
arithmetic mean	.373E-02	.373E-04	3.22	



K from Grain Size Analysis Report

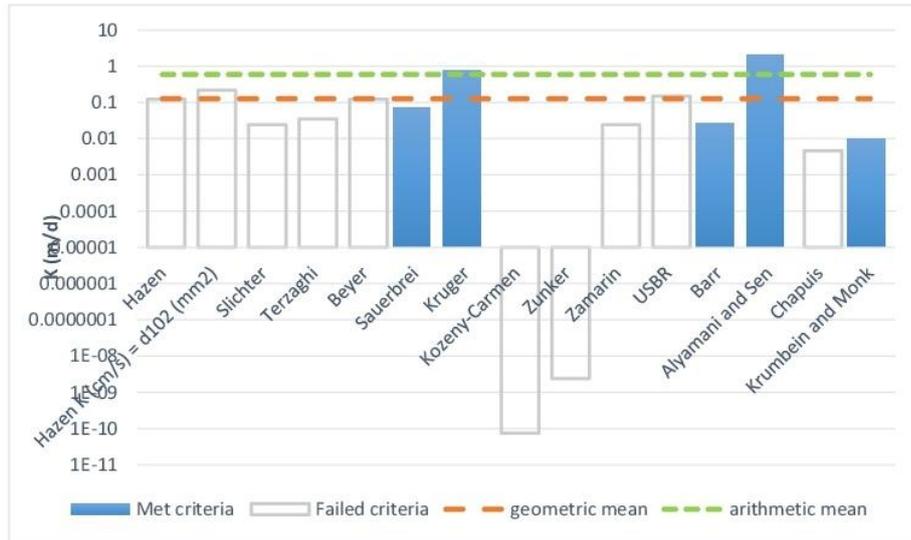
Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 99-102.5m

Mass Sample (g): 48.4

T (oC) 20

Poorly sorted gravelly sand with fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.142E-03	.142E-05	0.12	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.251E-03	.251E-05	0.22	
Slichter	.280E-04	.280E-06	0.02	
Terzaghi	.399E-04	.399E-06	0.03	
Beyer	.143E-03	.143E-05	0.12	
Sauerbrei	.851E-04	.851E-06	0.07	
Kruger	.880E-03	.880E-05	0.76	
Kozeny-Carmen	.882E-13	.882E-15	0.00	
Zunker	.280E-11	.280E-13	0.00	
Zamarin	.279E-04	.279E-06	0.02	
USBR	.170E-03	.170E-05	0.15	
Barr	.300E-04	.300E-06	0.03	
Alyamani and Sen	.242E-02	.242E-04	2.09	
Chapuis	.534E-05	.534E-07	0.00	
Krumbein and Monk	.120E-04	.120E-06	0.01	
geometric mean	.145E-03	.145E-05	0.13	
arithmetic mean	.684E-03	.684E-05	0.59	



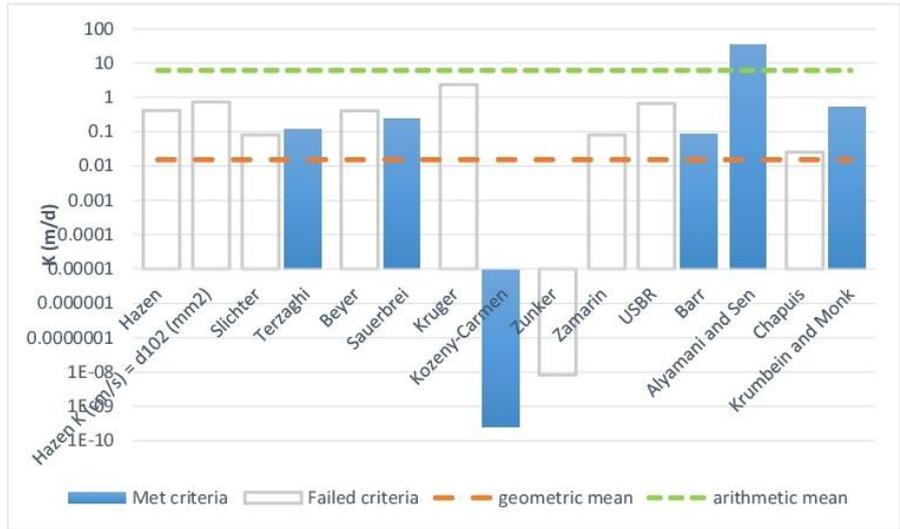
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 102.5-108m

Mass Sample (g): 47.1 T (oC) 20

**Poorly sorted gravely sand with fines**



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.477E-03	.477E-05	0.41	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.843E-03	.843E-05	0.73	
Slichter	.939E-04	.939E-06	0.08	
Terzaghi	.134E-03	.134E-05	0.12	
Beyer	.465E-03	.465E-05	0.40	
Sauerbrei	.286E-03	.286E-05	0.25	
Kruger	.274E-02	.274E-04	2.36	
Kozeny-Carmen	.296E-12	.296E-14	0.00	
Zunker	.941E-11	.941E-13	0.00	
Zamarin	.923E-04	.923E-06	0.08	
USBR	.772E-03	.772E-05	0.67	
Barr	.101E-03	.101E-05	0.09	
Alyamani and Sen	.406E-01	.406E-03	35.06	
Chapuis	.294E-04	.294E-06	0.03	
Krumbein and Monk	.602E-03	.602E-05	0.52	
geometric mean	.174E-04	.174E-06	0.02	
arithmetic mean	.695E-02	.695E-04	6.01	



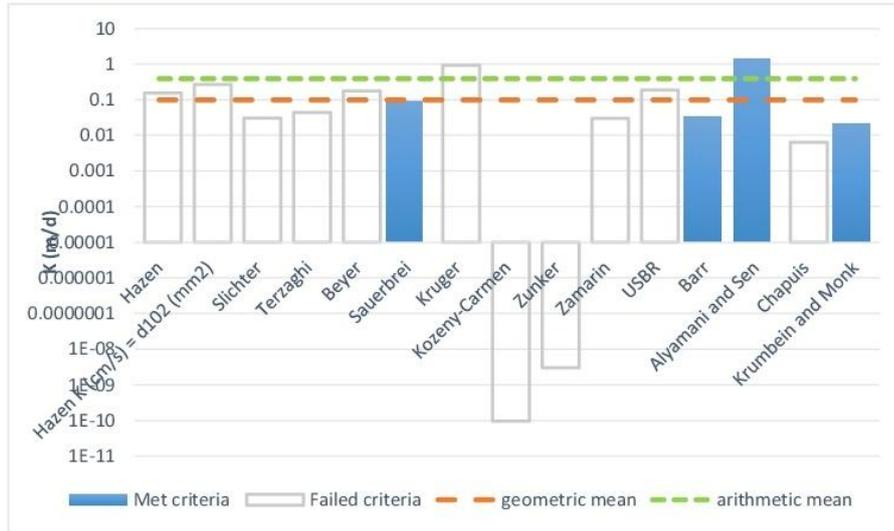
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 108-120m

Mass Sample (g): 33.2 T (oC) 20

**Poorly sorted gravelly sand with fines**



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.179E-03	.179E-05	0.15	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.310E-03	.310E-05	0.27	
Slichter	.353E-04	.353E-06	0.03	
Terzaghi	.506E-04	.506E-06	0.04	
Beyer	.204E-03	.204E-05	0.18	
Sauerbrei	.108E-03	.108E-05	0.09	
Kruger	.107E-02	.107E-04	0.92	
Kozeny-Carmen	.111E-12	.111E-14	0.00	
Zunker	.352E-11	.352E-13	0.00	
Zamarin	.349E-04	.349E-06	0.03	
USBR	.216E-03	.216E-05	0.19	
Barr	.379E-04	.379E-06	0.03	
Alyamani and Sen	.164E-02	.164E-04	1.42	
Chapuis	.741E-05	.741E-07	0.01	
Krumbein and Monk	.255E-04	.255E-06	0.02	
geometric mean	.114E-03	.114E-05	0.10	
arithmetic mean	.453E-03	.453E-05	0.39	



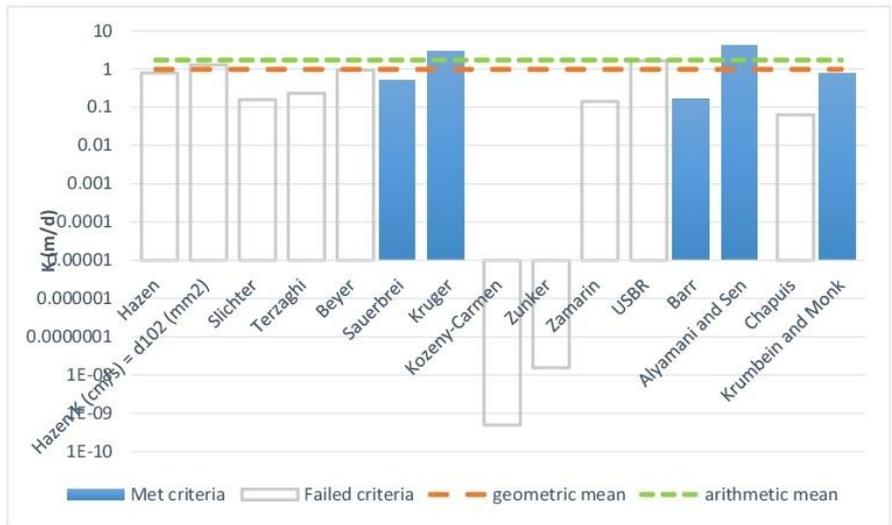
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 120-140.5m

Mass Sample (g): 58.7 T (oC) 20

Poorly sorted gravelly sand with fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.905E-03	.905E-05	0.78	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.148E-02	.148E-04	1.27	
Slichter	.182E-03	.182E-05	0.16	
Terzaghi	.267E-03	.267E-05	0.23	
Beyer	.109E-02	.109E-04	0.94	
Sauerbrei	.603E-03	.603E-05	0.52	
Kruger	.329E-02	.329E-04	2.84	
Kozeny-Carmen	.579E-12	.579E-14	0.00	
Zunker	.179E-10	.179E-12	0.00	
Zamarin	.161E-03	.161E-05	0.14	
USBR	.188E-02	.188E-04	1.62	
Barr	.197E-03	.197E-05	0.17	
Alyamani and Sen	.495E-02	.495E-04	4.28	
Chapuis	.737E-04	.737E-06	0.06	
Krumbein and Monk	.870E-03	.870E-05	0.75	
geometric mean	.111E-02	.111E-04	0.96	
arithmetic mean	.198E-02	.198E-04	1.71	



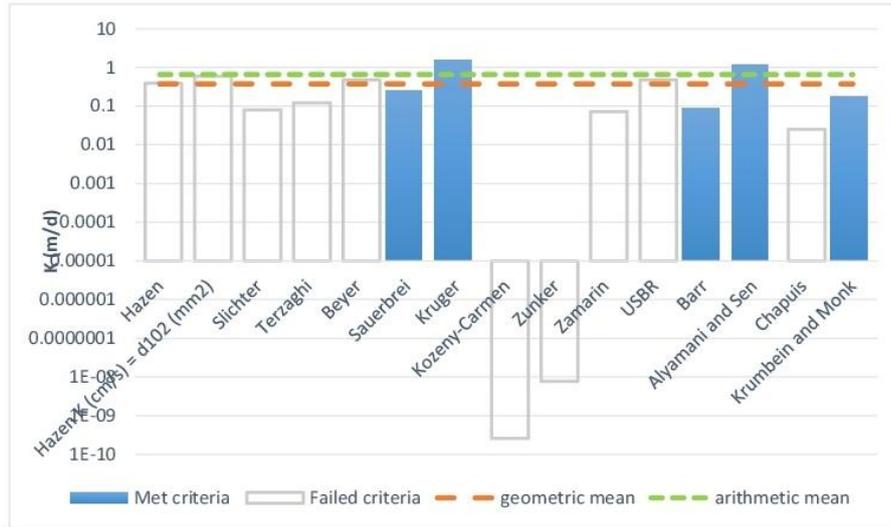
K from Grain Size Analysis Report

Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 140.5-146.5m

Mass Sample (g): 34.2 T (oC) 20

Poorly sorted sand with fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.452E-03	.452E-05	0.39	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.690E-03	.690E-05	0.60	
Slichter	.925E-04	.925E-06	0.08	
Terzaghi	.139E-03	.139E-05	0.12	
Beyer	.540E-03	.540E-05	0.47	
Sauerbrei	.288E-03	.288E-05	0.25	
Kruger	.180E-02	.180E-04	1.56	
Kozeny-Carmen	.299E-12	.299E-14	0.00	
Zunker	.898E-11	.898E-13	0.00	
Zamarin	.832E-04	.832E-06	0.07	
USBR	.544E-03	.544E-05	0.47	
Barr	.102E-03	.102E-05	0.09	
Alyamani and Sen	.140E-02	.140E-04	1.21	
Chapuis	.290E-04	.290E-06	0.03	
Krumbein and Monk	.205E-03	.205E-05	0.18	
geometric mean	.433E-03	.433E-05	0.37	
arithmetic mean	.759E-03	.759E-05	0.66	



K from Grain Size Analysis Report

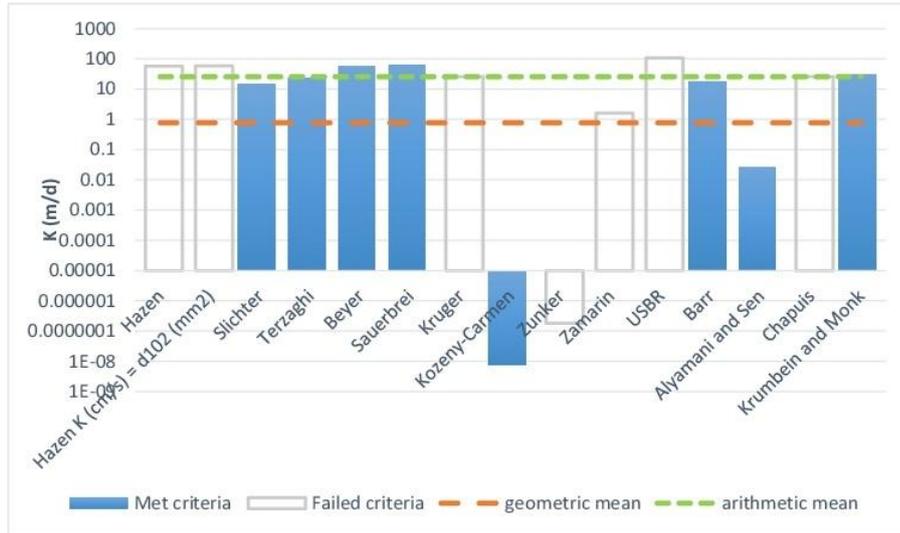
Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 146.5-148.5m

Mass Sample (g): 74.8

T (oC) 20

**Poorly sorted gravelly sand with fines**



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.660E-01	.660E-03	57.06	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.664E-01	.664E-03	57.35	
Slichter	.167E-01	.167E-03	14.45	
Terzaghi	.280E-01	.280E-03	24.17	
Beyer	.640E-01	.640E-03	55.30	
Sauerbrei	.696E-01	.696E-03	60.13	
Kruger	.297E-01	.297E-03	25.66	
Kozeny-Carmen	.847E-11	.847E-13	0.00	
Zunker	.210E-09	.210E-11	0.00	
Zamarin	.185E-02	.185E-04	1.60	
USBR	.122E+00	.122E-02	105.75	
Barr	.205E-01	.205E-03	17.67	
Alyamani and Sen	.313E-04	.313E-06	0.03	
Chapuis	.300E-01	.300E-03	25.95	
Krumbein and Monk	.338E-01	.338E-03	29.17	
geometric mean	.887E-03	.887E-05	0.77	
arithmetic mean	.291E-01	.291E-03	25.11	



K from Grain Size Analysis Report

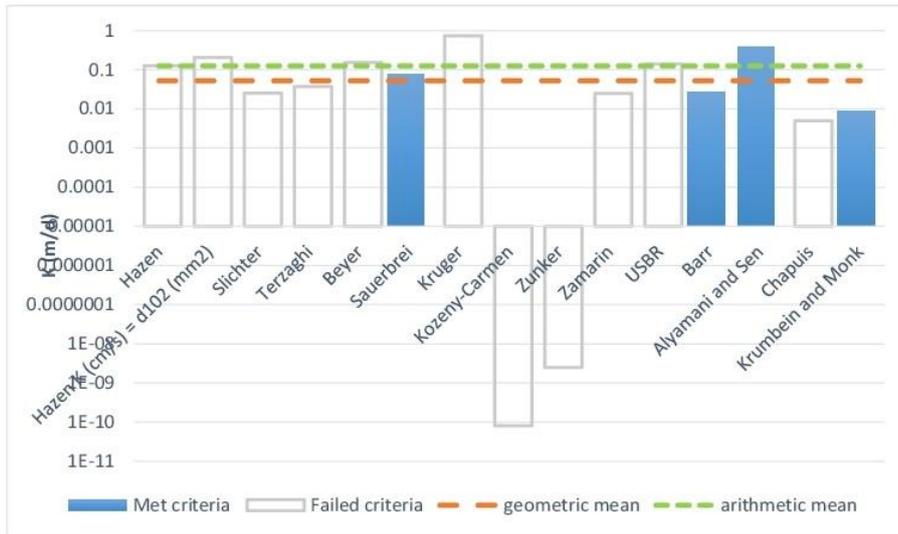
Date: Ps1 - Giacobone

Sample Name: 148.5-150m

Mass Sample (g): 54.8

T (oC) 20

Poorly sorted sand with fines



Estimation of Hydraulic Conductivity	cm/s	m/s	m/d	de
Hazen	.146E-03	.146E-05	0.13	
Hazen K (cm/s) = d <sub>10</sub> (mm)	.239E-03	.239E-05	0.21	
Slichter	.293E-04	.293E-06	0.03	
Terzaghi	.429E-04	.429E-06	0.04	
Beyer	.176E-03	.176E-05	0.15	
Sauerbrei	.901E-04	.901E-06	0.08	
Kruger	.854E-03	.854E-05	0.74	
Kozeny-Carmen	.933E-13	.933E-15	0.00	
Zunker	.288E-11	.288E-13	0.00	
Zamarin	.286E-04	.286E-06	0.02	
USBR	.160E-03	.160E-05	0.14	
Barr	.318E-04	.318E-06	0.03	
Alyamani and Sen	.444E-03	.444E-05	0.38	
Chapuis	.577E-05	.577E-07	0.00	
Krumbein and Monk	.102E-04	.102E-06	0.01	
geometric mean	.600E-04	.600E-06	0.05	
arithmetic mean	.144E-03	.144E-05	0.12	

**Anexo 3.** Tabla de datos de Carga Hidrostática, Temperaturas y Niveles en la Perforación *Pf*

Método	Date/time	Carga hidrostática [cm]	Carga hidrostática Redondeada (mm)	Temperatura [°C]	Profundidad del Nivel Freático (m)
Manual	16/06/2016				15.1
	23/06/2016				15.06
	04/08/2016				15.07
	11/08/2016				15.08
	17/08/2016				15.09
	08/09/2016				15.124
	15/09/2016				15.146
	29/09/2016				15.165
	06/10/2016				15.174
	20/10/2016				15.121
	27/10/2016				15.091
	07/11/2016				15.134
	17/11/2016				15.175
	30/11/2016				15.19
	07/12/2016				15.238
	16/12/2016				15.255
	27/12/2016				15.223
	02/02/2017				15.235
	08/03/2017				15.235
	23/03/2017				15.296
	30/03/2017				15.256
07/04/2017				15.235	
21/04/2017				15.214	
Transductor de Presión	17/05/2017 16:00	294.96	2950	18.18	15.2004
	18/05/2017 16:00	294.12	2941	18.17	15.2088
	19/05/2017 16:00	294.5	2945	18.17	15.205
	20/05/2017 16:00	293.43	2934	18.18	15.2157
	21/05/2017 16:00	293.5	2935	18.18	15.215
	22/05/2017 16:00	294.57	2946	18.18	15.2043
	23/05/2017 16:00	293.71	2937	18.18	15.2129
	24/05/2017 16:00	293.59	2936	18.18	15.2141
	25/05/2017 16:00	293.27	2933	18.18	15.2173
	26/05/2017 16:00	293.58	2936	18.18	15.2142
	27/05/2017 16:00	293.33	2933	18.18	15.2167
	28/05/2017 16:00	293.91	2939	18.18	15.2109
	29/05/2017 16:00	293.49	2935	18.18	15.2151
	30/05/2017 16:00	292.69	2927	18.18	15.2231
	31/05/2017 16:00	292.53	2925	18.18	15.2247
	01/06/2017 16:00	293	2930	18.19	15.22

Método	Date/time	Carga hidrostática [cm]	Carga hidrostática Redondeada (mm)	Temperatura [°C]	Profundidad del Nivel Freático (m)
Transductor de Presión	02/06/2017 16:00	293.24	2932	18.19	15.2176
	03/06/2017 16:00	292.48	2925	18.18	15.2252
	04/06/2017 16:00	292.23	2922	18.19	15.2277
	05/06/2017 16:00	292.18	2922	18.19	15.2282
	06/06/2017 16:00	292.05	2921	18.19	15.2295
	07/06/2017 16:00	292.01	2920	18.19	15.2299
	08/06/2017 16:00	292.19	2922	18.20	15.2281
	09/06/2017 16:00	291.5	2915	18.20	15.235
	10/06/2017 16:00	289.58	2896	18.19	15.2542
	11/06/2017 16:00	291.36	2914	18.20	15.2364
	12/06/2017 16:00	290.95	2910	18.20	15.2405
	13/06/2017 16:00	289.2	2892	18.20	15.258
	14/06/2017 16:00	290.36	2904	18.20	15.2464
	15/06/2017 16:00	290.39	2904	18.20	15.2461
	16/06/2017 16:00	289.44	2894	18.20	15.2556
	17/06/2017 16:00	289.78	2898	18.20	15.2522
	18/06/2017 16:00	288.92	2889	18.20	15.2608
	19/06/2017 16:00	289.24	2892	18.20	15.2576
	20/06/2017 16:00	288.98	2890	18.20	15.2602
	21/06/2017 16:00	288.8	2888	18.20	15.262
	22/06/2017 16:00	288.38	2884	18.20	15.2662
	23/06/2017 16:00	287.72	2877	18.21	15.2728
	24/06/2017 16:00	287.74	2877	18.21	15.2726
	25/06/2017 16:00	285.27	2853	18.20	15.2973
	26/06/2017 16:00	288.23	2882	18.21	15.2677
	27/06/2017 16:00	289.92	2899	18.21	15.2508
	28/06/2017 16:00	290.04	2900	18.21	15.2496
	29/06/2017 16:00	290.13	2901	18.21	15.2487
	30/06/2017 16:00	289.13	2891	18.21	15.2587
	01/07/2017 16:00	288.09	2881	18.21	15.2691
	02/07/2017 16:00	288.66	2887	18.22	15.2634
	03/07/2017 16:00	288.47	2885	18.22	15.2653
	04/07/2017 16:00	287.23	2872	18.22	15.2777
	05/07/2017 16:00	288.58	2886	18.22	15.2642
	06/07/2017 16:00	289.68	2897	18.22	15.2532
	07/07/2017 16:00	291.66	2917	18.22	15.2334
08/07/2017 16:00	290.27	2903	18.22	15.2473	
09/07/2017 16:00	288.96	2890	18.22	15.2604	
10/07/2017 16:00	290.64	2906	18.22	15.2436	
11/07/2017 16:00	289.42	2894	18.22	15.2558	
12/07/2017 16:00	289.26	2893	18.22	15.2574	

Método	Date/time	Carga hidrostática [cm]	Carga hidrostática Redondeada (mm)	Temperatura [°C]	Profundidad del Nivel Freático (m)
Transductor de Presión	13/07/2017 16:00	287.96	2880	18.22	15.2704
	14/07/2017 16:00	288.01	2880	18.22	15.2699
	15/07/2017 16:00	287.9	2879	18.22	15.271
	16/07/2017 16:00	287.25	2873	18.22	15.2775
	17/07/2017 16:00	287.08	2871	18.22	15.2792
	18/07/2017 16:00	284.95	2850	18.23	15.3005
	19/07/2017 16:00	284.23	2842	18.23	15.3077
	20/07/2017 16:00	283.69	2837	18.23	15.3131
	21/07/2017 16:00	283.66	2837	18.23	15.3134
	22/07/2017 16:00	283.97	2840	18.23	15.3103
	23/07/2017 16:00	286.62	2866	18.23	15.2838
	24/07/2017 16:00	283.78	2838	18.23	15.3122
	25/07/2017 16:00	286.26	2863	18.23	15.2874
	26/07/2017 16:00	285.4	2854	18.23	15.296
	27/07/2017 16:00	284.08	2841	18.23	15.3092
	28/07/2017 16:00	285.46	2855	18.24	15.2954
	29/07/2017 16:00	286.28	2863	18.24	15.2872
	30/07/2017 16:00	285.68	2857	18.24	15.2932
	31/07/2017 16:00	285.48	2855	18.24	15.2952
	01/08/2017 16:00	285.22	2852	18.24	15.2978
	02/08/2017 16:00	283.16	2832	18.24	15.3184
	03/08/2017 16:00	279.45	2795	18.24	15.3555
	04/08/2017 16:00	280.22	2802	18.24	15.3478
	05/08/2017 16:00	280.52	2805	18.24	15.3448
	06/08/2017 16:00	277.35	2774	18.24	15.3765
	07/08/2017 16:00	282.21	2822	18.24	15.3279
	08/08/2017 16:00	280.53	2805	18.24	15.3447
	09/08/2017 16:00	283.46	2835	18.24	15.3154
	10/08/2017 16:00	282.58	2826	18.24	15.3242
	11/08/2017 16:00	284	2840	18.24	15.31
	12/08/2017 16:00	284.14	2841	18.24	15.3086
	13/08/2017 16:00	281.24	2812	18.24	15.3376
	14/08/2017 16:00	279.23	2792	18.24	15.3577
15/08/2017 16:00	279.88	2799	18.24	15.3512	
16/08/2017 16:00	278.69	2787	18.24	15.3631	
17/08/2017 16:00	273.34	2733	18.24	15.4166	
18/08/2017 16:00	275.28	2753	18.25	15.3972	
19/08/2017 16:00	277.28	2773	18.25	15.3772	
20/08/2017 16:00	277.58	2776	18.25	15.3742	
21/08/2017 16:00	276.72	2767	18.25	15.3828	
22/08/2017 16:00	275.67	2757	18.25	15.3933	
23/08/2017 16:00	281.44	2814	18.25	15.3356	

Método	Date/time	Carga hidrostática [cm]	Carga hidrostática Redondeada (mm)	Temperatura [°C]	Profundidad del Nivel Freático (m)
Transductor de Presión	24/08/2017 16:00	271.43	2714	18.25	15.4357
	25/08/2017 16:00	282.78	2828	18.25	15.3222
	26/08/2017 16:00	273.67	2737	18.25	15.4133
	27/08/2017 16:00	275.54	2755	18.25	15.3946
	28/08/2017 16:00	270.17	2702	18.25	15.4483
	29/08/2017 16:00	280.94	2809	18.25	15.3406
	30/08/2017 16:00	275.18	2752	18.25	15.3982
	31/08/2017 16:00	277.22	2772	18.25	15.3778
	01/09/2017 16:00	269.15	2692	18.25	15.4585
	02/09/2017 16:00	279.07	2791	18.26	15.3593
	03/09/2017 16:00	281.46	2815	18.26	15.3354
	04/09/2017 16:00	276	2760	18.25	15.39
	05/09/2017 16:00	273.69	2737	18.26	15.4131
	06/09/2017 16:00	270.68	2707	18.26	15.4432
	07/09/2017 16:00	268.63	2686	18.26	15.4637
	08/09/2017 16:00	267.36	2674	18.25	15.4764
	09/09/2017 16:00	278.84	2788	18.26	15.3616
	10/09/2017 16:00	281.27	2813	18.26	15.3373
	11/09/2017 16:00	277.35	2774	18.26	15.3765
	12/09/2017 16:00	272.89	2729	18.26	15.4211
	13/09/2017 16:00	269.4	2694	18.26	15.456
	14/09/2017 16:00	272.39	2724	18.26	15.4261
	15/09/2017 16:00	273.52	2735	18.26	15.4148
	16/09/2017 16:00	268.4	2684	18.26	15.466
	17/09/2017 16:00	268.35	2684	18.26	15.4665
	18/09/2017 16:00	265.42	2654	18.26	15.4958
	19/09/2017 16:00	263.38	2634	18.26	15.5162
	20/09/2017 16:00	277.23	2772	18.26	15.3777
	21/09/2017 16:00	267.46	2675	18.26	15.4754
	22/09/2017 16:00	262.38	2624	18.26	15.5262
	23/09/2017 16:00	263.05	2631	18.26	15.5195
	24/09/2017 16:00	264.5	2645	18.26	15.505
	25/09/2017 16:00	260.77	2608	18.27	15.5423
	26/09/2017 16:00	277.38	2774	18.26	15.3762
27/09/2017 16:00	277.91	2779	18.26	15.3709	
28/09/2017 16:00	278.33	2783	18.26	15.3667	
29/09/2017 16:00	269.05	2691	18.26	15.4595	
30/09/2017 16:00	272.02	2720	18.26	15.4298	
01/10/2017 16:00	271.74	2717	18.26	15.4326	
02/10/2017 16:00	270.58	2706	18.26	15.4442	
03/10/2017 16:00	257.79	2578	18.26	15.5721	
04/10/2017 16:00	255.56	2556	18.26	15.5944	

Método	Date/time	Carga hidrostática [cm]	Carga hidrostática Redondeada (mm)	Temperatura [°C]	Profundidad del Nivel Freático (m)
Transductor de Presión	05/10/2017 16:00	259.17	2592	18.27	15.5583
	06/10/2017 16:00	260.6	2606	18.27	15.544
	07/10/2017 16:00	260.09	2601	18.27	15.5491
	08/10/2017 16:00	268.8	2688	18.27	15.462
	09/10/2017 16:00	256.64	2566	18.27	15.5836
	10/10/2017 16:00	261.26	2613	18.27	15.5374
	11/10/2017 16:00	270.87	2709	18.27	15.4413
	12/10/2017 16:00	275.66	2757	18.27	15.3934
	13/10/2017 16:00	272.17	2722	18.27	15.4283
	14/10/2017 16:00	262.78	2628	18.27	15.5222
	15/10/2017 16:00	257.67	2577	18.27	15.5733
	16/10/2017 16:00	258.31	2583	18.27	15.5669
	17/10/2017 16:00	246.83	2468	18.27	15.6817
	18/10/2017 16:00	267.65	2677	18.27	15.4735
	19/10/2017 16:00	256.73	2567	18.27	15.5827
	20/10/2017 16:00	252.44	2524	18.27	15.6256
	21/10/2017 16:00	260.2	2602	18.27	15.548
	22/10/2017 16:00	258.43	2584	18.27	15.5657
	23/10/2017 16:00	251.93	2519	18.27	15.6307
	24/10/2017 16:00	246.42	2464	18.27	15.6858
	25/10/2017 16:00	263.66	2637	18.27	15.5134
	26/10/2017 16:00	264.46	2645	18.27	15.5054
	27/10/2017 16:00	260.53	2605	18.28	15.5447
	28/10/2017 16:00	255.95	2560	18.28	15.5905
	29/10/2017 16:00	272.27	2723	18.28	15.4273
	30/10/2017 16:00	257.23	2572	18.28	15.5777
	31/10/2017 16:00	254.44	2544	18.28	15.6056
	01/11/2017 16:00	250.76	2508	18.28	15.6424
	02/11/2017 16:00	264.58	2646	18.28	15.5042
	03/11/2017 16:00	261.51	2615	18.28	15.5349
	04/11/2017 16:00	256.02	2560	18.28	15.5898
05/11/2017 16:00	251.92	2519	18.28	15.6308	
06/11/2017 16:00	247.78	2478	18.28	15.6722	
07/11/2017 16:00	264.43	2644	18.28	15.5057	
08/11/2017 16:00	269.77	2698	18.28	15.4523	
09/11/2017 16:00	266.17	2662	18.28	15.4883	
10/11/2017 16:00	262.45	2625	18.28	15.5255	
11/11/2017 16:00	256.28	2563	18.28	15.5872	
12/11/2017 16:00	251.48	2515	18.28	15.6352	
13/11/2017 16:00	250.18	2502	18.28	15.6482	
14/11/2017 16:00	247.31	2473	18.28	15.6769	
15/11/2017 16:00	264.61	2646	18.28	15.5039	

Método	Date/time	Carga hidrostática [cm]	Carga hidrostática Redondeada (mm)	Temperatura [°C]	Profundidad del Nivel Freático (m)
Transductor de Presión	16/11/2017 16:00	253.93	2539	18.28	15.6107
	17/11/2017 16:00	259.46	2595	18.28	15.5554
	18/11/2017 16:00	256.01	2560	18.28	15.5899
	19/11/2017 16:00	252.56	2526	18.28	15.6244
	20/11/2017 16:00	258.23	2582	18.28	15.5677
	21/11/2017 16:00	252.51	2525	18.28	15.6249
	22/11/2017 16:00	252.23	2522	18.28	15.6277
	23/11/2017 16:00	244.63	2446	18.28	15.7037
	24/11/2017 16:00	263.52	2635	18.28	15.5148
	25/11/2017 16:00	246.16	2462	18.28	15.6884
	26/11/2017 16:00	240.08	2401	18.28	15.7492
	27/11/2017 16:00	266.08	2661	18.28	15.4892
	28/11/2017 16:00	250.7	2507	18.28	15.643
	29/11/2017 16:00	267.63	2676	18.28	15.4737
	30/11/2017 16:00	254.48	2545	18.28	15.6052
	01/12/2017 16:00	260.97	2610	18.29	15.5403
	02/12/2017 16:00	266.78	2668	18.28	15.4822
	03/12/2017 16:00	261.78	2618	18.28	15.5322
	04/12/2017 16:00	258.08	2581	18.29	15.5692
	05/12/2017 16:00	256.97	2570	18.29	15.5803
	06/12/2017 16:00	262.68	2627	18.29	15.5232
	07/12/2017 16:00	251.85	2519	18.29	15.6315
	08/12/2017 16:00	266.77	2668	18.29	15.4823
	09/12/2017 16:00	259.4	2594	18.29	15.556
	10/12/2017 16:00	257.93	2579	18.29	15.5707
	11/12/2017 16:00	255.3	2553	18.29	15.597
	12/12/2017 16:00	250.93	2509	18.29	15.6407
	13/12/2017 16:00	265.28	2653	18.29	15.4972
	14/12/2017 16:00	253.77	2538	18.29	15.6123
	15/12/2017 16:00	250.16	2502	18.29	15.6484
	16/12/2017 16:00	246.68	2467	18.29	15.6832
	17/12/2017 16:00	264.69	2647	18.29	15.5031
18/12/2017 16:00	261.73	2617	18.30	15.5327	
19/12/2017 16:00	259.55	2596	18.30	15.5545	
20/12/2017 16:00	253.55	2536	18.29	15.6145	
21/12/2017 16:00	266.47	2665	18.30	15.4853	
22/12/2017 16:00	260.8	2608	18.30	15.542	
23/12/2017 16:00	271.72	2717	18.30	15.4328	
24/12/2017 16:00	267.77	2678	18.30	15.4723	
25/12/2017 16:00	262.18	2622	18.30	15.5282	
26/12/2017 16:00	259.28	2593	18.30	15.5572	
27/12/2017 16:00	268.65	2687	18.30	15.4635	

Método	Date/time	Carga hidrostática [cm]	Carga hidrostática Redondeada (mm)	Temperatura [°C]	Profundidad del Nivel Freático (m)
Transductor de Presión	28/12/2017 16:00	263.22	2632	18.30	15.5178
	29/12/2017 16:00	260.43	2604	18.30	15.5457
	30/12/2017 16:00	261.65	2617	18.30	15.5335
	31/12/2017 16:00	271.26	2713	18.30	15.4374
	01/01/2018 16:00	270.63	2706	18.30	15.4437
	02/01/2018 16:00	270.11	2701	18.30	15.4489
	03/01/2018 16:00	266.99	2670	18.30	15.4801
	04/01/2018 16:00	264.64	2646	18.30	15.5036
	05/01/2018 16:00	268.63	2686	18.30	15.4637
	06/01/2018 16:00	265.34	2653	18.30	15.4966
	07/01/2018 16:00	261.07	2611	18.30	15.5393
	08/01/2018 16:00	259.77	2598	18.30	15.5523
	09/01/2018 16:00	258.08	2581	18.30	15.5692
	10/01/2018 16:00	255.63	2556	18.30	15.5937
	11/01/2018 16:00	253.86	2539	18.30	15.6114
	12/01/2018 16:00	261.59	2616	18.30	15.5341
	13/01/2018 16:00	266.56	2666	18.30	15.4844
	14/01/2018 16:00	265.87	2659	18.30	15.4913
	15/01/2018 16:00	263.22	2632	18.30	15.5178
	16/01/2018 16:00	268.78	2688	18.31	15.4622
	17/01/2018 16:00	270.76	2708	18.30	15.4424
	18/01/2018 16:00	264.86	2649	18.31	15.5014
	19/01/2018 16:00	263.33	2633	18.31	15.5167
	20/01/2018 16:00	263.08	2631	18.31	15.5192
	21/01/2018 16:00	261.41	2614	18.31	15.5359
	22/01/2018 16:00	261.43	2614	18.31	15.5357
	23/01/2018 16:00	257.73	2577	18.31	15.5727
	24/01/2018 16:00	267.19	2672	18.31	15.4781
	25/01/2018 16:00	268.23	2682	18.31	15.4677
	26/01/2018 16:00	261.13	2611	18.31	15.5387
	27/01/2018 16:00	261.63	2616	18.31	15.5337
	28/01/2018 16:00	256.53	2565	18.31	15.5847
	29/01/2018 16:00	259.57	2596	18.31	15.5543
	30/01/2018 16:00	255.13	2551	18.31	15.5987
	31/01/2018 16:00	254.95	2550	18.32	15.6005
01/02/2018 16:00	253.86	2539	18.32	15.6114	
02/02/2018 16:00	251.22	2512	18.32	15.6378	
03/02/2018 16:00	250.04	2500	18.32	15.6496	
04/02/2018 16:00	249.68	2497	18.32	15.6532	
05/02/2018 16:00	247.03	2470	18.32	15.6797	
06/02/2018 16:00	249.08	2491	18.32	15.6592	
07/02/2018 16:00	252.62	2526	18.32	15.6238	

Método	Date/time	Carga hidrostática [cm]	Carga hidrostática Redondeada (mm)	Temperatura [°C]	Profundidad del Nivel Freático (m)
Transductor de Presión	08/02/2018 16:00	255.01	2550	18.32	15.5999
	09/02/2018 16:00	255.78	2558	18.32	15.5922
	10/02/2018 16:00	252.55	2526	18.32	15.6245
	11/02/2018 16:00	261.91	2619	18.32	15.5309
	12/02/2018 16:00	257.43	2574	18.32	15.5757
	13/02/2018 16:00	254.57	2546	18.32	15.6043
	14/02/2018 16:00	252.67	2527	18.32	15.6233
	15/02/2018 16:00	251.9	2519	18.32	15.631
	16/02/2018 16:00	249.07	2491	18.32	15.6593
	17/02/2018 16:00	249.42	2494	18.32	15.6558
	18/02/2018 16:00	248.69	2487	18.32	15.6631
	19/02/2018 16:00	251.23	2512	18.32	15.6377
	20/02/2018 16:00	254.66	2547	18.32	15.6034
	21/02/2018 16:00	252.58	2526	18.32	15.6242
	22/02/2018 16:00	249.72	2497	18.32	15.6528
	23/02/2018 16:00	251.67	2517	18.32	15.6333
	24/02/2018 16:00	255.89	2559	18.32	15.5911
	25/02/2018 16:00	262.31	2623	18.32	15.5269
	26/02/2018 16:00	261.77	2618	18.32	15.5323
	27/02/2018 16:00	262.77	2628	18.32	15.5223
28/02/2018 16:00	262.37	2624	18.32	15.5263	

# Capítulo XI

**BIBLIOGRAFÍA**

**Alfonzo, W. A.**, 2017. Control geológico de perforación para abastecimiento de agua para riego, campus Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba. Informe de Práctica Profesional. Inédito. 10p.

**Alincastró N. y R. Algozino**, 2010. Telemetría de datos hidrológicos de aguas superficiales, desarrollo de aplicaciones para análisis de variabilidad temporal. Práctica Profesional. UNRC.

**Antón, A. y Lizaso, J.**, 2003. Nitritos, Nitratos y Nitrosaminas. Fundisa. Artículos de divulgación.

**Astini, R.**, 2014. Cubierta Sedimentaria de la Provincia de Córdoba: Una Introducción. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino Asociación Geológica Argentina. p. 389-392.

**Astini, R. y C. Del Papa**, 2014. Cubierta Sedimentaria Paleozoica Superior. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino Asociación Geológica Argentina. p. 393-419.

**Astini, R., A. Tauber, H. Marengo y N. Oviedo**, 2014. Cubierta Sedimentaria Cenozoica (Paleógeno-Neógeno). Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino Asociación Geológica Argentina. p. 541-591.

**Bolanumi, A., M. Mescayola, P. Kraemer, E. Baldo, y R. Martino**, 1999. Sierras Pampeanas (Córdoba, Santiago del Estero): Precámbrico-Paleozoico inferior de las Sierras de Córdoba. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Anales 29 (20): 136-140. Bs. As.

**Blarasin, M., y Cabrera. A.**, 2005. Aguas subterráneas: hidrolitología, hidrodinámica e hidrogeoquímica regional. En Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: una perspectiva geoambiental. Ed. UNRC ISBN: 950-665-350-X. pp. 235-241.

**Blarasin, M., A. Cabrera y S. Degiovanni**, 2000. Hidrogeología Regional: El agua subterránea como recurso fundamental del Sur de la Provincia de Córdoba, Argentina. I Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. Fortaleza, Brasil. Trabajo completo (20 pág.) editado en CD-ROM.

**Blarasin, M.**, 2003. Tesis doctoral: Geohidrología ambiental del Sur de Córdoba, con énfasis en la ciudad de Río Cuarto y su entorno rural. Río Cuarto, Córdoba.

**Blarasin, M., A. Cabrera, J. Felizzia, J. Giuliano, L. Maldonado, E. Matteoda, L. Tione**, Cuadernos de uso y manejo de aguas subterráneas. Uni Río editora, 8 de Noviembre de 2011.

**Blarasin, M., Degiovanni S., A. Cabrera y M. Villegas**, 2005. Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: una perspectiva geoambiental. ISBN 950-665-350- 141-152. Ed. UNRC.

**Blarasin, M & Bécher Quinodoz, F. & Cabrera, A. & Matteoda, E. & Felizzia, J.,.** (2016). Arsenic and Fluoride in Groundwater of a Loessical Unconfined Aquifer, Cordoba, Argentina. IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG). 4. 59-65.

**Brassington R.**, 2007. Field Hydrogeology. John Wiley & Sons Ltd, England

**Cabrera, A.**, 2009. Tesis doctoral: Evolución Hidrogeoquímica e Isótopos Ambientales del Sistema Acuífero asociado a los Ambientes Morfotectónicos de la Falla Regional Tigre Muerto. Córdoba. Argentina. Inédito. 354 pág.

**Cantú, M.**, 1992. Holoceno de la Provincia de Córdoba. Manual: Holoceno de la República Argentina. Tomo I. Simposio Internacional sobre el Holoceno de América del Sur. 24p. Paraná, Argentina.

**Castany, G.**, 1971. Tratado Práctico de las Aguas Subterráneas. Ed. Omega, Barcelona.

**Carignano, C. D. Kröhling, S. Degiovanni y M. Cioccale**, 2014. Geomorfología. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino Asociación Geológica Argentina. p. 747-821.

**Código Alimentario Argentino**, 1994. Resolución 494/94. Boletín Oficial Nº 27.932, 1a sección. Art. 982 modificado.

**Consejo Hídrico Federal**, 8 de Agosto de 2003. Principios rectores de la política hídrica de la Argentina. Fundamentos del Acuerdo federal del agua. 20p. Buenos Aires, Argentina.

**Custodio E. y M. R. Llamas**, 1983. Hidrogeología subterránea. Tomos 1 y 2. Seg. Edición. Ed. Omega, S. A. Barcelona.

**Custodio, E., L.S. Vives, L. Rogríguez**, Agosto de 2009. Planificación y gestión del agua subterránea. Trabajos del VI Congreso Argentino de Hidrología. Ed. Nexo. Santa Rosa, La Pampa, Argentina. 234p.

**Cebli, G., M. Mozetic, C. Rossello y M. Bühler**, 1999. Cuencas Sedimentarias de la Llanura Chacopampeana. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Anales 29 (20): 627-644. Bs. As.

Chilton, J., 1996. Water Quality Assesments – A guide to use Biota, Sediments and Water in Enviromental Monitoring. Segunda edición. ISBN 0 419 21590 (HB) 0 419 21600 6 (PB). UNESCO/WHO/UNEP

**Degiovanni, S. y N. Doffo**, 1993. Geomorfología de la hoja Río Cuarto, su aplicación en estudios de susceptibilidad de erosión. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas tomo VI. p.274-282.

**Degiovanni, S y N. Doffo**, 2005. Monitoreo del comportamiento del río Cuarto en un tramo del curso medio sometido a fuerte presión antrópica. Aguas superficiales y subterráneas del Sur de Córdoba: Una perspectiva geoambiental. p. 105-112.

**Degiovanni, S., M. Villegas, M. Blarasin y G. Sagripanti**, 2005. Hoja Geológica Río Cuarto-3263-III. Secretaría de Minería de la Nación – SEGEMAR, 90p., 1 mapa.

**Devlin, J.F.**, 2015. HydrogeoSieveXL: an Excel-based tool to estimate hydraulic conductivity from grain size analysis. Hydrogeology Journal, DOI 10.1007/s10040-015-1255-0.

**Dirección General de Estadísticas y Censos**, 2008.

**Espacio Latino**, [http://letras-uruguay.espaciolatino.com/aaa/tyrrell\\_eduardo/fuerza\\_aerea\\_argentina.htm](http://letras-uruguay.espaciolatino.com/aaa/tyrrell_eduardo/fuerza_aerea_argentina.htm) (Consulta: Septiembre de 2017).

**Fetter, C. W.**, 1994. Applied Hydrogeology. Third Edition. Prentice Hall, New Jersey 07458. ISBN 0-02-336490-4. 691 p.

**Fundación Centro Canario del Agua**. FCAA. <http://fccaa.es/productos-y-publicaciones/calculo-directo-de-la-dureza/> (Consulta: Septiembre de 2017).

**García, S.**, 2011. "Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico HACRE: Módulo de capacitación" 1ª ed. Programa Nacional de Prevención y Control de las intoxicaciones, Ministerio de Salud de la Nación Argentina. 60p. Buenos Aires.

**Giacobone, D.**, 2017. Evaluación hidrogeológica del sitio de perforación de investigación realizada en el campus de la UNRC. Córdoba. Informe de Práctica Profesional. Inédito. 8p.

**Gualde, M. S.**, 2017. Evaluación granulométrica y mineralógica de base para estudios hidrológicos en una perforación, efectuada para riego, en el campus de la Universidad Nacional de Río Cuarto Informe de Práctica Profesional. Inédito. 9p.

**Healy R. y P. Cook**, 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology Journal, 10(1), 91-109.

**Instituto Superior de Recursos Hídricos**. 2008. "Asistencia técnico-científica para la elaboración de los proyectos de obras de desagües pluviales en sectores críticos" convenio de provisión de asistencia técnica N° 2. 86p.

**Iriondo, M.**, 1990. A late Holocene dry period in the Argentine plains. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula 7: 197-217.

**Iriondo M. y M. Kröhling**, 2007. Non-classical types of loess. Sedimentary Geology 202. Pp.352-368. Johannesburgo, 2002. Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible. Editorial Fundación Ecológica Universal. ISBN 987-98938-1-6.

**Lean, G., D. Hinrichesen.**, 1992. The WWF atlas of the environment. Helicon. 192p.

**Ludueña, P.**, 2001. Tesis de Licenciatura: Caracterización Geohidrológica del área comprendida entre la ciudad de Río Cuarto y Colonia San Bernardo, Córdoba, Argentina. Inédito. 93p.

**MARTINEZ de FABRICIUS, A. L.**, 1996. Bacilla-riophyceae del río Cuarto. Provincia de Córdoba, Argentina. Tesis Doctoral N° 673. Universidad Nacional de La Plata. 289 pp. 17 lams.

**MARTINEZ de FABRICIUS, A. L., Luque, M.E., Lombardo, D., Bruno, E.**, 2007. Potamoplancton en la cuenca media del río Cuarto (Córdoba, Argentina). Limnetica, 26 (1): 25-38. Asociación Española de Limnología, Madrid. España. ISSN: 0213-8409. 14p.

**Moreno, F.**, 2017. Análisis físico-químico y clasificación para diversos usos del agua subterránea del campus de la Universidad Nacional de Río Cuarto Informe de Práctica Profesional. Inédito. 9p.

**Nicolli, H. B., Smedley, P. L. y J. O. Tullio**, 1997. Aguas subterráneas con altos contenidos de flúor, arsénico y otros oligoelementos en el norte de la provincia de La Pampa: estudio preliminar. Cong. Int. Sobre Aguas y Workshop sobre Química Ambiental y Salud. Resúmenes, III-40. Buenos Aires.

**Pérez, M.A.**, 2007. Tesis de maestría: Efecto de la Heterogeneidad de la conductividad hidráulica en la conceptualización de un sistema acuífero. Universidad Nacional del Litoral. 145p.

**Oggero, A., E. Natale, C. Astudillo**, 2013. Experiencias áulicas a cielo abierto en la Reserva Urbana Bosque Autóctono 'El Espinal'. Revista boletín biológica Nº 30 AÑO año 7. 3p.

**Kröling, D. y C. Carignano**, 2014. La estratigrafía de los depósitos sedimentarios cuaternarios. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino Asociación Geológica Argentina. p. 673-724.

**Ramos, V.**, 1999. Las Provincias Geológicas del Territorio Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Anales 29 (20): 41-96. Bs. As.

**Ravelo C. y H. Machado**, 1999. PDIWIN 1.0, Software para Balance hídrico seriadoPDIMES, versión Windows.

**Reserva Bosque el Espinal**. <http://www.bosqueespinal.com.ar/> (Consulta: Noviembre de 2017).

**Rolleri, E. O.**, 1976. Sistema de Santa Bárbara. 6º Congreso Geológico Argentino. Actas 1: p240-255.

**Shiklomanov, I. A.**, 1997. Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World, Water Futures: Assessment of Water Resources and Water Availability in the World. Organización Meteorológica Mundial e Instituto del Medioambiente de Estocolmo.

**Smedley, P. y Kinniburgh, D.**, 2002. Source and behavior of arsenic in natural waters. British Geological Survey, Wallingford. UK.

**Sophocleous, M. A.**, 2002. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. Hydrogeology Journal, Volume 10, Number1/February 2002. ISSN 1431-2174 (Print) 1435-0157 (Online). Pág.: 52-67. Springer

**Sterret J.**, 2007. Groundwater and wells. Ed- Johnson Division.

**Tibaldi, A., A. Demichelis, M. Fagiano, J. Otamendi y O. Rabbia.**, 2014. Las rocas máficas del Paleozoico inferior de las Sierras de Córdoba. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino Asociación Geológica Argentina. p. 151-167.

**Tóth, J.**, 1999. Groundwater as a geologic agent: an overview of the causes, processes, and manifestations. Hydrogeology journal 7 (1): 1-14.

**UNESCO.**, 2003. Resumen del Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua para todos, Agua para la vida. Ediciones UNESCO – Mundi Prensa. Francia. 36p.

**Unidad Tecnológica de Información UNRC.**, 2017. Síntesis Institucional 2016- Universidad Nacional de Río Cuarto. Publicación digital. 2p.

**Vargas, R.**, 2006. La Cultura del Agua: Lecciones de la América Indígena. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe. PHII-VI - Serie Agua y Cultura- N°1. Montevideo, Uruguay. 199p.

**Zunino, A.**, 2017. Estudio litológico y análisis granulométrico de sedimentos procedentes de perforación hidrogeológica para uso del agua en el Campus de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Informe de Práctica Profesional. Inédito. 11p.