



Universidad Nacional de Río Cuarto

Facultad de Ciencias Exactas Físico Químicas y Naturales

Departamento de Geología

**Joel A. Savini**

## Caracterización Geoquímica del Acuífero Libre de la Cuenca del Arroyo Mosuc Mayú, Córdoba. Aportes al Conocimiento y Cálculo del Fondo Natural de la Calidad del Agua



Directora: Dra. Edel Mara Matteoda

Codirectora: Dra. Mónica Teresa Blarasin

**2014**

**Tesis de Licenciatura**

## AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional de Río Cuarto por darme la posibilidad de formarme y crecer profesionalmente y como persona.
- A la Dra. Edel Matteoda por la predisposición, el acompañamiento y enseñanza a lo largo del trabajo final. Por su don de fotógrafa.
- A la Dra. Mónica Blarasin, por la paciencia, aprendizaje y correcciones.
- A Gabi Damilano, Adriana Cabrera y la gringa (Susana Degiovanni), por el tiempo, la buena onda y las enseñanzas.
- Al grupo de aguas, Jesi, Fátima, Luci, Laura, Mariana, Magu.
- A Carlos Eric, Juan Felizzia, Mónica Villegas y Guillermo Sagripanti por la colaboración.
- A todos los docentes del departamento de Geología.
- A mi familia por aguantarme en todo.
- A mis Amigos por bancarme a pesar de las ausencias o distancias y por compartir tantas etapas juntos. Berni, Bebo, Jairo, Pali, Tone, Luisito, Pablo, Lucas, Leo. Paula, Ana, Cinthia, Pame, Romi, Jesi.
- A Luciana, la persona que me guió y apoyó en toda la carrera y en la vida. GRACIAS MIONCA!!!.
- A mis maridos Pichi, Kinder, Lulo, Bruno, Pablo.
- A Jesi y Pablo por compartir tantos nervios juntos.
- A mis amigos y compañeros con los que compartí momentos desde el primer día de universidad. Negro Facu, Negro Dario, Juampi, Mayco, Facu, Euge.
- Al mejor cable a tierra, EL FÚTBOL. Al club más grande, BOCA JUNIORS. Al tranquilizante más grande. JOAQUIN SABINA

<b>CAPITULO 1. Introducción, Objetivos, Materiales y Métodos</b>	
1.1. Antecedentes y Fundamentación.....	1
1.2. Hipótesis de trabajo.....	5
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4. Ubicación del área de estudio.....	6
1.5. Materiales y Métodos.....	8
1.5.1. Etapa de gabinete inicial.....	8
1.5.2. Etapa de campo.....	8
1.5.3. Etapa de laboratorio.....	8
1.5.4. Etapa de gabinete final.....	9
 <b>CAPÍTULO 2. Geología Regional y Local</b>	
2.1. Geología regional.....	11
2.1.1. Introducción.....	11
2.1.2. Características geológico-estratigráficas.....	13
2.1.3. Estructuras regionales.....	23
2.2. Geología Local.....	27
2.2.1. Estructuras.....	27
2.2.2. Estratigrafía.....	27
2.2.2.1. Unidades aflorantes.....	27

2.2.2.2. Geología de subsuelo.....	41
2.2.2.2.1. Descripción de perfiles de subsuelo.....	42
2.2.2.2.2. Perfiles esquemáticos.....	45
2.2.3. Evolución geológica de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú en el marco regional.....	48

### **CAPÍTULO 3. Geomorfología Regional y Local**

3.1. Geomorfología regional.....	52
3.1.1. Introducción.....	52
3.2. Geomorfología local.....	56
3.2.1. Introducción.....	56

### **CAPÍTULO 4. Hidrometeorología Regional y Local**

4.1. Hidrometeorología regional.....	70
4.1.1. Introducción.....	70
4.1.2. Temperatura.....	70
4.1.3. Vientos.....	71
4.1.4. Precipitaciones.....	71
4.1.5. Evapotranspiración potencial.....	72
4.2. Hidrometeorología Local.....	73
4.2.1. Introducción.....	73
4.2.2. Análisis de precipitaciones.....	74
4.2.2.1. Cálculo de precipitación media.....	74

4.2.2.2. Análisis de doble masa.....	76
4.2.2.3. Análisis temporal de las precipitaciones.....	78

**CAPÍTULO 5. Ocupación y uso del territorio Regional y Local**

5.1.Ocupación y uso del territorio regional.....	86
5.1.1. Introducción.....	86
5.2. Ocupación y uso del territorio local.....	87
5.2.1. Zonificación de actividades en la cuenca de estudio.....	87
5.2.1.1. Ecosistema natural parcialmente intervenido.....	89
5.2.1.2. Ecosistemas creados.....	90

**CAPÍTULO 6. Hidrología Superficial y Subterránea Regional y Local**

6.1. Hidrología superficial regional.....	95
6.1.1. Introducción.....	95
6.2. Hidrología superficial local.....	97
6.2.1. Introducción.....	97
6.2.2. Hidrografía e Hidrodinámica superficial.....	97
6.3. Hidrología subterránea regional.....	102
6.3.1. Introducción.....	102
6.3.2. Características hidrogeológicas, potencialidades y restricciones de uso del acuífero libre.....	103
6.3.4. Hidrodinámica subterránea.....	105
6.4. Hidrología subterránea local.....	106

6.4.1. Hidrología e Hidroestratigrafía local.....	106
6.4.2. Hidrodinámica del acuífero libre.....	108
6.4.2.1. Cálculo de gradientes hidráulicos.....	113
6.4.2.2. Cálculo de velocidad real efectiva.....	113
6.4.2.3. Profundidad del nivel freático.....	114

## **CAPÍTULO 7. Hidroquímica Regional y Local**

7.1. Introducción.....	118
7.2. Hidrogeoquímica regional.....	122
7.3. Hidrogeoquímica local.....	124
7.3.1. Hidrogeoquímica superficial local.....	124
7.3.2. Hidrogeoquímica local, acuífero libre.....	125
7.3.2.1. Introducción.....	125
7.3.2.2. Conductividad eléctrica.....	126
7.3.2.3. Análisis de componentes mayoritarios.....	130
7.3.2.4. Análisis de relaciones iónicas.....	134
7.3.2.5. Clasificación geoquímica de las aguas.....	135
7.3.2.6. Análisis bivariado.....	137
7.3.2.7. Análisis multivariado.....	139
7.3.2.8. Fondo natural de componentes minoritarios y trazas.....	140

## **CAPÍTULO 8. Aptitudes de uso**

8.1. Introducción.....	157
8.2. Aspectos toxicológicos de los elementos minoritarios y trazas en el agua subterránea.....	157
8.2.1. Arsénico.....	157
8.2.2. Flúor.....	159
8.2.3. Nitratos.....	161
8.3. Aptitud para consumo humano.....	162
8.4. Aptitud de uso ganadero.....	164
8.5. Aptitud de uso para riego.....	167

## **CAPÍTULO 9. Conclusiones y Recomendaciones**

9.1. Conclusiones.....	172
9.2. Recomendaciones.....	176

## **ANEXOS**

<b>Anexos 1</b> .....	178
-----------------------	-----

<b>Anexos 2</b> .....	184
-----------------------	-----

<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	193
---------------------------	-----

---

# Capítulo 1

---

Introducción,

Objetivos,

Materiales y Métodos

---



## **1.1- Antecedentes y fundamentación**

El agua subterránea es un recurso altamente requerido en la actualidad por parte de la población mundial. Los conocimientos de este recurso se han ido profundizando y acentuando a medida que la población crece de manera exponencial, por lo que es necesario una planificación y gestión adecuada para un uso sustentable del mismo.

Su interés a nivel mundial se debe a que el recurso es una fuente accesible y vital, del cual depende el suministro de grandes ciudades, zonas rurales, industrias y más de la tercera parte del riego, entre otras actividades. Aunque se ha utilizado desde hace mucho tiempo, su aprovechamiento es importante en las últimas décadas y ha sido un factor clave para el desarrollo de muchos países.

Dado el nivel de importancia, organismos como la FAO y UNESCO, se han unido para aportar una variedad de documentos obligatorios y no obligatorios que, en distintos niveles y desde ángulos diversos tratan del agua subterránea (FAO y UNESCO, 2012).

En Argentina, en los últimos años, la comunidad hidrológica tomó conciencia del serio deterioro de la gestión de nuestros recursos hídricos, lo que motivó a corregir el rumbo actual del manejo del agua. Se coincidió que el primer paso en esa dirección era la creación de una base jurídica sólida que garantice una gestión eficiente y sustentable de los recursos hídricos para todo el país. Con tal fin, y a instancias de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, las provincias convocaron a los sectores vinculados con el aprovechamiento, gestión y protección de sus recursos hídricos buscando establecer la visión que indique “qué es el agua para nosotros” y al mismo tiempo señale la forma de utilizarla como “motor de nuestro desarrollo sustentable” (Consejo Hídrico Federal, 2003).

En la Provincia de Córdoba el agua es un factor fundamental, se utiliza tanto para consumo humano como así también para actividades industriales y agropecuarias, ubicándose entre las más importantes estas últimas. Debido al gran uso del recurso, la provincia cuenta desde hace varios años con un Código de Aguas (Ley provincial 5589), el cual tiene aplicación directa en todos los temas relacionados con el agua (exploración y explotación). La autoridad de aplicación de estas normas es la dirección de agua y saneamiento (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la provincia).

El agua subterránea, además de ser esencial para el ambiente, es un importante recurso y reserva para satisfacer las necesidades humanas. Por ello es susceptible de extracción intensiva, cosa que ya sucede en numerosos acuíferos a nivel mundial. La extracción de agua subterránea modifica el ciclo natural del agua, lo que puede originar



importantes cambios en la naturaleza y alterar las relaciones con las otras fases del ciclo hidrológico (Custodio, 2011).

A pesar de la importancia que el agua subterránea posee, un problema fundamental es la falta de conocimiento de la geometría, características litológicas e hidráulicas de muchos acuíferos y consecuentemente de las reservas de agua disponibles. También es habitual un desconocimiento, a veces parcial, de la calidad del agua y sus aptitudes de uso para diferentes actividades humanas. Se suma a esto la falta de diseño adecuado de perforaciones para la explotación, algunas con tecnología muy obsoleta, haciéndose necesario definir, con base en las características del medio subterráneo, las profundidades, diámetros, filtros, etc. adecuados de estas explotaciones (Blarasin et al., 2005; Cabrera, 2009; Matteoda et al., 2011; Matteoda, 2012).

La significativa extensión areal y la gran complejidad de procesos geológicos que han ocurrido en la provincia de Córdoba permite un comportamiento muy variado de las aguas subterráneas de los distintos acuíferos (Blarasin et al., 2000). Existen aquellos de excelente calidad para consumo humano, principalmente en zonas cercanas a cordones serranos o de pedemonte, y los que se desarrollan en grandes zonas de llanura en donde la calidad disminuye significativamente, producto de aguas alojadas en sedimentos loésicos típicos de la región (Blarasin, 2003). Esto permite que los valores de sales disueltas totales (SDT), sulfatos, cloruros, arsénico (tóxico de primer nivel) y flúor aumenten sus tenores y la conviertan en no apta para consumo humano aunque, por falta de otros recursos, es igualmente utilizada, con el riesgo toxicológico que esto implica (Blarasin, 2003, Cabrera et al., 2005; Matteoda et al., 2005, 2007, 2008; Matteoda, 2012).

Actualmente la explotación de agua subterránea es algo habitual, abarcando acuíferos confinados y libres, generando muchas veces efectos negativos sobre el recurso. Los acuíferos libres son los más vulnerables ante cualquier amenaza, estos reciben, de manera casi directa, la llegada de contaminantes móviles y persistentes provenientes de la aplicación de agroquímicos (plaguicidas y especialmente, fertilizantes).

Son también fuentes de polución, ya evaluadas en numerosos sitios, la práctica tampera, criaderos tradicionales de porcinos y vacunos y, en notorio crecimiento, la cría intensiva, sitios que pueden contaminar el agua subterránea con nitritos, nitratos, microorganismos e incluso metales pesados (Blarasin et al., 2005; Giuliano Albo et al., 2012; Matteoda et al., 2008, 2009; Matteoda, 2012, entre otros).

Los problemas ambientales de los ecosistemas naturales y creados (rurales y urbanos) están sujetos a cambios espacio-temporales que pueden evaluarse a través de



indicadores numéricos que serán de utilidad para mejorar la gestión ambiental. Cuando se trata de la calidad de aguas muchos de estos indicadores están representados por elementos químicos, que poseen valores umbrales representativos de cambios ambientales. En este marco los estudios de la definición del llamado “fondo natural” de la calidad de agua de los sistemas geohidrológicos constituyen una herramienta muy importante para detectar anomalías y facilitar la toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos (Blarasin et al., 2008).

Existen **tres tipos de cambios** en los sistemas de aguas subterráneas que se pueden considerar como sensitivos a aquellos procesos que ocurren a escalas de tiempo cortas (aprox. 100 años) (Edmunds, 1996): **1) variaciones en los niveles** de aguas subterráneas (naturales e inducidos), para monitoreo de la disponibilidad, sustentabilidad del agua y afectación a la infraestructura, **2) cambios en la química del fondo natural** (“natural baseline chemistry”): atenuación de ácidos y disolución mineral, reacciones redox y cambios en la salinidad, (alcalinidad como  $\text{HCO}_3^-$ , consumo de  $\text{O}_2$  y cloruros, conductividad eléctrica y SDT, respectivamente, son geoindicadores fundamentales asociados a estos procesos), **3) impactos humanos en la calidad** de aguas subterráneas: la polución urbana, industrial y agrícola, puede ser reconocida por indicadores generales: aumento en cloruros, carbono orgánico disuelto (COD),  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{NO}_3^-$ .

La contaminación de aguas subterráneas es un problema de gran importancia en el mundo, siendo la vinculada a los nitratos una de las más extendidas y perjudiciales. Los nitratos son compuestos altamente solubles en medios oxidantes, lo que explica su elevada movilidad en el medio, que viene condicionada, entre otras, por las características del suelo, las precipitaciones y el riego. En la química del agua son los compuestos de nitrógeno,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , los que contribuyen al desarrollo de la vida animal y vegetal, pero el exceso de alguno de estos compuestos, que pueden proceder de la aportación al suelo de residuos orgánicos de origen ganadero (purines, estiércoles y deyecciones directas) y de fertilización nitrogenada, permite afirmar que las actividades agropecuarias pueden tener efectos desfavorables sobre la calidad de las aguas superficiales y subterráneas si no se procede con el debido control (Haygarth et al., 2002).

La llegada de contaminantes a los acuíferos libres en ecosistemas rurales y urbanos, ha sido estudiada por numerosos autores. Además de los antecedentes ya citados, otras investigaciones en las que se relaciona la calidad físico-química del agua con concentraciones de nitratos son las de Blarasin et al., 2005; Matteoda et al., 2005, 2008 y



2010; Giuliano Albo et al., 2010; Giuliano Albo, 2013, entre otros. Se destacan, por el tratamiento integral que realizan del tema, los trabajos de Fairchild, 1990; Foster et al., 2002; Argoss, 2002; Razowska-Jaworek y Sadurski, 2005; Hurst et al., 2007, entre otros.

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

En los últimos años, particularmente en los países desarrollados, se está trabajando en una definición del concepto de **fondo natural** de la calidad del agua subterránea, que sea rigurosa científicamente, realista desde el conocimiento de la hidrogeología y fácil de aplicar por gestores y políticos (Manzano et al., 2003). Los términos “**fondo**” y “**umbral**” se han utilizado de forma clásica en muchas disciplinas científicas para identificar concentraciones anómalas respecto a valores “típicos”.

Desde hace casi 10 años el término “baseline” aparece frecuentemente en los documentos de la EPA (Environmental Protection Agency) y USGS (United States Geological Service). Específicamente para la calidad del agua subterránea, la Unión Europea entiende por **fondo natural** (“baseline”, “background”) “aquellas condiciones físico-químicas propias de la misma que se derivan de procesos puramente naturales” (Manzano et al., 2003). Así, cualquier impacto sobre la calidad del agua podrá evaluarse por comparación con ese fondo natural, cuyas características se utilizan de referencia para evaluar el éxito de programas de recuperación. Esto se debe a que la polución es antropogénica y se sobrepone al fondo natural espacial y temporalmente, pudiendo reconocerse mediante trazadores o indicadores químicos o isotópicos.

La bibliografía internacional que aborda temas relacionados a la química y la relación entre los minerales y el agua subterránea es muy extensa, destacándose en idioma español el trabajo pionero de Custodio y Llamas, 1974. Según Matteoda, 2012, en nuestro país el tratamiento de datos hidrogeoquímicos procedentes de acuíferos ha sido realizado por numerosos autores, sin embargo es de importancia mencionar que en los últimos años se ha incursionado en el estudio estadístico uni y multivariado y análisis geoestadístico general de datos hidroquímicos, técnicas muy útiles para apoyar los estudios convencionales (González y Hernández, 1988; Ussunof, 1994; Albouy et al., 1995; Albouy y Bonorino, 1995; Fili et al., 1995; Hernández et al., 2002; Cabrera et al.,



2000; Blarasin, 2003), Matteoda *et al.*, 2003, entre otros). En cuanto a estudios específicos sobre el fondo natural, estos comenzaron a realizarse en la última década pudiendo citarse los trabajos correspondientes a Hernandez *et al.*, 2002; Blarasin *et al.*, 2006 y 2008; Matteoda *et al.*, 2007, 2008, 2009 y 2010; Matteoda y Blarasin 2013; Matteoda, 2012; Giuliano Albo *et al.*, 2010 y Giuliano Albo 2013.

En este marco explicado, queda clara la gran importancia del agua subterránea como recurso para satisfacer necesidades y que, en numerosos sectores, como por ejemplo el elegido para esta tesis, se hace necesario hacer investigaciones nuevas o más profundas para definir diferentes aspectos hidrogeológicos y ambientales, de manera de poder aportar a la planificación y gestión del recurso agua en general.

## **1.2- Hipótesis de trabajo**

### Hipótesis A

- La dinámica del agua subterránea del área seleccionada, y consecuentemente su calidad, están vinculadas a las condiciones climáticas pero fundamentalmente controladas por el relieve y litología presentes en la cuenca.

### Hipótesis B

- Las actividades antrópicas que se desarrollan en el sector modifican la calidad natural del agua subterránea, elevando los valores de nitratos, indicador típico de contaminación agropecuaria, por encima de su rango de fondo natural.

## **1.3- Objetivos**

### **1.3.1- Objetivo General**

El presente trabajo tiene por objetivo realizar la caracterización hidrogeoquímica del acuífero libre de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú, con el fin de aportar al conocimiento del fondo natural o línea de base hidroquímica, estableciendo para algunos indicadores, especialmente nitratos, umbrales de contaminación.

### **1.3.2- Objetivos específicos**

- Caracterizar los aspectos geológicos y geomorfológicos del área de estudio.



- Evaluar e interpretar la información hidrometeorológica para analizar su influencia sobre los recursos hídricos.
- Identificar usos del territorio y actividades del hombre que puedan generar cambios en la calidad y dinámica del agua superficial y subterránea.
- Caracterizar el comportamiento hidrogeoquímico del agua subterránea y sus condicionantes en el área seleccionada.
- Realizar, con el sustento estadístico correspondiente, los cálculos para establecer el fondo natural de la calidad del agua.
- Propender a la difusión de los resultados obtenidos en distintos ámbitos de la sociedad para favorecer mecanismos de respuesta socio-institucionales más adecuados para el uso y manejo de los recursos hídricos.

#### **1.4- Ubicación del área de estudio**

Con el fin de realizar estudios de aguas subterráneas en zonas aún no investigadas, que se abastecen para todas las actividades agropecuarias de este recurso, se ha seleccionado un área representativa de llanura. La cuenca seleccionada es la del arroyo Mosuc Mayú, en plena llanura agroproductiva de la provincia de Córdoba.

La misma, se ubica en la provincia de Córdoba, en el Departamento Río Cuarto, abarcando la Localidad de Alcira Gigena (Fig. 1.1). Se accede a la zona por la Ruta Nacional N°36, hasta dicha localidad, donde un camino asfaltado que une la Ruta Nacional N° 36 con la Ruta Provincial N° 156 facilita el acceso hacia el Este de la cuenca. Mientras que distintos caminos rurales permiten el acceso al sector Oeste de la misma.

Abarca una superficie aproximada de 274 km<sup>2</sup>, ubicándose entre los 32° 43' y 32° 47' de LS y entre los 64° 10' y los 64° 37' de LO.

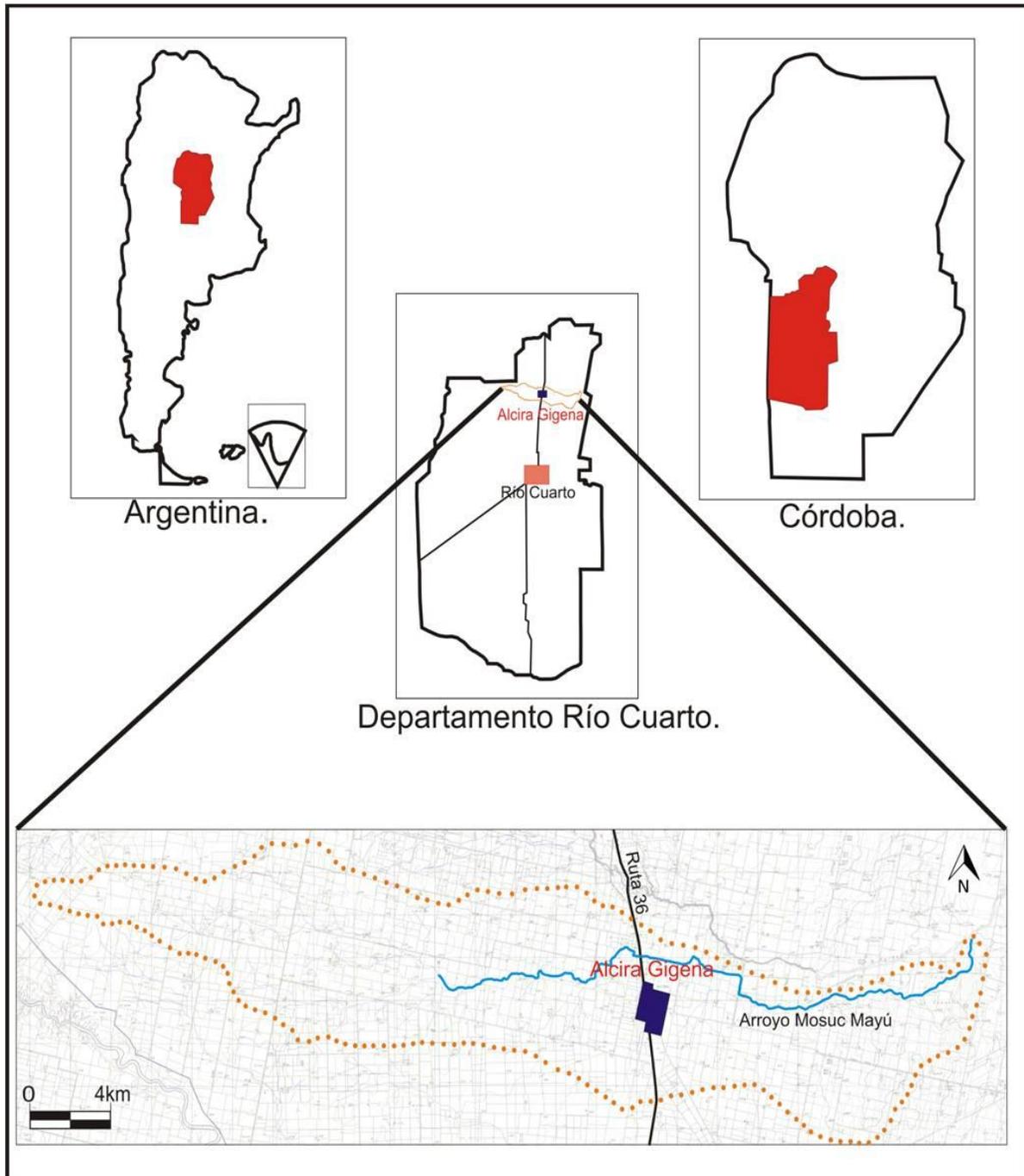


Figura 1.1: Ubicación del área de estudio. Cuenca del arroyo Mosuc Mayú.



## **1.5- Materiales y Métodos**

### **1.5.1- Etapa de gabinete inicial**

A - Recopilación de antecedentes (bibliográficos, cartográficos, hidrometeorológicos, etc.) del área y tema a investigar.

B - Elaboración de cartografía geológica-geomorfológica preliminar, sobre la base de cartas topográficas 1:50.000 del IGN (Inst. Geográfico Nacional), y fotografías aéreas 1:60.000, disponibles en el Dpto. de Geología.

C - Definición de una red preliminar de inventario de pozos con densidad adecuada a la zona seleccionada. La base topográfica utilizada es la del IGN a escala 1:50.000 (densidad aproximada de inventario 1 pozo cada 8-10 Km<sup>2</sup>).

### **1.5.2- Etapa de campo**

A- Relevamiento y actualización de información meteorológica disponible de particulares y entes oficiales.

B- Control a campo de las principales características geológicas-geomorfológicas y ambientales de la zona de trabajo, para la elaboración de cartografía definitiva.

C- Relevamiento de actividades de uso de la tierra. En zona rural se evaluó la presencia de prácticas de riego, uso de agroquímicos, ubicación de tambos y feed-lots, etc. Este punto permitió realizar interpretaciones en relación a la dinámica y calidad de agua.

D- Recopilación de información disponible respecto de los materiales del subsuelo atravesados por las perforaciones censadas y al detalle del diseño de las captaciones.

E- Inventario de pozos:

F- Se realizó en función de la escala de trabajo definida y de los aspectos anteriormente citados. Se determinaron in situ niveles estáticos y dinámicos del acuífero libre con sonda piezométrica de señal lumínica y sonora, además de pH, temperatura, conductividad y Oxígeno disuelto (OD) (sonda multiparamétrica Hanna).

G- Se extrajeron muestras para posterior análisis físico-químico según técnicas convencionales.

### **1.5.3- Etapa de Laboratorio**

A- Se determinó la composición físico química del agua subterránea en el Laboratorio de Geoquímica del Dpto. de Geología (fotometría de llama, espectrofotometría, electrodos Orion de ión selectivo para diversos elementos y titulaciones convencionales). En el



análisis físico-químico se determinó componentes mayoritarios:  $\text{CO}_3\text{H}^-$  ( $\text{CO}_3^{=}$ ),  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , se realizaron determinaciones complementarias: dureza, alcalinidad, pH, relación de adsorción del sodio (RAS), y también, componentes minoritarios de gran interés: F, As,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ .

#### **1.5.4- Etapa de gabinete final**

A-Elaboración del Mapa geológico-geomorfológico. Todos los mapas, se dibujaron con Corel Draw. V.12.

B-Elaboración e interpretación de información hidrometeorológica y análisis estadístico.

C-Determinación de balances hídricos modulares y seriados (Pdimes, Ravelo, 1990).

D-Elaboración de mapa y evaluación de actividades de uso del territorio, para relacionar con las fuentes contaminantes y/o cambios de niveles, reservas, etc.

E-Elaboración de cartografía hidrogeológica a la fecha del inventario realizando: mapa equipotencial del acuífero libre, mapa de isoprofundidad de niveles (estático y/o dinámico según disponibilidad), mapas hidroquímicos (de isoconas, de isolíneas de relaciones iónicas), etc.

F-Characterización e interpretación de los aspectos hidrolitológicos y su influencia en los procesos hidrodinámicos e hidroquímicos (espesor de zona no saturada, granulometría de los materiales, etc.), así como las relaciones de los materiales con los parámetros hidráulicos (Brassington, 2007).

G-La elaboración de información a partir de datos físico-químicos de aguas, se realizó a través de diagramas de Stiff (software ROCKSTAT, 1994).

H-Tratamiento estadístico de los datos químicos y análisis del fondo natural para diversos elementos y compuestos químicos, en especial nitratos.

I-Evaluación final de los resultados hallados y elaboración de informe final de Tesis de Licenciatura en Geología.

---

# Capítulo 2

---

Geología Regional y  
Local

---

## 2.1.- Geología Regional

### 2.1.1-Introducción:

El área de estudio comprende una pequeña parte de la provincia geológica Llanura Chaco-pampeana. Encontrándose la parte Sur-Oriental de la provincia geológica Sierras Pampeanas, fuertemente vinculada a los procesos que ocurren en ella, debido a la inmediata cercanía de la zona estudiada a la Sierra de Comechingones, siendo estas la principal fuente de aporte de los materiales que conforman el subsuelo de una parte considerable de la llanura (Fig. 2.1).

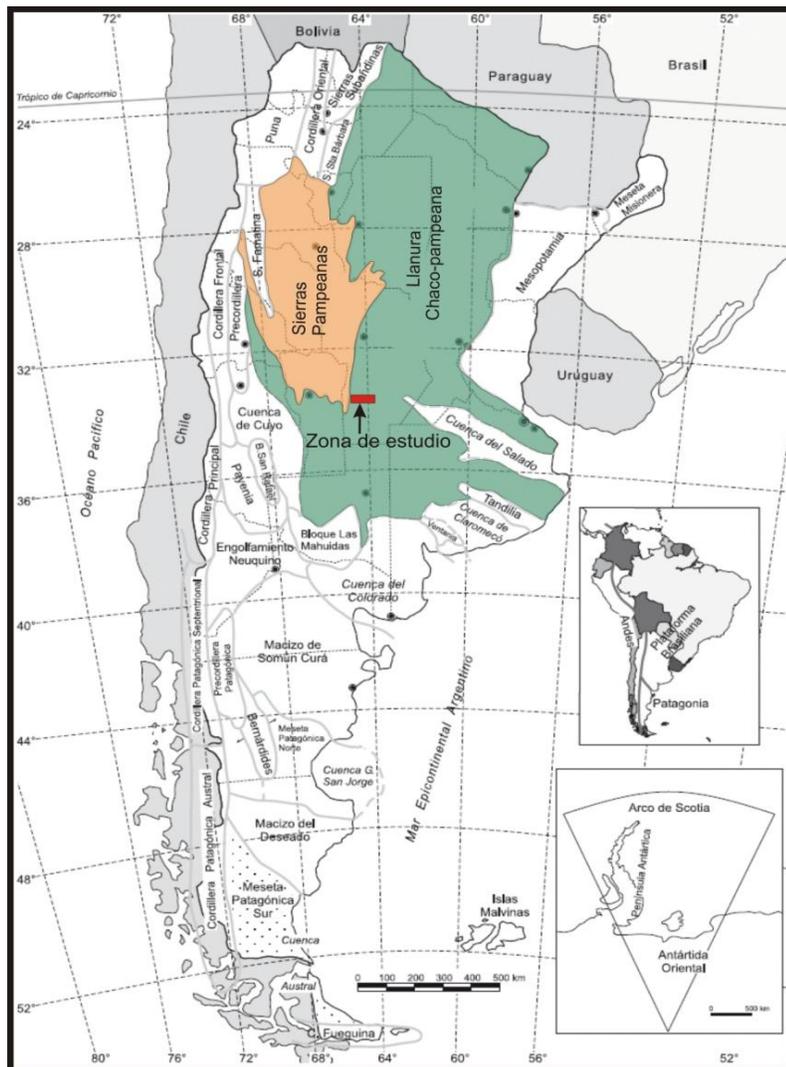


Figura 2.1: Provincias Geológicas de la República Argentina (Ramos, 1999)



### **Llanura Chaco-pampeana:**

Representa una extensa planicie desarrollada entre las Sierras Subandinas y las Sierras Pampeanas al Oeste y el río Paraná al Este. Su límite Sur se extiende hasta el río Colorado hundiéndose en la plataforma continental. La gran extensión areal permite reconocer diversas cuencas, con importantes procesos de depositación, desde el Cambro-Ordovícico a la actualidad, de sedimentos marinos y continentales, destacándose así las cuencas del Salado, Levalle, Antefosa de Claromecó, Macachín, entre otras.

Constituye un antepaís que recibió, desde el Mioceno, sedimentos provenientes del levantamiento andino y hoy es un lugar de tránsito de esos sedimentos hacia la plataforma y talud continental atlánticos (Chebli et al., 1999).

### **Sierras pampeanas:**

Las Sierras Pampeanas conforman una gran provincia con diferentes génesis, lo cual permite dividir las en dos: Sierras Pampeanas Occidentales y Sierras Pampeanas Orientales.

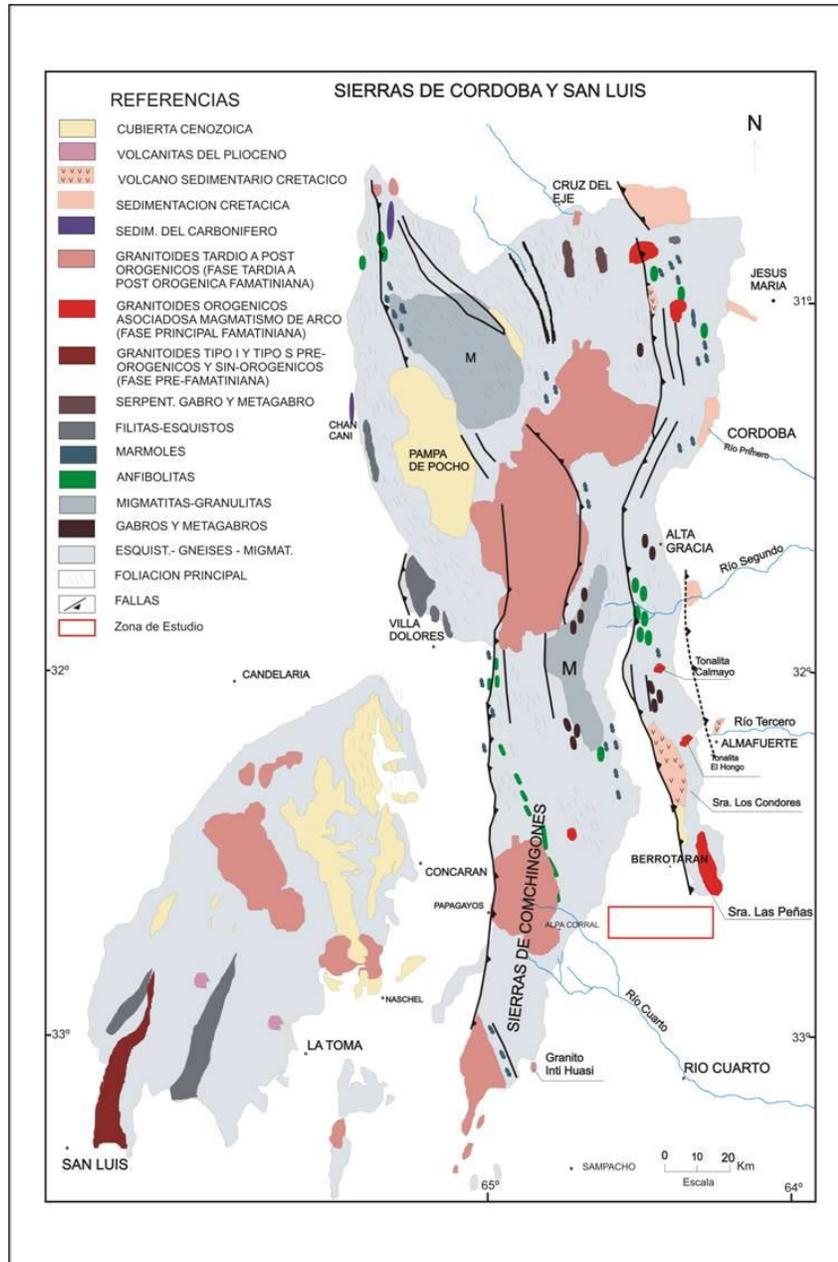
Las Sierras Pampeanas Occidentales comprenden las Sierras de Tucumán, Catamarca, La Rioja, San Juan y el sector Occidental de San Luis. Corresponden a un orógeno Eopaleozoico y está caracterizada por metamorfitas, migmatitas y granitoides calcoalcalinos (Ramos, 1988).

Las Sierras Pampeanas Orientales son las de mayor importancia en el presente trabajo ya que influyen a la zona aportando agua y sedimentos. Abarca las Sierras Norte de Córdoba, las Sierras Grande y Chica de Córdoba y la Sierra de Comechingones con la parte más Oriental de la Sierra de San Luis

Corresponde a un orógeno generado por un sistema de colisiones cercanas al límite Precámbrico-Cámbrico. Están caracterizadas por un complejo Metamórfico-Migmatítico, cuyos protolitos son grauvacas y semipelitas metamorizadas en facies de Anfibolita con transiciones a Granulita (Gordillo y Lencinas, 1979) en las que se emplazan granitoides, algunos con dimensiones batolíticas, encontrándose entre los más importantes el batolito de Achala, Cerro Áspero, Alpa Corral, El Talita, etc. (Villar, 1975; Escayola et al., 1996 y Chincarini et al., 1998).

Presentan una morfología marcadamente asimétrica, debido al desarrollo de escarpas de gran altura en el borde Occidental y relieves tendidos de menores pendientes en el faldeo Oriental (Gordillo y Lencinas, 1979).

Todos los bloques elevados se encuentran separados por sedimentos que se depositaron en valles intermontanos Mesozoicos y Cenozoicos (Fig. 2.2)



**Figura .2.2:** Mapa geológico de Sierras Pampeanas. Fuente: Pinotti, 1998.

### 2.1.2- Características geológico-estratigráficas

La descripción de las características geológico-estratigráficas de la región, se realizaron a partir de la información expuesta en la Hoja Geológica 3363- III, Río Cuarto (Degiovanni et al., 2005), en el libro Geología Argentina (Ramos, 1999), entre otras citas



bibliográficas (Martino, 1993; Pinotti et al., 2002; Gordillo y Lencinas, 1969; Cantú, 1992; etc.).

### **Basamento Cristalino:**

El Neoproterozoico y el Eopaleozoico se encuentran bien representados en la región central de la Argentina. En particular se encuentran unidades metamórficas, magmáticas y sedimentarias de estas edades en regiones como La Puna, Núcleo de la Cordillera Oriental y en las Sierras Pampeanas, abarcando la provincia de Córdoba y extendiéndose hacia el Sur.

La presencia de las rocas metamórficas como el basamento Precámbrico-Eopaleozoico en las rocas metamórficas, forman parte de una serie de dominios litológicos y estructurales con orientación meridiana que han sido interpretados como parte de una faja de movilidad ensiálica (Dalla Salda, 1887) o como terrenos que se desarrollaron y acrecieron en el margen Occidental convergente del cratón del Río de La Plata (Ramos, 1988).

Las rocas metamórficas son derivadas de diferentes protolitos sedimentarios e ígneos. Las secuencias sedimentarias fueron intruídas por vulcanismo máfico predominantemente tholeítico antes de ser metamorfizadas (Rapela et al., 1998).

Las metamorfitas y migmatitas de edad Ordovícicas alojan una serie de granitoides calcoalcalinos cuya composición varía de gabros tholeíticos a tonalitas y granodioritas asociadas a subducción de edad Cámbrica a Ordovícica media y que culmina con granitos poscolisionales de edad Ordovícica superior a Devónico basal (López y Solá, 1981, en Ramos 1999).

Kraemer et al. (1995), proponen dos ambientes principales para las Sierras de Córdoba:

Al Oeste, una zona externa representada por rocas metamórficas de grado medio a alto y grado bajo en facies de clorita y biotita (Gordillo, 1979, 1984; Gordillo Lencinas, 1979), con presencia subordinada de cuerpos de mármoles.

Al Este una zona interna caracterizada por gneises de grado medio a alto, fajas y macizos magmáticos, abundancia de bancos de mármol y anfibolitas con mayor participación de rocas ortoderivadas y con gran complejidad estructural.

Numerosos sistemas de fajas de cizalla influyen en las rocas anteriormente descriptas, generando una importante deformación, las más reconocidas son: Faja de Guacha Corral (Martino, 1993); faja de la sierra chica (Le Roux, 1988; Perez, 1994; Martino et al., 1995;



Kraemer et al., 1995), faja de Ambul-Mussi (Bolanumi et al., 1986; Martino, 1993), faja Guamanes (Martino, 1988, 1993), faja La Higuera-Dos Pozos (Sureda, 1978; Martino, 1993) y faja Los Tuneles (Martino, 1993).

El complejo metamórfico fue intruído por rocas ígneas plutónicas intermedias y máficas, cuya edad más probable es de 575 Ma (Cingolani y Varela, 1975) y durante la orogenia Famatiniana (450 - 490 Ma) se intruyen cuerpos ígneos trondhjemiticos pequeños (Rapela et al., 1998).

Luego, durante el Devónico (aprox. 400 Ma) y cuando la secuencia cristalina ígnea-metamórfica había sido exhumada hasta niveles de corteza superior, se produce un magmatismo félsico alumínico-potásico que alcanza dimensiones batolíticas, correspondientes a Batolito de Achala (Rapela et al., 1982; Lira, 1985; Patiño y Patiño Douce, 1987), Batolito Cerro Áspero (Coniglio y Esparza, 1988; Pinotti et al., 2002) y Granito Inti Huasi (Otamendi et al., 2002). Estas intrusiones generaron en algunos sectores metamorfismo de contacto, dando lugar a rocas filonianas aplipegmatíticas.

Gordillo y Lencinas (1979), establecieron una evolución de distintos procesos metamórficos e ígneos:

- Metamorfismo regional M1 de grado medio, representado en facies de anfibolita ocupando todo el sector serrano. Los productos derivados de este episodio son esquistos y gneises tonalíticos, acompañados de mármoles y anfibolitas.
- Metamorfismo regional M2 de grado alto. Se observan migmatitas de grado alto con paragénesis de granate+cordierita+Feldespatos potásico. De gran importancia es la presencia de restos de paragénesis anteriores en facies de anfibolita.

-Tanto M1 como M2 se produjeron en el Precámbrico superior.

➤ Se registraron en basamento la presencia de metamorfismo cataclástico M3, que dan como producto cataclasitas, y metamorfismo retrogrado M4 generando fajas de deformación.

➤ Finalizando los eventos se observan procesos de fallamiento posmetamórfico y alzamiento regional.

## **Paleozoico Superior**

### Carbonífero-Pérmico:

La secuencia se encuentra representada por depósitos de sedimentitas silicoclásticas continentales que en la provincia de Córdoba constituyen una estrecha faja en el borde Noroccidental y extremo Sur de las Sierras Pampeanas, identificándose dos unidades litoestratigráficas: la Formación Chancaní (Hünicken y Pensa, 1980) y la Formación Los Ranqueles (Azcuay et al., 1987).

Formación (Fm.) Los Ranqueles: aflora en cerros residuales asociados a las últimas estribaciones de las sierras de Comechingones, tiene un espesor aproximado de 360 m, está cubierta discordantemente por depósitos loésicos Cuaternarios y, aunque la base no aflora, se ha supuesto que yace en discordancia sobre el basamento.

Formación (Fm.) Chancaní: se encuentra expuesta en el borde Occidental de Sierra de Pocho y corresponde a secuencias lutíticas y limolíticas carbónicas.

Unidad sin denominación formal: En la perforación Ordoñez, cuenca de General Levalle y Laboulaye, se alumbraron depósitos marinos discontinuos y de poco espesor en los que estudios micropaleontológicos realizados por Russo et al. (1979), determinaron la presencia de microplancton (histicosféridos y dinoflagelados). Chebli et al. (1999), citan, para esta perforación, las Fm. Victoriano Rodríguez y Ordóñez correspondientes a secuencias continentales presentes en al menos el sector Oriental de Córdoba, aunque para la columna estratigráfica se las considera sedimentitas sin denominación formal debido a la imposibilidad de efectuar correlaciones con las adyacentes. La perforación realizada en General Levalle no alcanzó estas secuencias, por lo que su presencia no pudo ser confirmada.

Fm. Ordóñez: integrada esencialmente por areniscas feldespáticas, micáceas y algo conglomerádicas y por pelitas grises, verdosas y negruzcas, en parte carbonosas, que contienen restos de vegetación carbonizados. Las diamictitas son escasas, finas y gruesas, grises a blanquecinas y contienen clastos de cuarzo, calcedonia, rocas carbonáticas y rocas graníticas.

Fm. Victoriano Rodríguez: se compone de areniscas, limolitas y arcilitas de colores rojizos, grisáceos y morados; los tonos rojizos predominan en la parte superior.



## **Mesozoico**

### Cretácico:

La separación de África y Sudamérica como consecuencia del desmembramiento de Gondwana ocurrido a partir del Jurásico tiene su reflejo en la generación de cuencas de rift, entre ellas, Cuenca del Salado, Levalle, Macachín, etc. Además la extensión generalizada del continente está remarcada por la presencia de diferentes tipos de coladas, filones capa, diques y cuerpos subvolcánicos (Ramos, 1999).

Los principales depocentros Cretácicos están totalmente cubiertos por secuencias de sedimentos Cuaternarios y su conocimiento geológico está determinado principalmente por perforaciones de exploración de hidrocarburos.

A lo largo del borde Oriental de la Sierra Chica, en la Sierra del Pajarillo-Copacabana-Masa y en Sierra de Los Cóndores se encuentran aflorando sedimentos Cretácicos continentales del tipo estratos rojos compuestos por una sucesión de conglomerados, areniscas y en menor grado, pelitas intercaladas por vulcanitas, correspondientes a secuencias de abanicos aluviales, sistemas fluviales y de lago salino que se intercalan con coladas basálticas, constituyendo el relleno de una cuenca tipo rift (Poiré et al., 1989; Chebli et al., 1999). Al Oeste del área, y en las estribaciones de la Sierra de Comechingones se identifican cerros aislados (Chaján, Madera, Garrapata) formados por basaltos y traquiandesitas de edad Cretácica.

Gordillo y Lencinas (1967, 1979) describen para la Sierra de Los Cóndores, el Grupo Sierra de Los Cóndores constituido por:

Fm. Embalse Río Tercero: ortoconglomerados polimícticos, areniscas y limoareniscas laminadas

Fm Vulcanitas Cerro Colorado: traquitas calcoalcalinas, traquibasaltos y basaltos picríticos.

Fm. Conglomerado Cerro Libertad: ortoconglomerados polimícticos

Fm. Vulcanitas Rumipalla: traquitas alcalinas y traquibasaltos.

El espesor visible del grupo varía entre 250 m y 160 m. Teniendo en cuenta dataciones realizadas con K/Ar, que dan una edad promedio 120 Ma, estos autores le asignan una edad Cretácico inferior. Con anterioridad, Bondenbender le asignó una edad Permotriásica (1905), Triásica (1929) y Pastore, (1932), también Triásica. La génesis de estos materiales ha sido interpretada como correspondientes a secuencias de abanicos aluviales, sistemas fluviales y de lago salino que se intercalan con coladas basálticas constituyendo el relleno de una cuenca tipo rift (Poiré et al., 1989; Chebli et al., 1999).



Para el Sur de Córdoba y de acuerdo al informe realizado por la empresa Hunt Oil Co. y el trabajo de Chebli et al., (2006), la sección litoestratigráfica correspondiente estaría constituida por:

Fm. General Levalle: la unidad fue definida (Webster et al., 2002, 2004) como una secuencia Neocomiana clástico-evaporítica de relleno de rift, perforada en el pozo General Levalle, con un espesor que excede los 3.134 m. Chebli et al., 2006, describen nueve miembros componentes de esta formación:

- Mb Areniscas Superiores del rift.
- Mb Limolitas Yesíferas Superiores.
- Mb Areniscas Arcósicas.
- Mb Limolitas Yesíferas Inferiores del rift.
- Mb Evaporítico.
- Mb Limolitas Inferiores del rift.
- Mb Areniscas Inferiores del rift.
- Mb Conglomerádico Inferior.
- Mb Limolitas Arenosas Inferiores.

Toda la formación representa un ciclo continuo de depositación con algunas oscilaciones de segundo y tercer orden, con una secuencia clástica gruesa en su tramo inferior que, gradualmente, se hace granodecreciente hacia el miembro evaporítico para, luego también gradualmente, tender a granocreciente y rematar, hacia arriba, en las areniscas gruesas superiores del rift (Chebli et al., 2006).

Fm. Serra Geral (White, 1908): Constituye un episodio volcaniclástico de extensión continental, (Yrigoyen, 1999) con potencias máximas de 1.200 m en el litoral argentino hasta desaparecer progresivamente hacia el Oeste (Chebli et al., 1999). Las coladas basálticas asignadas a esta Formación fueron muestreadas por primera vez en la perforación de Ordóñez. Recientemente, en la perforación de General Levalle, se atravesaron más de 800 m de basaltos intercalados con niveles clásticos, que son interpretados como típicos basaltos alcali-olivínicos de áreas de rift. El espesor de los mantos lávicos y niveles de areniscas y pelitas intercalados es variable, desde un par de metros hasta 30 o 50 m. Los basaltos, de color negro o gris oscuro y textura porfírica arrojaron edades radimétricas de 110 Ma., más jóvenes que los usuales de Serra Geral, que oscilan entre los 135-145 Ma.



Fm. Tacuarembó (Falconier, 1931): compuesta por sedimentos continentales, a veces llamada Fm. San Cristobal, se interdigita con las efusiones volcánicas de la Fm Serra Geral (Chebli et al., 1999). En la perforación realizada en General Levalle se reconocieron aproximadamente 810 m de areniscas, arcósicas en el techo, con intercalaciones de limolitas arcillosas y arcilitas limolíticas rojas en la sección media.

### **Cenozoico:**

Como resultado de la convergencia originada por la subducción de la placa oceánica de Nazca debajo de la continental sudamericana, se han producido importantes deformaciones, como la de la Cordillera de los Andes y la reactivación de las Sierras Pampeanas.

En la provincia de Córdoba, las sedimentitas Paleógenas están compuestas por depósitos clásticos continentales y marinos que se disponen discordantemente sobre el basamento cristalino o sobre los estratos rojos del Cretácico (Degiovanni et al., 2005).

### Paleógeno

Fm. Mariano Boedo (Padula y Mingramm, 1968): comienza generalmente con un conglomerado con clastos de basalto, seguido por areniscas que hacia el techo se ven intercaladas por pelitas, culminando en el sector Oriental con rocas carbonáticas. Toda la región, incluidas las fosas de Levalle, Macachín, Salado y las prolongaciones hacia el Sur, estuvo sometida a un régimen tectónico extensional. El control lo ejercieron fallas directas, que actuaron a su vez como conductos para la introducción de grandes cantidades de material ígneo, que se interdigitó con sedimentos depositados en ambientes fluviales, fluvio lacustres y eólicos. Una vez aquietada la extensión, se depositaron los sedimentos de la Formación Mariano Boedo, que marcan la transición de un ambiente continental a marino costero.

Fm. Chaco (Russo et al., 1979) predominan las areniscas de grano fino, en menor medida, medias a gruesas, de colores amarillentos o blanquecinos, con intercalaciones delgadas de conglomerados, limolitas castañas, arcilitas limosas verdes y yeso cripto y microcristalino que en algunos casos se presenta como cemento de areniscas arcillosas. Para la cuenca de Levalle consiste fundamentalmente en 90 m de niveles de areniscas, limolitas y arcilitas de colores castaños.

Fm. Paraná (Irigoyen, 1969): Esta formación constituye el principal depósito marino del Neógeno para la región chacoparanaense y se extiende desde Chaco y Formosa hasta la cuenca del Salado (Fernandez Garrasino y Vrba, 2000). Representa la etapa transgresiva

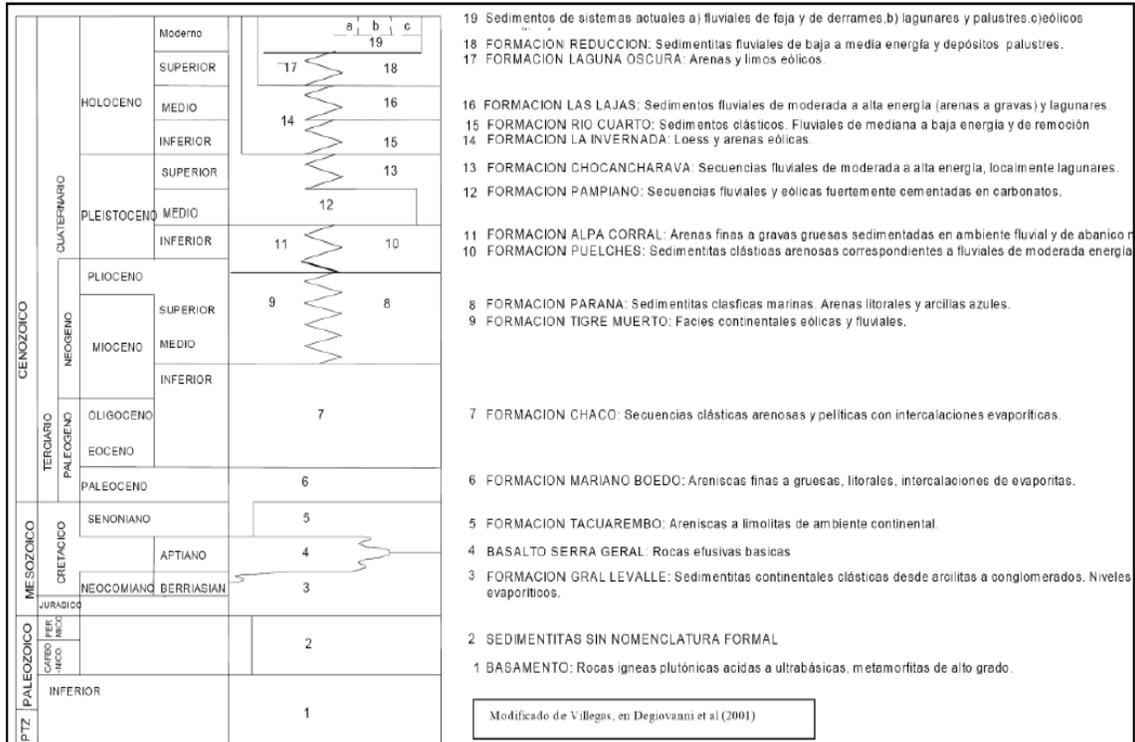


del mar Paranaense y está constituida casi totalmente por arcilitas de colores verdosos, azulados o gris amarillentos con restos de microfósiles marinos calcáreos que le otorgan una edad (Mioceno).

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

#### Cuaternario:

Durante el Cuaternario el movimiento de las placas originó una restricción de la circulación oceánica tal que las variaciones cíclicas de la órbita respecto del Sol (ciclos de Milankovitch) produjeron ciclos glaciales e interglaciales inéditos en cuanto a magnitud y duración (Carignano, 1999). Estos ciclos son responsables de secuencias sedimentarias muy importantes, como se observan en la figura 2.3, las cuales juegan un rol fundamental en la zona de estudio.



**Figura 2.3:** Cuadro Estratigráfico General. Fuente: Blarasin 2003.

*Plio-Pleistoceno a Pleistoceno inferior*

Fm. Ituzaingó (Doering, 1882; Santa Cruz, 1972): constituida por areniscas friables, de grano fino hasta grueso, ocasionalmente conglomerádicas y pobremente seleccionadas. Interestratificado en la secuencia aparecen algunos niveles de limolitas y arcillitas. Han sido especialmente reconocidas en el Norte de la provincia de Córdoba.

Fm. Alpa Corral (Cantú, 1992): Se compone de arenas finas con gravas dispersas y arenas medias a gruesas con niveles de gravas intercaladas. Constituye el abanico del río Alpa Corral-Seco, principal afluente del río Cuarto y fue reconocida en algunas perforaciones al Noreste de la ciudad de Río Cuarto. Su génesis se describe como correspondiente a un ambiente fluvial de moderada a alta energía, dentro de un abanico aluvial (Eric, 1986). La edad de esta Formación no ha sido aún definida pero sobre la base de consideraciones geológicas (Cantú, 1992) la ubicó en el límite Plio-Pleistoceno.

*Pleistoceno medio a superior:*

Fm. Pampiano: formada por sedimentos limosos o limo-arenosos muy finos, y hasta por conglomerados fuertemente cementados por carbonatos. Corresponde a depósitos fluviales de variada energía de transporte. También se presenta como limos eólicos



(loess) pardos con niveles de calcretes. La edad relativa teniendo en cuenta los materiales infra y suprayacentes sería Pleistoceno Medio a Superior (Cantú, 1992).

Geosuelo Estancia El Cerrito: Se desarrolla sobre la Fm. Pampiano. Corresponde a un suelo muy evolucionado que se encuentra representado por dos horizontes relicticos y discontinuos: Bt y BC (Cantú, 1992). Este suelo es una evidencia notable de un período suficientemente largo y húmedo que permitió su desarrollo en las zonas de interfluvio.

Fm. Chocancharava: Constituida por facies clásticas de psamitas y psefitas, con estructuras de corte y relleno, con tendencia general granodecreciente, interpretadas como facies típicas de canales fluviales entrelazados, facies de alta energía y flujos de barro. Se encuentran también materiales pelíticos verde amarillentos con rizoconcreciones asociadas a ambientes leníticos. (Cantú, 1992), le asigna una edad Pleistocena Superior Tardía sincrónica con el Geosuelo Estancia El Cerrito.

### *Holoceno*

Fm. La Invernada: Constituida por secuencias de materiales limosos masivos (loess), en mantos tabulares, de espesor variable, desde escasos centímetros hasta varios metros de potencia, se encuentra cubriendo, incluso, las pampas de altura de las Sierra Pampeanas (Cantú, 1992). Según Cantú (1992) las correlaciones entre el clima árido que reinaba en la región y las glaciaciones permiten determinar una edad de depositación entre Pleistoceno Superior tardío y Holoceno bajo.

Suelo Las Tapias: corresponde a una unidad edafo-estratigráfica, los suelos se desarrollaron sobre los sedimentos eólicos de la Fm La Invernada, presentan un desarrollo variable según su posición en el relieve y una distribución geográfica muy amplia, incluyendo las Pampas de Altura de las Sierras, a pesar de no encontrarse aflorando en toda la región (Cantú, 1992). Se estima que este suelo se ha desarrollado entre los 9.500 y los 4.000 a A.P., Holoceno (Cantú, 1992).

Fm Arroyo Las Lajas: Se compone de gravas, arenas y limos. Representa un ciclo fluvial de escasa magnitud compuesto por canales que cortan el suelo Las Tapias. Según Cantú (1992) estos materiales se depositaron durante el Holoceno Medio.

Fm Laguna Oscura: se constituye de arenas muy finas eólicas, arenas finas y muy finas, en las que mineralógicamente abundan el cuarzo, feldespatos y vidrio volcánico, con escasos porcentajes de limos y arcillas. Según Cantú (1992) la edad de esta Formación sería Holoceno Superior a la actualidad.

En toda la llanura se depositaron finalmente sedimentos correspondientes a los

actuales sistemas en funcionamiento, fluviales, eólicos, lagunares y palustres.

### **2.1.3- Estructuras regionales:**

Las Provincias Geológicas, Sierras pampeanas y Llanura Chacopampeana, si bien presentan evidencias muy diferentes para localizar y analizar estructuras, las mismas generan cambios muy significativos en el relieve y la dinámica de la superficie.

Las principales fallas de la Provincia de Córdoba presentan un rumbo Norte-Sur, con buzamiento hacia el Este, subhorizontalizándose en profundidad y generando el ascenso y basculamiento de los bloques. Estas son estructuras inversas y normales que se alojan principalmente en zonas de debilidad previa donde se encontraban fallas normales precenozoicas.

La presencia de fallas de rumbo O-E es importante ya que junto con las fallas de orientación meridiana y submeridiana, definen la segmentación regional en bloques de las Sierras Pampeanas.

La presencia de morfologías superficiales y deformaciones en sedimentos Cuaternarios permiten deducir que la actividad tectónica Neógena en la región, tuvo continuidad en el Holoceno y probablemente ha tenido asociada la ocurrencia de paleoterremotos (Sagripanti et al., 2012).

Las principales familias de estructuras en la región se encuentran agrupadas según su rumbo, como se observa en la figura 2.4, y en los perfiles esquemáticos de las figuras 2.5 y 2.6.

Son muy importantes los aportes realizados acerca de estructuras en el Sur de la Provincia de Córdoba, entre ellos se pueden nombrar a Demichelis, 1986; Cantú y Degiovanni (1983, 1984 y 1987); Degiovanni y Cantú (1993 y 1997); Fessia, 1996; Villegas, 1999; Chiappero, 1994; Donadío, 1995; Doffo y Degiovanni, 1993; Mingorance, 1987; Rodríguez, 1997; Sagripanti et al., 1998; Cantú, 1998; Bettiol, 2012; Gallo, 2011; Matteoda, 2012.

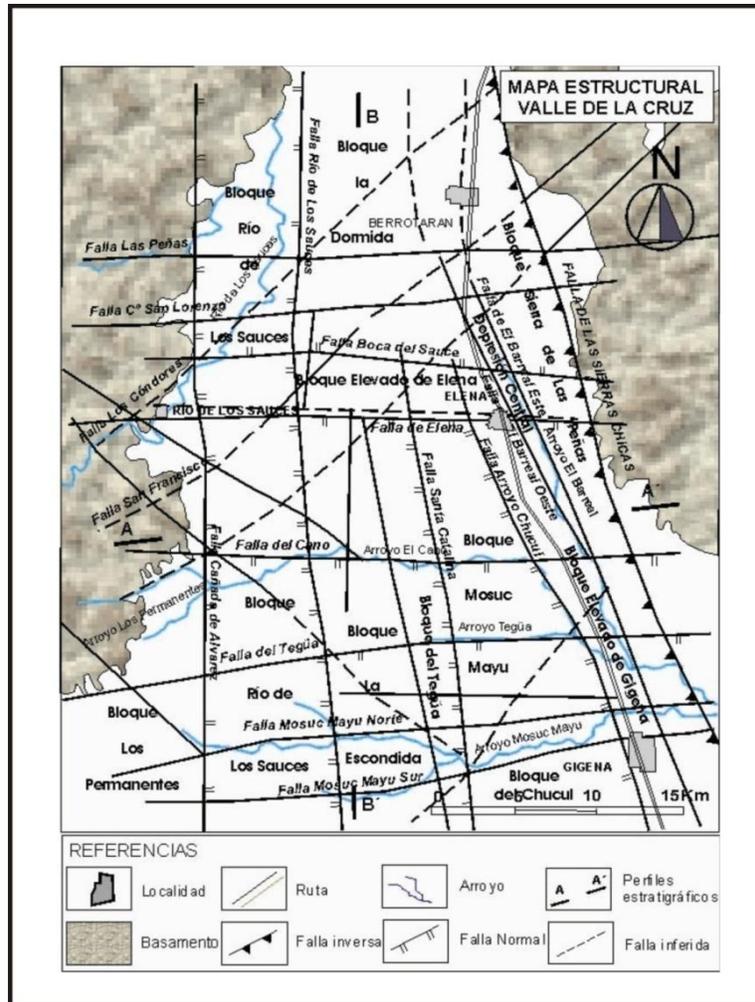


Figura 2.4: Mapa estructural del Valle de La Cruz, provincia de Córdoba. Tomado de Matteoda 2013, modificado de Degiovanni y Cantú 1997.

**Sistema meridiano a submeridiano (N-S):** Representan el sistema de fallas más importante de la Provincia. Este es el encargado de generar la ubicación de los bloques basculados y ascendidos. Muchas de estas estructuras pertenecen a una inversión tectónica (Distensiva-Compresiva), producto de los cambios en el régimen de esfuerzos en los distintos ciclos tectónicos. Entre ellas se encuentran: falla de Comechingones, Guacha Corral, Río de Los Sauces, Sierra Chica, Cañada de Alvarez, El Barreal Oeste, Arroyo Chucul, Santa Catalina, San Basilio, del Tigre Muerto, Levalle, Reducción, Alejandro- Pampayasta y El Rastreador-Los Cisnes,

- Falla de Comechingones: Es la estructura de mayor magnitud y la encargada del levantamiento de las Sierras de Comechingones.



- Falla de Santa Rosa-Las Peñas: es la megatrazza inversa responsable del levantamiento principal de las Sas Chicas.

- Megatrazza Alejandro-Pampayasta (San Francisco del Chañar-Hernando, Pasotti, 1974; Rayo Cortado-Pampayasta-Alejandro, Massabie, 1987): separa la Pampa elevada, al Oeste, de la Pampa Hundida, al Este.

- Falla del Tigre Muerto (Degiovanni y Cantú, 1993): Constituye el límite Occidental del bloque Levalle, ejerce un importante control sobre el arroyo Santa Catalina y, en el labio hundido, se sitúan los Bañados del Tigre Muerto.

- Falla Levalle (Degiovanni y Cantú, 1982): se infiere que su carácter es inverso con plano buzante al Oeste, limita por el Este al bloque Levalle.

Todas las estructuras anteriormente nombradas presentan un carácter inverso con su plano buzante hacia el Este y labio hundido al Oeste. La actividad Neotectónica es muy evidente.

**Sistema E-O:** las fallas pertenecientes a este sistema juegan un rol importante en la compartimentación y escalonamiento de los megabloques meridianos, además de controlar la traza de varios cursos. Entre las más importantes, se encuentran: las fallas de Elena, arroyo Boca del Sauce, El Cano, del Tegua, Santa Catalina, Río Cuarto, y un conjunto de fracturas que limitan bloques menores como las fallas Mosuc Mayú Norte y Mosuc Mayú Sur.

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

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

- Fallas Mosuc Mayú Norte y Mosuc Mayú Sur: controlan principalmente la traza del arroyo homónimo, particionando los bloques submeridianos mayores.

**Sistema NO-SE:** las mayores evidencias de esta familia de estructuras se encuentran muy bien representadas en el extremo Sur de las Sierras de Comechingones y en las planicies Occidentales. Su principal incidencia es el descenso escalonado de bloques serranos y el control de la mayoría de los cursos que tienen sus nacientes en este sector. (Achiras, La Cruz, Cortaderas, Chaján, entre otros). Las principales fallas son:

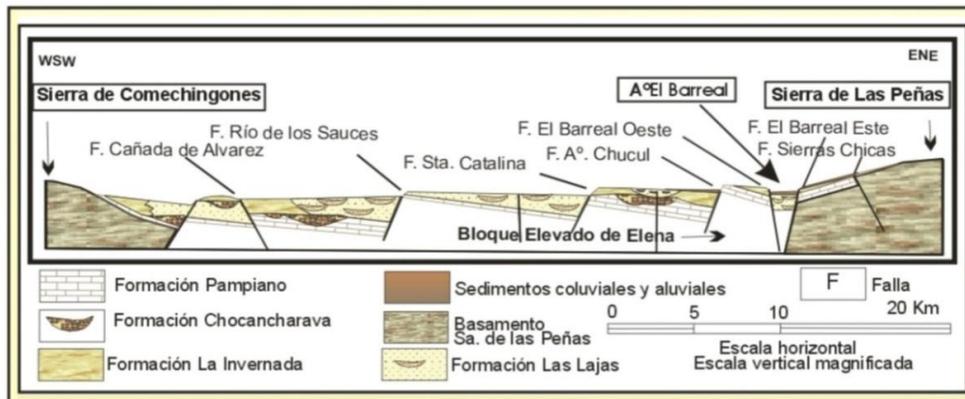
- Las Lajas-Sampacho, Alpa Corral, Chaito-Chazón (Degiovanni y Cantú, 1982).

- Falla Las Lajas – Sampacho: Es una estructura de gran importancia regional, de carácter inverso. Controla gran parte de la dinámica del arroyo del Gato. Ha tenido actividad Neógena y es considerada sismogeneradora (Sagripanti et al., 1998).

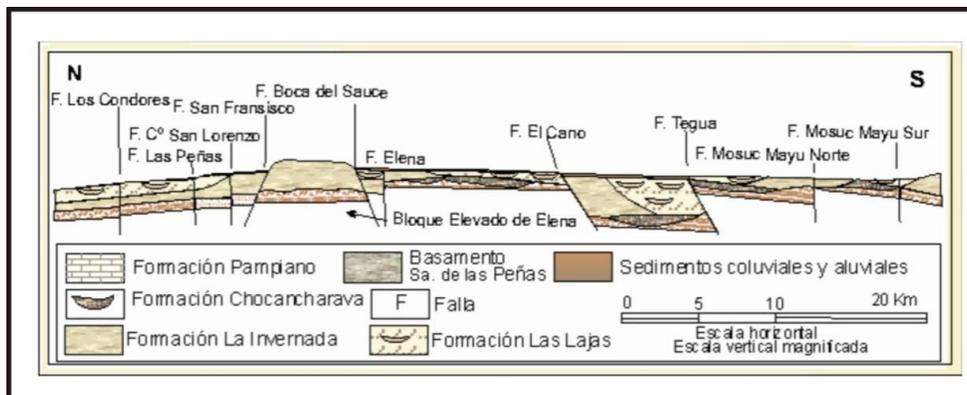
**Sistema NNE-SSO:** Las más importantes de esta familia son las fallas del Saladillo y de Las Lagunas.

- Falla del Saladillo: la estructura da lugar, hacia el NO, a la depresión donde se disponen los Bañados del Saladillo, el complejo lagunar La Chanchera-La Brava, entre otros y, hacia el E- SE al bloque elevado Viamonte-Laboulaye, que evidencia reactivaciones Neógenas de la estructura, ya que anteriormente el escurrimiento de las redes Pleistocenas continuaba hacia el Sudeste (Cantú y Degiovanni, 1984).

- Falla Las Lagunas: presenta un carácter inverso y con probada actividad en el Cuaternario ya que tiene entre otras evidencias sismicidad asociada (Sagripanti et al., 1998).



**Figura 2.5:** Perfil A – A' de mapa estructural del Valle de La Cruz, provincia de Córdoba. Matteoda 2013, Modificado de Degiovanni y Cantu 1997.



**Figura 2.6:** Perfil B – B' de Mapa estructural del Valle de La Cruz, provincia de Córdoba. Matteoda 2013, Modificado de Degiovanni y Cantú 1997.

## **2.2- Geología local**

### **2.2.1-Estructuras**

Los sistemas de estructuras que tienen mayor influencia en la zona de estudio presenten dirección N-S y E-O. Dentro del sistema N-S se encuentran las fallas Santa Catalina, Río de los Sauces, Santa Rita, Cañada de Alvarez, El Barreal Oeste y Sierras Chicas. Las mismas generan un fuerte control estructural, siendo las responsables de la morfología en bloques típica de la región. Dentro del sistema E-O se encuentran las fallas Mosuc Mayú Norte y Mosuc Mayú Sur, las cuales controlan principalmente las trazas del río homónimo.

### **2.2.2-Estratigrafía**

#### **2.2.2.1- Unidades aflorantes**

La cuenca del arroyo Mosuc Mayú se desarrolla completamente en la llanura, ya que posee nacientes en la misma al pie de las Sierras de Comechingones. Es de gran importancia destacar que el ambiente geológico Sierras Pampeanas y la zona pedemontana controlan su dinámica y proveen los sedimentos que conforman el subsuelo de la misma y gran parte del agua que por ella circula.

Para lograr un análisis más preciso de la geología y geomorfología de la zona de estudio, se contó con datos de subsuelo obtenidos a partir de perforaciones, además de datos de perfiles aflorantes. A partir de ellos, y mediante correlaciones lito estratigráficas, se interpretaron los procesos que actuaron en la evolución de la cuenca y de esta forma se obtuvo una base para una mejor interpretación a la dinámica geológica-hidrológica de la misma.

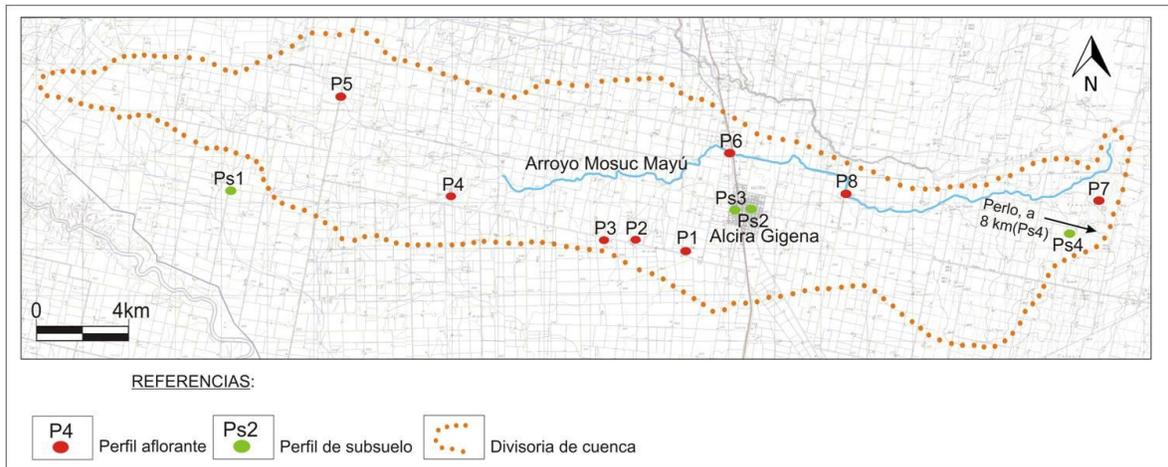
Dentro de la Llanura Pampeana, la zona de estudio se encuentra alojada inmediatamente al Sur del valle de La Cruz-Gigena, al Este de las Sierras de Comechingones y su bajada pedemontana.

#### ***Descripción de perfiles sedimentarios:***

El análisis de los materiales que se encuentran aflorando en la zona de estudio, y que componen el subsuelo de la misma, se realizó a partir de la descripción e interpretación de ocho perfiles aflorantes, ubicados en los márgenes del arroyo Mosuc Mayú, en cortes de caminos y en cárcavas presentes en el área de estudio. La ubicación de los mismos se detalla en la figura 2.7. Por otro lado, se contó con cuatro perfiles de subsuelo de hasta 160 m de profundidad, brindados por particulares y por la cooperativa de Alcira Gigena.

De los perfiles aflorantes descritos se extrajeron muestras representativas de distintas secciones, sobre las cuales se realizó el análisis granulométrico, mediante el tamizado en seco.

A partir de los datos obtenidos, se identificaron las Formaciones presentes en la zona de estudio, estableciendo una correlación con las Formaciones descritas por Cantú (1992) para el Sur de Córdoba.

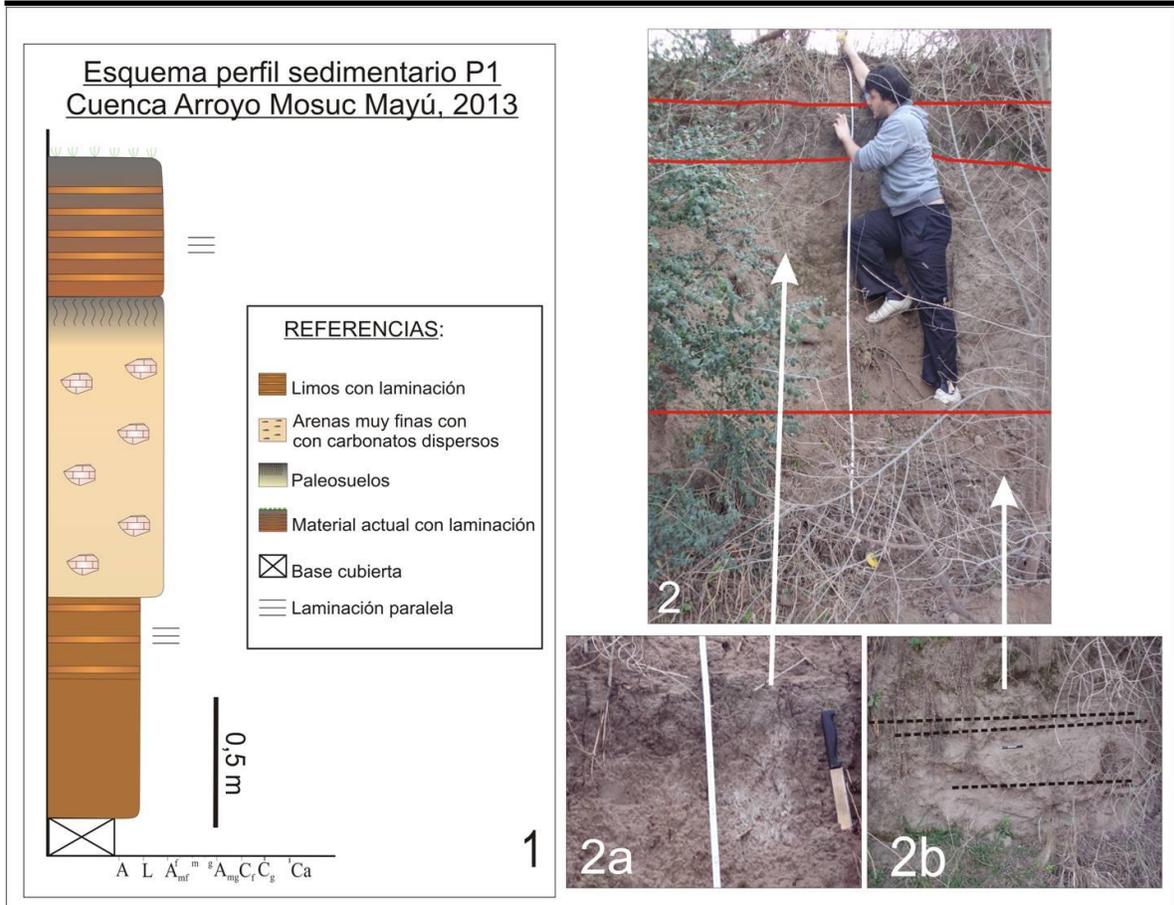


**Figura 2.7:** Ubicación de perfiles litológicos aflorantes y de subsuelo, pertenecientes a la cuenca del arroyo Mosuc Mayú, 2013

### **Perfil 1 (P1):**

Se encuentra ubicado en un camino rural al Sur de la cuenca, perteneciente al tramo medio del arroyo Mosuc Mayú.

Presenta base cubierta (Fig. 2.8), suprayacen 0,80 m de limos de color pardo, masivos en los 0,50 m inferiores, seguidos por 0,30 m del mismo material con laminaciones. La secuencia continúa con 0,96 m de arenas muy finas y limos con carbonatos dispersos. Sobreyace a la misma 0,26 m de un material arenoso fino limoso, con alto contenido de materia orgánica, bioturbaciones y estructuras prismáticas cementadas con superficies erosivas que las cortan. La secuencia culmina con 0,50 m de arenas finas y limos con laminaciones.



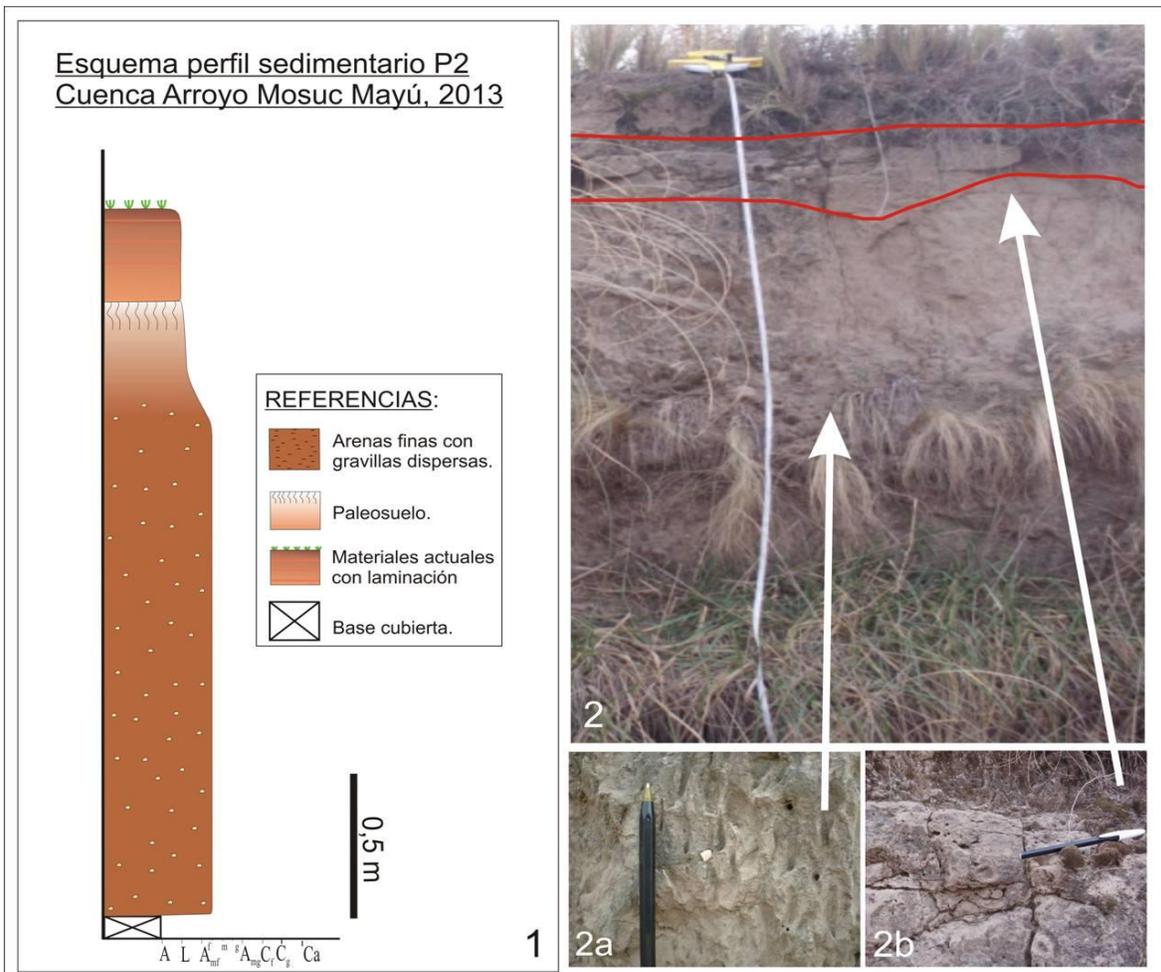
**Figura 2.8:** 1- Esquema de perfil sedimentario. 2- Perfil sedimentario. 2a- arenas muy finas con carbonatos dispersos. 2b- limos con laminación.

De los materiales descritos en la parte inferior de la secuencia, los primeros 0,80 m, pertenecen a sedimentos depositados por escurrimientos fluviales de baja energía, mientras que la sedimentación posterior indica un ambiente eólico depositando sedimentos arenosos finos y limos equivalentes a la Fm. Laguna Oscura. La ocurrencia de un clima más húmedo (clima actual) en el área permite el desarrollo de un paleosuelo con altos contenidos de materia orgánica. Posteriormente, los sedimentos laminados del techo son resultantes de la removilización de los procesos actuales de escurrimiento superficial, típicos de épocas de lluvias y de zonas con pendientes altas a moderadas como las de la cuenca, favorecida por la actividad agropecuaria que desprotege los suelos. En general son sedimentos que tienen bajo grado de edafización.

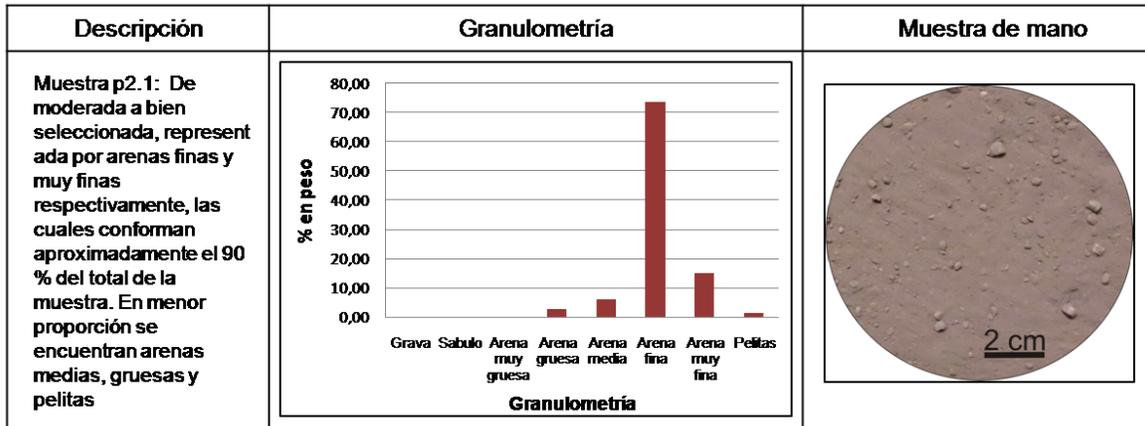
**Perfil 2 (P2):**

Se encuentra expuesto sobre un camino rural al Oeste del perfil P1. Pertenece al tramo medio de la cuenca.

La base se encuentra cubierta (Fig. 2.9), suprayacen 1,70 m de arenas finas y muy finas con gravillas dispersas, cuyo análisis textural se observa en el cuadro 2.1. Sobre estos se encuentran 0,30 m de los mismos materiales, con presencia de cementación carbonática, de coloración más oscura en la parte superior y estructuras prismáticas. Luego de una importante discordancia erosiva que decapita el material subyacente se depositó una secuencia con 0,30 m de materiales similares, con laminación grosera.



**Figura 2.9:** 1- Esquema perfil sedimentario. 2- Perfil sedimentario, correspondiente al tramo medio del arroyo Mosuc Mayú. 2 a. Arenas finas y muy finas con gravillas dispersas. 2b. paleosuelo con presencia de carbonatos.



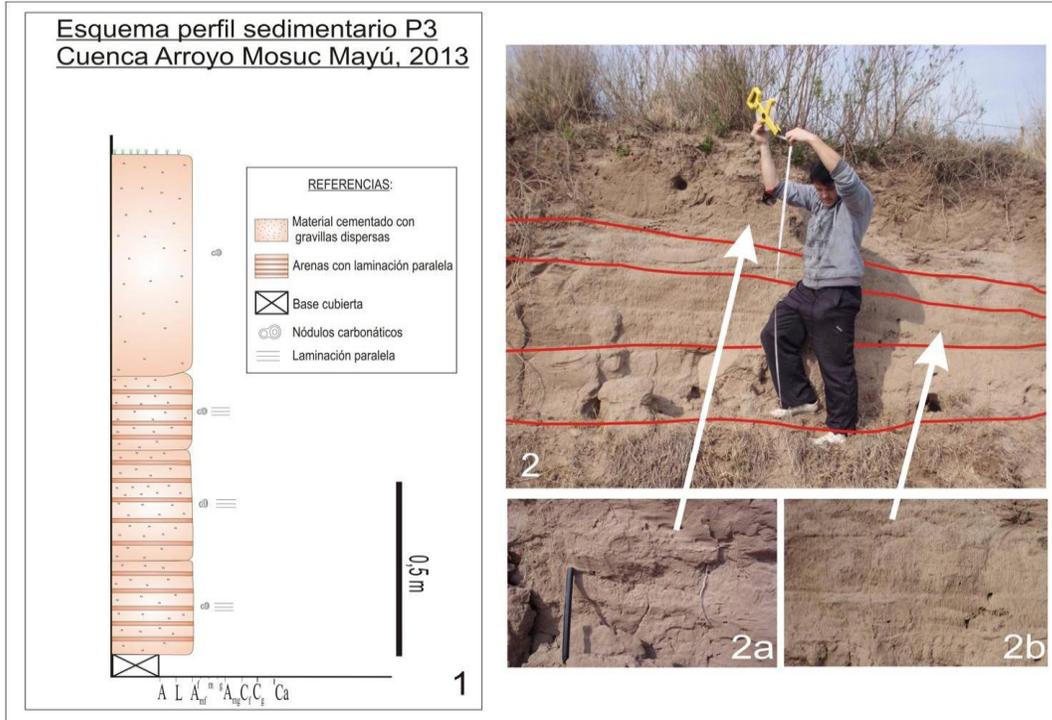
Cuadro 2.1: Análisis textural de la muestra P2.1.

Los depósitos descritos en primer término se asocian a un importante ciclo seco. En la base la presencia de gravillas dispersas permite pensar en la participación de flujos densos que hacia el techo se hacen predominantemente eólicos. Estos últimos serían equivalentes a la Fm Laguna Oscura aunque la base podría corresponderse parcialmente con algunos episodios húmedos de la región, en los que se depositaba, en zonas bajas, la típica Fm. Las Lajas de origen fluvial, mientras que en otras dominaban estos depósitos eólicos-coluviales. Sobre el eólico de la Fm Laguna Oscura se desarrolló un suelo cuando se instaló el clima húmedo actual, el cual fue decapitado en tiempos históricos por escurrimientos aluviales, predominantemente mantiformes, potenciados por la poca protección de los suelos sometidos a siembra directa.

### **Perfil 3 (P3):**

Ubicado en ámbito de planicie eólica, se encuentra aflorando sobre un camino rural al Oeste del perfil 1 y 2.

Presenta base cubierta (Fig. 2.10), por encima de la misma y limitado por una superficie erosiva se encuentran tres niveles, en contacto neto, compuestos de materiales arenosos muy finos, cementados, presencia de gravillas dispersas, laminaciones y nódulos de carbonatos. Los mismos presentan potencias máximas de 0,25, 0,30 y 0,20 m respectivamente, acuñándose lateralmente. La secuencia culmina con 0,60 m de arenas finas y limos parcialmente cementados con gravillas dispersas.



**Figura 2.10:** 1- Esquema perfil sedimentario. 2- Perfil sedimentario, correspondiente al tramo medio. **2a.** Material cementado. **2b.** Arenas muy finas con laminación.

Los materiales descriptos en los niveles inferiores, se corresponderían con depósitos fluviales de baja energía, los cuales serían equivalentes a la Fm. Las Lajas (Cantú, 1992).

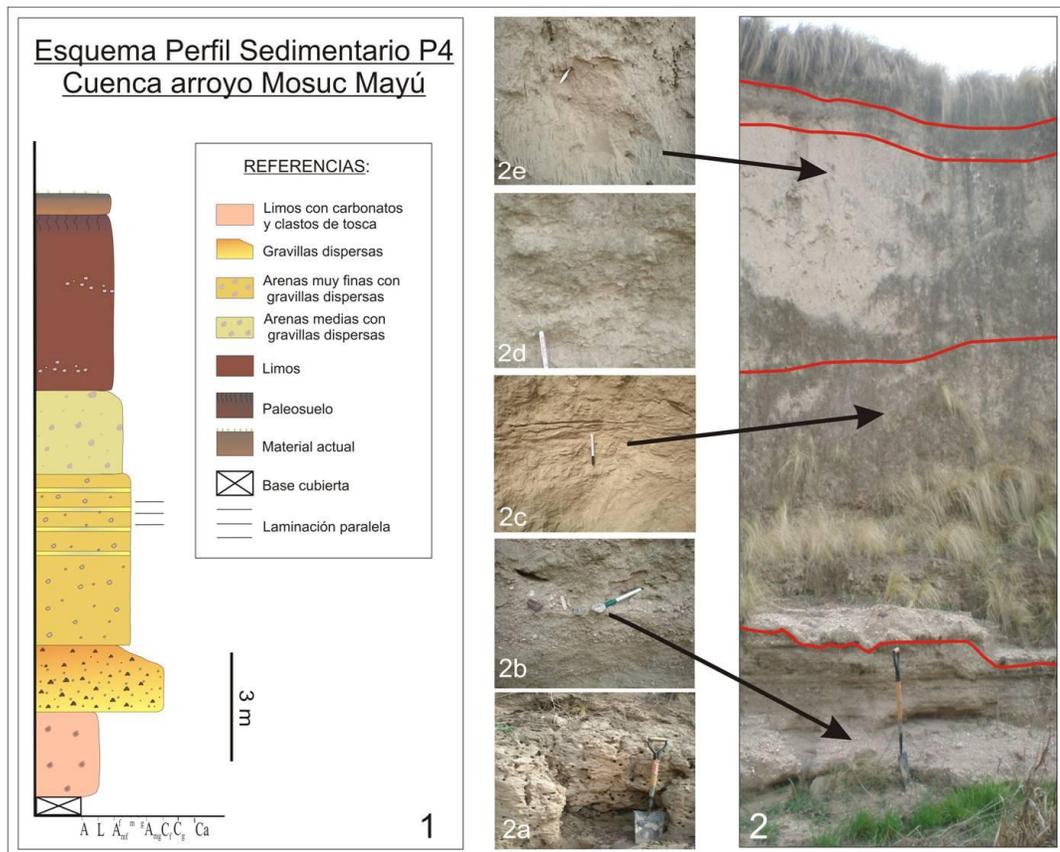
Los materiales arenosos finos masivos con gravillas dispersas suprayacentes permiten pensar en la participación de flujos densos asociados a algún escurrimiento efímero, durante un período más seco generalizado equivalente a la época en que se depositó la Fm. Laguna Oscura en toda la región. La parte superior se encuentra más suelta levemente removilizada indicando procesos actuales. Los mismos presentan bajo grado de edafización.

#### **Perfil 4 (P4):**

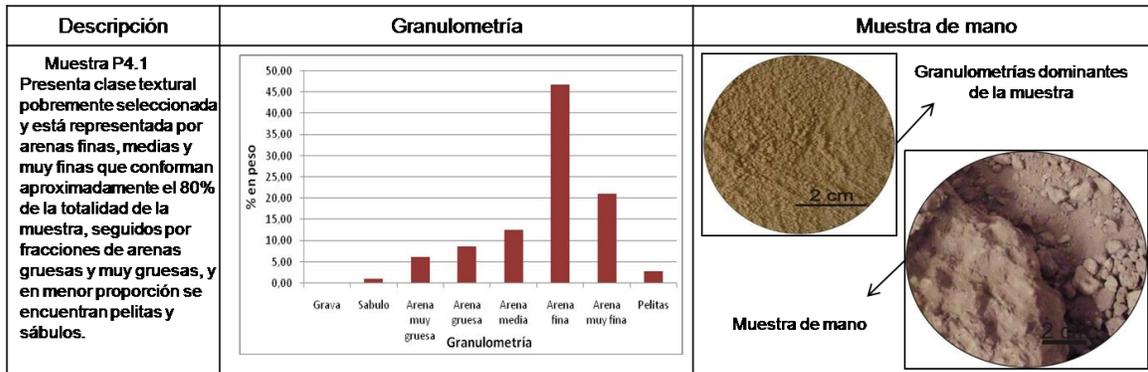
Se encuentra aflorando en uno de los sistemas principales de cárcavas ubicadas en la parte Oeste de la cuenca, perteneciente al tramo superior de la misma.

El perfil presenta base cubierta (Fig. 2.11) y los espesores de los diferentes cuerpos son variables, por lo que se muestran sus espesores promedio. Sobre la base se encuentran 2,5 m de arenas finas a muy finas color pardo rosado, fuertemente cementadas con carbonato de calcio, con clastos de toscas dispersos. El análisis textural de la muestra, que fue sometida a ataque con ácido clorhídrico, se observa en el cuadro

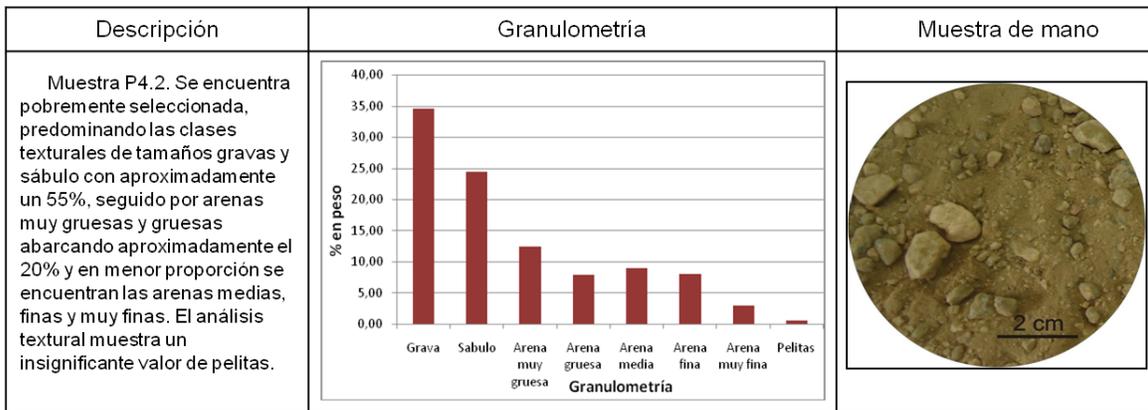
2.2. Separado por un contacto neto, suprayace un cuerpo de 1,5 m de materiales gravosos de composición principalmente cuarzo-feldespática y algunos fragmentos líticos, presentando una matriz arenosa fina. El análisis textural se observa en el cuadro 2.3. La sección continúa, luego de un contacto neto, con 4 m de arenas medias, finas y escasas arenas gruesas, masivas en la base aunque con presencia de laminación en numerosos sectores como se indica en la Fig.2.11 (2c). El análisis textural se muestra en el cuadro 2.4. Por encima de las mismas y mediante un contacto gradual, yacen 2 m de arenas finas, muy finas y medias, con gravillas dispersas, cuyo análisis textural se observa en el cuadro 2.5. La secuencia continúa con 4 m de arenas muy finas limosas masivas, de color pardo, con gravillas concentradas en algunos sectores. En la parte superior (1 m) los mismos materiales exhiben coloración más oscura, con altos contenidos de materia orgánica y bioturbaciones. El análisis textural de una muestra representativa de dicha unidad se observa en el cuadro 2.6. La secuencia culmina con 0,50 m de materiales arenosos finos y limos con escasa materia orgánica.



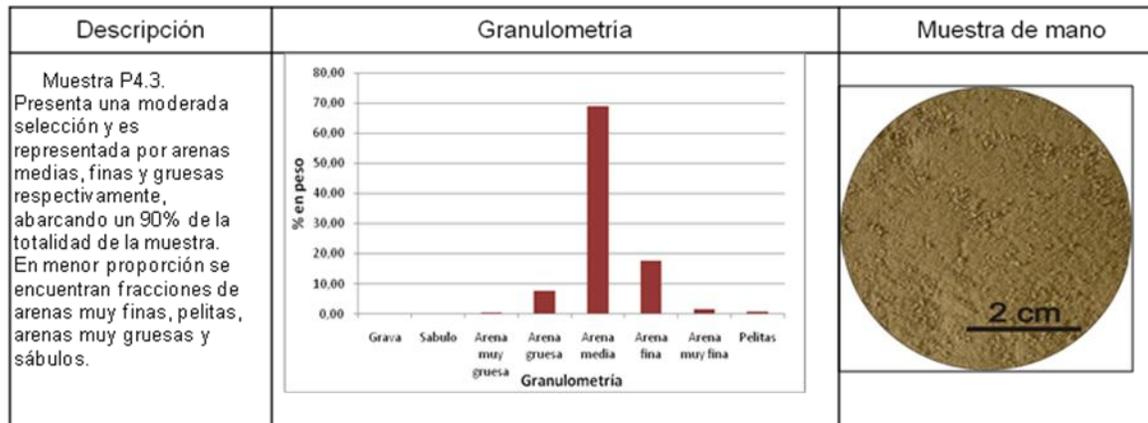
**Figura 2.11:1-** Esquema perfil sedimentario. **2-** Perfil sedimentario, correspondiente al tramo medio. **2a.** Limos con carbonatos. **2b.** Arenas gruesas con gravas. **2c.** material fino con laminación paralela. **2d.** Arenas muy finas con gravillas dispersas (mejor expresadas en otro sector de los afloramientos). **2e.** arenas muy finas con gravillas concentradas en algunos sectores.



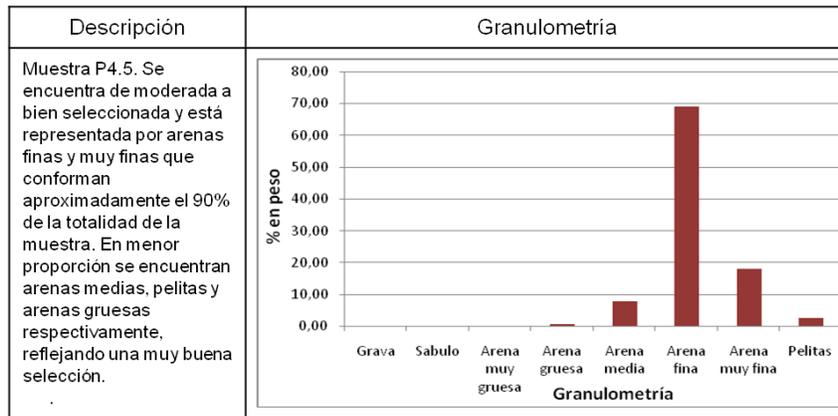
Cuadro 2.2: Análisis textural de la muestra P4.1.



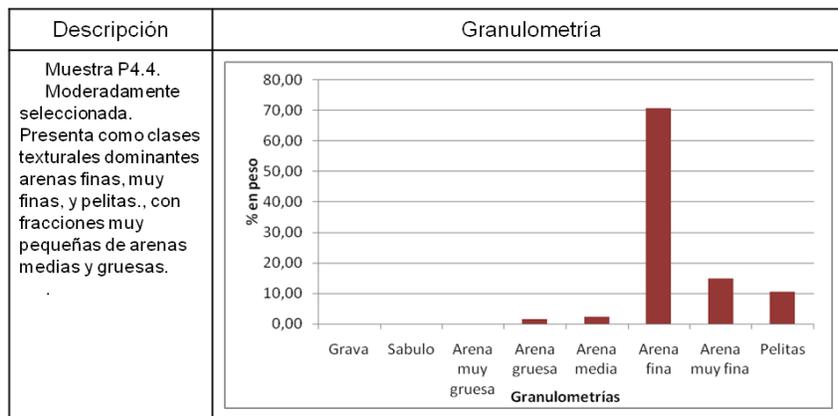
Cuadro 2.3: Análisis textural de la muestra P4.2.



Cuadro 2.4: Análisis textural de la muestra P4.3.



**Cuadro 2.5:** Análisis textural de la muestra P4.5.



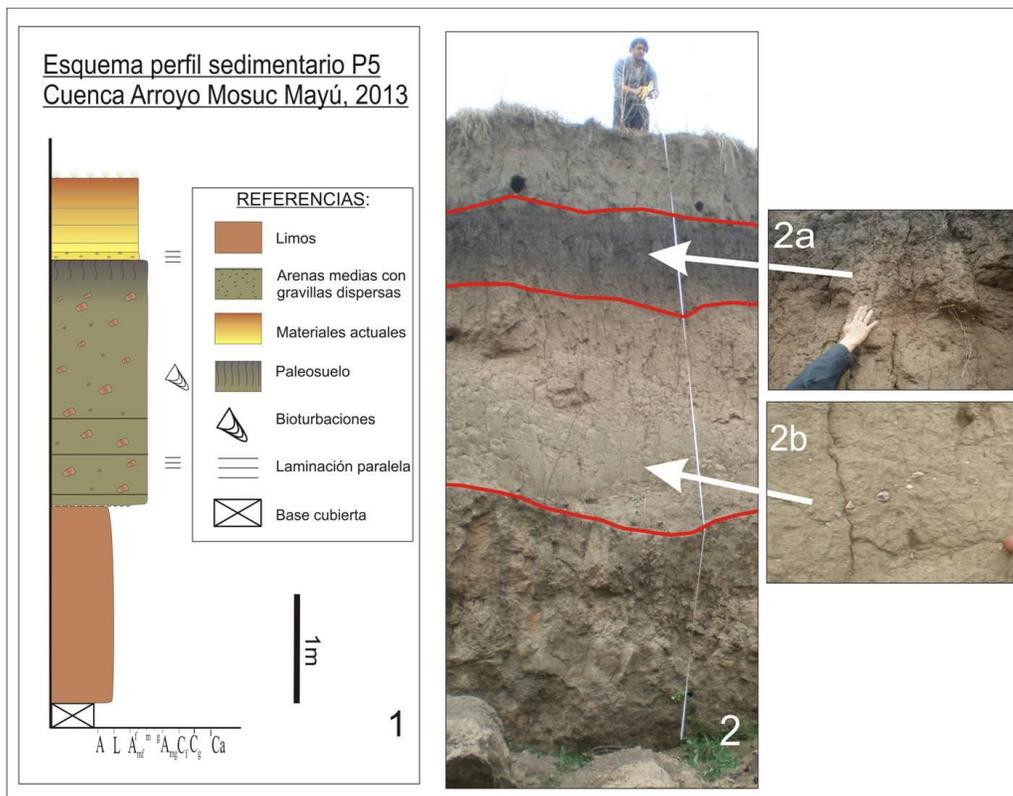
**Cuadro 2.6:** Análisis textural de la muestra P4.4.

La unidad inferior del perfil descrito, por sus características típicas, especialmente el alto grado de cementación, se interpreta como el afloramiento de la Fm. Pampiano (Cantú 1992) de origen eólico, depositados durante un importante periodo de aridez, cementados por carbonatos de calcio. La misma se encuentra cubierta por materiales areno-gravosos de origen fluvial, los cuales pueden ser correlacionados, según su posición estratigráfica con la Fm. Chocancharava (Cantú 1990), depositada en un régimen fluvial producto de un periodo interglaciar. Dicha formación culmina con sedimentos arenosos más finos, con gravillas dispersas, las cuales representan una disminución en la energía del sistema fluvial. Los materiales arenosos medios-finos que sobreyacen a estos, son interpretados como un probable flujo denso con variaciones, los más masivos de la base equivaldrían más claramente a la época seca de la Fm. La Invernada mientras que las laminaciones se corresponderían con algún flujo efímero. Posteriormente se depositaron arenas finas y muy finas con gravillas dispersas, típicas también de remoción en masa o flujo denso, que se corresponderían con un ciclo más húmedo cuando en algunos sectores de la llanura se depositó la Fm Las Lajas. Por último se encuentra una potente unidad homogénea de

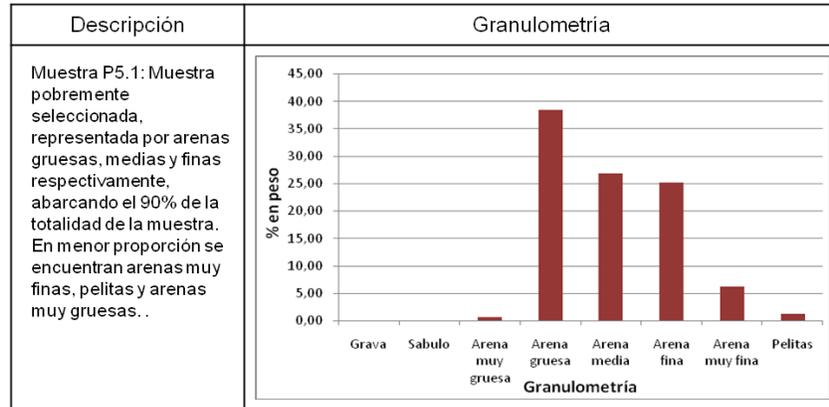
materiales arenosos finos a muy finos, equivalentes a la Fm. Laguna Oscura de origen eólico, con episodios coluviales localizados, representados por gravillas que se observan concentradas en algunos sectores del perfil (flujos efímeros). Este depósito muestra en la parte superior un suelo cubierto en épocas históricas por sedimentos re movilizados en este entorno, pobremente edafizados.

**Perfil 5 (P5):**

Se encuentra aflorando en un sistema de cárcavas ubicada en la parte Oeste de la cuenca, perteneciente al tramo superior de la misma. Presenta base cubierta (Fig. 2.12), seguido por 1,6 m de limos color pardo rosado cementado. Sobreyacen, sobre una superficie erosiva, 1,8 m de arenas medias y finas, con laminación y gravillas dispersas de hasta 1 cm de eje mayor, de composición cuarzo-feldespática principalmente y algunos fragmentos líticos, cuyo análisis textural, de una muestra representativa, se observa en el cuadro 2.7. Los 0,20 m superiores presentan los mismos materiales arenosos, de coloración más oscura, con alto contenido de materia orgánica y bioturbaciones. La secuencia culmina con 0,80 m, groseramente laminados, de los cuales los 0,10 m superiores presentan laminación más clara y gravillas y gravas dispersas.



**Figura 2.12:** 1- Esquema perfil sedimentario. 2- Perfil sedimentario. 2 a. Paleosuelo. 2b. Arenas medias y finas con gravillas dispersas.



**Cuadro 2.7:** Análisis textural de la muestra P5.1.

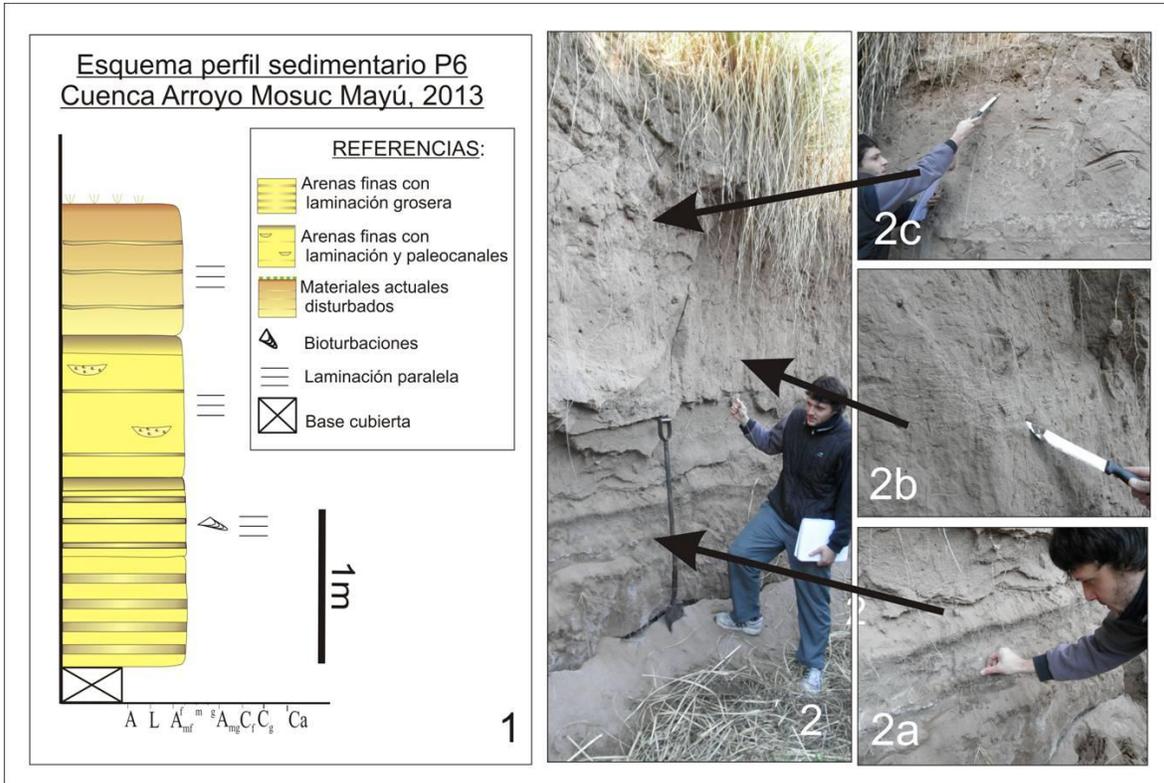
El perfil comienza con depósitos pertenecientes a un ambiente eólico, que de acuerdo con su posición estratigráfica y grado de cementación, se interpretan como equivalentes a la Fm. Pampiano, aunque con dudas. Los materiales arenosos medios y finos, con laminación y gravillas, indican la presencia de un ambiente álcico que hacia arriba va pasando a palustre. Todo esto podría corresponderse con los ciclos húmedos equivalentes al Pleistoceno superior y Holoceno medio de las Fm. Chocancharava y Fm. Las Lajas, aunque debe destacarse que en ese caso no se observan los clásicos eólicos, por lo que para la asignación de edades y nombres formacionales sería necesario una descripción más detallada de perfiles cercanos. En la parte superior de este paquete se desarrolló un importante proceso de edafización (alta MO, prismas), luego decapitado por procesos actuales, que han removilizado y depositado sedimentos arenosos finos con laminaciones (escasamente edafizados), proceso potenciado por la poca protección de los suelos sometidos a siembra directa.

**Perfil 6 (P6):**

Ubicado en el tramo medio de la cuenca, sobre la margen derecha del Arroyo Mosuc Mayú, en cercanías del puente que permite el paso de la Ruta Nacional N°36.

Presenta base cubierta (Fig. 2.13) seguida por 0,70 m de materiales arenosos finos- limosos con presencia de laminación paralela que separa estratos del orden de 10 cm de espesor, en las cuales se observan contenidos importantes de materia orgánica, la que se acumula especialmente en la parte superior del cuerpo. Siguiendo la secuencia se encuentran 0,55 m de arenas finas-limosas altamente bioturbadas, con presencia de laminación paralela, en cuyos planos se acumula materia orgánica. Sobreyacen 0,90 m de arenas finas-limosas con presencia de laminación paralela, pero los estratos son de mayor espesor. Se observan pequeños cuerpos acuñados con materiales arenosos

medios a gruesos. La parte superior de este cuerpo presente acumulación más notoria de materia orgánica. En la parte superior del perfil se acumularon 0,90 m de sedimentos arenosos muy finos, laminados.



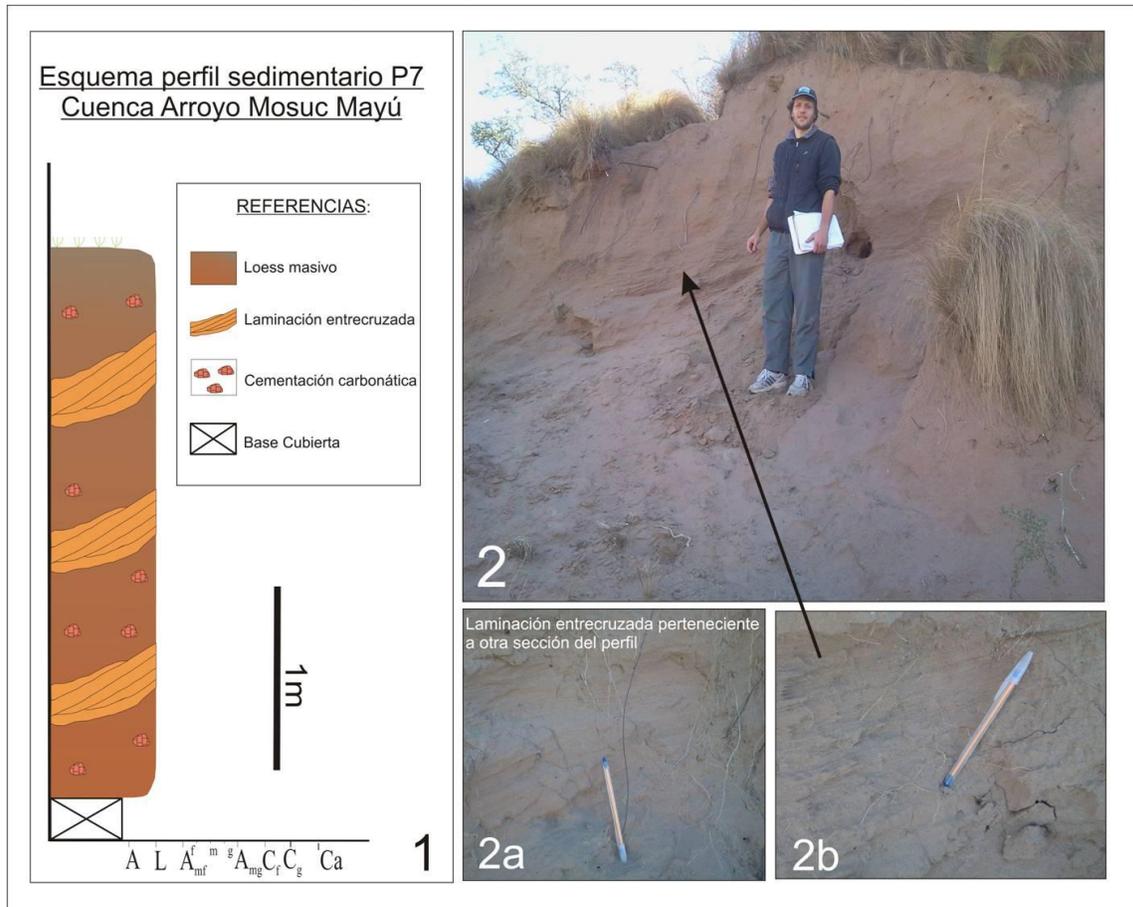
**Figura 2.13:** 1. Esquema de perfil sedimentario. 2. Perfil sedimentario, ubicado en la margen derecha del arroyo Mosuc Mayú, en su tramo medio-inferior. 2a. arenas finas con laminación paralela. 2b. Arenas finas con pequeños paleocanales. 2c. Arenas muy finas limosas.

Los materiales descritos en el perfil se interpretan como pertenecientes a un ambiente fluvial, indicando con la presencia de paleocanales y el aumento de tamaño de grano en su interior períodos de mayor energía. Por su parte, los tramos superiores de casi todos los cuerpos descritos, con alto contenido de MO, indican el decrecimiento de la energía del agente y la instalación de un sistema fluvial más impedido casi palustre. Por último, se produce una acumulación de materiales resultantes de la removilización de sedimentos por escurrimiento superficiales en el clima actual, con escasa edafización.

### **Perfil 7 (P7):**

Se encuentra en el tramo inferior de la cuenca expuesto sobre un camino que atraviesa al médano que se encuentra en el sector Este de la cuenca.

La secuencia presenta base cubierta (Fig. 2.14) y suprayace un cuerpo de 2,70 m de sedimentos arenosos finos y limosos, con laminaciones entrecruzadas y cementaciones carbonáticas, las cuales se encuentran dispersas en la masa y en forma de nódulos.



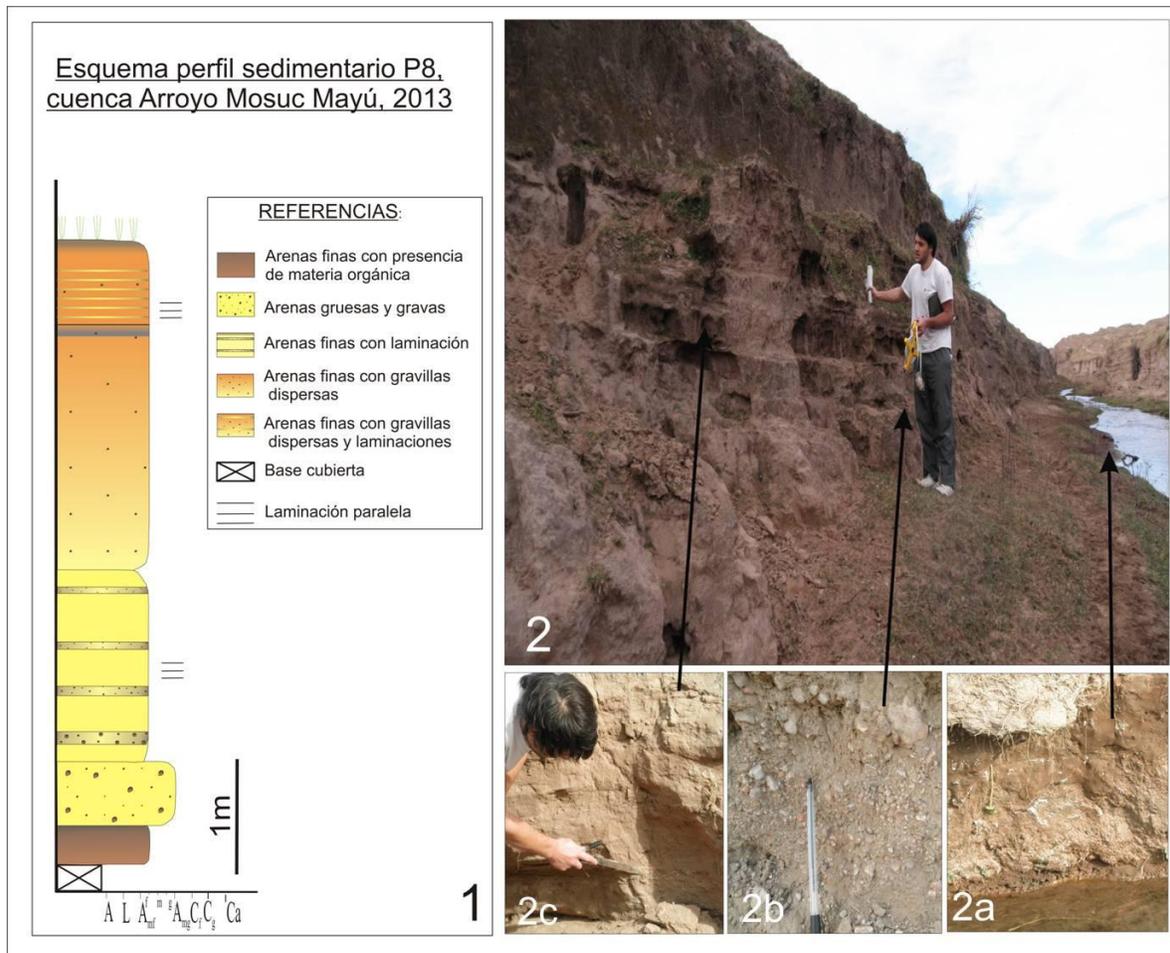
**Figura 2.14:** 1- Esquema de perfil sedimentario. 2- Foto de perfil sedimentario. 2a y 2b limos con laminación entrecruzada.

Los materiales descriptos representan depósitos eólicos, que conforman un médano de 5 km de longitud y 1 km de ancho, de edades históricas, actualmente estabilizado, que pertenece a la removilización de la Fm Laguna Oscura durante la Pequeña Edad de Hielo (Edad Media). Las estructuras entrecruzadas poseen una disposición que representa la dirección de migración del médano. El carbonato disperso y los nódulos son el resultado de la precipitación de estas sales en períodos secos.

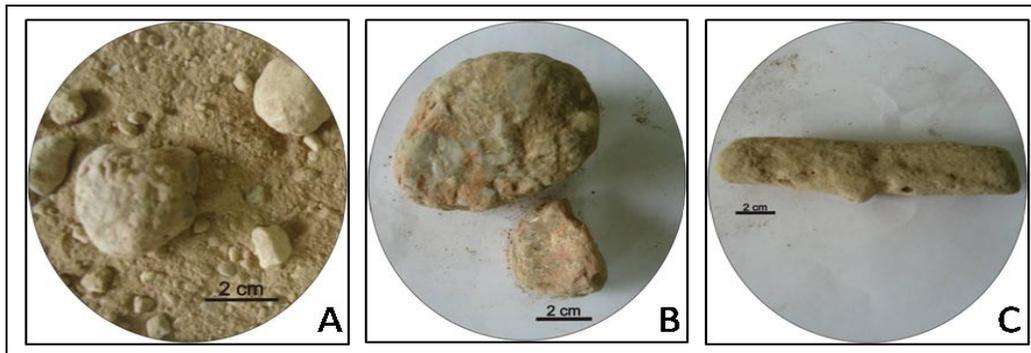
**Perfil 8 (P8):**

El perfil fue relevado en el tramo inferior de la cuenca, sobre un camino rural en cercanías al vado del arroyo Mosuc Mayú (margen izquierda).

La base se encuentra cubierta (Fig. 2.15), comienza con 0,3 m de sedimentos arenosos finos, de color rojizo fuertemente cementado, con presencia de materia orgánica. Suprayacen a los anteriores, mediante contacto neto y erosivo, 0,50 m de arenas y gravas de tamaños de hasta a 10 cm de eje mayor que presentan una composición ígnea predominante, aunque también se encuentran clastos de composición metamórfica y fragmentos de tosca. (Fig. 2.15 (2b) y 2.16). La secuencia continúa con un cuerpo de 1,50 m con laminaciones, que separan paquetes del orden de 20 cm, en general de sedimentos arenosos, en cuya base se observan delgadas capas del orden de 5 cm de gravas y arenas, que hacia la parte superior del cuerpo disminuye de espesor y de tamaño de grano. La depositación culmina con 2,5 m arenas finas limosas con presencia de escasas gravillas dispersas en la base, de hasta 5 cm de eje mayor. En el techo aparecen sedimentos psamo-peliticos laminados.



**Figura 2.15:** 1- Esquema perfil sedimentario P8. 2- Perfil sedimentario P8. **2 a.** Arenas finas con presencia de materia orgánica. **2b.** Arenas gruesas y gravas. **2c.** Arenas finas con laminación.



**Figura 2.16:** A- Materiales gravo-arenosos de la segunda unidad del perfil. B- Clastos de composición ígnea de la misma unidad. C- Clasto de tosca perteneciente a la misma unidad.

El material fino cementado descrito para la base se interpreta como Fm. Pampiano (Pleistoceno), seguidos por sedimentos arenosos de canal, con presencia de gravas, que se pueden correlacionar a un ciclo húmedo perteneciente a la Fm. Chocancharava (Cantú, 1992). Los sedimentos arenosos finos representan una disminución en la energía del sistema fluvial, con la finalización del ciclo húmedo, que se intercala con pequeños episodios de mayor energía también decrecientes hacia el techo. Estos últimos podrían corresponder al ciclo húmedo de la Fm. Las Lajas. Los sedimentos arenosos muy finos masivos se corresponden con un período más seco que podría asignarse a la Fm. Laguna Oscura (Holoceno superior), que en la parte superior muestran edafización. Los sedimentos laminados del techo se corresponden con escurrimientos actuales de baja energía durante el presente clima húmedo. La edafización de estos materiales es baja.

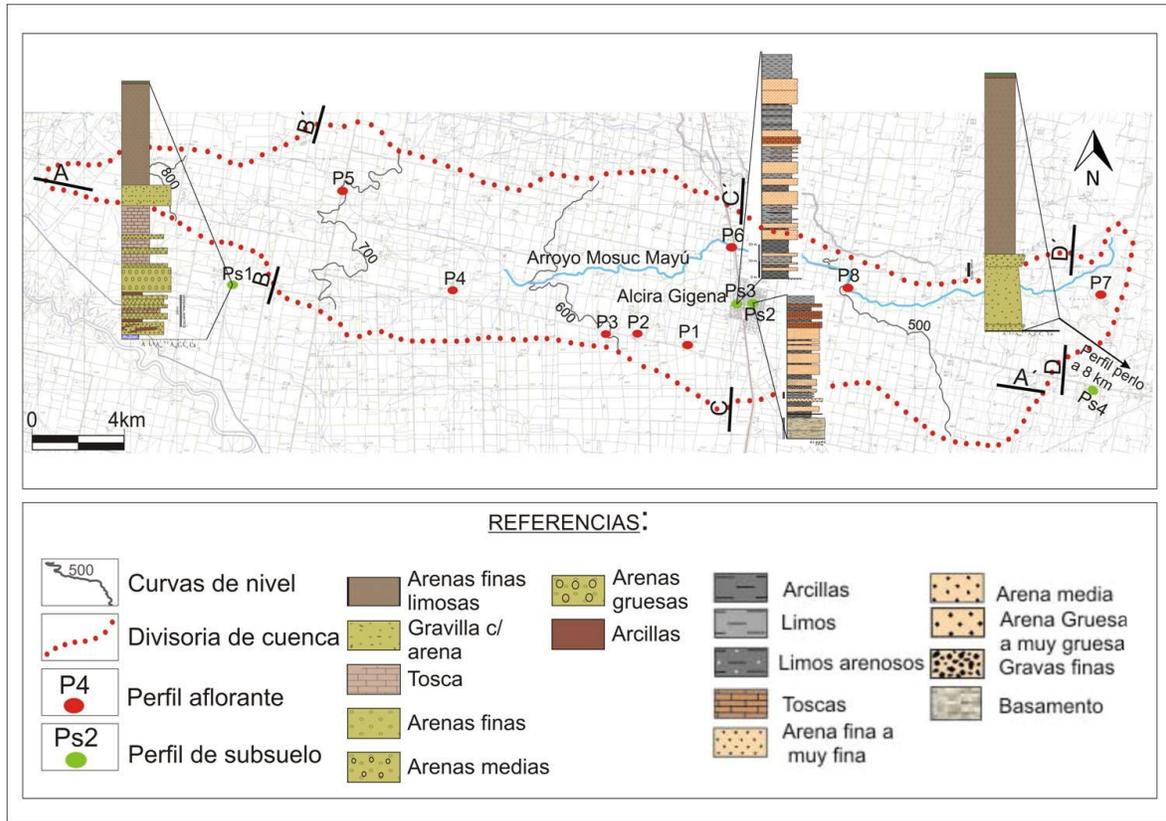
#### **2.2.2.2-Geología de subsuelo:**

Con el objetivo de conocer en detalle el subsuelo de la zona de estudio, se recabaron datos pertenecientes a organismos públicos de la localidad de Alcira Gigena y particulares de la zona rural, los cuales realizaron perforaciones para abastecerse de agua subterránea, tanto para consumo humano como para las distintas actividades agrícolas y ganaderas.

Los datos obtenidos son de gran importancia para establecer la relación lateral y vertical de sedimentación y ubicación del basamento, influenciado de manera significativa por el tectonismo.

### 2.2.2.2.1- Descripción de perfiles de subsuelo

Se contó con cuatro perforaciones con la litología detallada (Fig. 2.17), una perteneciente a la escuela Bartolomé Mitre, ubicada en el tramo superior de la cuenca, cercana al límite Sur del área de estudio, dos perforaciones, brindadas por la Cooperativa de Alcira Gigena, en el tramo medio de la misma y una perforación brindada por Carranza perforaciones, ubicada en el tramo inferior de la cuenca.



**Figura 2.17:** Ubicación de perfiles de subsuelo y perforaciones

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

Se encuentra ubicado en la Escuela rural Bartolomé Mitre (Fig. 2.18), fue realizada por la empresa PROCATAN SRL. En la misma se observa una importante variabilidad de granulometrías, dominando en la parte inferior, desde 160 m a 65 m materiales arenosos finos a gruesos con pequeñas intercalaciones de arcillas y toscas y en la parte superior sedimentos más finos, a partir de los 65 m, hasta la superficie, representados principalmente por limos. Un dato muy relevante es la presencia de basamento a los 160 m.



***Perfiles de subsuelo 2 y 3 (Ps2 y Ps3):***

Fueron brindadas por la Cooperativa de la localidad de Alcira Gigena y se ubican en el tramo medio de la cuenca (Fig. 2.18). La primera de ellas se encuentra al Este de la localidad (Ps2), en la cual se alcanzó basamento a los 75 m de profundidad, mientras que la segunda perforación, ubicada al Oeste de la localidad (Ps3), presenta 136 m de profundidad sin tocar basamento. Los materiales que atraviesan las dos perforaciones son mayormente finos, predominando toscas, limos y arcillas, observándose en menor proporción, cuerpos de arenas finas y gruesas.

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

Se encuentra ubicada a 8 km del límite Oriental de la zona de estudio, fuera de la misma, en el establecimiento rural Perlo (Fig. 2.18). Fue brindada por Carranza Perforaciones. Presenta 100 m de profundidad sin alumbrar basamento. En la misma se observa un dominio de materiales limo-arenosos finos en la parte superior del perfil, y dominio de arenas medias a gruesas y muy gruesas en la parte inferior del mismo.

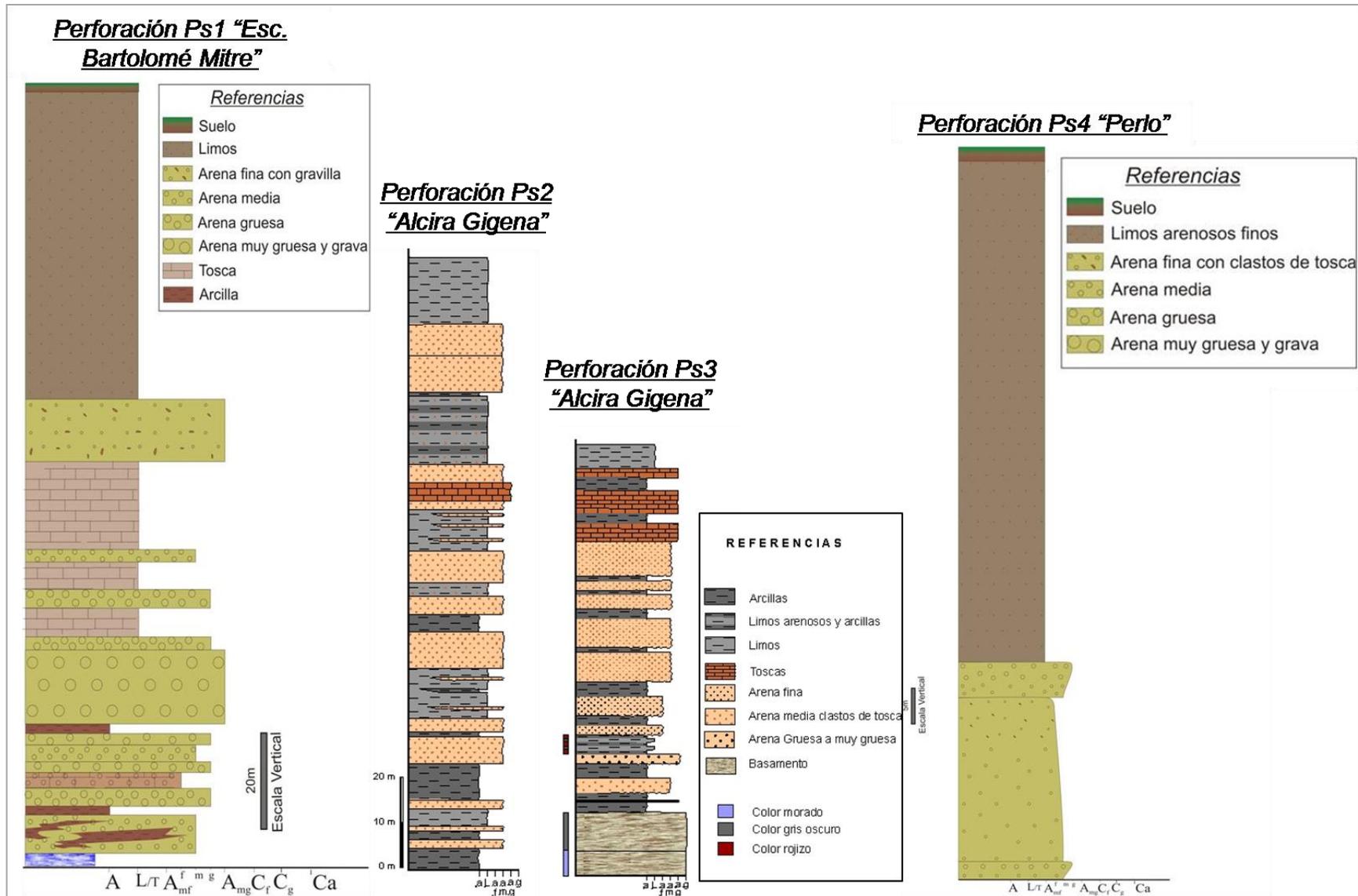


Figura 2.18: Perfiles litológicos de Perforaciones.

#### **2.2.2.2.2.- Perfiles geológicos esquemáticos:**

A partir de los datos recolectados en campo, acerca de la geología del área, se logró realizar perfiles geológicos esquemáticos en diferentes direcciones, con el objetivo de mostrar la variación de las diferentes litologías, aunque la información procedente de perforaciones es escasa para poder determinar si los datos son representativos de toda la cuenca. Así, se realizaron cuatro perfiles, cuya traza se ubica en la Figura 2.17. El perfil denominado A-A' posee dirección ONO-ESE y atraviesa toda la cuenca. Los restantes, denominados como B-B', C-C' y D-D', son más cortos, poseen dirección S-N y reflejan las variaciones en el tramo superior, medio e inferior de la cuenca.

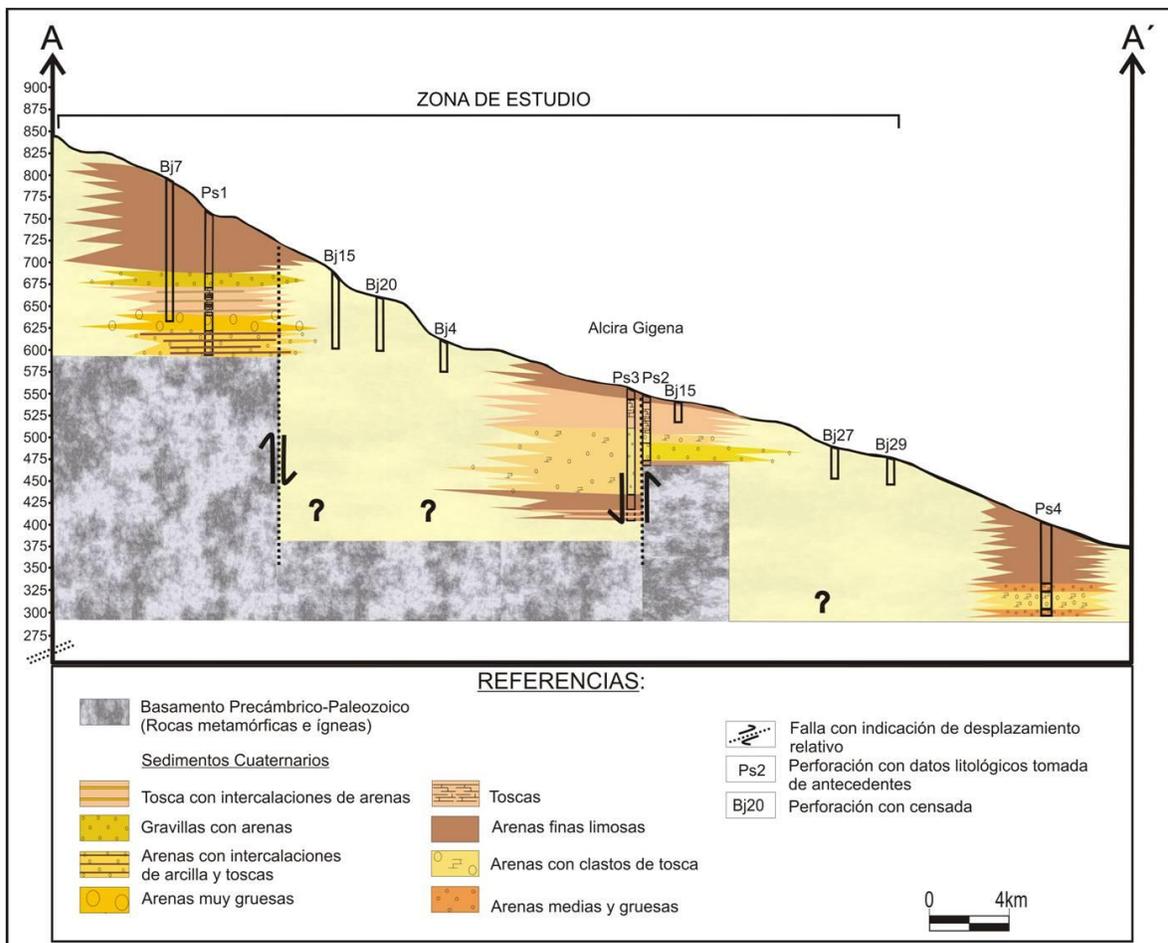
Todos los perfiles manifiestan una clara predominancia de materiales eólicos en la parte superior y materiales más gruesos como arenas y gravas a mayor profundidad, correspondientes a paleocauces. La presencia de basamento en dos de las perforaciones, a diferente profundidad, permite inferir una morfología de bloques similar a lo ya citado para áreas cercanas a las sierras por otros autores (Giuliano Albo, 2013). En las secuencias aflorantes observadas, los sedimentos más antiguos corresponden a materiales del Pleistoceno medio a superior (equivalentes a la Fm. Pampiano). En cuanto a los materiales de subsuelo se desconocen edades que puedan indicar si, en la zona de estudio, hay depósitos Neógenos hasta las profundidades alumbradas. A pesar de ello, es probable que pertenezcan a este período los materiales encontrados en la base de la perforación perteneciente a la escuela Bartolomé Mitre, gran parte de ellos con importante grado de cementación ("toscas").

Si bien las granulometrías de las perforaciones son variables, domina en profundidad, en Ps1 y Ps4 con más claridad, la presencia de abundantes capas de sedimentos gruesos psamo-psefiticos indicando un cambio importante en los procesos sedimentarios. Es probable que estas columnas litológicas con bases de sedimentos gruesos muestren el cambio del Neógeno (relacionados con ascensos de las sierras y procesos erosivos más marcados que permiten el transporte de materiales gruesos) y que gradualmente van pasando a sedimentos más finos del Cuaternario, periodo en el que dominan fundamentalmente secuencias eólicas vinculadas a las glaciaciones.

#### **Perfil geológico esquemático A-A':**

El perfil atraviesa la cuenca en sentido ONO-ESE (Fig. 2.19), la transecta fue realizada con el objetivo de remarcar las diferentes variaciones a lo largo de la misma, en la topografía y el subsuelo. En él se observa el descenso escalonado del basamento en

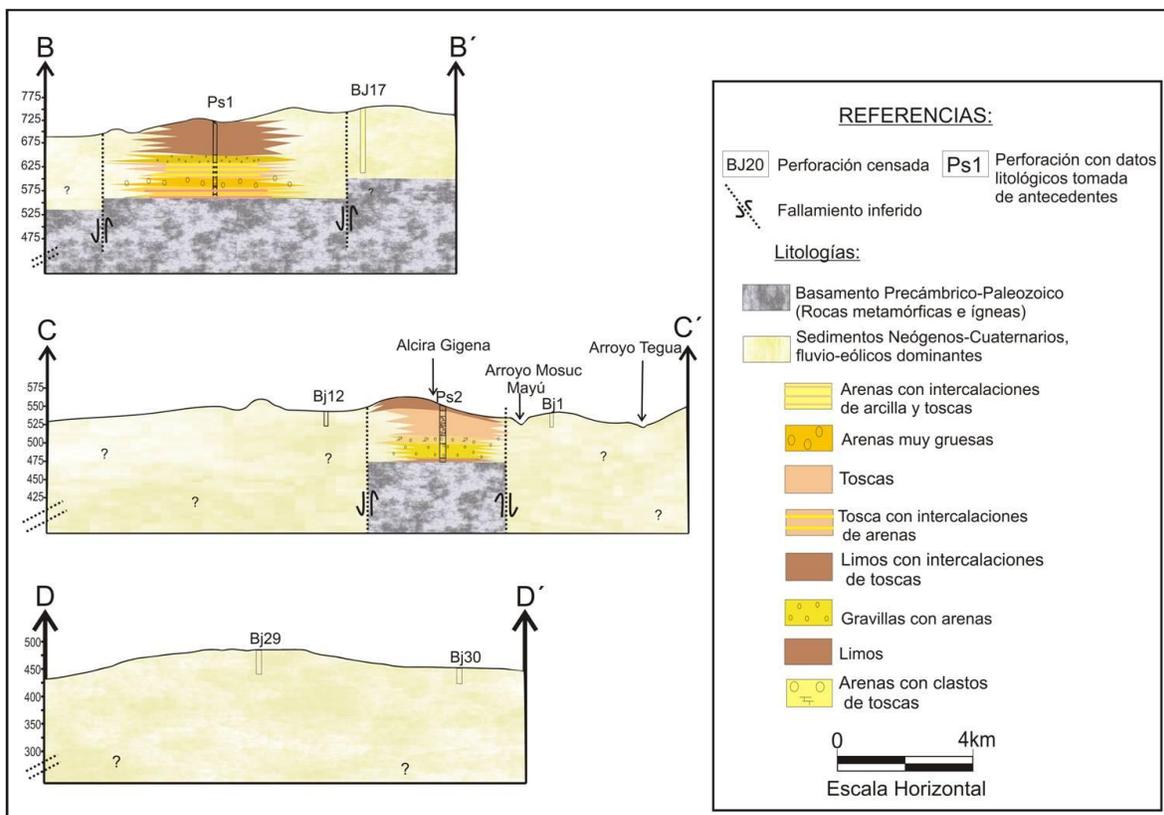
bloques, limitados por estructuras de rumbo N-S, teniendo incertidumbre de la posición del basamento, entre el sector de tramo medio y superior de la cuenca, donde no se cuentan con datos puntuales acerca de su ubicación, con lo cual se sugiere realizar geofísica en la zona o perforar hasta el basamento para poder mejorar el esquema del subsuelo de la zona de estudio y la región. Se observa un dominio de materiales finos limosos, formando parte de una cubierta eólica, la cual presenta mayores espesores hacia el Oeste y el Este de la cuenca, disminuyendo su potencia hacia el centro de la misma. Los materiales arenosos predominan a mayores profundidades, denotando la presencia de paleocauces de antiguos cursos fluviales en el sector.



**Figura 2.19:** Perfil geológico esquemático ONO-ESE del arroyo Mosuc Mayú, 2013.

### Perfiles geológicos esquemáticos de orientación S-N (B-B´, C-C´ Y D-D´)

Se realizaron tres perfiles de rumbo S-N, de los cuales el denominado B-B´ se encuentra ubicado en el tramo superior de la cuenca, C-C´ en el tramo medio y D-D´ en el tramo inferior, atravesando todo el ancho de la misma (Fig. 2.20). Tanto B-B´ como C-C´ muestran el relieve fuertemente ondulado que caracteriza al tramo alto y medio de la cuenca, mientras que en D-D´, se observa un relieve más plano con mínimas ondulaciones. El basamento en cuenca alta se observa segmentado por dos estructuras de rumbo E-O que conforman pequeños bloques escalonados levemente hacia el Sur, por su parte en el tramo medio de la misma (perfil C-C´), sólo se observa un bloque de basamento alcanzado por una perforación de la localidad de Alcira Gigena, el cual no se infiere que exista en todo el sector, debido a que no ha sido alcanzado en otras perforaciones cercanas. Finalmente en el tramo inferior, no se detectó basamento, al menos en los primeros 100 m explorados.



**Figura 2.20:** Perfiles geológicos esquemáticos S-N, B-B´, C-C´ y D-D´, pertenecientes a la cuenca alta, media y baja respectivamente, arroyo Mosuc Mayú.



### **2.2.3.- Evolución geológica de la Cuenca del arroyo Mosuc Mayú en el marco regional**

El medio sedimentario de la cuenca estudiada se apoya sobre el basamento cristalino compuesto por rocas ígneas y metamórficas, las cuales afloran al Oeste, fuera del área de estudio. El basamento, del Precámbrico-Paleozoico inferior, sufrió durante el Paleozoico superior un régimen compresivo, generando una segmentación en mega-bloques limitados por importantes estructuras.

A partir del Mesozoico comienza a predominar un régimen distensivo donde se da uno de los procesos más importantes durante el Cretácico, tal como la apertura del Océano Atlántico. La Llanura Chacopampeana se ve afectada directamente por este régimen, dando lugar en distintas regiones a la formación de depocentros.

Durante el Mioceno-Plioceno, el importante evento compresivo que causa la segmentación de los Andes, genera la reactivación y levantamiento de las sierras hasta alcanzar su morfología actual. Las planicies pedemontanas reciben la sedimentación proveniente de dicho levantamiento y se desarrolla redes fluviales antecedentes y nuevas, controladas estructuralmente y afectadas durante el Cuaternario por importantes variaciones climáticas. Por la posición de la cuenca estudiada los depósitos predominantemente gruesos de la base de las perforaciones podrían asumirse como pertenecientes al Neógeno alto, es decir equivalentes a la Fm Tigre Muerto (Blarasin et al., 2000), asociadas a un régimen de mayor energía vinculado al último movimiento ándico y en persistencia de condiciones climáticas húmedas (Degiovanni et al., 2005). En cercanías del área de estudio importantes secuencias fluviales de la Fm. Alpa Corral (Cantú, 1992), del límite Mioceno-Plioceno, descritas en las bases de las barrancas de río homónimo, podrían corresponderse parcialmente con la formación citada para la base de las perforaciones. Al Este de la provincia, ocurrió una importante transgresión marina miocena, de aguas someras y cálidas, correspondiente a la Fm. Paraná (Yrigoyen, 1969), que no afectó al Valle de la Cruz donde se sitúa la cuenca estudiada.

Durante el Pleistoceno Medio a Superior se depositaron materiales equivalentes a la Fm. Pampiano (Cantú, 1992), la cual está conformada por limos y limos arenosos fuertemente cementados, en general de origen eólico, tal como se describe en los perfiles P4, P5 y P8.

Gravas y arenas gruesas de origen fluvial, sobreyacen a los depósitos Pampianos, como se observan en los perfiles P4, P5 y P8, las cuales se explican como equivalentes a la Fm. Chocancharava (Cantú, 1992), que tuvo lugar en el Pleistoceno Superior donde se



depositaron materiales que responden a un ciclo más húmedo, interglaciar, el cual permitió la instalación de redes de drenajes cuyos depósitos indican un alto nivel de energía.

Para el Pleistoceno Superior tardío y Holoceno Bajo una aridización en el clima, producto de un período glaciario, llevó a la depositación de importantes secuencias eólicas limo-arenosas muy finas compuestas principalmente de loess depositados en manto, denominado Fm. La Invernada (Cantú, 1992), cuyo perfil tipo se ubica al Sur de la cuenca estudiada. En la zona de estudio, dado que los perfiles aflorantes no son muy potentes puede estar en el subsuelo, aunque los sedimentos asignados a flujos densos, más finos y masivos en la base, descritos en el perfil P4, podrían ser coetáneos con la época seca de la Fm. La Invernada.

La instalación de un clima húmedo de menor magnitud que el del Pleistoceno, permite la reinstalación de los sistemas de drenaje, por lo que se hallaron paleocanales con materiales arenosos que indican menor régimen de energía, típicos de la Fm. Las Lajas (Cantú, 1992), tal como se observa en los perfiles P2, P3, P4, P5 y P8, Este período que se desarrolla en el Holoceno medio, se corresponde con un período interglaciario.

En el Holoceno Superior, se depositaron sedimentos típicos de un ambiente eólico pronunciado que se extiende en todo el Sur de la provincia de Córdoba, que conforman un depósito tabular descrito como Fm. Laguna Oscura (Cantú, 1992). Las arenas muy finas-limosas de esta época están representadas en casi todos los perfiles P1, P2, P3, P4, P8.

Luego de los grandes ciclos glaciares e interglaciares, los cuales generaron la depositación de potentes secuencias eólicas y fluviales descritas, se extiende de forma generalizada el régimen húmedo actual, el cual favorece la evolución de un suelo con altos contenidos de materia orgánica (P4) sobre los depósitos de la Fm. Laguna Oscura (u otros pertenecientes al Holoceno superior). Este régimen climático se interrumpe durante un breve período de tiempo en lo que se denominó Pequeña Edad de Hielo (800-200 años AP, Iriando 1999), al que se asigna el origen de las dunas parabólicas características de esta zona. En la zona de estudio se ve reflejado este período en la duna parabólica de importantes dimensiones, mapeada al Este de la misma, representada por el perfil P7.

En tiempos actuales, principalmente los procesos de escurrimiento de agua en superficie, removilizaron sedimentos que en todos los perfiles descritos (P1, P2, P4, P5, P6 y P8) aparecen laminados, con espesores de hasta casi 1 m. Estos escurrimientos y



transporte de sedimentos están condicionados por la poca cobertura vegetal de los suelos (mal manejo), las intensas lluvias, la susceptibilidad de los sedimentos a la erosión y las altas pendientes.

---

# Capítulo 3

---

Geomorfología  
Regional y Local

---

### **3.1- Geomorfología Regional:**

#### **3.1.1- Introducción:**

La reconstrucción geomorfológica regional se efectuó en base a estudios realizados por diversos autores, destacándose trabajos como: Cantú y Degiovanni, 1984; Degiovanni, 2005; Degiovanni et al., 2003; Doffo y Degiovanni, 1993; Iriondo, 1987; Cantú y Degiovanni, 1984; Magnante, 2012 y Olthof, 2013.

A escala regional la geomorfología del Sur de la provincia de Córdoba está estrechamente vinculada a la estructura de bloques que caracterizan a las Sierras Pampeanas y Llanura Chaco-pampeana, a las variaciones climáticas del Cuaternario y a eventos neotectónicos. (Degiovanni, 2005).

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

La Llanura Chaco-Pampeana, forma parte de una unidad mucho más extensa que atraviesa todo el continente sudamericano, desde los llanos de Colombia y Venezuela al Norte, hasta las pampas de la República Argentina al Sur. En esta planicie predominantemente agradacional las variaciones de relieve se relacionan a la presencia de bloques estructurales, algunos de ellos con probada actividad neotectónica, y a los ciclos de denudación-agradación controlados por las oscilaciones climáticas del Cuaternario.

La gran extensión areal y la dinámica que presenta el Sur de la Provincia de Córdoba, permite dividir la misma en diferentes unidades geomorfológicas (Degiovanni, 2005), como se observa en la figura 3.1. Serán descriptas en detalle aquellas que tienen influencia sobre la zona de estudio.



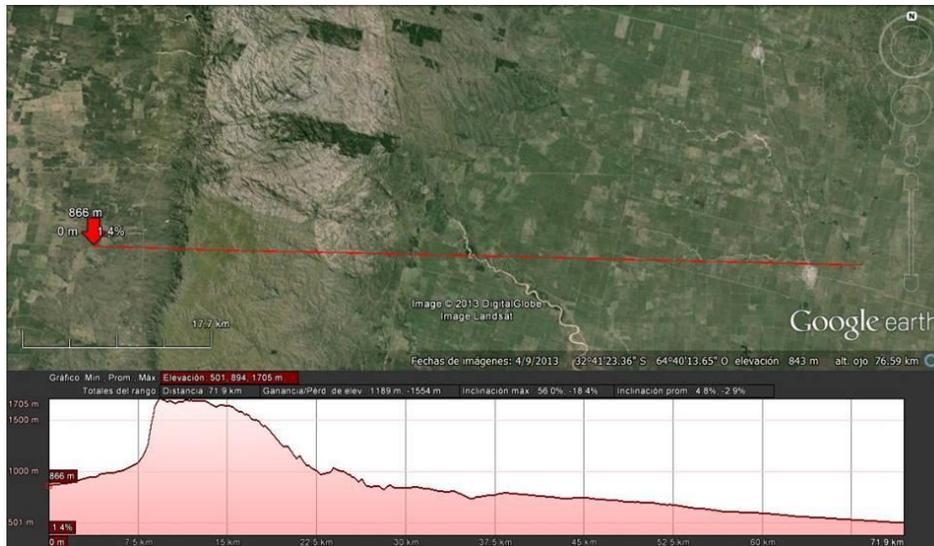
Figura 3.1: Mapa Geomorfológico del Sur de Córdoba. Tomado de Degiovanni (2005)

### Sistema Sierras pampeanas (D):

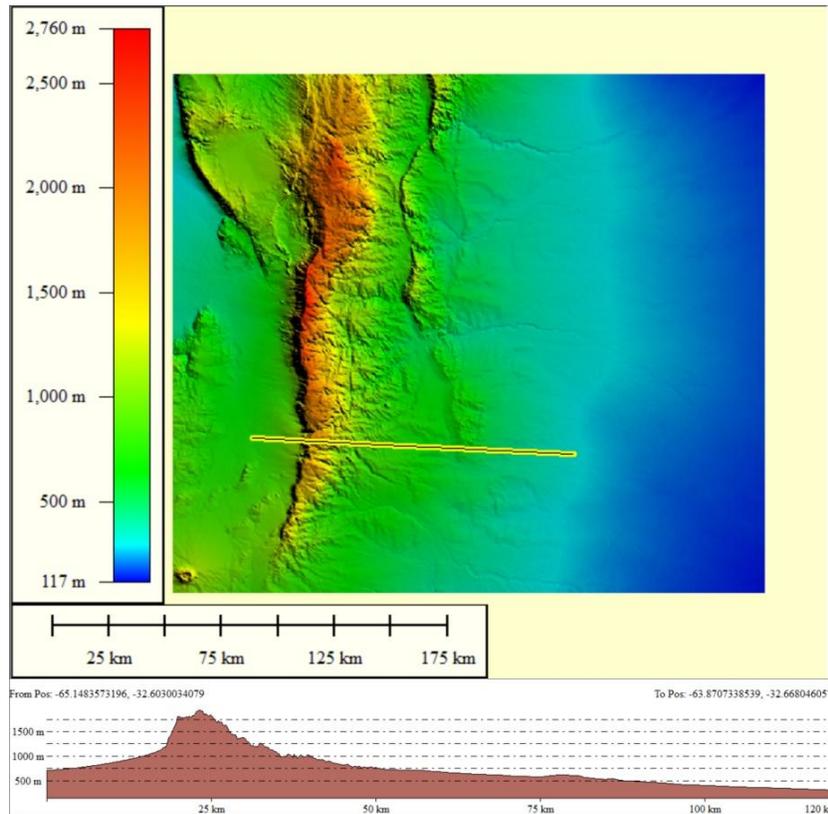
#### Sierras de Comechingones (D1):

Las Sierras de Comechingones tienen un rumbo NNE-SSO, un ancho variable que se reduce hacia el Sur (desde 35 a 6 Km aproximadamente) al igual que su altitud, que desciende desde 2.000 a 900 metros, conforme el rechazo de la falla de Comechingones disminuye y la escarpa queda sepultada por depósitos Cuaternarios. En sentido E-O, presenta la clásica asimetría de sierras Pampeanas con máximas alturas en su borde Occidental, que se hace menos notoria hacia el Sur donde la cubierta sedimentaria es más importante, y un borde Oriental más tendido (Fig. 3.2 y Fig. 3.3). En ambos sentidos, el descenso es escalonado, según megabloques (Degiovanni, 2005).

Con distinto grado de preservación estos bloques exhiben en sus partes cumbres, superficies de erosión antiguas (peneplanicie poligénica y diacrónica, Degiovanni et al., 2003), denominadas localmente como pampas de altura, y cerros relícticos de variada morfología. Estas superficies suelen estar cubiertas por depósitos eólicos del Pleistoceno y Holoceno los que están afectados por procesos de carcavamiento.



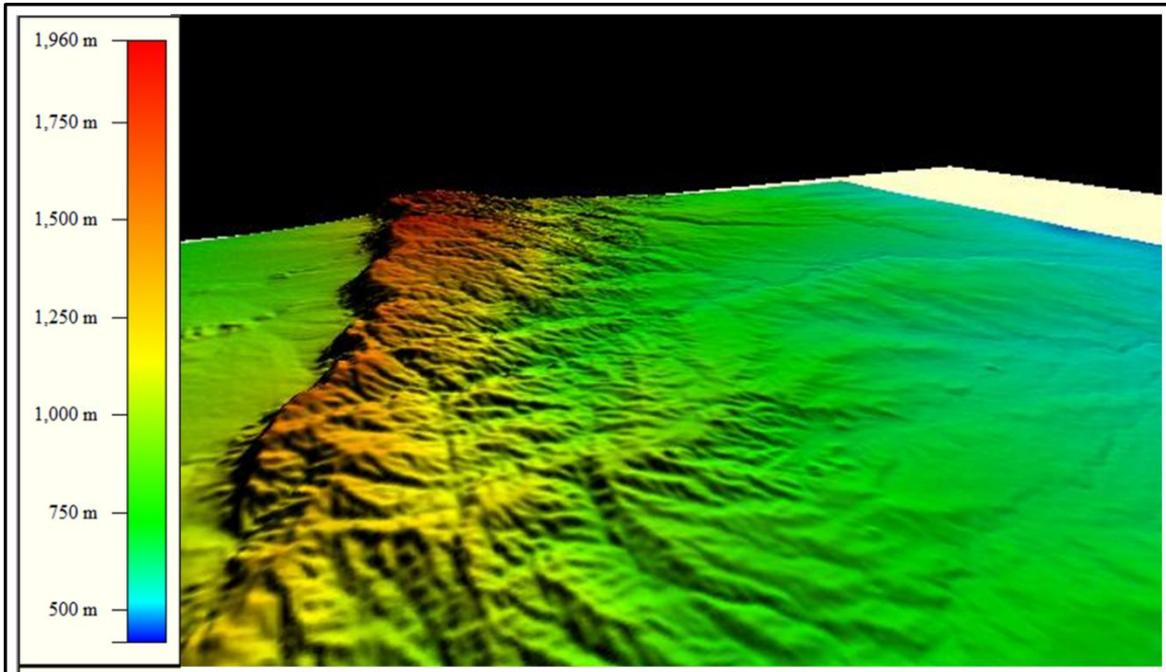
**Figura 3.2:** Perfil topográfico de la Sierra de Comechingones y llanura periserrana, obtenido mediante el programa Google Earth, 2013.



**Figura 3.3:** Perfil topográfico de la Sierra de Comechingones, llanura periserrana y Sa. de Las Peñas, obtenido mediante el programa Global Mapper, imagen SRTM de 90 km de resolución.

Se elaboró un Modelo de Elevación Digital del Terreno, mediante el programa Global Mapper, con una imagen SRTM de 90 km de resolución, donde se muestran las

variaciones de las pendientes a nivel regional (Fig. 3.4), observándose claramente la asimetría del relieve serrano con la pendiente Occidental abrupta y la Oriental con una disminución gradual hacia la Llanura Pampeana.



**Figura 3.4:** Modelo de elevación digital de la Sierra de Comechingones en perspectiva.

### **Llanura Pampeana (A):**

La Planicie Pampeana caracteriza las regiones centrales de Argentina e integra lo que Iriondo (1997 y 1999), denominara *Sistema Eólico Pampeano* (aproximadamente 600.000 km<sup>2</sup> de superficie). Desde el punto de vista morfoestructural, está constituida por un mosaico de bloques basculados y diferencialmente ascendidos que definen sectores positivos y áreas deprimidas, que condicionaron en las distintas épocas geológicas las características de los ambientes de sedimentación. Según Blarasin (2003) tienen importancia fundamental en el control de la dinámica y calidad de las aguas superficiales y subterráneas de la región.

Esta planicie, de pendiente general hacia el Este – Sudeste, presenta un relieve suave a moderadamente ondulado, a excepción de la faja periserrana que es fuertemente ondulada. Está integrado por formas eólicas y, subordinadamente, fluviales y palustres. Merece destacarse que la dinámica de estos ambientes está muy influenciada por la actividad antrópica, principalmente desde el siglo pasado cuando se introdujeron las

prácticas agrícola-ganaderas (Degiovanni, 2005). La creciente presión de uso de la tierra ha ocasionado importantes desequilibrios modificando la magnitud, localización y recurrencia de procesos naturales (erosión hídrica, eólica y fluvial, anegamiento, inundación y sedimentación fluvial, etc.) y alterando la calidad de los recursos suelos y aguas (Degiovanni, 2005). A continuación se sintetizan, a partir de Degiovanni (2005), las principales características de la gran unidad en la que se inscribe la cuenca estudiada, como se indica en la Figura 3.1.

## **A.2.- Llanura eólica bien drenada**

### **- A.2.1.- Planicie loessoide con dunas longitudinales**

Está ampliamente representada en todo el centro – Sur de la provincia de Córdoba, exhibe un relieve fuertemente ondulado bordeando la faja periserrana, corresponde a la llanura fuertemente ondulada (**A.2.1.a**), mientras que, hacia el Este-Sudeste, se hace más suave, mostrando planicies intermedias (**A.2.1.b**), con pendientes variables entre 3-7% y menores al 1%, respectivamente. En toda el área, afloran sedimentos arenosos finos de la Formación Laguna Oscura (Cantú, 1992).

## **3.2 –Geomorfología local:**

### **3.2.1 -Introducción:**

La zona en estudio, pertenece a la unidad Llanura Pampeana (Degiovanni 2005), la misma fue dividida en unidades y subunidades geomorfológicas (Fig. 3.5), que a la escala de semidetalle utilizada, resultó de gran utilidad para analizar los procesos geomorfológicos a nivel de la cuenca. Se trata de una zona con relieve poligénico donde dominan procesos fluviales y eólicos, con gran control estructural, y subordinamente procesos coluviales (remoción en masa) o fluvio- coluviales.

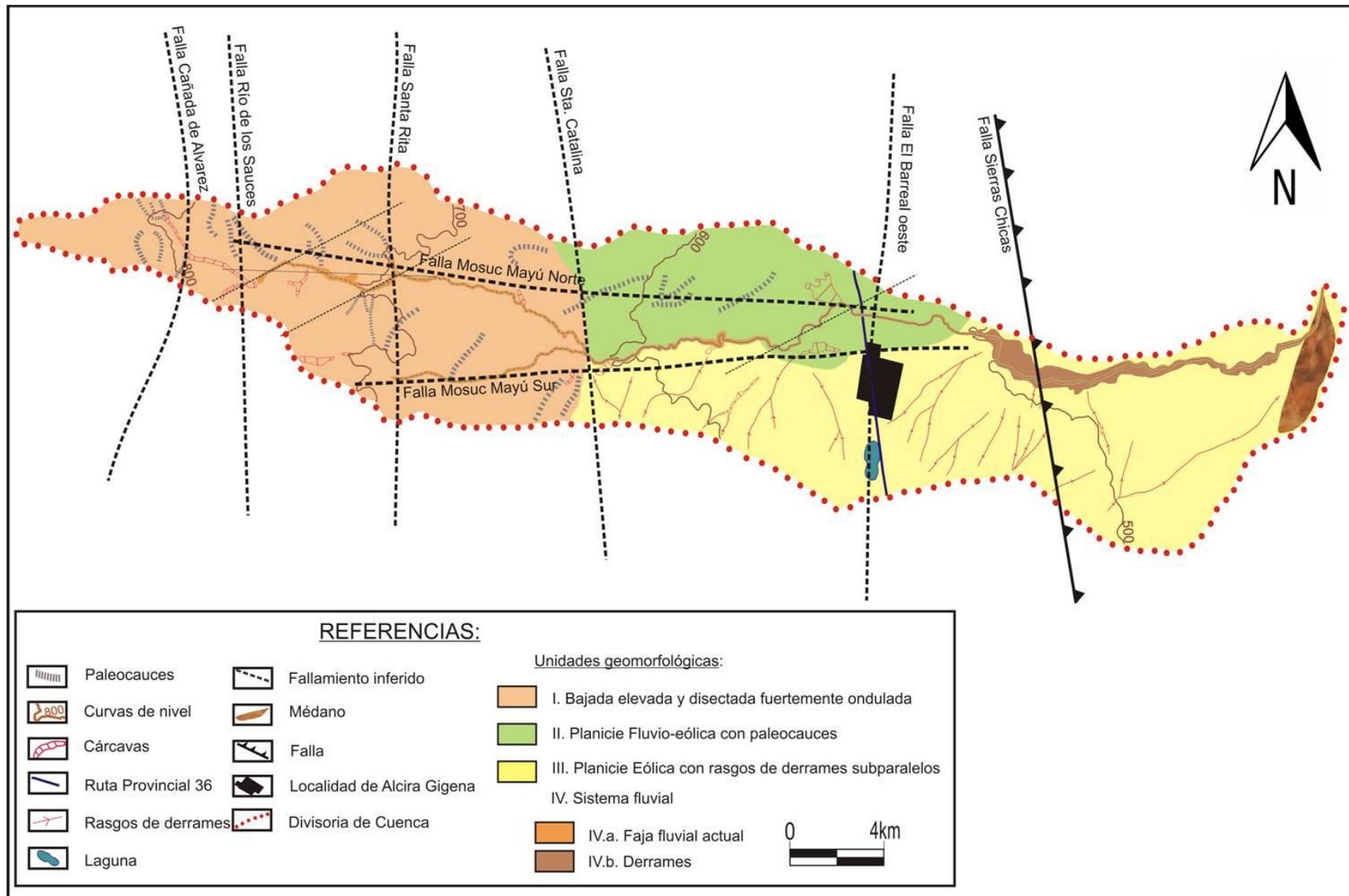


Figura 3.5: Mapa geomorfológico. Cuenca del arroyo Mosuc Mayú, 2013.

### **I. Bajada elevada y disectada fuertemente ondulada:**

Abarca el tramo superior de la cuenca, presentando una pendiente general entre 1,1% y 1,3 %. Desde el punto de vista geomorfológico se trata de una bajada, construida por acumulación de sedimentos aluvio-coluviales resultantes de procesos aluviales y de remoción en masa, además de sedimentos eólicos. La morfología actual de la bajada puede observarse en la figura 3.6. Se trata de un zona alta que separa la cuenca en estudio de las del río Seco y la cuenca alta del Teguá, constituyendo una gran loma con control estructural, actualmente dividida por disección en lomas menores como se observa en el perfil de la figura 3.7, cuya traza se muestra en la figura 3.6.

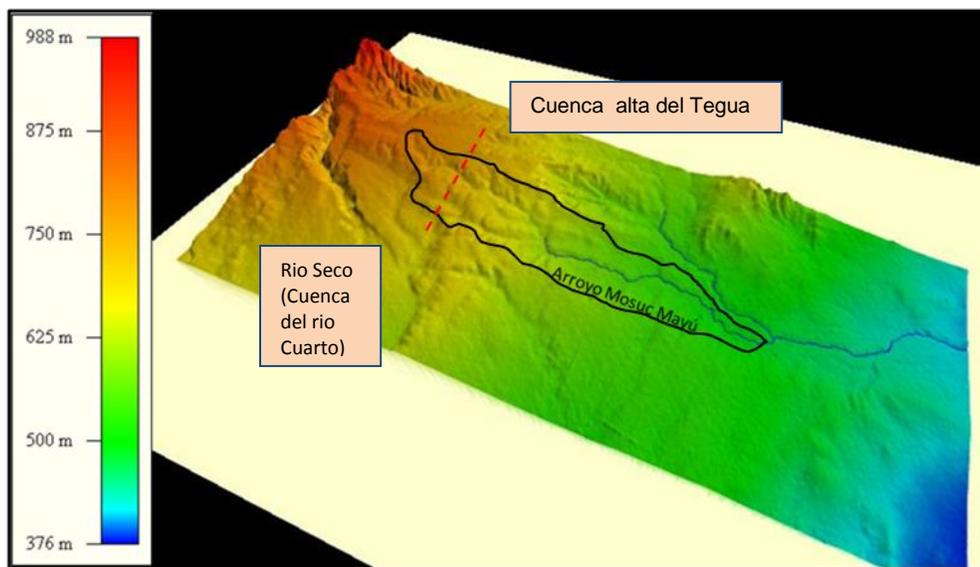


Figura 3.6: Cuenca del arroyo Mosuc Mayú. Vista en 3D Imagen SRTM, 90m de resolución, programa Global Mapper.

La unidad se caracteriza por la presencia de viejos y anchos valles pertenecientes a una importante paleored Pleistocena o Neógeno superior desmembrada, en los cuales actualmente se está reinstalando la red de drenaje del Arroyo Mosuc Mayú. Entre los ejes de las lomas y los valles se observan desniveles de 25 a 30 m, exhibiendo pendientes abruptas de escasa longitud (Fig. 3.7). El desmembramiento de redes de drenaje ha ocurrido por la importante actividad neotectónica que caracteriza a la región (Degiovanni, 2005). Esto se vincula al fuerte control estructural de la zona, destacándose las estructuras O-E y dos importantes N-S como la falla Río de Los Sauces y la de Santa Rita que más al Sur controlan también los límites del abanico del río Seco. Otras secundarias de rumbo NO-SE y NE-SO, también controlan bloques menores. Esta zona elevada

separa el ámbito de la cuenca del río Cuarto por el Sur y la del arroyo Tegua por el Norte, como se observa en la Figura 3.8.



**Figura 3.7:** Características de planicie fluvio-eólica fuertemente ondulada. **a.** Foto desde subdivisoria de cuenca hacia eje de valle. **b.** Relieve ondulado, divisoria de cuenca.



**Figura 3.8:** Imagen Google Earth con perfil de elevación mostrando bloque elevado y divisorias de cuenca.

La actividad neotectónica, sumado al clima húmedo actual con lluvias muy intensas, son factores fundamentales para la reinstalación del sistema de drenaje. En esta unidad afloran principalmente materiales eólicos de edad Holocena con distintos grados de edafización, aunque también hay flujos densos, en los que dominan las arenas muy finas limosas con gravillas dispersas. En las barrancas de los sistemas de cárcavas más evolucionadas, afloran materiales más antiguos equivalentes con las Fm. Pampiano, Chocancharava y La Invernada.

Los procesos activos que se observan principalmente en esta unidad corresponden a erosión hídrica de tipo laminar o mantiforme, que luego, por concentración del flujo de agua, produce surcos y finalmente grandes cárcavas (Fig. 3.9).

En las mismas, el agua que circula en épocas de tormentas llega luego al colector principal en cuenca media, aunque parcialmente puede infiltrarse. Los caminos rurales presentan una gran profundización, generando en algunos sectores, zonas anegables y actúan como colectores en épocas de lluvia, conduciendo gran cantidad de agua hacia los sistemas efímeros y al curso principal.

La dinámica natural de la cuenca se ve intervenida por la acción antrópica, no sólo por la presencia del sistema vial que interfiere en los procesos descritos, sino también a través de métodos de manejo para disminuir y/o eliminar la erosión hídrica, procesos de derrames, etc. (Fig. 3.10).



**Figura 3.9:** Características de ajada elevada y disectada fuertemente ondulada. **a.** Fotografía tomada desde eje de loma hacia eje de valle. **b.** Sistema de cárcava.



**Figura 3.10:** Características de planicie fluvio-eólica fuertemente ondulada. **a.** Imagen de Google Earth mostrando morfología del relieve. **b.** Práctica de manejo, sembrado en curvas de nivel.

## II. Llanura fluvio-eólica con paleocauces.

Abarca el tramo medio de la cuenca, en toda su margen Norte, presentando una pendiente general que varía entre 0,6 % y 0,8 %. Exhibe un relieve suavemente ondulado con lomas tendidas y valles menos profundos que la cuenca alta, observándose entre 10 y 15 m de desnivel entre los ejes de los mismos, lo cual se asocia a paleorasgos labrados por una red fluvial de edad más antigua.

Los procesos activos como la erosión hídrica, desarrollando surcos y cárcavas, son también importantes en esta unidad aunque de menores dimensiones y densidad respecto de la unidad I. Se han observado prácticas de manejo en varios sistemas de cárcavas en las que se construyeron albardones transversales al flujo para frenar el avance de la erosión (Fig. 3.11 y 3.12). Debido a la profundización de caminos, se encuentran aflorando materiales principalmente eólicos, presentando en algunos niveles diferentes grados de edafización. (Fig. 3.13). Se observan depósitos laminados, producto de los escurrimientos superficiales, en numerosos perfiles de la unidad.



Figura 3.11: características de planicie fluvio-eólica con paleocauces. a. Sistema de cárcavas con obras de manejo para frenar el avance. b. Albardón.

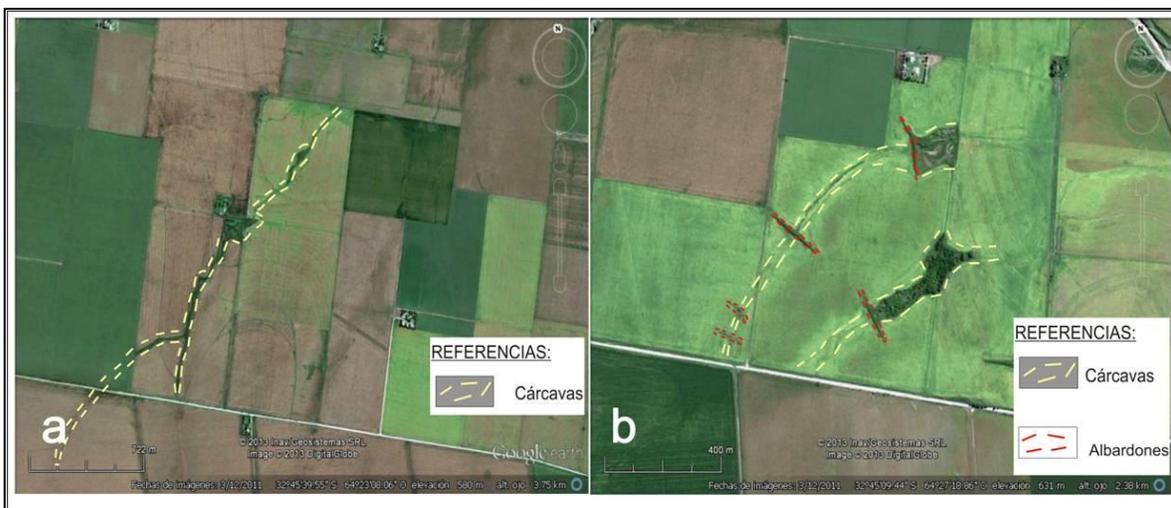


Figura 3.12: características de llanura fluvio-eólica con paleocauces. a. Imagen de Google Earth, sistema de cárcava sin prácticas de manejo. b. Sistema de cárcava con prácticas de manejo.



**Figura 3.13:** características de planicie fluvio-eólica con paleocauces **a.** Profundización de camino. **b.** Profundización de camino, aflorando materiales aluviales y eólicos con bajo grado de edafización

### III. Planicie eólica con rasgos de derrames subparalelos.

Se encuentra ubicada hacia el Sur del tramo medio y en el tramo inferior de la cuenca, hasta la confluencia del arroyo Mosuc Mayú con el arroyo Tegua. Exhibe un relieve plano presentando una pendiente general que varía entre 0,03 % a 0,05 %, (Fig. 3.14).



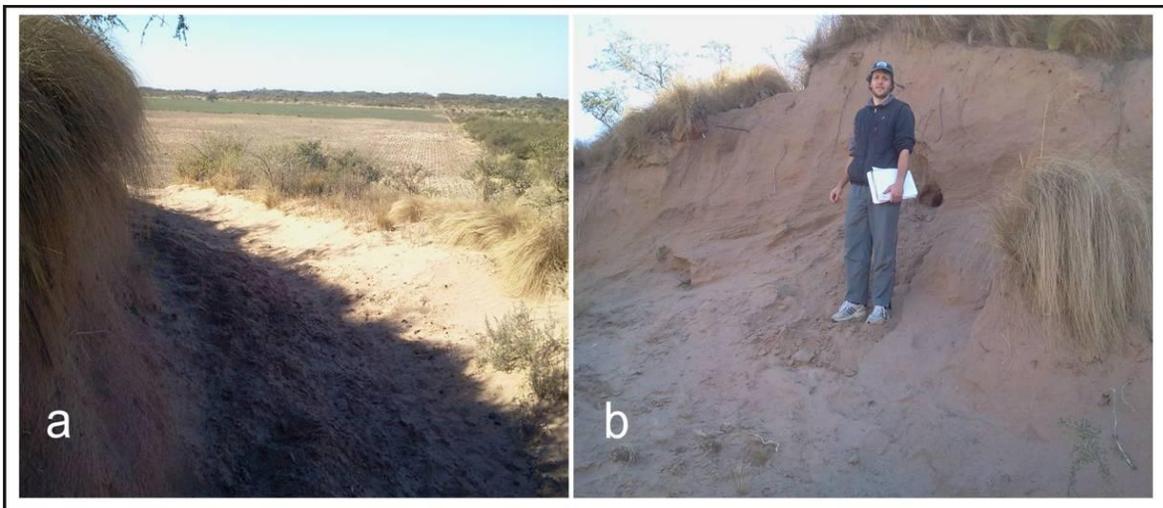
**Figura 3.14:** características de planicie eólica. **a** y **b.** Típico aspecto del relieve en la unidad

Se compone en su totalidad de materiales arenosos predominantemente eólicos, destacándose a nivel de toda la unidad rasgos con dirección casi meridiana correspondiente a líneas de derrames que surcan la margen Sur de la cuenca fundamentalmente. Algunas de estas líneas pueden ser paleoderrames, pero son zonas bajas con funcionalidad actual, en algunas de ellas se han instalado surcos y cárcavas. Según datos de perforaciones cercanas (Perlo Ps4) en esta zona, también hay en

profundidad depósitos correspondientes a antiguos cauces, aunque la cubierta eólica no permite visualizarlos claramente. En general en la unidad predominan como procesos activos los hídricos, reflejados en la presencia de surcos y cárcavas.

Dos rasgos geomorfológicos importantes a destacar en esta unidad son:

a) una gran duna parabólica, desarrollada en plena cuenca baja, que presenta 5 km de longitud por 1 km de ancho aproximadamente, que se encuentra parcialmente estabilizada (Fig. 3.15 y Fig. 3.16). Esta duna es resultante de procesos eólicos, que aunque subordinados en la cuenca, se han concentrado en este sector removilizando sedimentos del Holoceno. El cuerpo de la duna presenta procesos activos de migración de arena y la cubeta está mas estabilizada, mostrando incluso sectores cultivados.



**Figura 3.15:** características de planicie eólica. **a.** Cubeta del médano con zonas cultivadas. **b.** Perfil aflorante en el borde de la duna.



**Figura 3.16:** características de planicie eólica. Imágenes de Google Earth mostrando a) el relieve plano con derrames casi meridianos subparalelos y b) la gran duna de cuenca baja

b) Una importante laguna situada en un bajo, a orillas de la ruta 36, que si bien es pequeña recoge escurrimientos superficiales y subterráneos provocando problemas al tránsito cuando desborda, aspecto que se describen en el capítulo hidrológico. La laguna está instalada en un bajo topográfico con dirección paralela a las descritas líneas de escurrimiento típicas de esta unidad, posee 1,7 km de largo y 0,7 de ancho. En el entorno se observan procesos de hidrohalomorfismo.

#### **IV. Sistema fluvial:**

Esta unidad corresponde a la faja fluvial construida por el arroyo Mosuc Mayú, a lo largo de su historia evolutiva, incluyendo su faja fluvial actual y sistemas de derrames históricos.

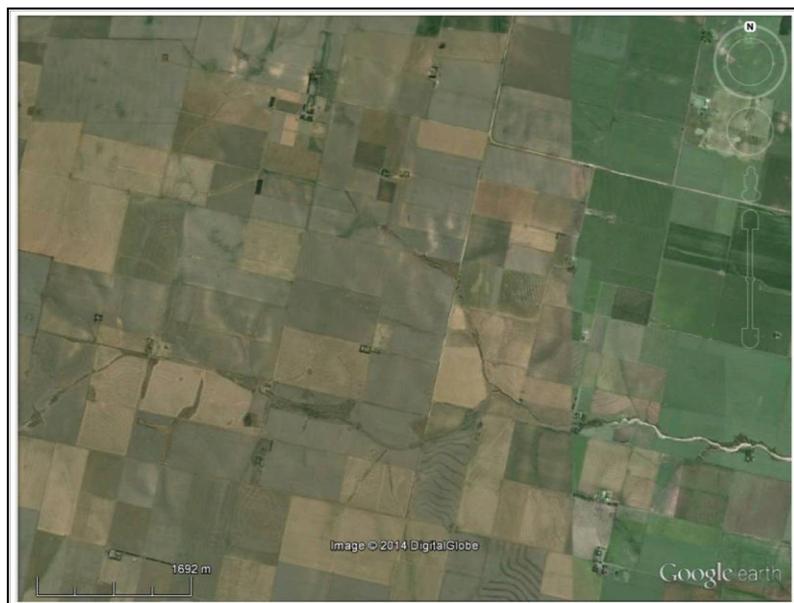
Esta unidad se divide en dos subunidades, subunidad IV.a: Faja fluvial actual y subunidad IV.b: Derrames.

##### **IV.a. Faja fluvial actual:**

Corresponde a rasgos del relieve modelados por acción de los procesos fluviales actuales del arroyo Mosuc Mayú. Presenta un ancho que varía entre 5 m y 210 m, los sectores más anchos se ubican en el tramo medio de la cuenca. Presenta un comportamiento muy diferente a lo largo del arroyo, como consecuencia de la acción de los procesos naturales y de las intervenciones antrópicas.

De este modo se destacan tres tramos bien diferenciados:

- Uno en cuenca alta, donde los procesos naturales prevalecen, dando lugar a morfologías rectas, resultantes del dominio de los procesos hídricos y la formación de cárcavas por encima de los típicos fluviales (Fig. 3.17 y Fig. 3.18). En este sector el curso mantiene un régimen efímero.



**Figura 3.17:** Reinstalación de la red fluvial en cuenca alta.

- Un tramo medio, en el cual, si bien se observan sectores con canalizaciones, dominan los procesos naturales. El canal mantiene una sinuosidad significativa, dando morfologías típicas de migraciones laterales de canal, con meandros (Fig. 3.19) y escasa incisión vertical (Fig. 3.20 y Fig. 3.21).



**Figura 3.18: a y b** Faja fluvial en cuenca alta, constituida por cauces con morfología de cárcava por retroceso de las mismas desde cuenca media con fondo estabilizado



**Figura 3.19:** Faja fluvial en sector de tramo medio.



**Figura 3.20:** Faja fluvial en sector de tramo medio. **a y b** Faja fluvial permanente en tramos intervenidos por acción humana.



**Figura 3.21:** Faja fluvial en sector de tramo medio. **a.** Faja fluvial permanente. **b.** Vista aguas arriba, faja fluvial natural y aguas abajo, faja fluvial intervenida (ensanchada) por actividad humana.

- Por último se destaca un tramo inferior, en el que si bien se perciben algunos tramos del recorrido del curso como naturales, dominan los procesos de canalización, en algunos casos con ángulos artificiales de hasta 90° (Fig. 3.22), por ejemplo en proximidades de la ciudad de Alcira Gigena. La faja fluvial es muy estrecha, no sobrepasa los 5 m de ancho, con barrancas de hasta 2,50 m de alto. (Fig. 3.23)

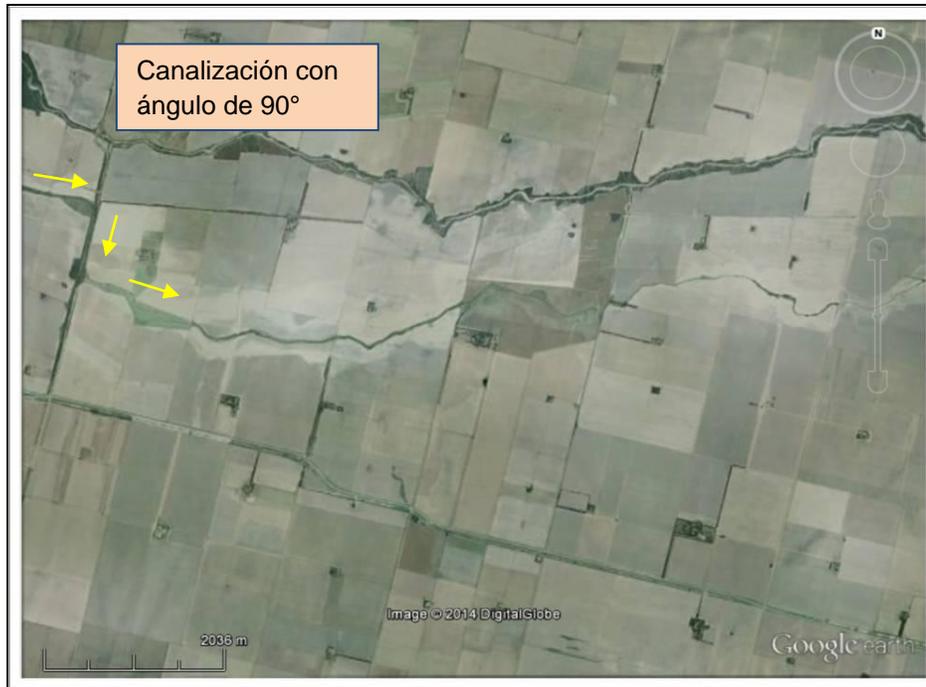


Figura 3.22: Faja fluvial sector de tramo inferior, canalizaciones.

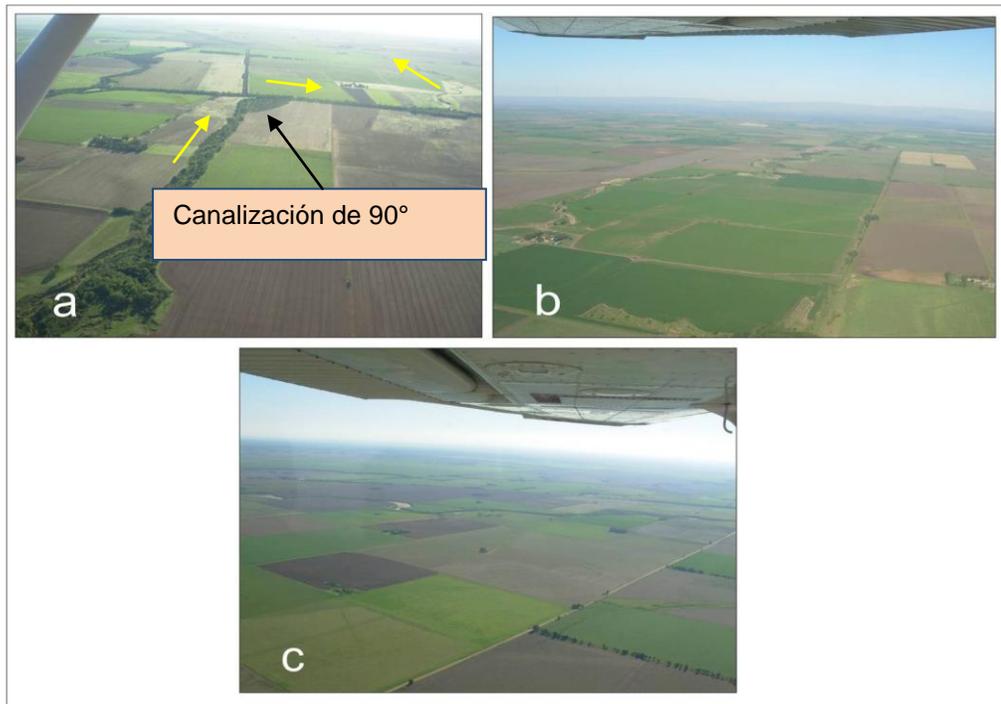


Figura 3.23: a y b. Sistema fluvial en tramo inferior

**IV.b. Derrames:** Corresponde a una faja ubicada en el tramo inferior de la cuenca, cuyo ancho varía entre 200 m a 700 m, compuesta por derrames históricos del arroyo Mosuc Mayú. En la formación de dicha faja, es de gran importancia la variación en el comportamiento de los caudales del arroyo y las crecientes acontecidas debido a procesos naturales y las vinculadas a los cambios originados por obras de canalizaciones y desvíos sufridos por el curso en sus tramos aguas arriba.

En fotos aéreas oblicuas, obtenidas a través de un vuelo (Sagripanti, com.per.) en la zona, se visualiza el comportamiento de la faja fluvial del arroyo Mosuc Mayú en zonas de

tramo medio, observándose los cambios en la dinámica del arroyo en una zona muy plana como se observa en la Figura 3.24 a.



**Figura 3.24** a. Faja fluvial del arroyo Mosuc Mayú, tramo medio de la cuenca, con significativa intervención antrópica, **a.** ángulo de 90° por canalización **b.** Faja fluvial en tramo medio de la cuenca, aguas abajo de la localidad de Alcira Gigena. **c.** Relieve plano, perteneciente al tramo inferior de la cuenca. Fuente fotos: Sagripanti, tomadas en el año 2012.



---

# Capítulo 4

---

Hidrometeorología  
Regional y Local

---

## 4.1- Hidrometeorología Regional

### 4.1.1- Introducción:

La provincia de Córdoba, debido a su latitud, se encuentra ubicada dentro de la zona templada de Argentina caracterizada por un gran dinamismo atmosférico y la acción de los frentes polares y subpolares, con caracteres específicos de una provincia mediterránea.

La presión juega un rol fundamental, lo que permite establecer cuatro centros de acción permanentes o semipermanentes, dos de alta presión, involucrando el anticiclón del Atlántico y el del Pacífico, y dos de baja presión que abarcan los ciclones de las depresiones del Noroeste y de la extremidad del Sur del país.

El régimen térmico queda definido por un invierno riguroso (entre junio y mediados de agosto) y un verano medianamente cálido (entre octubre y noviembre), dando lugar a heladas importantes desde mayo a septiembre.

Debido a las variaciones en el relieve, en la totalidad de la superficie de la provincia, se pueden observar cambios regionales y locales en el régimen térmico (Capitanelli, 1979).

### 4.1.2- Temperatura:

Se observa una variación en la temperatura media, máxima y mínima en toda la provincia, dependiendo de los diferentes relieves geográficos en que nos situemos (Fig. 4.1). Así, se pueden diferenciar tres grandes zonas. La llanura del Sur de Córdoba, que presenta una media de 17°C, máxima de 25°C y mínima de 10°C, zonas serranas con valores de 16°C, 20°C y 9°C,

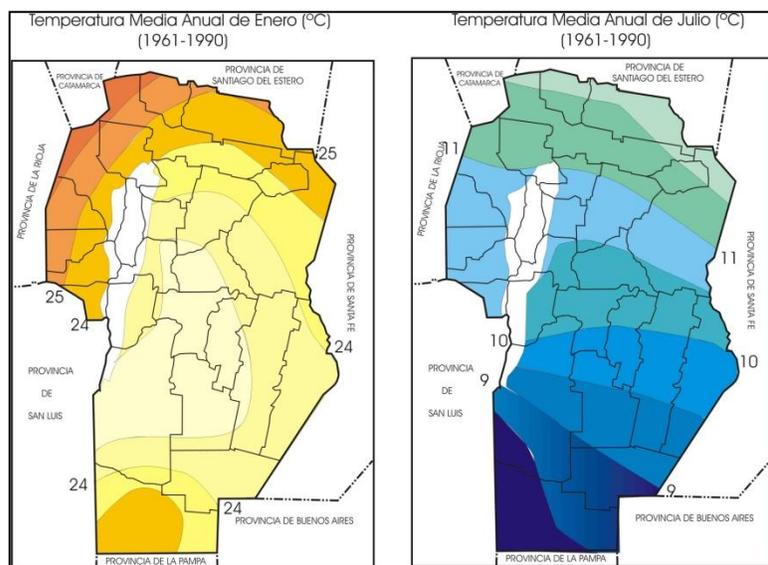


Figura 4.1: Temperaturas medias de los meses de Enero y Julio. Fuente: Gorgas et al. 2003

respectivamente y niveles de altiplanicies (2.200 m aprox.) donde los valores registrados corresponden a 10°C, 14°C y 5°C, respectivamente.

El verano térmico en el Sur de la Provincia se inicia entre el 20 de octubre y el 20 de noviembre, culminando entre el 20 de marzo y el 10 de abril. Por otro lado, el invierno térmico, presentando temperatura media inferior a 10° C en invierno, comienza entre el 1 y 15 de junio y termina entre el 1 y 15 de agosto.

Las heladas en ambientes de llanuras se pueden observar entre los meses de mayo a septiembre, mientras que en sectores serranos se dan desde marzo a noviembre (Capitanelli, 1979).

#### 4.1.3- Vientos:

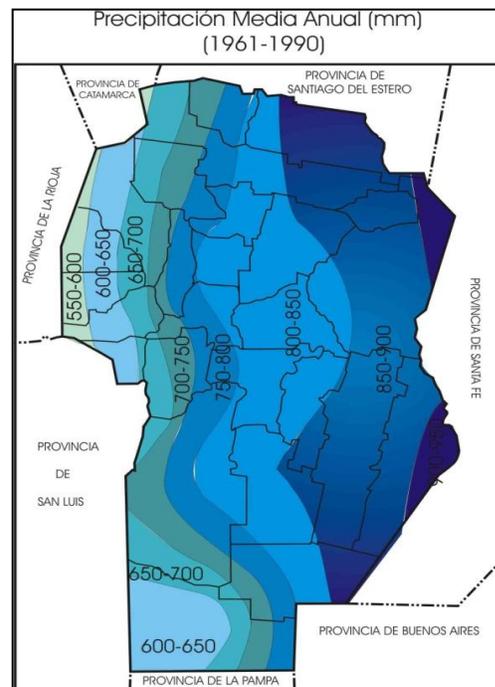
Los vientos predominantes en la región son provenientes desde el N/NE y S/SE, presentando velocidades medias que, en la mayoría de los meses, superan los 10 Km/h, y en ocasiones se observan ráfagas de más de 100 Km/h.

En zonas de llanuras, más del 80% de los días son ventosos, aumentando la intensidad en los meses correspondientes a primavera-verano (Capitanelli, 1979).

#### 4.1.4- Precipitaciones:

En la provincia se pueden observar diferentes procesos generadores de lluvias, de los cuales el más frecuente es el desplazamiento de aire polar o subpolar, que ingresa desde la Patagonia y se desplaza hacia el NE. Estos frentes fríos ingresan aproximadamente 80 veces al año (Fig. 4.2).

Los frentes de lluvias están condicionados por la presencia de masas de aires fríos y calientes, así se puede observar que los vientos fríos se enfrentan con vientos calientes y secos, provenientes desde el NO y O respectivamente y con vientos calientes y húmedos, que viajan desde el litoral fluvial. Cuando el frente alcanza un aire húmedo, se producen abundantes precipitaciones.



**Figura 4.2:** Precipitación media anual (mm). Serie 1961- 1990. Provincia de Córdoba. Fuente: Gorgas et al. (2003).

Muy diferentes son las condiciones para la formación de tormentas de verano, donde los frentes se forman sin que haya ningún proceso frontal iniciador. Dentro de una masa de aire caliente con marcada inestabilidad condicional, se forma una tormenta por convección.

Los valores analizados en la Provincia (Capitanelli, 1979), permiten establecer que las concentraciones de precipitaciones abarcan un 82% en primavera-verano y un 18% en otoño-invierno.

Blarasin (2003), Cantú (1998) y Fili et al. (2000), al analizar datos de series representativas de la región, establecen un notorio incremento en las precipitaciones, en los últimos 25-40 años.

#### 4.1.5- Evapotranspiración potencial:

La llanura y el piedemonte del Sur de la Provincia (Fig. 4.3) presentan una evapotranspiración potencial de aproximadamente 820 mm (Capitanelli, 1979), aunque en el sector Sudoeste las necesidades de agua superan los 850 mm. Las condiciones geográficas, principalmente el factor relieve, juega un rol fundamental en sectores serranos, donde la evapotranspiración potencial varía entre 688 y 794 mm.

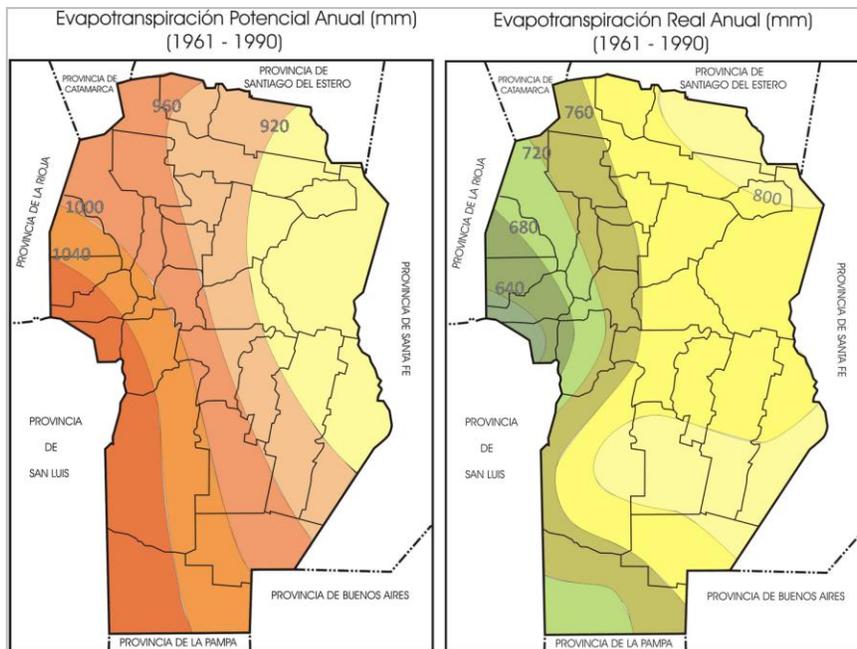


Figura 4.3: Evapotranspiración anual de la provincia de Córdoba. Fuente Gorgas et al. (2003).

## 4.2- Hidrometeorología local:

### 4.2.1- Introducción:

Se obtuvieron datos hidrometeorológicos de gran importancia como son las precipitaciones del área, no sólo por el intervalo de las series, sino también por la distribución areal dentro de la cuenca del Arroyo Mosuc Mayú, como se observa en la figura 4.4.



**Figura 4.4:** Ubicación de series de precipitaciones, Cuenca Arroyo Mosuc Mayú, 2013.

Las series corresponden a:

**Serie Morero (1988-2013)**, ubicada en el tramo medio-alto de la cuenca, aproximadamente a 13 km hacia el Oeste de la localidad de Alcira Gigena. **Serie Gigena**, que abarca desde **(1988-2012)** y son datos recopilados en la localidad de Alcira Gigena, perteneciente al tramo medio de la cuenca. Por último, la **Serie Audisio (1972-2012)**, ubicada en el tramo inferior de la cuenca aproximadamente a 10 km hacia el Este-Sureste de la localidad de Alcira Gigena (Tabla 4.1).

Estación meteorológica	Período	Precipitación anual (mm)
Audisio	1972-2012	749
Gigena	1988-2012	799
Morero	1988-2012	855

**Tabla 4.1:** Series y P anual de las estaciones utilizadas.

De las tres estaciones analizadas, los datos de la serie Gigena son tomados por la Cooperativa de la localidad de Alcira Gigena, mientras que las series restantes, Audisio y Morero, los datos corresponden a registros de particulares.

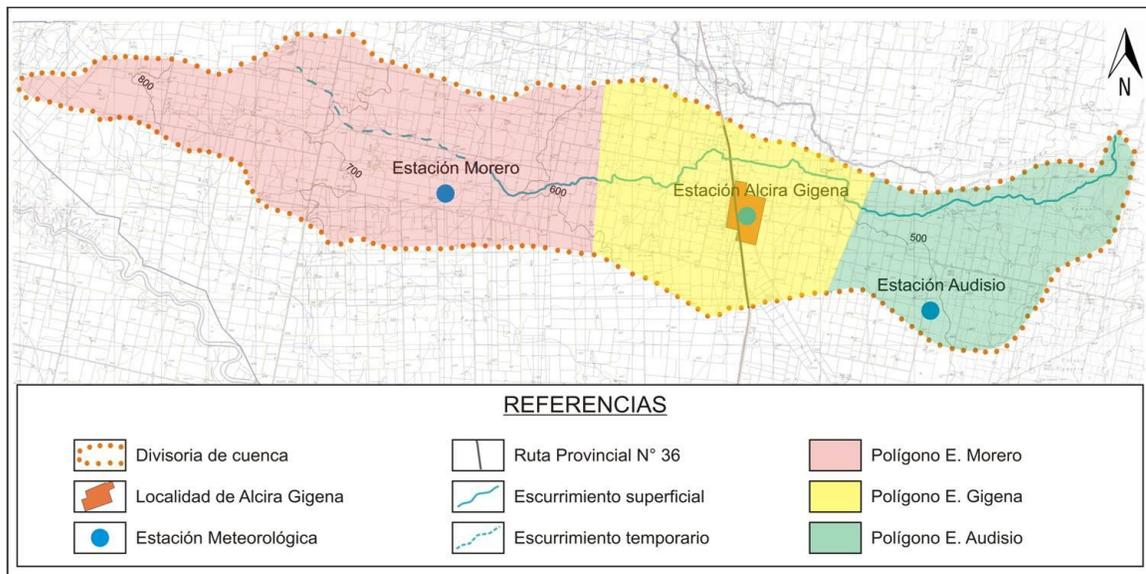
No se encontraron en la cuenca en estudio registros de datos de temperaturas, de gran importancia para los cálculos de evapotranspiración, por lo tanto se tomaron la recopilación de datos de la serie perteneciente a la UNRC. Estos son muy confiables, si se tiene en cuenta la uniformidad de este parámetro climático en la región y la cercanía de dicha estación a la zona de estudio.

#### 4.2.2- Análisis de precipitaciones:

##### 4.2.2.1- Cálculo de precipitación media

###### a-Método de Thiessen

El área estudiada se divide en tres subregiones o zonas de influencia en torno a cada estación (Fig. 4.5), teniendo en cuenta las dimensiones espaciales en la que tiene influencia cada una de las estaciones, utilizando para el cálculo el registro de lluvias de cada estación para el mismo período de tiempo. La precipitación calculada en cada pluviómetro se pondera entonces por la fracción de cada zona de influencia respecto al área total de la cuenca. Las subregiones se determinan de manera tal que todos los puntos incluidos en esa subregión estén más cercanos al pluviómetro correspondiente que a cualquier otra estación.



**Figura 4.5:** Polígonos de Thiessen para cada serie de precipitaciones.

Una vez delimitadas las tres zonas de influencia, y calculadas sus áreas, se obtiene el promedio espacial según:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot A_i)}{A} = \sum_{i=1}^n \left( P_i \cdot \frac{A_i}{A} \right)$$

Donde:

**P:** Precipitación media sobre la cuenca.

**P<sub>i</sub>:** Precipitación observada en la estación i.

**A<sub>i</sub>:** Área del polígono correspondiente a la estación i.

**A:** Área total de la cuenca.

**n:** Número de estaciones pluviométricas con influencia en la cuenca.

Se tomaron tres estaciones, que abarcan un período desde 1988 a 2012, correspondientes al tramo superior (Estación Morero), tramo medio (Estación Gigena) y tramo inferior (Estación Audisio), con la finalidad de cubrir toda la cuenca en estudio y así generar mayor precisión en los resultados (Tabla 4.2).

Estación	% Sup	Sup (Km2)	P Media Anual (mm)	
Morero	46,6	127,7	855	109149,3
Gigena	30,1	82,6	799	65965,4
Audisio	23,2	63,7	739	47044,74
Área Total (km2)	273,9	Media ponderada (mm)=(Σprecip ponder/área total)		811

**Tabla 4.2:** Cálculo de la media ponderada con las estaciones seleccionadas.

En base a los resultados obtenidos, la precipitación media para la zona en estudio, la cual comprende un área total de 274 km<sup>2</sup>, obtenida por el método de los polígonos de Thiessen, es de 811 mm.

## b- Método de la media aritmética

$$\text{Precipitación anual media} = \frac{P \text{ Morero} + P \text{ Gigena} + P \text{ Audisio}}{3} = 797 \text{ mm}$$

Puede observarse que la diferencia entre los dos métodos considerados no supera el 1,7 % y que para zonas de llanura y estaciones cercanas el método de la media aritmética sigue siendo un método expeditivo y válido para calcular la lámina de agua en una cuenca.

### 4.2.2.2- Análisis de doble masa

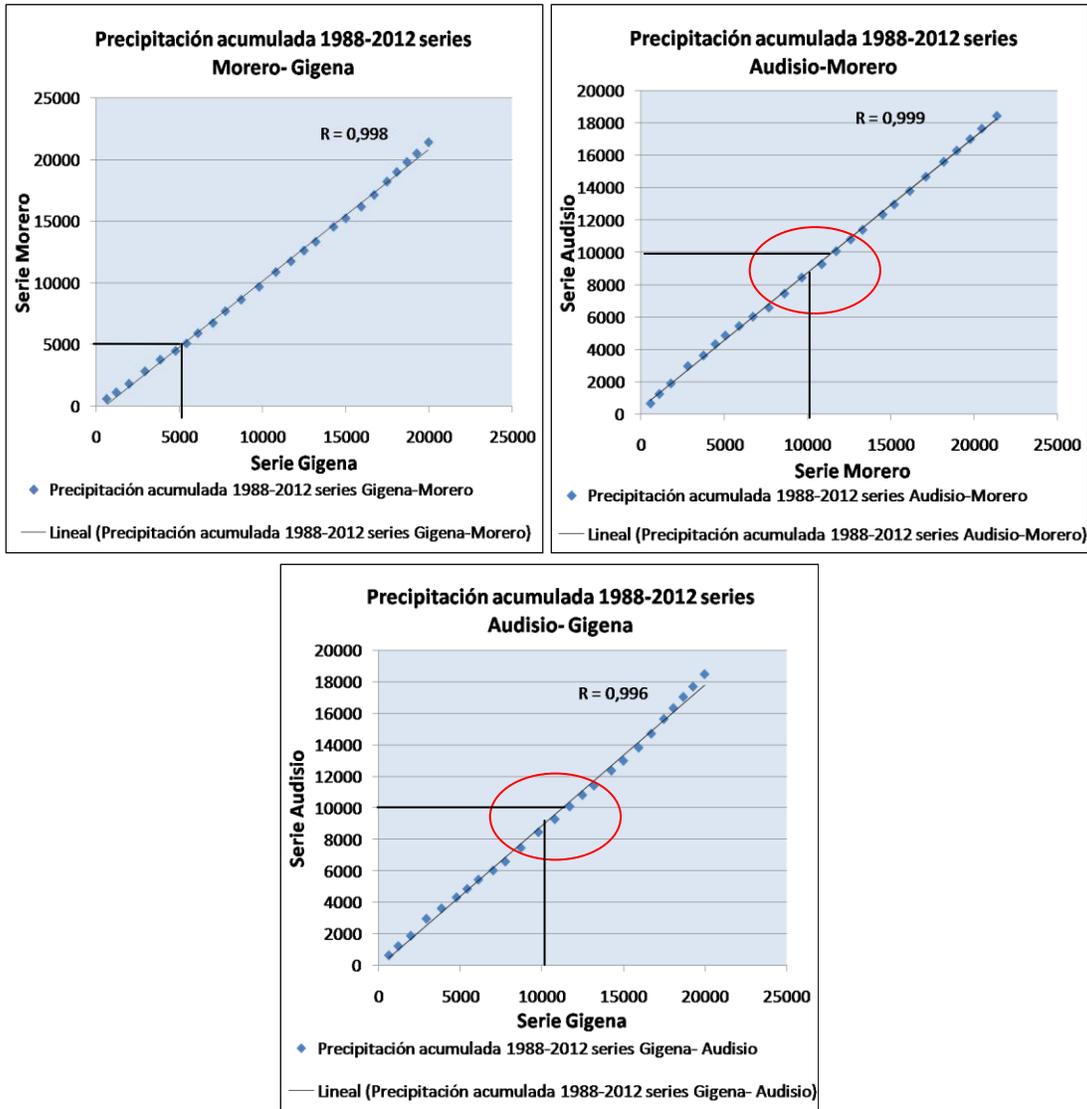
Al obtener varias series de registros pluviométricos (Tabla 4.3), se generó un contraste de las mismas, utilizando el método de “Doble Masas” para el cual, es importante comprobar que los registros de las estaciones pluviométricas, no han sufrido cambios que conduzcan a valores erróneos, ya sea por cambios en la ubicación del instrumental, variaciones en las condiciones periféricas del lugar de medición o por un simple cambio del observador al efectuar la lectura de los datos.

Estación meteorológica	Período	Precipitación anual (mm)
Audisio	1988-2012	740
Gigena	1988-2012	799
Morero	1988-2012	855

**Tabla 4.3:** Periodos tomados de las series para realizar el balance de “Doble Masa”.

En este caso se considera la zona a analizar como homogénea desde el punto de vista hidrometeorológico dada la cercanía entre estaciones y las pocas variaciones de relieve. En función de los inconvenientes que pueden aparecer en la continuidad, semejanza y confiabilidad de los registros de precipitaciones se decidió realizar un contraste de datos entre estaciones, utilizando el método de “Doble Masas”, que permite comparar la proporcionalidad entre ellas usando los valores anuales acumulados de precipitaciones, para una misma longitud de la serie. De este modo, se obtiene una recta cuyos parámetros representan la regresión entre estaciones contrastadas como se observa en la figura 4.6. En este estudio se comparan períodos similares de las 3 series de relevadas. Si hubiera proporcionalidad, se asume que la zona es homogénea desde el punto de vista del régimen de precipitaciones, pudiendo incluso acoplarse períodos distintos de las

diferentes series para obtener así mayor longitud de registro. Si no la hubiera se analizan las diferentes series e incluso se detectan errores si fuera posible.



**Figura 4.6:** Contraste entre estaciones pluviométricas Morero Vs Gigena, Audisio Vs Morero y Audisio Vs Gigena.

Los gráficos obtenidos reflejan un alto grado de proporcionalidad, entre las series de Morero y Gigena, con un valor de R de 0,998, mostrando error en la proporcionalidad de ambas series con la serie Audisio.

Dado estos resultados, se decide analizar 2 series: Morero, cuya representatividad se extiende a cuenca alta y media, dada su proporcionalidad con Gigena, y por otro lado Audisio, por haber dado diferente y para conocer el detalle del comportamiento del agua en esta serie que es más larga, aún asumiendo que pudiera haber algún error en la toma de datos o que efectivamente sea una zona con menos lluvias.

### 4.2.2.3- Análisis temporal de las precipitaciones

Se realizó entonces para ambas series un análisis cronológico de precipitaciones y un balance hídrico seriado de paso mensual (PDIMES (Ravelo, 1990)) el cual refleja momentos en el año en el que se producen excesos y/o déficit hídricos.

#### Análisis de la serie Morero (1988-2012):

Se estableció una media de precipitación anual de 855 mm para el periodo analizado. Las precipitaciones medias móviles anuales representadas en el gráfico de la figura 4.7, calculadas para un período de 4 años, muestran un leve crecimiento, reflejado también en la línea de tendencia. Además se observa que hay 3 ciclos más húmedos, que sobrepasan los valores de precipitación media anual para la serie (855 mm), aunque el primero no queda por encima de la P media en la curva de la media móvil.

En general se observa una alternancia de diferentes ciclos, el primero de ellos abarca desde 1986-1990, correspondiente a un ciclo seco, seguido por los años 1991-1992, cuya precipitación anual supera los 1.000 mm, luego comienza un decrecimiento en las precipitaciones caídas hasta el año 1996 (1994 es el año más seco de toda la serie), donde nuevamente se da un aumento hasta el año 2000, presentando este último una precipitación anual por encima de los 1.100 mm. El año 2004 presenta la mayor precipitación anual de la serie, sobrepasando los 1.200 mm. Un último ciclo se observa desde 2006-2008, con precipitaciones anuales que superan los 1.100 mm, a partir de allí, se refleja un leve decrecimiento.

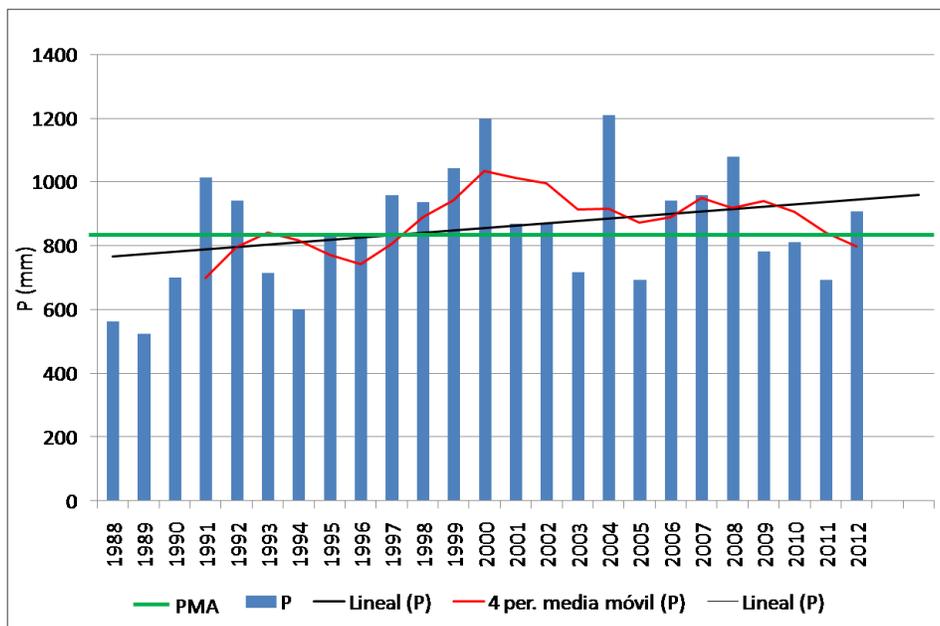
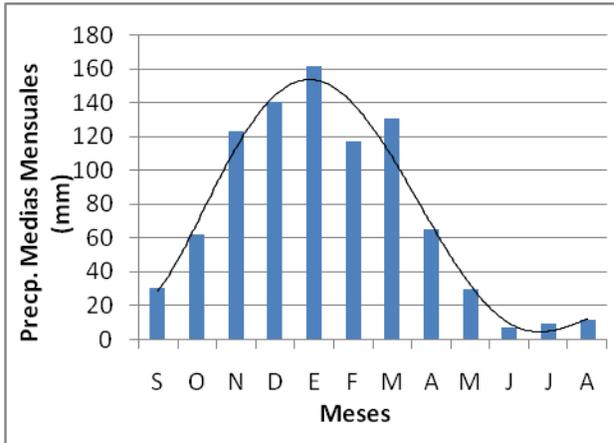


Figura 4.7: Gráfico de precipitaciones serie Morero (1988-2012), cuenca arroyo Mosuc Mayú.

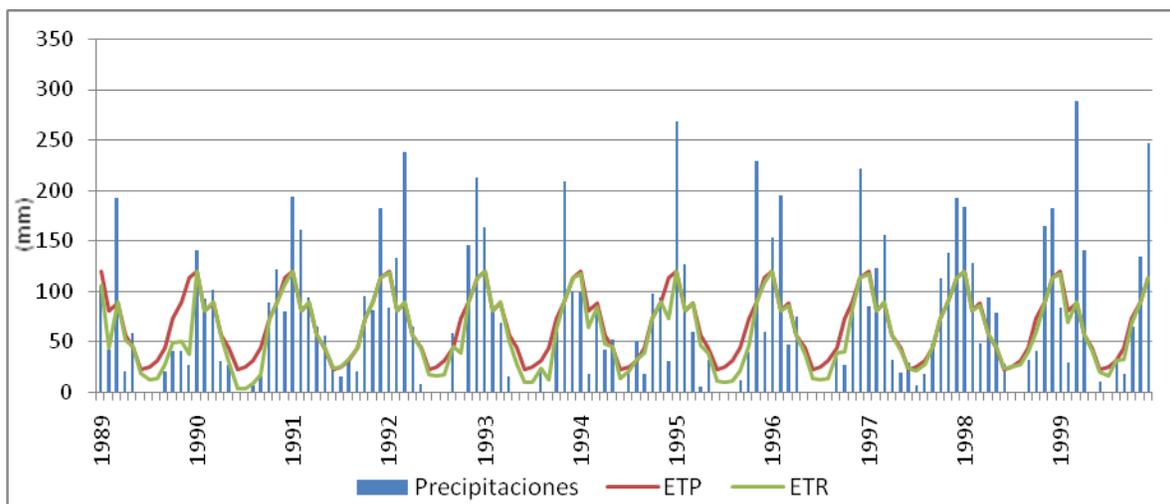
Los datos analizados corroboran los testimonios de particulares de la zona, que indican que en los años 1991-1992, representados en el gráfico de la figura 4.7 como picos mayores a 1.000 mm de precipitación anual, existieron intensas lluvias, al igual que en el período 1999-2000 (representados en el gráfico con valores cercanos a 1.200 mm).



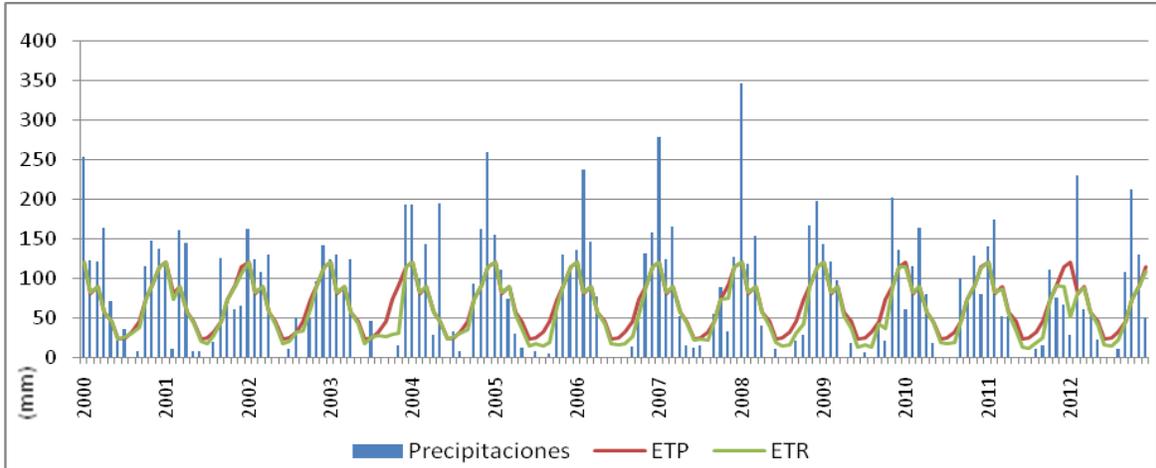
**Figura 4.8:** Precipitaciones medias mensuales. Serie 1988-2012 Cuenca arroyo Mosuc Mayú.

Por otro lado, las precipitaciones medias mensuales son representadas en el gráfico de la figura 4.8, el cual muestra que las mayores concentraciones se dan en las estaciones de primavera-verano, representando un 83 % del total, mientras que el restante 17% se observa en los meses correspondientes a otoño-invierno. A su vez se destaca que marzo es un mes que registra más lluvias que febrero.

Para la realización del Balance Hídrico Seriado edáfico (Fig. 4.9 y 4.10), se empleó el programa Pdimes (Ravelo, 1990). El mismo utiliza valores mensuales de precipitación y tiene en cuenta el contenido de agua útil en el suelo, con un valor de 150 mm (utilizado para suelos franco arenosos finos con profundidad de enraizamiento del orden de 1 m, según datos de las cátedras de Climatología y Fenología Agrícola de la UNRC).



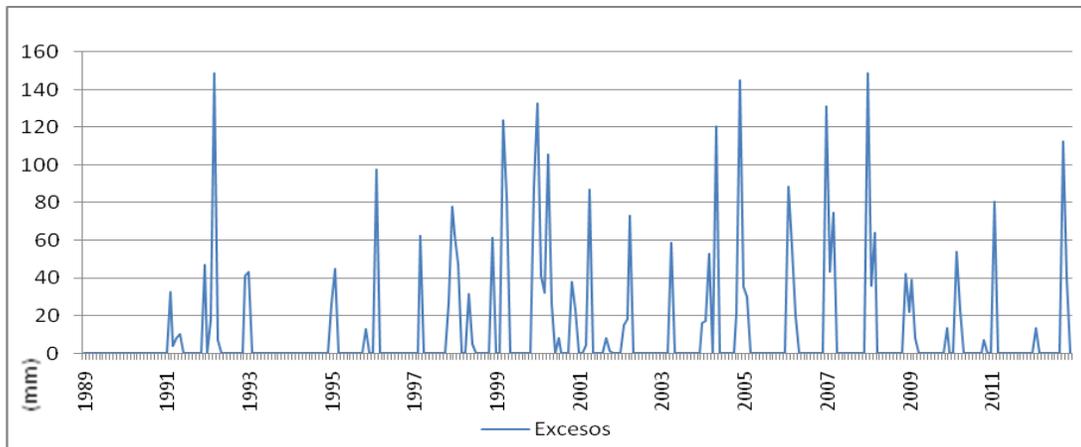
**Figura 4.9:** Balance hídrico seriado periodo 1988-1999, serie Morero. Cuenca arroyo Mosuc Mayú



**Figura 4.10:** Balance hídrico seriado periodo 2000-2012, serie Morero. Cuenca arroyo Mosuc Mayú.

El balance hídrico realizado muestra la presencia de periodos secos, donde se generan déficit hídrico, y periodos más húmedos, los cuales generan excesos. Estos son de gran importancia ya que no sólo conforman escurrimientos superficiales, sino que contribuyen a la principal fuente de recarga de los sistemas subterráneos, mediante la infiltración eficaz. En general se observa que los excesos hídricos, concentrados en los meses de primavera-verano, donde las precipitaciones superan a la evapotranspiración real, son levemente superiores a los periodos de déficit, los cuales se concentran principalmente en los meses de otoño-invierno donde la evapotranspiración real supera a las precipitaciones caídas.

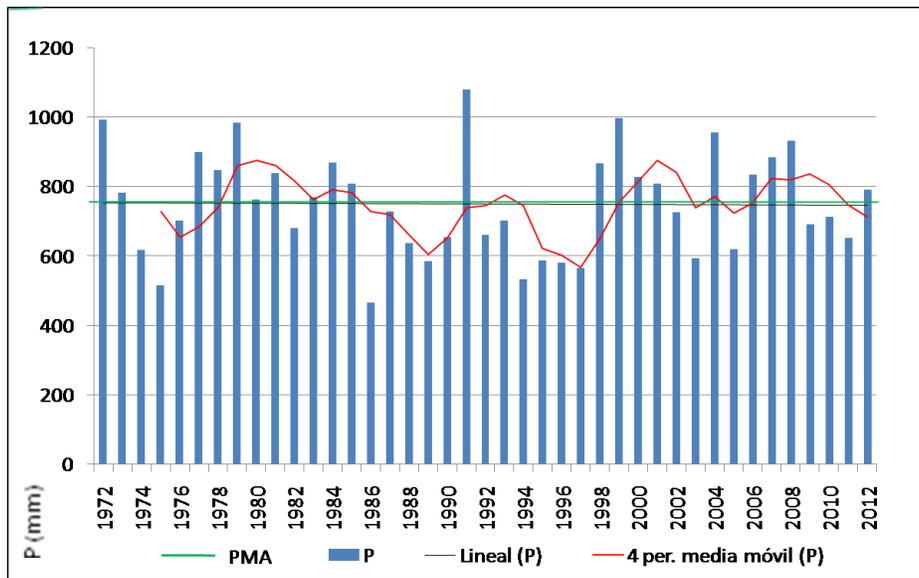
Analizando el gráfico de excesos hídricos (Fig. 4.11) se observan importantes picos en 1992, 2000, 2005 y 2008, además se destaca el ciclo del 2004-2008, también con elevados excesos, que representa un importante incremento en las reservas de aguas subterráneas de la región. En 2009 se registra un menor exceso, mostrándose a partir de dicho año un paulatino aumento en el valor del mismo, hasta la actualidad.



**Figura 4.11:** Excesos hídricos de la serie Morero (1988-2012).

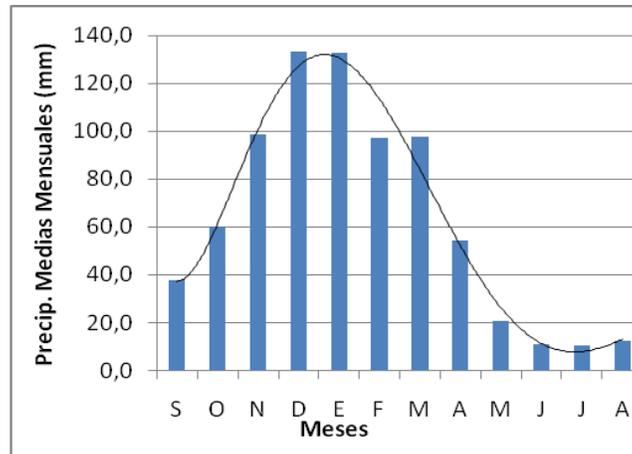
**Análisis serie Audisio (1972-2012):**

Se estableció una media de precipitaciones anuales de 749 mm. A diferencia de la serie Morero, la línea de tendencia representada en el gráfico, de la figura 4.12 muestra un comportamiento muy levemente descendente, lo cual se explica por la ocurrencia de los últimos años secos. Se observan 4 ciclos húmedos, 3 de ellos más notoriamente marcados, en los cuales la línea de tendencia media móvil cada 4 años sobrepasa la precipitación media anual para la serie (749 mm). El primer ciclo abarca desde 1976-1985 con picos que superan los 1.000 mm anuales, luego se produce una disminución en las precipitaciones por debajo de la media anual, (1986 es el año más seco de la serie) exceptuando el año 1991, donde se observa la mayor precipitación anual para la serie, con un valor que supera los 1.100 mm. A partir de allí se refleja un ciclo por debajo de la media anual hasta el año 1998, y luego hasta el 2009 un período húmedo con picos de precipitaciones cercanos a los 1.000 mm.



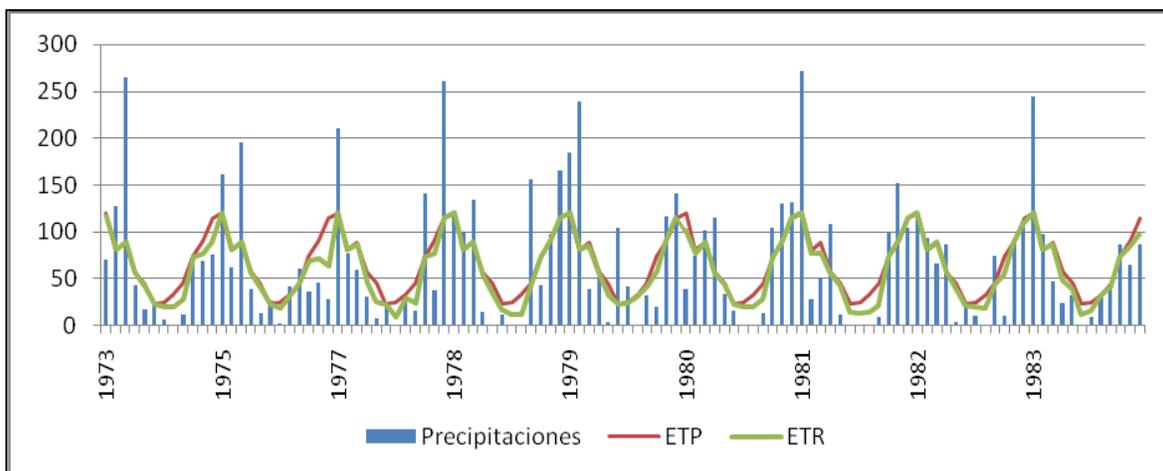
**Figura 4.12:** Gráfico cronológico de precipitaciones medias anuales. Serie 1972-2012 Cuenca Arroyo Mosuc Mayú

Por otro lado, las precipitaciones medias mensuales son representadas en el gráfico de la figura 4.13, el cual muestra que las mayores concentraciones se dan, al igual que en la serie Morero, en primavera-verano, representando un 81 % del total, mientras que el restante 19 % se observa en los meses correspondientes a otoño-invierno.



**Figura 4.13:** Precipitaciones medias mensuales. Serie 1972-2012 Cuenca arroyo Mosuc Mayú.

El balance hídrico realizado para la serie Audisio muestra, al igual que el realizado para la serie Morero, la presencia de periodos secos, donde se generan déficit hídricos, y periodos más húmedos, los cuales generan los excesos. En general se observa que los excesos hídricos (figuras 4.14, 4.15, 4.16 y 4.17), concentrados en los meses de primavera-verano, donde las precipitaciones superan a la evapotranspiración real, son levemente superiores a los periodos de déficit, los cuales se concentran en los meses de otoño-invierno, donde las precipitaciones son superadas por la evapotranspiración real, sobre todo en la segunda mitad de la serie.



**Figura 4.14:** Balance hídrico seriado periodo 1972-1983, serie Audisio. Cuenca arroyo Mosuc Mayú.

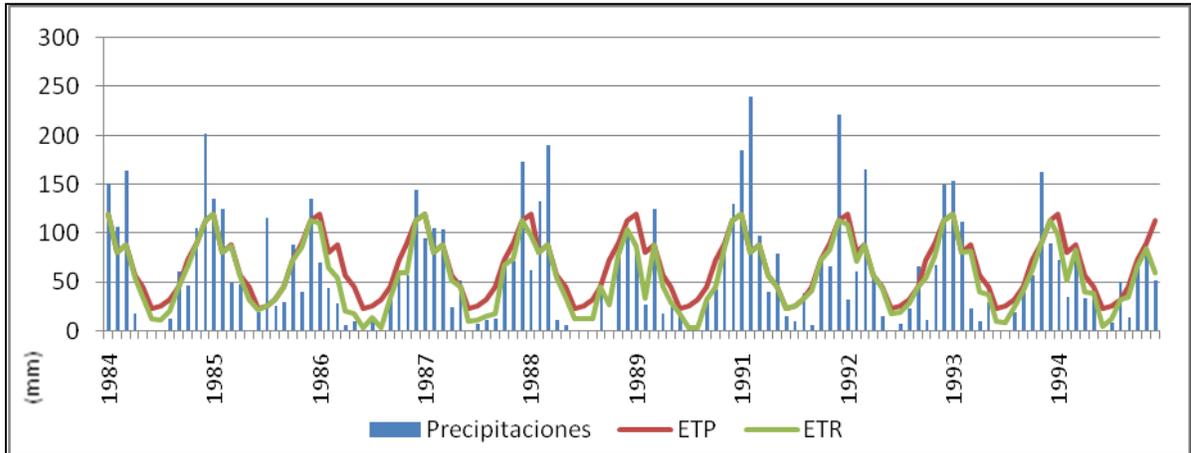


Figura 4.15: Balance hídrico seriado periodo 1984-1994, serie Audisio. Cuenca arroyo Mosuc Mayú.

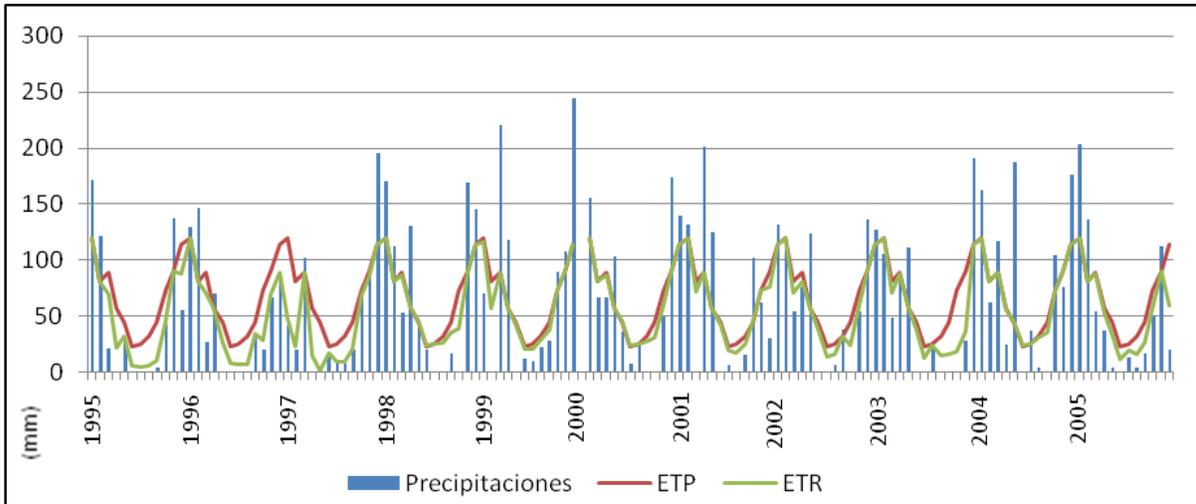


Figura 4.16: Balance hídrico seriado periodo 1995-2005, serie Audisio. Cuenca arroyo Mosuc Mayú.

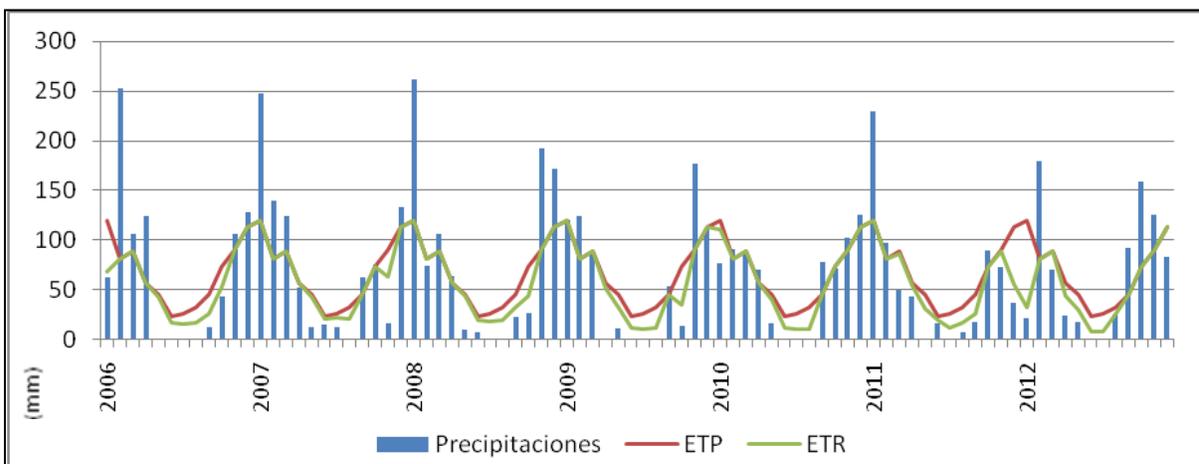
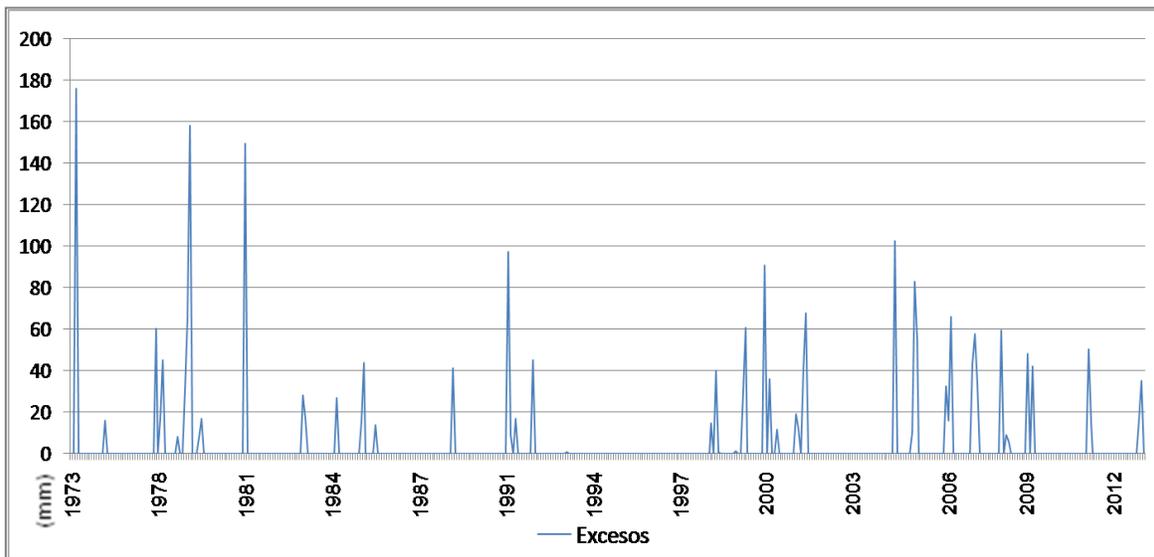


Figura 4.17: Balance hídrico seriado periodo 2006-2012, serie Audisio. Cuenca arroyo Mosuc Mayú.

El gráfico de excesos hídricos de la figura 4.18 muestra al comienzo de la serie el máximo valor de excesos en el año 1973, seguido por los años 1979 y 1981 también con elevados valores. Un pequeño período, que abarca desde 1983-1989 presenta bajos valores de excesos que apenas superan 40 mm, a partir de allí se da en los años 1991 y 1992 dos picos entre 50 y 100 mm. Desde 1993 a 1998 se observa ausencia de excesos los cuales aparecen en el año 1988 y se mantiene en aumento hasta el 2004, a partir de allí comienzan a decrecer hasta la actualidad, manteniendo valores igualmente significativos.



**Figura 4.18:** Excesos hídricos de la serie Audisio (1972-2012).

---

# Capítulo 5

---

Ocupación y Uso del  
Territorio Regional y  
Local

---

## 5.1- Ocupación y uso del Territorio Regional

### 5.1.1- Introducción

Para el análisis en profundidad del comportamiento del acuífero freático en relación con las actividades que se realizan sobre el suelo, es de gran importancia establecer la ocupación y usos del territorio en la actualidad, como así también obtener datos históricos de actividades que puedan haber impactado de manera significativa sobre el territorio. Considerando que de la relación del medio natural con el medio socio-económico cultural surgen diferentes problemas ambientales, se considera de gran importancia relevar las distintas actividades humanas en la cuenca, para poder explicar los probables problemas ambientales y para poder regularlas y enmarcarlas dentro de un adecuado plan de desarrollo sustentable. La definición de la distribución espacial de las actividades, y en lo posible de su permanencia, concentración etc., y su incidencia en la calidad del agua, permite establecer diferencias con valores propios del fondo natural.

Degiovanni y Blarasin (2005) elaboraron una caracterización general del uso actual del territorio del Sur de la provincia de Córdoba, el cual es de gran utilidad para una primera aproximación de las actividades que se desarrollan en la cuenca de estudio (Fig. 5.1). En el mapa de la citada figura se observa la ubicación de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú, dentro de la región agrícola con ganadería subordinada, con algo de ganadería extensiva en el sector Occidental de la misma.

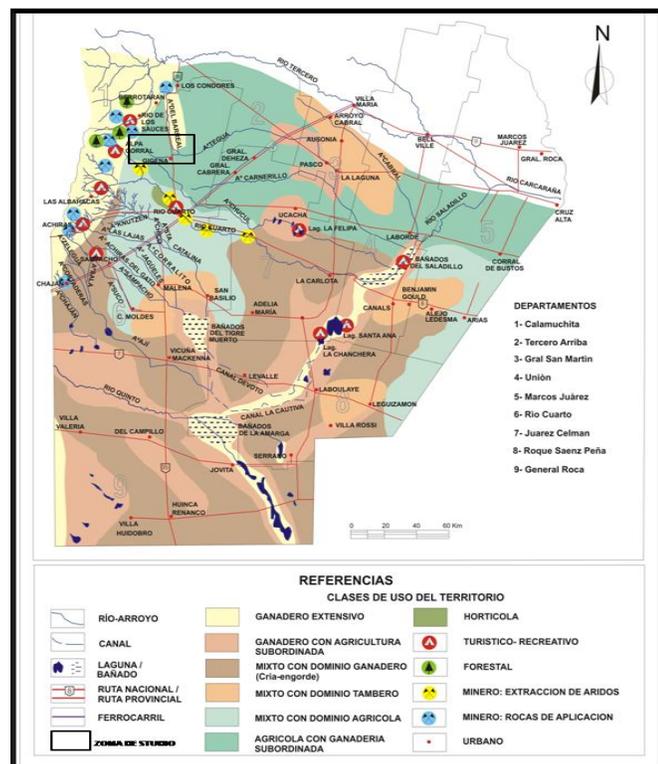


Figura 5.1: Mapa de uso actual del territorio. Sur de Córdoba. Fuente: Degiovanni y Blarasin 2005.



## **5.2- Ocupación y uso del territorio local**

### **5.2.1- Zonificación de actividades en la cuenca de estudio**

En la cuenca del arroyo Mosuc Mayú, a pesar de ser una típica zona de llanura, en su mayoría intervenida por la actividad antrópica, se pueden diferenciar sectores donde todavía existen ecosistemas naturales. A partir de este criterio se definieron zonas de ecosistemas parcialmente intervenidos y zonas de ecosistemas creados o productivos, realizándose el mapa de uso del territorio que se muestra en la Figura 5.2.

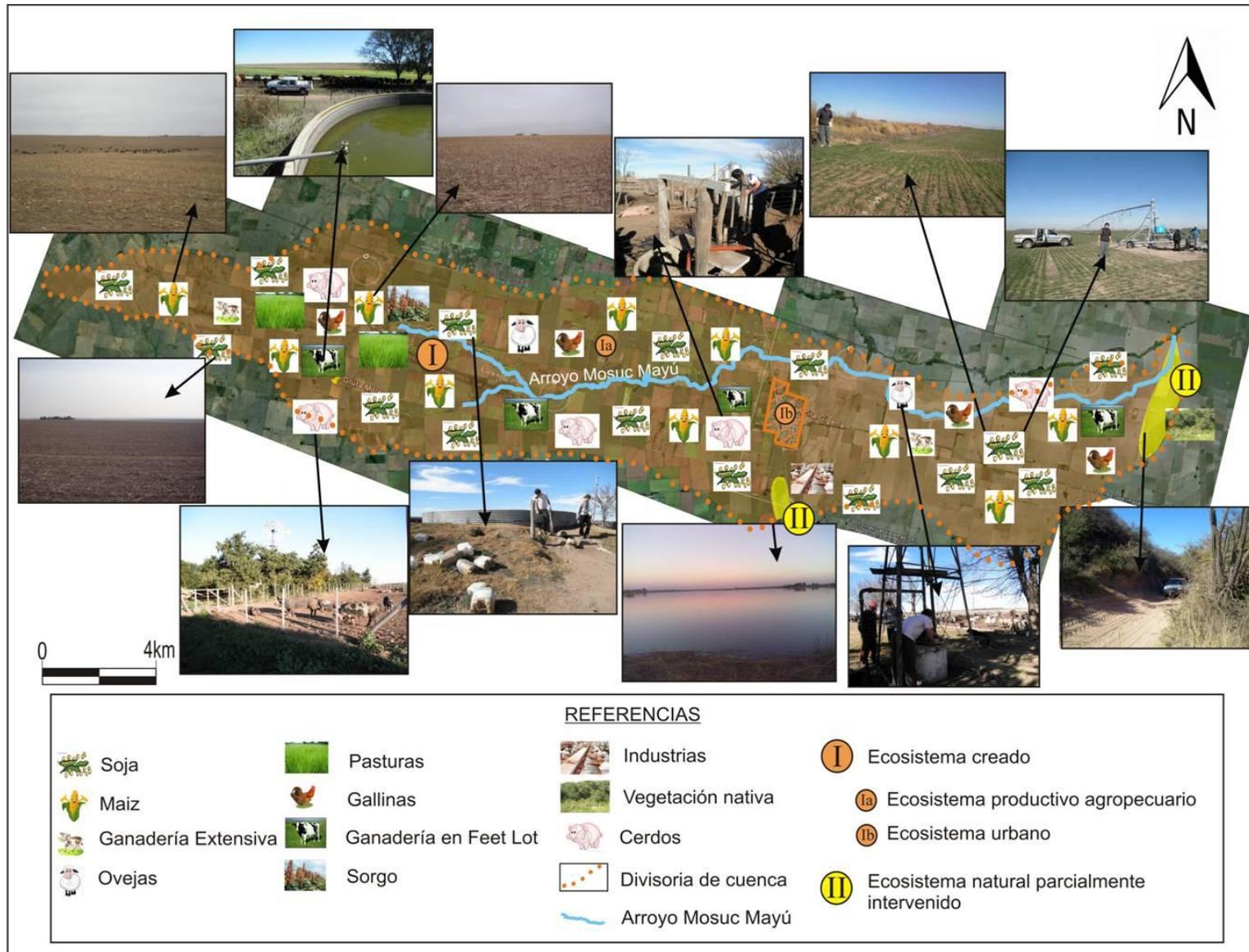
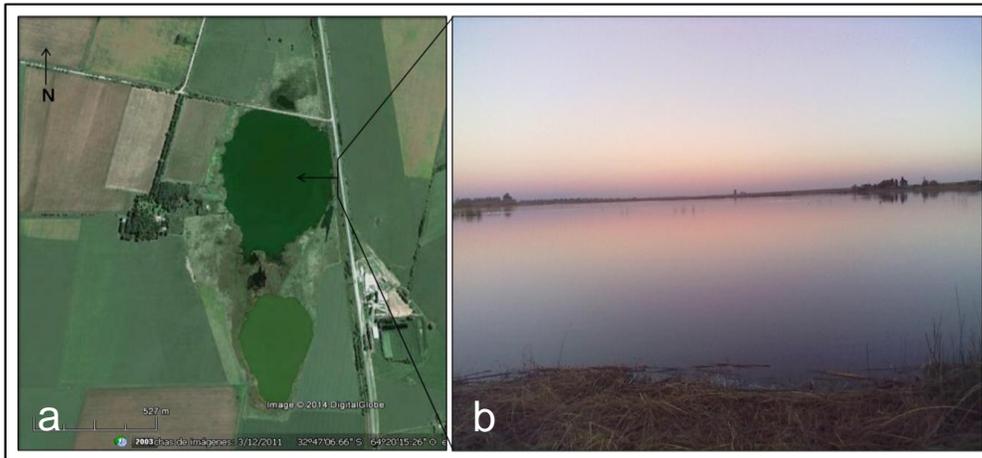


Figura 5.2: Mapa de uso actual del territorio. Cuenca del arroyo Mosuc Mayú, 2013.

### 5.2.1.1- Ecosistema natural parcialmente intervenido:

Se destacan en la cuenca dos ambientes naturales bien distintos.

a- Uno definido en el sector Sur del tramo medio de la cuenca, próximo a la localidad de Alcira Gigena, donde se encuentra un sistema de humedal, representado por el descrito cuerpo lagunar, denominado “Laguna Rivero” (Fig. 5.3). Este ecosistema recibe escurrimientos superficiales desde distintos sectores y aguas subterráneas provenientes del sector O-SO, con alta carga de sedimentos y nutrientes procedentes de los campos adenaños. Actualmente está siendo drenada mediante un canal.



**Figura 5.3:** a. Imagen Google Earth, laguna Rivero, ubicada en el Centro-Sur de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú. b. Laguna Rivero.

b) En el tramo inferior de la cuenca, se encuentra un ambiente natural, compuesto por una importante duna parabólica parcialmente estabilizada (Fig. 5.4), La misma se encuentra casi en su totalidad en estado natural, dando lugar a un pequeño ecosistema donde se puede apreciar la vegetación nativa, pero se destaca que ha sido intervenida en la cubeta mediante el cultivo de maíz.



**Figura 5.4:** Duna Parabólica ubicada en el sector Este de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú. a. Imagen Google Earth médano con cultivos en cubeta. b. Camino rural en el interior del médano y vegetación nativa.

### 5.2.1.2- Ecosistemas creados

Esta zona abarca la mayor parte del territorio de la cuenca en estudio, diferenciándose dos sectores en los cuales dominan diferentes actividades realizadas por el hombre.

- Ecosistema urbano: representado por la localidad de Alcira Gigena, ocupa un área aproximada de 2,5 km<sup>2</sup> y tiene aproximadamente 5.919 habitantes (INDEC, 2010) y genera trabajo a través de diferentes industrias (frigorífico que abastece a la localidad, una pequeña empresa metalúrgica, etc.) que pueden representar un potencial entorno de impacto sobre los recursos hídricos de la zona.

- Ecosistema productivo agropecuario: abarca la mayor área en la cuenca en estudio, corresponde a la actividad agrícola y a la ganadería extensiva e intensiva subordinada.

En la agricultura se desarrollan principalmente cultivos de soja y maíz, mediante labranza cero (siembra directa), con intensivo uso de fertilizantes (Sulfato de amonio, fosfato monoamónico), herbicidas (glifosato principalmente), insecticidas y fungicidas, los cuales se detallan en la tabla 5.1 y en la figura 5.5. En menor medida se encuentran cultivos de pasturas, sorgo y maní. En la mayoría de los casos domina la agricultura de secano, encontrándose sólo en algunos sectores, agricultura mediante riego artificial, tal como se observó al Este de la cuenca en estudio, donde se encuentra un sistema de riego artificial en funcionamiento desde Diciembre de 2012 (Fig. 5.6).

En algunos sectores, principalmente hacia el O de la zona de estudio se observan prácticas tales como labranza en curvas de nivel, albardones, etc. (Fig. 5.7), debido a la creciente erosión, hídrica y eólica, de los suelos en el sector.

Acción	P. Activo	Producto	Empresa	Fórmula
Herbicida	Glifosato	Glifosato	Atanor	
		Roundup max	Monsanto	Sal isopropilamina del N- fosfonometil glicina
		Roundup	Monsanto	
		Roundup full	Monsanto	
		Estrella	A.C.A Coop. Ltda.	
	2,4 D	2,4 D	Atanor	2,4 D éster butílico (2,4-diclorofenoxi) de ácido acético
	Atrazina	Atrazina	Marketing Agrícola	2-colo-4-etilamino-6isopropilamina-5triazina
Gesaprim 50 FW		Novartis		
S-metacloro	Dual Gold	Syngenta	(s)-2-cloro-N-(2-etil)-6-metil-fenil)-N-(2 metoxi-1-metil-etil) acetamid	
Insecticida	Cipermetrina	Cipermetrina 25	Nufarm	Mezcla de Isómeros cis y trans de alfa ciano 3-fenoxi-bencil 2,2-dimetil- 3-(2,2 diclorovinil) ciclo propano carboxilato
		Galgotrin	Chemotecnica	
Fertilizante	Fosfato monoamónico soluble	Nutridor	Nidera	N total 12% -P Asimilable 22%
	Sulfato de Amonio	Sulfato de Amonio	Bioterra	Nitrógeno Total (N): 21.0 % de Nitrógeno Amoniocal (w/w) Azufre Total (S): 24.0 % de Azufre en forma de Sulfato (w/w)

**Tabla 5.1:** Herbicidas e insecticidas utilizadas en la cuenca del arroyo Mosuc Mayú.



Figura 5.5: Envases de agroquímicos identificados en el área.



Figura 5.6: Sistema de riego artificial ubicado al Este de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú.



Figura 5.7: a- Albardones. b- Agricultura con prácticas en curvas de nivel, tramo superior, imagen de Goolge Earth.

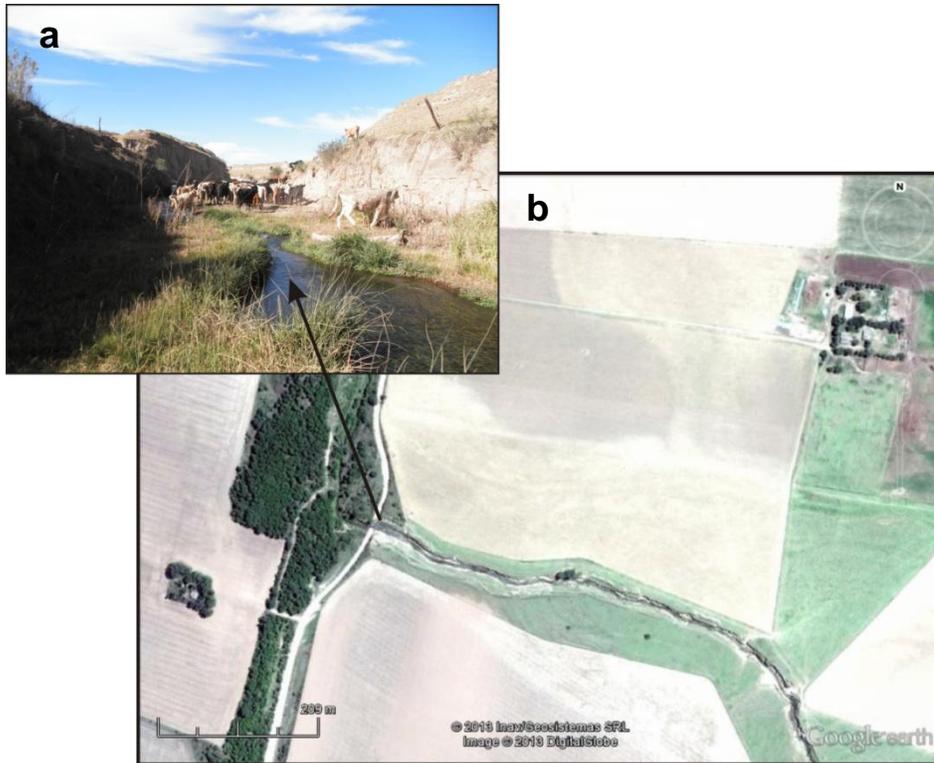
En cuanto a la actividad ganadera, se desarrolla principalmente cría de ganado vacuno (Fig. 5.8) y porcino (Fig. 5.9) de manera intensiva (feed lots) y extensiva (Fig. 5.10), y en menor proporción, cría de ovejas y gallinas.



**Figura 5.8:** Ganadería de vacunos intensiva en tramo medio. **a.** Medición in-situ de parámetros físico-químicos. **b.** Imagen Google Earth, corral con cría de ganado intensiva.



**Figura 5.9:** Ganadería de porcinos intensiva en tramo medio. **a.** Medición in-situ de parámetros físico-químicos en perforación en medio de corral de porcinos. **b.** Imagen Google Earth, establecimiento con cría intensiva de porcinos.



**Figura 5.10:** Ganadería extensiva en tramo inferior. **a.** ganadería en el cauce del arroyo Mosuc Mayú. **b.** Imagen Google Earth faja fluvial del arroyo Mosuc mayú.

---

# Capítulo 6

---

Hidrología Superficial  
y Subterránea  
Regional y Local

---

## **6.1- Hidrología Superficial Regional**

### **6.1.1- Introducción**

Los aspectos geológico-geomorfológicos del Sur de la provincia de Córdoba, permiten definir dos grandes ambientes hidrológicos interconectados: I) el correspondiente a la región serrana, planicies onduladas e intermedias caracterizado por la presencia de redes de drenaje organizadas, en general de carácter permanente y nivel freático medianamente profundo (Sierras de Comechingones y de las Peñas, Ambiente de agradación pedemontano y Llanuras eólicas bien drenadas) y II) el asociado a las áreas planas o deprimidas donde el drenaje es anárquico, el nivel freático se encuentra a poca profundidad o aflorando y proliferan los cuerpos lagunares o de bañados (Llanura fluvio-eólica imperfectamente drenada). Una característica muy gravitante en el funcionamiento hidrológico del área es el marcado carácter endorreico que posee la región y que perdura en el comportamiento de los distintos sistemas tal como se observa en la figura 6.1, a pesar que el hombre se ha empeñado en imponerle un carácter exorreico desde hace varias décadas (Degiovanni y Blarasin, 2005).

Al analizar globalmente el funcionamiento hidrológico de la región es posible efectuar algunas consideraciones de carácter general (Blarasin et al., 2002; Blarasin, 2003, Degiovanni, 2005):

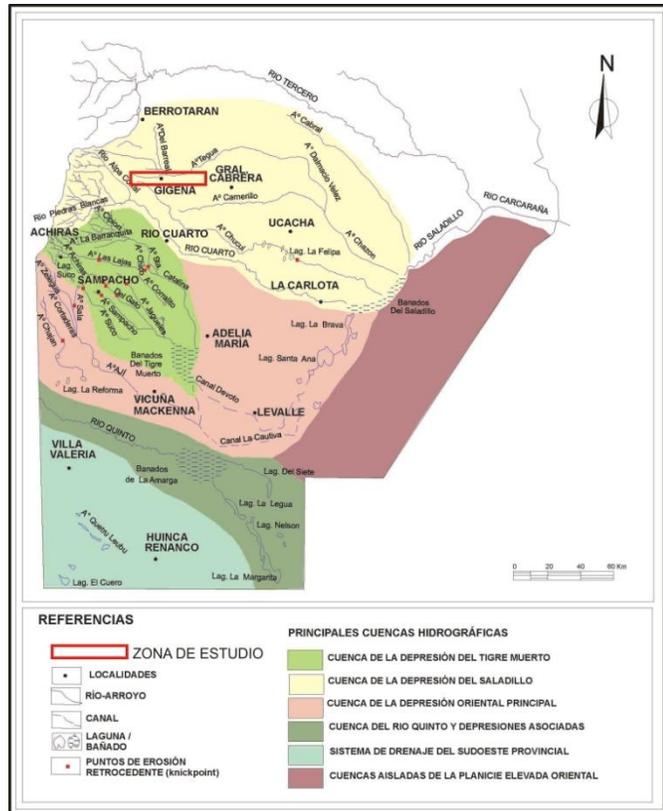
- La mayor parte de los cursos de agua de la región tienen sus nacientes en las Sierras de Comechingones. En los tramos medios reciben aporte freático por lo que adquieren carácter permanente. Sin embargo algunos cursos si infiltran a la salida de la sierra aportando al sistema subterráneo.
- Debido a la estacionalidad bien marcada de las precipitaciones, las cuales se concentran principalmente en primavera-verano, y a la ocurrencia de tormentas de alta intensidad, la mayor parte de los sistemas fluviales poseen régimen torrencial lo cual se ve favorecido por las características geológicas y el modo de ocupación del territorio en los distintos ambientes.
- En la región serrana, las rocas de muy baja permeabilidad, las altas pendientes y el deterioro de la cubierta vegetal (por sobrepastoreo, quemadas reiteradas, entre otros), provocan escurrimientos rápidos, concentración en cortos períodos de tiempo, generándose así crecidas muy importantes, con un notorio incremento de la carga sólida en las últimas décadas.

➤ Las cuencas que tienen sus nacientes en llanura muestran escasa evolución, con un único curso, en general rectilíneo y sin afluentes. Su funcionamiento está ligado a precipitaciones de alta intensidad local y su organización es muy dependiente de la actividad antrópica, que en la mayoría de los casos suele definir los límites reales de la cuenca.

En cuanto a la calidad del agua, la mayoría de los ríos y arroyos, presentan buena calidad, con tenores salinos que varían entre 100 mg/l en sectores serranos y 1000 mg/l en zonas de desembocaduras. En general son aguas bicarbonatadas que en cuencas medias y bajas aumentan el contenido de sulfatos y cloruros (Blarasin, 2003). En áreas serranas y pedemontanas son del tipo cálcica, mientras que van haciéndose sódicas en sectores bajos de llanuras.

Las lagunas, de muy variado tamaño y volumen contienen aguas de baja salinidad en la zona medanosa (más saladas cuando están vinculadas a la capa freática), hasta muy saladas en la región Oriental de la provincia. Estas últimas son de régimen permanente por aporte freático y del tipo geoquímico sulfatadas y/o cloruradas sódicas. La actividad antrópica es un factor fundamental en los procesos de degradación del agua superficial.

La utilización de aguas superficiales está restringida a un previo tratamiento de decantación, debido a la gran cantidad de sedimentos en suspensión que posee, como así también se deben realizar análisis químicos y microbiológicos. Esto depende de las particularidades de cada zona.



**Figura 6.1:** Mapa hidrográfico del Sur de Córdoba. Tomado de Degiovanni (2005).

## 6.2- Hidrología superficial local:

### 6.2.1- Introducción

La topografía fue analizada a escala 1:50.000, marcándose las líneas de escurrimientos permanentes y de aquellos efímeros en todos los bajos topográficos que se consideran funcionales en tormentas. Luego se marcaron divisorias generales y parciales de agua.

### 6.2.2- Hidrografía e hidrodinámica superficial

La cuenca presenta una red de drenaje jerarquizada que drena un área de 274 km<sup>2</sup> conformada fundamentalmente por escurrimientos efímeros que circulan con posterioridad a las tormentas en bajos topográficos o por el lecho de cárcavas (Fig. 6.2) formadas en tormentas anteriores

La red de drenaje de la cuenca es de tipo dendrítica, con control estructural y tramos rectos en el colector debido a canalizaciones. El flujo general es Oeste-Este aunque la margen Sur del arroyo en cuenca media y baja muestra un diseño de líneas de drenaje con orientación SO-NE. (Fig. 6.3).



Figura 6.2: cárcavas en tramo superior y captura.

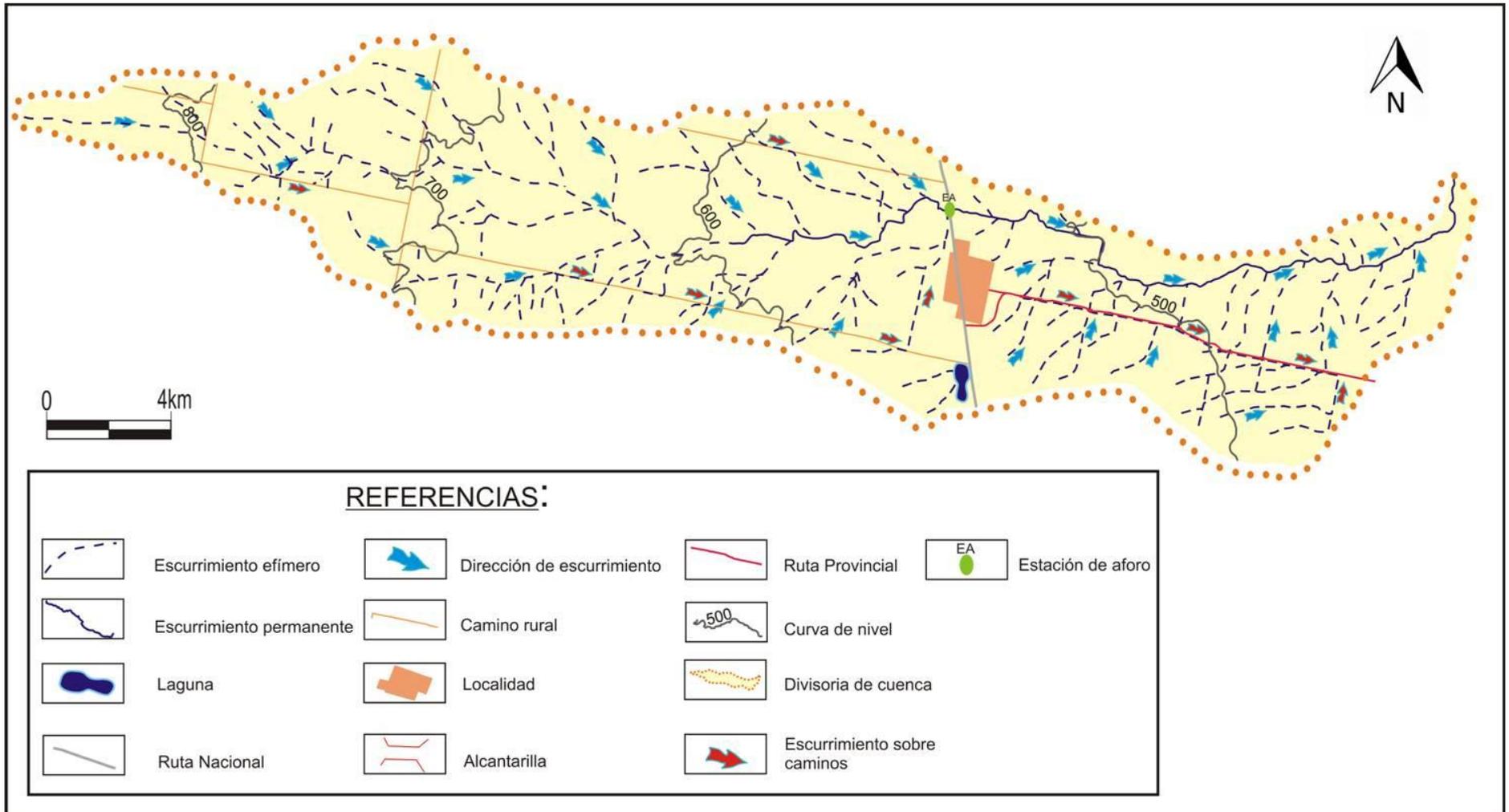


Figura 6.3 Mapa de red hidrográfica. Cuenca del Arroyo Mosuc Mayú, 2013.

Luego los escurrimientos se concentran en un único colector central, rectilíneo de dirección O-E, el arroyo Mosuc Mayú, que desemboca en el arroyo Tegua. Desde el punto de vista hidrológico el arroyo posee dos tramos bien marcados:

a- El tramo superior y parte del tramo medio de la cuenca, donde el arroyo presenta régimen hidrológico de tipo efímero, con dos afluentes principales funcionales en épocas de tormentas que se unen para dar lugar a un colector. Esta zona de cuenca alta se caracteriza por la presencia de cárcavas, algunas aisladas y otras que por procesos de retroceso han ido generando capturas y jerarquizando la red descrita. Se trata fundamentalmente de un proceso de disección bajo las condiciones climáticas húmedas actuales de la bajada descrita en el capítulo de geomorfología.

b- Por otro lado, el curso colector en parte del tramo medio y en el tramo inferior presenta carácter permanente dado el aporte freático. A él llegan escurrimientos efímeros a partir de bajos topográficos, fundamentalmente todos los de dirección SO-NE mencionados, que circulan por margen derecha.

Es importante destacar que la actual red de escurrimientos superficiales se encuentra intervenida por las actividades del hombre mediante la construcción de caminos rurales, que en épocas de lluvias actúan como sistemas colectores, cambiando la dinámica de las redes efímeras naturales, conformándose así un patrón combinado de bajos topográficos naturales y caminos

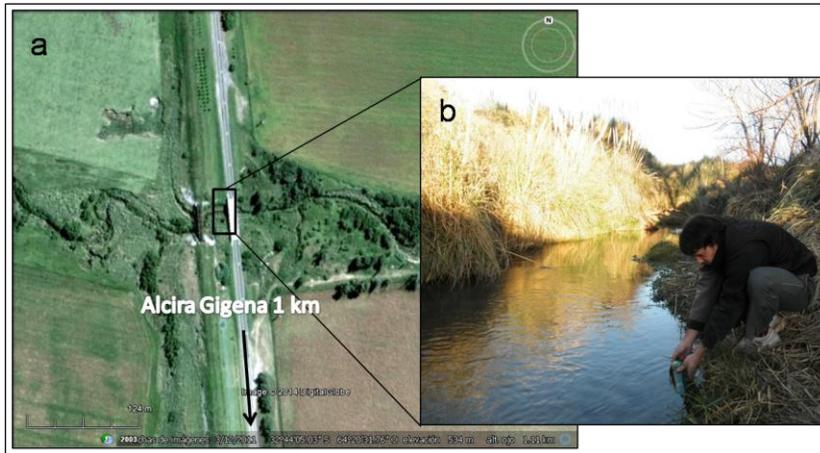
rurales que conducen los escurrimientos superficiales hacia el arroyo colector, por lo que red vial rural está muy deteriorada, con caminos muy profundizados (Fig. 6.4).



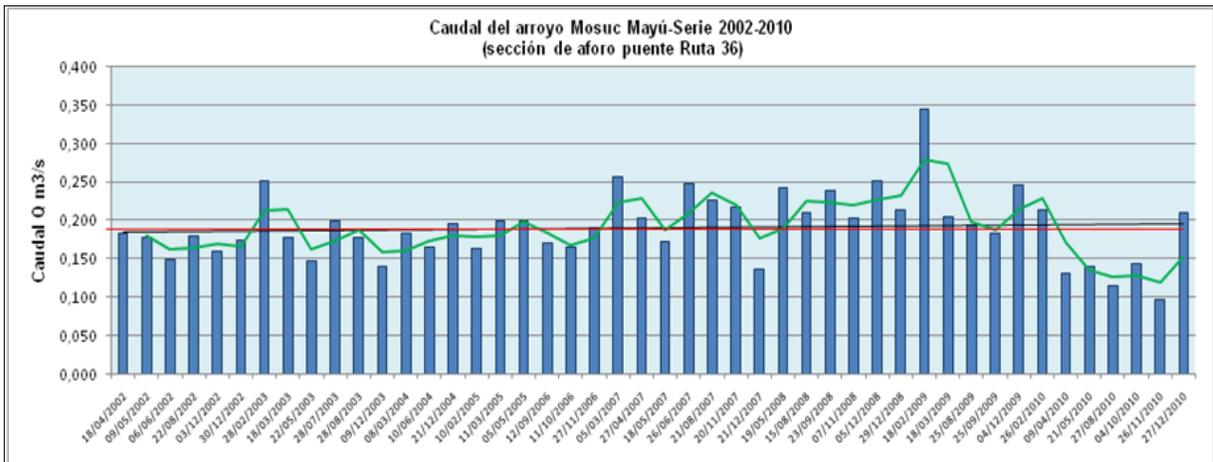
**Figura 6.4:** profundización de caminos

Utilizando datos aportados por Proyectos de Investigación del grupo de trabajo de Geología e Hidrología de Llanuras del Dpto. de Geología de la UNRC, se realizó el análisis de caudales instantáneos a partir del año 2002 hasta el año 2010, aunque como podrá observarse las medidas son saltuarias. La sección de aforo en donde fue recabada la información se encuentra a la altura del puente que permite el paso de la Ruta Nacional 36, ubicada hacia el Norte de la localidad de Alcira Gigena, como se observa en la figura 6.5.

Para la cuenca en estudio, en el período de aforo mostrado, se registró un caudal máximo de 0,345 m<sup>3</sup>/s el 18 de Febrero de 2009, mientras que como mínimo se registró 0,097 m<sup>3</sup>/s, el 16 de Noviembre de 2010. Se destaca que, de acuerdo a información recogida a campo, han ocurrido tormentas que generaron caudales más elevados que los que se muestran en la gráfica. En el gráfico de caudales (Fig. 6.6), se observa que los máximos valores coinciden con los meses de primavera-verano, mientras que los mínimos coinciden con los meses de otoño-invierno, lo cual es esperable de acuerdo al análisis climático realizado. Asimismo se observa que, a pesar de que se cuenta con datos saltuarios, el arroyo ha drenado caudales más bajos en períodos previos a 2007 y en el ciclo seco de los últimos 3 años, aunque en la serie sólo se muestran hasta el 2010, que efectivamente fue un año seco en la región.



**Figura 6.5:** ubicación de la sección de aforo, puente ruta nacional 36.  
 a. Imagen de Google Earth b. medición de parámetros in-situ.



**Figura 6.6:** Gráfico de caudales instantáneos del arroyo Mosuc Mayú, serie 2002-2010.

### Laguna Rivero

La Laguna Rivero, constituye un cuerpo de agua superficial de gran importancia. La misma se encuentra en el tramo medio de la cuenca, al Sur de la localidad de Alcira Gigena. Presenta un origen natural, con dimensiones entre 1,7 km de largo y 0,7 km de ancho (Fig. 6.7). Forma parte de un bajo importante que recibe efluentes desde el sector Oeste y Noroeste de la cuenca. En épocas de grandes precipitaciones, tal como ocurrió el 27 de Enero de 2014, donde se registraron 100 mm caídos en 2 hs, la laguna desborda sus límites generando inundaciones, cortando la Ruta Nacional N° 36 (Fig. 6.8). En la actualidad se están realizando canales para desagotar las áreas inundadas.



Figura 6.7: a- Imagen Google Earth, laguna Rivero, Marzo 2013. b- Imagen Google Earth, laguna Rivero, Octubre 2013.



Figura 6.8: Laguna Rivero, desborde posterior a tormenta. 27 de Enero, 2014.  
Fuente: Puntal, 28 de Enero 2014

### 6.3- Hidrología subterránea regional:

#### 6.3.1- Introducción

La estratigrafía de los depósitos aflorantes (modificada de Cantú, 1992) y de los materiales identificados hasta los 400 m de profundidad, fue dada a conocer en Blarasin (2003). Para ello se procedió a la interpretación de numerosas perforaciones que permitieron elaborar un modelo conceptual hidrogeológico a nivel regional, que se muestra en el mapa de la figura 6.9.

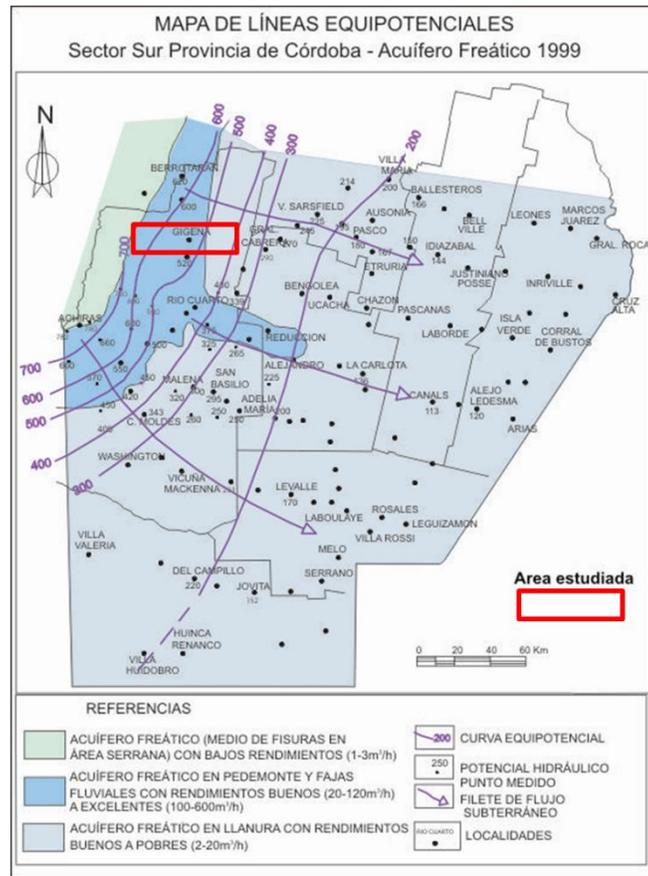


Figura 6.9 Mapa de equipotenciales del Sur de Córdoba. Tomado de Blarasin (2003).

En el esquema hidroestratigráfico regional representado en la figura 6.10 a, el acuífero freático se aloja en los materiales Cuaternarios eólicos y fluviales de origen continental. Por debajo, en algunos sectores, existen acuíferos semiconfinados. Los materiales de mejor aptitud acuífera (Formación Chocancharava, Formación Las Lajas y otros de granulometrías gruesas sepultados a diversas profundidades), con alta conductividad hidráulica y transmisividad, están fundamentalmente vinculados a las fajas fluviales de los principales ríos y arroyos. El resto de los materiales, eólicos y aluviales finos, aloja un

acuífero freático de características pobres (Formación La Invernada, Formación Laguna Oscura, etc.). A mayor profundidad pueden distinguirse dos ambientes diferentes de sedimentación, de origen marino y continental, para el sector Oriental y Occidental de la provincia respectivamente, cuyos sedimentos de edad Neógeno superior, alojan los principales acuíferos confinados de la región (Formación Tigre Muerto y Formación Paraná).

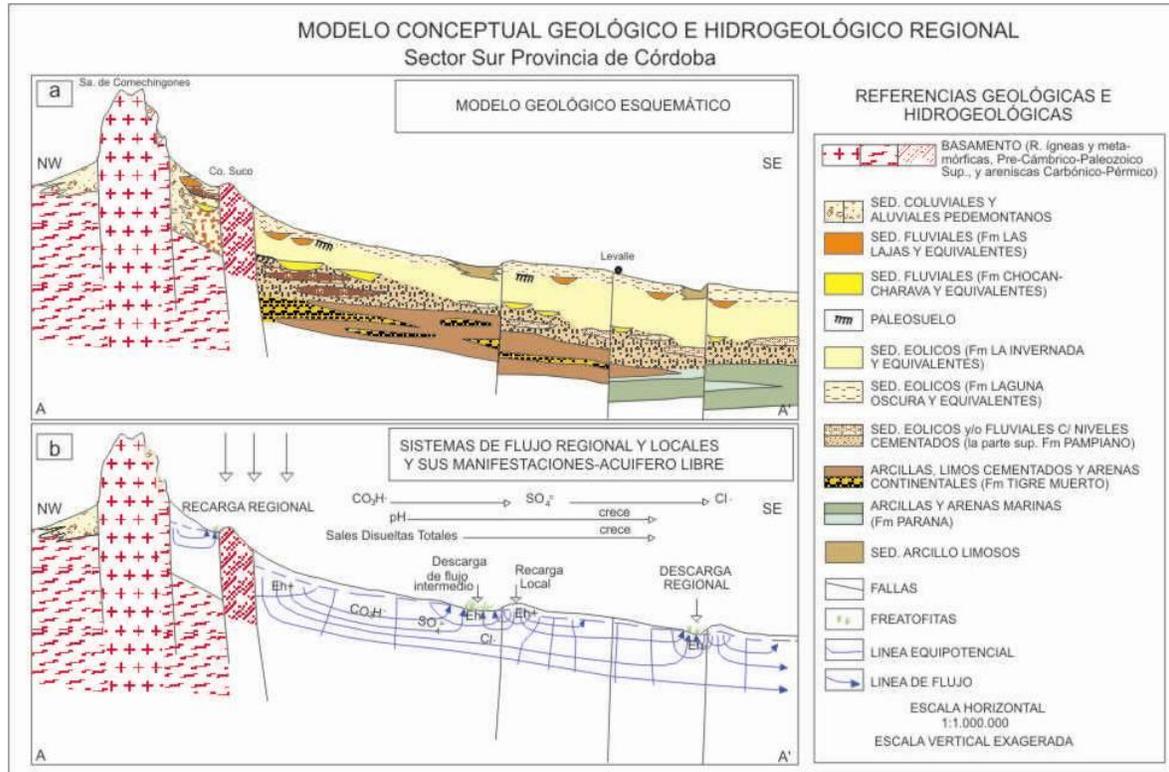


Figura 6.10. a. Esquema geológico e hidrogeológico regional. Sector Sur. Provincia de Córdoba. b. Flujos regionales y locales sector Sur de la provincia de Córdoba. Tomado de Blarasin (2003).

### 6.3.2- Características hidrogeológicas, potencialidades y restricciones de uso del acuífero libre

#### ➤ Acuífero libre en zona serrana

**Acuífero en medio fracturado:** El sistema de fracturas y diaclasas que poseen las rocas del basamento aflorante en las sierras, da origen a un sistema acuífero con permeabilidad secundaria, libre (con niveles freáticos virtuales), de cualidades pobres en

cuanto a su capacidad para conducir el fluido, pero de importancia en la dinámica hidrológica regional y local y en las características químicas del mismo.

**Acuífero en medio clástico:** Está constituido por los sedimentos de edad Cuaternaria que rellenan los valles intermontanos y se alimenta de la infiltración de lluvias locales y del aporte de agua de las rocas circundantes.

➤ **Acuífero libre en zona de llanura**

Teniendo en cuenta los materiales que conforman el acuífero freático y sus potencialidades restricciones de explotación pueden considerarse dos grandes zonas:

**Acuífero en fajas fluviales más importantes:** Se trata de sectores que bordean el río Cuarto y algunos tramos del sector medio del sistema Santa Catalina-del Gato. Allí, los materiales en general gruesos (arenas finas, gruesas y gravas) están vinculados a paleocauces y alojan un acuífero excelente debido a su rendimiento (y también calidad ya que estas fajas suelen estar asociadas a aguas dulces de gran aptitud para todo tipo de uso).

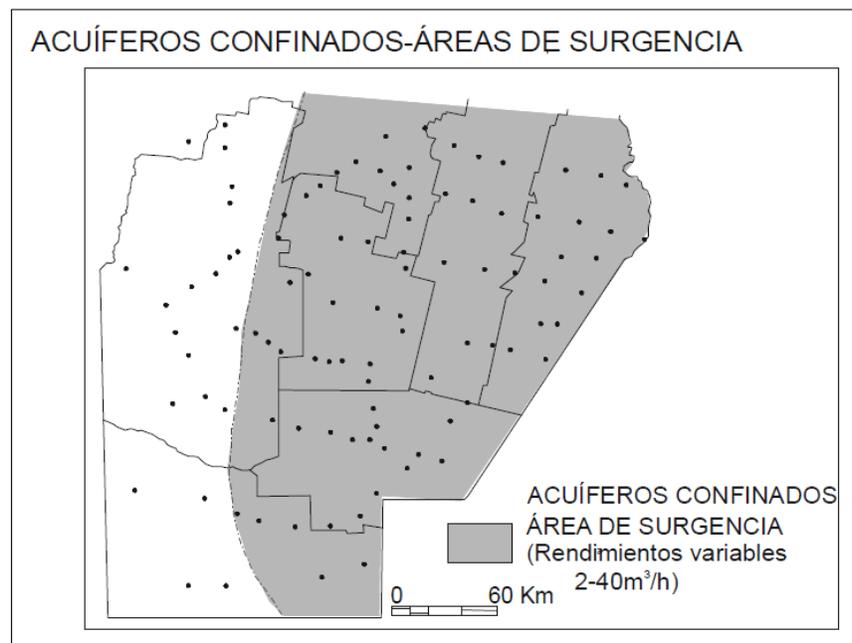
**Acuífero en el resto de la llanura cordobesa:** corresponde a sedimentos fluviales en posiciones medias y distales y todas aquellas planicies intermedias, deprimidas y mal drenadas compuestas por materiales eólicos. En esta amplia zona, el acuífero es bastante homogéneo, está compuesto por materiales predominantemente arenosos finos, limosos y limo arcillosos, con abundantes niveles de cementaciones con carbonatos (calcretos o “toscas”) de espesores variables y ubicados a distintas profundidades.

Este ambiente aloja un acuífero freático que, aunque de mediana a baja conductividad hidráulica, se considera de relevancia económica social muy destacada ya que casi todas las localidades y fundamentalmente las zonas rurales se abastecen de él.

**6.3.3- Acuíferos confinados:**

Los acuíferos confinados y semiconfinados se encuentran en la gran región localizada al Este y Sudeste de la franja pedemontana, encontrándose el área de surgencia algo más restringida al ámbito del Sudeste cordobés (Fig. 6.11). Están formados en general por arenas finas medias y gruesas (a veces con gravas muy subordinadas) correspondientes a antiguos depósitos fluviales, ubicados a profundidades variables reconocidas hasta el presente entre los 130 y los 400 m, cuyos techos y bases son potentes paquetes de arcillas ocráceas. Para acuíferos profundos ubicados en el sector Oriental de la provincia las evidencias indican que los materiales arenosos corresponden

a antiguas intrusiones marinas (Renz, 1993, Gómez, 1995). En el sector Occidental de la provincia están vinculados a un origen continental, alojándose los niveles confinados en los materiales arenosos y areno-gravosos que, aunque de reducido espesor, se intercalan entre paquetes de limos y arcillas ocráceas.



**Figura 6.11:** Acuíferos confinados y área de surgencia en el Sur de la provincia de Córdoba. Fuente: Blarasín (2003).

#### 6.3.4- Hidrodinámica Subterránea

La configuración geológico-geomorfológica en bloques que basculan al Este-Sudeste, es el principal condicionante de los flujos locales intermedios y regionales del agua subterránea.

Si bien el agua del acuífero libre circula con una dirección general NO-SE, como en todos aquellos sistemas de flujo de agua subterránea en regiones con relieve ondulado, se observa una jerarquización de los flujos, distinguiéndose niveles locales, intermedios y regionales, que interactúan con el ambiente (Toth, 1999) (Fig. 6.10 b.). Durante tal interacción la dinámica del agua subterránea cumple mecanismos de movilización, transporte (distribución) y acumulación, que producen en la región efectos típicos:

- Flujo descendente en áreas de recarga y ascendente en áreas de descarga, con potenciales hidráulicos descendentes y ascendentes en profundidad, respectivamente.

- Balance de agua en general negativo en áreas de recarga y positivo en las de descarga, apareciendo en las últimas bañados y lagunas.
- Cambios en las facies aniónicas del agua, desde bicarbonatadas hasta cloruradas, pasando por sulfatadas, tanto según las direcciones de flujo cuanto en profundidad.
- Condiciones oxidantes en áreas de descarga y predominantemente reductoras en las de descarga, destacándose éstas últimas además por la presencia de suelos salinos alcalinos y depósitos salinos.

#### 6.4- Hidrología subterránea local:

##### 6.4.1- Hidrolitología e hidroestratigrafía local:

El acuífero libre o freático en el área estudiada está caracterizado por material poroso clástico de origen fundamentalmente eólico y fluvial. En general los primeros metros se encuentran dominados por materiales de origen eólico, arenosos muy finos-limosos, cuyas conductividades hidráulicas (K) se estiman, según valores tabulados (Tabla 6.1 y 6.2) (Custodio y Llamas, 1983; Brassington, 2007; etc.) en el orden de 0,5 a 1 m/d, encontrándose a mayores profundidades diferentes depósitos de paleocauces de variados espesores, compuestos por materiales arenosos desde finos a muy gruesos con presencia de gravas, cuyas K serían del orden de 5 a 30 m/d.

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

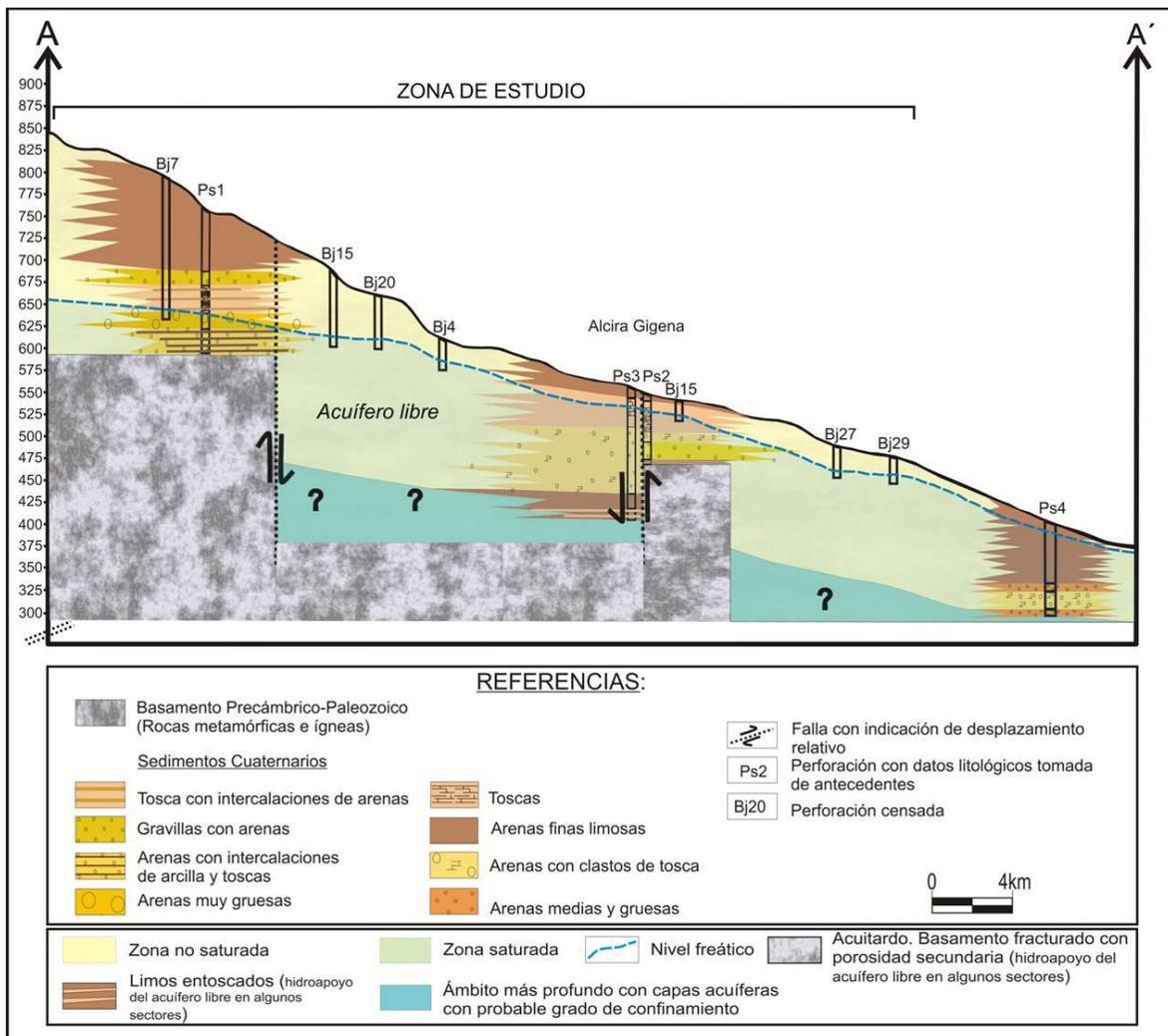
**Tabla 6.1:** Valores de K según el tipo de material (Custodio y Llamas, 1983).

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

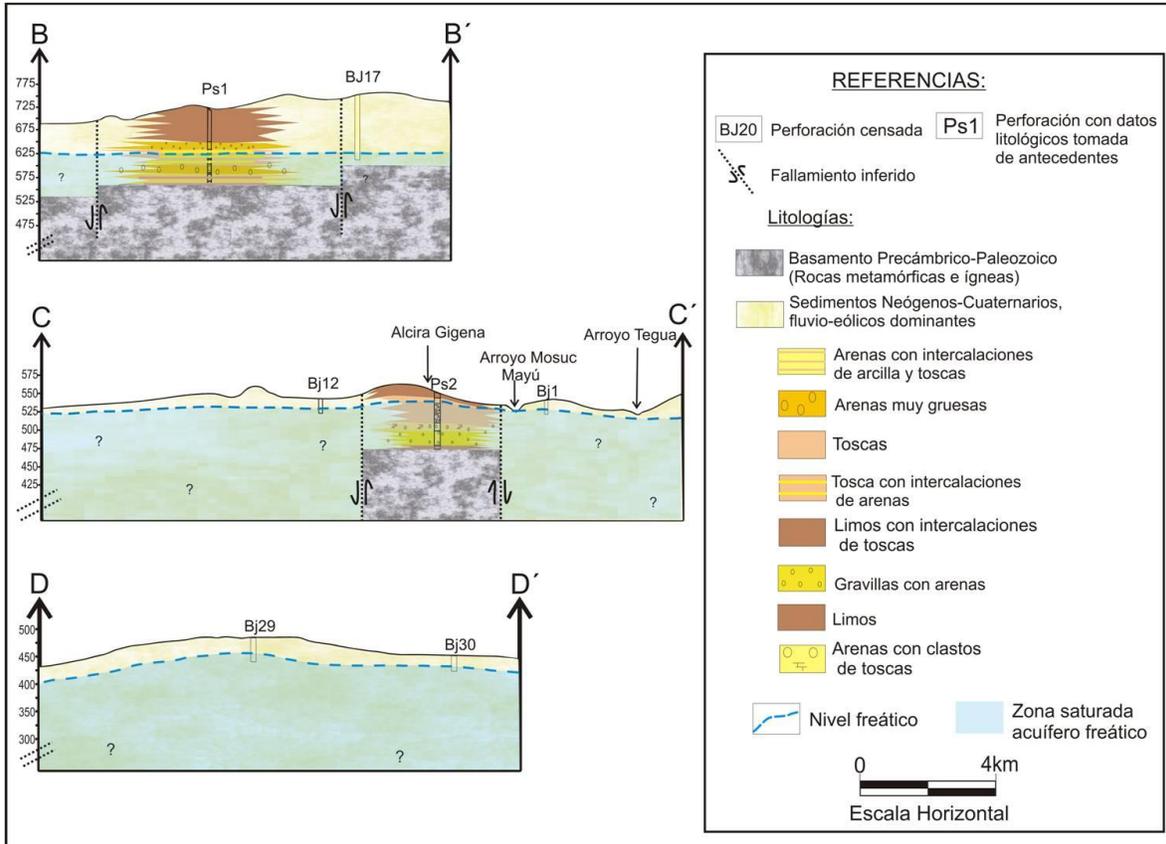
**Tabla 6.2:** Valores de porosidad en acuíferos (Brassington, 2007).

Tras realizar la interpretación basada en los datos mostrados en el capítulo 2 de geología local, y en los datos de niveles freáticos que se mostrarán en detalle en un apartado posterior en este capítulo, se confeccionaron cuatro cortes hidrogeológicos esquemáticos en profundidad, mostrando la variación hidrolitológica y el espesor acuífero, en diferentes sectores representativos de la cuenca, uno de orientación ONO-ESE y tres S-N, representando los tramos superior, medio e inferior del área, cuya ubicación se muestran en la figura 2.17. Se recuerda que una de las perforaciones de la planicie eólica no está ubicada dentro de la cuenca estudiada, pero se la utiliza por constituir información útil del subsuelo.

El perfil A-A' de orientación ONO-ESE está representado en la figura 6.13 y los tres perfiles B-B', C-C' y D-D', de orientación S-N en la figura 6.14.



**Figura 6.13:** Perfil hidrolitológico ONO-ESE, Cuenca arroyo Mosuc Mayú, 2013.



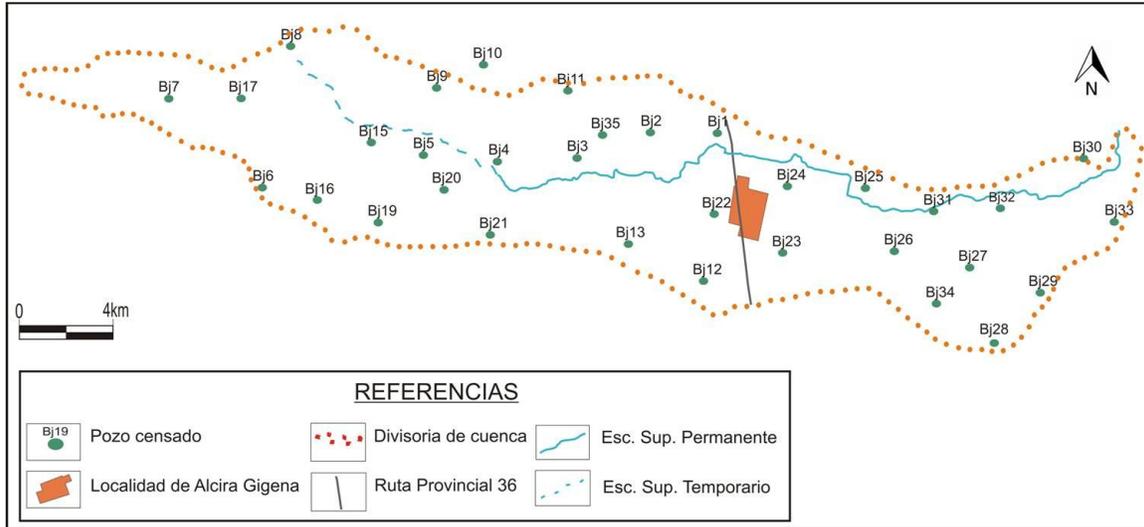
**Figura 6.14:** Perfil hidrolitológico S-N, B-B', perteneciente a la cuenca alta. Perfil, C-C', perteneciente a cuenca media. Perfil, D-D', perteneciente a la cuenca baja del arroyo Mosuc Mayú, 2013.

El hidroapoyo del acuífero no ha sido definido en su totalidad, encontrándose constituido por basamento en el tramo superior y en parte del medio, donde se tienen datos de la presencia del mismo a 160 y 75 m respectivamente, por lo que se interpreta la existencia de un importante control estructural de las fallas descritas para la zona, que influye en la variabilidad de posición del basamento en profundidad. En el área restante el potencial hidroapoyo estaría constituido por materiales finos limosos, cementados ("toscas") o bien arcillas, aunque no es posible diferenciar una capa continua que ejercería de base del acuífero.

#### 6.4.2.- Hidrodinámica del acuífero libre

Como se indicara en materiales y métodos (Cap. 1) se recogieron datos de profundidad del nivel freático estático del acuífero libre de la cuenca en estudio para realizar las correspondientes interpretaciones. (Fig. 6.15 y 6.16). La mayoría de las captaciones existentes corresponden a molinos, con antepozos de variable profundidad en función de

la posición del nivel freático (Fig. 6.17). En algunos sectores hay perforaciones con bombas electro-sumergibles (Fig. 6.18).



**Figura 6.15:** Mapa de ubicación de los pozos censados, Cuenca del Arroyo Mosuc Mayú, 2013.



**Figura 6.16:** Medición de niveles freáticos estáticos. Cuenca arroyo Mosuc mayú, 2013.



**Figura 6.17:** Ejemplos de perforaciones censadas con molino y antepozo calzado.



**Figura 6.18:** Ejemplos de perforaciones censadas con electrobomba sumergible.

Con el fin de detallar áreas de recarga y descarga, dirección y sentido de flujo del agua subterránea, gradientes hidráulicos y relaciones con el agua superficial, se confeccionó un mapa de equipotenciales, a partir de datos de potenciales hidráulicos, calculados con la información obtenida de 35 pozos (de los cuales los datos de B8 y B20 fueron tomados de la cuenca del arroyo El Cano y Cuenca del río Cuarto respectivamente) (Fig. 6.19).

En general, la morfología que presenta la superficie freática es suavemente ondulada. El sentido de flujo subterráneo es O-E, radial con moderado carácter centrípeto hacia el arroyo en cuenca alta, coincidiendo de forma general con el escurrimiento superficial. Esta coincidencia también se observa en cuenca media-baja, en donde las líneas de flujo de agua subterránea poseen notoria similitud con los escurrimientos superficiales. Así, la margen Sur del arroyo en cuenca baja posee claras direcciones de flujo en sentido SO-NE, con dirección hacia el arroyo, al que alimenta por la margen derecha. En el tramo medio se observa claramente la zona donde el arroyo comienza a drenar el acuífero (arroyo efluente) ya que las curvas equipotenciales insinúan la curvatura hacia aguas arriba, dirigiéndose el flujo subterráneo hacia el arroyo.

Hacia el Norte y Sur, en cuenca alta se pudo definir un tramo de la principal divisoria de agua subterránea, las que se muestran levemente desplazadas con respecto a la divisoria de aguas superficiales. Por otro lado, hacia el Sur del tramo medio se observa una divisoria parcial, de menor incidencia en el flujo general de la cuenca, desviando las direcciones de flujo hacia la laguna Rivero, la cual presenta un carácter permanente.

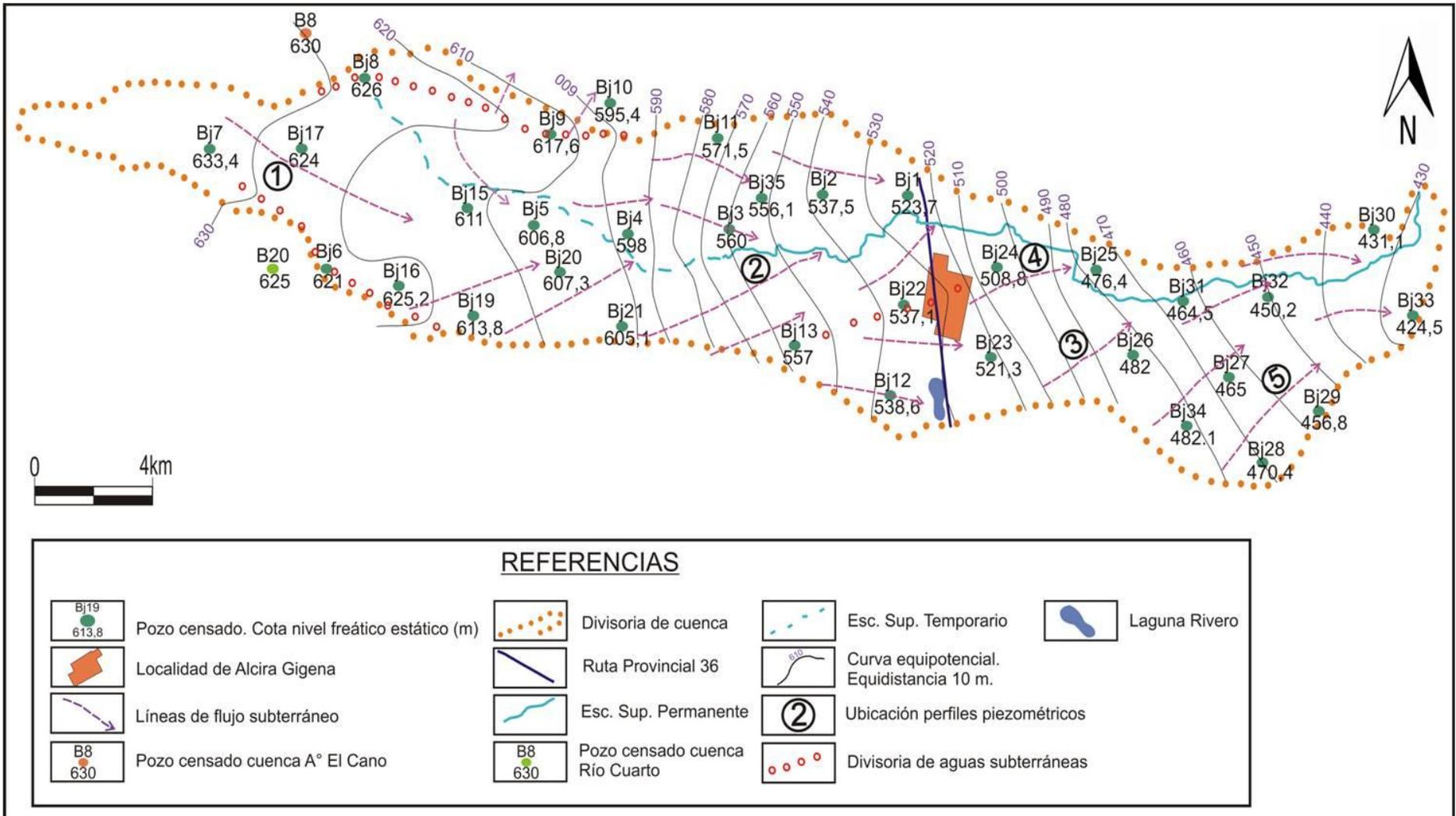


Figura 6.19: Mapa de equipotenciales del acuífero freático, cuenca arroyo Mosuc Mayú, 2013.

Se observan variaciones en el comportamiento de los gradientes hidráulicos. El tramo superior de la cuenca presenta valores de gradientes que varían entre 0,2 % y 0,6 %, mientras que para el tramo medio e inferior los valores se encuentran entre 0,8 % y 2,1 %. Esto es bastante inusual, ya que normalmente, y como se ha observado en otros arroyos de la región, (Matteoda, 2012, Giuliano Albo, 2013), los mayores gradientes se encuentran en cuenca alta y en zonas pedemontanas. Este aspecto puede estar controlado por cambios en la transmisividad del acuífero (el aumento de T por las altas K, puede disminuir la pendiente hidráulica, ya que aumenta el área de paso por los poros interconectados, a pesar de que el acuífero en cuenca alta tiene menos espesor).

### Perfiles de depresión

Se elaboraron perfiles de depresión siguiendo las líneas de flujo de mayor interés (Fig. 6.20) con el objetivo de mostrar la relación entre la superficie freática y la topografía, con las áreas de descarga local.

En los perfiles 2 y 4, ubicados en el sector denominado “Planicie fluvio-eólica con paleocauces” y “Planicie eólica con rasgos subparalelos”, se observa una descarga del acuífero, dando lugar al carácter permanente del arroyo Mosuc Mayú, el cual se mantiene de esta manera hasta su desembocadura con el arroyo El Tegua. Por otro lado, en los perfiles piezométricos 1, 3 y 5 se observan espesores variables de zona no saturada, mostrando gradientes más elevados en 3 y 5 con respecto al perfil 1, el que además muestra el mayor espesor de Zona no saturada..

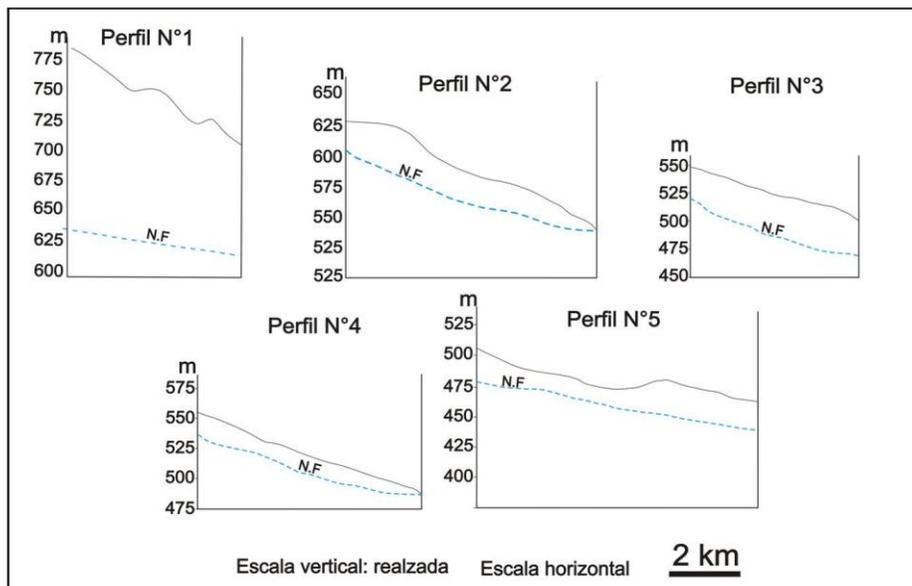


Figura 6.20 Perfiles de depresión.

#### 6.4.2.1- Cálculo de gradientes hidráulicos:

Se utilizaron los niveles piezométricos en función de la distancia que separa el inicio del final de cada línea de flujo seleccionada y se obtuvieron los siguientes valores (Tabla 6.3) mediante la ecuación:

$$i = \Delta h / \Delta l * 100$$

Se observa una variación en los gradientes hidráulicos. El tramo superior de la cuenca presenta los valores más bajos, entre 0,3 y 0,5 %, como se indicara previamente. A partir del tramo medio se observa un aumento en los valores de gradientes hidráulicos, encontrando valores entre 0,9 y 1,1 %, mostrando una disminución a medida que se aproximan a la desembocadura del arroyo Mosuc Mayú con el arroyo El Tegua.

Línea de flujo	$\Delta h$ (m)	$\Delta l$ (m)	$i$	$i$ (%)
1	18,4	6500	0,003	0,3
2	55	6714	0,008	0,8
3	30	3393	0,009	0,9
4	40	3553	0,011	1,1
5	30	4035	0,006	0,6

Tabla 6.3: Gradientes hidráulicos.

#### 6.4.2.2- Cálculo de velocidad real efectiva:

Se realizó el cálculo de la velocidad real efectiva para los tramos superior, medio e inferior de la cuenca (tabla 6.4), usando las líneas de flujo 1, 2 y 5 y teniendo en cuenta las litologías en las diferentes zonas por lo que las K utilizadas en cuenca alta son las mayores. La ecuación utilizada es representada a continuación:

Donde:

$$V_{re} = K * i / p$$

**Vre:** velocidad real efectiva (m/d)      **K:** conductividad hidráulica (m/d)

**i:** gradiente hidráulico.      **pe:** porosidad efectiva.

Los valores de conductividad hidráulica (K) y porosidad efectiva (pe), fueron estimados, por medio de tablas, como un valor ponderado, a partir del cálculo de cada estrato que

compone la columna estratigráfica del acuífero libre, cuando se dispuso de información litológica más detallada en perforación cercana al sitio de cálculo.

Tramo (línea de flujo)	$K$ (m/d)	$i$	$pe$	$V_{re}$ (m/d)
Tramo superior(1)	5	0,003	0,11	0,14
Tramo medio (2)	2	0,008	0,07	0,23
Tramo inferior(5)	1,5	0,006	0,05	0,18

Tabla 6.4: Velocidad real efectiva.

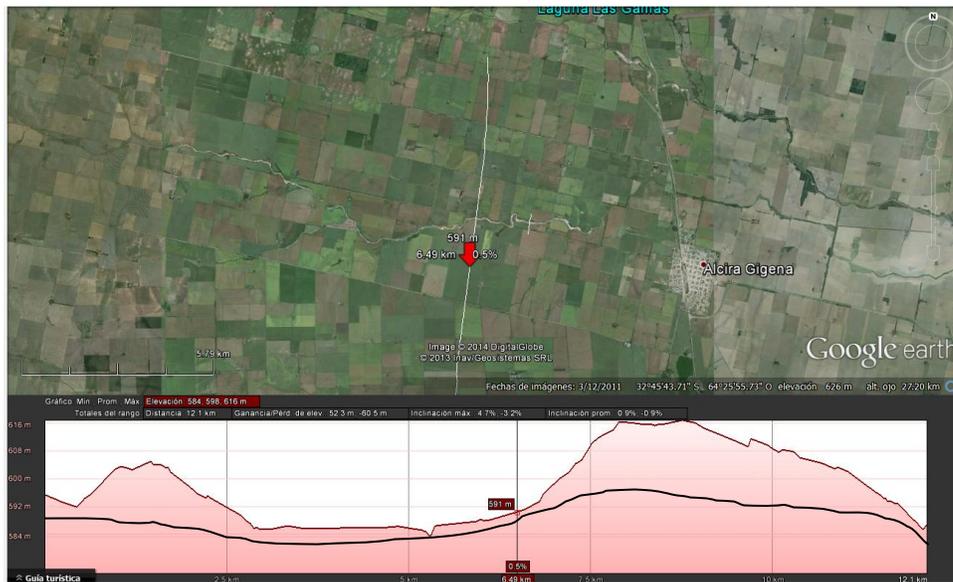
De acuerdo a los valores obtenidos, se observa en general que las velocidades son similares en orden de magnitud ya que si bien en cuenca alta los gradientes son menores, las  $K$  de zona saturada son mayores. Los valores calculados reflejan un cambio de velocidad desde el tramo superior hacia el tramo medio, siendo en este último, superior. Esto puede explicarse dado que si bien el espesor acuífero en el tramo superior (un promedio aproximado de 40 m), es inferior que en el resto de la cuenca (60 o más), los valores de conductividad hidráulica ( $K$ ) y porosidad específica ( $pe$ ) estimados para ese tramo son mayores, dado que en el tramo medio la  $K$  y  $pe$  de los sedimentos es menor, se genera una menor sección de paso para el agua que circula por el acuífero libre, aumentando levemente los gradientes y la velocidad real en este sector. El tramo inferior presenta velocidad real efectiva algo menor que el tramo medio, a pesar de presentar litologías con conductividades similares. Esto podría explicarse debido a un aumento en el espesor acuífero generando una disminución en el gradiente y un descenso en la velocidad de circulación del agua.

#### 6.4.2.3- Profundidad del nivel freático:

Se realizó un mapa que indica la profundidad del nivel freático estático, el cual se muestra en la figura 6.22.

Se observa que las zonas de mayor profundidad del nivel freático estático ocurren en la unidad “Bajada levantada y disectada” (ver cap. Geomorfología) variando entre 50 y 150 m, aunque podría haber valores algo mayores más al Oeste que no pudieron ser medidos. A partir de la isolínea de 40 m se observa una leve disminución en la variación del nivel freático hacia el Este, manteniéndose el espesor de la zona no saturada más homogéneo en el tramo medio e inferior, donde culmina con valores entre 10 y 20 m. Considerando valor cero de profundidad del nivel freático aquel del pelo de agua en el arroyo, ya que en ese tramo tiene régimen permanente, se ha interpolado la línea de 10 m para indicar el

modo en que varía la profundidad del nivel freático hacia el arroyo, observándose que disminuye gradualmente desde las lomas de divisoria donde alcanza valores de más de 20 m. Esta importante diferencia en los valores de nivel está justificada por las diferencias topográficas como se observa en el perfil de la figura 6.21.



**Figura 6.21:** Perfil de elevación tomado de Google Earth con indicación aproximada de nivel freático

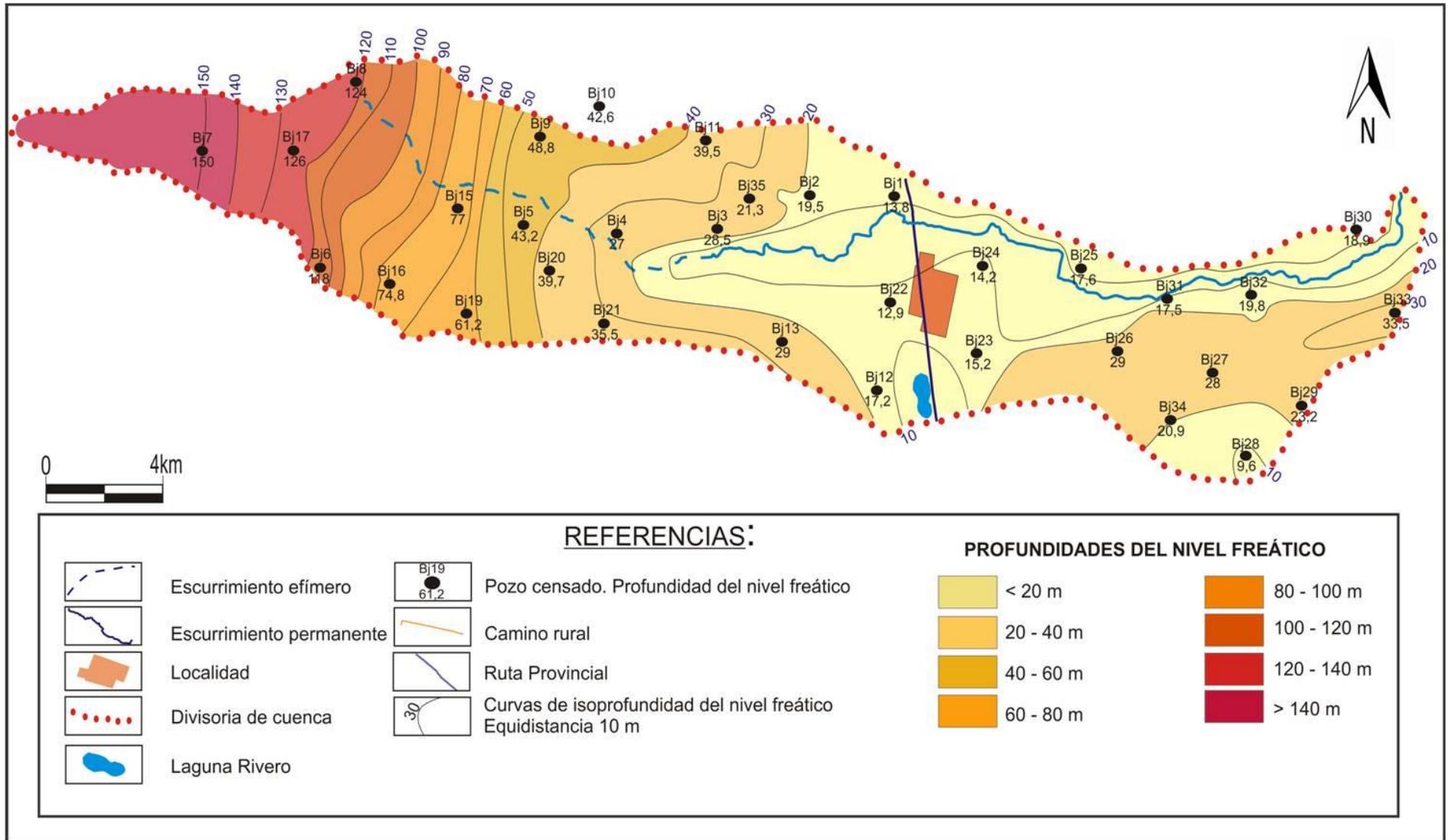


Figura 6.22: Mapa de Isopropfundidad del nivel freático, arroyo Mosuc Mayú, 2013.

---

# Capítulo 7

---

Hidroquímica Regional  
y Local

---

## **7.1- Introducción**

La interacción del agua subterránea y el medio sólido es intensa y cambiante, espacial y temporalmente; depende de la naturaleza del medio, de la composición del agua original, de las características de la zona no saturada, de la temperatura, de las influencias antrópicas, de los mecanismos de recarga y descarga y de tantos otros parámetros que no se puede hablar de metodologías de estudio de aplicación universal para determinar la evolución geoquímica del acuífero sino que cada caso concreto, debe abordarse con metodología propia y específica.

Cada cuerpo de agua ya sea superficial o subterránea, presenta distintas especies químicas en solución, las cuales determinan la salinidad de la misma. Algunas especies o iones tienen mayor incidencia en la determinación de la calidad físico-química de las aguas, por encontrarse en mayores proporciones, de allí que se pueden definir como iones mayoritarios a las especies  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  y  $\text{Cl}^-$ . Por otro lado los iones son considerados minoritarios cuando su concentración está comprendida entre 1 y 0,01 % y traza cuando se encuentra en concentraciones por debajo de 0,01 % (Díaz Delgado et al., 2005).

Los procesos físico-químicos que tienen lugar en el contacto agua-roca/sedimento e, incluso, en el contacto entre dos aguas de diferente composición, responden a la búsqueda de equilibrios iónicos. De esta forma se van incorporando iones que producen cambios físico-químicos en la composición del agua, cada uno de ellos tiene un comportamiento particular y varía de acuerdo a las condiciones del acuífero.

Cada sistema subterráneo se encuentra en equilibrio con el medio natural que lo rodea, intercambiando materia y energía, y a su vez el medio natural se encuentra en constante interacción con el medio socio-económico-cultural, lo cual influye directamente en las aguas subterráneas. Una de las afectaciones más significativas resultante de esta interacción, es la contaminación de las aguas por procesos derivados de las actividades humanas. Es por ello que se vuelve imprescindible conocer en detalle los recursos hídricos disponibles, su dinámica y calidad con el fin de regular de forma adecuada su manejo. Sin embargo, definir si la composición físico-química de las aguas subterráneas es natural o ha sido afectada en mayor o menor medida por la actividad humana no es generalmente un problema fácil de resolver. Para poder aseverar que la contaminación ha ocurrido, se requieren conocimientos de las características espaciales y temporales (tendencias) de los principales iones y una definición de la composición hidroquímica del agua en estado natural (Edmunds y Shand, 2008).

En principio la adquisición de solutos está determinada por una serie de procesos y reacciones que ocurren dentro del ciclo hidrológico en escalas de tiempo de días a milenios. Manzano et al (2005) definen como las principales fuentes del fondo natural del agua subterránea a la composición química de la lluvia, que debe ser considerada como el fondo natural mínimo de un acuífero, el resultado de su concentración por evaporación y transpiración y la mineralogía del medio.

Para lograr distinguir los cambios antropogénicos en la composición química natural del agua, es necesario determinar los valores de las concentraciones de fondo, el cual puede encontrarse ya afectado por actividades antrópicas.

En este contexto algunos autores aplican los términos “fondo” o “umbral” indistintamente, para indicar que la condición inicial puede incluir algún componente antropogénico (Lee y Helsel, 2005; Reimann y Garrett, 2005).

Manzano et al. (2003) determina que “el fondo natural de la calidad del agua subterránea es el rango de concentraciones de un elemento, especie o sustancia dados presente en fase disuelta y derivado de fuentes geológicas, biológicas o atmosféricas naturales”. Entonces, cualquier posible impacto sobre la calidad de agua se evalúa por comparación con ese fondo natural, cuyas características pueden usarse de referencia para manejo y restauración (Matteoda, 2012).

Se asume que los valores ubicados por encima del rango de “fondo natural” son los valores anómalos que pueden considerarse afectados por contaminación derivada de acciones antrópicas, la línea que los separa es denominada, “umbral” o “línea de base ambiental” es decir la que diferencia lo natural de lo afectado por la humanidad (Blarasin et al., 2012, Matteoda, 2012). Cabe aclarar que es de gran importancia vincular el cálculo del fondo natural o fondo natural actual (Blarasin et al., 2012) a la fecha de muestreo, sentando una base de conocimiento acerca de la calidad química del agua en ese momento, de modo tal que futuros monitoreos puedan hacer referencia a esos datos.

Para evaluar el fondo natural de la calidad del agua en aquellos casos en los que el compuesto proviene de fuentes naturales, pero que gran parte de los valores anómalos podrían provenir de una fuente contaminante, como es el caso de  $\text{NO}_3$ , se recurre al método de Walter (2006), en el que se utiliza la mediana para definir valores característicos, descartándose previamente valores anómalos con un procedimiento de descarte iterativo con base estadística.

Para el caso de elementos que claramente procedan de procesos naturales, para lo cual debe mediar un estudio hidrogeoquímico completo, el concepto de fondo natural y

cálculo de valor característico, debe incluir todos los valores hallados de las variables analizadas. Un ejemplo típico de esto son el As y F en aguas subterráneas de la llanura Chacopampeana, elementos claramente derivados de la composición mineralógica y ambiente geoquímico propios de la región, los que se encuentran en valores muy variables y que deben ser considerados todos como parte del fondo natural (Blarasin et al., 2006, Matteoda, 2012).

Finalmente para aquellos elementos o compuestos químicos que claramente se incorporan al agua mediante actividades antrópicas, constituyendo contaminantes sintéticos (naftas, CFC, etc.), no es necesario establecer su línea de base, dado que no existían en un estado natural o primario de la composición química del agua.

Para realizar los cálculos, resulta de suma importancia considerar la distribución estadística de las variables analizadas mediante el uso de técnicas apropiadas, ya que tradicionalmente se ha asumido que las distribuciones geoquímicas son normales, o más generalmente, lognormales (Reimann y Filzmoser, 1999).

Desde el análisis estadístico entonces, uno de los pasos importantes para determinar el fondo natural de las componentes se traduce en el estudio de cuáles son las distribuciones teóricas a las que mejor se ajustan las poblaciones para, en función de ello, obtener la estimación óptima (puntual y por intervalos) del parámetro de localización  $\mu$  (Blarasin et al. 2006, 2008; Matteoda et al. 2008, Matteoda, 2012).

El parámetro de localización  $\mu$  puede ser estimado usando los bien conocidos estimadores muestrales como la media, mediana, rango medio, etc., (Manzano et al., 2003) o combinaciones lineales de éstos (Blarasin et al., 2006), los cuales sugieren la mencionada utilización de la mediana como parámetro más ilustrativo del valor más característico de un componente y los percentiles 2,3 y 97,7 % para ilustrar su rango de variación.

El análisis de los parámetros físico-químicos del agua subterránea, el cálculo de fondo natural, y la determinación de la posible incorporación de compuestos contaminantes a la misma, tiene como objetivo principal conocer su idoneidad para los diversos usos requeridos por los pobladores que se abastecen de ella.

Para ello se debe partir del análisis físico-químico, de iones mayoritarios (aniones y cationes), elementos minoritarios y trazas, que se encuentran presentes en cada una de las muestras analizadas, con lo cual es de gran importancia conocer cada elemento e ión en particular, así se puede explicar la incidencia de cada uno de ellos en una determinada agua.

➤ **Ión cloruro**

Las rocas por lo común presentan escasa proporción de cloruros. Sin embargo, dada la elevada solubilidad de sus sales, éstos pasan rápidamente a la fase acuosa pudiendo alcanzar concentraciones muy altas. El agua de lluvia puede ser una fuente importante de ión cloruro, especialmente en zonas próximas a la costa, disminuyendo rápidamente tierra adentro.

El ión cloruro no forma sales de baja solubilidad, no se oxida ni se reduce en aguas naturales, no es adsorbido significativamente ni entra a formar parte de procesos bioquímicos, lo que le da un carácter de trazador casi ideal. (Custodio y Llamas, 1976).

➤ **Ión sulfato**

El ión sulfato procede del lavado de terrenos formados en ambientes marinos, de la oxidación de sulfuros que se encuentran ampliamente distribuidos en rocas ígneas y sedimentarias, de la descomposición de sustancias orgánicas, etc..

Sin embargo, la disolución de sales sulfatadas (yeso y anhidrita fundamentalmente) representa el aporte cuantitativamente más importante de este ión a las aguas subterráneas. También puede ser aportado por agua de lluvia.

El comportamiento del ión sulfato puede desviarse significativamente del teórico predecible en base a los principios de su disolución, por su tendencia a formar iones complejos con  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{+2}$  y a incorporarse a procesos biológicos. (Custodio y Llamas, 1976).

➤ **Iones bicarbonato, carbonato y  $\text{CO}_2$**

El anhídrido carbónico disuelto en agua y los diversos compuestos que forma en ella juegan un importante papel en la química del agua. Se disuelve en el agua en función de su presión parcial ( $\text{pCO}_2$ ). Una parte permanece en solución en forma de gas mientras otra reacciona con el agua para dar ácido carbónico que se disocia parcialmente para dar iones carbonato y bicarbonato.

El  $\text{CO}_2$  disuelto en agua procede fundamentalmente de la zona edáfica (respiración de organismos y descomposición de la materia orgánica). La disolución de calizas y dolomías, potenciada por el aporte de  $\text{CO}_2$  y/o ácidos orgánicos o inorgánicos, es otra de las fuentes principales de carbonatos y bicarbonatos. En aguas con pH inferior a 8,3, en la mayoría de las aguas subterráneas naturales, la especie carbonatada dominante es el ión bicarbonato. (Custodio y Llamas, 1976).

➤ **Ión magnesio**

Menos abundante que el calcio en aguas naturales, procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomías y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos, así como de agua marina.

Los procesos de intercambio iónico influyen también en las concentraciones de magnesio en aguas subterráneas. En ellas, el magnesio es retenido con preferencia al calcio en suelos y rocas. (Custodio, y Llamas, 1976).

➤ **Ión sodio**

El sodio es liberado por la meteorización de silicatos tipo albita y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y depósitos evaporíticos en que se presenta fundamentalmente como NaCl.

Las sales de sodio son altamente solubles y tienden a permanecer en solución ya que no se producen entre ellas reacciones de precipitación, como ocurre en el caso del calcio. Las aguas cálcicas suelen pasarse a sódicas a poco de ingresar al medio subterráneo dado que el calcio ingresa a las arcillas quedando el sodio en solución. (Custodio y Llamas, 1976).

➤ **Ión potasio**

Procede de la meteorización de los feldspatos y ocasionalmente de la solubilización de depósitos de evaporitas.

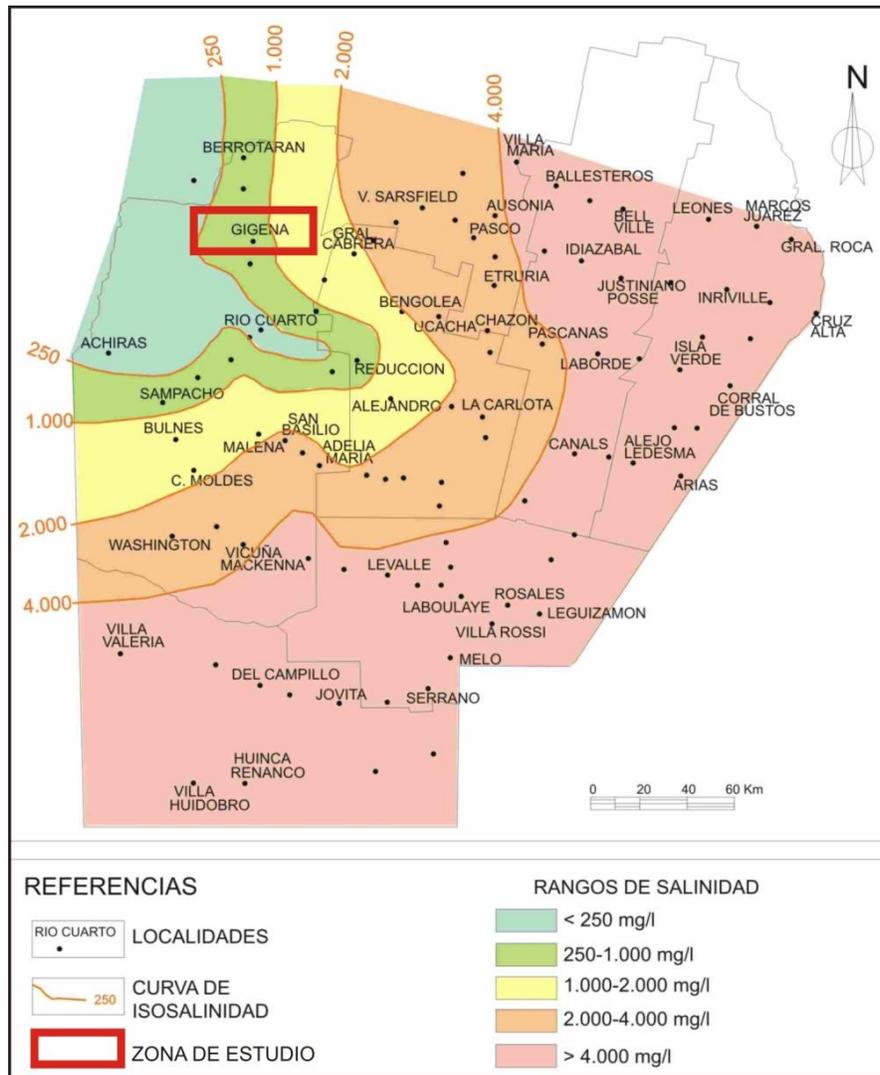
El potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de adsorción en la superficie de minerales con alta capacidad de intercambio iónico. (Custodio y Llamas, 1976).

## **7.2- Hidrogeoquímica Regional**

En Córdoba, el agua presenta una evolución natural, desde aguas dulces en zonas elevadas, representadas por las Sierras de Comechingones, hasta aguas saladas en los sectores más deprimidos, ubicados en la parte Oriental de la provincia, con valores que van desde los 200 mg/L hasta 15.000 mg/L de sales disueltas. Además se generan cambios en el tipo geoquímico, así, se pueden observar aguas bicarbonatadas cálcicas y/o sódicas en áreas de recarga hasta cloruradas sódicas en áreas de planicies y deprimidas, observándose además aumentos de pH y transición desde condiciones oxidantes a reductoras en el mismo sentido (Blarasin y Cabrera 1998, Blarasin et al., 2000, Blarasin 2003). (Fig. 7.1).

Factores de gran importancia como la acción del tectonismo, geomorfología, litologías, generan cambios locales en la dinámica y calidad de agua y esto puede verse reflejado en diferentes zonas, donde los contenidos salinos en lugares muy cercanos, pueden variar notoriamente, Ej. Presencia de médanos en áreas deprimidas, abanicos aluviales rodeados de sedimentos eólicos, etc.

Los problemas asociados al acuífero libre se suele dar, en algunas zonas, por las altas concentraciones de arsénico, flúor (Blarasin, 2003; Cabrera et al. 2005; Matteoda, 2012) y nitratos (Blarasin et al., 2006; Matteoda, 2012; Giuliano Albo 2013).

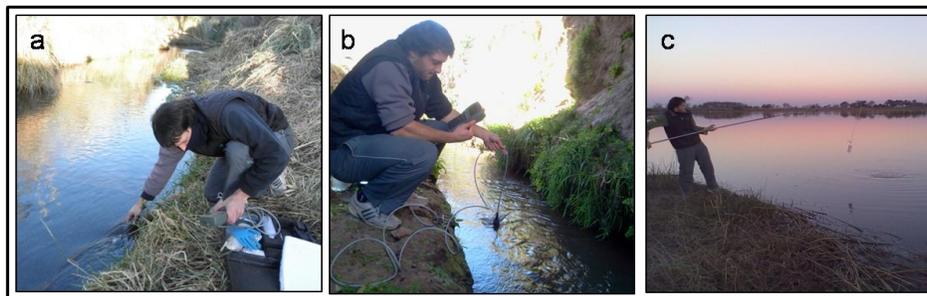


**Figura 7.1:** Mapa de salinidad. Acuífero freático. Sur de Córdoba.  
Fuente: Blarasin 2003

### 7.3- Hidrogeoquímica Local:

#### 7.3.1- Hidrogeoquímica Superficial Local:

Con el fin de establecer las condiciones físico-químicas del agua superficial, perteneciente al arroyo Mosuc Mayú y laguna Rivero, se extrajeron 2 muestras al arroyo Mosuc Mayú y 1 muestra de la laguna Rivero. Se efectuaron mediciones in-situ de conductividad eléctrica, pH, T°, OD y potencial redox (Fig. 7.2).



**Figura 7.2:** a. Medición in-situ de parámetros físico-químicos, sector tramo medio. b. Medición in-situ sector tramo inferior. c. Medición parámetros in-situ, laguna Rivero.

El arroyo Mosuc Mayú presenta un régimen permanente a partir del tramo medio, por lo que se muestrearon dos puntos representativos, uno perteneciente al tramo medio (Aj1), ubicado aguas arriba de la Ruta Nacional E 36 y la otra muestra fue tomada en el tramo inferior (Aj2), en cercanías a su desembocadura con el arroyo Tegua.

#### Arroyo:

Los resultados obtenidos permitieron clasificarlas desde el punto de vista geoquímico como aguas dulces (CE del orden de 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) **bicarbonatadas sódicas**, mostrando un leve aumento del pH aguas abajo. Los valores de nitratos se encuentran en bajas concentraciones (5 y 5,8 mg/L), los cuales podrían ser incorporados por la presencia de animales en cercanías y dentro del arroyo (Fig. 7.3), además de la incorporación por procesos naturales. En cuanto a los valores de As y F<sup>-</sup> tanto en Aj1 como en Aj2 (20 y 15  $\mu\text{g}/\text{L}$ ), el valor de As sobrepasa el límite para consumo humano establecido por el CAA (10  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) mientras que el ión F<sup>-</sup> (0,8 y 0,7 mg/L) aún se encuentra debajo de su límite (1,3 mg/L).



**Figura 7.3:** Ganado en el canal actual del arroyo.

### Laguna Rivero

Posee aguas del tipo salobre (CE del orden de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), **sulfatadas sódicas**, con un alto valor de pH y valores de As (40  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) y  $\text{F}^-$  (8,4  $\text{mg}/\text{L}$ ) que sobrepasan ampliamente los límites para consumo humano establecidos por el CAA (Tabla. 7.1). No se observan valores de  $\text{NO}_3^-$ .

Muestra	pH	CE [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	SDT [ $\text{mg}/\text{L}$ ]	CO <sub>3</sub> = [ $\text{mg}/\text{L}$ ]	CO <sub>3</sub> H- [ $\text{mg}/\text{L}$ ]	SO <sub>4</sub> = [ $\text{mg}/\text{L}$ ]	Cl- [ $\text{mg}/\text{L}$ ]	Na+ [ $\text{mg}/\text{L}$ ]	K+ [ $\text{mg}/\text{L}$ ]	Ca+2 [ $\text{mg}/\text{L}$ ]	Mg+2 [ $\text{mg}/\text{L}$ ]	As [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	F- [ $\text{mg}/\text{L}$ ]	NO <sub>3</sub> - [ $\text{mg}/\text{L}$ ]	NO <sub>2</sub> - [ $\text{mg}/\text{L}$ ]
AJ1	8,09	630	441	0	190	146,9	22,9	126,4	8,4	45,6	3,9	20	0,8	5	0
AJ2	8,52	606	424,2	4,8	185	106,2	40,0	90,0	8,5	43,2	5,9	15	0,7	5,8	0
Lag. Rivero	9,55	2980	2086	128,5	605	839,6	92,9	837,2	25,1	20	39,5	40	8,4	0	0

Tabla 7.1: análisis físico-químico del agua superficial del arroyo Masuc Mayú y Laguna Rivero.

### 7.3.2- Hidrogeoquímica local, acuífero libre

#### 7.3.2.1-Introducción

Con el fin de reconocer y describir aspectos geoquímicos del acuífero libre de la cuenca en estudio, se analizaron 33 muestras de agua subterránea correspondientes a perforaciones con molino y bombas (Fig. 7.4). Las mismas se hallan en el rango de aguas dulces a salobres (579-5.280  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

A partir de los análisis realizados en laboratorio, a través de técnicas específicas ya explicadas en el apartado de materiales y métodos (Fig. 7.5), se confeccionaron el mapa de isoconductividad, de gran importancia para interpretar la distribución areal de los contenidos salinos y el mapa con diagramas de Stiff, que representa de manera sencilla y precisa las concentraciones de los iones mayoritarios, pudiendo interpretarse las variaciones geoquímicas en el espacio.

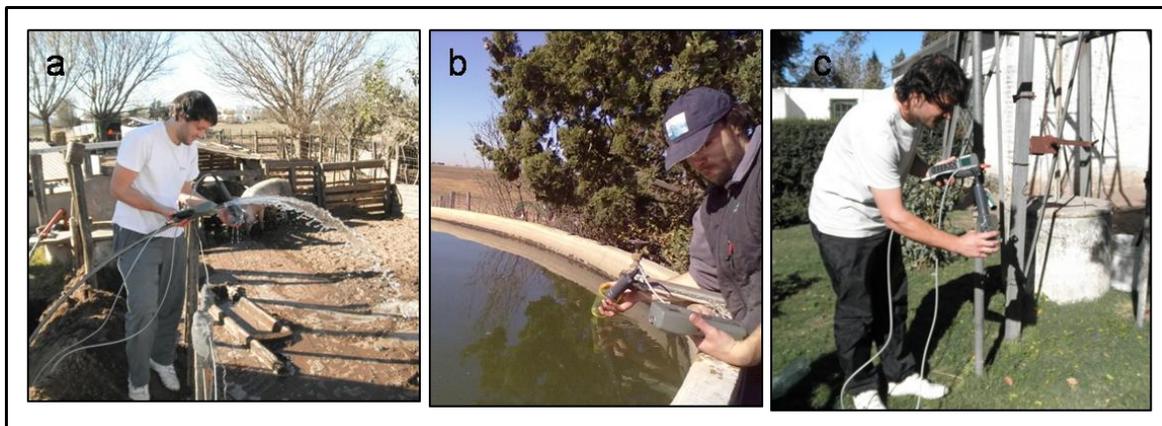
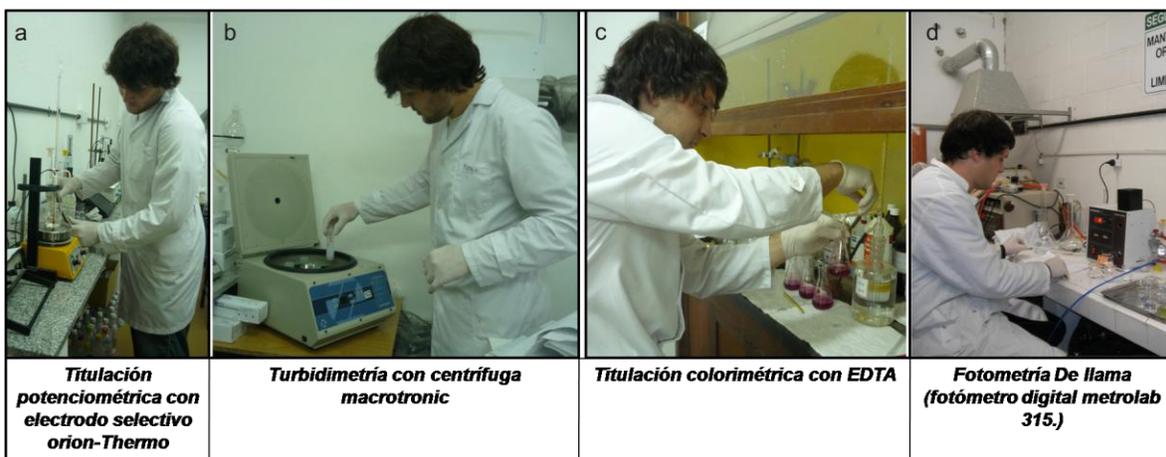


Figura 7.4: a, b, c. Mediciones in-situ de parámetros físico-químicos de agua subterránea en las perforaciones censadas en la zona de estudio.



**Figura 7.5:** Análisis Físico-químicos en laboratorio. a. Medición de pH,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3$ . b. Medición de sulfatos. c. Medición de Ca y Mg. d. Medición de Na y K.

### 7.3.2.2- Conductividad eléctrica

Se confeccionó un mapa (Fig. 7.6) en el cual se observa la distribución de los valores de conductividad eléctrica (CE), parámetro indicativo de la salinidad del agua, que permite la interpretación de su variación areal y posibles causas. Se observa que los valores varían entre 579 a 5.280  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , resultando el 81,3% de las aguas dulces y el 18,3% salobres.

Las curvas de menor conductividad (1.000 y 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) se encuentran en el tramo medio e inferior de la cuenca, ocupando las unidades geomorfológicas Llanura fluvio eólica y Planicie eólica, concentrándose en zonas cercanas a la faja fluvial del arroyo Mosuc Mayú. Notoriamente en el tramo superior de la cuenca, en la unidad “Bajada elevada y disectada” se observan las mayores conductividades eléctricas. Es decir las aguas más saladas, están asociadas a los sectores topográficamente más elevados de la cuenca, donde el nivel freático se encuentra a mayores profundidades, en el orden de los 100 a 150 m. Estas potentes zonas no saturadas, poco habituales en el Sur de Córdoba, están formadas, fundamentalmente por los sedimentos finos con gravillas dispersas y diverso grado de cementación, típicos de estos ambientes de bajada pedemontana.

El mapa elaborado muestra claramente que no se observa una típica evolución del agua en sentido del flujo, sino por el contrario, se da una evolución geoquímica invertida, ya que en el sentido del flujo el agua es cada vez más dulce. Esto se ve condicionado además por la importante recarga que se da en la cuenca media y baja donde la profundidad del nivel freático es mucho menor (del orden de 1-30 m), por lo que el ingreso



de precipitaciones y los materiales gruesos de los abundantes paleocauces del acuífero, permiten la existencia de aguas dulces.

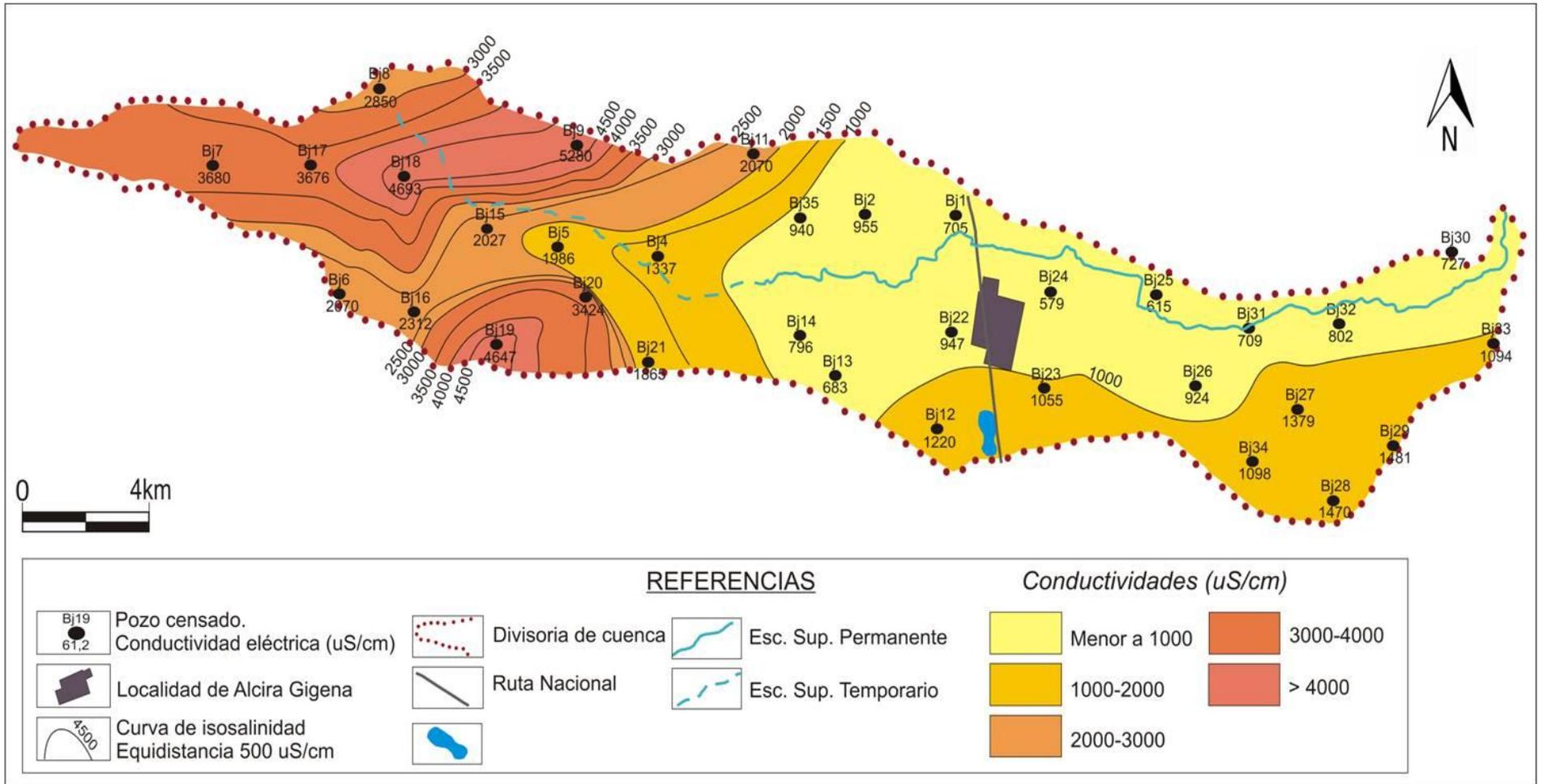


Figura 7.6: Mapa de distribución de conductividad eléctrica del acuífero libre, cuenca arroyo Mosuc Mayú, 2013.

Los resultados físico-químicos se presentan en la tabla 7.2, y los estadísticos más importantes se observan en la tabla 7.3. En todos los casos el error del análisis fue menor a 10%.

Nº	pH	CE	SDT	CO3=	CO3H-	SO4=	Cl-	Na+	K+	Ca+2	Mg+2	As	F-	NO3-	NO2-
Muestra		[µS/cm]	[mg/L]	[µg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]								
BJ1	8,1	705	493,5	0,0	132,5	139,0	28,6	82,9	9,5	53,6	7,3	15	0,6	3	0
BJ2	8,1	955	668,5	0,0	180	272,0	31,4	180,0	10,0	43,2	6,3	35	1,0	1,3	0
BJ4	8,6	1337	935,9	14,5	475	219,3	65,7	337,7	10,0	13,6	5,9	60	2,3	7	0
BJ5	7,9	1986	1390	0,0	212,5	886,9	80,0	341,8	13,9	109,6	18,0	15	0,6	2	0
BJ6	8	2070	1449	0,0	155	997,5	62,9	364,0	15,2	84	28,3	15	1,0	1,5	0
BJ7	7,5	3680	2576	0,0	125	1791,4	85,7	517,7	23,0	434	40,2	2	0,2	15	0
BJ8	7,7	2850	1995	0,0	337,5	1452,4	57,1	591,5	17,1	214	36,6	4	0,4	20	0
BJ9	8,1	5280	3696	0,0	200	2527,3	128,6	976,7	22,9	246	93,9	12	0,4	15	0
BJ11	8,2	2070	1449	0,0	197,5	976,5	80,0	394,3	21,4	89,6	23,41	13	0,5	13	0
BJ12	8	1220	854	0,0	452,5	199,5	34,3	271,0	11,0	24,8	9,8	300	4,2	55	0
BJ13	7,8	683	478,1	0,0	185	133,3	17,1	121,3	7,9	20	5,4	3	1,1	1,1	0
BJ14	8,2	796	557,2	0,0	213,8	209,4	17,1	131,4	8,6	37,6	11,2	1	0,9	4	0
BJ15	7,8	2027	1419	0,0	200	828,5	120,0	329,6	16,3	100	25,9	10	0,3	5	0
BJ16	8	2312	1618	0,0	272,5	1126,3	40,0	479,3	19,3	55,2	38,5	35	1,1	7	0
BJ17	7,4	3676	2573	0,0	285	1867,0	88,6	622,9	21,4	284	43,9	1	0,1	20	0
BJ18	8	4693	3285	0,0	155	1536,9	365,7	738,1	22,6	306	65,9	2	0,1	0	0
BJ19	7,7	4647	3253	0,0	236,3	2540,1	14,3	960,6	22,4	250	81,7	12	0,2	6,5	0
BJ20	7,8	3424	2397	0,0	222,5	2028,1	48,6	566,2	18,8	232	90,2	8	0,4	10	0
BJ21	8,4	1865	1306	2,4	465	701,1	22,9	439,8	14,1	20,8	14,6	100	2,5	5	0
BJ22	9,4	947	662,9	2,4	407,5	150,0	14,3	230,5	7,8	5,6	26,3	300	4,0	10	0
BJ23	8,2	1055	738,5	0,0	292,5	212,0	54,3	266,9	10,4	25,6	4,4	160	2,7	12	0
BJ24	8,2	579	405,3	0,0	180	143,7	14,3	101,1	8,4	40	8,3	18	0,7	7,5	0
BJ25	8,1	615	430,5	0,0	235	154,2	20,0	98,1	8,4	50,4	9,27	15	0,7	9	0
BJ26	7,9	924	646,8	0,0	217,5	300,0	31,4	192,1	10,5	49,6	9,76	20	0,6	1,2	0
BJ27	8,6	1379	965,3	21,8	815	55,3	17,1	353,9	10,3	3,2	2,93	750	8,0	3,4	0
BJ28	8,8	1470	1029	29,1	440	106,7	80,0	357,9	12,0	12,8	5,85	350	6,6	-	0
BJ29	7,9	1481	1037	97,0	632,5	155,7	20,0	424,7	10,0	3,2	0,98	386	12,0	2	0
BJ30	7,9	727	508,9	0,0	262,5	118,2	22,9	106,2	9,5	49,6	5,37	15	0,8	15	0
BJ31	8	709	496,3	0,0	272,5	95,8	22,9	106,2	8,8	52	6,34	15	1,0	20	0
BJ32	8,8	802	561,4	17,0	342,5	93,4	20,0	169,9	8,2	28	3,90	60	2,2	10	0
BJ33	8,6	1091	763,7	2,4	527,5	141,6	20,0	281,1	9,5	8,8	4,88	80	3,6	20	0
BJ34	8,6	1098	768,6	4,8	597,5	58,1	20,0	269,0	10,4	8,8	4,88	150	3,8	16	0
BJ35	8,2	940	658	0,00	187,5	270,8	28,6	210,3	8,6	31,2	3,41	40	1,1	1,2	0

**Tabla 7.2:** Resultados físico-químicos de las muestras analizadas en laboratorio. Acuífero libre, cuenca Mosuc Mayú, 2013.

	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación típica
pH	7,35	9,37	8,06	8,13	0,41
CE (μS/cm)	579,00	5280,00	1337,00	1821,00	1310,87
CO <sub>3</sub> = (mg/L)	0,00	96,97	0,00	5,80	17,81
HCO <sub>3</sub> - (mg/L)	125,00	815,00	236,25	306,44	163,50
SO <sub>4</sub> = (mg/L)	55,33	2540,14	219,33	681,46	762,15
Cl- (mg/L)	14,29	365,71	31,43	53,77	64,21
Na+ (mg/L)	82,91	976,74	329,63	351,96	231,65
K+ (mg/L)	7,77	23,00	10,40	13,27	5,29
Ca+2 (mg/L)	3,20	434,00	49,60	90,51	108,60
Mg+2 (mg/L)	0,98	93,90	9,76	22,53	26,02
AS (mg/L)	0,00	0,75	0,02	0,09	0,16
F- (mg/L)	0,05	12,00	1,00	1,98	2,61
NO <sub>3</sub> - (mg/L)	0,00	55,00	7,25	9,96	10,43
NO <sub>2</sub> - (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 7.3: Estadísticos descriptivos, Acuífero libre, cuenca arroyo Mosuc Mayú, 2013.

### 7.3.2.3.- Análisis de componentes mayoritarios:

Se realizó un análisis detallado de los iones mayoritarios con el fin de explicar la relación de los mismos con la dinámica de la cuenca. Como herramienta fundamental se utilizó la estadística para verificar los datos explicados y representados en mapas.

#### ➤ Carbonatos y Bicarbonatos:

La presencia de los mismos depende de los valores de pH (Fig. 7.7). Los bicarbonatos pueden estar presentes en un mayor rango de pH, no son oxidables ni reducibles en las aguas naturales. Suelen precipitar como carbonatos, principalmente de Calcio (CaCO<sub>3</sub>) debido a que son iones poco solubles.

A partir el análisis realizado sobre la

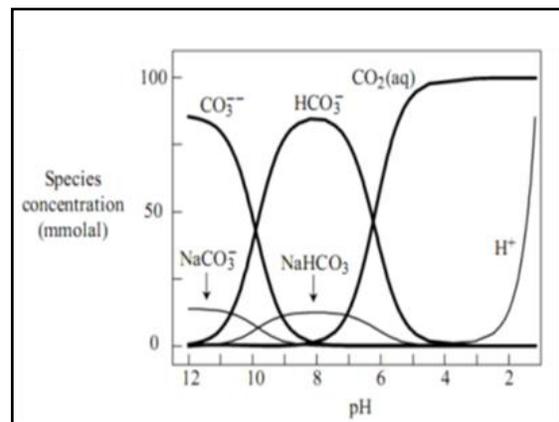
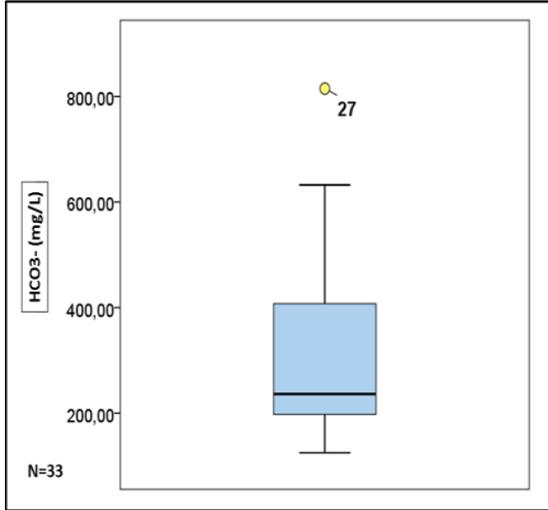


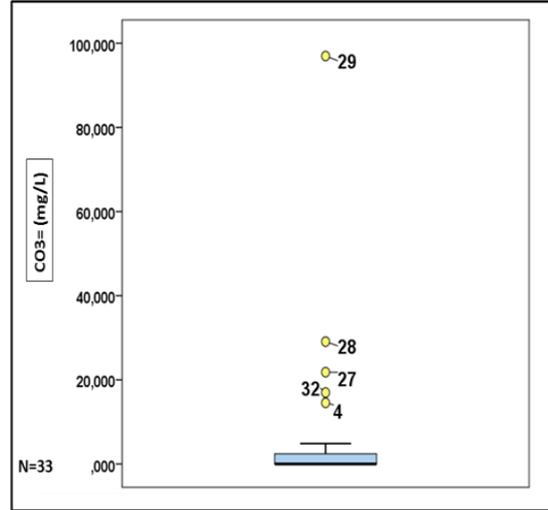
Figura 7.7: Especies del C vs pH. (Bethke, 2008).

totalidad de las muestras, el acuífero libre presenta aguas con contenido promedio en  $\text{HCO}_3^-$  de 306,4 mg/L, con un mínimo de 125 mg/L y un máximo de 815 mg/L.

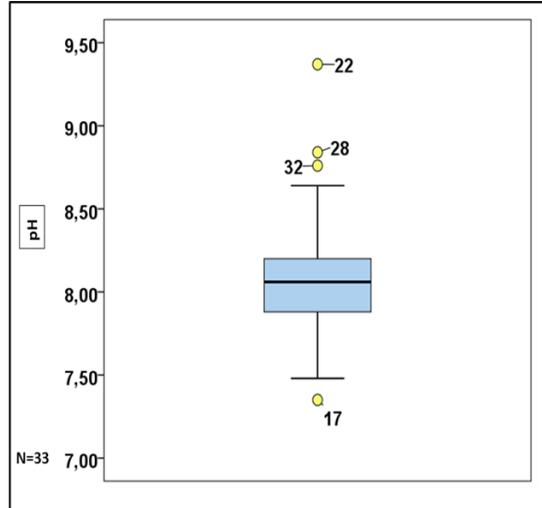
Los valores de  $\text{CO}_3^{2-}$  no se observan en grandes concentraciones, encontrando un promedio de 5,80 mg/L, un valor mínimo de 0,0 mg/L y máximo de 96,97 mg/L. El pH presenta un valor mínimo de 7,3 mg/L y un máximo de 9,37 mg/L (Fig. 7.8, 7.9 y 7.10).



**Figura 7.8:** Box plot para  $\text{HCO}_3^-$ .



**Figura 7.9:** Box plot para  $\text{CO}_3^{2-}$ .

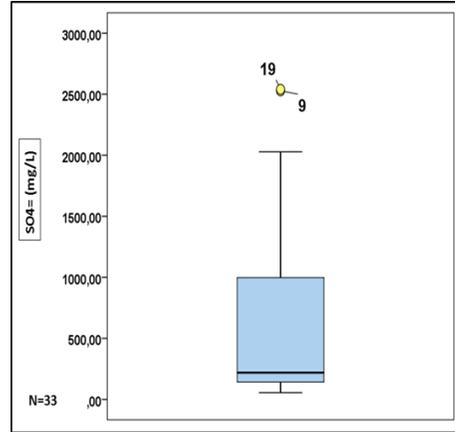


**Figura 7.10:** Box plot para pH.

➤ **Sulfatos:**

Los sulfatos forman sales moderadamente solubles a muy solubles, asimismo es un ión muy estable, el cual presenta  $K_{ps}$  intermedios, mayores que las de  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  pero menores a los del  $\text{Cl}^-$ , precipitando en aguas naturales con mayor dificultad.

El mayor porcentaje de las muestras analizadas presentan al anión sulfato como dominante. Los valores promedio en la zona de estudio son de 681,5 mg/L, presentando valores máximos y mínimos de 55,5 mg/L y 2.540 mg/L respectivamente (Fig. 7.11).

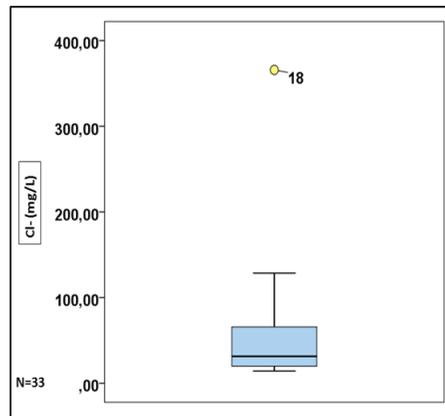


**Figura 7.11:** Box plot para  $SO_4^-$ .

➤ **Cloruros:**

En la cuenca, los cloruros se presentan siempre en menor proporción relativa. Presentan Kps muy elevados, permitiendo ser un ión muy estable en solución y muy difícilmente precipitable. El  $Cl^-$  forma sales muy solubles, se lo considera un ión conservativo por excelencia ya que en aguas subterráneas no se oxida, ni reduce, ni precipita, ni se absorbe.

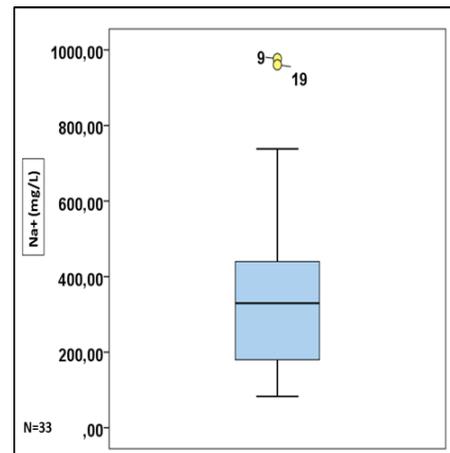
En la cuenca presenta una media de 53,8 mg/L, con valores mínimos y máximos de 14,29 mg/L y 365,71 mg/L, respectivamente (Fig. 7.12).



**Figura 7.12:** Box plot para  $Cl^-$ .

➤ **Sodio:**

El Na presenta una solubilidad muy alta y es un ión muy difícil de precipitar, el cual se ve afectado fácilmente por el intercambio de bases. La cuenca presenta valores mínimos y máximos de  $Na^+$  de 82,9 mg/L y 976,7 mg/L respectivamente, con una media de 352 mg/L (Fig. 7.13).



**Figura 7.13:** Box plot para  $Na^+$ .

➤ **Potasio:**

El K presenta una solubilidad muy alta y es difícil de precipitar. Sin embargo es fuertemente adsorbido de forma muy poco reversible por las arcillas para formar parte de su estructura, lo que produce una diferencia significativa con el Na, dando lugar a que en aguas naturales, las concentraciones de K sea menor que el Na.

Los valores mínimos y máximos en la cuenca son de 7,8 mg/L y 23,0 mg/L (Fig. 7.14).

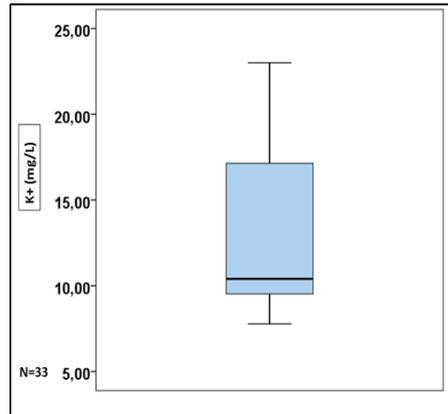


Figura 7.14: Box plot para K<sup>+</sup>.

➤ **Calcio:**

Forma sales solubles a muy solubles, precipita generalmente como CaCO<sub>3</sub> y es muy susceptible a los cambios de pH o presión parcial, lo cual le permite precipitar o disolverse con facilidad.

Las concentraciones mínimas y máximas obtenidas en la cuenca son de 3,2 mg/L y 434 mg/L respectivamente, presentando una media de 90,51 mg/L (Fig. 7.15).

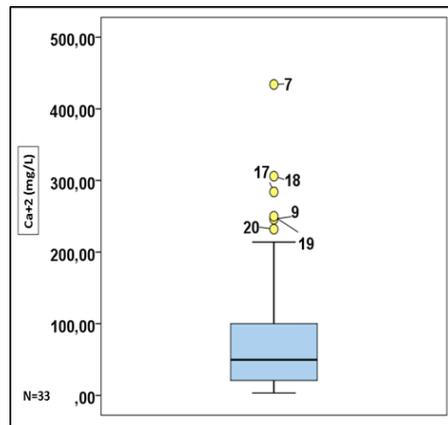


Figura 7.15: Box plot para Ca<sup>+2</sup>.

➤ **Magnesio:**

Forma sales moderadamente solubles a muy solubles. Los procesos asociados están muy ligados con los iones CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, por lo que al cambiar los valores de pH o presión parcial del CO<sub>2</sub>, puede precipitar o disolverse con facilidad.

Los valores mínimos y máximos medidos en la cuenca corresponden a 0,98 mg/L y 93,9 mg/L, presentando una media de 22,3 mg/L (Fig. 7.16).

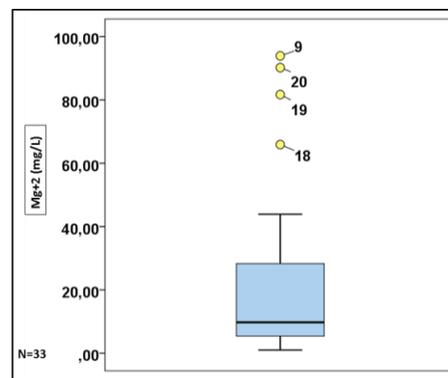


Figura 7.16: Box plot para Mg<sup>+2</sup>.

#### **7.3.2.4- Análisis de relaciones iónicas:**

Es conocido el hecho de que las aguas subterráneas evolucionan en el espacio y en el tiempo y a medida que circulan tienden a ir aumentando su mineralización hasta saturarse en los diferentes iones, evolucionando desde aguas dulces a saladas.

El uso de las relaciones iónicas en estudios hidrogeoquímicos ayuda a identificar los aspectos relacionados con las reacciones que han tenido lugar en las aguas subterráneas, como resultado de mezclas de diferentes aguas o la interacción agua-terreno y permite caracterizar el funcionamiento del acuífero (Custodio y Llamas, 1976). Debido a que el contenido en  $\text{HCO}_3^-$  es relativamente constante en las aguas subterráneas (Custodio y Llamas 1996) su relación con otros aniones mayoritarios es de interés para seguir el proceso de concentración de sales en sentido del flujo. Sin embargo, si existen aportes exógenos de  $\text{CO}_2$ , ya sea como producto de contaminación agrícola, urbana o industrial, puede haber un aumento del contenido del mismo en el acuífero o bien puede haber disminuciones por otros procesos como pérdida de  $\text{CO}_2$  y precipitación de carbonatos.

En el sector estudiado (Fig. 7.17) se identificaron tres zonas con valores de la relación  $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ ,  $< 1$ ,  $1-10$  y  $>10$ . Los valores más bajos se observan en el tramo superior de la cuenca, reflejando un mayor contenido de sulfatos (aguas de carácter geoquímico sulfatadas), aspecto que se explica por los mecanismos ya citados para la mayor salinización de este tramo de la cuenca. La profundidad a la que se encuentra el acuífero permite inferir una disminución de la presión de  $\text{CO}_2$  y consecuente procesos de precipitación de carbonatos, convirtiéndose el sulfato en anión mayoritario. En el tramo medio e inferior domina una relación de  $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4$  mayor a 1, con aguas de carácter bicarbonatadas, lo cual se explica si el agua ha recorrido poca distancia desde su infiltración, en este caso procedente de recarga areal a partir de lluvias. El agua de lluvia infiltra e incrementa la cantidad de  $\text{HCO}_3^-$  en su paso por el suelo y además disuelve carbonatos dispersos en la ZNS y en el acuífero. Sin embargo la más rápida llegada de agua al acuífero, favorecida porque la zona no saturada es de menor espesor que en cuenca alta, mantiene el carácter bicarbonatado del agua.

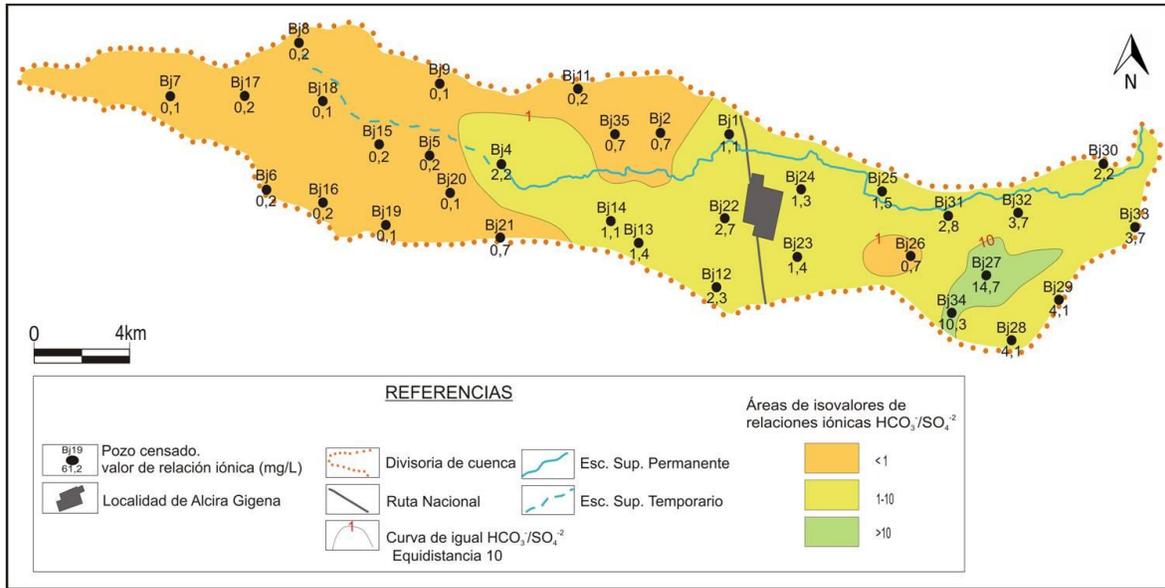


Figura 7.17: Mapa de relación iónica HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>. Cuenca arroyo Mosuc Mayú.

### 7.3.2.5- Clasificación geoquímica de las aguas:

Se utilizó la clasificación de Custodio (1993) que tiene en cuenta los iones dominantes, se nomina al grupo por el anión o catión que sobrepasa el 50 % de sus sumas respectivas y cuando no supera este porcentaje se nombran los dos iones más abundantes. Las muestras de agua del acuífero libre son Bicarbonatadas sódicas (36,36%), Bicarbonatadas Sulfatadas Sódicas (9,09%), Sulfatadas Bicarbonatadas Sódicas (6,06%) y Sulfatadas sódicas (48,48%). También se realizaron los diagramas de Stiff modificados, compuestos por 3 ejes horizontales, cada uno de ellos uniendo un catión y un anión; todos los cationes (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>, Ca<sup>++</sup>) se disponen a la izquierda del eje vertical del diagrama y los aniones (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) a la derecha. Todos los ejes horizontales están a la misma escala (lineal) y las concentraciones están dadas en meq/L. Estos diagramas son luego representados en un mapa, con lo que se visualiza rápidamente la variación espacial del carácter geoquímico del agua en el acuífero (Fig. 7.18).

Puede observarse que las muestras sulfatadas sódicas se encuentran en el tramo superior y medio de la cuenca mostrando aguas más evolucionadas por los motivos ya explicados. En el sector de tramo medio se observa muestras de carácter mixtas (Bj1 y Bj14), mientras que en el sector inferior, las aguas presentan carácter geoquímico bicarbonatado, reflejando una escasa evolución geoquímica.

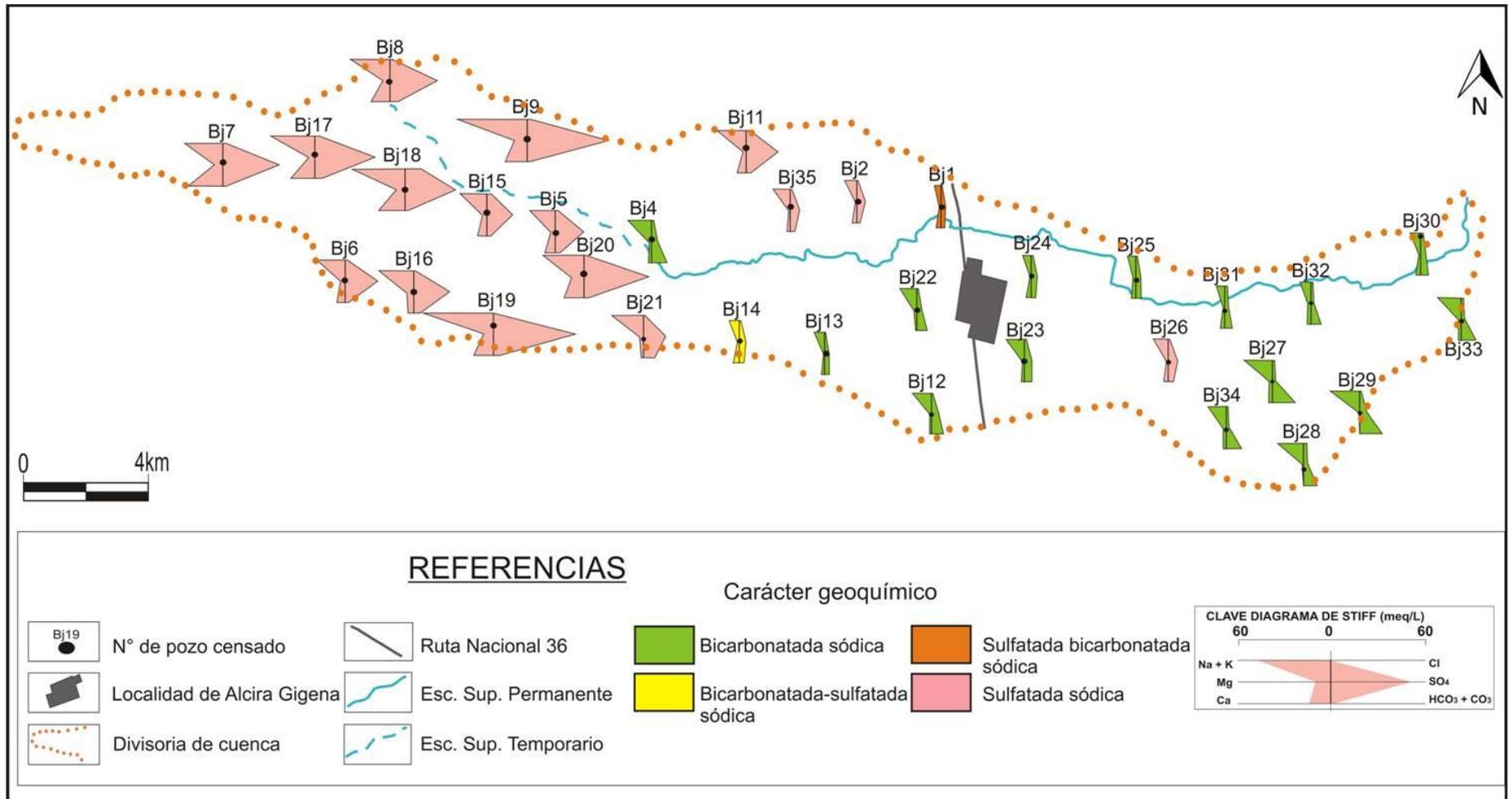


Figura 7.18: Diagramas de Stiff y carácter geoquímico del agua, cuenca arroyo Mosuc Mayú, 2013.

### **7.3.2.6- Análisis bivariado**

El concepto de correlación se refiere al grado de variación conjunta existente entre dos o más variables. Para establecer la asociación lineal, se utiliza el coeficiente de relación de Pearson que toma valores que se encuentran dentro del intervalo cerrado [-1-1], de modo que cuando los valores son cercanos a 1 en términos absolutos de dependencia, entre las dos variables, la relación es estrecha. El signo positivo indica una relación directa entre variables, mientras que el signo negativo indica una relación inversa. El valor cero indica que no existe una relación entre ambas variables.

La utilización simbólica de los asteriscos sirve para indicar si la correlación es o no significativa, desde el punto de vista estadístico, al estimarse que tan probable sería observar una correlación de semejante magnitud.

Si  $p$  es igual o menor que 0,05 (5%) se dice que es estadísticamente significativo, por lo que es poco probable que esta correlación se dé por el azar.

Teniendo en cuenta la evolución de las aguas subterráneas en espacio y tiempo, lo cual da lugar a la incorporación de minerales, hasta saturarse en los diferentes iones e ir evolucionando de aguas dulces a saladas, se analizarán variables que permitan llevar al mejor entendimiento de las relaciones iónicas en estudios hidrogeoquímicos, ayudando a entender el funcionamiento del acuífero freático, variaciones en el sentido de flujo tales como procesos de disolución, precipitación, intercambio iónico, dirección del aumento de la mineralización, etc.

A continuación se detallará las diferentes correlaciones:

➤ Correlación CE y  $\text{SO}_4^{2-}$ :

La correlación es muy buena, presentando una relación directa de 0,955, y desde el punto de vista estadístico la correlación es significativa al nivel 0,01 (1%).

➤ Correlación CE y Cl<sup>-</sup>:

En este caso la correlación es buena y directa, arrojando un valor en el coeficiente de Pearson de 0,612, observándose una correlación significativa al nivel 0,01 (1%).

➤ Correlación CE y  $\text{Na}^+$ .

La correlación es directa y presenta un coeficiente de Pearson muy bueno de 0,960, siendo significativa al nivel 0,01 (1%).

Las correlaciones entre CE,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ , son altas (Tabla 7.4) y directas, esto se puede explicar porque los procesos de meteorización de minerales, van liberando iones a la solución, que se suman para constituir el total de sales disueltas, expresados por la CE. En este caso queda claro que los iones  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  aportan en forma notable a la salinidad total, y que cuando cada uno de estos crece, también lo hace la CE.

		Correlaciones			
		CE	$\text{SO}_4^-$	$\text{Na}^+$	$\text{Cl}^-$
CE	Correlación de Pearson	1	0,955	0,960	0,612
	Sig. (bilateral)		,000	,000	,000
	N	33	33	33	33
$\text{SO}_4^-$	Correlación de Pearson	0,955**	1	0,900	0,438
	Sig. (bilateral)	,000		,000	,011
	N	33	33	33	33
$\text{Na}^+$	Correlación de Pearson	0,960**	0,900**	1	0,495
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,003
	N	33	33	33	33
$\text{Cl}^-$	Correlación de Pearson	0,612**	0,438	0,495**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,011	,003	
	N	33	33	33	33

Tabla 7.4: Correlación CE,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ .

➤ Correlación As-F.

Para todas las muestras de la cuenca, se observa una correlación directa muy buena, presentando un coeficiente de Pearson de 0,857. El nivel de significación es de 0,01 (1%) (Tabla 7.5).

Esta correlación se explica por el origen común de ambos elementos trazas, vinculado directamente a la mineralogía del loess pampeano, tal como se mencionara anteriormente que se encuentra en toda la cuenca.

		Correlaciones	
		AS	F-
AS	Correlación de Pearson	1	0,857**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	33	33
F-	Correlación de Pearson	0,857**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	33	33

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 7.5: Correlación As y F

➤ Correlación del  $\text{HCO}_3^-$  con As y con F.

La correlación entre As y  $\text{HCO}_3^-$  es directa y muy buena, presentando un coeficiente de Pearson de 0,809, siendo una correlación significativa al 0,01 (1%) (Tabla 7.6).

		Correlaciones	
		AS	$\text{HCO}_3^-$
AS	Correlación de Pearson	1	0,809**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	33	33
$\text{HCO}_3^-$	Correlación de Pearson	0,809**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	33	33

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 7.6: Correlación As y  $\text{HCO}_3^-$ .

La correlación entre  $\text{HCO}_3^-$  y F es directa y muy buena, presentando un coeficiente de Pearson de 0,831, siendo una correlación significativa al 0,01 (1%) (Tabla 7.7).

Los valores de As y F incrementan (Blarasin, 2003, Giuliano Albo, 2013) en aguas con pH elevados, los cuales incrementan con la alcalinidad.

Correlaciones			
		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Correlación de Pearson	1	0,831**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	33	33
F <sup>-</sup>	Correlación de Pearson	0,831**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	33	33

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 7.7: Correlación  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{F}^-$ .

### 7.3.2.7- Análisis Multivariado:

Luego de realizar el análisis univariado y bivariado, se decidió la elaboración del análisis multivariado entre variables (modo R) (Fig. 7.19).

Se utilizaron las siguientes variables: pH, Conductividad eléctrica,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{As}^{+3/+5}$ ,  $\text{F}^-$  y  $\text{NO}_3^-$ . No se incluyó en el análisis SDT, ya que depende de CE y tampoco carbonatos por su dependencia con pH. Se aplicó el método de agrupamiento (Cluster) que permite determinar agrupaciones (tipos, subtipos) a partir de la matriz de similitud resultante de este conjunto de datos.

El dendograma obtenido muestra 3 grupos hidroquímicos principales:

- Grupo 1: los elementos que componen este grupo son CE,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$ . La relación entre elementos representa la mineralización natural del agua, destacándose el núcleo CE- $\text{Na}^+$  y la presencia en este G1 de los aniones  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ , ya que justamente las muestras más saladas son las sulfatadas y cloruradas sódicas.
- Grupo 2: constituido por As,  $\text{F}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y pH. Este grupo se interpreta como resultado del origen común de As y F (vinculados a la mineralogía del loess pampeano) y su afinidad por aguas bicarbonatadas y más altos pH.
- Grupo 3: El  $\text{NO}_3^-$ , como se observa en el dendograma, conforma un grupo aislado, lo que puede justificarse por el origen del mismo, que está fundamentalmente relacionado a contaminación antrópica.

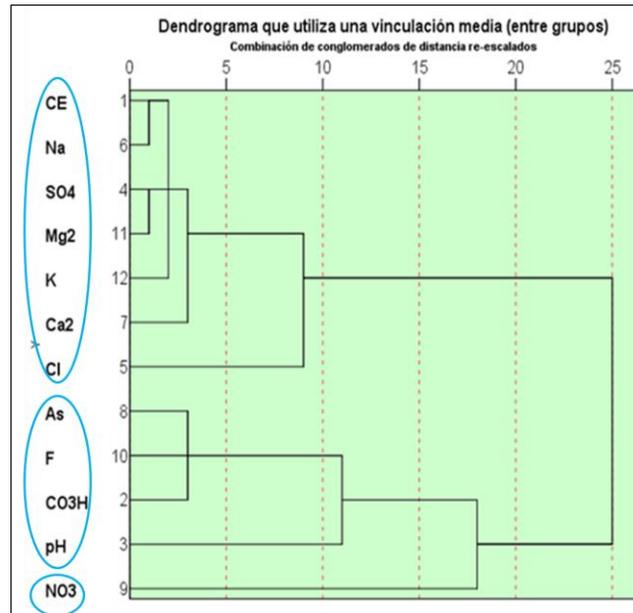


Figura 7.19: Dendrograma en modo R.

### 7.3.2.8- Fondo natural de componentes minoritarios y trazas

Dado que ciertos componentes minoritarios y trazas, tales como el Arsénico, el Flúor y los Nitratos pueden condicionar la calidad del agua subterránea, ya sea por su incorporación natural o por actividades antrópicas, se analizará su comportamiento químico en el acuífero de la zona de estudio, estableciendo rangos y valores característicos de fondo natural y línea de base ambiental, para contraponerlos con valores anómalos y así evaluar contaminación y umbrales en relación a dichos valores.

En base a esto se realizó el análisis detallado de los elementos minoritarios As, F<sup>-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

#### Arsénico:

El Arsénico presenta especies que son altamente solubles y estables bajo un amplio rango de Eh y pH. Así, bajo las condiciones oxidantes domina la especie arseniato (+5) mientras que bajo condiciones reductoras y para los mismos pH, domina arsenito (+3).

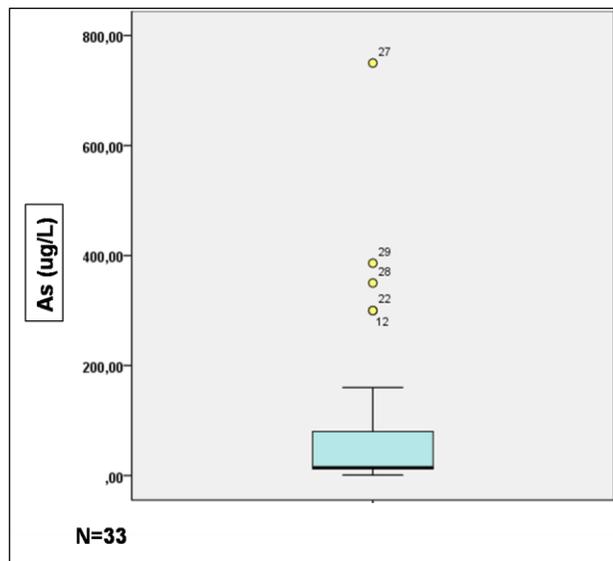
Las fuentes naturales más importantes de este elemento al agua, según Smedley, 1996, son los minerales sulfurosos (oropimente (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>), arsenopirita (FeAsS), rejalgá (AsS) y enargita (Cu<sub>3</sub>AsS<sub>4</sub>), en donde el arsénico se encuentra como constituyente

mayoritario. Además este ión puede ser elemento secundario en sulfuros como pirita, calcopirita, esfalerita, galena, pirrotina y óxidos de Al y Mn.

Según Nicolli et al., 1985; Nicolli et al., 2006 y 2007 y Nicolli 2006 la fuente de As de los sedimentos en la llanura Chaco Pampeana sería el vidrio volcánico del loess. En el Sur de Córdoba, los tenores más elevados de arsénico están vinculados a condiciones geoquímicas relacionadas a acuíferos situados en sedimentos loésicos, bajas velocidades de circulación, pH altos (7,7-8,5), ambientes oxidantes y aguas bicarbonatadas sódicas (Blarasin, 2003).

En la zona de estudio se observan concentraciones variables de As en toda la cuenca, destacándose el sector inferior de la misma, donde los valores observados son mayores, aspecto que se vincula al carácter geoquímico bicarbonatado sódico del agua, mientras que en el tramo superior de la cuenca se observan menores concentraciones, asociadas a aguas de carácter geoquímico sulfatadas sódicas.

El diagrama de cajas (Fig. 7.20) de este elemento exhibe una marcada asimetría y varios valores anómalos, presenta valores mínimos y máximos de 1  $\mu\text{g/L}$  y 750  $\mu\text{g/L}$  respectivamente, observándose un promedio de 91  $\mu\text{g/L}$ .



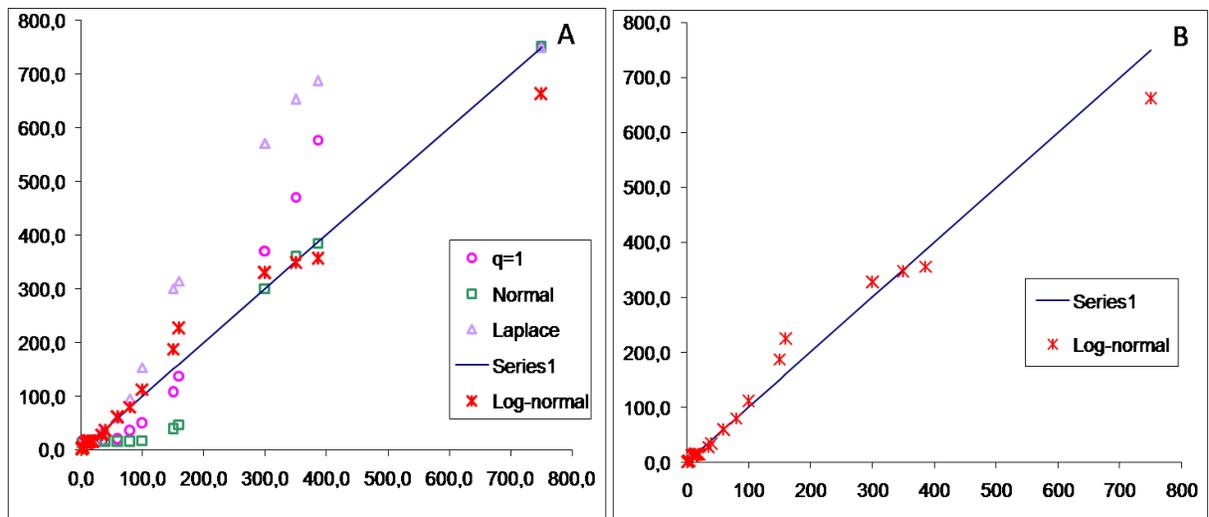
**Figura 7.20:** Box plot para As.

### ***Determinación del Fondo natural***

Debido al análisis de antecedentes efectuado acerca de los materiales y litologías que se encuentran presentes en la zona de estudio, así como de las principales fuentes de arsénico en la región, se descarta la posibilidad de una procedencia de este elemento derivada de actividades antrópicas.

Se considera para esta zona, tal como señalan Nicolli et al., (1997), que la presencia de As en el agua del acuífero libre, proviene principalmente de la disolución de las cenizas y vidrio volcánico, que componen los sedimentos loésicos de la región. Por otro lado, las medianamente bajas velocidades de circulación del agua subterránea sobre materiales finos de la cuenca, darían condiciones propicias para la acumulación de este elemento.

En este trabajo se analizó el ajuste del elemento As a las distribuciones normal, lognormal, de Laplace y la correspondiente a la nueva familia de localización simétrica  $f_{\theta}$ , fijando  $\theta=1$ . Damilano y Puig, 2004, caracterizan a todos los modelos de localización simétricos tales que una combinación lineal de la media y la mediana resultan en un estimador asintóticamente eficiente del parámetro de localización. Esta nueva familia de distribuciones  $f_{\theta}$  incluye a la distribución normal ( $\theta=0$ ) y de Laplace ( $\theta=\infty$ ) caracterizándolas respectivamente, como el único modelo de localización simétrico tal que la media (mediana) muestral es un estimador asintóticamente eficiente del parámetro de localización. Consideraciones de este tipo fueron realizadas en Blarasin et al. (2006). Los resultados de dicho análisis reflejan que los datos presentan un ajuste muy satisfactorio a la distribución lognormal. Como puede observarse en la figura 7.21, los mayores problemas de ajuste se encuentran en los valores extremos. Esto podría deberse a que las distribuciones mencionadas corresponden a distribuciones simétricas, lo cual en general no es una característica de estos elementos químicos.



**Figura 7.21:** A. Arsénico, ajuste con distribución normal, lognormal, Laplace y  $\theta=1$ . B. Arsénico, ajuste con la distribución lognormal.

Se realizaron las estimaciones del parámetro de localización  $\mu$ , correspondiente a las cuatro distribuciones asumidas, los cuales figuran en la tabla 7.8.

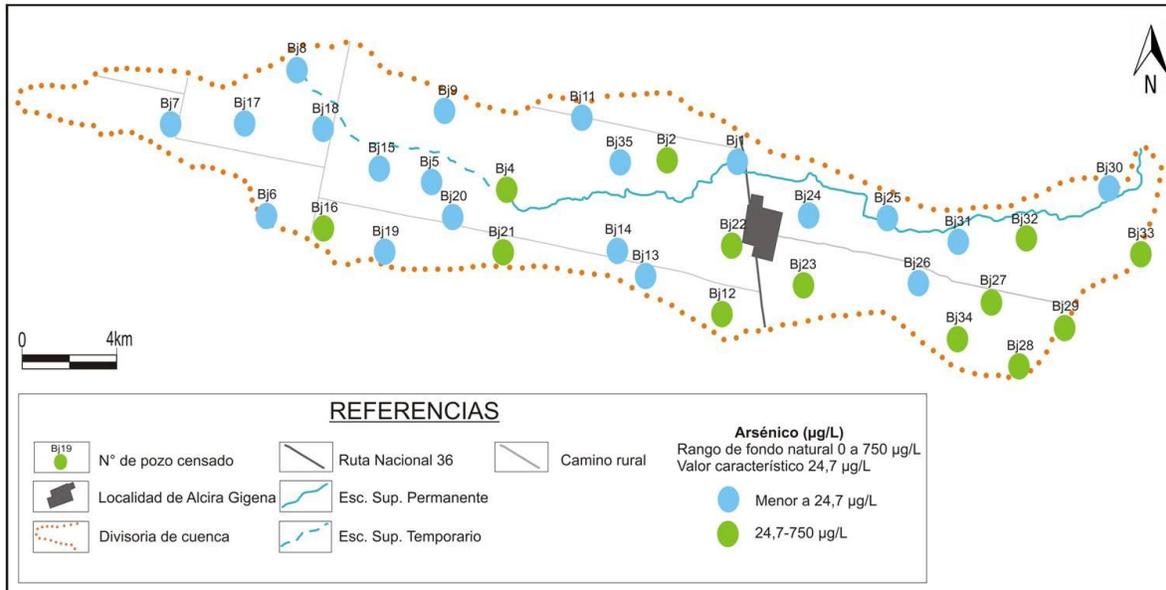
<b>Arsénico</b>	<i>Normal</i>	<i>media</i>	<b>91</b>
	<i>Lognormal</i>	<i>Media G</i>	<b>24,7</b>
	<i>Laplace</i>	<i>Mediana</i>	<b>15</b>
	<i>Mixtura</i>	<i>m*</i>	<b>45,1</b>

**Tabla 7.8:** Estimaciones de  $\theta$ , según las distintas distribuciones.

Tal como se observa en la tabla, los valores de parámetros de localización  $\mu$  son diferentes para cada distribución. Sin embargo, dado que la distribución lognormal es la que mejor se ajusta a las muestras de As para la zona de estudio, la media geométrica resulta ser el valor característico de fondo natural para el sector, con  $24,7 \mu\text{g/L}$ , con un rango de 0 a  $750 \mu\text{g/L}$ .

En base a este valor, se analizó la distribución de As en toda la cuenca (Fig. 7.22), considerando todas las muestras presentes, dado que poseen un origen natural. A partir de ellas, se establecieron dos rangos, uno compuesto por el valor característico de fondo natural y los inferiores a este, y otro con los valores del sector superior del intervalo que superan al valor característico.

Los valores que se encuentran en el sector superior del rango de fondo natural se encuentran asociados a las aguas de carácter geoquímico bicarbonatado sódico, hacia el sector medio e inferior de la cuenca. Por otro lado se destaca que los valores más altos se asocian a la planicie eólica, donde dominan arenas muy finas limosas y hay menos paleocauces.



**Figura 7.22:** Mapa de distribución de arsénico. Rangos (intervalos de clase) en función del valor característico de fondo natural, acuífero libre, cuenca arroyo Mosuc Mayú, 2013.

### Flúor:

El flúor En la llanura Chaco Pampeana probablemente proviene de fuentes como fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) y fluorapatita ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ ), minerales muy comunes en los sedimentos loésicos típicos de la llanura y, en forma subordinada, a anfíboles, micas y piroxenos (Edmunds y Smedley, 1996; Villalba, 1999). Según Nicolli et al., 1997, Gonzales et al., 2009, el flúor podría proceder del vidrio volcánico contenido en el loess pampeano.

Según (Armieta y Segovia, 2008; Ayenew, 2008; Rango et al., 2009; Viero et al, 2009) el  $\text{F}^-$  queda liberado al agua a través del mecanismo de disolución del vidrio volcánico y minerales que contienen flúor en su composición, por ejemplo fluorita. Para la mayoría de los autores el vidrio volcánico es extremadamente reactivo y meteorizable por lo que a altos pH puede disolverse y

aportar elementos minoritarios y trazas. Vivona et al., 2007, mediante simulación geoquímica proponen además disolución de fluorapatita.

En la zona de estudio, tal como se observa en la figura 7.23, el  $\text{F}^-$  presenta valores mínimos y máximos de 0,05 mg/L y 12,00 mg/L respectivamente, observándose una media de 1,98 mg/L, y refleja un caja asimétrica hacia los valores superiores, con una mediana de 1,0 mg/L y 3 “outliers” que alcanzan los 12,00 mg/L.

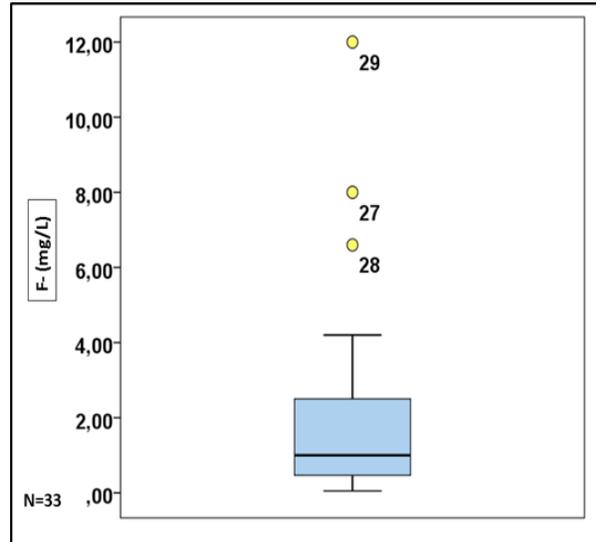


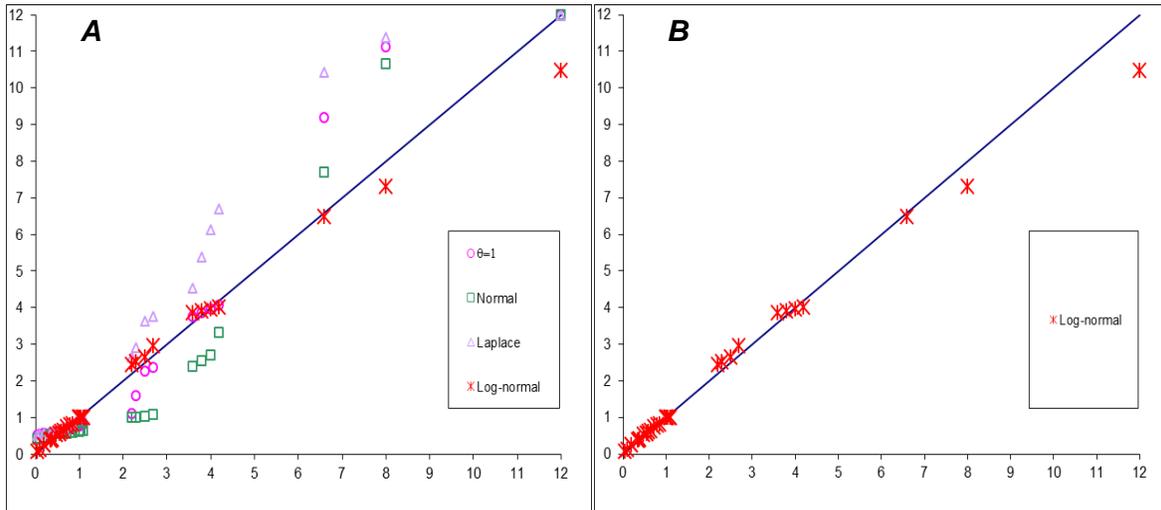
Figura 7.23: Box plot para  $\text{F}^-$ .

### Determinación del Fondo Natural:

En este trabajo se analizó el ajuste del elemento flúor, de igual forma que con el As, a las distribuciones normal, lognormal, de Laplace y la correspondiente a la nueva familia de localización simétrica  $f_{\theta}$ , fijando  $\theta=1$ , como se sugiere en Blarasin et al., 2006. Para este análisis, no se excluyó ninguna muestra por presentar en todos los casos concentraciones de  $\text{F}^-$  de origen natural, tal como se mencionara en secciones anteriores.

Los resultados de dicho análisis reflejan que los datos presentan un ajuste muy satisfactorio a la distribución lognormal. Como puede observarse en la figura 7.25, los mayores problemas de ajuste se encuentran en los valores extremos, similar a lo ocurrido

con el As. Esto podría deberse a que las distribuciones mencionadas corresponden a distribuciones simétricas, lo cual no es una característica de estos elementos químicos.



**Figura 7.25:** A. Flúor, ajuste con la distribución normal, lognormal, Laplace y  $\theta = 1$ . B. Flúor, ajuste con la distribución lognormal.

Tal como se observa en la tabla 7.9, los valores de parámetros de localización  $\mu$  son diferentes para cada distribución. Sin embargo, dado que la distribución lognormal es la que mejor se ajusta a las muestras de  $F^-$  para la zona de estudio, la media geométrica resulta ser el valor característico de fondo natural para el sector, con 0,99 mg/L y un rango de 0 a 12 mg/L.

<b>Flúor</b>	<i>Normal</i>	<i>Media</i>	<b>1,98</b>
	<i>Lognormal</i>	<i>Media G</i>	<b>0,99</b>
	<i>Laplace</i>	<i>Mediana</i>	<b>1,00</b>
	<i>Mixtura</i>	<i>m*</i>	<b>1,39</b>

**Tabla 7.9:** Estimaciones de  $\theta$ , según las distintas distribuciones.

En base a este valor, se analizó la distribución de  $F^-$  en toda la cuenca (Fig. 7.26), considerando todas las muestras presentes, dado que posee un origen natural. A partir de ellas, se establecieron dos rangos, uno compuesto por el valor característico de fondo natural y los inferiores a este, y otro con los valores del sector superior del intervalo que superan al valor característico. Las mayores concentraciones nuevamente se observan en la planicie eólica.

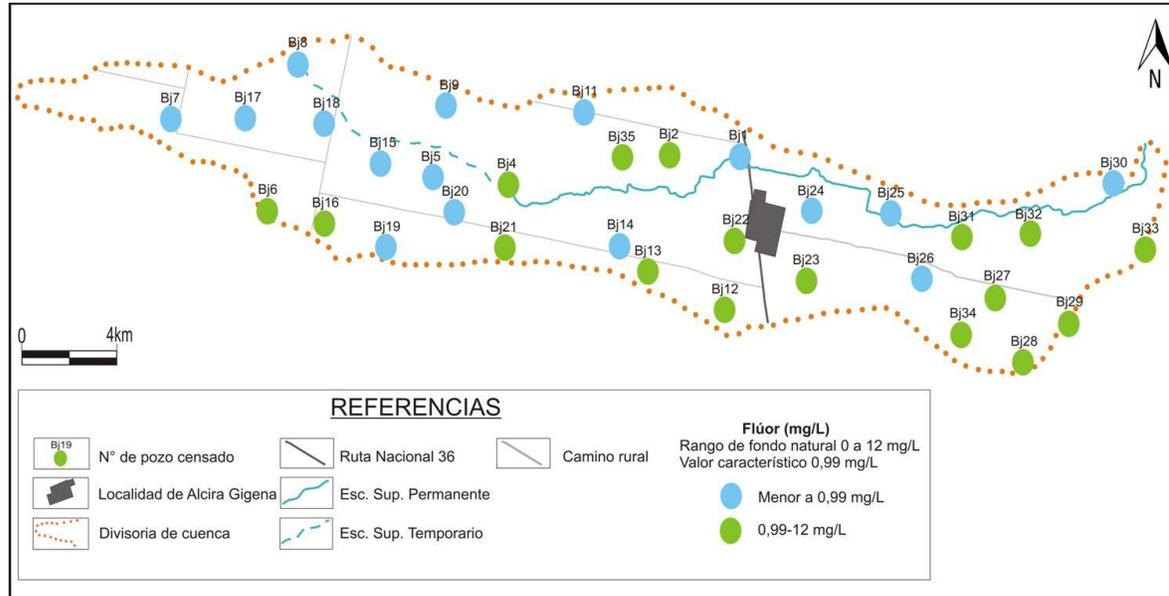


Figura 7.26: Mapa de distribución de flúor. Rangos (intervalos de clase) en función del valor característico de fondo natural, acuífero libre, cuenca arroyo Mosuc Mayú, 2013.

### Nitratos:

El nitrato es uno de los más problemáticos y difundidos potenciales contaminantes del agua subterránea (Keeney, 1986), en particular en áreas rurales debido a las actividades agrícolas no controladas y al inapropiado manejo del recurso hídrico (Guzik et al., 2005). Su comportamiento es variable, por eso es indispensable determinar la fuente de incorporación del mismo al medio y su posterior evolución, como así también, las condiciones propias del medio natural, condiciones hidrogeológicas e hidrodinámicas, geomorfología local y regional que determina la infiltración, espesor y características del suelo presente (contenidos de humus, minerales arcillosos, pH, etc.), espesor de la ZNS, entre otras.

El nitrato puede ingresar a las aguas subterráneas por procesos naturales o por el efecto directo o indirecto de las actividades humanas. Los procesos naturales incluyen precipitación, el intemperismo de los minerales y la descomposición de la materia orgánica. Los nitratos provenientes de las actividades humanas proceden de la escorrentía de los terrenos cultivados, efluentes de lagunas y tanques sépticos, materia fecal animal, fertilización excesiva de nitrógeno, deforestación y el cambio de la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos (Heaton, 1986).

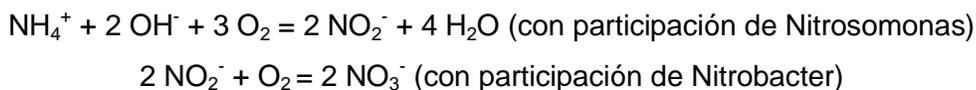
### **Comportamiento del Nitrógeno:**

El nitrógeno es un elemento fundamental en la estructura de vegetales y animales, junto con el potasio y el fósforo, y es uno de los elementos claves en la nutrición mineral.

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

El nitrógeno puede ingresar al subsuelo como N orgánico o inorgánico, dependiendo de la fuente de aporte. El N orgánico forma parte de aminoácidos, aminos, proteínas y compuestos húmicos con bajos contenidos de N (Reddy y Patrick, 1981). Mientras que el N inorgánico se encuentra bajo la forma de N<sub>2</sub> gaseoso, amonio, amoníaco, nitrito y nitrato (y otros óxidos como NO, N<sub>2</sub>O).

Cuando deriva de materia orgánica nitrogenada, la oxidación de los compuestos del nitrógeno se realiza a través de los siguientes pasos esenciales, mediados bacteriológicamente, hasta convertirse en NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a través de las siguientes reacciones (Matteoda, 2012):



Los microorganismos que intervienen en estas reacciones son bacterias nitrificantes, quimioautótrofas y estrictamente aeróbicas, es decir, toman el oxígeno del medio para producir la oxidación del nitrógeno. Pueden hallarse también bacterias denitrificantes, que tienen un metabolismo aeróbico pero son capaces de sobrevivir en un ambiente anaeróbico, obteniendo el oxígeno del NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, el cual es de esta manera reducido de distintas formas, alcanzando el estado final de N<sub>2</sub> gaseoso.

La forma en la que se presenta el nitrógeno en el medio (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) depende fuertemente de las condiciones redox. NO<sub>3</sub><sup>-</sup> aparece bajo condiciones oxidantes mientras que NO<sub>2</sub><sup>-</sup> bajo condiciones reductoras o bien es procedente de contaminación reciente o no ha alcanzado a oxidarse para derivar en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. El par redox NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - NO<sub>3</sub><sup>-</sup> es uno de los mejores indicadores de las condiciones redox del medio.

### **Fuentes de contaminación en la zona de estudio**

En la cuenca del arroyo Mosuc Mayú se observan fuentes de aporte de N puntuales y difusas. Las fuentes puntuales están directamente relacionadas con actividad de animales, entre ellas, cría intensiva de ganado (feed lot) y corrales (cerdos, gallinas, ovejas), como así también los residuos de fertilizantes próximos a perforaciones.

Las fuentes difusas se relacionan directamente a la aplicación de fertilizantes como urea, fosfato de amonio, sulfato de amonio, etc., debido a la siembra directa.

En la zona de estudio, tal como se exhibe en la figura 7.27, se observan valores mínimos y máximos de 0,0 mg/L y 55,0 mg/L respectivamente, con una media de 9,96 mg/L. Refleja una caja poco asimétrica con una mediana de 7,25 mg/L y un “outlier” que alcanza los 55 mg/L. Es decir que en general los valores determinados son bajos.

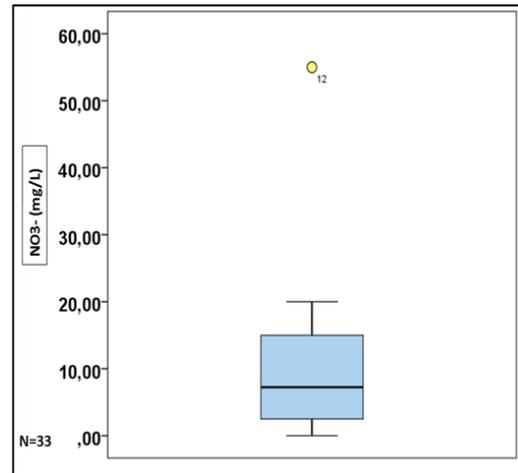
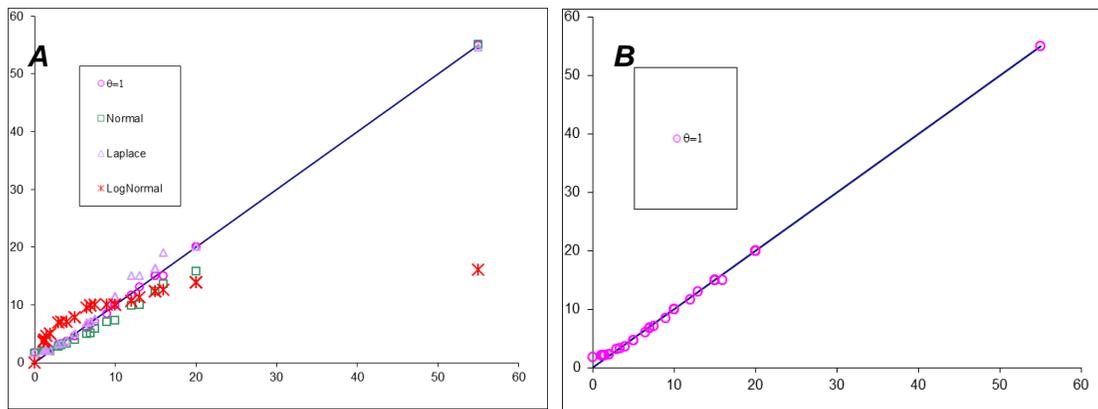


Figura 7.27: Box plot para NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

### **Determinación del Fondo Natural**

En el caso en particular del cálculo del fondo para nitratos, por tratarse de un compuesto de origen antrópico, se consideró necesario excluir aquellas muestras que poseen valores anómalos que se supone derivan de contaminación. Se empleó así la metodología propuesta por Walter (2006). El primer paso para identificar la carga antropogénica debe ser la determinación de la “población normal” (la más común) en el conjunto de datos, la cual, en la mayoría de los casos, puede ser vista como equivalente al “fondo natural”. Sin embargo, en acuíferos heterogéneos, las superposiciones de influencias pueden llevar a panoramas complejos, no siendo sencillo separar en subpoblaciones normales (no anómalos). Además, Walter (2006) indica que si la zona está muy densamente poblada, el fondo natural puede ser alterado de tal forma que ya no puede ser nunca más definido como “natural”. Walter (2006) propone una metodología para evaluar qué parte de los datos corresponden a una “población normal” y cuáles son anómalos, basada en exclusión de datos anómalos en la gráfica de probabilidad en diferentes puntos de corte, considerando el supuesto distribucional escogido en cada caso. Así, se procede a realizar la representación de los percentiles, con aquellos

resultantes del ajuste con la distribución seleccionada en cada caso y se considera como un primer punto de corte un percentil determinado (por ejemplo 95%), excluyéndose por lo tanto las observaciones que presentan valores superiores al mismo. Se realiza el proceso de estimación nuevamente pero sólo con las observaciones restantes después de haber realizado el corte y así sucesivamente en forma iterativa hasta que se alcanza un estado estable, es decir que se han eliminado los valores más notoriamente atípicos (Walter, 2006). De acuerdo a la metodología y utilizando el total de las muestras (32), se procedió a realizar la representación de los percentiles utilizando la mixtura ya que ajustaba mejor que las distribuciones normal, lognormal y Laplace (Fig. 7.28 A y B) y se fueron excluyendo los datos anómalos, en forma iterativa y asumiendo que luego, los restantes al final del proceso serán aquellos que formen parte de la población “normal” del lugar.



**Figura 7.28:** A. Nitratos, ajuste con la distribución normal, lognormal, Laplace y  $\theta = 1$ . B. Nitratos, ajuste con la distribución  $\theta = 1$  (mixtura).

De este modo, realizado el 1º gráfico, se considera como un primer punto de corte en el percentil del 99%, excluyéndose por lo tanto la observación que presenta el valor de 55 mg/L. Se realiza nuevamente el proceso de estimación con las 31 observaciones restantes, tomando como punto de corte el percentil perteneciente a 95%, eliminando cuatro valores de 20 mg/L, resultando en un  $n=27$ . Se continúa con este proceso iterativo hasta que se alcanza un estado estable, es decir que se han eliminado los valores más atípicos. Como se observa en las figuras 7.29 y 7.30 luego del 4º corte los datos resultantes ( $n=21$ ) representarían la población que Walter denomina “normal” que en este caso, considerando que no se han excluido los valores más pequeños de la serie, constituyen el rango de fondo natural, que va de 2,05 a 6,5 mg/L, cuyo valor característico de fondo, correspondiente al  $m^*$  es de 4,3 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  para una serie final de 21 datos.

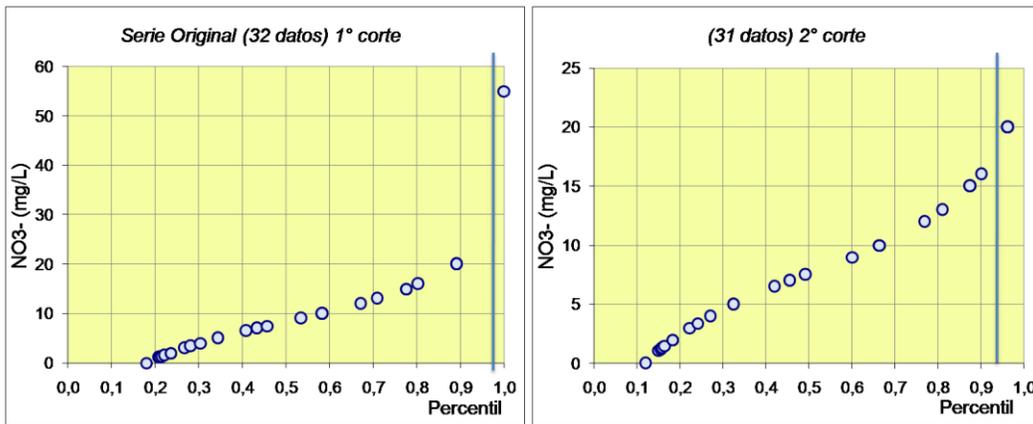


Tabla 7.29: Gráfica de probabilidad de  $\text{NO}_3^-$  (1° y 2° corte).

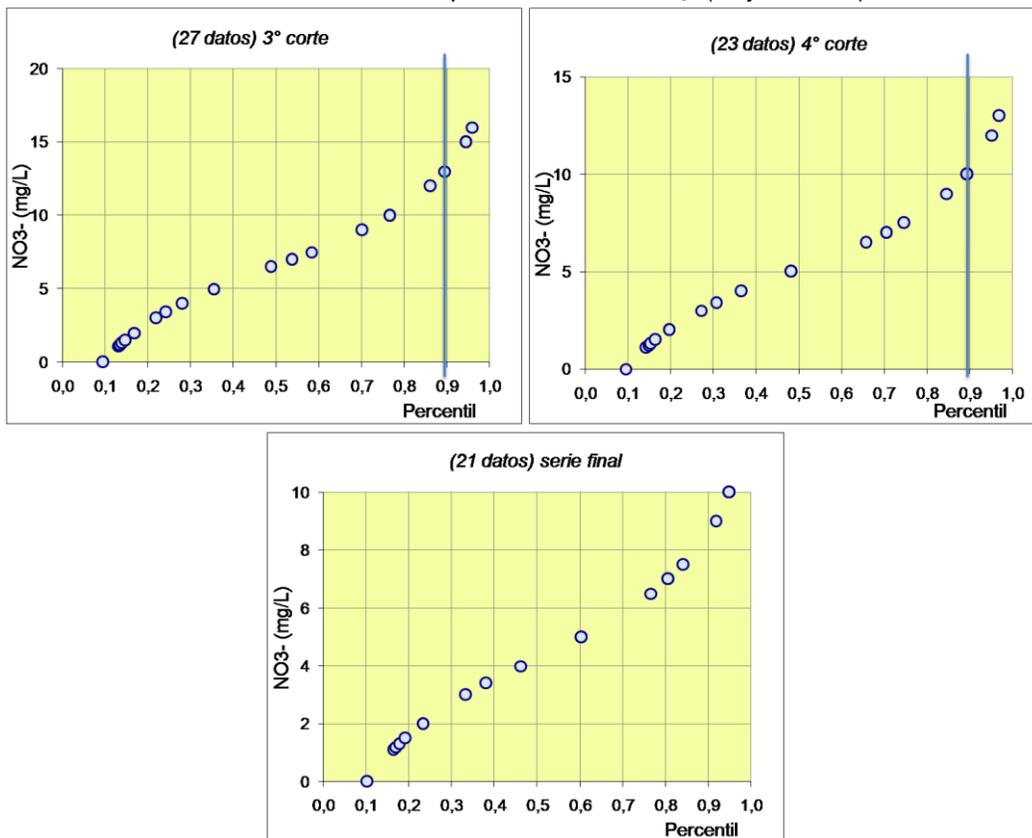


Tabla 7.30: Gráfica de probabilidad de  $\text{NO}_3^-$  (3° y 4° corte y serie final).

En la figura 7.31 puede observarse la distribución de nitratos para la zona de estudio. Se establecieron 3 rangos, uno con tenores de nitratos inferiores al valor característico del fondo natural (< a 4,3 mg/L), otro con valores que se encuentran en el sector superior del intervalo de fondo (4,3 a 6,5 mg/L) y por último uno con valores que se encuentran por encima de este (> a 6,5 mg/L).

En la zona de estudio se observa que un 34,4 % de las muestras (11 datos) presentan valores de nitrato por debajo del valor característico de fondo natural, el 9,4 % (3 datos) dentro del intervalo del fondo y el 56,2 % de las mismas (18 datos) con tenores de nitratos por encima de este.

De las 18 muestras que se encuentran por encima del rango de fondo natural en su mayor parte (77,8 %) están relacionadas a focos de contaminación puntual agua arriba (CPAR) y en menor medida asociadas a contaminación difusa (CD), aunque se destaca que los valores en general son muy bajos.

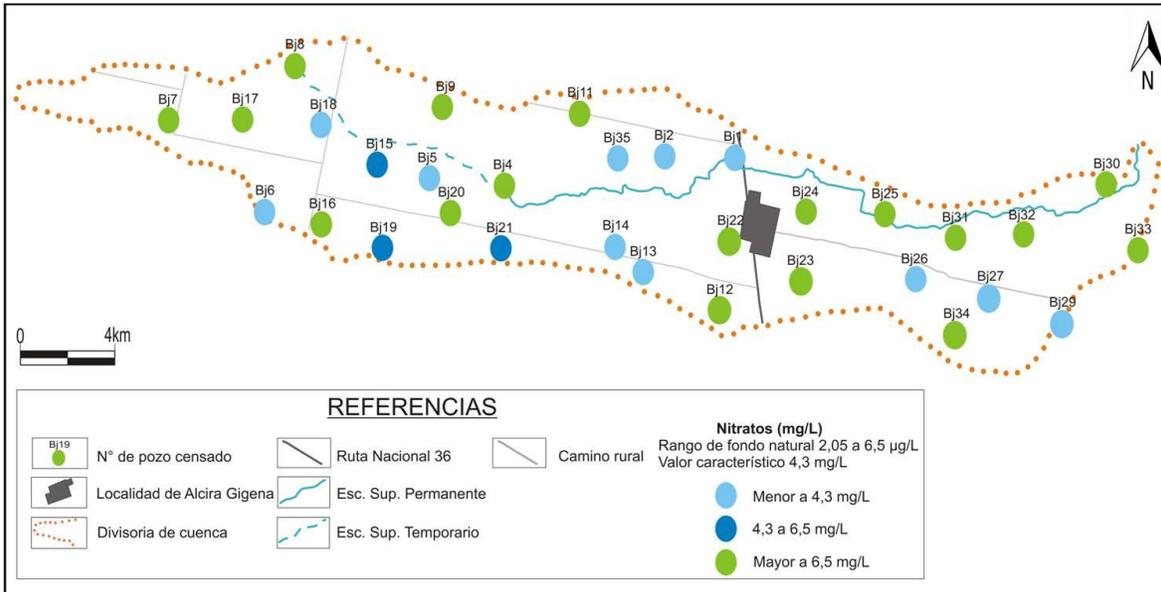


Figura 7.31: Mapa de distribución de nitratos. Rangos (intervalos de clase) en función del valor característico de fondo natural, acuífero libre, cuenca arroyo Mosuc Mayú, 2013.

### Relación entre valores de nitratos y uso del territorio

Para tratar de explicar las relaciones existentes entre los tenores de nitratos y el uso del territorio se procedió a categorizar las perforaciones según su ubicación con respecto a sitios y tipos probables de contaminación, para luego asociarlas al tratamiento estadístico y gráficos de cajas, estableciéndose 3 clases: **CPAR**: muestras de perforaciones con focos de contaminación puntual ubicados aguas arriba de las mismas (Fig. 7.32), **CPAB**: de perforaciones aledañas a sitios de contaminación puntual ubicados aguas abajo (Fig. 7.33) y **CD**: de perforaciones ubicadas en predios con un entorno de contaminación difusa procedente de fertilización o fuente puntual no reconocida (Fig. 7.34).

Los focos puntuales que se encuentran en las perforaciones resultaron ser corrales de vacunos, porcinos y en menor proporción, ovejas y gallinas, cascos de estancias (pozos negros). Un claro ejemplo de **CPAR** se observa en la figura 7.35, la cual muestra una perforación en medio de un feed lot.

La contaminación difusa se vincula a la práctica de ganadería extensiva y a la utilización en la cuenca de urea, fosfato de amonio y sulfato de amonio para el cultivo de maíz y soja, mediante la práctica de siembra directa.



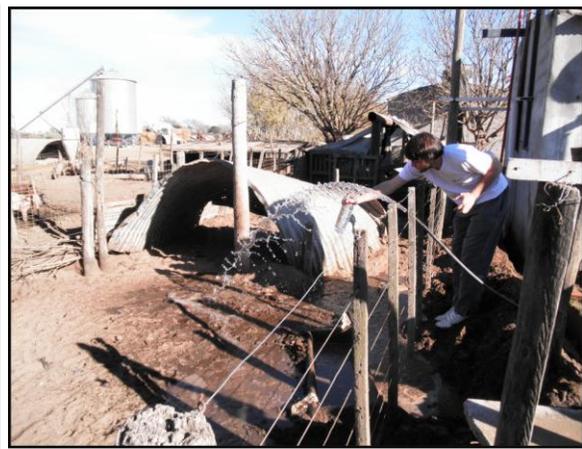
**Figura 7.32.**  $\text{NO}_3^- = 7 \text{ mg/L}$ . Profundidad (NF)= 74,8 m, Vinculada a contaminación CPAR



**Figura 7.33.**  $\text{NO}_3^- = 12 \text{ mg/L}$ . Profundidad (NF)= 15,2 m, Vinculada a contaminación CPAB.



**Figura 7.34.**  $\text{NO}_3^- = 55 \text{ mg/L}$ . Profundidad (NF)= 17,2 m, Vinculada a contaminación CD.



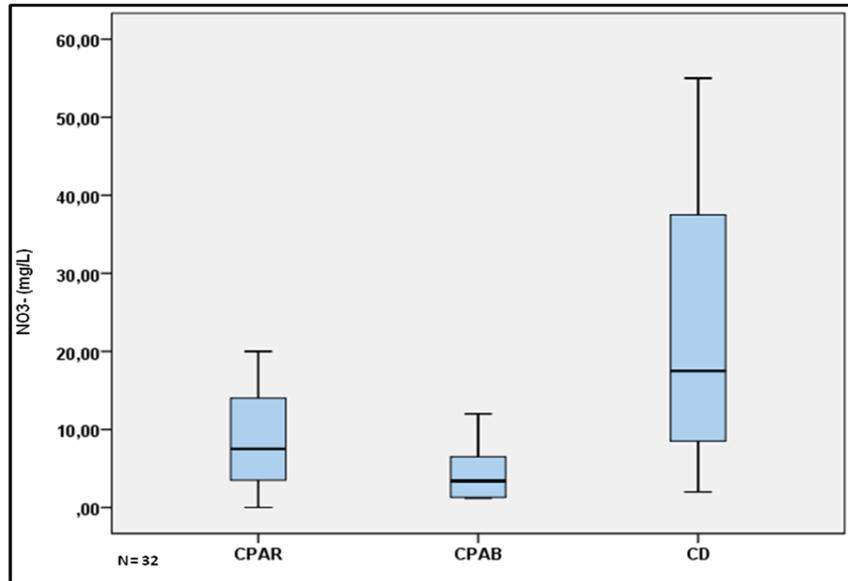
**Figura 7.35.**  $\text{NO}_3^- = 10 \text{ mg/L}$ . Profundidad (NF)= 12,9 m, Vinculada a contaminación CPAR.

Posterior a la categorización, según la ubicación señalada, se llevó a cabo el análisis estadístico univariado de  $\text{NO}_3^-$ , que arrojó valores de mediana, promedio y desvío estándar que se observa en la tabla 7.6.

	Mediana	Promedio	Desvío Estándar
CPAR	7,5	8,79	6,45
CPAB	3,4	4,88	4,52
CD	17,5	23	22,64

**Tabla 7.6.** Estadísticos (mg/L).

En la figura 7.36 se observan los diagramas de cajas, realizado para los grupos discriminados según el uso del territorio.



**Figura 7.36:** Diagrama de cajas de Nitratos (mg/L), en grupos, según uso del territorio n= 23(CPAR), n=5 (CPAB), n=5 (Cd=CD) .

Se observa un valor anómalo, perteneciente a la muestra 12, la cual presenta un valor de nitrato de 55 mg/L, correspondiente a CD. Para este grupo en el diagrama de la figura 7.36, se observa el rango más amplio de variación y la mediana más alta.

Los valores de mediana para los sitios de posible contaminación ubicados aguas arriba de la perforación (CPAR) presenta el valor intermedio entre las 3 cajas, pudiendo ser causados por focos de contaminación, pozos negros, corrales (vacas, cerdos, ovejas, gallinas), depósitos de fertilizantes, etc.

La mediana más baja corresponde a sitios de posible contaminación puntual (CPAB), donde los bajos valores se los podría vincular al transporte del contaminante cuando se genera el cono de depresión durante el bombeo que invierte el gradiente hidráulico normal.

### Análisis de relación del nitrato con otros iones y propiedades físico-químicas

La llegada y evolución de nitratos en los acuíferos depende de múltiples factores agrupados en 2 aspectos principales, los vinculados a la carga contaminante y aquellos relacionados con el acuífero y la ZNS. En el primer caso importa el tipo de contaminante, su concentración, su modo y tiempo de vertido. En el segundo caso importa el espesor de la ZNS, su litología, la cantidad de agua de recarga que la atraviese y luego los procesos que ocurran en el acuífero, por ejemplo la dispersión hidrodinámica, que genera dilución de las concentraciones del compuesto.

Teniendo en cuenta el conjunto total de 32 muestras analizadas, La presencia de  $\text{NO}_3^-$  y la ausencia de  $\text{NO}_2$  en todas las muestras, estaría indicando que el acuífero se encuentra bajo condiciones oxidantes, coincidente con las concentraciones de OD entre 3,34 y 8,62 mg/L medidas en campo.

Según Razowska y Sadurski, 2005, es un error concentrar el análisis de la contaminación sólo en los nitratos ya que hay claras evidencias de que otros solutos o indicadores, dependiendo de diferentes circunstancias, afectan el acuífero, tales como  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ , CE, OD.

		NO3-	Cl-	SO4=	Na+	K+	Mg+2	Ca+2	OD (mg/l)	CE (us/cm)
NO3-	Correlación de Pearson	1,00	-0,11	0,03	0,05	0,06	0,02	0,07	0,16	0,03
	Sig. (bilateral)		0,54	0,88	0,80	0,76	0,93	0,71	0,43	0,87
	N	32	32	32	32	32	32	32	26	32
Cl-	Correlación de Pearson	-0,11	1,00	0,438*	0,495**	0,580**	0,469**	0,555**	-0,05	0,612**
	Sig. (bilateral)	0,54		0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,81	0,00
	N	32	33	33	33	33	33	33	26	33
SO4=	Correlación de Pearson	0,03	0,438*	1,00	0,900**	0,924**	0,938**	0,871**	-0,04	0,955**
	Sig. (bilateral)	0,88	0,01		0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	0,00
	N	32	33	33	33	33	33	33	26	33
Na+	Correlación de Pearson	0,05	0,495**	0,900**	1,00	0,866**	0,857**	0,718**	0,00	0,960**
	Sig. (bilateral)	0,80	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,99	0,00
	N	32	33	33	33	33	33	33	26	33
K+	Correlación de Pearson	0,06	0,580**	0,924**	0,866**	1,00	0,828**	0,844**	-0,03	0,930**
	Sig. (bilateral)	0,76	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,87	0,00
	N	32	33	33	33	33	33	33	26	33
Mg+2	Correlación de Pearson	0,02	0,469**	0,938**	0,857**	0,828**	1,00	0,780**	0,04	0,913**
	Sig. (bilateral)	0,93	0,01	0,00	0,00	0,00		0,00	0,84	0,00
	N	32	33	33	33	33	33	33	26	33
Ca+2	Correlación de Pearson	0,07	0,555**	0,871**	0,718**	0,844**	0,780**	1,00	-0,13	0,861**
	Sig. (bilateral)	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,51	0,00
	N	32	33	33	33	33	33	33	26	33
OD (mg/l)	Correlación de Pearson	0,16	-0,05	-0,04	0,00	-0,03	0,04	-0,13	1,00	-0,04
	Sig. (bilateral)	0,43	0,81	0,84	0,99	0,87	0,84	0,51		0,84
	N	26	26	26	26	26	26	26	26	26
CE (ug/cm)	Correlación de Pearson	0,03	0,612**	0,955**	0,960**	0,930**	0,913**	0,861**	-0,04	1,00
	Sig. (bilateral)	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	
	N	32	33	33	33	33	33	33	26	33

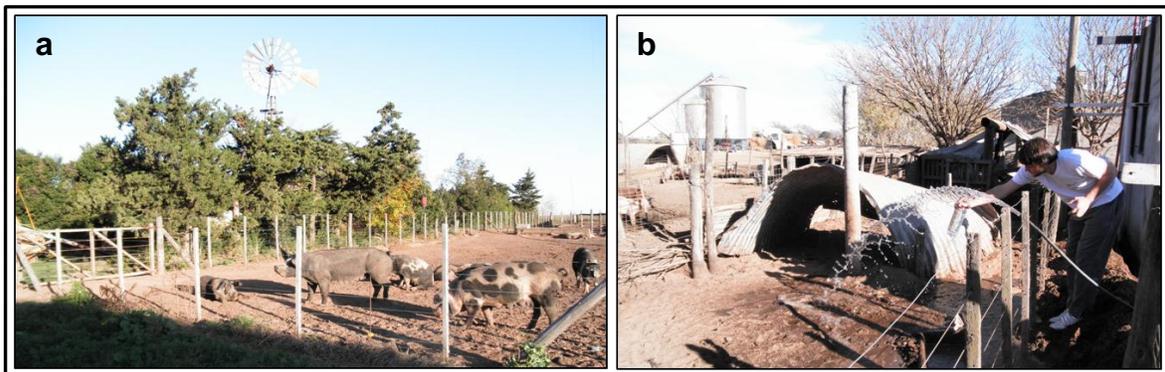
\*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

\*\*.. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 7.7: Correlaciones de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , CE y OD.

Según el análisis bivariado, los nitratos presentan una mala correlación con CE, confirmando que el aporte al contenido salino del agua no es importante. Además la correlación con iones como  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , (que pueden tener origen natural o derivado de contaminación), es mala, lo cual estaría indicando, al no vincularse de manera positiva con los nitratos, que esos elementos proceden de fuentes naturales, aunque debe considerarse además que los valores de nitratos hallados son muy bajos, muy cercanos al fondo natural. Se estima que si bien puede haber una incorporación de  $\text{NO}_3^-$  mediante actividades antrópicas, no está llegando una gran cantidad al acuífero dada la protección que ejerce la zona no saturada que es importante en toda la cuenca, especialmente en tramo medio y superior. Probablemente el hecho de que domine contaminación difusa influye también en que haya bajo impacto al acuífero. Por otro lado, y si bien por las importantes ZNS pueden llegar pocas cantidades de  $\text{NO}_3^-$ , una vez que estos son incorporados al agua pueden sufrir proceso de dispersión hidrodinámica generando una dilución del mismo.

También existen en la cuenca perforaciones rodeadas de fuentes contaminantes como corrales, tal como se observa en las muestras Bj21 y Bj22, representadas en la figura 7.37., sin embargo el impacto al acuífero no es muy grande de acuerdo a los bajos valores de  $\text{NO}_3^-$ , y se asume que también en estos casos la protección de la ZNS es grande.



**Figura 7.37:** a. Perforación Bj21, CPAR,  $\text{NO}_3^- = 5\text{mg/L}$ . b. Perforación Bj22, CPAR,  $\text{NO}_3^- = 10\text{mg/L}$

---

# Capítulo 8

---

Aptitudes de uso

---

## **8.1- Introducción**

A partir del análisis realizado sobre la dinámica y química del agua subterránea presente en la zona de estudio, se evaluará el aspecto utilitario del recurso hídrico subterráneo de la zona de estudio, clasificando el mismo según su aptitud de uso para consumo humano, ganadero y para riego, considerando aspectos toxicológicos de los diferentes elementos o especies que afectan su calidad, tales como el arsénico, flúor y nitratos.

Los límites de aptitud de uso humano, fueron tomados del Código Alimentario Argentino, mientras que para ganadería se utilizó la clasificación de Bavera (2001).

Para riego, se utilizó la clasificación de FAO (Ayers y Westcott 1985) que se considera más adecuada dado que tiene en cuenta que aguas de muy baja salinidad (CE por debajo de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) puede originar problemas de infiltración. Sin embargo, se presenta también la clasificación para riego de Riverside (Richards 1954) porque es muy usada en el país aunque el riesgo de sodificación en función de la salinidad del agua es considerado en esta clasificación en forma inversa.

## **8.2- Aspectos toxicológicos de los elementos minoritarios y trazas en el agua subterránea**

### **8.2.1- Arsénico:**

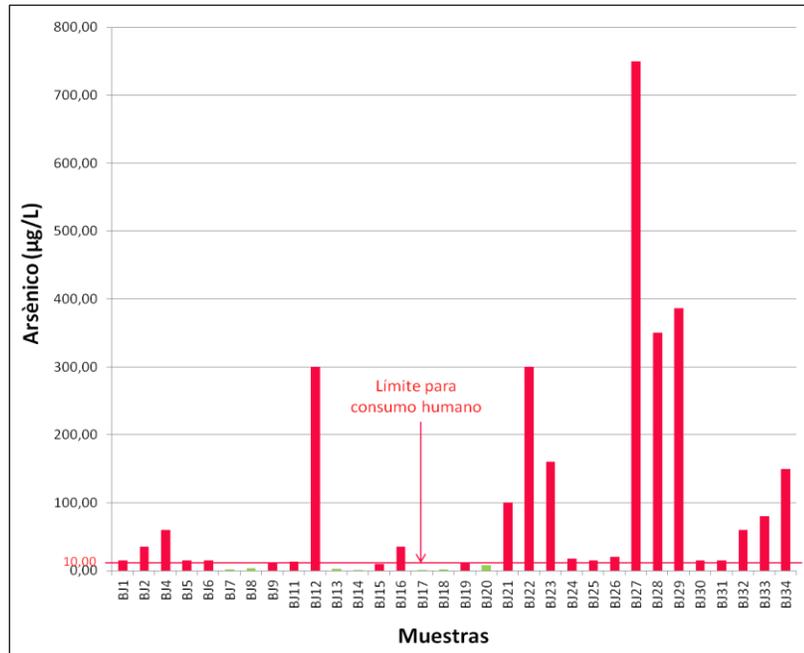
La ingesta diaria y continua de dosis elevadas produce una enfermedad en las personas conocida como Arsenicismo Crónico. En nuestro país se trata de una enfermedad endémica conocida como Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE), que se manifiesta por espesamiento de la epidermis, úlceras en la boca y cáncer arsenical (Lerda, 1995). Los compuestos de As varían su toxicidad siendo las formas  $\text{As}^{+3}$  más tóxicas que las  $\text{As}^{+5}$ .

El Código Alimentario Argentino (CAA) ha fijado un límite de 10  $\mu\text{g}/\text{L}$  para este ión en el agua de bebida, en concordancia con el límite establecido por la OMS. Por otro lado la legislación vigente en la provincia de Córdoba establece que hasta tanto no se tengan estudios epidemiológicos amplios y completos (Resolución 074/06 de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba), el límite es de 10  $\mu\text{g}/\text{L}$ .

En el caso del agua destinada al consumo ganadero, la presencia de As en valores entre 150 y 300  $\mu\text{g}/\text{L}$ , resulta tóxica para el ganado y está asociada principalmente a un pobre crecimiento de los animales, caída de pelo y problemas dérmicos. Aunque en función de estudios más recientes, debido a la corta vida del ganado bovino, el As no

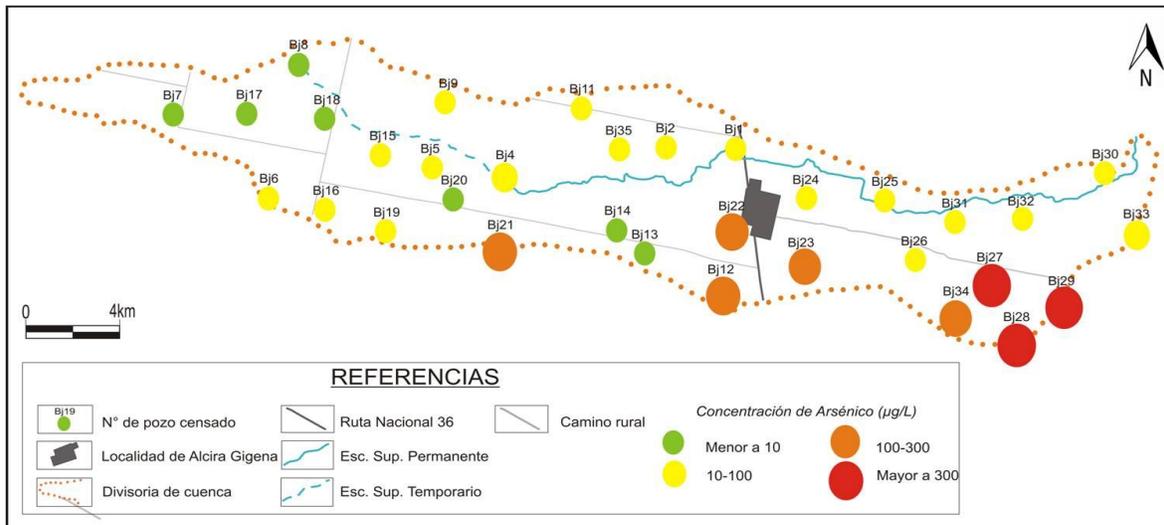
alcanzaría a acumularse en concentraciones que resulten tóxicas para el animal (Bavera 2001).

En la cuenca se observan valores de As que varían entre 1 y 750  $\mu\text{g/L}$ . De las 33 muestras analizadas, el 21 % (7 muestras) no sobrepasan el límite de aptitud para consumo humano establecido por el CAA, del restante 79 % (26 muestras) que sobrepasan dicho límite, se encuentran muestras que lo superan ampliamente (Fig. 8.1).



**Figura 8.1:** Tenores de As en el acuífero libre. Cuenca del arroyo Mosuc Mavú. 2013.

El la figura 8.2 se observa la distribución de las muestras de arsénico en la cuenca del arroyo Mosuc Mayú.



**Figura 8.2:** Mapa de distribución de los tenores de As en el agua subterránea de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú (límites establecidos por el CAA).

### 8.2.2- Flúor:

Con respecto al flúor, los altos tenores en una ingesta diaria producen como efecto principal la fluorosis dental, aunque en cantidades muy altas puede afectar a los huesos dando una fluorosis esquelética (Dissanayake 1991, Rivas Gutierrez y Huerta Vega 2005, Hidalgo-Gato Fuentes et al. 2007).

El límite admitido por la SSRH de Córdoba de acuerdo a lo establecido por CAA y la OMS, es variable en función de la temperatura media de la zona. En tal caso, el límite para el Sur de la provincia de Córdoba es de 1,3 mg/l, con una temperatura media de la zona de 16° C, de (Blarasin, et. al. 2005).

En la zona de estudio los valores de F<sup>-</sup> varían entre 0,1 y 12 mg/L, observándose que de la totalidad de las muestras, el 67 % (22 datos) se encuentran por debajo de los valores aptos para consumo humano lo cual se ve reflejado en el gráfico de la figura 8.3

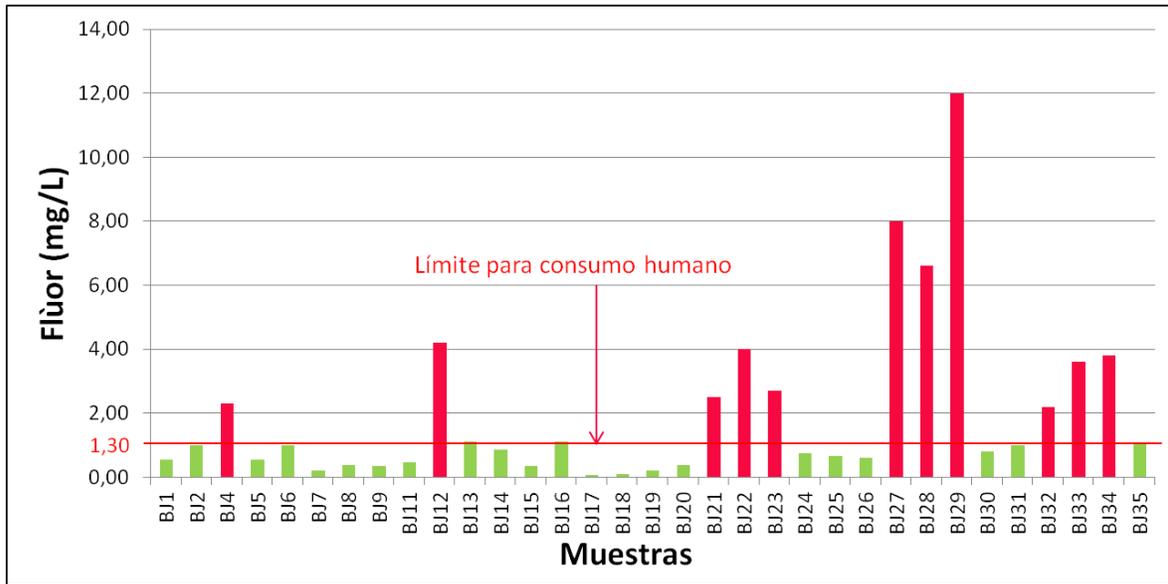


Figura 8.3: Tenores de F en el acuífero libre. Cuenca del arroyo Mosuc Mayú, 2013.

El mapa de distribución de los tenores de F<sup>-</sup> en la zona de estudio, se observa en la figura 8.4.

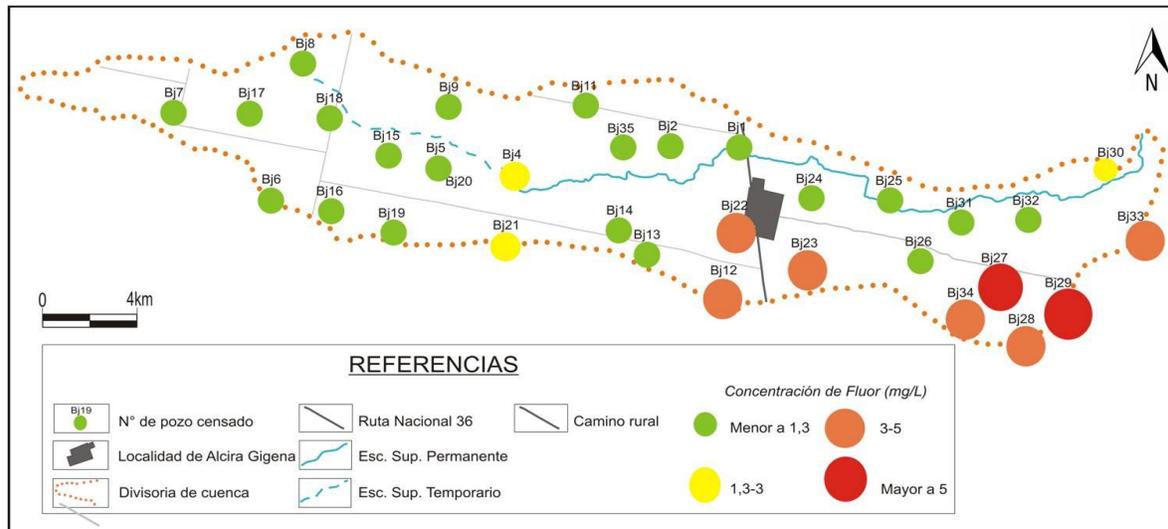


Figura 8.4: Mapa de distribución de los tenores de F en el agua subterránea de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú (límites establecidos por el CAA)

### 8.2.3- Nitratos:

La presencia de cantidades excesivas de nitratos en las aguas puede provocar en los lactantes efectos mortales (cianosis) por la formación de metahemoglobina, y en adultos, nitrosaminas cancerígenas, por la reacción de nitratos con aminas y aminoácidos. Hay investigaciones que indican que altas concentraciones de nitrato aumentan el riesgo de cáncer de estómago, desarrollando la enfermedad a largo plazo. También disminuye la absorción de oxígeno por la sangre.

El límite admisible para consumo humano según el CAA es de 45 mg/L, mientras que la OMS lo ha fijado en 50 mg/L.

De las 32 muestras analizadas, el 3% de las muestras (1 muestra) sobrepasa el límite para consumo humano admisible según el CAA, tal como se observa en la figura 8.5.

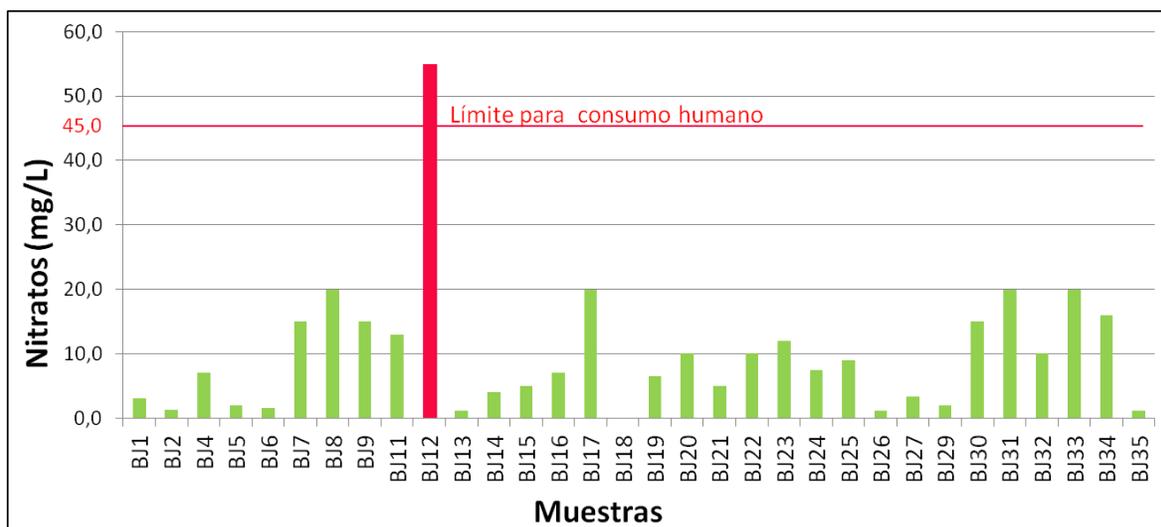


Figura 8.5: Tenores de Nitratos en el acuífero libre. Cuenca del arroyo Mosuc Mayú, 2013.

En el mapa de distribución de los tenores de  $\text{NO}_3^-$  en la cuenca, se observa la ubicación de la muestra B<sub>j</sub>12, siendo ésta la única que sobrepasa el límite para consumo humano (Fig. 8.6).

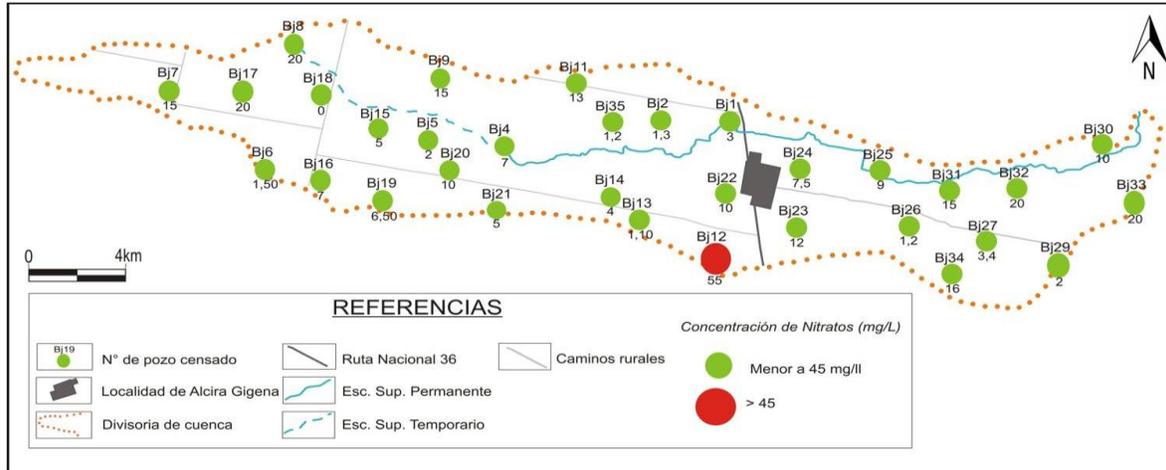


Figura 8.6: Mapa de distribución de los tenores de Nitratos en la cuenca del arroyo Mosuc Mayú (límites establecidos por el CAA).

### 8.3- Aptitud para Consumo Humano

Se elaboró para las 33 muestras analizadas una tabla de aptitud para consumo humano (Tabla 8.1), considerando los límites establecidos por el CAA y la SSRH de la provincia de Córdoba, para arsénico, flúor, nitratos, sulfatos, cloruros y SDT (Fig. 8.7).

**Arsénico:** 10  $\mu\text{f/L}$ . La SSRH (Córdoba) establece, hasta tanto se tengan estudios epidemiológicos amplios y completos (Res. 074/06):

- Límite ideal= 10  $\mu\text{g/L}$ ,
- Límite aceptable= 50  $\mu\text{g/L}$ ,
- Límite tolerable= 100  $\mu\text{g/L}$ .

**Fluoruros:** 1,3 mg/L (para una Temperatura media de 16°C).

**Nitratos:** 45 mg/L.

**Sulfatos:** 400 mg/L.

**Cloruros:** 350 mg/L.

**Sales Disueltas Totales:** 1500 mg/L.

Figura 8.7: Límites de aptitud admitidos para consumo humano por el CAA y SSRH de Córdoba.

MUESTRAS	CE (µS/cm)	SDT (mg/L)	As (µg/L)	F (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	APTITUD
BJ1	705	494	15	0,55	3	139,0	28,6	NO APTA (As)
BJ2	955	669	35	1	1,3	272,0	31,4	NO APTA (As)
BJ4	1337	936	60	2,3	7	219,3	65,7	NO APTA (As-F)
BJ5	1986	1390	15	0,55	2	886,9	80,0	NO APTA (As-SO4=)
BJ6	2070	1449	15	1	1,5	997,5	62,9	NO APTA (As-SO4=)
BJ7	3680	2576	2	0,2	15	1791,4	85,7	NO APTA (SDT-SO4=)
BJ8	2850	1995	4	0,38	20	1452,4	57,1	NO APTA (SDT-SO4=)
BJ9	5280	3696	12	0,36	15	2527,3	128,6	NO APTA (SDT-SO4=As)
BJ11	2070	1449	13	0,47	13	976,5	80,0	NO APTA (As-SO4=)
BJ12	1220	854	300	4,2	55	199,5	34,3	NO APTA (As-F-Nitratos)
BJ13	683	478	3	1,1	1,1	133,3	17,1	APTA
BJ14	796	557	1	0,85	4	209,4	17,1	APTA
BJ15	2027	1419	10	0,34	5	828,5	120,0	NO APTA (As-SO4=)
BJ16	2312	1618	35	1,1	7	1126,3	40,0	NO APTA (SDT-SO4=As)
BJ17	3676	2573	1	0,05	20	1867,0	88,6	NO APTA (SDT-SO4=)
BJ18	4693	3285	2	0,1	0	1536,9	365,7	NO APTA (SDT-SO4=Cl)
BJ19	4647	3253	12	0,2	6,5	2540,1	14,3	NO APTA (SDT-SO4=As)
BJ20	3424	2397	8	0,38	10	2028,1	48,6	NO APTA (SDT-SO4=)
BJ21	1865	1306	100	2,5	5	701,1	22,9	NO APTA (As-F-SO4=)
BJ22	947	663	300	4	10	150,0	14,3	NO APTA (As-F)
BJ23	1055	739	160	2,7	12	212,0	54,3	NO APTA (As-F)
BJ24	579	405	18	0,73	7,5	143,7	14,3	NO APTA (As)
BJ25	615	430,5	15	0,65	9	154,2	20,0	NO APTA (As)
BJ26	924	646,8	20	0,6	1,2	300,0	31,4	NO APTA (As)
BJ27	1379	965,3	750	8	3,4	55,3	17,1	NO APTA (As-F)
BJ28	1470	1029	350	6,6	---	106,7	80,0	NO APTA (As-F)
BJ29	1481	1036,7	386	12	2	155,7	20,0	NO APTA (As-F)
BJ30	727	508,9	15	0,8	15	118,2	22,9	NO APTA (As)
BJ31	709	496,3	15	1	20	95,8	22,9	NO APTA (As)
BJ32	802	561,4	60	2,2	10	93,4	20,0	NO APTA (As-F)
BJ33	1091	763,7	80	3,6	20	141,6	20,0	NO APTA (As-F)
BJ34	1098	768,6	150	3,8	16	58,1	20,0	NO APTA (As-F)
BJ35	940	658	40	1,05	1,2	270,8	28,6	NO APTA (As)

**Tabla 8.1:** Clasificación del agua del acuífero libre para consumo humano. Arroyo Mosuc Mayú, 2013.

De los resultados obtenidos puede interpretarse que para consumo humano, el agua captada del acuífero libre es sólo en un 6% **Apta** para tal fin (Fig. 8.8). El 94 % No Apta, sobrepasan mayormente los tenores de arsénico admisibles para consumo humano. Un 79 % presentan tenores de As superiores a 10 µg/L, un 33 % concentraciones de flúor mayores a 1,3 mg/L y sólo un 3 % superan los 45 mg/L de nitratos. Por otro lado el 24 % de las muestras presenta SDT por encima de 1500 mg/L, superando el límite para consumo humano. (Fig. 8.9)

Teniendo en cuenta en análisis realizado en base a los límites establecidos por el CAA, expuesto en la tabla 8.1, se confeccionó un mapa final de aptitud de bebida para el agua del acuífero libre de la zona de estudio (Fig. 8.10). Cabe aclarar que para definir la aptitud es necesario también, realizar el debido análisis microbiológico.

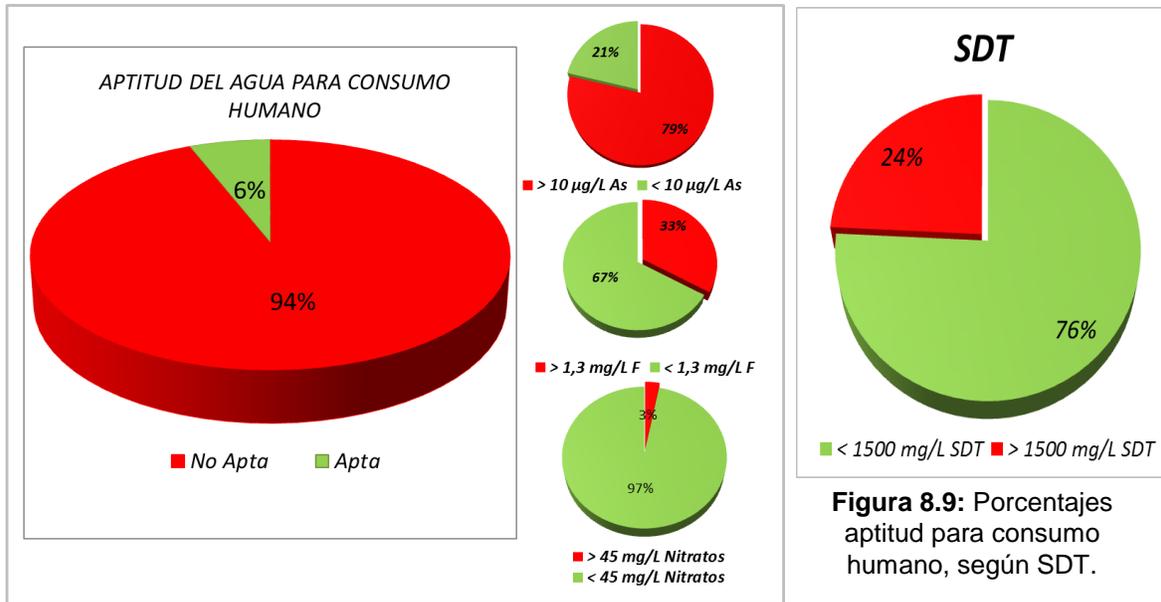


Figura 8.8: Porcentajes de muestras según su aptitud para consumo humano (según los límites establecidos por el CAA).

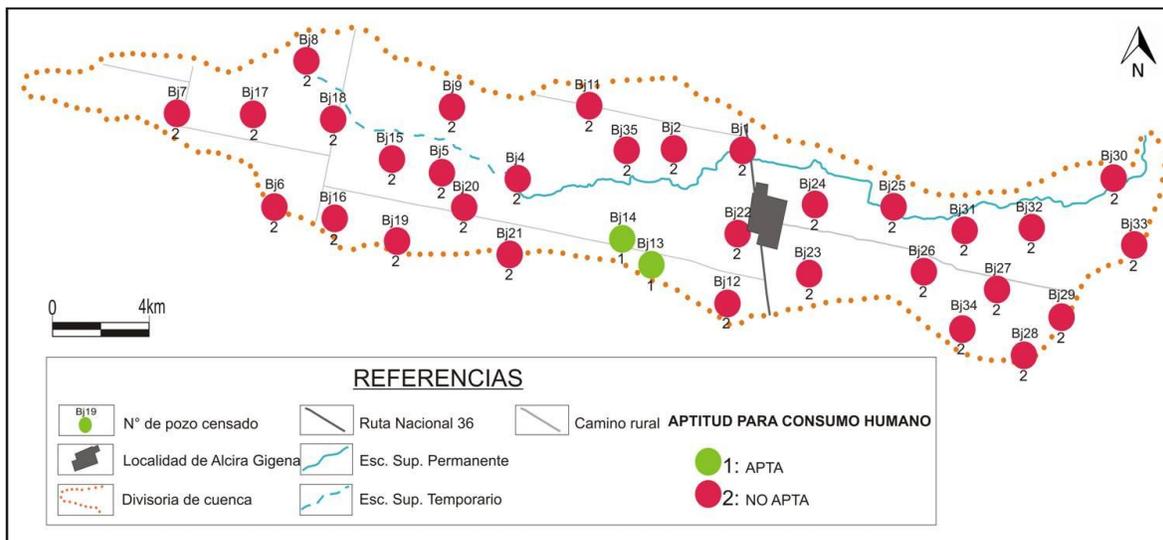


Figura 8.10: Mapa de aptitud de uso para consumo humano. Acuífero libre cuenca del arroyo Mosuc Mayú, 2013.

#### 8.4- Aptitud de Uso Ganadero

Para ganadería se confeccionó la tabla de aptitudes de uso (Tabla 8.2), utilizando la clasificación de Bavera (2001).

MUESTRAS	USO PARA RIEGO				USO GANADERO		
	Clasificación Riverside				CLASIFICACIÓN FAO	(Tambo e inverne)	Precaución por As
	RAS	CE (µS/cm)	Clasific.	Aptitud			
BJ1	2,8	705	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
BJ2	6,7	955	C3-S2	B a R	APTA	Deficiente	
BJ4	19,1	1337	C3-S4	R a M	APTA	Deficiente	
BJ5	7,9	1986	C3-S2	B a R	APTA	Muy Buena	
BJ6	8,7	2070	C3-S3	B a R	APTA	Muy Buena	
BJ7	6,3	3680	C4-S2	R a M	NO APTA	Aceptable	
BJ8	9,7	2850	C4-S3	R a M	APTA	Buena	
BJ9	13,3	5280	C5-S4	I	NO APTA	Aceptable	
BJ11	9,5	2070	C3-S2	B a R	APTA	Muy Buena	
BJ12	11,5	1220	C3-S2	B a R	APTA	Deficiente	
BJ13	6,2	683	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
BJ14	4,8	796	C3-S1	B a R	APTA	Deficiente	
BJ15	7,5	2027	C3-S2	B a R	APTA	Muy Buena	
BJ16	12,0	2312	C4-S3	R a M	APTA	Buena	
BJ17	9,0	3676	C4-S3	R a M	NO APTA	Aceptable	
BJ18	9,9	4693	C4-S3	R a M	NO APTA	Aceptable	
BJ19	13,4	4647	C4-S4	R a M	NO APTA	Aceptable	
BJ20	7,9	3424	C4-S2	R a M	NO APTA	Aceptable	
BJ21	18,0	1865	C3-S4	R a M	APTA	Muy Buena	
BJ22	9,0	947	C3-S2	B a R	APTA	Deficiente	
BJ23	17,1	1055	C3-S4	R a M	NO APTA	Deficiente	
BJ24	3,8	579	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
BJ25	3,3	615	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
BJ26	6,5	924	C3-S2	B a R	APTA	Deficiente	
BJ27	34,6	1379	C3-S5	I	NO APTA	Deficiente	
BJ28	20,8	1470	C3-S4	R a M	NO APTA	Muy Buena	
BJ29	53,7	1481	C3-S5	I	NO APTA	Muy Buena	
BJ30	3,8	727	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
BJ31	3,7	709	C2-S1	B	APTA	Deficiente	
BJ32	7,9	802	C3-S2	B a R	APTA	Deficiente	
BJ33	18,9	1091	C3-S4	R a M	NO APTA	Deficiente	
BJ34	18,1	1098	C3-S4	R a M	NO APTA	Deficiente	
BJ35	9,4	940	C3-S2	B a R	APTA	Deficiente	

Tabla 8.2: Clasificación del agua del acuífero libre para consumo ganadero y riego. Cuenca del arroyo Mosuc Mayú, 2013.

Para **uso ganadero**, según la clasificación de Bavera (2001) (Tabla. 8.3), el agua del acuífero libre de la zona de estudio es en un 18% **aceptable** para consumo del ganado, un 6% **buena**, 21 % **muy buena** y 55 % **deficiente** para tal fin, por presentar una concentración de SDT menor a 1 g/L, con lo cual en estos casos, el productor se ve obligado a suplementar con minerales, su alimentación (Fig. 8.11).

Por otro lado ninguna de las muestras utilizadas para analizar el agua subterránea de la zona de estudio, presenta más de 150 mg/L de As, con lo cual no hay peligro por este elemento, que en exceso puede tornar tóxica el agua para tal fin. Lo mismo ocurre con el flúor debido a que ninguna de las muestras sobrepasa los 16 mg/L en concentración de este ión.

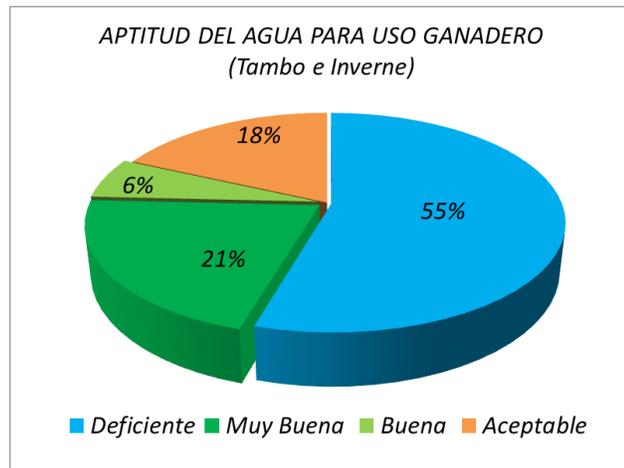


Figura 8.11: Porcentajes de muestras según su aptitud de uso Ganadero, Bavera (2001).

Tambo e inverne	SDT	ClNa	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Deficiente	<1 g/l	----	----	----	----
Muy Buena	>1 g/l	0,6 g/l	0,5 g/l	0,2 g/l	0,05 g/l
Buena	Hasta = 2 g/l	1,2 g/l	1 g /l	0,25 g/l	0,2 g/l
Aceptable	Hasta = 4 g/l	2,4 g/l	1,5 g/l	0,3 g/l	0,3 g/l
Mala Usable	Hasta = 7 g/l	4,2 g/l	2,5 g/l	0,4 g/l	0,4 g/l
----	Hasta = 11 g/l	6,6 g/l	4 g/l	0,5 g/l	0,5 g/l
----	Hasta = 13 g/l	10 g/l	7 g/l	0,6 g/l	----

Se debe tener en cuenta que los valores de Arsénico no sean superiores a los 150 mg/l y que los contenidos de Flúor no superen los 16 mg/l, ya que causan toxicidad.

Tabla 8.3: Clasificación del agua para uso ganadero, Bavera (2001).

En la figura 8.12 se observa la distribución de las muestras en la zona de trabajo, según la aptitud del agua subterránea para uso ganadero, mediante la clasificación de Bavera (2001), en el cual se observan la totalidad de las muestras deficientes hacia el sector de cuenca media y baja del arroyo, mientras que en la zona de cuenca alta se observa mayor variación.

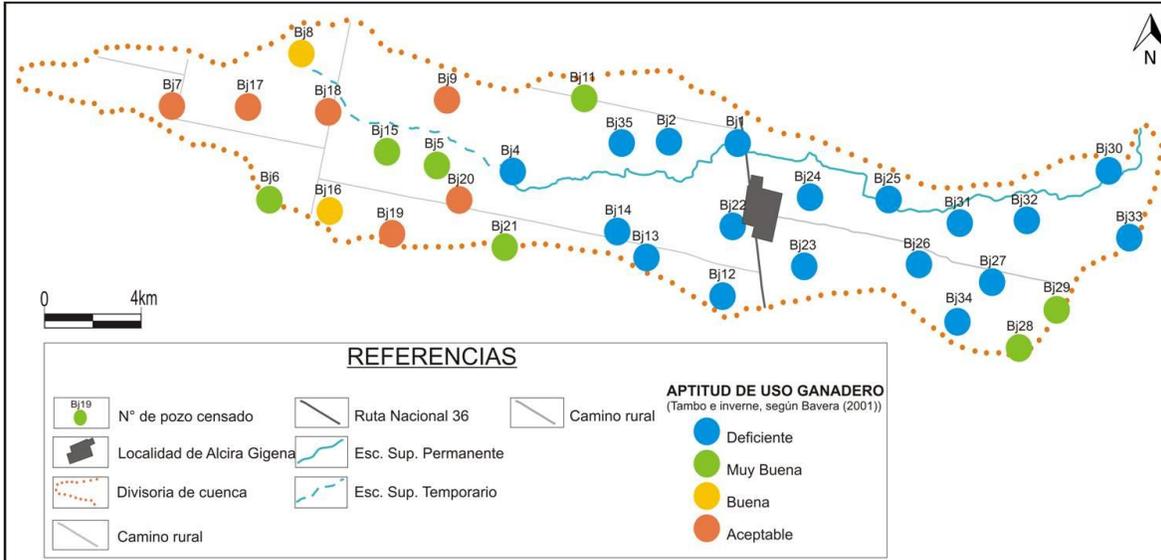


Figura 8.12: Mapa de aptitud de uso Ganadero (tambo e inverne), según la clasificación de Bavera (2001). Acuífero freático cuenca del arroyo Mosuc Mayú, 2013.

### 8.5. Aptitud de Uso para riego

Para riego se utilizaron las clasificaciones tanto de la FAO como la de Riverside (Richards, 1954) (Tabla 8.2). Cabe aclarar que es necesario contar, además de la clasificación del agua subterránea, una clasificación atinente al propio suelo y a su capacidad para ser regado, aspecto que escapa a este estudio.

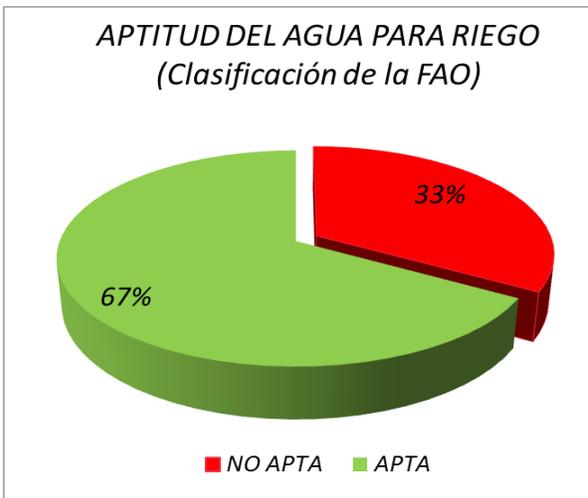
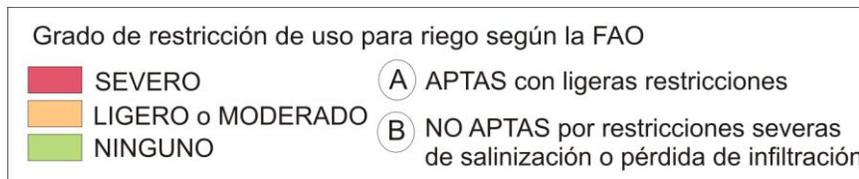
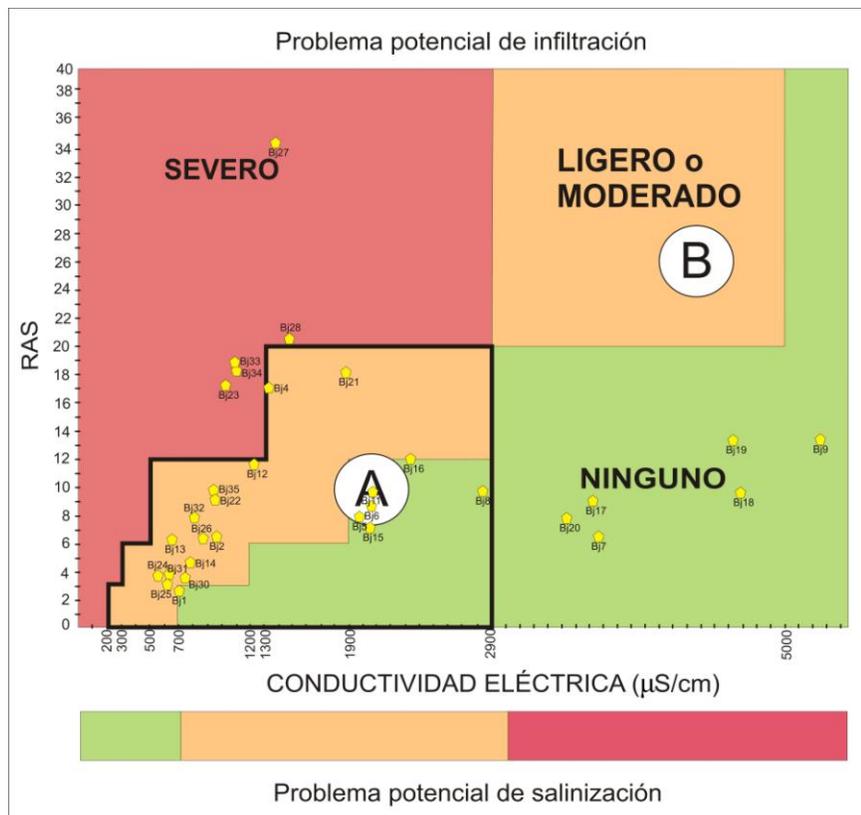


Figura 8.13: Porcentajes de muestras según su aptitud para riego, según FAO.

Según la clasificación de la **FAO** (Tabla 8.4 y Fig. 8.14), el agua del acuífero libre resultó en un 33 % **no apta** con restricciones severas de salinización y pérdida de la infiltración y en un 67 % **apta** con ligeras restricciones (Fig. 8.13).

GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO			
	NINGUNO	LIGERO o MODERADO	SEVERO
<b>Problema potencial : SALINIDAD</b>			
C.E. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	< 700	700-3000	> 3000
<b>Problema potencial : INFILTRACIÓN</b>			
RAS entre 0 y 3 y C:E =	> 700	700-200	< 200
RAS entre 3 y 6 y C:E =	> 1200	1200-300	< 300
RAS entre 6 y 12 y C:E =	> 1900	1900-500	< 500
RAS entre 12 y 20 y C:E =	> 2900	2900-1300	< 1300
RAS entre 20 y 40 y C:E =	> 5000	5000-1900	< 2900

**Tabla 8.4:** Clasificación de la aptitud para riego, según la FAO.



**Figura 8.14:** Clasificación de la aptitud para riego, según la FAO.

Si se utiliza la clasificación de Riverside (Richards, 1954) (Fig. 8.15), el agua del acuífero libre resulta en un 18 % buena para tal fin, en un 33 % de buenas a regulares, 40 % de regulares a malas y un 9 % inapropiadas, debido a que sobrepasan los 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de CE y/o presentan un RAS mayor a 30 (Fig. 8.16).

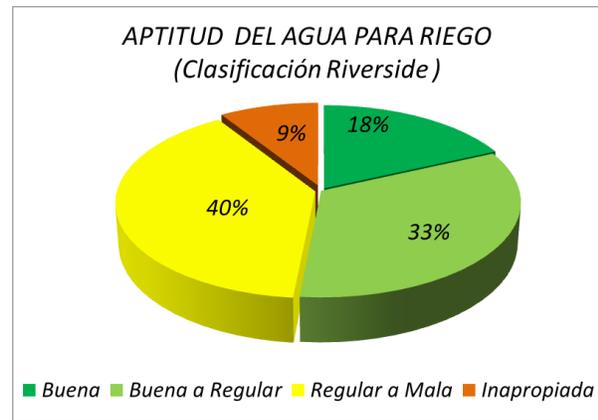


Figura 8.15: Porcentajes de muestras según su aptitud para riego, clasificación Riverside.

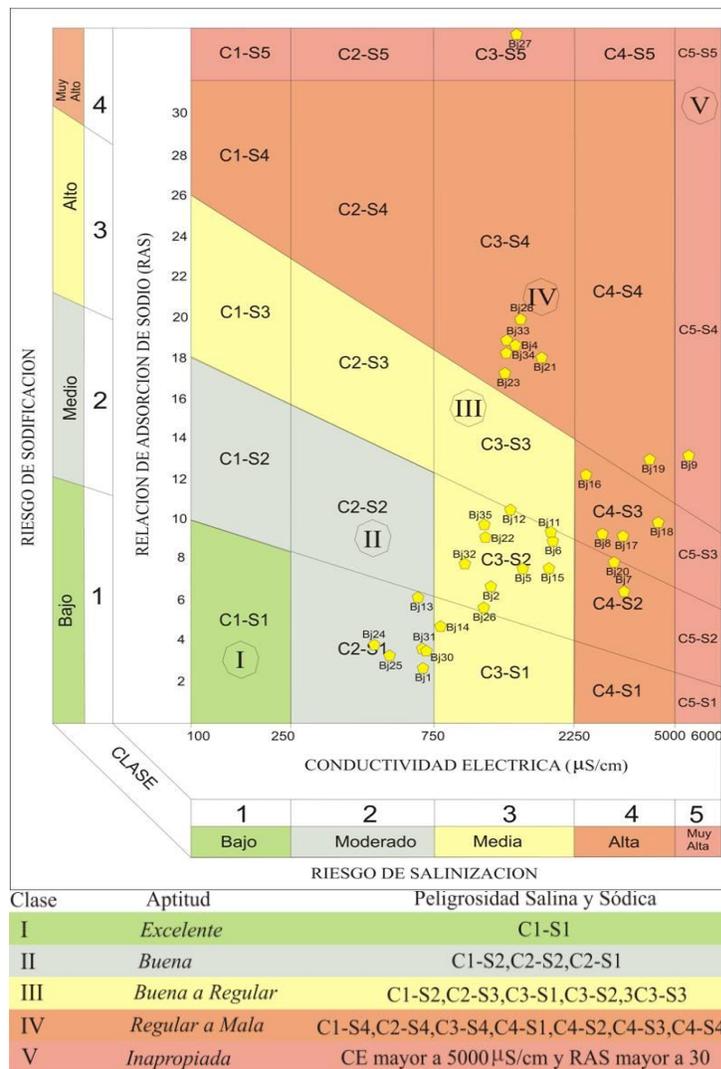
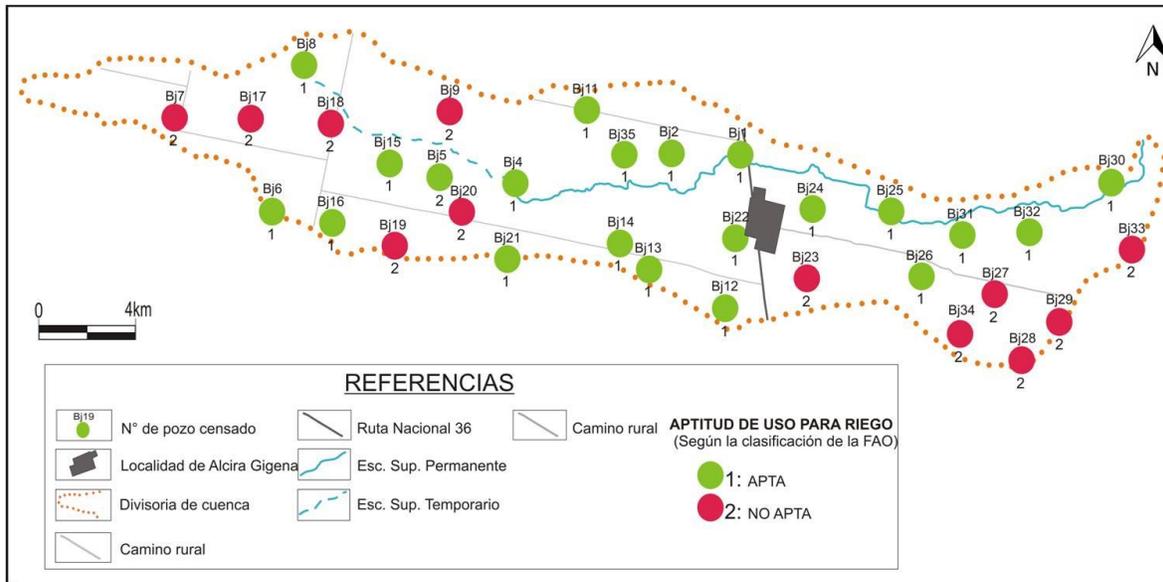


Figura 8.16: Clasificación de la aptitud para riego, Riverside (Richards, 1954).

La distribución espacial de la aptitud para riego de las muestras del acuífero libre, según la FAO, se exponen en la figura 8.17.



**Figura 8.17:** Mapa de aptitud para riego, según la clasificación de la FAO (Richards, 1954). Acuífero libre, cuenca del arroyo Mosuc Mayú, 2013.

---

# Capítulo 9

---

Conclusiones

---

## **9.1- Conclusiones**

La Cuenca del arroyo Mosuc Mayú se ubica en el sector Sur del Valle de La Cruz, al Este de las Sierras de Comechingones. Aunque las rocas del basamento cristalino compuesto por rocas ígneas y metamórficas, no afloran en la zona de estudio, constituyen la base de la secuencia estratigráfica y fueron detectadas en profundidad en algunas perforaciones. Por encima se depositaron sedimentos del Neógeno-Cuaternario compuestos por materiales de origen fluvial (areno-gravosos), otros resultantes de flujos densos (arenosos muy finos con gravillas dispersas), intercalados con sedimentos eólicos (arenosos muy finos-limosos) y, en muy baja proporción y en forma localizada, sedimentos psamo-pelíticos de tipo palustre.

El control estructural de la región, juega un rol importante en el ascenso, descenso y basculamiento de numerosos bloques descriptos para la cuenca, delimitados por familias de estructuras de rumbo principalmente N-S (Fallas Santa Catalina, Santa Rita y Río de los Sauces).y E-O (Fallas Mosuc Mayú Norte y Mosuc Mayú Sur).

Así, y teniendo en cuenta las formaciones geológicas descriptas, los procesos geológicos asociados con su origen, y el control estructural explicado, se interpreta que las características actuales de esta región son el resultado de la interacción de procesos tectónicos y neotectónicos, en conjunto con las variaciones climáticas Cuaternarias, responsables de las etapas de sedimentación y modelado que dieron lugar a la actual fisonomía del relieve. De este modo, se definieron para la zona cuatro grandes unidades geomorfológicas, “Bajada elevada y disectada fuertemente ondulada”, “Planicie eólica con paleocauces”, “Planicie eólica con rasgos de derrames subparalelos” y “Sistema fluvial”, cada una influyendo de manera distintiva la dinámica y calidad de agua. Sin embargo, se destaca que la Bajada pedemontana, elevada por neotectonismo y actualmente disectada por procesos fluviales, compuesta por sedimentos aluviales y coluviales predominantemente psamopelíticos con gravillas dispersas, ejerce un rol importante en la cuenca y zonas adyacentes. Es un claro límite que separa la cuenca en estudio con las 2 cuencas más importantes de la región, la del río Cuarto por el Sur y la del arroyo Tegua por el Norte, y además controla características hidráulicas y químicas del acuífero que definen aspectos singulares en la hidrogeología de esta cuenca en relación a lo observado por otros autores en cuencas vecinas.

El clima es subhúmedo seco con pequeño a nulo exceso de agua, con una precipitación media anual de 784 mm. Se observó una alternancia de ciclos secos y húmedos alternantes de 2-3 años de longitud cada uno aunque se destaca un periodo

más seco entre los años 1986-1996. La distribución de las precipitaciones exhibe además una estacionalidad muy marcada, con una concentración de lluvias (83 % para serie Morero y 81 % para serie Audisio) en los meses de Noviembre a Marzo. Se evidencia la existencia de excesos hídricos, los cuales se alojan preferiblemente en primavera-verano, mientras que los déficit predominan en otoño-invierno. Los excesos hídricos se alojan temporalmente en consonancia con los ciclos de las lluvias y se reparten entre los escurrimientos superficiales y aquellos que alimentan el acuífero. Los períodos con más excesos coinciden con procesos de crecientes y formación de cárcavas. Además, algunos antepozos de molinos con agua evidencian el ascenso de nivel freático en los últimos años dada la recarga del mismo a partir de los excesos.

La red de drenaje de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú posee diseño de tipo dendrítico con control estructural, fundamentalmente compuesta por bajos topográficos en los que circulan escurrimientos superficiales efímeros después de las tormentas. La red se resuelve en un curso colector, de régimen permanente dado el aporte freático que recibe desde cuenca media. En cuenca alta, los anchos y profundos valles por los que circula el agua están siendo afectados por procesos de erosión hídrica que generaron cárcavas de importantes dimensiones con actuales procesos de profundización y captura. La Laguna Rivero, ubicada en tramo medio de la cuenca, de carácter permanente, recibe aportes del sector O y NO y en la actualidad está siendo drenada.

El acuífero estudiado es el libre, alojado en el medio poroso sedimentario, posee espesores muy variables entre 20 a 100 m y se apoya en gran parte sobre basamento, el cual se encuentra controlado estructuralmente conformando bloques descendentes hacia el Este, mientras que en algunos sectores su base está constituida por materiales acuitardos a acuicludos (limosos, limo-arenosos muy finos, cementados). El acuífero está conformado por sedimentos de variadas granulometrías, asociadas a las unidades geomorfológicas, que van desde arenas muy finas-limosas en ambiente eólico, con gravillas dispersas en la bajada pedemontana, hasta arenas gruesas y gravas en sitios de paleocauces. Las conductividades hidráulicas estimadas están en el orden de 0,2 m/d en sedimentos finos y 30 m/d para los más gruesos asociados a paleocauces. La zona no saturada varía de 0 a 150 m, encontrándose los mayores espesores en la bajada pedemontana, la cual se compone principalmente por materiales arenosos muy finos-limosos, en algunos casos con cementación carbonática y toscas. En menor proporción se encuentran materiales arenosos medios y gruesos.

La morfología que presenta la superficie freática es suavemente ondulada, observándose variaciones en el comportamiento de los gradientes hidráulicos. El tramo superior de la cuenca presenta valores de gradientes del orden de 0,4 %, en el tramo medio de 1,0 % y en el tramo inferior de 0,6 %. Como indican los valores se observa una peculiaridad ya que se midieron valores más bajos en cuenca alta, aspecto que podría deberse a aumentos de transmisividad del acuífero por aumento de conductividad hidráulica, dados los paleocauces detectados en profundidad, aunque el espesor acuífero es menor que en cuenca media y baja. En éstas los aumentos de gradiente están más vinculados a la abundancia de sedimentos finos en la propia zona saturada.

La composición química natural del agua subterránea de la cuenca resultó en un singular patrón condicionado por aspectos morfolitológicos e hidráulicos: variabilidad de los espesores de la zona no saturada, relieve, litologías, de las conductividades hidráulicas, de los gradientes hidráulicos y de la recarga por precipitaciones. Así, la conductividad eléctrica, con un mínimo de 579  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y un máximo de 5280  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (aguas dulces a salobres), se distribuye marcando 2 ambientes principales, el de aguas saladas al Oeste en la Bajada elevada y disectada perimontana, y el de aguas dulces en cuenca media e inferior. Lo mismo ocurre con el patrón geoquímico del agua subterránea, ya que en el primer ambiente se identificaron las aguas sulfatadas sódicas y en el segundo las bicarbonatadas sódicas. Este patrón puede atribuirse a que en la cuenca alta (Bajada), si bien el agua ha sufrido un corto trayecto de circulación desde la sierra, la recarga a partir de lluvias en su paso por zona no saturada de tan alto espesor (40 a 150 m), implica altos tiempos de contacto agua-sedimento y posibilidad de transferencia de iones a la solución hasta llegar al acuífero. Además, la profundidad a la que yace el acuífero puede implicar pérdida de presión de  $\text{CO}_2$  y precipitación de carbonatos y aumento de sulfatos en solución. Esta situación se ve favorecida por los más bajos gradientes hidráulicos del sector y velocidades del agua en general bajas. En cuenca baja y media (Planicie fluvio-eólica con paleocauces y planicie eólica con rasgos de derrames subparalelos) la calidad de agua se explica por la posibilidad de llegada más rápida de la recarga de agua de lluvias dados los menores espesores de zona no saturada (0 a 40) lo que se resuelve en flujos de circulación local con escasa distancia recorrida y consecuentemente más baja salinidad.

Los aspectos morfolitológicos e hidráulicos inciden fuertemente en relación a los tenores de As y F y a su distribución espacial. Asumiendo la distribución estadística lognormal para ambas variables, el valor característico de fondo natural (media geométrica) de As en la cuenca resultó ser 24,7  $\mu\text{g/L}$  y el de  $\text{F}^-$  0,99 mg/L, con un intervalo de 0 a 7,5  $\mu\text{g/L}$  para As y de 0 a 12 mg/L para  $\text{F}^-$ . Los espesores importantes de sedimentos eólicos (loess) con alto porcentaje de vidrio volcánico en la zona permiten inferir que estos materiales y las condiciones hidrogeológicas que en ellos ocurren, son los responsables de la presencia de estos elementos ya que las mayores concentraciones de ambos, que además presentaron alta correlación estadística, se encontraron en la planicie eólica en ámbito de aguas bicarbonatadas sódicas de alto pH.

El estudio estadístico multivariado (cluster y componentes principales) de los iones disueltos en el agua, permitió verificar el modelo conceptual obteniéndose tres grupos principales. El primer grupo corresponde a iones mayoritarios en conjunto con la conductividad eléctrica, que explica la salinidad del agua (aspecto más regional). El segundo explica un aspecto más específico, como la asociación de pH altos, aguas bicarbonatadas y altos tenores de As y F, mientras que el tercer grupo explica un aspecto puntual como la contaminación por nitratos (variable aislada) debido a actividades antrópicas.

En relación a  $\text{NO}_3^-$  se midieron concentraciones muy bajas, entre 0 a 55 mg/L, cercanos al valor característico de fondo natural calculado para la cuenca con metodología estadística, para el que se obtuvo un valor de 4,3 mg/L. La presencia de  $\text{NO}_3^-$  está muy vinculada a su movilidad en el medio oxidante que predomina en la zona no saturada y en la parte superior del acuífero. Si bien se identificaron actividades humanas que pueden incorporar  $\text{NO}_3^-$ , no están llegando concentraciones altas al acuífero dada la protección que ejerce la zona no saturada que es importante en toda la cuenca, especialmente en tramo medio y superior, además de las propia función de dilución del compuesto en el acuífero por dispersión hidrodinámica en una cuenca muy próxima a la recarga regional con gradientes intermedios a altos. El relevamiento de campo y análisis de la información indica que la mayor incorporación de  $\text{NO}_3^-$  al acuífero está vinculada con focos de contaminación difusa (fertilizantes), lo cual influye también en que haya bajo impacto al acuífero.

Respecto al agua subterránea el principal problema ambiental es la aptitud de uso ya que los pobladores rurales se abastecen de agua que procede del acuífero libre. Este acuífero presenta aguas no aptas para consumo humano en un 94 % debido a tenores elevados As (74 %), F (33 %), sulfatos (39 %), cloruros (3 %), nitratos (3 %) y SDT (24 %). Para consumo ganadero, el agua del acuífero freático resultó en un 21 % muy buena para bovinos de tambo e invernadero, 6 % buena, 18 % aceptable y 55 % deficientes. Para riego resultó, según FAO, en un 67 % apta con ligeras restricciones y en un 33 % no apta con restricciones severas de salinización y pérdida de la infiltración y según Riverside, en un 18 % buenas, 33 % buenas a regulares, 40 % regulares a malas y en un 9 % inapropiadas para este fin.

## **9.2- Recomendaciones**

Se recomienda efectuar estudios detallados del comportamiento del subsuelo, presencia y profundidad del basamento y sedimentos, mediante SEV y perforaciones.

Realizar la modelación numérica, tanto del flujo como de la evolución geoquímica del agua, con el fin de contribuir al mejoramiento del modelo conceptual.

Realizar estudios isotópicos complementarios ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ) que contribuyan a definir las relaciones hidráulicas existentes, tiempos de tránsito y recarga que permitan robustecer el modelo hidrodinámico y geoquímico de la cuenca.

Realizar ensayos de bombeo para determinar de forma más precisa los parámetros que caracterizan el acuífero de la cuenca.

Dado que el fondo natural refleja una situación temporal, se recomienda realizar monitoreos para verificar las modificaciones que ocurren en el tiempo, vinculadas a incrementos o a disminución de las concentraciones de iones debidos a procesos naturales y/o contaminación.

Se debe procurar que las fuentes puntuales de contaminación se ubiquen aguas abajo de las captaciones. En el caso de las fuentes difusas, siempre se debe tratar de disminuir la cantidad y tiempo de vertido de las mismas, especialmente con respecto a la cantidad de agroquímicos utilizados en el sistema agrícola actual.

Se recomienda realizar actividades de mitigación de los procesos erosivos mediante prácticas conservacionistas de suelos y agua, como la realización de cultivos en curvas de nivel, rotación de cultivos y reforestación.

---

# Anexos

---

## ANEXO 1

### Datos Hidrometeorológicos

Balance Hídrico Seriado para la Estación Morero.

Periodo: 1988-2012

Agua útil en la capa superior: 25.0 mm

Y en la capa inferior: 125 mm

Diccionario de variables:

**P:** Precipitaciones

**ETP:** Evapotranspiración potencial

**ALMAC:** Almacenaje

**RP:** Recarga potencial

**R:** Recarga

**APE:** Agua potencialmente extraíble

**AE:** Agua extraída

**ETR:** Evapotranspiración Real

**ESC:** Escurrimiento

	MES	P	ETP	ALMA	C. RP	R	APE	AE	ETR	ESC
1989	1	105	120	8,8	140,3	0	7,8	1	106	0
	2	42	81	6,5	141,2	0	4,7	2,3	44,3	0
	3	192	89	109,5	143,5	103	3,8	0	89	0
	4	20	57	77,7	40,5	0	43	31,8	51,8	0
	5	58	45	90,7	72,3	13	23,3	0	45	0
	6	0	23	72,5	59,3	0	18,2	18,2	18,2	0
	7	0	25	60,4	77,5	0	12,1	12,1	12,1	0
	8	0	32	47,6	89,6	0	12,9	12,9	12,9	0
	9	20	45	39,6	102,4	0	14,3	7,9	27,9	0
	10	40	73	30,9	110,4	0	19,3	8,7	48,7	0
	11	40	90	20,6	119,1	0	18,5	10,3	50,3	0
	12	26	114	8,5	129,4	0	15,7	12,1	38,1	0
1990	1	140	120	28,5	141,5	20	6,8	0	120	0
	2	92	81	39,5	121,5	11	23,5	0	81	0
	3	101	89	51,5	110,5	12	31,2	0	89	0
	4	30	57	26,2	98,5	0	30,7	25,4	55,4	0
	5	27	45	23	123,8	0	7,8	3,1	30,1	0
	6	0	23	19,5	127	0	3,5	3,5	3,5	0
	7	0	25	16,2	130,5	0	3,2	3,2	3,2	0
	8	6	32	13,4	133,8	0	3,5	2,8	8,8	0
	9	15	45	10,7	136,6	0	4	2,7	17,7	0
	10	88	73	25,7	139,3	15	5,2	0	73	0
	11	121	90	56,7	124,3	31	20,4	0	90	0
	12	80	114	29,8	93,3	0	43,8	26,9	106,9	0



*Tesis de Licenciatura: "caracterización hidroquímica del acuífero libre de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú, Córdoba. Aportes al conocimiento y cálculo del fondo natural de la calidad de agua". Joel A. Savini*

1991	1	193	120	102,8	120,2	73	23,9	0	120	0
	2	161	81	150	47,2	47,2	54,1	0	81	32,8
	3	93	89	150	0	0	78,3	0	89	4
	4	65	57	150	0	0	51,7	0	57	8
	5	55	45	150	0	0	41,7	0	45	10
	6	23	23	150	0	0	23	0	23	0
	7	15	25	140	0	0	25	10	25	0
	8	31	32	139	10	0	29,2	1	32	0
	9	20	45	115,8	11	0	39,8	23,2	43,2	0
	10	95	73	137,8	34,2	22	56,4	0	73	0
	11	81	90	128,8	12,2	0	74,5	9	90	0
	12	182	114	150	21,2	21,2	91	0	114	46,8
1992	1	84	120	115,8	0	0	104,2	34,2	118,2	0
	2	133	81	150	34,2	34,2	62,6	0	81	17,8
	3	238	89	150	0	0	78,3	0	89	149
	4	64	57	150	0	0	51,7	0	57	7
	5	8	45	115	0	0	41,7	35	43	0
	6	0	23	97,4	35	0	17,6	17,6	17,6	0
	7	0	25	81,1	52,6	0	16,2	16,2	16,2	0
	8	0	32	63,8	68,9	0	17,3	17,3	17,3	0
	9	58	45	76,8	86,2	13	19,1	0	45	0
	10	0	73	38,3	73,2	0	38,5	38,5	38,5	0
	11	145	90	93,3	111,7	55	23	0	90	0
	12	212	114	150	56,7	56,7	65,5	0	114	41,3
1993	1	163	120	150	0	0	104,2	0	120	43
	2	80	81	149	0	0	71,7	1	81	0
	3	68	89	128	1	0	78,2	21	89	0
	4	15	57	92,5	22	0	48	35,5	50,5	0
	5	0	45	64,7	57,5	0	27,7	27,8	27,8	0
	6	0	23	54,8	85,3	0	9,9	9,9	9,9	0
	7	0	25	45,7	95,2	0	9,1	9,1	9,1	0
	8	20	32	42	104,3	0	9,7	3,7	23,7	0
	9	0	45	29,4	108	0	12,6	12,6	12,6	0
	10	60	73	26,9	120,6	0	14,3	2,5	62,5	0
	11	208	90	144,9	123,1	118	16,1	0	90	0
	12	100	114	130,9	5,1	0	96,1	14	114	0
1994	1	98	120	111,1	19,1	0	98,1	19,8	117,8	0
	2	18	81	64,4	38,9	0	60	46,7	64,7	0
	3	80	89	60,6	85,6	0	38,2	3,9	83,9	0
	4	42	57	54,5	89,4	0	23	6,1	48,1	0
	5	52	45	61,5	95,5	7	16,4	0	45	0
	6	0	23	48,7	88,5	0	12,8	12,8	12,8	0
	7	20	25	47,1	101,3	0	8,1	1,6	21,6	0
	8	50	32	65,1	102,9	18	10	0	32	0
	9	18	45	44,2	84,9	0	26,5	20,8	38,8	0
	10	97	73	68,2	105,8	24	21,5	0	73	0
	11	93	90	71,2	81,8	3	43,5	0	90	0
	12	30	114	28,1	78,8	0	52,4	43,2	73,2	0
1995	1	268	120	150	121,9	121,9	22,4	0	120	26,1
	2	126	81	150	0	0	71,7	0	81	45
	3	59	89	120,8	0	0	78,3	29,2	88,2	0
	4	5	57	78,9	29,2	0	45,9	41,9	46,9	0
	5	31	45	71,6	71,1	0	23,7	7,4	38,4	0
	6	0	23	60,6	78,4	0	11	11	11	0
	7	0	25	50,5	89,4	0	10,1	10,1	10,1	0
	8	0	32	39,7	99,5	0	10,8	10,8	10,8	0
	9	12	45	31	110,3	0	11,9	8,7	20,7	0
	10	39	73	24	119	0	15,1	7	46	0
	11	229	90	150	126	126	14,4	0	90	13
	12	60	114	100,8	0	0	99,2	49,2	109,2	0



*Tesis de Licenciatura: "caracterización hidroquímica del acuífero libre de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú, Córdoba. Aportes al conocimiento y cálculo del fondo natural de la calidad de agua". Joel A. Savini*

1996	1	153	120	133,8	49,2	33	80,7	0	120	0
	2	195	81	150	16,2	16,2	65,6	0	81	97,8
	3	47	89	110,8	0	0	78,3	39,2	86,2	0
	4	74	57	127,8	39,2	17	42,1	0	57	0
	5	0	45	90,1	22,2	0	37,7	37,7	37,7	0
	6	0	23	76,3	59,9	0	13,8	13,8	13,8	0
	7	0	25	63,6	73,7	0	12,7	12,7	12,7	0
	8	0	32	50	86,4	0	13,6	13,6	13,6	0
	9	35	45	46,7	100	0	15	3,3	38,3	0
	10	26	73	32,1	103,3	0	22,7	14,6	40,6	0
	11	79	90	29,7	117,9	0	19,2	2,4	81,4	0
	12	221	114	136,7	120,3	107	22,6	0	114	0
1997	1	85	120	104,3	13,3	0	95,8	32,4	117,4	0
	2	123	81	146,3	45,7	42	56,3	0	81	0
	3	155	89	150	3,7	3,7	76,7	0	89	62,3
	4	32	57	125	0	0	51,7	25	57	0
	5	19	45	103,3	25	0	37,5	21,7	40,7	0
	6	29	23	109,3	46,7	6	15,8	0	23	0
	7	6	25	94,4	40,7	0	19,1	15	21	0
	8	18	32	85,6	55,6	0	20,1	8,8	26,8	0
	9	48	45	88,6	64,4	3	25,7	0	45	0
	10	113	73	128,6	61,4	40	42,9	0	73	0
	11	138	90	150	21,4	21,4	69,9	0	90	26,6
	12	192	114	150	0	0	99,2	0	114	78
1998	1	183	120	150	0	0	104,2	0	120	63
	2	128	81	150	0	0	71,7	0	81	47
	3	48	89	111,7	0	0	78,3	38,3	86,3	0
	4	94	57	148,7	38,3	37	42,4	0	57	0
	5	78	45	150	1,3	1,3	41,5	0	45	31,7
	6	28	23	150	0	0	23	0	23	5
	7	0	25	125	0	0	25	25	25	0
	8	0	32	98,3	25	0	26,7	26,7	26,7	0
	9	31	45	89,2	51,7	0	29,5	9,2	40,2	0
	10	40	73	69,5	60,8	0	43,4	19,6	59,6	0
	11	164	90	143,5	80,5	74	41,7	0	90	0
	12	182	114	150	6,5	6,5	95,3	0	114	61,5
1999	1	83	120	115	0	0	104,2	35	118	0
	2	29	81	75,1	35	0	62,1	39,9	68,9	0
	3	288	89	150	74,9	74,9	44,6	0	89	124,1
	4	140	57	150	0	0	51,7	0	57	83
	5	0	45	108,3	0	0	41,7	41,7	41,7	0
	6	10	23	98,9	41,7	0	16,6	9,4	19,4	0
	7	0	25	82,5	51,1	0	16,5	16,5	16,5	0
	8	29	32	80,8	67,5	0	17,6	1,6	30,6	0
	9	18	45	66,3	69,2	0	24,2	14,5	32,5	0
	10	65	73	62,7	83,7	0	32,2	3,5	68,5	0
	11	134	90	106,7	87,3	44	37,6	0	90	0
	12	246	114	150	43,3	43,3	73,5	0	114	88,7
2000	1	253	120	150	0	0	104,2	0	120	133
	2	122	81	150	0	0	71,7	0	81	41
	3	121	89	150	0	0	78,3	0	89	32
	4	163	57	150	0	0	51,7	0	57	106
	5	71	45	150	0	0	41,7	0	45	26
	6	20	23	147	0	0	23	3	23	0
	7	36	25	150	3	3	24,5	0	25	8
	8	0	32	119,2	0	0	30,8	30,8	30,8	0
	9	8	45	89,8	30,8	0	35,8	29,4	37,4	0
	10	114	73	130,8	60,2	41	43,7	0	73	0
	11	147	90	150	19,2	19,2	70,8	0	90	37,8
	12	137	114	150	0	0	99,2	0	114	23



*Tesis de Licenciatura: "caracterización hidroquímica del acuífero libre de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú, Córdoba. Aportes al conocimiento y cálculo del fondo natural de la calidad de agua". Joel A. Savini*

2001	1	115	120	145	0	0	104,2	5	120	0
	2	11	81	83,3	5	0	70,8	61,7	72,7	0
	3	160	89	150	66,7	66,7	49,4	0	89	4,3
	4	144	57	150	0	0	51,7	0	57	87
	5	7	45	114,2	0	0	41,7	35,8	42,8	0
	6	8	23	102,8	35,8	0	17,5	11,4	19,4	0
	7	0	25	85,6	47,2	0	17,1	17,1	17,1	0
	8	19	32	78,2	64,4	0	18,3	7,4	26,4	0
	9	125	45	150	71,8	71,8	23,5	0	45	8,2
	10	74	73	150	0	0	65	0	73	1
	11	61	90	121,7	0	0	79,2	28,3	89,3	0
	12	64	114	81,1	28,3	0	92,5	40,6	104,6	0
2002	1	162	120	123,1	68,9	42	64,9	0	120	0
	2	123	81	150	26,9	26,9	61,6	0	81	15,1
	3	107	89	150	0	0	78,3	0	89	18
	4	130	57	150	0	0	51,7	0	57	73
	5	0	45	108,3	0	0	41,7	41,7	41,7	0
	6	0	23	91,7	41,7	0	16,6	16,6	16,6	0
	7	11	25	83,2	58,3	0	15,3	8,6	19,6	0
	8	50	32	101,2	66,8	18	17,7	0	32	0
	9	0	45	68,2	48,8	0	33	33	33	0
	10	50	73	57,7	81,8	0	33,2	10,5	60,5	0
	11	96	90	63,7	92,3	6	34,6	0	90	0
	12	141	114	90,7	86,3	27	47,6	0	114	0
2003	1	124	120	94,7	59,3	4	66,6	0	120	0
	2	129	81	142,7	55,3	48	51	0	81	0
	3	88	89	141,7	7,3	0	75,2	1	89	0
	4	124	57	150	8,3	8,3	49,9	0	57	58,7
	5	0	45	108,3	0	0	41,7	41,7	41,7	0
	6	0	23	91,7	41,7	0	16,6	16,6	16,6	0
	7	45	25	111,7	58,3	20	15,3	0	25	0
	8	0	32	84,4	38,3	0	27,3	27,3	27,3	0
	9	0	45	59,1	65,6	0	25,3	25,3	25,3	0
	10	0	73	30,3	90,9	0	28,7	28,7	28,7	0
	11	15	90	15,2	119,7	0	18,2	15,2	30,2	0
	12	192	114	93,2	134,8	78	11,5	0	114	0
2004	1	193	120	150	56,8	56,8	68,2	0	120	16,2
	2	98	81	150	0	0	71,7	0	81	17
	3	142	89	150	0	0	78,3	0	89	53
	4	28	57	121,7	0	0	51,7	28,3	56,3	0
	5	194	45	150	28,3	28,3	36,5	0	45	120,7
	6	0	23	127	0	0	23	23	23	0
	7	33	25	135	23	8	21,2	0	25	0
	8	8	32	113,3	15	0	28,3	21,7	29,7	0
	9	0	45	79,3	36,7	0	34	34	34	0
	10	93	73	99,3	70,7	20	38,6	0	73	0
	11	162	90	150	50,7	50,7	57	0	90	21,3
	12	259	114	150	0	0	99,2	0	114	145
2005	1	155	120	150	0	0	104,2	0	120	35
	2	111	81	150	0	0	71,7	0	81	30
	3	73	89	134	0	0	78,3	16	89	0
	4	30	57	110	16	0	49	24	54	0
	5	12	45	85,8	40	0	33	24,2	36,2	0
	6	0	23	72,6	64,2	0	13,2	13,2	13,2	0
	7	8	25	64,4	77,4	0	12,1	8,2	16,2	0
	8	0	32	50,7	85,6	0	13,7	13,7	13,7	0
	9	5	45	37,2	99,3	0	15,2	13,5	18,5	0
	10	62	73	34,4	112,8	0	18,1	2,7	64,7	0
	11	130	90	74,4	115,6	40	20,7	0	90	0
	12	107	114	67,4	75,6	0	54,3	7	114	0



*Tesis de Licenciatura: "caracterización hidroquímica del acuífero libre de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú, Córdoba. Aportes al conocimiento y cálculo del fondo natural de la calidad de agua". Joel A. Savini*

2006	1	135	120	82,4	82,6	15	51,6	0	120	0
	2	237	81	150	67,6	67,6	46,4	0	81	88,4
	3	145	89	150	0	0	78,3	0	89	56
	4	77	57	150	0	0	51,7	0	57	20
	5	0	45	108,3	0	0	41,7	41,7	41,7	0
	6	0	23	91,7	41,7	0	16,6	16,6	16,6	0
	7	0	25	76,4	58,3	0	15,3	15,3	15,3	0
	8	0	32	60,1	73,6	0	16,3	16,3	16,3	0
	9	13	45	47,3	89,9	0	18	12,8	25,8	0
	10	45	73	38,5	102,7	0	23	8,8	53,8	0
	11	131	90	79,5	111,5	41	23,1	0	90	0
	12	158	114	123,5	70,5	44	57,3	0	114	0
2007	1	278	120	150	26,5	26,5	87,4	0	120	131,5
	2	124	81	150	0	0	71,7	0	81	43
	3	164	89	150	0	0	78,3	0	89	75
	4	52	57	145	0	0	51,7	5	57	0
	5	14	45	115,8	5	0	40,8	29,2	43,2	0
	6	12	23	107,3	34,2	0	17,8	8,5	20,5	0
	7	15	25	100,2	42,7	0	17,9	7,2	22,2	0
	8	0	32	78,8	49,8	0	21,4	21,4	21,4	0
	9	54	45	87,8	71,2	9	23,6	0	45	0
	10	88	73	102,8	62,2	15	42,6	0	73	0
	11	32	90	60,9	47,2	0	58,7	41,9	73,9	0
	12	126	114	72,9	89,1	12	46,3	0	114	0
2008	1	346	120	150	77,1	77,1	55,9	0	120	148,9
	2	117	81	150	0	0	71,7	0	81	36
	3	153	89	150	0	0	78,3	0	89	64
	4	40	57	133	0	0	51,7	17	57	0
	5	0	45	94,2	17	0	38,8	38,8	38,8	0
	6	11	23	86,6	55,8	0	14,4	7,5	18,5	0
	7	0	25	72,2	63,4	0	14,4	14,4	14,4	0
	8	0	32	56,8	77,8	0	15,4	15,4	15,4	0
	9	20	45	47,3	93,2	0	17	9,5	29,5	0
	10	28	73	33,1	102,7	0	23	14,2	42,2	0
	11	166	90	109,1	116,9	76	19,9	0	90	0
	12	197	114	150	40,9	40,9	74,9	0	114	42,1
2009	1	142	120	150	0	0	104,2	0	120	22
	2	120	81	150	0	0	71,7	0	81	39
	3	97	89	150	0	0	78,3	0	89	8
	4	0	57	98,3	0	0	51,7	51,7	51,7	0
	5	17	45	80	51,7	0	29,5	18,4	35,4	0
	6	0	23	67,7	70	0	12,3	12,3	12,3	0
	7	6	25	59,1	82,3	0	11,3	8,6	14,6	0
	8	0	32	46,5	90,9	0	12,6	12,6	12,6	0
	9	41	45	45,3	103,5	0	14	1,2	42,2	0
	10	20	73	29,3	104,7	0	22	16	36	0
	11	202	90	141,3	120,7	112	17,6	0	90	0
	12	136	114	150	8,7	8,7	94	0	114	13,3
2010	1	60	120	95,8	0	0	104,2	54,2	114,2	0
	2	115	81	129,8	54,2	34	51,8	0	81	0
	3	163	89	150	20,2	20,2	69,7	0	89	53,8
	4	80	57	150	0	0	51,7	0	57	23
	5	17	45	122,5	0	0	41,7	27,5	44,5	0
	6	0	23	103,7	27,5	0	18,8	18,8	18,8	0
	7	0	25	86,4	46,3	0	17,3	17,3	17,3	0
	8	0	32	68	63,6	0	18,4	18,4	18,4	0
	9	100	45	123	82	55	20,4	0	45	0
	10	69	73	119	27	0	56,4	4	73	0
	11	128	90	150	31	31	66,1	0	90	7
	12	80	114	117,5	0	0	99,2	32,5	112,5	0



2011	1	140	120	137,5	32,5	20	94	0	120	0
	2	174	81	150	12,5	12,5	67,8	0	81	80,5
	3	51	89	114,2	0	0	78,3	35,8	86,8	0
	4	52	57	110,4	35,8	0	43,4	3,8	55,8	0
	5	0	45	77,3	39,6	0	33,1	33,1	33,1	0
	6	0	23	65,4	72,7	0	11,8	11,8	11,8	0
	7	0	25	54,5	84,6	0	10,9	10,9	10,9	0
	8	11	32	46,9	95,5	0	11,6	7,6	18,6	0
	9	14	45	37,2	103,1	0	14,1	9,7	23,7	0
	10	110	73	74,2	112,8	37	18,1	0	73	0
	11	75	90	59,2	75,8	0	46,3	15	90	0
	12	66	114	36,7	90,8	0	44,1	22,5	88,5	0
2012	1	28	120	14,2	113,3	0	29,4	22,5	50,5	0
	2	230	81	150	135,8	135,8	7,7	0	81	13,2
	3	60	89	121,7	0	0	78,3	28,3	88,3	0
	4	53	57	118,4	28,3	0	46,2	3,2	56,2	0
	5	22	45	100,3	31,6	0	35,5	18,2	40,2	0
	6	0	23	84,9	49,7	0	15,4	15,4	15,4	0
	7	0	25	70,7	65,1	0	14,1	14,1	14,1	0
	8	11	32	60,8	79,3	0	15,1	9,9	20,9	0
	9	108	45	123,8	89,2	63	18,3	0	45	0
	10	212	73	150	26,2	26,2	56,6	0	73	112,8
	11	130	90	150	0	0	79,2	0	90	40
	12	50	114	92,5	0	0	99,2	57,5	107,5	0



## Datos Hidrometeorológicos

*Balance Hídrico Seriado para la Estación Audisio.*

Periodo: 1972-2012

Agua útil en la capa superior: 25.0 mm

Y en la capa inferior: 125 mm

*Diccionario de variables:*

**P:** Precipitaciones

**ETP:** Evapotranspiración potencial

**ALMAC:** Almacenaje

**RP:** Recarga potencial

**R:** Recarga

**APE:** Agua potencialmente extraíble

**AE:** Agua extraída

**ETR:** Evapotranspiración Real

**ESC:** Escurrimiento

1973	1	70	120	104,2	0	0	104,2	45,8	115,8	0
	2	127	81	150	45,8	45,8	56,3	0	81	0,2
	3	265	89	150	0	0	78,3	0	89	176
	4	44	57	137	0	0	51,7	13	57	0
	5	17	45	111,7	13	0	39,5	25,3	42,3	0
	6	22	23	110,9	38,3	0	17,1	0,7	22,7	0
	7	7	25	97,6	39,1	0	18,5	13,3	20,3	0
	8	0	32	76,8	52,4	0	20,8	20,8	20,8	0
	9	12	45	59,9	73,2	0	23	16,9	28,9	0
	10	72	73	59,5	90,1	0	29,1	0,4	72,4	0
	11	69	90	51,2	90,5	0	35,7	8,3	77,3	0
	12	76	114	38,2	98,8	0	38,9	13	89	0
1975	1	161	120	79,2	111,8	41	30,6	0	120	0
	2	62	81	60,2	70,8	0	45,2	19	81	0
	3	195	89	150	89,8	89,8	36	0	89	16,2
	4	40	57	133	0	0	51,7	17	57	0
	5	13	45	105	17	0	38,8	28	41	0
	6	27	23	109	45	4	16,1	0	23	0
	7	3	25	92,4	41	0	18,7	16,6	19,6	0
	8	42	32	102,4	57,6	10	19,7	0	32	0
	9	61	45	118,4	47,6	16	31,6	0	45	0
	10	37	73	86,6	31,6	0	54,9	31,8	68,8	0
	11	46	90	61,2	63,4	0	51,9	25,4	71,4	0
	12	28	114	26,1	88,8	0	46,5	35,1	63,1	0



*Tesis de Licenciatura: "caracterización hidroquímica del acuífero libre de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú, Córdoba. Aportes al conocimiento y cálculo del fondo natural de la calidad de agua". Joel A. Savini*

1977	1	210	120	116,1	123,9	90	20,9	0	120	0
	2	77	81	112,1	33,9	0	59	4	81	0
	3	60	89	86,2	37,9	0	62,3	25,9	85,9	0
	4	31	57	71,3	63,8	0	32,8	14,9	45,9	0
	5	8	45	53,7	78,7	0	21,4	17,6	25,6	0
	6	24	23	54,7	96,3	1	8,2	0	23	0
	7	0	25	45,1	95,3	0	9,6	9,6	9,6	0
	8	29	32	44,2	104,9	0	9,6	0,9	29,9	0
	9	16	45	35,7	105,8	0	13,3	8,5	24,5	0
	10	141	73	103,7	114,3	68	17,4	0	73	0
	11	38	90	64,5	46,3	0	59,1	39,2	77,2	0
	12	260	114	150	85,5	85,5	49	0	114	60,5
1978	1	118	120	148	0	0	104,2	2	120	0
	2	100	81	150	2	2	71,3	0	81	17
	3	134	89	150	0	0	78,3	0	89	45
	4	15	57	110,8	0	0	51,7	39,2	54,2	0
	5	0	45	77,6	39,2	0	33,2	33,2	33,2	0
	6	12	23	71,9	72,4	0	11,9	5,7	17,7	0
	7	0	25	59,9	78,1	0	12	12	12	0
	8	0	32	47,1	90,1	0	12,8	12,8	12,8	0
	9	156	45	150	102,9	102,9	14,1	0	45	8,1
	10	43	73	120,8	0	0	65	29,2	72,2	0
	11	98	90	128,8	29,2	8	72,5	0	90	0
	12	166	114	150	21,2	21,2	93,4	0	114	30,8
1979	1	185	120	150	0	0	104,2	0	120	65
	2	239	81	150	0	0	71,7	0	81	158
	3	39	89	104,2	0	0	78,3	45,8	84,8	0
	4	57	57	104,2	45,8	0	39,6	0	57	0
	5	4	45	75,7	45,8	0	31,3	28,5	32,5	0
	6	105	23	150	74,3	74,3	11,6	0	23	7,7
	7	42	25	150	0	0	25	0	25	17
	8	0	32	119,2	0	0	30,8	30,8	30,8	0
	9	32	45	108,8	30,8	0	35,8	10,3	42,3	0
	10	20	73	70,4	41,2	0	53	38,5	58,5	0
	11	117	90	97,4	79,6	27	42,2	0	90	0
	12	141	114	124,4	52,6	27	67,9	0	114	0
1980	1	40	120	62,9	25,6	0	87,9	61,4	101,4	0
	2	75	81	60,4	87,1	0	34	2,5	77,5	0
	3	102	89	73,4	89,6	13	35,9	0	89	0
	4	116	57	132,4	76,6	59	30,7	0	57	0
	5	34	45	121,4	17,6	0	39,3	11	45	0
	6	16	23	114,4	28,6	0	20,4	7	23	0
	7	0	25	94,5	35,6	0	19,9	19,9	19,9	0
	8	0	32	74,4	55,5	0	20,2	20,2	20,2	0
	9	13	45	58,5	75,6	0	22,3	15,9	28,9	0
	10	105	73	90,5	91,5	32	28,5	0	73	0
	11	130	90	130,5	59,5	40	53,4	0	90	0
	12	132	114	148,5	19,5	18	87,6	0	114	0
1981	1	271	120	150	1,5	1,5	103,2	0	120	149,5
	2	29	81	102,5	0	0	71,7	47,5	76,5	0
	3	52	89	77,2	47,5	0	60,8	25,3	77,3	0
	4	109	57	129,2	72,8	52	29,3	0	57	0
	5	12	45	98,7	20,8	0	38,9	30,6	42,6	0
	6	0	23	83,5	51,3	0	15,1	15,1	15,1	0
	7	0	25	69,6	66,5	0	13,9	13,9	13,9	0
	8	0	32	54,8	80,4	0	14,8	14,8	14,8	0
	9	9	45	41,6	95,2	0	16,4	13,1	22,1	0
	10	99	73	67,6	108,4	26	20,3	0	73	0
	11	152	90	129,6	82,4	62	43,5	0	90	0
	12	105	114	120,6	20,4	0	87,1	9	114	0

1982	1	117	120	117,6	29,4	0	88,5	3	120	0
	2	94	81	130,6	32,4	13	60,4	0	81	0
	3	67	89	108,6	19,4	0	70,1	22	89	0
	4	87	57	138,6	41,4	30	41	0	57	0
	5	4	45	101,5	11,4	0	40,1	37,1	41,1	0
	6	20	23	99,5	48,5	0	15,6	2	22	0
	7	11	25	90,2	50,5	0	16,6	9,3	20,3	0
	8	0	32	70,9	59,8	0	19,2	19,2	19,2	0
	9	74	45	99,9	79,1	29	21,3	0	45	0
	10	11	73	56,5	50,1	0	49	43,5	54,5	0
	11	89	90	56,1	93,5	0	33,9	0,4	89,4	0
	12	106	114	53,1	93,9	0	42,6	3	109	0
1983	1	245	120	150	96,9	96,9	42,5	0	120	28,1
	2	98	81	150	0	0	71,7	0	81	17
	3	48	89	111,7	0	0	78,3	38,3	86,3	0
	4	25	57	87,8	38,3	0	42,4	23,8	48,8	0
	5	32	45	80,2	62,2	0	26,4	7,6	39,6	0
	6	0	23	67,9	69,8	0	12,3	12,3	12,3	0
	7	10	25	61,1	82,1	0	11,3	6,8	16,8	0
	8	32	32	61,1	88,9	0	13	0	32	0
	9	40	45	59,1	88,9	0	18,3	2	42	0
	10	87	73	73,1	90,9	14	28,8	0	73	0
	11	65	90	54,8	76,9	0	43,9	18,3	83,3	0
	12	87	114	44,9	95,2	0	41,6	9,9	96,9	0
1984	1	151	120	75,9	105,1	31	35,9	0	120	0
	2	107	81	101,9	74,1	26	44	0	81	0
	3	164	89	150	48,1	48,1	57,8	0	89	26,9
	4	18	57	113,3	0	0	51,7	36,7	54,7	0
	5	0	45	79,3	36,7	0	34	34	34	0
	6	0	23	67,2	70,7	0	12,2	12,2	12,2	0
	7	0	25	56	82,8	0	11,2	11,2	11,2	0
	8	13	32	48,9	94	0	11,9	7,1	20,1	0
	9	61	45	64,9	101,1	16	14,7	0	45	0
	10	47	73	45,6	85,1	0	34,6	19,3	66,3	0
	11	106	90	61,6	104,4	16	27,4	0	90	0
	12	202	114	149,6	88,4	88	45,8	0	114	0
1985	1	136	120	150	0,4	0,4	103,9	0	120	15,6
	2	125	81	150	0	0	71,7	0	81	44
	3	50	89	113,3	0	0	78,3	36,7	86,7	0
	4	48	57	106,5	36,7	0	43,1	6,8	54,8	0
	5	0	45	74,6	43,5	0	32	32	32	0
	6	20	23	73,1	75,4	0	11,4	1,5	21,5	0
	7	116	25	150	76,9	76,9	12,2	0	25	14,1
	8	26	32	144	0	0	30,8	6	32	0
	9	30	45	129	6	0	40,7	15	45	0
	10	89	73	145	21	16	61,5	0	73	0
	11	41	90	100,8	5	0	78,3	44,2	85,2	0
	12	135	114	121,8	49,2	21	76,6	0	114	0
1986	1	70	120	81,3	28,2	0	87,6	40,5	110,5	0
	2	44	81	61,3	68,7	0	43,9	20,1	64,1	0
	3	29	89	36,8	88,7	0	36,4	24,5	53,5	0
	4	7	57	24,5	113,2	0	14	12,3	19,3	0
	5	11	45	19	125,5	0	7,4	5,6	16,6	0
	6	0	23	16	131	0	2,9	2,9	2,9	0
	7	12	25	14,7	134	0	2,7	1,4	13,4	0
	8	0	32	11,5	135,3	0	3,1	3,1	3,1	0
	9	32	45	10,5	138,5	0	3,5	1	33	0
	10	58	73	9,5	139,5	0	5,1	1,1	59,1	0
	11	57	90	7,4	140,5	0	5,7	2,1	59,1	0
	12	145	114	38,4	142,6	31	5,6	0	114	0



*Tesis de Licenciatura: "caracterización hidroquímica del acuífero libre de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú, Córdoba. Aportes al conocimiento y cálculo del fondo natural de la calidad de agua". Joel A. Savini*

1987	1	95	120	13,4	111,6	0	33,5	25	120	0
	2	106	81	38,4	136,6	25	7,2	0	81	0
	3	104	89	53,4	111,6	15	30,7	0	89	0
	4	25	57	27,1	96,6	0	31,1	26,3	51,3	0
	5	52	45	34,1	122,9	7	8,1	0	45	0
	6	0	23	24,2	115,9	0	9,9	9,9	9,9	0
	7	8	25	21,4	125,8	0	4	2,7	10,7	0
	8	12	32	18,6	128,6	0	4,6	2,9	14,9	0
	9	13	45	14,6	131,4	0	5,6	4	17	0
	10	66	73	13,9	135,4	0	7,1	0,7	66,7	0
	11	72	90	12,3	136,1	0	8,4	1,7	73,7	0
	12	174	114	72,3	137,7	60	9,3	0	114	0
1988	1	63	120	37,2	77,7	0	54,9	35,1	98,1	0
	2	133	81	89,2	112,8	52	20,1	0	81	0
	3	191	89	150	60,8	60,8	52,4	0	89	41,2
	4	12	57	108,3	0	0	51,7	41,7	53,7	0
	5	7	45	80,9	41,7	0	32,5	27,4	34,4	0
	6	0	23	68,5	69,1	0	12,4	12,4	12,4	0
	7	0	25	57,1	81,5	0	11,4	11,4	11,4	0
	8	0	32	44,9	92,9	0	12,2	12,2	12,2	0
	9	52	45	51,9	105,1	7	13,5	0	45	0
	10	0	73	25,1	98,1	0	26,8	26,8	26,8	0
	11	76	90	22,8	124,9	0	15,1	2,3	78,3	0
	12	103	114	21,1	127,2	0	17,3	1,7	104,7	0
1989	1	81	120	15,6	128,9	0	16,9	5,5	86,5	0
	2	28	81	10,1	134,4	0	8,4	5,5	33,5	0
	3	125	89	46,1	139,9	36	6	0	89	0
	4	18	57	19,1	103,9	0	29,5	27	45	0
	5	27	45	16,8	130,9	0	5,7	2,3	29,3	0
	6	16	23	16,1	133,2	0	2,6	0,8	16,8	0
	7	0	25	13,4	133,9	0	2,7	2,7	2,7	0
	8	0	32	10,5	136,6	0	2,9	2,9	2,9	0
	9	31	45	9,5	139,5	0	3,2	1	32	0
	10	43	73	7,6	140,5	0	4,6	1,9	44,9	0
	11	85	90	7,4	142,4	0	4,6	0,3	85,3	0
	12	130	114	23,4	142,6	16	5,6	0	114	0
1991	1	185	120	88,4	126,6	65	21,1	0	120	0
	2	240	81	150	61,6	61,6	48,7	0	81	97,4
	3	98	89	150	0	0	78,3	0	89	9
	4	40	57	133	0	0	51,7	17	57	0
	5	79	45	150	17	17	38,8	0	45	17
	6	15	23	142	0	0	23	8	23	0
	7	11	25	128	8	0	23,7	14	25	0
	8	39	32	135	22	7	27,2	0	32	0
	9	7	45	101,7	15	0	39,2	33,3	40,3	0
	10	76	73	104,7	48,3	3	49,5	0	73	0
	11	66	90	87,4	45,3	0	62	17,2	83,2	0
	12	222	114	150	62,6	62,6	66,4	0	114	45,4
1992	1	33	120	73,3	0	0	104,2	76,7	109,7	0
	2	61	81	63,6	76,7	0	39,6	9,8	70,8	0
	3	166	89	140,6	86,4	77	37,7	0	89	0
	4	58	57	141,6	9,4	1	49,7	0	57	0
	5	15	45	112,7	8,4	0	40,5	28,9	43,9	0
	6	0	23	95,4	37,3	0	17,3	17,3	17,3	0
	7	8	25	84,6	54,6	0	15,9	10,8	18,8	0
	8	23	32	79,5	65,4	0	18	5,1	28,1	0
	9	66	45	100,5	70,5	21	23,9	0	45	0
	10	12	73	58,3	49,5	0	48,6	42,2	54,2	0
	11	68	90	49,8	91,7	0	35	8,6	76,6	0
	12	150	114	85,8	100,2	36	37,8	0	114	0



*Tesis de Licenciatura: "caracterización hidroquímica del acuífero libre de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú, Córdoba. Aportes al conocimiento y cálculo del fondo natural de la calidad de agua". Joel A. Savini*

1993	1	154	120	119,8	64,2	34	63,5	0	120	0
	2	112	81	150	30,2	30,2	60,4	0	81	0,8
	3	24	89	91,7	0	0	78,3	58,3	82,3	0
	4	11	57	63,6	58,3	0	34,8	28,1	39,1	0
	5	30	45	57,2	86,4	0	19,1	6,4	36,4	0
	6	0	23	48,4	92,8	0	8,8	8,8	8,8	0
	7	0	25	40,4	101,6	0	8,1	8,1	8,1	0
	8	20	32	37,1	109,6	0	8,6	3,2	23,2	0
	9	40	45	35,9	112,9	0	11,1	1,2	41,2	0
	10	58	73	32,3	114,1	0	17,5	3,6	61,6	0
	11	163	90	105,3	117,7	73	19,4	0	90	0
	12	90	114	81,3	44,7	0	72,6	24	114	0
1994	1	73	120	55,7	68,7	0	64,7	25,6	98,6	0
	2	35	81	38,6	94,3	0	30,1	17,1	52,1	0
	3	81	89	36,5	111,4	0	22,9	2,1	83,1	0
	4	34	57	30,9	113,5	0	13,9	5,6	39,6	0
	5	36	45	29,1	119,1	0	9,3	1,9	37,9	0
	6	0	23	24,6	120,9	0	4,5	4,5	4,5	0
	7	9	25	22	125,4	0	4,1	2,6	11,6	0
	8	51	32	41	128	19	4,7	0	32	0
	9	14	45	20,2	109	0	22,8	20,8	34,8	0
	10	65	73	19,2	129,8	0	9,8	1,1	66,1	0
	11	83	90	18,3	130,8	0	11,5	0,9	83,9	0
	12	52	114	10,7	131,7	0	13,9	7,5	59,5	0
1995	1	172	120	62,7	139,3	52	8,6	0	120	0
	2	122	81	103,7	87,3	41	39,1	0	81	0
	3	22	89	56,7	46,3	0	58,6	47	69	0
	4	0	57	35,1	93,3	0	21,5	21,5	21,5	0
	5	28	45	31,2	114,9	0	10,5	4	32	0
	6	0	23	26,4	118,8	0	4,8	4,8	4,8	0
	7	0	25	22	123,6	0	4,4	4,4	4,4	0
	8	0	32	17,3	128	0	4,7	4,7	4,7	0
	9	5	45	12,7	132,7	0	5,2	4,6	9,6	0
	10	43	73	10,1	137,3	0	6,2	2,5	45,5	0
	11	138	90	58,1	139,9	48	6,1	0	90	0
	12	56	114	25,9	91,9	0	44,7	32,3	88,3	0
1996	1	130	120	35,9	124,1	10	20,7	0	120	0
	2	147	81	101,9	114,1	66	22,2	0	81	0
	3	27	89	57,9	48,1	0	57,8	44	71	0
	4	71	57	71,9	92,1	14	22	0	57	0
	5	0	45	45,9	78,1	0	26	26	26	0
	6	0	23	38,9	104,1	0	7	7	7	0
	7	0	25	32,4	111,1	0	6,5	6,5	6,5	0
	8	0	32	25,5	117,6	0	6,9	6,9	6,9	0
	9	32	45	23,3	124,5	0	7,6	2,2	34,2	0
	10	20	73	15,1	126,7	0	11,3	8,2	28,2	0
	11	67	90	12,7	134,9	0	9	2,3	69,3	0
	12	87	114	10,5	137,3	0	9,7	2,3	89,3	0
1997	1	42	120	5	139,5	0	8,4	5,4	47,4	0
	2	20	81	3	145	0	2,7	2	22	0
	3	102	89	16	147	13	1,8	0	89	0
	4	0	57	2,1	134	0	13,9	13,9	13,9	0
	5	0	45	1,5	147,9	0	0,6	0,6	0,6	0
	6	17	23	1,4	148,5	0	0,2	0,1	17,1	0
	7	9	25	1,3	148,6	0	0,2	0,2	9,2	0
	8	8	32	1,1	148,7	0	0,3	0,2	8,2	0
	9	20	45	0,9	148,9	0	0,3	0,2	20,2	0
	10	68	73	0,9	149,1	0	0,4	0	68	0
	11	85	90	0,8	149,1	0	0,5	0	85	0
	12	195	114	81,8	149,2	81	0,6	0	114	0



*Tesis de Licenciatura: "caracterización hidroquímica del acuífero libre de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú, Córdoba. Aportes al conocimiento y cálculo del fondo natural de la calidad de agua". Joel A. Savini*

1998	1	171	120	132,8	68,2	51	61	0	120	0
	2	113	81	150	17,2	17,2	65,3	0	81	14,8
	3	53	89	115,8	0	0	78,3	34,2	87,2	0
	4	131	57	150	34,2	34,2	44	0	57	39,8
	5	46	45	150	0	0	41,7	0	45	1
	6	20	23	147	0	0	23	3	23	0
	7	0	25	122,5	3	0	24,5	24,5	24,5	0
	8	0	32	96,4	27,5	0	26,1	26,1	26,1	0
	9	17	45	78,4	53,6	0	28,9	18	35	0
	10	0	73	40,2	71,6	0	38,1	38,1	38,1	0
	11	169	90	119,2	109,8	79	24,1	0	90	0
	12	146	114	150	30,8	30,8	80,9	0	114	1,2
1999	1	71	120	105	0	0	104,2	45	116	0
	2	0	81	48,3	45	0	56,7	56,7	56,7	0
	3	221	89	150	101,7	101,7	28,7	0	89	30,3
	4	118	57	150	0	0	51,7	0	57	61
	5	0	45	108,3	0	0	41,7	41,7	41,7	0
	6	13	23	101,1	41,7	0	16,6	7,2	20,2	0
	7	10	25	91	48,9	0	16,9	10,1	20,1	0
	8	23	32	85,5	59	0	19,4	5,5	28,5	0
	9	28	45	75,8	64,5	0	25,7	9,7	37,7	0
	10	90	73	92,8	74,2	17	36,9	0	73	0
	11	108	90	110,8	57,2	18	53,9	0	90	0
	12	244	114	150	39,2	39,2	75,9	0	114	90,8
2000	1	156	120	150	0	0	104,2	0	120	36
	2	67	81	136	0	0	71,7	14	81	0
	3	67	89	115,8	14	0	76	20,2	87,2	0
	4	103	57	150	34,2	34,2	44	0	57	11,8
	5	36	45	141	0	0	41,7	9	45	0
	6	8	23	126	9	0	21,8	15	23	0
	7	26	25	127	24	1	21	0	25	0
	8	0	32	100	23	0	27	27	27	0
	9	0	45	70	50	0	30	30	30	0
	10	50	73	59,3	80	0	34,1	10,7	60,7	0
	11	174	90	143,3	90,7	84	35,6	0	90	0
	12	140	114	150	6,7	6,7	95,2	0	114	19,3
2001	1	132	120	150	0	0	104,2	0	120	12
	2	0	81	78,3	0	0	71,7	71,7	71,7	0
	3	201	89	150	71,7	71,7	46,5	0	89	40,3
	4	125	57	150	0	0	51,7	0	57	68
	5	0	45	108,3	0	0	41,7	41,7	41,7	0
	6	7	23	96,8	41,7	0	16,6	11,6	18,6	0
	7	0	25	80,6	53,2	0	16,1	16,1	16,1	0
	8	16	32	72	69,4	0	17,2	8,6	24,6	0
	9	102	45	129	78	57	21,6	0	45	0
	10	62	73	118	21	0	58,3	11	73	0
	11	31	90	72,8	32	0	66,7	45,2	76,2	0
	12	132	114	90,8	77,2	18	55,4	0	114	0
2002	1	109	120	79,8	59,2	0	67,5	11	120	0
	2	54	81	63,1	70,2	0	42,9	16,7	70,7	0
	3	76	89	57,7	86,9	0	37,5	5,5	81,5	0
	4	124	57	124,7	92,3	67	21,9	0	57	0
	5	0	45	86,4	25,3	0	38,3	38,3	38,3	0
	6	0	23	73,1	63,6	0	13,2	13,2	13,2	0
	7	7	25	64,3	76,9	0	12,2	8,8	15,8	0
	8	39	32	71,3	85,7	7	13,7	0	32	0
	9	0	45	48	78,7	0	23,3	23,3	23,3	0
	10	54	73	42	102	0	23,4	6,1	60,1	0
	11	136	90	88	108	46	25,2	0	90	0
	12	127	114	101	62	13	62,4	0	114	0



*Tesis de Licenciatura: "caracterización hidroquímica del acuífero libre de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú, Córdoba. Aportes al conocimiento y cálculo del fondo natural de la calidad de agua". Joel A. Savini*

2003	1	106	120	87	49	0	73,1	14	120	0
	2	49	81	65,3	63	0	46,4	21,6	70,6	0
	3	86	89	64	84,7	0	38,8	1,3	87,3	0
	4	111	57	118	86	54	24,3	0	57	0
	5	0	45	80,6	32	0	37,4	37,4	37,4	0
	6	0	23	68,3	69,4	0	12,4	12,4	12,4	0
	7	22	25	66,9	81,7	0	11,4	1,4	23,4	0
	8	0	32	52,6	83,1	0	14,3	14,3	14,3	0
	9	0	45	36,8	97,4	0	15,8	15,8	15,8	0
	10	0	73	18,9	113,2	0	17,9	17,9	17,9	0
	11	28	90	11,1	131,1	0	11,3	7,8	35,8	0
	12	191	114	88,1	138,9	77	8,4	0	114	0
2004	1	162	120	130,1	61,9	42	65	0	120	0
	2	63	81	112,1	19,9	0	64,2	18	81	0
	3	117	89	140,1	37,9	28	64,5	0	89	0
	4	25	57	109,7	9,9	0	49,6	30,4	55,4	0
	5	188	45	150	40,3	40,3	32,9	0	45	102,7
	6	0	23	127	0	0	23	23	23	0
	7	38	25	140	23	13	21,2	0	25	0
	8	5	32	115	10	0	29,2	25	30	0
	9	0	45	80,5	35	0	34,5	34,5	34,5	0
	10	105	73	112,5	69,5	32	39,2	0	73	0
	11	76	90	98,5	37,5	0	62,9	14	90	0
	12	176	114	150	51,5	51,5	71,1	0	114	10,5
2005	1	203	120	150	0	0	104,2	0	120	83
	2	136	81	150	0	0	71,7	0	81	55
	3	55	89	117,5	0	0	78,3	32,5	87,5	0
	4	37	57	101,8	32,5	0	44,7	15,7	52,7	0
	5	5	45	74,7	48,2	0	30,5	27,2	32,2	0
	6	0	23	63,2	75,3	0	11,5	11,5	11,5	0
	7	14	25	58,6	86,8	0	10,5	4,6	18,6	0
	8	5	32	48	91,4	0	12,5	10,5	15,5	0
	9	17	45	39,1	102	0	14,4	9	26	0
	10	51	73	33,3	110,9	0	19	5,7	56,7	0
	11	113	90	56,3	116,7	23	20	0	90	0
	12	20	114	17,6	93,7	0	43,2	38,8	58,8	0
2006	1	62	120	10,8	132,4	0	14	6,8	68,8	0
	2	253	81	150	139,2	139,2	5,8	0	81	32,8
	3	105	89	150	0	0	78,3	0	89	16
	4	123	57	150	0	0	51,7	0	57	66
	5	0	45	108,3	0	0	41,7	41,7	41,7	0
	6	0	23	91,7	41,7	0	16,6	16,6	16,6	0
	7	0	25	76,4	58,3	0	15,3	15,3	15,3	0
	8	0	32	60,1	73,6	0	16,3	16,3	16,3	0
	9	12	45	46,9	89,9	0	18	13,2	25,2	0
	10	43	73	37,5	103,1	0	22,8	9,4	52,4	0
	11	106	90	53,5	112,5	16	22,5	0	90	0
	12	127	114	66,5	96,5	13	40,5	0	114	0
2007	1	247	120	150	83,5	83,5	51,3	0	120	43,5
	2	139	81	150	0	0	71,7	0	81	58
	3	123	89	150	0	0	78,3	0	89	34
	4	52	57	145	0	0	51,7	5	57	0
	5	12	45	114,2	5	0	40,8	30,8	42,8	0
	6	14	23	107,3	35,8	0	17,5	6,8	20,8	0
	7	11	25	97,3	42,7	0	17,9	10	21	0
	8	0	32	76,5	52,7	0	20,8	20,8	20,8	0
	9	62	45	93,5	73,5	17	23	0	45	0
	10	75	73	95,5	56,5	2	45,6	0	73	0
	11	16	90	48,5	54,5	0	55,2	47,1	63,1	0
	12	133	114	67,5	101,5	19	36,8	0	114	0



*Tesis de Licenciatura: "caracterización hidroquímica del acuífero libre de la cuenca del arroyo Mosuc Mayú, Córdoba. Aportes al conocimiento y cálculo del fondo natural de la calidad de agua". Joel A. Savini*

2008	1	262	120	150	82,5	82,5	51,6	0	120	59,5
	2	74	81	143	0	0	71,7	7	81	0
	3	105	89	150	7	7	77,2	0	89	9
	4	63	57	150	0	0	51,7	0	57	6
	5	9	45	115,8	0	0	41,7	34,2	43,2	0
	6	7	23	103,5	34,2	0	17,8	12,4	19,4	0
	7	0	25	86,2	46,5	0	17,2	17,2	17,2	0
	8	0	32	67,8	63,8	0	18,4	18,4	18,4	0
	9	22	45	57,4	82,2	0	20,4	10,4	32,4	0
	10	26	73	39,4	92,6	0	28	18	44	0
	11	192	90	141,4	110,6	102	23,7	0	90	0
	12	171	114	150	8,6	8,6	94,1	0	114	48,4
2009	1	120	120	150	0	0	104,2	0	120	0
	2	123	81	150	0	0	71,7	0	81	42
	3	85	89	146	0	0	78,3	4	89	0
	4	0	57	95	4	0	51	51	51	0
	5	10	45	72,8	55	0	28,5	22,2	32,2	0
	6	0	23	61,7	77,2	0	11,2	11,2	11,2	0
	7	0	25	51,4	88,3	0	10,3	10,3	10,3	0
	8	0	32	40,4	98,6	0	11	11	11	0
	9	53	45	48,4	109,6	8	12,1	0	45	0
	10	13	73	26,4	101,6	0	25,5	22	35	0
	11	176	90	112,4	123,6	86	15,8	0	90	0
	12	111	114	109,4	37,6	0	76,9	3	114	0
2010	1	76	120	74,6	40,6	0	79,1	34,8	110,8	0
	2	90	81	83,6	75,4	9	40,3	0	81	0
	3	87	89	81,6	66,4	0	48,8	2	89	0
	4	69	57	93,6	68,4	12	31,9	0	57	0
	5	15	45	69,1	56,4	0	31,9	24,5	39,5	0
	6	0	23	58,5	80,9	0	10,6	10,6	10,6	0
	7	0	25	48,8	91,5	0	9,8	9,8	9,8	0
	8	0	32	38,4	101,2	0	10,4	10,4	10,4	0
	9	77	45	70,4	111,6	32	11,5	0	45	0
	10	71	73	68,4	79,6	0	39,5	2	73	0
	11	102	90	80,4	81,6	12	43,3	0	90	0
	12	125	114	91,4	69,6	11	57,8	0	114	0
2011	1	229	120	150	58,6	58,6	67	0	120	50,4
	2	96	81	150	0	0	71,7	0	81	15
	3	49	89	112,5	0	0	78,3	37,5	86,5	0
	4	42	57	101,2	37,5	0	42,8	11,3	53,3	0
	5	0	45	70,9	48,8	0	30,4	30,4	30,4	0
	6	15	23	67,1	79,1	0	10,9	3,8	18,8	0
	7	0	25	55,9	82,9	0	11,2	11,2	11,2	0
	8	7	32	46,6	94,1	0	11,9	9,3	16,3	0
	9	17	45	37,9	103,4	0	14	8,7	25,7	0
	10	89	73	53,9	112,1	16	18,4	0	73	0
	11	72	90	37,4	96,1	0	34,7	16,5	88,5	0
	12	36	114	17,9	112,6	0	28,4	19,4	55,4	0
2012	1	20	120	6	132,1	0	14,4	12	32	0
	2	179	81	104	144	98	3,2	0	81	0
	3	69	89	84	46	0	58,7	20	89	0
	4	23	57	63,7	66	0	32,4	20,3	43,3	0
	5	17	45	51,8	86,3	0	19,1	11,9	28,9	0
	6	0	23	43,9	98,2	0	7,9	7,9	7,9	0
	7	0	25	36,6	106,1	0	7,3	7,3	7,3	0
	8	24	32	34,6	113,4	0	7,8	1,9	25,9	0
	9	91	45	80,6	115,4	46	10,4	0	45	0
	10	159	73	150	69,4	69,4	42,8	0	73	16,6
	11	125	90	150	0	0	79,2	0	90	35
	12	83	114	120	0	0	99,2	30	113	0

---

# Bibliografía

---



- Albouy R. y G. Bonorino**, 1995. Método multivariado de componentes principales: su aplicación a la hidroquímica del sistema hidrotermal profundo de Bahía Blanca. *Correlación geológica* N° 11: 41-49. ISSN 217428.
- Albouy R., Santamaría M., Serralunga M. y P. Rossi**, 1995b. Aplicación geoestadística a datos hidrogeoquímicos. *Correlación geológica* N° 11: 15-23. ISSN 217428.
- Appelo C. y D. Postma**, 1996. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema. ISBN 9054101059. 536 p.
- Argoss**, 2002, *Assesing Risk to Groundwater from On-site Sanitation: Scientific Review and Case Studies*. British Geological Survey. Groundwater Systems and Water Quality Programme Commissioned Report CR/
- Armienta M.A. y N. Segovia**, 2008. Arsenic and fluoride in the groundwater of Mexico. *Environ. Geochem. Health*. 30(4):345-353.
- Aynew T., 2008**. The distribution and hydrogeological controls of fluoride in the groundwater of central Ethiopian rift and adjacent highlands. *Environmental Geology*; 54: 1313-1324.
- Ayers R.S. y D.W. Wetscot**, 1985. *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1, Roma, 174 p. Bavera, G. A., 2001. *Manual de Aguas y Aguadas para el ganado*. Ed. Hemisferio Sur S.A. ISBN 987-43-2856-8. 387 pp.
- Azcuy C. L., Andreis R., Cuerda A., Hünicken M., Pensa M., Valencio D. y J. Vilas**. 1987. Cuenca Paganzo. En: Archangelsky (Ed) *El Sistema Carbonífero en la República Argentina*. Academia Nacional de Ciencias Cal III: 41-100. Córdoba.
- Bavera G. A.**, 2001. *Manual de Aguas y Aguadas para el ganado*. Editorial Hemisferio Sur S.A. ISBN 987-43-2856-8. 387 pp.
- Bear J. y A. H. D. Cheng**. 2010. *Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport*, SPRINGER, 834 pp.
- Bettiol A.** 2012. Estudio neotectónico de fallas con actividad cuaternaria ubicadas al Sur de la sierra de Las Peñas. Informe de Tesis de licenciatura. Dpto de Geología. UNRC. Dir: G. Sagripanti.
- Blarasin M.**, 2003. *Geohidrología Ambiental del Sur de Córdoba, con énfasis en la ciudad de Río Cuarto y su entorno rural*. Tesis Doctoral. UNRC. Inédita.
- Blarasin M.** 2006. Arsénico en aguas subterráneas del Sur de Córdoba y consideraciones estadísticas para el cálculo de la línea de base de la calidad del agua. Conferencia dictada en el marco de la reunión "El arsénico en Iberoamérica. Distribución, metodologías analíticas y tecnologías de remoción". Invitación cursada por responsables de la RED CYTED Red Temática 406RT0282 Iberoarsen.
- Blarasin M., Cabrera A., Matteoda E., Damilano G. y J. Giuliano Albo**, 2008. Indicadores para evaluar cambios ambientales en acuíferos. Consideraciones sobre el fondo natural de la calidad de agua. En "Evaluación de la sustentabilidad amb. En sistemas agropecuarios" Cantú, Becker, Bedano (Eds.) ISBN 978-987-1003-58-7 pag. 69-80 Ed. UNRC
- Blarasin M., Damilano G., Cabrera A. y E. Matteoda**. 2006. Hidrogeoquímica del acuífero freático en un agroecosistema y consideraciones sobre el cálculo de la línea de base de la calidad del agua. *Memorias del VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*. Paraguay. 25 pp.
- Blarasin M., Cabrera A., Frigerio C. y S. Bettera**, 2002. Risk of groundwater pollution by on site sanitation, geochemical models and geoindicators, Rio Cuarto city, Argentina. En Commissioned Report CR/02/079N del British Geological Service "Assessing risk to groundwater from on site sanitation: Scientific review and case studies". Pag 99-111.
- Blarasin M., Cabrera A. y S. Degiovanni**. 2000. "Hidrogeología Regional: el agua subterránea como recurso fundamental del Sur de la provincia de Córdoba". *Actas Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas*. Fortaleza. Brasil.



- Blarasin M. y A. Cabrera.** 2005. Aguas subterráneas: hidrolitología, hidrodinámica e hidrogeoquímica regional. En Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Cba.: una perspectiva geoambiental. Ed. UNRC ISBN: 950-665-350-X. pp. 235-241.
- Blarasin M. y A. Cabrera, 1998.** Caract., potenc. y restric. de los recursos hídricos de la región Sur de Cba. Capítulo III. Pp: 22-32. En: —Las tierras y aguas del Sur de Cba: propuestas para un manejo sustentable||. Ed. UNRC. ISBN: 950-665-101-9.
- Blarasin, M., A. Cabrera y S. Degiovann.** 2000. Hidrogeología Regional: el agua subterránea como recurso fundamental del Sur de la Prov. de Córdoba, Argentina. I Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas. Fortaleza. Brasil. (20 pág.), CD-ROM.
- Blarasin M., Cabrera A. y E. Matteoda, 2003.** Groundwater geoindicators for assessment of environmental changes, planning and policy implications, Río Cuarto, Arg. Journal Environmental Hydrology. ISSN 058-3912. V11: 16. 12 pp
- Blarasin M., Cabrera A., Matteoda E., Damilano G. y J. Giuliano Albo, 2008.** Indicadores para evaluar cambios ambientales en acuíferos. Consideraciones sobre el fondo natural de la calidad de agua. En: Evaluación de la sustentabilidad ambiental en sistemas agropecuarios || Cantú M., Becker A., Bedano J. (Eds) Ed. UNRC. Pp. 69-80.
- Bonalumi A. A. y A. A. Gigena.** 1987. Relación entre las metamorfitas de alto grado y las rocas básicas y ultrabásicas en el Departamento de Calamuchita, Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 42: 73-81.
- Bonalumi, A.A., Sfragulla, J., Moreno, R., Gigena, A.A. y Millone, H.,** 1986. Geología regional de los Departamentos San Alberto, Pocho y Minas, Provincia de Córdoba. Informe Inédito, Dirección Provincial de Geología y Minería de Córdoba, Tomos 1 a 4.
- CAA (Código Alimentario Argentino).** 1994. Res. 494/94. Boletín Oficial N° 27.932, 1° sección. Art. 982 modificado.
- Cabrera A.** 2009. Evolución hidrogeoquímica e isótopos ambientales del sistema acuífero asociado a los ambientes morfotectónicos de la falla regional Tigre Muerto. Córdoba. Argentina. Tesis Doctoral (inédita). UNRC. 372 pp.
- Cabrera A., Blarasin M., Cabrera S., Matteoda E., Gómez M. L., Villalba G., Hildmann F. y A. Bettera.** 2005. Arsénico y fluor en el acuífero freático en el sur de Córdoba: Línea de base hidroquímica y problemática ambiental vinculada. 12 pp. En: Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. Galindo G., Fernandez Turiel J., Parada M. y D. Gimeno Torrente Editores. ISBN: 987-05-0058-7.
- Cantú M.,** 1992. Holoceno de la prov. de Córdoba. Manual: Holoceno de la Rep. Arg. Tomo I. Simposio Internacional sobre el Holoceno en América del Sur. 24 pág. Paraná. Argentina.
- Cantú M.,** 1998. Estudio geocientífico para la evaluación ambiental y ordenación territorial de una cuenca pedemontana. Caso: Cca. Arroyo La Colacha, Dpto. Río Cuarto, provincia de Córdoba. Inédito. Tesis Doctoral. Dpto de Geología. UNRC.
- Cantú M. y S. Degiovanni.** 1984. Geomorfología de la Región Centro Sur de Córdoba. IX Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche. Actas IV: 76- 92.
- Cantú y Degiovanni,** 1997; Neotectonic activity in the La Cruz-Gigena depression, Córdoba, Argentina. Fourth International Conference on Geomorphology. Suplemento III. Tomo 1: 142. Bologna. Italia.
- Capitanelli R. G.,** 1979. Clima. En: Geografía física de la Provincia de Córdoba. Editorial BOLDT pág 45-138.
- Carignano C., Cioccale M. y J. Rabassa.** 1999. Landscape Antiquity of the Central- Eastern Sierras Pampeanas (Argentina): Geomorphological Evolution since Gondwanic Times. Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 118: 245-268. Berlín-Stuttgart.
- Chebli G., Mozetic M., Rossello C. y M. Bühler.** 1999. Cuencas Sedimentarias de la Llanura Chacopampeana. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Anales 29 (20): 627-644. Bs. As.



- Chebli G., Spalletti L., Rivarola D., Elorriaga E. y R. Webster.** 2006. Cuencas cretácicas de la región central de la Arg. Simp. especial de Geol. de Hidrocarburos.
- Chebli, G.A, Tófaló, O.R. y Turazzini, G.E.** 1989. **Mesopotamia.** En **Chebli, G.A. y Spalletti, L.A.** (eds.) Cuencas Sedimentarias Argentinas, Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica 6: 79-100, Tucumán
- Chiappero, A.** 1994. Estudio de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero libre de la cca. baja del arroyo Las Lajas, Dpto. Río Cuarto, Cba. Argentina. Tesis de Licenc. UNRC. Inedito. Dir. Lic. M. Blarasin y Lic. M. Villegas.
- Chien C. C., Medina Jr. M. A., Pinder G. F., Reible D. D., Sleep B. E. y Ch. Zheng.** 2004. Contaminated Ground Water and Sediment. Modeling for Management and Remediation. Lewis Publishers. ISBN 0-56670-667-X.
- Chincariní A. D., Martino, R. D. y A. B. Guerreschi.** 1998. Origen alóctono del gabro del cerro San Lorenzo, sierra de Comechingones, Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 53: 435-444.
- Cingolani, C.A. y Varela, R.,** 1975. Geocronología Rubidio Estroncio de rocas ígneas y metamórficas de las sierras Chica y Grande de Córdoba. Actas 2º Congreso Iberoamericano de Geología Económica, 1: 9 35, Buenos Aires
- Código de aguas,** Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba.
- Coniglio J.E. y A. M. Esparza.** 1988. Geología del sector sur del batolito Cerro Áspero-Alpa Corral, provincia de Córdoba, Argentina. V Congreso Geológico Chileno, Tomo II: 1-15.
- Consejo Hídrico Federal.** 2003. Principios Rectores de Política Hídrica de la República Argentina.
- Custodio E.** 1993. Hidrogeoquímica e Isotopía ambiental. Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Bocanegra y Rapaccini (Eds.). Mar del Plata. Pp. 61-78.
- Custodio E. y M. Llamas.** 1983. Hidrología subterránea. Ediciones Omega. Barcelona. 2 Vol. 1-2350.
- Custodio E.** 2011. Planificación y Gestión del Agua Subterránea: Aspectos Generales y Retos.
- Dalla Salda L.,** 1984. La estructura íntima de las Sierras de Córdoba. Revista Asociación Geológica Argentina, 39: 38-51.
- DallaSalda L.,** 1987. Basement tectonics of the Southern Pampean Ranges, Argentina. Tectonics 6: 249-260.
- Damilano G. y P. Puig.** 2004. Efficiency of a linear combination of the median and the sample mean: The double truncated normal distribution. Scandinavian Journal of Statistics 31, 629-637.
- Davis S. y R. De Wiest.** 1966. Hydrogeology. John Wiley & Sons. NY. 1-540
- Degiovanni S.** 2005. Geomorfología Regional. En Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Cba.: una perspectiva geoambiental. Ed. UNRC. Río Cuarto. ISBN 950-665-350-x
- Degiovanni, S.,** 2008. Análisis geoambiental del comportamiento de los sistemas fluviales del Sur de Córdoba, en especial del arroyo Achiras-del Gato, como base para su gestión sustentable. Tesis Doctoral. UNRC. Inédito.
- Degiovanni S., Villegas M. y N. Doffo.** 2003. Geomorfología del extremo Sur de la Sierra de Comechingones. II Cong. Nac. de Cuaternario y Geomorfología (S.M. Tucumán). Cuaternario y Geomorfología. ISBN 987-9390-47-4. pág 257-266.
- Degiovanni S. y M. Blarasin.** 2005. Hidrología superficial y morfodinámica de sistemas fluviales. En Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Cba.: una perspectiva geoambiental. Ed. UNRC. Río Cuarto. ISBN 950-665-350.
- Degiovanni S. y M. Cantú.** 1997. Neotectonic activity in the La Cruz-Gigena depression, Córdoba, Argentina. Fourth International Conference on Geomorphology. Suplemento III. Tomo 1: 142. Bologna. Italia.



- Degiovanni S., Villegas M., Blarasin M. y G. Sagripanti.** 2005. Hoja Geológica 3363- III Río Cuarto. Provincia de Córdoba. Esc. 1:250.000. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Boletín N° 349. SEGEMAR. Servicio Geológico Minero Argentino.
- Cantú, M. y S. Degiovanni,** 1982. Rasgos tectónicos de la Región Centro-Sur de la prov. Cba en base a evidencia Geomorfológica. Actas III Jornadas Científicas de la F.C.E.F.Q.y N.-UNRC.
- Cantú, M. y S. Degiovanni,** 1984. Geomorfología de la Región Centro Sur de la prov. de Córdoba. IX Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche. (IV), pp. 76-92.
- Degiovanni, S. y M. Cantú.** 1993. Carta de restricciones de uso agrícola y ganadero del área mal drenada comprendida entre Gral. Levalle y Laboulaye, Córdoba, Rep. Argentina. Rev. (ASAGAI). Publicación Especial N° 1: 7-25. Argentina. ISSN 0326-1921.
- Degiovanni, S., M. Villegas, M. Blarasin y G. Sagripanti.** 2004. Hoja Geológica Río Cuarto-3263-III Sec. Minería de la Nación – SEGEMAR. ISSN 0328-2333.
- Demichelis A.** 1986. Geología de la Sierra de Las Peñas. Tesis de Licenciatura. Inédita. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Díaz Delgado C., Esteller Alberich M. y López-Vera F.,** 2005. Recursos Hídricos, conceptos básicos y estudio de caso en Iberoamérica. Centro Interamericano del Recurso del Agua, Universidad Autónoma del estado de México.
- Dissanayake C.B.,** 1991. The fluoride problem in the groundwater of Sri Lanka-environmental management and health. *Int J Environ Stud* 38:137–156.
- Doering A.,** 1882. Informe Oficial de la comisión científica agregada al Estado Mayor Gral. De la Expedición al Río Negro (Patagonia), realizada en los meses de abril, mayo y junio de 1879, bajo las órdenes del Gral. Julio Roca. Geología, Bs. As., 3.
- Domenico P. y F. Schwartz.** 1990. "Physical and chemical hydrogeology". Ed. Wiley and Sons.
- Drever J.** 1982. The geochemistry of natural waters. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, N.J.: 1-388.
- Deutsch W.,** 1997. Groundwater Geochemistry. Fundamentals and Applications to Contamination. Lewis Publishers. ISBN 0-87371-308-7. 221 p
- Doffo, N. y S. Degiovanni.** 1993. Geomorfología de la Hoja Río Cuarto, su aplicación en estudios de susceptibilidad de erosión. XII Cong. Geol.. Argentino. Mendoza. Tomo VI: 274-282.
- Donadio, F.** 1995. Estudio Geohidrológico de la Hoja 3363-19-4 San Ambrosio, Dpto. Río Cuarto, prov. Córdoba, Rep. Argentina. Tesis de Licenciatura UNRC. Dir. Lic. M. Blarasin. Inédito
- Edmunds W.** 1996. Indicators in the groundwater environment of rapid environmental change. *En Geoindicators, Assessing rapid environmental changes in earth systems.* 135-150. Editorial
- Edmunds W. M. y P. Shand.** 2008. Natural Groundwater Quality. Blackwell Publishing Ltd. ISBN: 978-14051-5675-2
- Edmunds W. y P. Smedley.** 1996. Groundwater geochemistry and health: an overview. In Appleton, J., Fuge, R. & McCall, G. (eds.). Geological Society Pub. No. 113, Pp. 91-105.
- Eric C.,** 1986. Geología del Cuaternario en el río de las Barrancas, Dpto. Río Cuarto, Prov. Córdoba. Tesis de Licenciatura. U. N. R. C. Dir. Lic. M. P. Cantu.
- Escayola M. P., Ramé G. A. y P. E. Kraemer.** 1996. Caracterización y significado geotectónico de las fajas ultramáficas de Córdoba. 13ª congreso Geológico Argentino y 3º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 3: 421-438. Buenos Aires *Fiscalía de Estado Dirección de Informática Jurídica*
- Falconier J. D.** 1931. Terrenos Gondwánicos del Dpto Tacuarembó. Memoria explicativa del mapa geológico. Inst. Geol. Uruguay, Montevideo, Bol., 15.
- FAO y UNESCO,** 2013. <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences>.
- Fairchild, D. M.** 1990. Ground Water Quality and Agricultural Practices. Ed. Lewis Publishers.



- FernandezGarrasino C. y A. Vrba.** 2000. La F. Paraná: aspectos estratigráficos y estructurales de la región chacoparanense. En Aceñolaza y Herbst (Ed), El Neógeno en Arg. Series Correl. Geol. 14:9-27. Tucumán. ISSN 1514-4186.
- Fessia C.** 1995. Estudio geohidrológico del sur del Valle de La Cruz. Tesis de licenciatura. Dpto de Geología. UNRC. Inédito.
- Fili M., Tujchneider O., Paris M., D'elia M. y M. Pérez.** 1995. Los ambientes hidrogeológicos y su comportamiento hidroquímico en el Centro-Norte de la provincia de Entre Ríos, República Argentina. Correlación geológica Nº 11: 277- 288. ISSN 217428.
- Fili M., Tujchneider O., D'elia M., Paris M. y M. Perez.** 2000. La influencia de las aguas subterráneas en el anegamiento de un sector de la llanura pampeana de la República Argentina. I Congreso mundial integrado de aguas subterráneas. Fortalezas Brasil. Cd.
- Foster S., R. Hirata, D. Gomes, M. D'Elia y M. Paris.** 2002. Groundwater Quality Protection. A guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies. Groundwater Management Advisory Team. Co-sponsored by WHO - PAHO - CEPIS & UNESCO - ROSTLAC - PHI. The World Bank. Washington, D. C.
- Freeze R. y J. Cherry.** 1979. Groundwater. Prentice Hall, NY. 1-604. Garrels y Christ (1965);
- Giuliano Albo J., Blarasin M., Matteoda E., y A. Cabrera.** 2010. Fondo natural de la calidad de agua del acuífero freático en un agroecosistema. I Jornadas Interdisciplinarias "El Ciclo del agua en agroecosistemas". Pag. 23. Resumen. Buenos Aires. ISBN: 987-950-29-1233-2.
- Giuliano Albo, M. J., Blarasin, M., Cabrera A. y Matteoda, E. 2012.** Hidrogeoquímica del agua superficial y subterránea en el sistema Barranquita-Knutzen. Córdoba. Argentina. Revista Latino-Americana de Hidrogeología, 8 (1): 20-38.
- Giuliano Albo J.** 2013 Evaluación de la contaminación por nitratos en aguas subterráneas de agroecosistemas mediante el uso de isótopos estables  $^{15}\text{N}$ - $^{14}\text{N}$ ,  $^{18}\text{O}$ - $^{16}\text{O}$ , y otros solutos relacionados. Tesis doctoral. Dpto de Geología. UNRC.
- Gomez M.,** 1995. La F. Pampeana en la llanura cordobesa, línea de costa de la ingresión del Entrerriano. Asoc. Arg. Geol. Apl. a la Ing. Vol. 3: 232-254. San Juan. ISSN 0326 1921.
- González N. y M. Hernández.** 1988. Empleo del análisis numérico (multivariante) en el tratamiento de problemas geohidrológicos regionales. II Jornadas Geológicas Bonaerenses. Pp. 549-558. CIC. Bahía Blanca.
- González N., Hernández L., Ceci J. H., Trovatto M. M., Hernández M. A. y M.P. Alvarez.** 2009. Características hidrogeoquímicas del flúor en las aguas subterráneas de Junín, provincia de Buenos Aires. "VI Congreso hidrogeológico Argentino" "II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea": Contaminación y protección de los recursos hídricos. Santa Rosa, La Pampa.
- Gallo, M. 2011.** Estudio neotectónico de la falla Sierra Chica, sección Las Peñas – Los Cóndores. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 109 p. Río Cuarto.
- Gordillo C. E.** 1984. Migmatitas cordieríticas de la Sierra de Córdoba, condiciones físicas de la migmatización. Academia Nacional de Ciencias, Miscelánea 68, 1-40.
- Gordillo C. y A. Lencinas.** 1967. Geología y petrología del extremo norte de la Sierra de Los Cóndores. Boletín de la Academia Nac. de Ciencias, 46:73-108. Córdoba.
- Gordillo C. y A. Lencinas.** 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. 2º Simp. de Geol. Reg. Arg., Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, I, 577-650.
- Gorgas J.A., Tassile J., Jarsún B., Zamora E., Bosnero E., Lovera E., Ravelo A., Carnero M., Bustos V., Pappalardo J., Petropulo G., Rossetti E. y M. Ledesma.** 2003. Los recursos naturales de la Provincia de Córdoba: Los suelos. Agencia Córdoba D.A.C. y T.S.E.M. Dirección de Ambiente-INTA Manfredi.
- Gulliver H. S.** 2007. Introduction to Chemical Transport in the Environment. 295 p. Cambridge University Press. ISBN-13 978-0-511-27901-0.



- Gupta A.B., 1997.** Thiosphaera pantotropha: a sulphur bacterium capable of simultaneous heterotrophic nitrification and aerobic denitrification. *Enzyme and Microbial Technology*. Volume 21, Issue 8, Pp. 589–595.
- Guzik M., Liszka P., Zembal M. y A. Pacholewski, 2005.** Nitrate and nitrite en shallow groundwater. En *Nitrates in Groundwater*||. Razowska-Jaworek y Sadurski (eds). Balkema Publishers. ISBN 90 5809 664 5. Pp. 149-153.
- Harrison R. M.** 2001. *Pollution: Causes, Effects and Control*. R.S.C. The Royal Society of Chemistry. ISBN 0-85404-621-6
- Hem J.** 1986. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. *Water-Supply*. Paper 2254. USGS Alexandria USA: 1-264.
- Henke K. R.** 2009. *Arsenic*. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-02758-5.
- Hernandez L.** 1984. *Mineralogía de los depósitos aflorantes en el arroyo Chucul*. Córdoba. Tesis de Licenciatura. UNRC. Inédita.
- Hernández M., Giacconi L. y N. González.** 2002. Línea de base ambiental para las aguas subterráneas y superficiales en el área minera de Tandilla. Buenos Aires. *Aguas Subterráneas y Desarrollo Humano*. XXXII IAH & VI ALHSUD Congreso. Bocanegra, E - Martínez, D - Massone, H (Eds.) ISBN 987-544-063-9 Mar del Plata. CD
- Heaton T., 1986.** Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere: a review. *Chem.Geol. (Iso. Geo. Sect.)*, 5: 87-102.
- Hidalgo-Gato Fuentes I., Duque de Estrada RiverónII J., Mayor Hernández y J. Domingo Zamora Díaz, 2007.** Fluorosis dental: no solo un problema estético. *Rev Cubana Estomatol.* v.44 (4).
- Hurst, C. J., Garland J. L., Mills, A. L., Crawford, R. L., Lipson, D. A. y L. D. Stetzenbach.** 2007. *Manual of Environmental Microbiology*. Ed: ASM Press. USA.
- Hünicken M. y M. Pensa.** 1980. Estratigrafía y tectónica de las sedimentitas neopaleozoicas (F. Chancaní) y de las filitas (F. La Memela) del borde occidental de las Sas. Pocho y Guasapampa (Cba, Arg.). *Bol. Acad. Nac. Cs. Cba.* 53: 255-279.
- Iriondo M., 1987.** Geomorfología y Cuaternario de Santa Fe. *D'Orbignyana*, Nº 4, 54 pp. Corrientes, Argentina.
- Jordan T. y R. W. Allmendinger.** 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina; a modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. *American Journal Science* 286, 737-64.
- Kraemer P., Escayola M. y R. Martino.** 1995. Hipótesis sobre la evolución neoporterozoica de las Sierras Pampeanas de Córdoba. 30º LS 32º LS. Provincia de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 50: 47-59.
- Keeney D., 1986.** Sources of Nitrates to Ground Water. *CRC Critical Reviews. Environmental Control*, Vol.16, Nº. 3, pp. 257-304.
- Lee L. y Helsel D.** (2005) Baseline models in trace elements in major aquifers of the United States. *Applied Geochemistry* 20, 1560–70. In: *Natural Groundwater Quality*. Edited By W. Mike Edmunds and Paul Shand.2008. Blackwell Publishing Ltd. ISBN: 978-14051-5675-2
- Leibundgut C., Maluszewski P. y C. Külls, 2009.** *Tracers in hydrology*. Wiley Blackwell. ISBN 978-0-470- 51885-4. 410 páginas.
- Lema, M.** 1999. Estudio hidrogeoquímico de la Hoja La Brianza. Trabajo final de Licenciatura en Geología, UNRC. Inédito. Director: M. Blarasin y A. Cabrera.
- Lerner D. N.** 2004. *Urban Groundwater Pollution*. A.A. Balkema Publishers. 298 p. ISBN 0-203-97132-9. Le roux, 1988
- Lira R.** 1985. Tipología y evolución de rocas graníticas en su relación con el hem ciclo endógeno de la geoquímica del Uranio - Aspectos metalogenéticos – Sector septentrional del batolito de Achala, Cba. UNC. Tesis Doctoral. Inédita. 245 pp.

- López, M. G. y P. Sola**, 1981. Manifestaciones volcánicas alcalinas de los alrededores de Las Chacras y de la región de Villa-Mercedes- Chaján, provincias de San Luis y Córdoba. VIII Cong. Geol. Arg., San Luis. Actas IV: 967-978.
- Magnante L.** (2012). Variaciones morfológicas y morfodinámicas del arroyo El Cano en la última centuria. Causas e implicancias ambientales. Tesis de Licenciatura. Dpto de Geología. UNRC.
- Manzano M., Custodio E. y M. Colomines**. 2005. El fondo hidroquímico natural del acuífero de Doñana (SO España). V Congreso Ibérico de Geoquímica. IX Congreso de Geoquímica de España. Soria: Diputación Provincial. 1-13p.
- Manzano M., Custodio E. y P. Nieto**. 2003. El fondo natural de la calidad del agua subterránea. Primer seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la hidrología subterránea. Basile et al., (Eds.). Rosario. Argentina. Vol. 2: 607-620. ISBN 950-673-395-3.
- Martino R.** 1993. La faja de deformación "Guamanes"; petrología, estructura interna y significado tectónico, Sierra Grande de Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 48: 21-32.
- Martino R., Kraemer P., Escayola M., Giambastiani M. y M. Arnosio**. 1995. Transecta de las Sierras Pampeanas de Córdoba a los 32° S. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 50: 60-77.
- Massabié A.**, 1987. Neotectónica y sismicidad en la región de Sierras Pampeanas Orientales, Sierras de Córdoba, Argentina. X Congreso Geológico Argentino, Simposio de Neotectónica, p. 271-274. Tucumán.
- Matteoda E.** 2007. Evaluación hidrodinámica e hidrogeoquímica de la cuenca del arroyo El Barreal para establecer línea de base ambiental, con énfasis en la geoquímica del cromo. Doctorado en Ciencias Geológicas. 1º informe de avance. UNRC.
- Matteoda E., Blarasin M. y A. Cabrera**. 2005a. Caracterización geohidrológica ambiental de la cuenca media y alta del arroyo El Barreal. Elena. Córdoba. 10 pp. En: Aguas superficiales y subterráneas del sur de Córdoba: Una perspectiva geoambiental. Blarasin M., Degiovanni S., Cabrera A. y M. Villegas Compiladores. UNRC. ISBN: 950-665-350-X.
- Matteoda E., Blarasin M., Sender B. y J. Cantero**. 2005b. Comportamiento hidrológico del Sistema Humedal El Barreal y su importancia en la retención de cromo derivado de efluentes. Córdoba. Argentina. En: Relación aguas superficiales- aguas subterráneas. Blarasin M., Cabrera A. y E. Matteoda Compiladores. UNRC. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 11 pp. ISBN: 950-665-349-6.
- Matteoda E., Blarasin M., Damilano G. y Cabrera A.** 2007. Valores característicos del fondo natural de flúor y arsénico en aguas subterráneas en la cuenca del arroyo El Barreal, Córdoba. II Taller sobre arsénico en aguas. V Congreso Hidrogeol. Argentino. Entre Ríos. 31-41. ISBN: 978-987-23936-4-9.
- Matteoda E., Blarasin M., Damilano G. y A. Cabrera**. 2008. Contaminación por nitratos en el acuífero freático: análisis del fondo natural y relaciones con las actividades de uso del territorio. IX Congreso ALHSUD Quito, Ecuador.
- Matteoda E., Blarasin M., Cabrera A., Gómez L., Avalis F. y A. Rumie Vittar**, 2003. "Los ecosistemas rurales del Sur de Córdoba y la problemática del arsénico en el agua subterránea: aspectos generales y ejemplos en las cuencas del arroyo del Barreal y Chaján". Presentado en la IX Reunión Nacional de Arsénico. Organizado por el Ministerio de Salud de la Nación.
- Matteoda E., Blarasin M., Damilano G. y Cabrera A.** 2007. Valores característicos del fondo natural de flúor y arsénico en aguas subterráneas en la cuenca del arroyo El Barreal, Córdoba. "II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea". – Taller sobre arsénico en aguas: Hacia una integración de las investigaciones. Entre Ríos. ISBN: 978-987-23936-4-9



- Matteoda E., Blarasin M., Damilano G., Cabrera A. y J. Giuliano Albo.** 2009. Cromo en aguas subterráneas y superficiales en el entorno de una curtiembre, relación con valores de fondo natural. Elena, Córdoba. Boletín Geológico y Minero. España. 120: (4). 617-630. ISSN: 0366-0176.
- Matteoda E., Blarasin M. y A. Cabrera.** 2011. Hidrogeoquímica de un acuífero freático sedimentario. Relación con aspectos dinámicos, modelación geoquímica y procesos de mezcla. Córdoba. Argentina. VII Congreso Argentino de Hidrogeología V Seminario Hispano latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Salta. Argentina.
- Matteoda E. M., Blarasin M., Vives L., Cabrera A. y J. Felizzia.** 2011b. Modelación numérica del flujo de agua subterránea del acuífero freático sedimentario de la cuenca del arroyo El Barreal, Córdoba. ASAGAI. En prensa.
- Matteoda E. M. y M. Blarasin.** 2011c. Arsénico en aguas subterráneas en la zona rural de Elena, Córdoba. 1º Taller El Arsénico como factor limitante en la producción agrícola-ganadera". UBA
- Matteoda y Blarasin 2013;**
- Matteoda E., 2012.** Evaluación hidrodinámica e hidrogeoquímica de la cuenca del arroyo El Barreal para establecer línea de base ambiental, con énfasis en la geoquímica del cromo. Tesis doctoral. 397 pág. UNRC
- Matthess, G. and J. C. Harvey,** 1982. The Properties of groundwater. John Wiley and Sons. Ltd. London. 466 pp
- Mingorance F., 1988.** Caracterización sismotectónica de la falla Sampacho. Tesis de Licenciatura. Inédito. Dpto Geología. UNRC.
- Nicolli H., O'Connor T., Suriano J., Koukharsky M., Gómez Peral M., Bertini L., Cohen I., Corradi L., Baleani O. y E. Abril.** 1985. Geoquímica del As y de otros oligoelementos en aguas subterráneas de la llanura Sudoriental de Córdoba. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba.
- Nicolli H. B.,** 2006. Fuentes y movilidad del As en aguas subterráneas de la llanura Chaco-Pampeana de la Argentina. Taller de distribución de As en Iberoamérica. Red Temática 406 RT0282 IBEROARSEN. Centro Atómico Constituy. Bs. As. ISBN 84-96023-58-3. Pp 29.
- Nicolli H. B., Tineo A., García J. W. y Falcon C. M.** 2007. Presencia de As en las aguas subterráneas del sector Sur de la prov. de Tucumán, Arg. II Taller sobre As en aguas: origen, movilidad y tratamiento. V Congr. Hidrog. Arg. Río Cuarto. ISBN: 987-987-23936-4- 9. Pp 107-114.
- Nicolli H., Smedley P. L. y J. O. Tullio.** 1997. Aguas subterráneas con altos contenidos de F, As y otros oligoelementos en el Norte de La Pampa. Congreso Internacional del Agua. Bs. As. III 40.
- Nicolli H., Tineo, A., García J. y C. Falcón.** 2005. Caracterización hidrogeoquímica y presencia de arsénico en aguas subterráneas de la cuenca del río Salí, provincia de Tucumán, Argentina. Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. Galindo G., Fernandez Turiel J., Parada M. y D. Gimeno Torrente Editores.
- Nordstrom D. y J. Muñoz.** 1986. Geochemical thermodynamics. Blakwell Scientific Publications: 1-477.
- Olthoff, L. 2012.** Estimación de crecidas históricas mediante modelización numérica, basada en evidencias sedimentológicas y geomorfológicas, en el tramo medio del arroyo Tegua. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 151 p. Río Cuarto.
- Otamendi J.E., Fagiano M., Nullo F.E. y P. A. Castellarini.** 2002. Geología, petrología y mineralogía del granito Inti Huasi, sur de la Sierra de Comechingones, Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 57: 389-403. Pagliero (1999),



- Padula E. y A. Mingramm.** 1968. Estratigrafía, distribución y cuadro geotectónico sedimentario del triásico en el subsuelo de la Llanura Chaco-Paranaense. Actas III Jorn. Geol. Arg., Bs. As. 1:291- 331.
- Passotti P.** 1974. La Neotectónica en la llanura pampeana. Fundamentos para el Mapa Neotectónico. Inst. de Fisiografía y Geología. Publ. LVIII, UNR. Rosario. Arg.
- Patiño M. de y A. Patiño Douce,** 1987. Petrología y petrogénesis del batolito de Achala, Cba., a la luz de la evidencia de campo. Asoc. Geol. Arg., XLII(1-2), 201-205.
- Pinotti L., Coniglio J., Esparza D'Eramo, F. y E. Llambías.** 2002. Nearly circular plutons emplaced by stoping at shallow crustal level. Cerro Aspero Batholith, Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina. Journal of South American Earth Science, 15: 251-265.
- Poire D., Casali N., Sanchez M. L., Villegas M. y A. M. Combina,** 1989. Paleoambientes sedimentarios del cuaternario de la región de Río Cuarto, Cba., Arg. II Reunión del cuaternario Ibérico. Asoc. Española para el estudio del Cuaternario (AEQUA).
- Razowska-Jaworek L. y A. Sadurski,** 2005. Nitrates in groundwater. Balkema publishers. London, UK. ISBN 90 5809 664 5.
- Ramos V. A.** 1999. Rasgos Estructurales del Territorio Argentino. Geología Argentina. Anales 29 (24): 715-784. Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- Rapela C. W., Pankhurst R. J., Casquet C., Baldo E., Saavedra J. y C. Galindo,** 1998. Early evolution of the proto-andean margin of South America. Geology 26 (8) 707-710.
- Ravelo C.** 1990. PDIMES. Balance hídrico seriado - Indices de sequía y humedad del cultivo. Manual Teórico/operativo. Asociación Agronómica de Agrometeorología. 8 pág.
- Razowska-Jaworek L. y A. Sadurski,** 2005. Nitrates in groundwater. Balkema publishers. London, UK. ISBN 90 5809 664 5.
- Reddy K. y W. Patrick,** 1981. Nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediments. CRC Critical Reviews. Environmental Control, Vol. 13, No. 4, pp. 273-303.
- Reiman C. y P. Filzmoser.** 1999. Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data. Environmental Geology 39.1001- 1014. Springer-Verlag Ed.
- Reimann C. y R. G. Garrett.** 2005. Geochemical background – concept and reality. Science of the Total Environment, 350, 12–27. In: Natural Groundwater Quality. Edited By W. M. Edmunds and P. Shand. 2008. Blackwell Publishing Ltd. ISBN: 978-14051-675-2
- Renz H.** 1993. Caracterización Hidrogeológica preliminar del área central de Córdoba. Trabajo Final. UNC. Inédito. Córdoba. Argentina.
- Richards L. A.** 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook 60, 160 p. Rivas Gutierrez y Huerta Vega 2005
- Riverside** 1954. U.S. Salinity Laboratory Staff. Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. U.S. Department of Agriculture Handbook No 60. Washington.
- Robertson L.,** 1988. Aerobic denitrification and heterotrophic nitrification in *Thiophaea pantotropha* and other bacteria. PhD thesis, Delft University of Technology.
- Robertson L., Van Niel E., Torremans R. y J. Kuenen,** 1988. Simultaneous nitrification and denitrification in aerobic chemostat cultures of *Thiosphaera pantotropha*. Appl. Env. Microbial. 54: 2812-2818.
- Robertson L., Cornelisse R., CDe Vos P., Hadioetomo R. y J. Kuenen,** 1989. Aerobic denitrification in various heterotrophic nitrifiers. Antonie van Leeuwenhoek 56, 289-299.
- Rodriguez L. y Vionnet C.** (1997) Integración de los código Modflow y Kineros para la simulación de la integración río-acuífero. Congreso Nacional de Hidrogeología. Entre Rios 177-186. Ed. Diaz et al.
- Russo A., Ferello R. y G. Chebli.** 1979. Llanura Chaco Pampeana. Geología Reg. Argentina. Vol. I. Pp. 139-183.



- Sagripani G., Origlia D. y Campanella O.**, 1998. Sismicidad en una región de intraplaca. Cba. Arg. Actas Conf. Intern. Sistemas modernos de Preparación y Respuesta ante Riesgos Sísmicos, Volcánicos y Tsunamis". Chile. pp. 281 - 293.
- Santa Cruz J. N.**, 1972 a. Geología al Este de la sierra Chica (Córdoba) Valle del río Primero. Boletín de la Asociación Geológica de Córdoba. Tomo 1: 3-4.
- Schoeller H.** 1962. Les eaux souterraines. Ed. Masson. París.
- Smedley P.**, 1996. Arsenic in rural groundwater in Ghana. Journal of African Earth Sciences. Vol. 22, 4, p p. 459-470.
- Sparks D.**, 1987. Nitrate retention as it affects groundwater pollution in Mid-Atlantic Soils. Department of Plant Science, University of Delaware, New-ark, Delaware.
- Stumm W. y J. J. Morgan.** 1981. Aquatic chemistry-an introduction emphasizing chemical equilibria in natural water. John Wiley and Sons. 2da Ed.: 1-780.
- Usunoff E.** 1994. Ejemplos de aplicación del análisis multivariado en estudios hidroquímicos. En: Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. E. Bocanegra y A. Rapaccini Eds. Univ. Nac. Mar del Plata - CFI p. 273-286.
- Viero A.P., Roisenberg C., Roisenberg A. y A. Vigo.** 2009. The origin of fluoride in the granitic aquifer of Porto Alegre, Souterhn Brazil. Environmental Geology, v. 56, p. 1707- 719.
- Villar, L.**, (1975). Las fajas y otras manifestaciones ultrabásicas de la República Argentina y su significado metalogenético. 2º Congreso Iberoamericano de Geología Económica, 3 : 135-156
- Vivona R., Preziosi E., Madé B. y G. Giuliano.** 2007, Occurrence of minor toxic elements in volcanic-sedimentary aquifers: a case study in central Italy: Hydrogeology Journal, 15(6), 1183-1196.
- Walter T.** 2006. An automated Excel-tool to determine geogenic background values using a probability net. Poster 06- Landsematfür Umwelt.Saarbrücken. Germany.
- Webster R., Chebli G. y J Fischer**, 2002. La Cca. Gral. Levalle, Arg.: un rift Cretácico inferior en el subsuelo. V Congr. Exploración y Desarrollo Hidrocarburos. IAPG, CD, Mar del Plata.
- Webster R., Chebli G. y J Fischer**, 2004. General Levalle Basin, Argentina: a Frontier Lower Cretaceous Rift Basin. American Assoc. of Petroleum Geologists Bulletin, V.88, 5:627-652.
- White I. C.** 1908. Relatorio da Comissao das Minas de Carvao de Pedra do Brasil. Imprensa Nacional. Río de Janeiro.
- Yrigoyen M.**, 1969. Problemas estratigráficos del Terciario de Arg. Ameghiniana 6(4):315-329.