

75055

ECHEVARRIA, KARINA VANESA

Evaluación de variables condicionantes de calidad vitamínica e integración en un diet

2016

75055



CREER...CREAR...CRECER

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

TESIS DOCTORAL

“EVALUACIÓN DE VARIABLES CONDICIONANTES DE CALIDAD HIDROAMBIENTAL E INTEGRACIÓN EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMO BASE PARA LA GESTIÓN TERRITORIAL. VILLA DOLORES, CÓRDOBA”

DOCTORADO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

Ing. en Recursos Naturales y Medio Ambiente Karina ECHEVARRIA

Directora: **Dra. Susana B. Degiovanni.** Dpto. de Geología. Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto.

Codirector: **Dr. Mauricio Quiroz Londoño.** Centro de Geología de Costas, Universidad Nacional de Mar del Plata.

JURADO

Dra. Ofelia Tujchneider

Dr. Eduardo Diaz

Dr. Carlos Schulz

AÑO 2015

73055

MFN:
Clasif:
T_ 1000

AGRADECIMIENTOS

Qué raro y difícil llegar a este momento. Una mezcla de sensaciones encontradas me invaden: alegría, tristeza, cansancio, aunque con muchas ganas de empezar algo nuevo (otros proyectos, otra zona y por suerte la misma gente).

Al hacer un repaso de estos 4 años, considero que soy una persona con mucha suerte, ya que no sólo hago lo que me gusta, sino que me he rodeado de personas a las que admiro profesionalmente y a las que quiero mucho. Es por eso, que todo lo que pueda decir, es mínimo en comparación con lo que siento y no me alcanzan las palabras para decir GRACIAS!!!!.

Gringa (Susana Degiovanni): es imposible empezar a escribir y que no se me caigan las lágrimas, siento tanto orgulloso de decir que sos mi directora (y no sólo por lo profesional sino también por tu calidez humana). Son tantas tus enseñanzas que no sé por dónde empezar y todo lo que pueda decir, es poco. GRACIAS por todo lo que me enseñás profesionalmente y con tanta pasión, por las horas que pasaste sentada al lado mío explicándome cosas básicas de la geología, por los días de campo de los cuales aprendí muchísimo. GRACIAS por tu paciencia, por mantener SIEMPRE tu buena onda, no importa que estés cansada, con mil cosas, que sea sábado o domingo, siempre estás de buen humor y le miras el lado positivo a cualquier situación ¿Sabes lo lindo que es trabajar en un ambiente así?. GRACIAS por hacerme sentir que se puede y por confiar en mí (aún más que yo). GRACIAS a vos y a tu familia por haberme abierto las puertas de tu casa y hacerme sentir que los conozco de toda la vida. GRACIAS por tus consejos de amiga y muchas veces desde un lugar de mamá. En síntesis, MIL GRACIAS por estar de forma incondicional conmigo.

A Mauricio Quiroz Londoño, mi co-director: GRACIAS por todo lo que me enseñaste en relación a los SIG, por tus correcciones, sugerencias, por estar siempre que te necesité aun cuando el tiempo apremiaba. Significó mucho para mí, aquel primer encuentro, donde en tres días aprendí mucho sobre bases de datos y fue fundamental para el resto de los cursos que realicé. GRACIAS porque junto con Asun, me hicieron sentir muy bien las veces que viaje a Mar del Plata.

A Moni (Mónica Blarasin), a la que siento como una co-directora más. Desde el primer momento que empecé con la beca, me dijiste que me ibas a ayudar, que ibas a ir al campo con nosotras y así fue. GRACIAS por tus enseñanzas, por tus consejos, por todas las veces que me alentaste y por todas las horas que pasaste al lado mío explicándome sobre hidrogeología y geología en general. Cuando te conocí, en el 2007, estaba fascinada por realizar un curso tuyo y desde ese día sentí mucha admiración por lo que haces y por la pasión que le pones a cada una de tus clases/viajes de campo. Por todo, MIL GRACIAS!!!.

A los Dres. Ofelia Tujchneider, Eduardo Diaz y Carlos Schulz, jurados de esta Tesis, por sus aportes y sugerencias para mejorar el manuscrito final.

A Jime (Jimena Andreazzini) por tu amistad y por hacerme sentir una más desde el primer día que llegué a la oficina. Me siento muy feliz de compartir tantas horas con vos y con Gringa, donde siempre prevalece el buen humor y la buena onda!!!. GRACIAS por

abrirme las puertas de tu casa y por dejarme compartir hermosos momentos con vos y con la "pequeña" Emma.

A las chicas de hidro: Moni, Edel, Adri, Jesi, Fati, Luci, Vero, Lau y Marian. GRACIAS por sus consejos, por la predisposición a ayudarme en todo momento, por levantarme el ánimo cuando siento que las cosas no están del todo bien, por compartir mis alegrías y mis tristezas y por la infinidad de charlas a la hora del almuerzo. GRACIAS por hacerme sentir una más del grupo!!!.

A Héctor, Mario, David y Oriel, con quienes compartí mis primeros dos años de beca en Córdoba. GRACIAS por abrirme las puertas de la oficina de hidrogeología, por la confianza, el compañerismo y la calidez humana. GRACIAS a Mario y a David por haberme acompañado al campo, por lo que me ayudaron y compartieron conmigo día a día. Me llevo los mejores recuerdo de Uds!!!.

A los geólogos Daniel Origlia, Carlos Eric, Mónica Villegas, Juan Felizzia, Osvaldo Campanella y Nelso Doffo, por haberme acompañado al campo y/o ayudado en la tesis.

A todas las personas de la zona de Villa Dolores, que me abrieron sus puertas para que pueda tomar una muestra de agua o me brindaron datos. Quiero agradecer a los Sres. Villarreal, Magris y muy especialmente al Sr Rafael Manduca, quién mensualmente me envió datos de precipitaciones. A la ONG Prevenir, a Carlos Viale y al Ing. Gasser, por sus valiosos aportes.

A MINCYT Córdoba y a FONCYT por haber financiado en su totalidad, cursos, viajes de campo, análisis de muestras, etc, que se llevaron a cabo en el marco de la presente tesis. A CONICET por los dos años de beca que me permitieron finalizar la tesis.

A la UNRC por permitirme hacer el Doctorado y brindarme un lugar de trabajo.

A la UNC por permitirme trabajar los dos primeros años de beca.

A los futuros geólogos: Cele, Dana, Dani, Euge, Franco, Joaquín, Marina, Miguel, Noe y Vir, "mis compañeritos" de geomorfo jaja. GRACIAS porque, a pesar de la diferencia de edad, siempre me sentí muy cómoda con Uds, tanto en las clases como en las salidas de campo.

A mis amigas, GRACIAS por estar presente en cada momento. Especialmente a Mariana, que quizás por haber emprendido el mismo camino, entiende más que nadie, mis dudas, mis nervios, mis alegrías y tristezas en relación a la tesis.

Por último, y no por eso menos importante, al contrario, si hubiese comenzado por ellos, no podría haber continuado con los agradecimientos: a MI FAMILIA, mi pilar en esta vida. GRACIAS por su apoyo incondicional, por entender cada vez que no pude viajar o no pude estar en alguna fecha importante. A mis papás Mirta y Raúl, por su infinito amor, por creer en mí, apoyarme en cada decisión, por mostrarme con su ejemplo el camino de la honestidad, el esfuerzo y el trabajo..... y así podría continuar indefinidamente ya que es mucho lo que tengo que agradecerles. A mis hermanas Mayra y Sofía, por su amor, por sus palabras y apoyo, por completar mi vida, sin Ustedes no sería lo mismo. A mi sobrina Malena que me dio el título más lindo y valioso de mi vida, el de tía (creo que con eso digo

todo lo que significa para mí). A mis tías, primas/primo, abuela y cuñado que siempre están ahí, para apoyarme en mis logros y fracasos.

MIL GRACIAS a todos!!!!. Si me olvide de nombrar a alguien, pido disculpas!!!

INDICE

AGRADECIMIENTOS	I
INDICE	IV
PREFACIO	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes e identificación del problema	3
1.2. Ubicación área de estudio	7
1.3. Hipótesis	9
1.4. Objetivo general	9
1.5. Objetivos específicos	9
Capítulo 2. MATERIALES Y MÉTODOS	11
Capítulo 3. BASE DE DATOS	19
3.1. Elaboración de la Geodatabase	21
3.1.1. Diseño de la base de datos hidrológica local	21
3.1.2. Información cartográfica generada	32
Clima 4. CLIMA	35
4.1. Caracterización climática regional	37
4.1.1. Precipitaciones, Evapotranspiración potencial y real	37
4.1.2. Temperaturas	38
4.2. Características climáticas locales	39
4.2.1. Precipitaciones	40
4.2.2. Temperatura	43
4.2.3. Evapotranspiración Potencial y Balances Hídricos	43
4.2.3.1. Evapotranspiración Potencial	43
4.2.3.2. Balance Hídrico Modular	44
4.2.3.3. Balance Hídrico Seriado	45

Capítulo 5. GEOLOGÍA	49
5.1. Contexto geológico regional	51
5.2. Contexto geológico local	55
5.2.1. Geología de superficie	55
5.2.1.1. Estratigrafía	55
5.2.1.1.1. Descripción de unidades formacionales	55
5.2.1.1.2. Descripción de perfiles aflorantes	67
5.2.1.2. Principales sistemas de estructuras	78
5.2.2. Geología del subsuelo	80
5.2.2.1. Descripción de transectas	81
Capítulo 6. GEOMORFOLOGÍA	91
6.1. Caracterización geomorfológica regional	93
6.2. Caracterización geomorfológica local	96
Capítulo 7. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	109
7.1. Caracterización hidrológica regional	111
7.2. Caracterización hidrológica local	112
7.2.1. Cuenca de drenaje	112
7.2.2. Hidrometría	118
- Estimación de caudales de crecidas	122
Crecidas asociadas a ríos regulados por presas	126
7.2.3. Calidad del agua superficial	127
Capítulo 8. EDAFOLOGÍA	131
8.1. Características edáficas locales	133
Capítulo 9. USO ACTUAL DEL SUELO	139
Capítulo 10. HIDROGEOLOGÍA	151
10.1. Aspectos hidrogeológicos e hidroquímicos regionales	153
10.2. Aspectos hidrogeológicos locales	157
10.2.1. Hidrolitología e hidráulica	157
10.2.1.1. Parámetros hidráulicos	161

10.2.2 Captaciones existentes en el área de estudio	164
10.2.3. Hidrodinámica	165
- Variación de niveles estáticos	169
10.2.4. Hidrogeoquímica	171
10.2.4.1. Clasificación geoquímica	174
Capítulo 11. CALIDAD HIDROAMBIENTAL	177
11.1. Introducción	179
11.1.1. Medio ambiente, sociedad y problemas ambientales	179
11.1.2. Peligro, vulnerabilidad y riesgo	181
11.2. Problemática ambiental del área de estudio	183
11.2.1. Problemas ambientales identificados	183
11.3. Análisis hidroambiental	184
11.3.1. Sistemas hidrológicos superficiales	184
11.3.1.1. Riesgo de inundación/avenidas	184
-Marco conceptual y metodológico empleado	184
Determinación del riesgo de inundación/avenidas a escala regional	187
- Análisis de la Susceptibilidad	187
Tratamiento de las distintas variables	189
- Análisis de la vulnerabilidad	204
- Análisis del riesgo de inundación/avenidas	206
Determinación del riesgo de inundación/avenida a escala de detalle	206
Arroyo Chuchiras	208
- Análisis de peligrosidad	208
- Análisis de vulnerabilidad	211
- Análisis del riesgo	212
Río de Los Sauces en el tramo urbano de Villa Dolores, Villa Sarmiento y San Pedro	213
- Análisis de peligrosidad	213
- Análisis de vulnerabilidad	215

- Análisis de riesgo	216
11.3.2. Sistema hidrológico subterráneo	217
11.3.2.1. Vulnerabilidad a la contaminación acuífero libre	217
Desarrollo conceptual del riesgo, peligro y vulnerabilidad	217
Metodologías de estudio y mapas de vulnerabilidad	218
Método GOD	219
Determinación de la Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero freático en la zona de Villa Dolores	220
11.4. El agua como fuente de recurso	224
11.4.1. Fondo natural de la composición físico-química del agua como base de línea ambiental	224
11.4.1.1. Introducción	224
11.4.1.2. Metodología para el cálculo de Fondo Natural	226
11.4.1.3. Cálculo del fondo natural de nitratos en la zona de estudio	227
11.4.2. Aptitud de uso del recurso hídrico	230
- Consumo humano	232
- Consumo ganadero	235
- Riego	237
Capítulo 12. CONCLUSIONES	243
BIBLIOGRAFÍA	253
ANEXOS	271

PREFACIO

La presente tesis ha sido realizada durante el período 2011-2015 y se presenta como requisito para obtener el grado de Doctor en Ciencias Geológicas según las disposiciones vigentes en la Carrera de Posgrado de la Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC). Para su desarrollo se utilizaron las instalaciones del Departamento de Geología Aplicada – Cátedra de Hidrogeología de la UNC (años 2011 a 2013) y del Departamento de Geología – Oficina de Geomorfología de la UNRC (años 2013 a 2015). La misma fue financiada en su totalidad por los siguientes proyectos:

- **Año 2011-2015: Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID) 35/08 "Dinámica, calidad y reservas de aguas subterráneas de la provincia de Córdoba: potencialidad para usos productivos y sociales"**, subsidiado por Foncyt y Mincyt Córdoba. Investigadora Responsable: Dra. M. Blarasin. Miembros del grupo responsable: Dra. S. Degiovanni y Geólogo H. Frontera.

- **Año 2013-2015: PPI C398/12 "Modelo de funcionamiento hidrológico ambiental de geosistemas serranos, pedemontanos y de llanura"**. Directora: Dra. Susana Degiovanni, Co-Directora: Dra. Mónica Blarasin. Subsidiado por Secretaría de Ciencia y Técnica - Universidad Nacional de Río Cuarto.

RESUMEN

El comportamiento de los sistemas hidrológicos está condicionado por factores naturales (geológicos-geomorfológicos, climáticos, bióticos) y antrópicos, los cuales actúan con distinto grado de magnitud y a distintas escalas espacio- temporales. La gestión sustentable de estos sistemas complejos requiere comprender su funcionamiento integralmente, para intervenir adecuadamente y prever tendencias de cambio futuras. En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), constituyen una herramienta informática dinámica, que permite almacenar, integrar e interrelacionar un elevado número de datos y obtener diferentes expresiones cartográficas. El objetivo de esta Tesis es efectuar la caracterización hidroambiental e identificar los factores que controlan el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico del agua superficial y subterránea de la zona de Villa Dolores (Traslasierras, Córdoba), donde los problemas vinculados a los sistemas hidrológicos derivan de su creciente utilización para riego, fundamentalmente, y de los peligros y riesgos de inundación/avenidas en el área pedemontana, integrando la información en un SIG, con el propósito de contribuir a mejorar la gestión de estos recursos. El clima es mesotermal semiárido (a excepción de las Sas. Grandes, 900 mm PMA), con una precipitación media anual de 628 mm concentrada en primavera-verano (77%). La región está conformada por megabloques de basamento cristalino que constituyen cordones montañosos y depresiones intermontanas. Hacia el Este se sitúan las Sierras Grandes, de Pocho y Altautina, ambientes denudativos que, en general, presentan altas pendientes, y distintos niveles de abanicos aluviales adosados. Hacia occidente, en la cuenca intermontana, se desarrolla una planicie de menor gradiente construida principalmente por secuencias psefíticas y psamíticas pertenecientes a los paleoabanicos aluviales del río de Los Sauces y otros menores y, secundariamente, por depósitos loésicos/arenosos muy finos. Los aspectos geológicos-geomorfológicos y las características climáticas del área son las variables que mejor explican la dinámica y calidad del agua superficial y subterránea. Así, los principales arroyos que drenan las Sierras Grandes son permanentes, torrenciales, de alta energía, conforman sistemas distributarios en el sector pedemontano y, en algunos casos, se infiltran recargando al acuífero libre. El río de Los Sauces, es el colector principal, desarrolla una faja fluvial meandriforme y descarga en la depresión de las Salinas Grandes. Está controlado por el Embalse Medina Allende desde la década del '40. Los caudales medidos en general son bajos (0,003- 1,41 m³/seg) alcanzando en crecidas extraordinarias valores estimados del orden de 200 m³/seg. Las aguas superficiales son dulces y predominan las bicarbonatadas cálcicas. Se definieron dos sistemas acuíferos sedimentarios detríticos: el *acuifero Villa Dolores*, en la zona pedemontana, es menos profundo, tiene un espesor aproximado de 30 m, está constituido por materiales gruesos con alta proporción de finos intercalados y se extraen caudales del orden de 10 m³/h. El *acuifero Los Cerrillos*, hacia el centro-Oeste, es profundo, potente (150 m), dominan materiales gruesos y se pueden extraer caudales muy elevados (máximo 400 m³/h). El sentido del flujo subterráneo es Este-Oeste, con profundidades del nivel freático variables entre 20 - 30, 80 y 16 m, en el sector oriental (recarga), central (tránsito) y occidental (descarga), respectivamente. Las aguas subterráneas en general son dulces, bicarbonatadas cálcicas, en el acuífero Los Cerrillos, y sulfatadas y cloruradas en el acuífero Villa Dolores. La *calidad hidroambiental* del área es *moderadamente alta a alta*, existiendo diferencias entre los sistemas subterráneos y superficiales: a) ambos presentan buena aptitud para consumo humano y riego, siendo deficiente en sales para consumo ganadero, pero la disponibilidad es potencialmente alta en los primeros y restringida, en los segundos; el acuífero libre, presenta una vulnerabilidad predominantemente media a moderadamente alta a la contaminación; b) a escala regional, la zona tiene peligro de inundación/avenida *moderadamente bajo a bajo*, los *sitios más peligrosos*, se asocian a los cursos principales y a los abanicos distales de los arroyos pedemontanos. A escala de detalle, el río de Los Sauces, tiene *peligro alto a moderadamente alto* en su faja fluvial durante crecidas de los arroyos Las Tapias, Seco y Cóndor Huasi, y *peligro de inundación inducido* por la apertura de compuertas del Embalse Medina Allende. El arroyo Chuchiras es el de mayor peligrosidad en el área pedemontana. El *riesgo es alto* sólo en centros poblados y rutas principales cercanos a cursos de agua. La zona serrana y pedemontana, aun preservan un *valor paisajístico moderadamente alto a alto*. Se observa pérdida de naturalidad y focos de contaminación, especialmente en la faja fluvial del río de Los Sauces en el tramo comprendido entre Piedra Pintada y el área urbanizada de Villa Dolores, Villa Sarmiento y San Pedro.

ABSTRACT

Behavior of water systems is determined by natural (geological-geomorphological, climatic, biotic) and anthropogenic factors, which act with different degrees of magnitude and at different spatio-temporal scales. The sustainable management of these complex systems requires fully understand how it works, to adequately intervene and to forecast trends for future change. In this context, Geographic Information Systems (GIS) constitute a dynamic software tool, which allows you to store, integrate, and interrelate a large number of data and to get different cartographic expressions. The aim of this Thesis is to make the hydro-environmental characterization and to identify the factors controlling the hydrodynamic and hydrochemical surface water and groundwater behavior in the area of Villa Dolores (Traslasierras, Córdoba), where problems associated with water systems stem from their growing use for irrigation, basically, and from the hazards and risks of flooding/flash floods in the foothill area, by integrating information in a GIS, with the aim of contributing to a better management of these resources. The climate is mesothermal semi-arid (except for Sierras Grandes, 900 mm MAP), with an annual rainfall of 628 mm concentrated in spring-summer (77%). The region is made up of crystalline basement megablocks constituting mountain ranges and intermontane depressions. Sierras Grandes, Pocho and Altautina, which are denudative environments generally having high slopes and different levels of alluvial fans are located eastward. A plain of lower gradient, mainly built of psamitic and psamitic sequences belonging to Los Sauces and other minor rivers alluvial paleofans and, secondly, of very fine loess/sandy deposits is developed westward, in the intermountain basin. Geological-geomorphological and climatic characteristics of the area are the variables that best explain the dynamics and quality of surface and groundwater. Thus, the main streams draining the Sierras Grandes are permanent, torrential, high energy, make tributary systems in the piedmont sector and, in some cases, infiltrate recharging the unconfined aquifer. Los Sauces River is the main collector, develops a belt meandering river and discharges in Salinas Grandes depression. It is controlled by the Medina Allende Dam since the 40s decade. The measured flow rates are generally low (0.003-1.41 m³/sec), reaching estimated values of 200 m³/sec in extraordinary floods. Surface waters are sweet and dominated by calcium bicarbonate. Two detrital sedimentary aquifer systems were defined: the aquifer Villa Dolores, in the foothill area is shallow, having a thickness of about 30 m, it consists of coarse materials with a high proportion of fines intercalated ones, and flows of around 10 m³/h are extracted. Center-westwards, the aquifer Los Cerrillos is deep, having a thickness of about 150 m, dominated by coarse sediments and with very high flow rates (up to 400 m³/h). The groundwater flow direction is east-west, with water table depths ranging between 20 to 30 m in the eastern sector (recharge), 80 m in the central region (transit) and 16 m in the western region (discharge). Groundwater is generally sweet, calcium bicarbonate in the aquifer Los Cerrillos, and sulphates and chlorides in the aquifer Villa Dolores. The hydro-environmental quality of the area is moderately high to high, and there are differences between surface and groundwater systems: a) both have good aptitude for human consumption and irrigation, being deficient in salts for livestock consumption, but availability is potentially high for the first ones and restricted for the second ones; the unconfined aquifer has a predominantly medium to moderately high vulnerability to pollution; b) at regional level, the area has moderately low to low flood/avenue hazard, and most dangerous sites are associated with main courses and the distal fans of piedmont streams. At the level of detail, the Los Sauces River has high to moderately high hazard during floods of streams Las Tapias, Seco and Condor Huasi, and an induced flood hazard due to opening of floodgates of Medina Allende Dam. The Chuchiras creek has the highest hazard in the foothills area. The risk is high only in population centers and main roads near watercourses. The mountain and foothill areas still preserve a moderately high to high landscape value. Loss of naturalness and sources of pollution, especially in the river band of Los Sauces River, in the section between Piedra Pintada and the urbanized area of Villa Dolores, Villa Sarmiento and San Pedro, are detected.



CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES E IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Los procesos de gestión de los recursos hídricos y del ambiente en general, involucrados en programas de desarrollo sustentable, necesitan comprender, lo más integralmente posible el funcionamiento de los sistemas considerados, no sólo para intervenir adecuadamente, sino para anticipar o prever escenarios futuros, es decir definir las tendencias de los cambios ambientales. El comportamiento de los sistemas hidrológicos está condicionado por factores naturales y antrópicos, los cuales actúan con distinto grado de magnitud y a distintas escalas espaciales y temporales. Los primeros, incluyen a las variables geológicas y climáticas y son considerados de primer orden, ya que los aspectos estructurales-litológicos-geomorfológicos de una región sumados a su régimen climático determinan la dinámica y calidad de las aguas superficiales y subterráneas (Splinter et al., 2010; Wang y Chia, 2008; Wang y Mang, 2010; Blarasin et al., 2004; Ramonell et al., 2009; Doffo y Bonorino, 2005; Cabrera, 2009, Edmunds y Shand, 2008). Entre los segundos se destaca la influencia que el modo de ocupación del territorio y el uso al que se someten los recursos naturales, tienen en el comportamiento del ciclo del agua (Gregory, 2006; Macklin y Lewin, 2008; Gates et al, 2008; Houben et al., 2009; Gell et al., 2009; Blarasin et al., 2005, entre otros).

La convergencia de estudios geológicos, geomorfológicos, hidroestratigráficos, hidrodinámicos e hidroquímicos permite definir el modelo conceptual de funcionamiento hidrológico de una zona específica. El mismo, contribuye a comprender las posibles entradas, salidas e interrelaciones entre los componentes del sistema hidrológico, permitiendo sentar las bases para su correcto uso, manejo y protección (Lin et al., 2007; Brown, 1995; Loheide y Booth, 2011; Blarasin, 2003; Cabrera, 2009).

Durante el siglo XX, y de modo creciente, la sociedad ha ido percibiendo la incidencia que los cambios ambientales, vinculados a causas naturales y diferentes estilos de desarrollo, tienen sobre el funcionamiento de la mayoría de los sistemas terrestres y, como esto repercute sobre la calidad de vida de la población. Desde tiempos inmemoriales el hombre se ha asentado en áreas cercanas a cuerpos de agua con el propósito de satisfacer diversas necesidades: disponibilidad de agua para consumo humano, navegación, riego, generación de energía, vertido de desechos, entre las principales. De este modo, ha ocupado áreas, en algunas oportunidades, con un escaso conocimiento del funcionamiento de los sistemas naturales y, en especial, en relación a los recursos hídricos, esto ha potenciado los peligros y riesgos asociados (erosión e inundación fluvial, contaminación de acuíferos, anegamiento por ascenso del nivel freático, entre otros). Las investigaciones científicas realizadas, desde una perspectiva holística, indican que los sistemas hidrológicos

superficiales y subterráneos tienen, en general, alta sensibilidad a cambios ambientales, siendo numerosos los trabajos que atestiguan los diferentes modos de respuesta, sensibilidad y comportamiento de estos sistemas ante perturbaciones en las variables de control (Schumm, 1969; Downs y Gregory, 1993; Hooke, 1997; Brandt, 2000; Hafez, 2002; Surian y Cisotto, 2007; Macklin y Lewin, 2008; Conesa García et al., 2008; Vrba y Lipponen, 2007; Edmunds y Shand, 2008).

Entre los peligros y riesgos asociados a los sistemas fluviales, el de inundación adquiere mucha relevancia por la magnitud alcanzada, tanto en áreas afectadas, como en costos involucrados. Estos procesos naturales, muchas veces perturbados o modificados por la acción del hombre, operan sobre la superficie terrestre, en una relación marcada de interdependencia, es decir afectan y son afectados por esa superficie, al igual que otros procesos geomorfológicos. El término inundación puede ser especificado en términos de magnitud y frecuencia del flujo (hidrológica), incluyendo eventos de mucha variabilidad espacio-temporal, desde aquellos rápidos y concentrados (aluviones, inundaciones de tipo avenida) típicos de zonas pedemontanas, hasta los que afectan grandes extensiones y el tiempo de permanencia del agua es largo, como ocurre en las zonas de llanura. Por otra parte puede caracterizarse considerando las consecuencias prácticas, tales como el daño a propiedades, la biota, el paisaje y otros elementos del ambiente (Baker, 1994). Hay numerosos antecedentes lamentables a nivel mundial sobre las inundaciones, que causaron no sólo cuantiosas pérdidas económicas sino importantes pérdidas de vidas humanas, en muchos casos potenciadas al modo de ocupación de los ambientes fluviales. En nuestro país se registran variadas formas de ocupación permanentes de planicies fluviales activas, desde las exclusivamente urbanas, hasta las agrícolas, fruti-hortícolas, recreativas, entre otras. Estas ocupaciones se fueron potenciando en los últimos 40 años, con el desarrollo demográfico del país, la construcción de grandes presas en algunos casos, entre otros (Bosisio, 2011). A este escenario cambiante hay que sumarle la variabilidad climática que se manifiesta en Argentina, desde 1970, a través de la ocurrencia de extremos climáticos (Latrubesse y Brea, 2010). En este contexto adquieren relevancia y merecen mencionarse en las últimas décadas, las inundaciones ocurridas en diferentes partes de Argentina como, San Carlos Minas (1992), Mina Clavero (1993), Tartagal (2006, 2009), río Neuquén (2006), Santa Fe (2003), Villa María, Bell Ville (2014), Rodeo- Catamarca (2014), entre otras. El común denominador de estos sucesos ha sido la *convergencia de un evento de crecida extraordinaria en una planicie aluvial, junto a una importante ocupación antrópica de su entorno*. En la provincia de Córdoba, desde hace más de una centuria, los cursos de agua han sufrido distinto grado de antropización, proceso acelerado en las últimas décadas debido principalmente a la creciente agroclaturización y, secundariamente, al crecimiento

urbanístico, en particular en las áreas serranas y pedemontanas. En la zona de Traslasierras ambos procesos cobraron relevancia en las últimas décadas, siendo cada vez más extensas las áreas cultivadas en las planicies extraserranas, así como también las ocupadas por urbanizaciones en el sector serrano-pedemontano. Las principales localidades turísticas se asientan a la vera de los cursos de agua, los que a su vez han sido intervenidos con obras hidráulicas (embalses, diques y canales), para riego, generación de energía, y consumo humano. Esto trajo como consecuencia problemas ambientales de diferente tipo y magnitud, que requieren de información más detallada e integrada para su abordaje y resolución.

Desde el punto de vista de la calidad del agua tanto superficial como subterránea, ambas están siendo impactadas por acciones humanas en forma creciente, por ello la importancia de reconocer su extensión y las características de los valores de fondo de su calidad (Edmunds y Shand, 2008; Blarasin et al., 2006). Esta información sirve como punto de inicio en la identificación de potenciales problemas de contaminación y como base para su manejo sustentable. Específicamente en el caso del agua subterránea, existe una pobre percepción y entendimiento de su funcionamiento, lo que dificulta la implementación de políticas asociadas al aprovechamiento y protección de este recurso.

El Decenio Internacional para la Acción, «El agua, fuente de vida» (2005-2014) establecido por Naciones Unidas, es una oportunidad excelente para que la comunidad internacional avance hacia un enfoque integral en la gestión del agua del planeta que garantice un uso sostenible para las generaciones futuras (WWAP, 2006). Actualmente, más del 80% del agua en el mundo es dedicada al riego con el fin de garantizar la producción de alimentos (Martínez et al., 2010). La provincia de Córdoba, en el marco del *Plan Agua Para Todos*, tiende a cumplir con uno de los objetivos de Desarrollo del Milenio, esto es, asegurar un medio ambiente sostenible disminuyendo la población sin acceso al agua potable. Exceptuando el agua para consumo humano, las demás demandas deberán ser satisfechas conforme a las prioridades establecidas en el Acuerdo Federal, ya contemplado en la Provincia dentro del marco de Código de Aguas, Decreto Ley 5589. Un uso creciente del agua en esta provincia, especialmente la procedente de los acuíferos, está vinculado a riego, lo que ha generado en muchos casos conflictos de uso que deben ser evaluados en el contexto de una planificación integrada estableciendo prioridades en orden de interés público. En este marco, la provincia de Córdoba desde el año 2010, a través de un proyecto de investigación y desarrollo (PID 35/08) viene desarrollando estudios destinados a evaluar la dinámica, disponibilidad, calidad y potencialidad del agua subterránea para diferentes usos a fin de promover una planificación y gestión integral del recurso hídrico tanto

superficial como subterráneo. Como resultado de este proyecto puede citarse a Blarasin et al. (2014).

En los estudios o evaluación de los recursos hídricos, la escasez o falta de adecuación de los datos a las necesidades de gestión es todavía uno de los retos fundamentales para lograr este objetivo (Acreman, 1999; USGS, 1998; Llamas et al., 2000), por lo tanto dentro de los proyectos hidrológicos, los datos deben ser considerados como un recurso estratégico, debiéndose asegurar su continuidad temporal, lo cual garantiza su existencia y utilidad más allá de los objetivos del proyecto que los genera.

En este sentido los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen uno de los campos más dinámicos y novedosos de aplicación de la informática al ambiente en las últimas 4 décadas, con un indudable efecto sobre la sociedad (Buzai, 1998; Ciminari et al., 2003). La principal ventaja de este tipo de sistemas radica en que además de permitir la representación del mundo real a partir de bases de datos digitales, almacenan y dan integridad a los datos, permitiendo analizar y comparar diferentes temáticas asociadas espacialmente. Estas características hacen posible definir la variación de componentes del sistema en el tiempo y su posible interacción. En todas las aplicaciones, los SIG son usados como elemento clave en la integración y análisis espacial de datos multiparamétricos y, por otra parte, son utilizados para generar algunos mapas temáticos, cálculos algebraicos, consultas y búsquedas. La puesta en marcha de un SIG, a diferencia de algunos sistemas informáticos, sea cual fuera su objetivo requiere de una serie de datos iniciales. El uso conjugado de las técnicas y herramientas SIG con las de sensores remotos aparece como una de las aplicaciones más comunes de estos sistemas en diversas disciplinas, específicamente, en hidrogeología, en la delimitación de zonas de recarga (Wendland et al., 2003; Carrera Hernández y Gaskin, 2007; Shaban, 2005; RaviShankar y Mohan, 2006; Minor et al., 2007; Saraf y Choudhury, 1998; Sarah et al., 2007). Por su parte, Esteller et al. (2003), Massone et al. (2008), Dimitriou y Zacharias (2006), Sener et al. (2009), Baalousha (2006) y Raj Pathak et al. (2009), utilizan la potencialidad ofrecida por los SIG de realizar operaciones matemáticas entre distintas coberturas para elaborar mapas de vulnerabilidad intrínseca de acuíferos, mientras que Gogu et al. (2001), Gossel (2004), Gemitzi y Tolikas (2004) aplican los SIG como elemento integrador de información como insumo de modelos numéricos.

En diversos trabajos sobre hidrología superficial, como los desarrollados por Reyna et al. (2007), Lopez Lopez y Delgado Soriano (2009), PLANINPA (2010), Domenech et al. (2011), Gonzalo Aranoa (2011), Mattos Gutierrez et al. (2012) y Zubieta Barragan (2013), los SIG son utilizados como base para la integración de datos con modelos hidrológicos. Por

otra parte, en estudios sobre sistemas fluviales, los Modelos Digitales de Elevación (MDE) constituyen una capa de información fundamental en los SIG, ya que permiten extraer numerosos parámetros de interés para el análisis hidrológico y obtener mapas derivados. Entre éstos, se hallan los mapas de peligro y riesgo de inundación, erosión fluvial y de erosión hídrica, los cuales han sido de gran importancia para definir planes de manejo en recursos hídricos. En esta temática se pueden citar trabajos como los desarrollados por Díez Herrero y Pérez Guerrero (2003), Ribera Masgrau (2004), Barnolas y Llasat (2005), Reyna et al. (2007), Vergara Tenorio et al. (2011), Castañeda Herris y Guardado Lacaba (2006), Martínez Graña et al. (2006), Gonzalo Aranoa (2011), PLANINPA (2011) y Quiroz Londoño et al. (2013).

Es claro que dada la complejidad de variables intervinientes en la definición de la calidad hidroambiental de una región, los SIG aparecen como una herramienta fundamental que permiten integrar y evaluar todos los parámetros que intervienen e interactúan en el sistema. Desde esta perspectiva sistémica, por otra parte, surge que no todos los parámetros operan al mismo nivel y con igual importancia, por lo que resulta necesario efectuar una selección y evaluación ponderada de las variables ambientales involucradas (Christofoletti, 1998; Aránguiz, 2002; Bosisio, 2011).

1.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo se desarrolla en la zona de Villa Dolores, situada en el extremo sur del denominado Valle de Traslasierras, quedando comprendida entre las coordenadas paralelas 31°50' y 32°01' de latitud Sur y meridianas de 64°56' y 65°30' de longitud Oeste y cubriendo un área de aproximadamente 1100 km². Esta región se localiza al Oeste de la provincia de Córdoba, en los departamentos de San Javier y San Alberto, limitando al Suroeste con la provincia de San Luis y al Oeste con La Rioja (Figura 1.1).

La ciudad de Villa Dolores, de aproximadamente 36.638 habitantes, es el punto que divide la zona productiva irrigada por el Embalse Medina Allende - La Viña (el bajo) sobre el río de Los Sauces y las zonas turísticas de las sierras con producciones minifundistas (el alto).

Los sistemas fluviales que drenan el área de Traslasierras, al Sur del Valle de San Alberto, nacen en el faldeo occidental de las Sierras Grandes y, en el sector pedemontano, algunos de ellos conforman redes organizadas, con colector encauzado, que se integran a la cuenca del río de Los Sauces, mientras otros, en su tramo inferior desarrollan abanicos de descarga, en el piedemonte distal. Todos los cursos que drenan el área poseen régimen

torrencial. A lo largo de los ríos y arroyos que descienden de las sierras, se han distribuido en forma dispersa diversas localidades turísticas quedando expuestas a procesos de aluvionamiento/inundaciones asociados a estos cursos de agua.

Por otra parte, en algunos sectores de las ciudades de Villa Dolores, Villa Sarmiento y Piedra Pintada, la expansión urbana se produjo sobre la faja fluvial del río de Los Sauces, ya que el mismo se encuentra embalsado aguas arriba, manteniendo un caudal mínimo ecológico controlado. Esto ha llevado a cambios en el cauce del río, siendo utilizado en algunos tramos como sitios de vertido de basura, perdiendo su valor paisajístico.

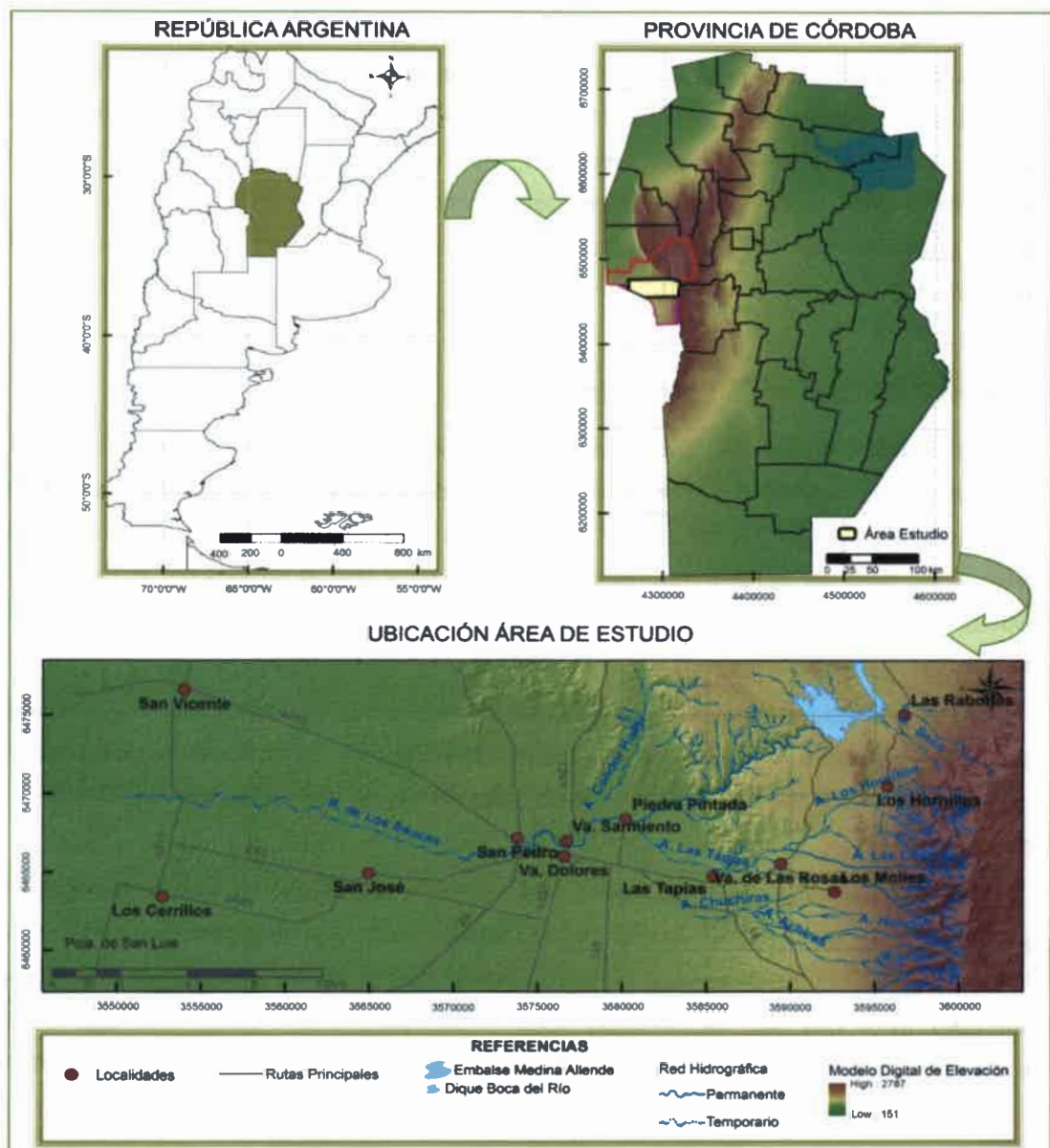


Figura 1.1. Ubicación área de estudio.

Hacia occidente, desde hace varias décadas, el área se caracteriza por el cultivo de papa, pero en los últimos años hubo una intensificación de agricultura bajo riego (cuyo insumo principal es el agua subterránea) fuertemente subsidiada por el uso de agroquímicos. Si bien los suelos tienen buena aptitud para riego, este aspecto debe ser evaluado, por posibles impactos en las reservas y su vinculación con contaminación. Recientemente se han elaborado proyectos para dar agua adicional a la producción de papa y otras actividades intensivas, desde el río de Los Sauces (PROSAP, 2011).

Por todo lo expuesto anteriormente y con el propósito de contribuir a mejorar los procesos de gestión de estas problemáticas se plantean las siguientes hipótesis y objetivos de trabajo:

1.3. HIPÓTESIS

- La variedad de aspectos morfológicos inciden fuertemente en la dinámica del agua superficial y subterránea, mientras que la composición química de ambas presenta escasa evolución vinculada a trayecto recorrido, gradientes y granulometrías dominantes.
- La creciente agrocultivación del área y las intervenciones antrópicas en los cuerpos de agua, generan modificaciones de las relaciones hidrodinámicas e hidroquímicas y en general ocasionan procesos de retroalimentación positiva de los problemas ambientales.
- Algunas variables naturales y antrópicas son indicadoras de la calidad hidroambiental de la zona y su determinación y evaluación permitirá definir unidades de gestión ambiental.
- La planificación, gestión y manejo adecuado de una zona con tal complejidad ambiental se verá beneficiada si se dispone de un SIG que permita la integración y uso de la información.

1.4. OBJETIVO GENERAL

- Efectuar la caracterización hidroambiental del sector occidental de la provincia de Córdoba (Traslasierras) identificando los condicionamientos de la geología, clima y uso del territorio sobre el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico del agua superficial y subterránea, integrando la información en un Sistema de Información Geográfica, propendiendo a la gestión y planificación de los recursos hídricos.

1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar y cartografiar las principales características geológicas-geomorfológicas del área, en especial aquellas variables que condicionan la dinámica y calidad del agua.

- b) Caracterizar los aspectos hidrometeorológicos más relevantes en relación al comportamiento del agua superficial y subterránea.
- c) Caracterizar y evaluar las principales actividades de uso del territorio en relación a los recursos hídricos.
- d) Caracterizar los principales aspectos hidrodinámicos e hidroquímicos de aguas superficiales y subterráneas.
- e) Definir y evaluar variables naturales y antrópicas indicadoras de calidad hidroambiental.
- f) Diseñar, estructurar y construir un Sistema de Información Geográfica (SIG), que permita la integración de los datos, análisis espacio temporal y la obtención de cartas temáticas específicas, para mejorar la planificación y gestión del agua.



CAPITULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS



Con el fin de poder cumplir con los objetivos establecidos en la presente tesis, se realizaron las siguientes tareas, que incluyeron actividades tanto de gabinete como de campo:

Recopilación de antecedentes y Elaboración de cartografía preliminar: Se reunió y analizó la información existente (bibliográfica, cartográfica, meteorológica, geológica, geomorfológica, hidrológica e hidrogeológica) del área de estudio y de la temática abordada.

Para la elaboración de la cartografía, se utilizaron las hojas topográficas escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN), que incluyen en forma total o parcial el área de estudio, entre las que se encuentran: Los Hornillos (3166-36-3), Villa Dolores (3166-35-4), Los Cerrillos (3166-35-3), San Miguel (3166-35-1), Mina Clavero (3166-35-2), San Rafael (3166-34-4), Lafinur (3366-5-1), La Población (3366-5-2) y Yacanto de Calamuchita (3366-6-1). Además, se utilizaron imágenes satelitales (Landsat año 2011 y del Google Earth, año 2013) y las cartas geológicas, a escala 1:250.000, 3166-IV- Villa Dolores (Bonalmi et al., 1999) y 3366-II- Villa de Merlo (Candiani et al., 2010), del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).

Cada una de las hojas y cartas fueron georreferenciadas con el software ArcGIS 9.x y, sumadas a las imágenes satelitales, se digitalizaron elementos u objetos que permitieron conformar las capas de interés, que fueron almacenadas en una personal geodatabase, para la generación de mapas temáticos.

Análisis geológico-geomorfológico local: A la información existente y la generada por medio de las imágenes satelitales, se sumó el relevamiento de campo del área de estudio, a través de la realización de 4 transectas, 2 en sentido E-O y otras 2 en dirección N-S, donde se recorrieron y describieron los principales ambientes geológico-geomorfológicos presentes: serrano, pedemontano y de llanuras distales aluviales y eólicas. Estas tareas incluyeron reconocimiento y descripción de unidades de relieve, relevamiento de procesos activos, identificación de las diferentes litologías que componen el basamento cristalino expuesto en la zona y descripción de 11 perfiles sedimentarios/estratigráficos, reconociendo las unidades formacionales descritas para la región por Bonalmi et al. (1999). En algunos perfiles, se tomaron muestras de los materiales que lo componen y en laboratorio, se realizaron análisis texturales, a través de tamices ASTM - escala Udden-Wendworth, obteniéndose histogramas que representan los porcentajes de las distintas fracciones granulométricas. La convergencia de toda esta información permitió realizar los mapas geológicos y geomorfológicos para la zona.

Para efectuar el análisis estratigráfico del subsuelo se utilizaron 54 perforaciones de

profundidades variables, realizadas por particulares, organismos públicos, entre otros, 38 de las cuales se complementaron con una descripción detallada de la litología (Anexo I), mientras que las 16 restantes, si bien no tenían detalles de los sedimentos, resultaron muy relevantes, ya que informan sobre la profundidad del basamento cristalino. Debido a la heterogeneidad de vocabulario utilizado por los perforistas para designar los materiales que componen la secuencia atravesada, se decidió agrupar designaciones similares y renombrarlas a fin de poder establecer correlaciones entre los sedimentos encontrados. Cabe aclarar entonces que las litologías descritas en cada una de las perforaciones del Anexo I, corresponden a las interpretaciones y agrupaciones que se realizaron en el marco de esta tesis, por lo cual, se ha modificado el registro gráfico presentado por el director técnico de la perforación en la Secretaría de Recursos Hídricos (ex DiPAS).

Con el propósito de mostrar las variaciones estratigráficas representativas de los principales ambientes geológico-geomorfológicos definidos para el área de estudio se realizaron dos cortes regionales: uno de rumbo E-O, que incluyó el análisis de 10 perforaciones y otro de rumbo N-S, sobre la base de 11 perforaciones, quedando representados dos perfiles geológicos-hidrolitológicos para la zona de Villa Dolores.

Análisis relacionado al uso actual del suelo: Se procedió a la identificación de las actividades llevadas a cabo en el área de estudio a través de las imágenes satelitales y de la verificación a campo. En cada caso, se registraron aspectos vinculados a la actividad ganadera, turística, minera y agrícola-hortícola, teniendo en cuenta el tipo de fuente de agua (subterránea o superficial) utilizada en cada propiedad, los usos de la misma y, en establecimientos agropecuarios, el tipo de sistema de riego (pivot o inundación), tipo de cultivos (cereales, oleaginosas, aromáticas, entre otras), uso de agroquímicos, a fin de poder relacionarlos con la calidad y dinámica del agua superficial y subterránea. Con esta información se confeccionó el mapa de uso actual del suelo del área analizada.

Análisis de datos meteorológicos: Para el desarrollo del capítulo climático se obtuvieron datos de paso diario de precipitaciones, temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa, presión y vientos para el período 1961-2014 de la estación meteorológica Villa Dolores, proporcionados por el Centro de Información Meteorológica dependiente del Servicio Meteorológico Nacional. A su vez, se obtuvieron datos de precipitaciones, en el sector pedemontano, registrados por pobladores de la zona, correspondientes a las localidades de Villa de las Rosas (período 2008-2014) y Las Tapias (período 2006-2014 y período 1998-2014). Con esta información, se realizaron análisis estadísticos descriptivos como promedio, valores máximos y mínimos, con sus correspondientes gráficos y se calcularon la evapotranspiración potencial y real por medio del balance hídrico modular



(Thornthwaite y Mather, 1955) y seriado de paso mensual con el software PDIMES (Ravelo, 1990), utilizándose un valor de agua útil en el suelo de 100 mm, lo que permitió obtener los excesos hídricos. Para una mejor interpretación de estos datos, cabe aclarar que se parte de los siguientes conceptos: el término Balace Hidrológico, se refiere al balance existente entre la *cantidad de agua recibida* por medio de la precipitación (P) y la *pérdida de agua* debido a la evapotranspiración (ET). Por medio del mismo y de la comparación de la marcha estacional de P y ET, se pueden calcular la magnitud de otros parámetros de humedad que se encuentran relacionados, tales como exceso de agua, deficiencia de agua, almacenaje de humedad del suelo y escurrimiento del agua. La diferencia entre P y ETP (evapotranspiración potencial) permite determinar los períodos de insuficiente o excesiva humedad. Un valor negativo de P-ETP indica la cantidad de precipitación que falta para satisfacer las necesidades potenciales de agua del suelo y su vegetación. Un valor positivo de P-ETP indica la cantidad de agua que excede, lo que en cierto período del año sirve para la recarga de humedad del suelo y el escurrimiento.

Por último con los valores obtenidos de ETP, de excesos y déficits se realizó la clasificación climática de la zona de estudio, a través de los valores propuestos por Thornthwaite (1948) y que se presentan en las Tablas 2.1 y 2.2.

Tabla 2.1. Tipo de clima teniendo en cuenta la ETP.

INDICE DE EFICIENCIA TÉRMICA=ETP (mm)	TIPO DE CLIMA
142	E' Helado
285	D' Tundra
427	C1' Microtermal
570	C2' Microtermal
712	B1' Mesotermal
855	B2' Mesotermal
907	B3' Mesotermal
1140	B4' Mesotermal
> 1140	A' Megatermal

Tabla 2.2. Clasificación climática según el índice hídrico

TIPO CLIMÁTICO	INDICE HÍDRICO
A Perhúmedo	100 y superiores
B4 Húmedo	80 A 100
B3 Húmedo	60 A 80
B2 Húmedo	40 A 60
B1 Húmedo	20 A 40
C2 Subhúmedo Húmedo	0 A 20
C1 Subhúmedo Seco	-20 A 0
D Semiárido	-40 A -20
E Árido	-60 A -40

Siendo: Índice hídrico = $\frac{100 \times \text{Exceso de agua} - 60 \times \text{Deficiencia de agua}}{\text{Necesidades de agua}}$

Análisis hidrológico superficial: Teniendo como base las hojas topográficas georreferenciadas y las imágenes satelitales de la zona, se trazaron los escurrimientos superficiales, arroyos y ríos, constituyendo la capa de red hidrográfica en el SIG, lo que permitió la delimitación de las principales cuencas y subcuencas presentes. Sobre esta base, en gabinete, se realizó una selección preliminar de posibles sitios de aforo y muestreo de los cuerpos de agua superficial, representativos de las principales subcuencas, en

diferentes posiciones dentro de la cuenca y que además cumplieran con los requisitos de accesibilidad para llevar a cabo las mediciones. De esta forma, se definieron 9-10 estaciones de control en diferentes ríos, arroyos y embalses de la zona. Las tareas de campo consistieron en dos series de aforos y muestreos en diferentes estaciones del año (primavera de 2011 y verano de 2014) con el propósito de representar condiciones hidrológicas variables (fin de estación seca y estación húmeda). En cada sitio, se tomaron las coordenadas geográficas con un GPS (marca Garmin etrex vista HCx) y se realizaron las siguientes actividades:

a) **Medición del caudal:** se efectuó por vadeo utilizando el método de la sección media compensada. Se relevó el ancho y profundidad del canal con cinta métrica, para determinar el área de cada sección. Para medir velocidades de circulación de la corriente, se utilizó un micromolinete hidrométrico (OTT) con dos hélices de diferente tamaño según las características del flujo de agua.

b) **Relevamiento de secciones de crecida:** en febrero de 2014, se pudieron medir con cinta métrica y jalón, alturas y secciones de crecidas en los principales arroyos y ríos, considerando marcas de vegetación y/o sedimentos vinculados a la crecida extraordinaria del 4 de febrero de 2014. Con esta información se estimaron caudales máximos, calculando las velocidades de circulación de la corriente teniendo en cuenta el coeficiente de rugosidad (n) de la ecuación de Manning, para corrientes naturales citados en Ven Te Chow (1994). En el capítulo correspondiente a hidrología superficial, se describe detalladamente la ecuación y demás parámetros considerados.

c) Por otra parte, en cada sitio de aforo, se midieron in situ, conductividad eléctrica y temperatura del agua con un conductímetro digital Hanna con compensación automática de temperatura, pH mediante pH-metro digital de campaña marca Hanna, nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-), por un test semicuantitativo marca Merck y oxígeno disuelto (OD) con oxímetro YSI model 95 y se recolectó una muestra de agua para realizar el posterior análisis físico químico en el Laboratorio de Geoquímica del Departamento de Geología de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC). Una vez obtenidos los resultados de los análisis, se realizó la clasificación geoquímica del agua por medio del método de iones dominantes de Custodio (1993) y cada muestra se representó gráficamente a través de los diagramas de Piper Hill y Stiff modificado con el software EasyQuim v5 (Vazquez-Suñe y Serrano-Juan, 2012).

Análisis hidrogeológico: Se realizó un censo de perforaciones, tratando de que las mismas tengan una distribución areal homogénea en la zona. En total se relevaron 46 perforaciones que captan a diferentes profundidades del acuífero analizado y cada punto, se posicionó a través de un GPS (marca Garmin etrex vista HCx). In situ, se midieron

conductividad eléctrica, temperatura, pH, oxígeno disuelto, NO_3^- y NO_2^- y, donde fue posible, profundidad del nivel estático con una sonda piezométrica de señal lumínica y sonora (Solinst). Además se recolectaron 30 muestras de agua para su posterior análisis físico químico en el Laboratorio de Geoquímica del Departamento de Geología de la UNRC.

Con los datos obtenidos en el campo y, con los resultados de los análisis físico-químicos, se realizaron los correspondientes mapas hidrodinámicos e hidroquímicos del acuífero freático. Las isolíneas, se trazaron con métodos tradicionales de interpolación matemática, mediante el software ArcGIS 9x. En este caso, se utilizó la herramienta de interpolación Kriging (3D Analyst Tools – Raster Interpolation – Kriging), obteniéndose como resultado los mapas hidrodinámicos e hidroquímicos en un formato raster. Los mapas de equipotenciales del acuífero freático y de isoprofundidad del nivel estático, fueron convertidos a formato vectorial, para que puedan ser visualizados como isolíneas, utilizando la herramienta 3D Analyst Tools – Raster Surface – Countour del mencionado software. La clasificación geoquímica del agua, se realizó siguiendo la misma metodología que para las muestras de agua superficial.

Tanto para el agua superficial como subterránea, las técnicas utilizadas en el laboratorio para los análisis físico-químicos fueron las siguientes:

- Carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-), mediante titulación potenciométrica con electrodo selectivo Orion-Thermo;
- Sulfatos (SO_4^{2-}) por turbidimetría (con centrífuga Macrotronic);
- Cloruros (Cl^-) mediante titulación colorimétrica con nitrato de plata;
- Calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) por titulación colorimétrica con EDTA;
- Sodio (Na^+) y potasio (K^+) por fotometría de llama (fotómetro digital Metrolab 315);
- Arsénico (As) por espectrofotometría de absorción atómica y test semicuantitativo Merck;
- Fluoruro (F^-) con electrodos de ion selectivo (Orion – Thermo).

Análisis del riesgo, peligro, amenaza y vulnerabilidad: Para la elaboración de los mapas de riesgo, se parte del marco conceptual que considera al riesgo como resultado de la interacción entre el peligro (susceptibilidad y amenaza) y la vulnerabilidad, tal como se detalla en el capítulo correspondiente a la calidad hidroambiental. Los mapas resultantes, se presentan a dos escalas de trabajo: regional y de detalle.

La cartografía a escala regional del riesgo de inundación/avenidas asociada a los sistemas superficiales, se trabajó en formato raster y se obtuvo mediante operaciones de reclasificación y de álgebra de mapas, considerando para el caso de la *susceptibilidad*, variables como la topografía, la red vial y la geomorfología. A partir del Modelo Digital de

Elevación (MDE) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con una resolución espacial de 30 m x 30 m descargado de la página del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS-<http://earthexplorer.usgs.gov/>), se obtuvieron mapas derivados (pendiente, orientación de la pendiente) utilizando software ArcGIS 9x. Además, se utilizó el software SAGA GIS para la realización del mapa de profundidad de valle.

Para la cartografía de riesgo de inundación/avenidas asociadas a los arroyos Chuchiras y río de Los Sauces en el tramo urbano, se trabajó a escala de detalle y en formato vectorial, mediante operaciones de superposición de capas. El peligro se estimó a través de la susceptibilidad de la zona a la inundación/avenidas donde se tuvo en cuenta la capacidad de la faja fluvial para conducir caudales que impliquen amenaza, la traza de la red vial y la topografía. Para la ponderación de estas variables, se trabajó con imágenes satelitales del Google Earth, con las hojas topográficas escala 1:50.000 y con observaciones de campo. Por otra parte para evaluar la amenaza se consideraron los caudales de crecidas estimados en el capítulo de hidrología superficial, para el evento ocurrido el 4 de febrero de 2014 y los caudales del río de Los Sauces provenientes de la apertura de cuatro compuertas del embalse Medina Allende, cuando el mismo se encontraba a 1 metro del nivel de vertedero en febrero/marzo de 2015.

En relación a la vulnerabilidad, en ambos casos, se ponderó teniendo en cuenta el mapa de usos del suelo elaborado en esta tesis.

Para la elaboración del mapa de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero libre se utilizó el método GOD (DIOS en castellano). Cada una de las variables intervinientes, se ponderaron considerando la litología de la zona no saturada a través de los registros gráficos de las perforaciones ubicadas en el área de estudio y de las profundidades del nivel freático medidas a campo, con el mapa de isoprofundidad del mismo. De esta forma, se obtuvieron dos mapas de los parámetros involucrados en el método (ocurrencia del estrato suprayacente y distancia al nivel del agua subterránea) que permitieron la realización del mapa final de vulnerabilidad del acuífero freático a la contaminación mediante técnicas de superposición de capas del programa ArcGIS 9x (Analysis Tools – Overlay – Intersect).



CAPITULO 3

BASE DE DATOS

3.1. ELABORACIÓN DE LA GEODATABASE

En su nivel más básico, una **Geodatabase** de ArcGIS es una colección de datasets geográficos de varios tipos contenida en una carpeta de sistema de archivos común, una base de datos de Microsoft Access o una base de datos relacional multiusuario DBMS (por ejemplo Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, Informix o IBM DB2) (ESRI, 2012). Específicamente, una **Geodatabase Personal** es una base de datos de Microsoft Access que puede almacenar, consultar y administrar tanto datos espaciales como datos no espaciales (ESRI, 2013). A su vez, permite almacenar numerosos tipos de datos, entre ellos: datos vectoriales y raster, CAD, tablas, topología, redes, entre otros.

3.1.1. Diseño de la base de datos hidrológica local

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se plantean como una de las herramientas básicas del hidrogeólogo, ya que permiten de una manera fácil y dinámica, almacenar, analizar y visualizar datos e información, así como realizar el análisis de su comportamiento en las dimensiones espacial y temporal (Quiroz et al., 2007). En este contexto, el buen diseño de una base de datos hidrológicos garantizará una fuente de información rápida, adecuada y confiable que permita una planificación y gestión sustentable de los recursos hídricos.

Para la elaboración de la base de datos hidrológicos de la zona de Villa Dolores se comenzó con la realización de un modelo conceptual de datos (CDM, por sus siglas en inglés), por medio del software Power Designer v15. El CDM, es un diagrama de entidad-relación que permite organizar la información, visualizarla y verificar la validez del diseño de los datos. Es decir, que este modelo presenta en forma esquemática, las entidades, los atributos, los identificadores y las relaciones entre los diferentes datos. Una vez corroborada la validez del diseño, se generó el modelo físico (Physical Data Model -PDM-), el cual puede ser migrado a un motor de base de datos. La generación de un PDM transforma objetos conceptuales en objetos físicos, como se presenta en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Transformación de objetos de un CDM a un PDM (Noda y Mendoza, 1998)

Objeto generado en CDM	Objeto generado en PDM
Entidad	Tabla
Atributo de la entidad	Columna de la tabla
Identificador	Clave primaria o foránea (dependiendo del tipo de relación)
Relación	Referencia

En la Figura 3.1, se observa el modelo conceptual generado para la zona de Villa Dolores. El mismo consta de una entidad madre o principal, la cual contiene datos de tipo puntual (puntos de muestreo), que se hallan georreferenciados y que permite la vinculación con el resto de las entidades que contienen datos de carácter hidrológicos e hidrogeológicos. Después de comprobar que todas las relaciones, entidades y atributos se relacionaran correctamente, se generó el Modelo Físico (Figura 3.2), en el que se construyen las tablas que almacenarán los datos hidrogeológicos en el sistema, además de visualizar las llaves primarias o de otros tipos que existen en cada una de las tablas. Esta información es migrada a la base de datos, para la cual se utiliza el programa Microsoft Access 2010, dada la compatibilidad que presenta con ArcGIS 9x, utilizado como software de SIG en la presente tesis.

Por último, una vez cargada la información en la base de datos, ésta es conectada con el software ArcGIS 9.x a través de la aplicación ArcCatalog, generando una Geodatabase Personal, con topología de puntos, como se explicó anteriormente.

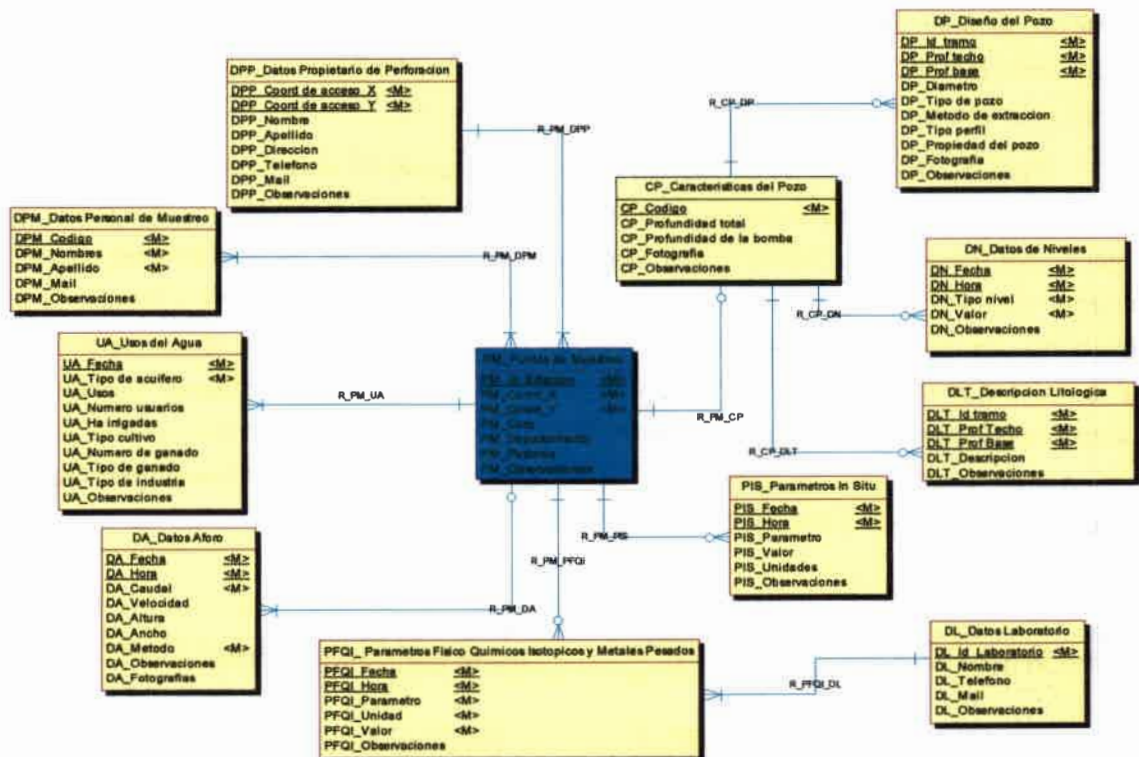


Figura 3.1. Modelo Conceptual de Datos.

A continuación se presenta el diccionario de datos, el cual describe de forma detallada los campos que forman parte de cada entidad, al igual que el tipo de datos almacenado y las relaciones entre las diferentes entidades para el modelo conceptual. Esta

información se resume desde la Tabla 3.2 a la Tabla 3.16.

Tabla 3.2. Lista de entidades que conforman el modelo relacional

Nombre	Código
CP_Características del Pozo	CP_CARACTERISTICAS_DEL_POZO
DA_Datos Aforo	DA_DATOS_AFORO
DL_Datos Laboratorio	DL_DATOS_LABORATORIO
DLT_Descripción Litológica	DLT_DESCRIPCION_LITOLOGICA
DN_Datos de Niveles	DN_DATOS_DE_NIVELES
DP_Diseño del Pozo	DP_DISENO_DEL_POZO
DPM_Datos Personal de Muestreo	DPM_DATOS_PERSONAL_DE_MUESTREO
DPP_Datos Propietario de Perforación	DPP_DATOS_PROPIETARIO_DE_PERFORACION
PFQI_Parámetros Físico Químicos Isotópicos y Metales Pesados	PFQI_PARAMETROS_FISICO_QUIMICOS_ISOTOPICOS_Y_METALES_PESADOS
PIS_Parámetros In Situ	PIS_PARAMETROS_IN_SITU
PM_Puntos de Muestreo	PM_PUNTOS_DE_MUESTREO
UA_Usos del Agua	UA_USOS_DEL_AGUA

Tabla 3.3. Listado de atributos, tipo y propiedades de los datos de cada entidad

Nombre	Código	Tipo de Datos	Longitud	Precisión
CP_Código	CP_CODIGO	TXT10	10	
CP_Fotografía	CP_FOTOGRAFIA2	PIC		
CP_Observaciones	CP_OBSERVACIONES	TXT150	150	
CP_Profundidad de la bomba	CP_PROFUNDIDAD_DE_LA_BOMBA	DC6,2	6	2
CP_Profundidad total	CP_PROFUNDIDAD_TOTAL	DC6,2	6	2
DA_Altura	DA_ALTURA	DC10,2	10	2
DA_Ancho	DA_ANCHO	DC10,2	10	2
DA_Caudal	DA_CAUDAL	DC10,2	10	2
DA_Fecha	DA_FECHA	D		
DA_Fotografías	DA_FOTOGRAFIAS	PIC		
DA_Hora	DA_HORA	T		
DA_Método	DA_METODO	TXT50	50	
DA_Observaciones	DA_OBSERVACIONES	TXT150	150	
DA_Velocidad	DA_VELOCIDAD	DC10,2	10	2
DL_Id Laboratorio	DL_ID_LABORATORIO	TXT10	10	
DL-Mail	DL_MAIL	TXT30	30	
DL_Nombre	DL_NOMBRE	TXT50	50	
DL_Observaciones	DL_OBSERVACIONES	TXT150	150	
DL_Teléfono	DL_TELEFONO	N15	15	
DLT_Descripción	DLT_DESCRIPCION	TXT1000	1000	
DLT_Id tramo	DLT_ID_TRAMO	I		
DLT_Observaciones	DLT_OBSERVACIONES	TXT150	150	
DLT_Prof Base	DLT_PROF_BASE	DC9,2	9	2
DLT_Prof Techo	DLT_PROF_TECHEO	DC9,2	9	2
DN_Fecha	DN_FECHA	D		

DN_Hora	DN_HORA	T		
DN_Observaciones	DN_OBSERVACIONES	TXT150	150	
DN_Tipo nivel	DN_TIPO_NIVEL	TXT10	10	
DN_Valor	DN_VALOR	N10,2	10	2
DP_Diámetro	DP_DIAMETRO	N6	6	
DP_Fotografía	DP_FOTOGRAFIA	PIC		
DP_Id_tramo	DP_ID_TRAMO	I		
DP_Método de extracción	DP_METODO_DE_EXTRACCION	TXT30	30	
DP_Observaciones	DP_OBSERVACIONES	TXT150	150	
DP_Prof base	DP_PROF_BASE	DC9,2	9	2
DP_Prof techo	DP_PROF_TECHEO	DC9,2	9	2
DP_Propiedad del pozo	DP_PROPIEDAD_DEL_POZO	TXT20	20	
DP_Tipo de pozo	DP_TIPO_DE_POZO	TXT50	50	
DP_Tipo perfil	DP_TIPO_PERFIL	TXT20	20	
DPM_Apellido	DPM_APELLIDO	TXT30	30	
DPM_Código	DPM_CODIGO	TXT10	10	
DPM_Mail	DPM_MAIL	TXT30	30	
DPM_Nombres	DPM_NOMBRES	TXT30	30	
DPM_Observaciones	DPM_OBSERVACIONES	TXT150	150	
DPP_Apellido	DPP_APELLIDO	TXT20	20	
DPP_Coord de acceso X	DPP_COORD_DE_ACCESO_X	F10	10	
DPP_Coord de acceso Y	DPP_COORD_DE_ACCESO_Y	F10	10	
DPP_Dirección	DPP_DIRECCION	TXT20	20	
DPP_Mail	DPP_MAIL	TXT30	30	
DPP_Nombre	DPP_NOMBRE	TXT20	20	
DPP_Observaciones	DPP_OBSERVACIONES	TXT150	150	
DPP_Teléfono	DPP_TELEFONO	N20	20	
PFQI Fecha	PFQI_FECHA	D		
PFQI Hora	PFQI_HORA	T		
PFQI_Observaciones	PFQI_OBSERVACIONES	TXT150	150	
PFQI Parámetro	PFQI_PARAMETRO	TXT15	15	
PFQI Unidad	PFQI_UNIDAD	TXT10	10	
PFQI_Valor	PFQI_VALOR	DC10,2	10	2
PIS Fecha	PIS_FECHA	D		
PIS Hora	PIS_HORA	T		
PIS_Observaciones	PIS_OBSERVACIONES	TXT150	150	
PIS Parámetro	PIS_PARAMETRO	TXT30	30	
PIS_Unidades	PIS_UNIDADES	TXT15	15	
PIS_Valor	PIS_VALOR	DC10,2	10	2
PM_Coord_X	PM_COORD_X	N10	10	
PM_Coord_Y	PM_COORD_Y	N10	10	
PM_Departamento	PM_DEPARTAMENTO	TXT50	50	
PM_Cota	DN_COTA	DC6,2	6	2
PM_Id Estación	PM_ID_ESTACION	TXT20	20	
PM_Observaciones	PM_OBSERVACIONES	TXT150	150	
PM_Pedania	PM_PEDANIA	TXT50	50	
UA_Fecha	UA_FECHA	D		
UA_Ha irrigadas	UA_HA_IRRIGADAS	DC10,2	10	2

UA_Número de ganado	UA_NUMERO_DE_GANADO	N10	10	
UA_Número usuarios	UA_NUMERO_USUARIOS	N10	10	
UA_Observaciones	UA_OBSERVACIONES	TXT150	150	
UA_Tipo cultivo	UA_TIPO_CULTIVO	TXT30	30	
UA_Tipo de acuífero	UA_TIPO_DE_ACUIFERO	TXT30	30	
UA_Tipode ganado	UA_TIPO_DE_GANADO	TXT30	30	
UA_Tipo de industria	UA_TIPO_DE_INDUSTRIA	TXT30	30	
UA_Usos	UA_USOS	TXT30	30	

Tabla 3.4. Listado de Relaciones entre entidades

Nombre	Entidad 2	Entidad 1	Cardinalidad Ent 1>Ent2	Cardinalidad Ent 2>Ent1
R_CP_DLT	DLT_Descripción Litologica	CP_Características del Pozo	0,n	1,1
R_CP_DN	DN_Datos de Niveles	CP_Características del Pozo	0,n	1,1
R_CP_DP	DP_Diseño del Pozo	CP_Características del Pozo	0,n	1,1
R_PFQI_DL	DL_Datos Laboratorio	PFQI_Parámetros Físico Químicos Isotópicos y Metales Pesados	1,1	1,n
R_PM_CP	CP_Características del Pozo	PM_Puntos Muestreo	0,1	1,1
R_PM_DA	DA_Datos Aforo	PM_Puntos Muestreo	1,n	0,1
R_PM_DPM	DPM_Datos Personal de Muestreo	PM_Puntos Muestreo	1,n	1,n
R_PM_DPP	DPP_Datos Propietario de Perforación	PM_Puntos Muestreo	1,1	1,n
R_PM_PFQi	PFQI_Parámetros Físico Químicos Isotópicos y Metales Pesados	PM_Puntos Muestreo	0,n	1,1
R_PM_PIS	PIS_Parámetros In Situ	PM_Puntos Muestreo	0,n	1,1
R_PM_UA	UA_Usos del Agua	PM_Puntos Muestreo	1,n	1,1

Descripción de las Entidades y Atributos

I. Entidad CP_Característica de los Pozos

Entidad que almacena los datos generales de los pozos inventariados.

Tabla 3.5. Descripción de los atributos que contiene la entidad CP_Característica de los Pozos.

Atributo	Descripción
CP_Código	Identificación del punto de muestreo. Coincide con la identificación del punto de la tabla principal.
CP_Profundidad total	Profundidad total de la perforación (expresada en metros). En muchos casos, esta información se conoce de manera aproximada, ya que la persona que lo informa, puede no conocerlo con exactitud. En algunos casos, existen registros de las perforaciones, de donde se puede extraer el dato.
CP_Profundidad de la bomba	Profundidad a la que se ha colocado la bomba, expresada en metros.
CP_Fotografía	En caso de obtener fotografías de la perforación o registros gráficos en formato digital
CP_Observaciones	Datos relevantes al pozo que se está inventariando y no han sido considerados en los campos anteriormente descritos.

II. Entidad DA_Datos de Aforo

Almacena información sobre el caudal medido en diferentes ríos y arroyos presentes en el área de estudio

Tabla 3.6. Descripción de los atributos que contiene la entidad DA_Datos de Aforo

Atributo	Descripción
DA_Fecha	Día, mes y año en que fue realizado el aforo en un río, arroyo o acequia
DA_Hora	Almacena la hora, minutos y segundos en que fue realizado el aforo de ríos, arroyos o acequias
DA_Caudal	Valor del caudal medido en ríos, arroyos o acequias, expresado en m ³ /seg
DA_Velocidad	Almacena el valor de la velocidad que surge del tiempo que tarda en recorrer una cierta distancia (conocida) un determinado flotador o el valor calculado por el aparato utilizado para aforar. Se expresa en m/seg
DA_Altura	Altura de la lámina de agua, expresada en metros.
DA_Ancho	Ancho del canal expresado en metros.
DA_Método	Describe el método con el cual fue medido el caudal.
DA_Observaciones	Se describe alguna característica u observación que no se ha tenido en cuenta en los demás items para la presente entidad.
DA_Fotografías	Contiene fotografías obtenidas de ríos, arroyos y/o acequias donde fueron realizadas las mediciones

II. Entidad DL_Datos Laboratorio

Contiene información sobre el laboratorio donde se llevaron a cabo los análisis físicos, químicos, isotópicos o de metales pesados de las muestras de agua subterránea y superficial

Tabla 3.7. Descripción de los atributos que contiene la entidad DL_Datos Laboratorio

Nombre	Descripción
DL_Id_Laboratorio	Identificador del laboratorio
DL_Nombre	Nombre del laboratorio donde fueron realizados los análisis físicoquímicos, isotópicos y metales pesados de las muestras de agua extraídas
DL_Telefono	Número de teléfono del laboratorio donde fueron realizados los análisis físicoquímicos, isotópicos y metales pesados de las muestras de agua extraídas.
DL_Mail	Correo electrónico del laboratorio donde fueron realizados los análisis físicoquímicos, isotópicos y metales pesados de las muestras de agua extraídas.
DL_Observaciones	Contiene información relevante que no se haya considerado en otros ítems para esta entidad.

IV. Entidad DLT_Descripción Litológica

Contiene la descripción litológica efectuada por personal técnico en el momento de realizar la perforación y que consta en los registros gráficos.

Tabla 3.8. Descripción de los atributos que contiene la entidad DLT_Descripción Litológica

Nombre	Descripción
DLT_Id tramo	Identificador del tramo que se está considerando.
DLT_Prof Techo	Profundidad en metros del techo del tramo que se está documentando.
DLT_Prof Base	Profundidad en metros de la base
DLT_Descripcion	Almacena las características geológicas descriptas para el tramo analizado
DLT_Observaciones	Almacena características relevantes que no se hayan tenido en cuenta en los ítems anteriores

V. Entidad DN_Datos de Niveles

Almacena información de la profundidad de niveles estáticos y/o dinámicos medidos en la perforación o pozo. Se expresa en metros.

Tabla 3.9. Descripción de los atributos que contiene la entidad DN_Datos de Niveles

Nombre	Descripción
DN_Fecha	Contiene la fecha (día, mes y año) en que fue medida la profundidad del nivel estático y/o dinámico
DN_Hora	Especifica la Hora, minutos y segundos en que fue tomado el dato de profundidad del nivel ya sea estático o dinámico
DN_Tipo nivel	Especifica si la profundidad que se midió, corresponde al nivel estático o dinámico
DN_Valor	Número hallado de medir la profundidad del nivel estático o dinámico. Siempre se expresa en metros
DN_Observaciones	Almacena alguna característica relevante que no se ha considerado en los ítems anteriores para la presente entidad

VI. Entidad DP_Diseño del Pozo

Incluye datos sobre el diseño final de la perforación. A su vez, sobre los usos del pozo y métodos de extracción del agua. Si existen fotografías tomadas a la perforación será incluida en esta entidad

Tabla 3.10. Descripción de los atributos que contiene la entidad DP_Diseño del Pozo.

Nombre	Descripción
DP_Id_tramo	Identificador del tramo al cual se le está ingresando información.
DP_Prof_techo	Profundidad en metros del techo del tramo al cual se está haciendo referencia en este campo
DP_Prof_base	Profundidad en metros de la base del tramo que se está documentando.
DP_Diametro	Contiene el diámetro de la perforación, expresado en pulgadas
DP_Tipo de pozo	Distingue entre los diferentes tipos de pozos o perforaciones que se pueden hallar en el campo. Por ej: Perforado entubado, Perforado sin entubar, Excavado calzado, Excavado sin calzar, u otros
DP_Método de extracción	Este campo hace referencia al método con que se extrae el agua del pozo o perforación. Entre ellos: bomba, molino, balde, otros
DP_Tipo perfil	En caso de acceder al registro gráfico de la perforación, se podrá establecer si se le ha realizado una descripción litológica, un perfilaje o ambos.
DP_Propiedad del pozo	Hace referencia si el pozo es de propiedad nacional, provincial, municipal, particular o mixto
DP_Fotografía	En caso de obtener fotografías de la perforación o registros gráficos en formato digital
DP_Observaciones	Datos relevantes del tramo que no han sido tenidos en cuenta en los ítems anteriores.

VII. Entidad DPM_Datos Personal de Muestreo

Almacena información personal sobre la persona que toma los datos de campo

Tabla 3.11. Descripción de los atributos que contiene la entidad DPM_Datos Personal de Muestreo.

Nombre	Descripción
DPM_Código	Id del personal de muestreo, puede ser su DNI o algún código que lo identifique.
DPM_Nombres	Nombres de la persona responsable de la toma de datos en el campo
DPM_Apellido	Apellido de la persona responsable de la toma de datos en el campo
DPM_Mail	Correo electrónico de la persona encargada de coleccionar los datos en el campo
DPM_Observaciones	Almacena descripciones relevantes que no han sido consideradas en los demás ítems de la entidad

VIII. Entidad DPP_Datos Propietario de Perforación

Contiene los datos personales (nombre, apellido, teléfono, dirección, mail, etc) de los propietarios de las perforaciones. Puede contener los datos personales del encargado del predio, en caso de no obtener los del propietario.

Tabla 3.12. Descripción de los atributos que contiene la entidad DPP_Datos Propietario de Perforación

Nombre	Descripción
DPP_Coord de acceso_X	Contiene las coordenadas planas (metros) de acceso al predio donde se encuentra ubicada la captación a muestrear.
DPP_Coord de acceso_Y	Contiene las coordenadas planas (metros) de acceso al predio donde se encuentra ubicada la captación a muestrear.
DPP_Nombre	Nombre del propietario o encargado del predio donde se encuentra ubicada la perforación o pozo, de los cuales se tomaron los datos
DPP_Apellido	Apellido del propietario o encargado de la perforación donde se extrajeron los datos
DPP_Dirección	Dirección postal del propietario o encargado de la perforación donde se extrajo la muestra de agua subterránea o los datos sobre la captación.
DPP_Teléfono	Número telefónico del propietario o encargado del establecimiento donde se halla la captación donde se tomaron los datos
DPP_Mail	Correo electrónico del propietario o encargado del predio donde se encuentra ubicada la perforación o pozo, de los cuales se tomaron los datos
DPP_Observaciones	Contiene información relevante para la entidad y que no ha sido incluida en los restantes ítems

IX. Entidad PFQI_Parámetros Físico Químicos Isotópicos y Metales Pesados

Contiene los resultados del análisis físico-químico, isotópicos y metales pesados de la muestra de agua colectada en la perforación, pozo, río o arroyo.

Tabla 3.13. Descripción de los atributos que contiene la entidad PFQI_Parámetros Físico Químicos Isotópicos y Metales Pesados

Nombre	Código
PFQI_Fecha	Día, mes y año en que fue tomada la muestra de agua superficial o subterránea
PFQI_Hora	Hora (hora/minutos/segundos) en que fue tomada la muestra de agua superficial o subterránea
PFQI_Parámetro	Nombre del parámetro analizado en laboratorio
PFQI_Unidad	Unidad en que se expresa el parámetro analizado en laboratorio
PFQI_Valor	Valor obtenido en el resultado de laboratorio de los parámetros analizados
PFQI_Observaciones	Se almacena algún dato o característica que no se haya considerado en otro campo y que sea relevante para el resultado de los análisis de agua.

X. Entidad PIS_Parámetros In Situ

Almacena información sobre los parámetros físico químicos medidos In Situ

Tabla 3.14. Descripción de los atributos que contiene la entidad PIS_Parámetros In Situ

Nombre	Código
PIS_Fecha	Día, mes y año en que fue tomado el dato del parámetro medido en el campo
PIS_Hora	Contiene la hora, minutos y segundos en que fue medido el parámetro en el campo
PIS_Parámetro	Nombre del parámetro medido in situ
PIS_Valor	Contiene el valor del parámetro medido en el campo
PIS_Unidades	Unidades en las que se expresa el parámetro tomado in situ
PIS_Observaciones	Almacena alguna característica relevante que no se ha tenido en cuenta en los items descriptos anteriormente para esta entidad

XI. Entidad PM_Puntos de Muestreo

Contiene información sobre las coordenadas planas (X e Y) de las perforaciones, pozos o puntos de agua superficial tomados en la zona de Villa Dolores, así como el departamento, la pedanía en que se encuentran ubicados y la identificación del punto (de carácter obligatorio).

Tabla 3.15. Descripción de los atributos que contiene la entidad PM_Puntos de Muestreo

Nombre	Código
PM_Id_Estación	La identificación del punto de muestreo se constituye de dos letras y de un número ubicado de manera consecutiva según la extracción de la muestra. Para agua superficial se identifica con la letra A, mientras que para agua subterránea con la letra B. Ambas precedidas de la letra K (Ej: KAn y KBn siendo n: números consecutivos según la extracción de las muestras de agua). Este dato es obligatorio
PM_Coord_X	Se utilizan coordenadas planas (en metros), siguiendo el sistema utilizado en las hojas topográficas de la zona de estudio, ubicada en faja 3. Projected Coordinate System: Argentina_Zone_3 Projection: Transverse_Mercator False_Easting: 3500000,00000000 False_Northing: 0,00000000 Central_Meridian: -66,00000000 Scale_Factor: 1,00000000 Latitude_Of_Origin: -90,00000000 Linear Unit: Meter Geographic Coordinate System: GCS_Campo_Inchauspe Datum: D_Campo_Inchauspe Prime Meridian: Greenwich Angular Unit: Degree
PM_Coord_Y	Se utilizan coordenadas planas (en metros), siguiendo el sistema utilizado en las hojas topográficas de la zona de estudio, ubicada en faja 3. Projected Coordinate System: Argentina_Zone_3

	Projection: Transverse_Mercator False_Easting: 3500000,00000000 False_Northing: 0,00000000 Central_Meridian: -66,00000000 Scale_Factor: 1,00000000 Latitude_Of_Origin: -90,00000000 Linear Unit: Meter Geographic Coordinate System: GCS_Campo_Inchauspe Datum: D_Campo_Inchauspe Prime Meridian: Greenwich Angular Unit: Degree
PM_Cota	Metros sobre el nivel del mar medido en la boca del pozo o perforación. Este dato se tomará preferentemente de la hoja topográfica. En caso de no existir la hoja o las curvas de nivel, se tomará del GPS, del Modelo Digital de Elevación (DEM) o del Google Earth.
PM_Departamento	Almacena el nombre del Departamento en el cual se halla ubicado el punto muestreado. El área de estudio se ubica en parte de los Departamentos de San Alberto y San Javier.
PM_Pedania	Nombre de la pedanía en la cual se encuentra el punto de muestreo. La misma, es una subdivisión del Departamento.
PM_Observaciones	Almacena información relevante sobre la entidad Puntos de muestreo, que no ha sido incluida en otros ítems

XII. Entidad UA_Usos del Agua

Almacena información sobre los usos al que se destina el agua extraída de la perforación o pozo (por ej: público, riego doméstico, ganadero, industrial, mixto, entre otros), así como el número de hectáreas irrigadas, el tipo de cultivos, de ganado, etc. También se especifica el tipo de acuífero muestreado (libre, semiconfinado o confinado)

Tabla 3.16. Descripción de los atributos que contiene la entidad UA_Usos del Agua.

Nombre	Código
UA_Fecha	Contiene la fecha (día, mes y año) en que fueron tomados los datos para esta entidad
UA_Tipo de acuífero	Almacena información sobre el tipo de acuífero muestreado (libre, semiconfinado o confinado)
UA_Usos	Describe los diferentes usos a los que se destina el agua extraída. Por ej: Doméstico, público, riego, industrial, entre otros
UA_Número usuarios	Cantidad de usuarios ya sea público o doméstico que se abastecen de la perforación o pozo
UA_Ha irrigadas	Número de hectáreas irrigadas con la perforación destinada a tal fin
UA_Tipo cultivo	Nombre del cultivo bajo riego
UA_Número de ganado	Cantidad de ganado que se abastece de la captación
UA_Tipo de ganado	Se diferencia el tipo de ganado que se abastece de la captación. Ej: Bovino, porcino, caprino, mixto, etc
UA_Tipo de industria	Almacena el tipo de industria que se abastece de la perforación o pozo
UA_Observaciones	Almacena información relevante que no se haya considerado en otros ítems dentro de esta entidad

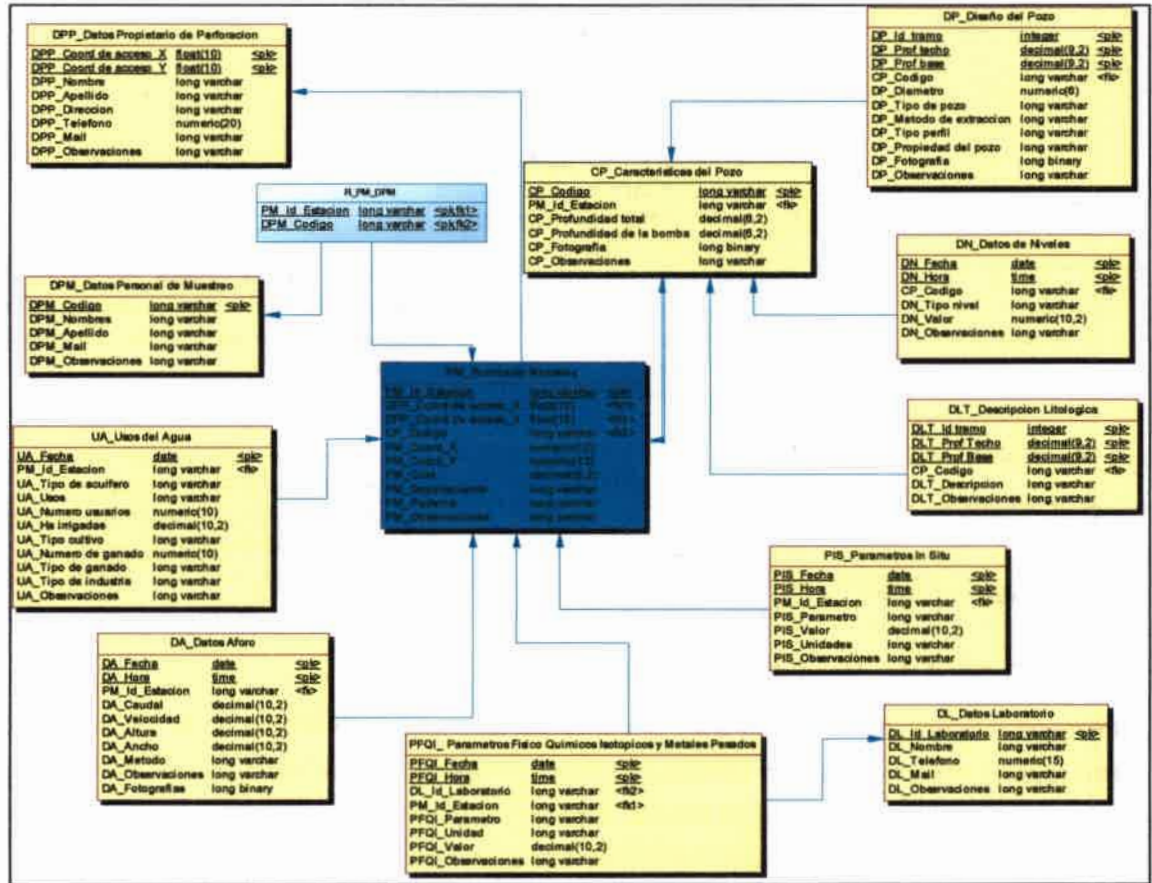


Figura 3.2. Modelo Físico de Datos.

3.1.2. Información cartográfica generada

Dentro de la Geodatabase Personal, además de la cobertura de puntos generada a través de la base de datos, se le sumaron otras coberturas del tipo lineal, areal (polígono) y raster.

Las capas iniciales incluidas en la Geodatabase Personal, se detallan a continuación, en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17. Coberturas iniciales de la Geodatabase Personal.

PUNTOS	LÍNEAS	POLÍGONOS	RASTER
Localidades	Rutas	Geología	Modelo Digital de Elevación
Represas	Curvas de nivel	Geomorfología	
Perfiles aflorantes	Red hidrográfica	Uso actual del suelo	
Puntos de muestreo	Canales	Suelos	
		Cuencas	
		Embalse y Dique	

A partir de la información asociada a puntos de muestreo, se obtuvieron otras capas como son: curvas equipotenciales y curvas de isoprofundidad del nivel estático, isosalinidad del agua subterránea, diagramas de Stiff modificado, tanto del agua superficial como subterránea, entre otras. Además se realizaron mapas temáticos derivados de la combinación de diferentes capas, como son el de susceptibilidad, vulnerabilidad y riesgo a la inundación/avenidas asociados a los sistemas fluviales, a escala regional y de detalle, vulnerabilidad a la contaminación del acuífero libre y mapas de aptitud del recurso hídrico superficial y subterráneo.

CAPITULO 4

CLIMA

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA REGIONAL

Córdoba es una provincia mediterránea, que se encuentra íntegramente en la zona templada, caracterizada por un gran dinamismo atmosférico y la acción de frentes polares y subpolares. Su clima está regido por cuatro centros de acción permanente o semipermanente: los anticiclones del Atlántico y del Pacífico, y las depresiones del Noroeste y de la extremidad Sur del país (Capitanelli, 1979).

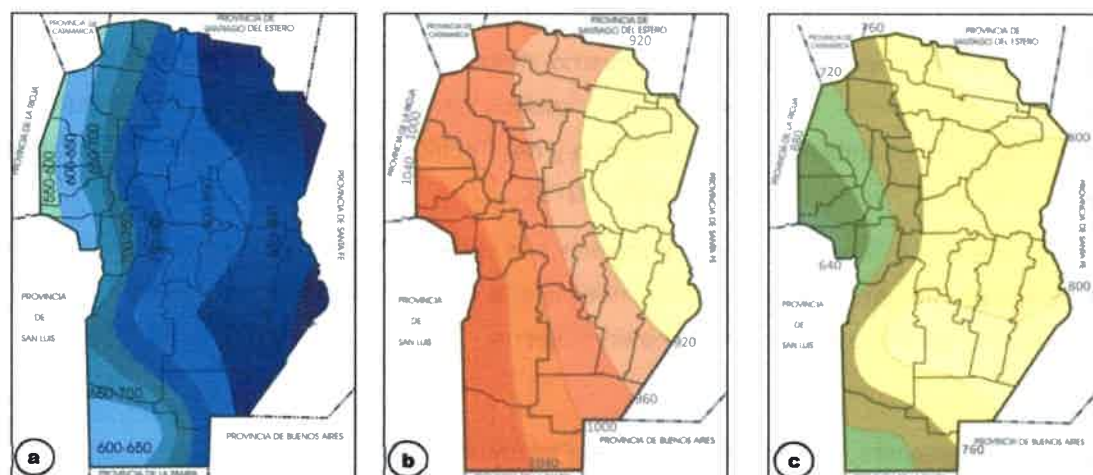
A pesar de ser una zona templada, se pueden observar variaciones en las características climáticas de la provincia debido a la combinación de los diferentes relieves con las masas de aire y los procesos meteorológicos.

4.1.1. Precipitaciones, Evapotranspiración Potencial y Real

Aproximadamente el 70 % de las precipitaciones que se registran en la provincia, se generan por la intervención de dos masas de aire (procesos frontales), mientras que el 30 % restante, se produce por una sola masa (procesos no frontales). En Córdoba, las lluvias se concentran en verano (82 %), mientras que en el invierno sólo caen 141 mm (18 %). Específicamente el sector de traslasierras, se sitúa entre las isohietas de 800 mm (sierras) y menos de 400 mm, en el límite con la provincia de La Rioja (Capitanelli, 1979). Sin embargo, según Gorgas et al. (2003), esta zona se encuentra entre las isohietas de 700 mm a 550 mm (Figura 4.1.a).

Al igual que en el resto de la provincia, las precipitaciones máximas ocurren entre los meses de octubre a marzo y las mínimas se concentran entre los meses de abril a septiembre.

En relación a la evapotranspiración potencial anual, los valores más elevados para la provincia, se hallan en la planicie NO (1000 mm), disminuyendo hacia las sierras con valores cercanos a los 800 mm (Capitanelli, 1979). Por su parte, Gorgas et al. (2003) sitúan a la provincia entre valores de 880 y 1080 mm de evapotranspiración potencial anual para el período 1961 – 1990, estimada a través del método Penman y una evapotranspiración real que varía de 640 a 800 mm. La zona de traslasierras se encuentra entre los 1080 mm en el límite con la provincia de San Luis, disminuyendo hacia la planicie NO hasta los 940 mm. Para la evapotranspiración real, se registran valores de 640 a 720 mm, aumentando hacia la planicie NO (Figura 4.1.b y c).



Figuras 4.1. a) Precipitación media anual, **b)** Evapotranspiración potencial y **c)** Evapotranspiración real. Provincia de Córdoba. Período (1961-1990). Tomado de Gorgas et al. (2003).

4.1.2. Temperaturas

Las características del régimen térmico de la provincia de Córdoba están determinadas por las temperaturas del mes más cálido, del más frío y su amplitud térmica anual (Gorgas et al., 2003). Las temperaturas estivales, representadas por las del mes de enero varían desde 23,5 °C en el Sur de la provincia, hasta valores superiores a 26 °C en el Norte de la misma. Por su parte, la estación invernal, representada por las temperaturas del mes de julio, incluye un rango de valores entre 8 °C y 11,5 °C, al Sur y Norte provincial, respectivamente. La amplitud térmica anual no supera los 16 °C en todo el territorio, siendo el Sur y el Oeste provincial donde se registran las mayores amplitudes (Figura 4.2).

Según Capitanelli (1979) la mayor parte de las sierras se encuentran incluidas dentro de la isoterma media de 16 °C, disminuyendo hasta los 10 °C a partir de los 2000 m de altura aproximadamente. En cuanto a la planicie

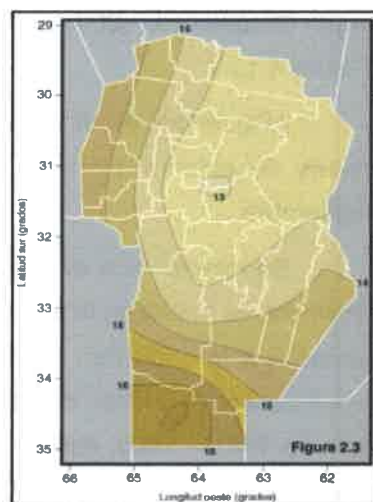


Figura 4.2. Amplitud térmica anual. Pcia de Cba. (1961-1990). Fuente: Gorgas et al. (2003).

occidental, las temperaturas medias anuales, varían de 18 °C al pie de la sierra a 20 °C en el límite con las provincias de La Rioja, Catamarca y Santiago del Estero. Ésta se ve influenciada por los vientos cálidos y secos de la depresión de las Salinas Grandes con rumbo NO. El comienzo y fin del verano térmico para la zona varía de acuerdo a la altitud. Así, en las sierras no existe el verano térmico, pero a medida que se desciende, el mismo comienza del 20 de octubre al 20 de noviembre y finaliza entre el 25 de marzo y el 10 de

abril. Por último, en el límite provincial, el verano térmico se inicia del 1 al 10 de octubre y culmina entre el 17 y el 28 de marzo.

Al considerar el invierno térmico, para las sierras ubicadas al Sur del cordón montañoso, comienza el 1 de abril y termina el 1 de noviembre. A menor altitud, se desarrolla entre el 1 de junio y el 21 de agosto, mientras que en la llanura, no hay invierno térmico.

4.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS LOCALES

Como se mencionó anteriormente, el clima de la provincia de Córdoba es típico de la zona templada. Posee gran uniformidad térmica y concentración estival de las temperaturas, a diferencia de las condiciones hídricas y la variación estacional de las mismas, que se ven afectadas por la acción del relieve. En consecuencia, el gran factor diferencial es de carácter orográfico y su manifestación más evidente la distribución de la eficacia hídrica. Esto llevó a Capitanelli (1979) a establecer tres unidades climáticas.

El área de estudio se halla incluida en dos unidades descriptas por el mencionado autor: **1) Dominio semihúmedo**, con tendencia a semiseco, sin déficit de agua, con invierno y sin verano y **2) Dominio semidesértico**, de las planicies del Noroeste, con excesivo déficit de agua, sin invierno térmico.

Si bien se reconoce, por lo enunciado anteriormente, la importancia de poseer información climática en el sector serrano y en la planicie, por las diferencias que existen en los parámetros entre las dos unidades, sólo se obtuvieron datos de la estación meteorológica de Villa Dolores (1961-2014) representativa de la planicie, mientras que para el sector pedemontano, se consiguieron valores de precipitaciones de dos pobladores pertenecientes a las localidades de Las Tapias (2006-2013) y Villa de las Rosas (2008-2014), utilizándose ésta última estación para la comparación (Figura 4.3). Por lo tanto, los resultados expresados en el presente manuscrito, harán referencia a estas estaciones, quedando limitados los datos serranos a los expresados por Capitanelli (1979) y Gorgas et al. (2003).



Figura 4.3. Ubicación de las estaciones donde fueron recolectados los datos de precipitaciones.

4.2.1. Precipitaciones

El análisis de la variación de las precipitaciones para el área de estudio, se realizó en base a los datos de la estación meteorológica Villa Dolores para el periodo 1961-2014. La precipitación media anual para la serie fue de **628,23 mm**. En la Figura 4.4, se puede observar que la curva anual de precipitaciones presenta dos ciclos bien diferenciados por la media móvil. Desde 1961 a 1975 (con un promedio de 546,36 mm), se desarrolla un ciclo seco, donde en líneas generales, los valores han estado por debajo de la media, destacándose los años 1971 y 1969 como los de menor precipitación con 406,4 mm y 410,3 mm, respectivamente. A partir del año 1976 hasta el 2014 (promedio igual a 659,72 mm), se observa un ciclo húmedo, aunque presenta alternancias con 4 ciclos más secos y muy cortos que se desarrollan entre los años 1986-1987 (con una media anual de 508,1 mm), de 1993 a 1996 (media anual igual a 548,97 mm), de 2002-2003 (con un promedio de 541,45 mm anuales) y por último de 2011-2013 (con un promedio anual de 586,46 mm).

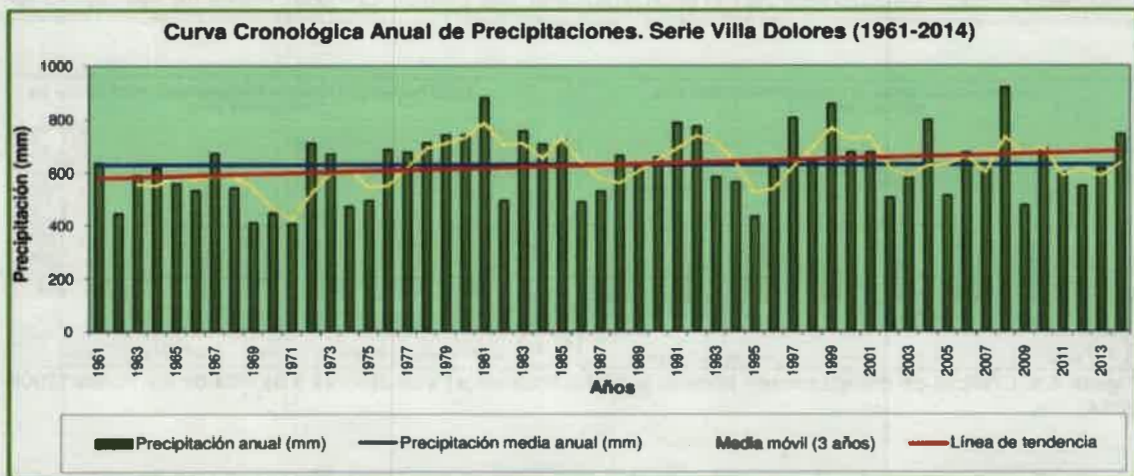


Figura 4.4. Curva cronológica anual de precipitaciones. Serie Villa Dolores 1961-2014.

En relación a los ciclos húmedos, se observa uno de mayor relevancia por su extensión y registros que se desarrolla entre los años 1976-1985, con una media de 710,55 mm, superando notablemente el año 1981 el promedio anual con un valor de 879,6 mm. Por su parte, el período 1988-1992 tiene una media de 700,26 mm y el ciclo 1997-2001 presenta un valor promedio de 730,26 mm, donde se destacan los años 1997 (804 mm) y 1999 (855,5 mm) que hacen elevar considerablemente la media. Por último el ciclo 2004-2010 con un valor promedio de 667,64 mm, es el que más se acerca a la precipitación media anual, fluctuando alrededor de la misma y cuyos valores extremos más destacables son, el año 2008 por ser el de mayor precipitación (917,4 mm) seguido del año 2009 donde se registra el menor valor con 475,3 mm. En el gráfico, se observa que el año 2014 presenta un ascenso de la media móvil, encontrándose por encima de la media con una precipitación de anual de 742 mm.

La curva cronológica de la serie Villa de Las Rosas (2008-2014), ubicada en el sector pedemontano (Figura 4.5 b), presenta dos años (2008 y 2014) que se encuentran muy por encima de la media, mientras que los restantes (2009-2013) han sido más secos, estando por debajo del promedio anual, destacándose el 2009 como el año de menor registro de precipitaciones.

Si se comparan para el mismo período (2008-2014) las lluvias ocurridas en esta estación con la serie Villa Dolores, (Figura 4.5 a) surge que hay una diferencia de 67 mm más en Villa de las Rosas (721,6 mm de precipitación media anual), lo cual estaría evidenciando que a mayor altitud, mayor precipitaciones.

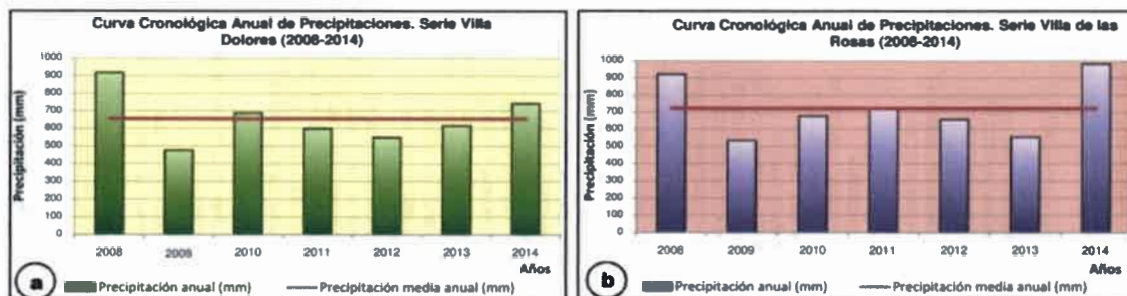


Figura 4.5. Gráficos de precipitaciones anuales y media anual de a) Villa Dolores y b) Villa de las Rosas (2008-2014).

En relación a la distribución de las precipitaciones sólo se consideró la serie Villa Dolores, por su mayor extensión de registro. En la Figura 4.6, se presenta la precipitación media mensual para el período 1961-2014 en esta localidad.

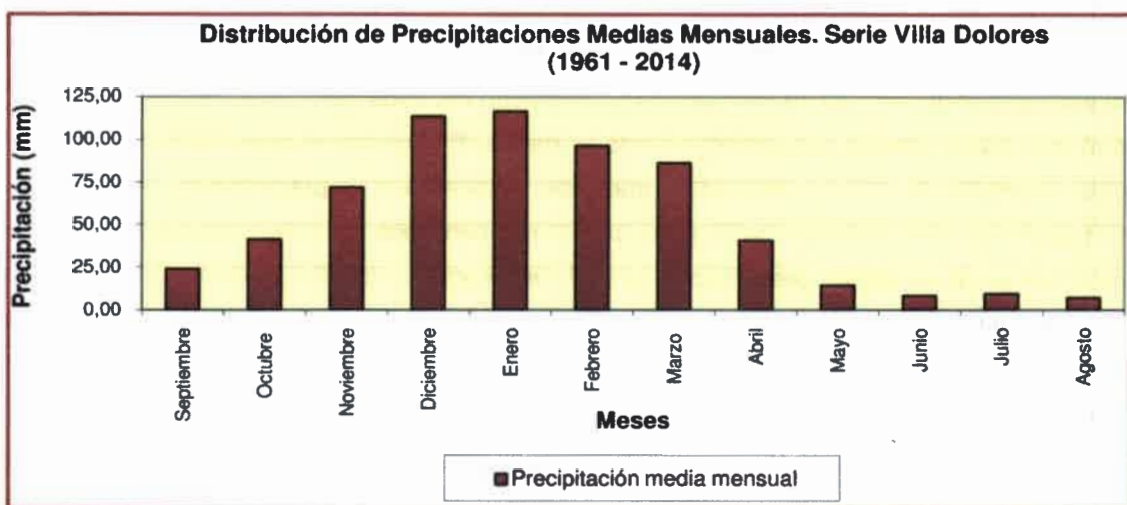


Figura 4.6. Precipitación media mensual. Serie Villa Dolores (1961-2014).

De su análisis surge, que las lluvias se concentran entre los meses de noviembre a marzo, con un total de 484,01 mm (aproximadamente el 77 %), mientras que de abril a octubre se produce un descenso de las mismas, con la caída de 144,22 mm en esos meses (23 % restante). En el mes de enero, se producen las mayores precipitaciones, con un total de 116,37 mm, aunque en el mes de diciembre también se registran valores similares (113,16 mm). Por otra parte, en agosto, se observan los registros más bajos para el período considerado con 6,89 mm, mientras que los meses de junio y julio tienen valores de 8,14 y 9,19 mm, respectivamente.

4.2.2. Temperatura

En la Figura 4.7, se observa la distribución mensual de la temperatura para el período 1981-2014 de acuerdo a los datos obtenidos de la estación meteorológica de Villa Dolores. Cabe aclarar, que el rango de tiempo considerado es menor que para las precipitaciones, debido a que no se poseen registros de los años anteriores. En el gráfico, se observa que las mayores temperaturas ocurren entre los meses octubre y abril, mientras que para los meses de mayo a septiembre se registran los valores más bajos.

El promedio anual para la zona es de 18,9 °C, siendo el mes de enero el que presenta el valor más elevado de temperatura, con 25,4 °C de media. Por otra parte el menor registro, se observó en el mes de julio, con un valor medio de 11,3 °C.

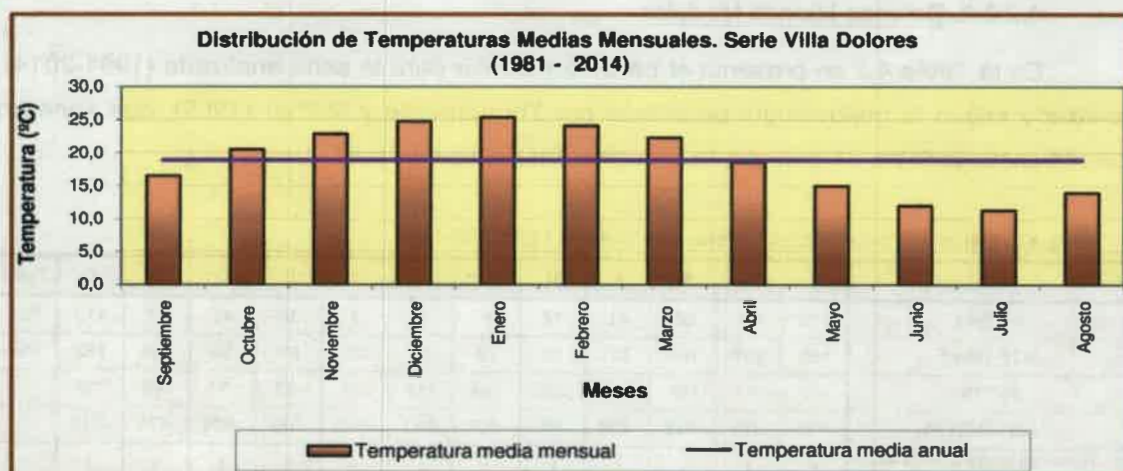


Figura 4.7. Temperatura media mensual. Serie Villa Dolores (1981-2014).

4.2.3. Evapotranspiración Potencial y Balances Hídricos

4.2.3.1. Evapotranspiración Potencial

En la Tabla 4.1, se presentan los resultados de la evapotranspiración potencial calculada para el período 1981-2014, obtenidos a través del método de Thornthwaite (1948). Para ello, se tuvo en cuenta los datos de temperatura registrados en la estación meteorológica de Villa Dolores. Los valores del índice de calor mensual (icm) y del coeficiente de corrección, se hallan tabulados, dependiendo de la temperatura media mensual y, de la cantidad de horas de luz solar, los días que posee el mes y la latitud, respectivamente. El valor de evapotranspiración potencial calculado es de 964 mm, siendo enero, el mes donde se produce la mayor evapotranspiración, con 158 mm y junio el que presenta el valor más bajo con 21 mm.

Tabla 4.1. Evapotranspiración potencial. Thornthwaite (1948). Serie Villa Dolores (1981-2014)

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T°C	25,5	24	22,5	18,5	15	12	11,5	14	16,5	20,5	23	25
icm	11,71	10,82	9,62	7,31	5,28	3,76	3,44	4,75	6,15	8,47	10,01	11,30
C1	4,2	3,7	3,2	2,2	1,4	0,9	0,8	1,2	1,7	2,7	3,4	4
Días del mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
ETP s/ajustar	130,2	103,6	99,2	66	43,4	27	24,8	37,2	51	83,7	102	124
C2	1,22	1,04	1,06	0,94	0,9	0,83	0,88	0,95	1	1,13	1,16	1,23
ETP ajustada [mm]	158	107	105	62	39	22	21	35	51	94	118	152

4.2.3.2. Balance Hídrico Modular

En la Tabla 4.2 se presenta el balance modular para la serie analizada (1961-2014), realizado según la metodología propuesta por Thornthwaite y Mather (1955), que tiene en cuenta como variable de entrada, la precipitación media mensual.

Tabla 4.2. Balance hídrico modular. Serie Villa Dolores (1961-2014)

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
P [mm]	116	96	86	41	14	8	9	7	24	41	72	113	627
ETP [mm]	158	107	105	62	39	22	21	35	51	94	118	152	964
P-ETP	-42	-11	-19	-21	-25	-14	-12	-28	-27	-53	-46	-39	
Sum -(P-ETP)	-415	-426	-445	-466	-491	-505	-517	-545	-572	-625	-671	-710	
Reserva agua útil en el suelo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Variación de la reserva	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Exceso de agua [mm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Déficit [mm]	42	11	19	21	25	14	12	28	27	53	46	39	337
ETReal [mm]	116	96	86	41	14	8	9	7	24	41	72	113	627

A partir de este balance se pudieron estimar los valores de evapotranspiración real media mensual y total, excesos y déficits hídricos mensuales para el período considerado. Como se mencionó en los apartados correspondientes, la precipitación media anual es de 628,23 mm y la evapotranspiración potencial de 964 mm, siendo la evapotranspiración real total de 627 mm (coincidente con el agua precipitada), lo cual produce un déficit total de 337 mm, con ausencia total de excesos de agua en el año. Mediante estos valores, y utilizando la metodología de Thornthwaite (1948) se pudo clasificar climáticamente a la zona de estudio como mesotermal semiárido.

4.2.3.3. Balance Hídrico Seriado

La realización del balance hídrico seriado de paso mensual tiene como objetivo conocer los excesos y déficits que se producen en la zona, los cuales se pueden obtener a través del programa PDIMES (Ravelo, 1990). Además de déficits y excesos, se pueden calcular la evapotranspiración real, almacenaje, recarga potencial y agua potencial extraíble, teniendo en cuenta como variables de entrada la precipitación mensual y la evapotranspiración potencial, aparte de considerar la humedad antecedente del suelo, lo que permite obtener valores más cercanos a los reales.

Como se observa en la Figura 4.8, en general la zona presenta un déficit en todos los meses (del orden de 28,1 mm promedio) para todo el período considerado, aunque pueden ocurrir algunos excesos concentrados entre los meses de diciembre a marzo, donde se registran las mayores precipitaciones. Sólo se obtuvieron excesos para los años 1973, 1980, 1981, 2004, 2007, 2008 y 2014, siendo el año 1981, el de mayor registro con 79,6 mm para el mes de enero y 50 mm en febrero (Figura 4.9). Estos excesos hídricos se reparten en escurrimientos superficiales e infiltración efectiva y aunque no muy frecuentes y de magnitud, cobran relevancia en la dinámica hidrológica de esos ciclos más húmedos. Los mismos, son correlacionables con los ciclos húmedos que surgen de la curva cronológica anual de precipitaciones en donde se observa que las lluvias, en el período húmedo 1976-1985 han ido aumentando hasta un máximo en el año 1981, coincidente con los mayores excesos, al igual que el año 2008, donde se produce el mayor registro de precipitaciones de la serie, y un valor de excesos importante para la zona y el año 2014, donde las lluvias vuelven a estar por encima de la media anual.



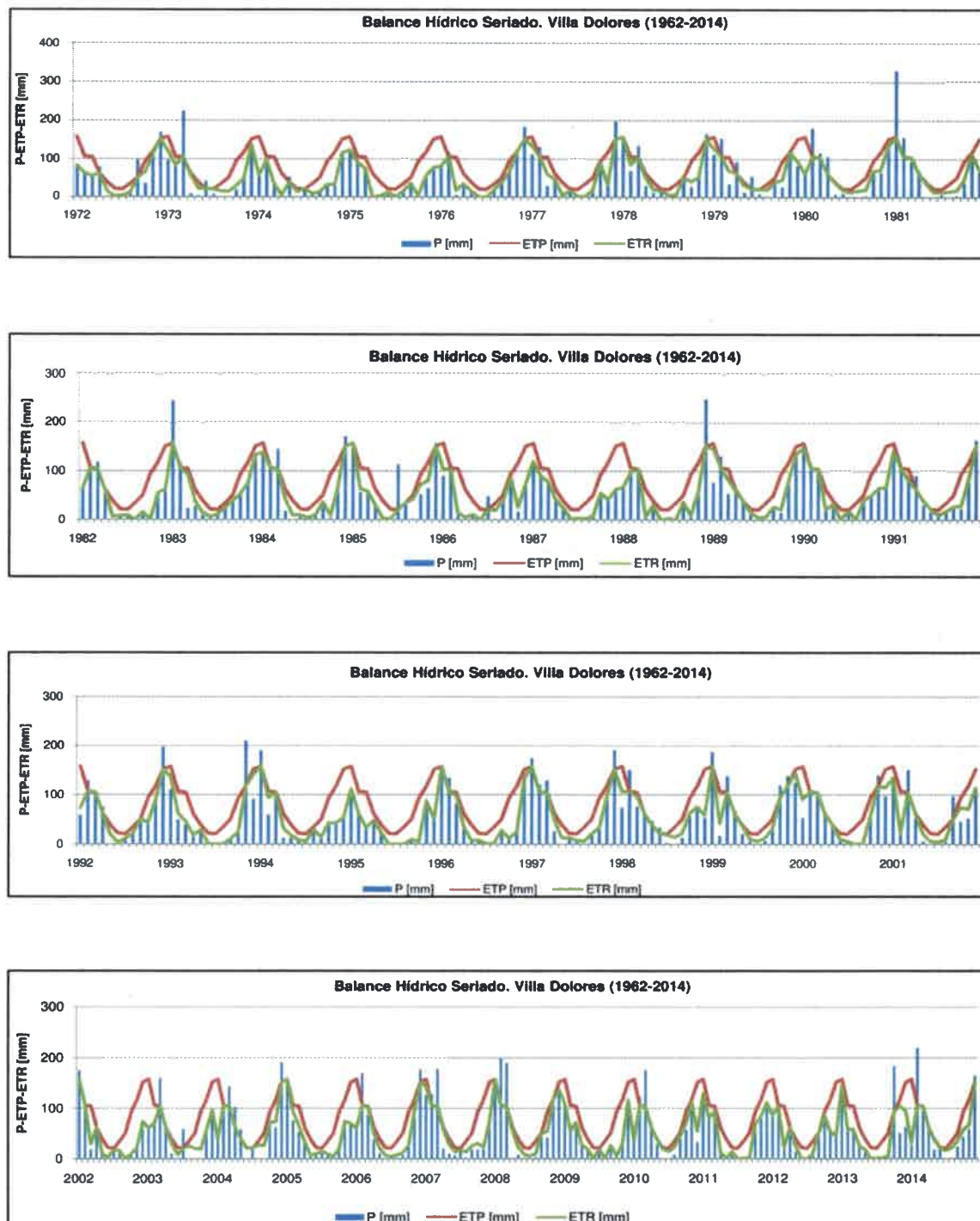


Figura 4.8. Balance hídrico seriado de paso mensual. Serie Villa Dolores (1961-2014).

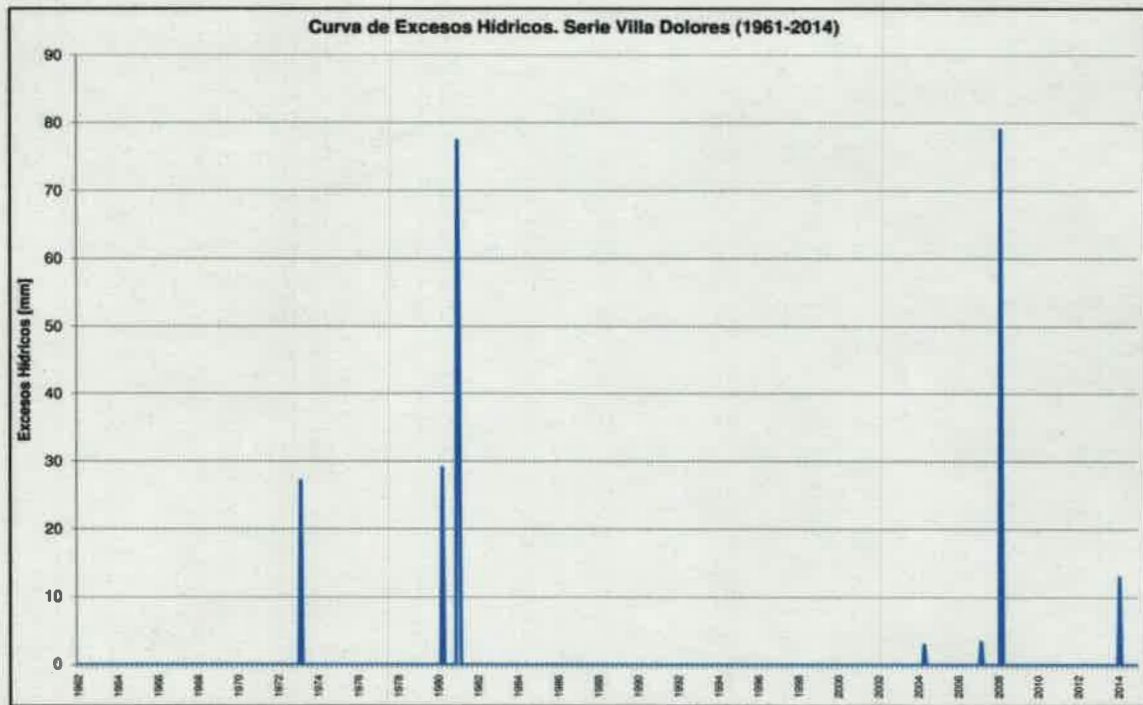


Figura 4.9. Distribución de excesos hídricos. Serie Villa Dolores (1961-2014).



CAPITULO 5

GEOLOGÍA

5.1. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

El área de estudio, se ubica casi en su totalidad en la provincia geológica Sierras Pampeanas, incluyendo áreas pedemontanas y la planicie oriental del Bolsón Salinas Grandes. Actualmente, se la puede dividir en dos provincias, que poseen características diferentes: Sierras Pampeanas Occidentales y Sierras Pampeanas Orientales (Ramos, 1999). Estas últimas, comprenden íntegramente los sistemas serranos e intermontanos de Córdoba, por lo cual se describirán a continuación.

Según Ramos (1999), las Sierras Pampeanas Orientales corresponden a un orógeno generado durante el Proterozoico, con una colisión cercana al límite Precámbrico-Cámbrico que sería responsable del magmatismo y metamorfismo de esa edad. Litológicamente están caracterizadas por metamorfitas proterozoicas a paleozoica inferior, compuestas principalmente por esquistos y gneises. En su mayoría se encuentran en el grado medio o en facies de anfibolita, incrementándose hasta facies de alto grado de metamorfismo (Bonalmi et al., 1999). Se pueden reconocer varias fases de plegamiento, debido a las complejas deformaciones que fueron sometidas las sierras. Este basamento metamórfico está intruido por numerosos granitoides calcoalcalinos, de dimensiones muy variadas, asociados a subducción y que corresponderían a un arco magmático de edad proterozoica a paleozoica inferior. Subordinadamente se reconocen episodios vulcanoclásticos de edad cretácica y terciaria.

En la Figura 5.1 se observa la **columna estratigráfica** y en la Figura 5.2, el mapa geológico regional correspondiente a la carta geológica de Villa Dolores (Bonalmi et al., 1999), representativa del sistema de las Sierras Grandes y de Pocho, y de los rellenos sedimentarios cenozoicos de los valles intraserranos y planicies occidentales hacia la depresión de las Salinas Grandes.

Como puede observarse en la Figura 5.2, el basamento cristalino está ampliamente representado por las metamorfitas correspondientes a la unidad Gneises y Esquistos Mojigasta, perteneciente al Complejo Metamórfico Guasapampa. Se trata de esquistos y gneises moscovítico-biotíticos de edad Precámbrico Superior - Paleozoico Inferior que conforman los cordones de las Sierras de Pocho, Altautina y Sierras Grandes. Estas rocas forman parte de un complejo polimetamórfico que evolucionó fundamentalmente entre los 800 y 530 Ma durante el Ciclo Orogénico Brasileño-Pampeano, aunque se reconocen algunos núcleos más antiguos (Bonalmi et al., 1999).



Figura 5.1. Estratigrafía regional. Hoja Villa Dolores 3166 IV. Escala 1:250.000. Tomado de Bonalumi et al. (1999).

Además se destacan cuerpos granitoides, de los cuales el mayor es el Batolito de Achala, que cubre una superficie aproximada de 2500 km² y se emplazó en el Devónico Inferior (Estadio Achaliano - Bonalumi et al., 1999). El mismo, corresponde a una intrusión emplazada en metamorfitas de grado medio-alto y está constituido por rocas graníticas de grano fino a grueso. Cuerpos menores se reconocen en el sector del Embalse Medina Allende, el cual está conformado por granitoides porfiricos de grano grueso y en el sector del arroyo Cóndor Huasi y Cerro Divisadero, compuesto por granitos y pegmatitas, todos de edad Paleozoico Medio. A su vez, se distinguen los complejos granotécnicos que se desarrollan en gran extensión al Norte de la carta Villa Dolores formados por granitos y diatexitas ubicados en el Cámbrico Inferior.

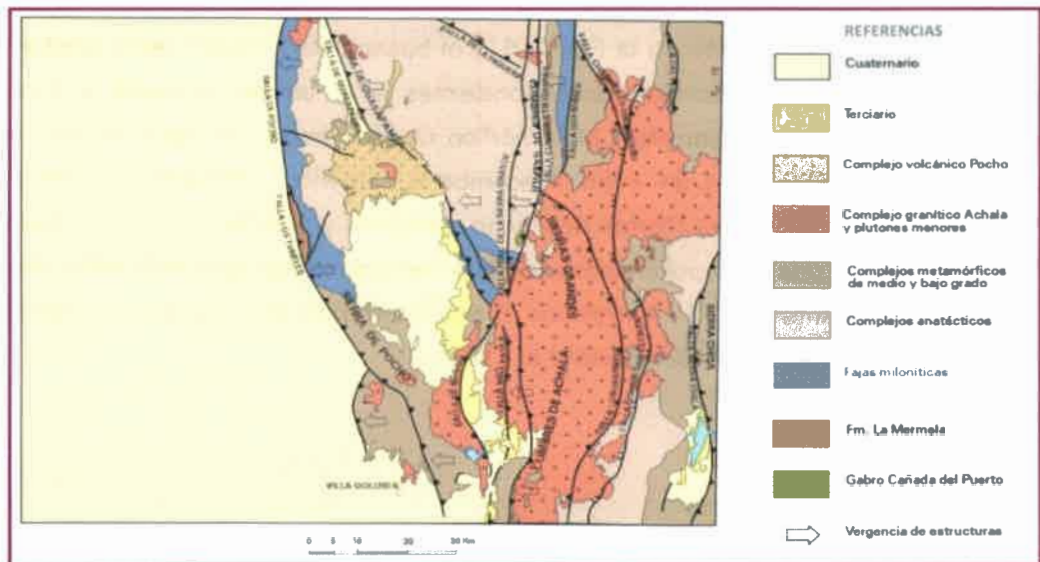


Figura 5.2. Esquema geológico regional. Tomado de Bonalumi et al. (1999).

Durante el Carbonífero-Triásico, las Sierras Pampeanas constituyeron un retroarco con tectónica extensional sobre las que se desarrolló el Grupo Paganzo. Esta sedimentación está pobremente representada a lo largo del margen occidental de la Sierra de Pocho por sedimentitas continentales de la Formación Chancaní constituidas principalmente por conglomerados, areniscas y pelitas de origen continental, que incluyen restos fósiles.

En el Cretácico temprano y asociado a la apertura del Atlántico ocurrió un proceso de rifting generalizado en la Placa Sudamericana que se tradujo en fallamiento extensional y reactivación de rasgos estructurales previos, principalmente a lo largo del margen más oriental de las Sierras Pampeanas. Se produjo sedimentación continental asociada a vulcanismo basáltico (Formación Vulcanitas Cerro Colorado).

Al Norte de la Pampa de Pocho aparecen una serie de elevaciones, dispuestas sobre un bloque mayor de basamento con suave basculación al ESE, constituidas por restos de domos volcánicos y depósitos piroclásticos de espesores crecientes hacia el Este. En este sector se reconocen secuencias volcánicas de composición dacítica-andesítica, traquiandesítica, andesítica, acompañadas de depósitos piroclásticos, travertínicos, que representan un episodio magmático ocurrido en el Mioceno, ya correspondiente al Ciclo Andino (Bonalmi et al., 1999).

El registro sedimentario del Neógeno se halla escasamente representado en la hoja Villa Dolores, y está asociado principalmente a los fondos de grandes valles intermontanos de las sierras, como Pampa de Pocho y los Valles de Calamuchita y San Alberto. A pesar de la discontinuidad lateral y dispersión geográfica, estas secuencias tienen rasgos característicos comunes y se agruparon en una sola unidad litoestratigráfica denominada Formación Brochero (Sayago, 1978), correspondiente al Plioceno Inferior-Medio. Está compuesta en la base por conglomerados finos, rojizos con matriz limo arenosa y por facies de arenas medias a gruesas, rojizas con matriz limo arcillosa, observándose calcretas nodulares, mientras en que el sector medio y superior, dominan las facies limo arenosas y limo arcillosas de color rojizo.

Dentro de los sedimentos asignables al Cuaternario, se distinguen la Formación Las Rabonas (Pleistoceno Inferior), Formación Toro Muerto (Pleistoceno Medio) y las Formaciones Charbonier, Mina Clavero, Chuña y La Batea (Pleistoceno Superior). La primera, conforma los depósitos aluviales gruesos a muy gruesos del Valle Nono-Las Rosas, mientras que, las Formaciones Toro Muerto y Charbonier, se componen de loess, calcretas, arenas medias y gravas fluviales no consolidadas que forman los depósitos de conos de deyección. Los sedimentos de origen eólico, principalmente limos y arenas, están

agrupados en la Formación La Batea y los de origen fluvial, en las Formaciones Mina Clavero y Chuña.

Por último, el registro sedimentario más moderno, se encuentra representado por las Formaciones Guanaco Muerto y Las Ollas de edad holocena, cuyos depósitos, son principalmente fluviales (arenas finas a muy finas, limosas) aunque se observan interdigitados con sedimentos eólicos (arenas finas y limos gruesos).

Estructuralmente, las Sierras de Córdoba exhiben deformaciones dúctiles-semifrágiles hasta el Paleozoico superior y un comportamiento frágil posterior. Según Dalla Salda (1987) y Demange et al. (1993) la evolución del basamento de Sierras Pampeanas es el resultado de la acción tectónica durante tres etapas principales: *Etapa I: Fase tectónica orogénica inicial; Etapa II: Ciclo de actividad del cinturón móvil, que comprende una Primera Fase (D2) y una Segunda Fase (D3) y, Etapa III: Ciclo de fracturación cratónica.*

Como señalan estos autores a partir del Paleozoico superior, el área ya cratonizada se caracteriza por presentar un estilo estructural vinculado a la deformación frágil. Consecuentemente se exponen en las sierras gran cantidad de fracturas de jerarquía diversa en cuanto a su longitud, desplazamiento asociado y actividad tectónica (Figura 5.2). Muchas de estas fracturas fueron reactivadas y muchas otras han sido generadas durante el acortamiento cortical relacionado con la orogenia Andina, cuya historia de levantamiento ha sido referida generalmente a tres fases de movimientos, a partir del Oligoceno-Mioceno hasta el Plioceno-Pleistoceno (fase Principal) según Criado Roque et al. (1981). La ubicación de las fallas ándicas está controlada por líneas de debilidad previa, habiéndose constatado en las Sierras de Córdoba, que muchas de ellas son inversión de fallas normales cretácicas (Ramos, 1999).

Las sierras quedan conformadas por megabloques meridianos a submeridianos de basamento, de perfil transversal asimétrico debido a la presencia de importantes fallas inversas en el borde occidental de las serranías (Gordillo y Lencinas, 1979; González Bonorino, 1950; Introcaso et al., 1987) que generan escarpas de fallas de magnitud variable (200 – 1000 m de desplazamiento) al poniente y una pendiente estructural más suave al Este.

Para Gordillo y Lencinas (1979) las estructuras principales son fracturas inversas de alto ángulo con inclinación de 50° a 70° hacia el bloque levantado, que conformarían importantes fajas de fracturación, mientras que González Bonorino (1950) y posteriormente Introcaso et al. (1987) establecieron un modelo morfogenético para las Sierras Pampeanas suponiendo que las fallas limitantes son superficies curvas con generatriz horizontal (lítricas), de manera que su inclinación va disminuyendo hacia abajo (el ángulo de las fallas

inversas sería moderado a bajo por debajo de los 20 km). Por otra parte, Jordan y Allmendinger (1986) señalan que las fallas inversas que han subdividido el basamento cratónico en bloques inclinados alineados y amplias cuencas han sido activas durante el Cenozoico tardío (no más allá de los últimos 10 Ma) y que esto es coincidente con el tiempo durante el cual la placa de Nazca desarrolló su actual trayectoria subhorizontal. Además concluyen que el mecanismo de los terremotos focales indica un fallamiento inverso de moderado ángulo a profundidades medias y bajas de la corteza.

5.2. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

5.2.1. Geología de Superficie

5.2.1.1. Estratigrafía

5.2.1.1.1. Descripción de unidades formacionales

A continuación se describen las unidades formacionales que conforman el área de estudio (Figura 5.3), extraídas de Bonalumi et al. (1999) y enriquecidas con descripciones de perfiles realizados en el campo.

Precámbrico Superior – Paleozoico Inferior

Complejo Metamórfico Guasapampa

- Gneises y Esquistos Mojiqasta – Pocho: son las rocas dominantes de la Sierra de Pocho, pero también se exponen en la escarpa de las Sierras Grandes. Olsacher (1972) los describió como gneises esquistosos inyectados y micacitas gnéicas, atribuyéndolos a distintos grados de inyección. Se trata de rocas bandeadas con capas oscuras ricas en micas de 2-5 mm y capas claras ricas en cuarzo de 1-4 mm. Se las clasifica colectivamente como esquistos y gneises muscovítico-biotíticos con escaso granate. Asociadas a estas rocas se reconocen intercalaciones de un tipo más cuarcítico, junto a lentes de anfibolitas.

Estos esquistos y gneises han sido intruidos, en aparente concordancia, por granitos pegmatoides y pegmatitas, muy ricos en turmalina. Es notable y bastante común la turmalinización de los esquistos y gneises en contacto con los intrusivos. El conjunto de gneises y esquistos junto a los granitos, se halla plegado en estructuras de tamaño kilométrico.

En las Figuras 5.4 a y b, se observan exposiciones de este complejo en la escarpa de las Sierras Grandes.

Mapa Geológico - Zona de Villa Dolores

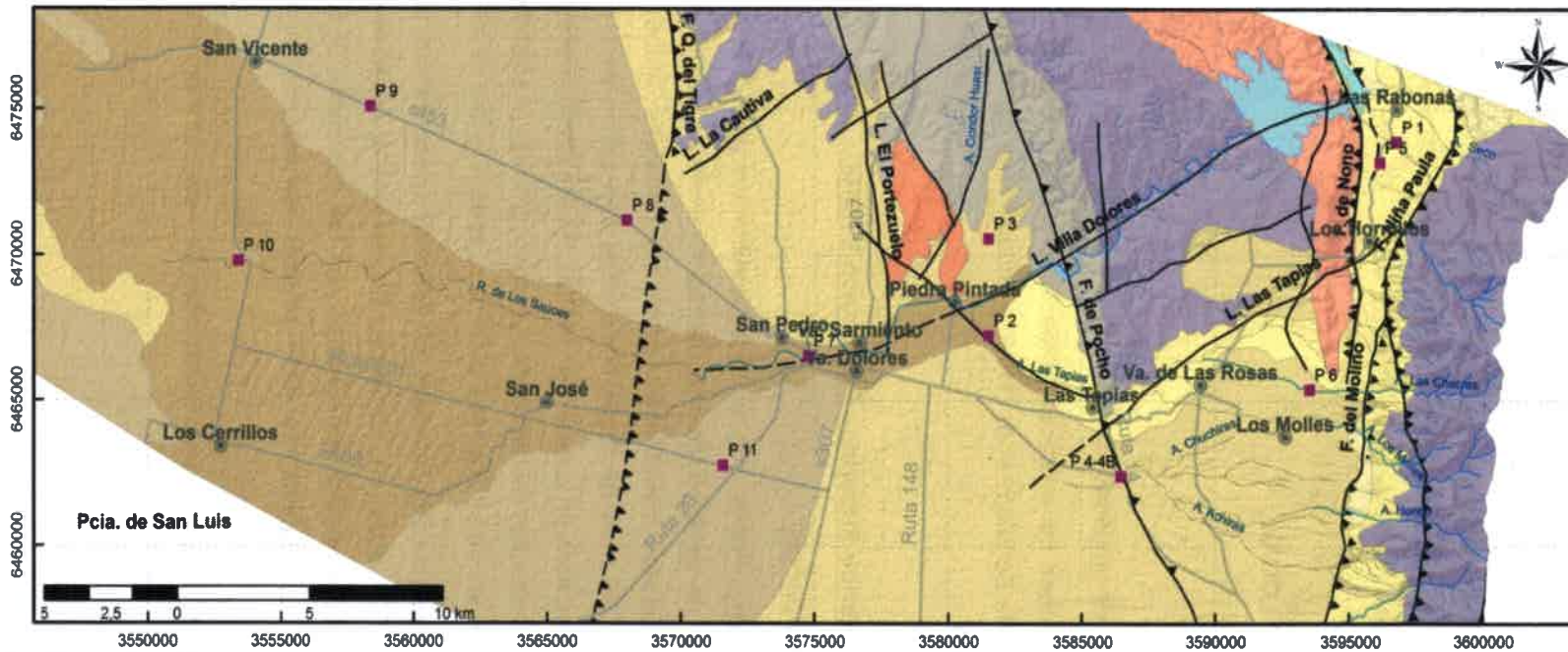
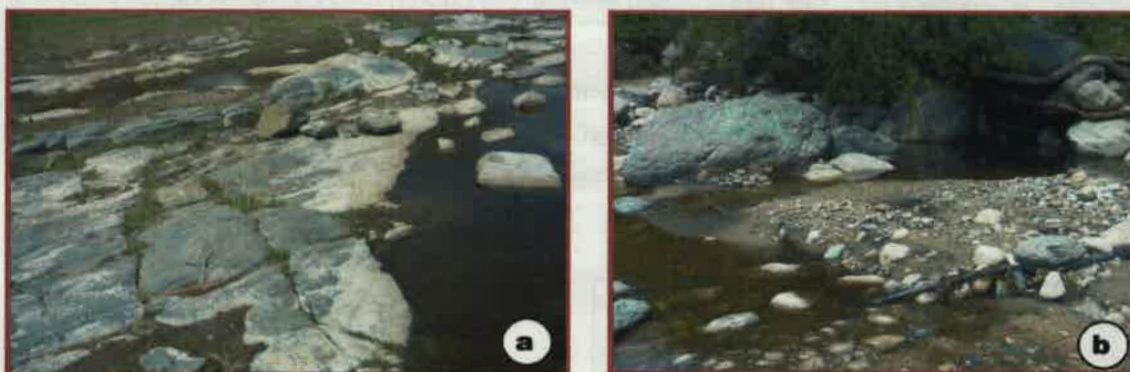


Figura 5.3. Mapa geológico de la zona de estudio. Modificado de Bonalumi et al. (1999).



Figuras 5.4. a) Afloramientos rocas gneísicas y b) gneiss esquistosos pertenecientes al complejo Mojigasta en el lecho del arroyo Los Molles, que desciende de las Sierras Grandes.

- **Esquistos de Altautina:** el conjunto está compuesto por tres litologías: esquistos bandeados (el más abundante en sus afloramientos), cuarcitas micáceas y micacitas, con intercalaciones de mármoles y gneises calcosilicatados. El conjunto se halla a su vez intruido por venas de cuarzo concordantes y discordantes, estas últimas plegadas, de espesores milimétricos. Se han reconocido también pequeños diques concordantes de tonalitas.

El paisaje donde afloran estas rocas es áspero y se destacan lajas de distintos tamaños y espesores. La esquistosidad está muy bien desarrollada en todas las variedades litológicas reconocidas. Su composición mineralógica es bastante constante y está formada por: *Qtz-Bt-Pl-Ms-Tur-Mag*.

* **esquistos bandeados:** se trata de una roca de grano fino a muy fino, con alternancias de capas claras ricas en cuarzo y capas oscuras biotíticas de espesores milimétricos. Es la roca de mayor distribución y presenta variaciones, en el espesor de las capas, en la proporción de cuarzo y biotita, en el grado de meteorización y de deformación. Esto ha llevado a reconocer numerosas variedades petrográficas. La composición mineralógica es cuarzo, biotita, escasa o nula plagioclasa, escasa turmalina. Se reconoce también muscovita de grano muy fino.

* **cuarcitas micáceas:** son rocas color gris oscuro a negro, exfoliables en lajas gruesas y de grano muy fino como características de campo más salientes. Son ricas en cuarzo, estando este último en mucha menor proporción que en las cuarcitas verdaderas, con escasa biotita que se dispone paralela a los planos de foliación dominante.

* **micacitas:** rocas de grano muy fino a medio predominantemente compuestas por biotita a veces con dos micas: biotita y muscovita, con escaso cuarzo.

En la Figura 5.5, se pueden observar diferentes afloramientos de estos esquistos, uno en la zona Norte del área de estudio, en el valle del arroyo Cóndor Huasi y el segundo en las márgenes del Dique Compensador Boca de Río, ubicado aguas abajo del Embalse Medina Allende.



Figuras 5.5. a) Esquistos aflorantes en cuenca superior A° Cóndor Huasi y b) en dique nivelador Boca del Río.

Paleozoico Inferior

- Granito Cóndor Huasi

Aflora a pocos kilómetros al Norte de Villa Dolores, en la cuenca inferior del arroyo Cóndor Huasi y se expone en el cauce del río de Los Sauces en el balneario de Piedra Pintada (Figura 5.6). Es un cuerpo elongado en sentido Norte-Sur, con una extensión máxima de 3 km, que sobresale muy poco del terreno ya que posee una morfología achatada y completamente tabular.



Figura 5.6. Afloramiento de granito Cóndor Huasi en el balneario Piedra Pintada. A la derecha detalle donde puede observarse rasgos texturales.

Presenta textura holocristalina granular con clara manifestación de deformaciones acusadas por la pulverización del cuarzo. Mineralógicamente está compuesto por Qtz-Kfs-Pl-Ms-Bt-Ap-Tur-Pertita. La cristalización tardía del Kfs ha generado texturas de intercrecimiento que rodean a las plagioclasas. Petrográficamente la roca es clasificada como un *granito moscovítico*.

Paleozoico Medio

Complejo Granítico Achala

El batolito de Achala es una intrusión emplazada en las metamorfitas (grado medio-alto) del basamento cristalino de la Sierra de Córdoba. Es un macizo granítico de 110 km de largo (N-S) y 45 km de ancho (E-O), con una superficie aproximada de 2.500 km². En general presenta una disposición intrusiva en lóbulos regionalmente discordantes con las metamorfitas que conforman la caja, aunque en algunos sectores localizados los contactos son interdigitados conformando una transición.

El crecimiento del batolito habría operado, a gran escala, en tres etapas, una inicial con el alojamiento de las facies porfíricas, seguida de la inyección de granitos biotíticos de grano fino, en general con forma de diques, y finaliza con el emplazamiento tardío de los granitos más evolucionados con forma de cúpula.

Hay coincidencia entre los distintos autores, que el magmatismo de Achala es peraluminoso, incluso con presencia de sillimanita o granate que indicaría una fuerte aluminosidad del protolito sometido a fusión. Aparecen minerales accesorios opacos como la ilmenita y la uraninita. Es un magma rico en volátiles como el fluor (fluorapatita), boro (turmalina) y agua (pegmatitas y alteraciones deutéricas).

Se puede dividir al batolito en cuatro grupos texturales (Alvarez, 1992):

GRUPO I: granitoides de *grano fino*.

GRUPO II: granitoides equigranulares de *grano medio* y *leucogranitos*, como los que conforman las pampas de altura de las Sierras Grandes.

GRUPO III: granitoides porfíricos de *grano medio*.

GRUPO IV: granitoides porfíricos de *grano grueso*. En la zona de trabajo dominan los granitos de este grupo en la Sierra de Achalita. En la Figura 5.7 se puede observar el paredón del Embalse Medina Allende, el cual se halla emplazado sobre granitos pertenecientes a este grupo.

Zarco (1992) sostiene que los diferentes grupos texturales y sus variaciones faciales están emplazados en un único episodio magmático, debido a la existencia de contactos

interfaciales sinmagmáticos y, si bien la distribución de los petrotipos es compleja, el crecimiento del edificio batolítico operó en tres etapas: en la primera se alojan las facies porfíricas mayores (grupos III y IV), en la segunda se intruyen los granitos de grano fino preferentemente en los contactos interfaciales (grupo I) y por último se emplazan en una etapa tardía los granitos leucocráticos (grupo II). Pegmatitas sinmagmáticas y aplopegmatitas tardías están homogéneamente repartidas por todo el cuerpo, algunas de las cuales revisten importancia económica, como la situada al Norte de la localidad de las Tapias (Mina Las Tapias) donde se explotan minerales de Be, Li, Bi, sulfuros de Fe y Cu.

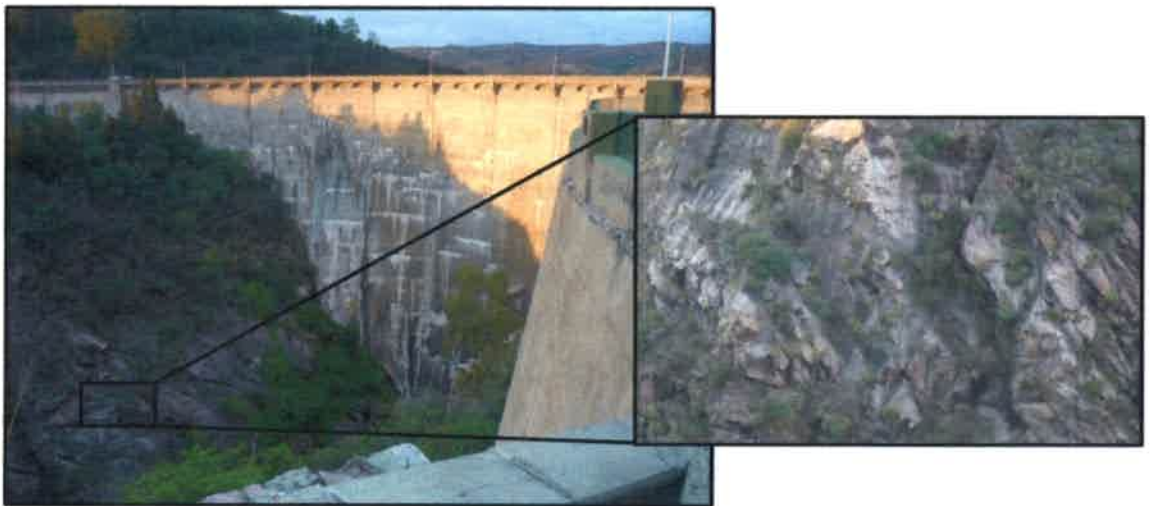


Figura 5.7. Embalse Medina Allende emplazado sobre granito de grano grueso. A la derecha detalle del afloramiento donde puede observarse la marcada orientación que presentan estos cuerpos.

Cenozoico Superior

Plioceno Inferior - Medio

- **Formación BROCHERO** (Sayago, 1978. Corregido por Bonalumi et al., 1999)

Los sedimentos asignables al Terciario son escasos en el área de trabajo y están representados por la Formación Brochero. La misma fue identificada y descrita por Sayago (1978), distinguiendo dos miembros: inferior y superior. Sin embargo según Bonalumi et al. (1999) sólo los sedimentos del miembro inferior, son de edad pliocena, pues están separados del miembro superior por una discordancia muy marcada y presentan características sedimentológicas y estructurales muy diferentes. La Formación redefinida abarca los sedimentos que Castellanos (1942, 1944) asignó al "Brocherense" y parte del "Ensenadense". Por su parte, Gaido et al. (2006), en la Hoja Valle de Calamuchita,

describen "Depósitos fluviales finos: arenas fluviales no consolidadas" como pertenecientes a esta Formación.

Los afloramientos, escasos y de poca magnitud (2 a 12 m de espesor visible, sin base expuesta), se encuentran dispersos en la zona del pie de monte y terrazas de los ríos, donde aparecen como elevaciones de un paleorelieve cubierto por depósitos más modernos.

Según Bonalumi et al. (1999) la base está compuesta por facies de conglomerados finos sabulíticos, rojizos, con matriz limo arenosa, por lo general granodecrecientes y por facies de arenas medias a gruesas, rojizas, con matriz limo arcillosa. Tienen estratificación poco marcada dada por capas lenticulares con acuñamiento lateral en el orden de varios metros. Las arenas tienen laminación plana paralela discontinua poco marcada y las gravas estratificación cruzada. En estos niveles se observan calcretes nodulares y laminares discontinuos, con un importante contenido de CaCO_3 .

Los sectores medio y superior están conformados por facies de limos arenosos y limos arcillosos de color rojizo, masivos a ligeramente laminados y friables. En estas facies se reconocen relictos de paleosuelos, son remanentes de horizontes "B" con barnices de arcillas y sesquióxidos (especialmente de hierro) y lavado de carbonatos.

La edad de la Formación fue inferida a través de su contenido faunístico. En Bonalumi et al. (1999) se indica que los restos fósiles encontrados pertenecerían a una edad Montehermosense-Chapadmalalense, es decir Plioceno Temprano a Medio. Por su parte Cruz (2011), señala que en base a la presencia de *Phlyctaenophyga* se propone que la asociación faunística correspondiente a la Formación Brochero, sería asignable al Montehermosense-Chapadmalalense (Mioceno tardío – Plioceno tardío).



Figura 5.8. Perfil 1 donde se observan sedimentos de la Formación Brochero.

En el área de estudio esta Formación se puede observar en la ruta N° 20 en el tramo Los Homillos – Las Rabonas (Perfil 1-Figura 5.3). En este corte (Figura 5.8), se reconocen materiales de color rojizo, arenosos finos-limosos, con niveles ricos en arcilla, groseramente

estratificados, que exhiben artesas hacia el techo. La descripción del perfil se presenta en el ítem 5.2.1.1.2

Pleistoceno Inferior

- Formación LAS RABONAS (Sayago, 1978, modificada por Bonalumi et al., 1999)

Sayago (1978) diferencia dos miembros para esta Formación, sin embargo sólo los sedimentos asignados al miembro inferior son considerados por Bonalumi et al. (1999), debido a que en la unidad original se agruparon sedimentos de diferentes edades que están separados por una evidente discordancia y poseen arreglos morfosedimentarios muy dispares. Gaido et al. (2006) reconocen para el Valle de Calamuchita cuatro unidades litoestratigráficas que se correlacionan con la Formación Las Rabonas: **1) Depósitos coluviales y aluviales gruesos:** bloques mayores a 1 m; loess, calcretas, arenas medias, gravas fluviales no consolidadas; **2) Depósitos coluviales y aluviales medios:** bloques entre 0,5-1 m; loess, calcretas, arenas medias, gravas fluviales no consolidadas; **3) Depósitos coluviales y aluviales finos:** rodados menores a 0,5 m; loess, calcretas, arenas medias, gravas fluviales no consolidadas y **4) Depósitos coluviales, fluviales:** arenas y limos débilmente consolidados. Estos últimos se correlacionan con los depósitos descritos por Sayago (1978) para el miembro superior (Gaido et al., 2006), por lo que se infiere que las tres primeras unidades corresponderían al miembro inferior de la unidad original de Sayago (1978) y a la Formación Las Rabonas redefinida por Bonalumi et al. (1999).

Los depósitos asignados a la Formación Las Rabonas modificada por Bonalumi et al. (1999), se encuentran dispersos en el piedemonte y valles fluviales, fundamentalmente dentro de la depresión de Nono-Las Rosas, donde se distinguen por constituir parte de lomas aisladas de cumbres achatadas y flancos pronunciados. Los afloramientos, de 2 a 30 m. de espesor expuesto, aunque se consideran mayores (Sayago, 1978, indicaba hasta 500 m de potencia), están conformados por depósitos fluviales, aluvionales y coluviales gruesos a muy gruesos que se disponen en discordancia sobre las secuencias asignadas al Plioceno o sobre el basamento cristalino.

La secuencia comienza, generalmente, con un conglomerado clasto sostén, grueso a muy grueso, que conforma cuerpos lentiformes; los clastos son subredondeados a redondeados. Por encima de éste se encuentra un conglomerado medio, con abundante matriz arenosa, media a fina, que gradúa hacia arriba a una arena más fina, groseramente estratificada, de color gris blanquecino claro a pardo grisáceo, que contiene pequeños rodados y lentes de gravas. Culmina el depósito una capa de conglomerados medios, con

matriz limoarenosa y cemento calcáreo que está coronada por un nivel de calcreta de 10 a 70 cm de espesor, constituido por capas del conglomerado, intercalaciones irregulares de calcáreos, limos arenosos y limos arcillosos con alto contenido de carbonatos. En estos depósitos se observan varios niveles de calcretas pulverulentos, color gris terroso a rosa pálido o calcretas masivos de varios centímetros de espesor (Figura 5.9). La edad de estos depósitos se infiere en relación a su yacencia sobre materiales asignados al Plioceno (Formación Brochero), grado de diagénesis y relaciones laterales.



Figura 5.9. Formación Las Rabonas. Calcretas laminadas en su parte superior. Ruta N° 20, tramo Los Hornillos – Las Rabonas. Perfil 1-Figura 5.3.

Sedimentos asignados a esta

Formación fueron descriptos en los perfiles 1, 4B, 5 y 6 (Figura 5.3-ítem 5.2.1.1.2) localizados en el piedemonte occidental de las Sierras Grandes. En el P1 y P6 fueron descriptos conglomerados gruesos a muy gruesos, gris blanquecinos, cementados, que rematan en varios niveles de calcretas y que apoyan discordantemente sobre la Formación Brochero en el primer caso, y sobre basamento metamórfico en el segundo (Figura 5.10).



Figura 5.10. Formación Las Rabonas. Conglomerados en parte inferior. A° Las Chacras.

Estas secuencias corresponden a facies proximales de abanicos aluviales. En el P4B, en cambio se describieron secuencias fluviales correspondientes en general a posiciones medias, que rematan con niveles de mayor energía. En el P5 se exponen secuencias brechosas gruesas que se interpretaron con dudas como pertenecientes a esta Formación en concordancia con lo expresado por Sayago (1978).

Pleistoceno Medio

- Formación TORO MUERTO (Carignano, 1997)

Los afloramientos de sedimentos del Pleistoceno medio son escasos y de poca magnitud siendo designados por Carignano (1997) como Formación Toro Muerto. La misma es reconocida por Bonalumi et al. (2005) en la llanura de la Hoja Geológica de Villa María, mientras que Gaido et al. (2006) correlacionan a esta Formación, *depósitos de loess, calcretas y arenas medias no consolidadas* del Valle de Calamuchita. El equivalente estratigráfico en la llanura de estos depósitos son los sedimentos del Pampeano inferior (Ameghino 1885, 1889; Bodenbender, 1905, 1929a-b) y de la Formación Pampiano (Fidalgo et al., 1973, Cantú, 1992).

Asoman en la base de la mayoría de las barrancas de los ríos en el Valle de San Alberto, y con frecuencia se los confunde con los depósitos de la Formación Brochero.

La Formación tiene de 1 a 7 m de espesor visible. Está constituida por limos, limos arenosos, limos loessoides y loess primarios, masivos a débilmente laminados, con elevado contenido de arcillas y carbonato de calcio disperso en la masa, los cuales forman depósitos que poseen espesores visibles que varían de 1 a 7 m.

La secuencia se caracteriza por el importante desarrollo de niveles de calcretes (masivos, globulares, nodulares, laminares, entre otros). Gran parte de estas concreciones se habrían formado a partir de la acción pedogenética, durante lapsos prolongados de estabilidad climática y sedimentaria (Bonalumi et al., 1999).

Pleistoceno Superior

- Formación CHARBONIER (Carignano, 1997)

Fue definida como unidad litoestratigráfica por Carignano (1997), mientras que Sayago (1978) la consideró como miembro superior de la Formación Las Rabonas.

Estos sedimentos están ampliamente distribuidos en la llanura occidental, así como en el Valle de Nono-Las Rosas.

La unidad tiene un espesor expuesto que varía entre 2 y 9 m, aunque puede ser mayor (alrededor de 30 m). Los depósitos, en las áreas proximales, están constituidos por conglomerados con rodados de tamaños muy variable, incluidos en una matriz limo arenosa. En las zonas medias a distales del pedemonte y los abanicos aluviales predominan sedimentos limoarenosos de origen fluvio-eólico (loess retransportados mezclados con

arenas fluviales). En todos los casos, estos materiales contienen carbonato de calcio libre pulverulento o en forma de pequeños nódulos (Bonalumi et al., 1999).

Los depósitos conglomerádicos con matriz psefítica fina y moderado-alto grado de cementación descritos en la base del perfil 2 fueron asignados a esta Formación.

- Formación MINA CLAVERO (Sayago, 1978)

En el caso particular del Valle de San Alberto, Sayago, (1975, 1978) crea la Formación Mina Clavero para reunir a los sedimentos del Pleistoceno Superior. Gaido et al. (2006), en la Hoja Geológica Valle de Calamuchita, correlacionan con esta Formación, parte de los materiales agrupados en la unidad litoestratigráfica: *Depósitos de arenas medias-finas con intercalaciones de limos muy calcáreos; limos loésicos y loess redepositado*.

La unidad está compuesta por un complejo de arenas y limos fluviales con intercalaciones de loess, cuyo espesor varía entre los 3 y 15 m, siendo la media de 6 m (Sayago, 1975, 1978). El material predominante está constituido por facies de arenas medias a finas con estructura gradada difusa y buena selección. Secundariamente se observan facies de limos masivos ligeramente consolidados con alto contenido en CaCO_3 .

Bonalumi et al. (1999) infirieron una edad Lujanense para estos sedimentos debido a la presencia de *Megatherium americanum*, *Scelidotherium leptoccephalum* (Tardigrada) y *Equus (Amerhippus) neogeus* (= *E. curvidens*, Castellanos, 1944).

Esta formación sería equivalente a Formación Charbonier.

- Formación CHUÑA (Carignano, 1997)

El final del Pleistoceno Superior está marcado por los sedimentos, principalmente limos y arenas de origen eólico, del Último Máximo Glacial y el Tardiglacial. Se pueden distinguir dos tipos de unidades sedimentarias: a) loess retransportados con limos y arenas fluviales y b) arenas y limos eólicos provenientes del retransporte de los anteriores (Bonalumi et al., 1999). Carignano (1996, 1997) las denomina Formación Chuña y Formación La Batea respectivamente, mientras que Gaido et al. (2006) correlaciona parte de los sedimentos incluidos en la unidad litoestratigráfica: *Depósitos de arenas medias-finas con intercalaciones de limos muy calcáreos; limos loésicos y loess redepositado* con las dos Formaciones.

La Formación Chuña se compone de limos loésicos, limos loésicos arenosos y loess redepositados y lavados. La unidad tiene un espesor visible que varía entre los 2 y 6

m. Son limos arenosos pardo amarillentos a pardo amarillento-rojizos o pardo grisáceos. En las partes bajas y medias de los perfiles se observa una ligera estratificación, evidenciada por delgadas capas de arenas y ocasionales lentes de gravillas y gravas. En las zonas próximas a las sierras el contenido de arenas mal seleccionadas es mayor, lo que indica una importante acción hidráulica durante la sedimentación (Bonalumi et al., 1999).

Esta Formación está muy extendida en el sector occidental de la zona de estudio. Al Norte de la localidad de Piedra Pintada, se describieron materiales arenosos finos a muy finos, masivos, sobreyaciendo a rocas de basamento (Perfil 3-ítem 5.2.1.1.2) que fueron asignados a esta Formación.

- Formación LA BATEA (Carignano, 1997)

Representa los depósitos eólicos, predominantemente arenas medias a finas, limosas, que cubren una considerable porción de la llanura comprendida entre las sierras de Comechingones - Pocho y las sierras de Chepes y Ulapes. Estos sedimentos componen el cuerpo de las dunas longitudinales que allí se desarrollaron. Los espesores de la unidad varían entre 1 y 10 m. La misma está constituida, casi exclusivamente, por arenas muy friables, con moderada selección, de color pardo rojizo. En general son masivas pero, en algunos sectores, se observa estratificación entrecruzada planar en cuerpos mayores y laminación cruzada planar. Se apoya sobre los sedimentos de la Formación Toro Muerto o sobre la Formación Charbonier (Bonalumi et al., 1999).

Holoceno

- Formación LAS OLLAS (Carignano, 1997)

Fue definida como unidad litoestratigráfica por Carignano (1997) representando a las capas de arenas que ocupan una amplia franja de terreno en el extremo occidental y a las arenas que cubren parcialmente a las dunas de la Formación La Batea o rellenan los corredores de deflación que existen entre ellas. Son cuerpos mantiformes de arenas moderadamente seleccionadas, de color pardo amarillento, friables y masivas. Los espesores de la Formación varían entre 1 y 4 m. La base está marcada por una discordancia erosiva. Se



Figura 5.11. Depósitos de arena pertenecientes a la Formación Las Ollas. Camino vecinal al Noreste de Piedra Pintada.

apoya sobre los sedimentos de las Formaciones Charbonier, Chuña o La Batea (Bonalumi et al., 1999).

En la Figura 5.11, se observan los depósitos de arena que cubren gran parte del sector occidental del área de estudio, en este caso se observan sobre camino vecinal a aproximadamente 2,5 km al Noreste de la localidad de Piedra Pintada. En los perfiles P8 y P9, se describieron depósitos pertenecientes a esta Formación.

- Formación GUANACO MUERTO (Carignano, 1997)

Incluye los sedimentos fluviales holocenos, descritos por Carignano (1996, 1997). Por otro lado, Gaido et al. (2006) para el Valle de Calamuchita, correlaciona en parte estos materiales con la unidad *Depósitos fluviales: limos y arenas medias-gruesas*.

La unidad tiene espesores variables entre 1 y 5 m y está constituida por arenas finas a muy finas, limosas, con estratificación en delgadas capas, donde alternan materiales arenosos gruesos con lentes de gravas medias y clastos de guijarros grandes, con mantos limo arcillosos que poseen estratificación laminar fina. Estos depósitos, en la llanura, rellenan depresiones y paleocauces interdigitándose con los sedimentos de la Formación Las Ollas. En las zonas ubicadas al pie de las sierras, el depósito fluvial fino es reemplazado por los sedimentos muy gruesos y mal seleccionados, de conos y abanicos aluviales (Bonalumi et al., 1999).

Depósitos asignables a esta Formación están ampliamente distribuidos en la zona de trabajo (perfiles P2, P4, P8, P9, P10 y P11), asociado a las fajas fluviales de los principales cursos y al abanico aluvial del río de Los Sauces. En el perfil 4 (Ítem 5.2.1.1.2), se describen secuencias aluviales de energía variada asociada a la faja fluvial del arroyo Chuchiras y en el perfil 2 (Ítem 5.2.1.1.2) al arroyo Las Tapias (Figura 5.3).

5.2.1.1.2. Descripción de Perfiles Aflorantes

A partir de los datos recogidos en los perfiles aflorantes, ubicados espacialmente en el mapa de la Figura 5.3, se corroboraron varias de las unidades superficiales y Formaciones geológicas presentes en el área y descritas en la Hoja Geológica Villa Dolores (Bonalumi et al., 1999).

PERFIL N° 1

Ubicación: Se localiza al Norte de la localidad de Los Hornillos, aproximadamente a 2 km sobre la Ruta Nacional N° 20. Específicamente en las coordenadas 31° 52,415' S y 64° 58,694' W.

Descripción: El perfil expuesto tiene una potencia de 7 m (Figura 5.12). Se inicia con una secuencia 3 m de espesor, de materiales arenosos finos, limosos con gravillas dispersas y niveles con altos contenidos de arcillas, y una estructura plano paralela. Hacia el techo de la secuencia se observan paleocanales con estructura de corte y relleno en artesas, presentando un color pardo rojizo y un moderado a alto grado de cementación carbonática. Mediante discordancia erosiva, sobreyacen 3 - 4 m de materiales psefíticos heterométricos clasto sostén, donde los mayores posee un tamaño del orden de 0,60 m a 1 m de eje mayor, siendo redondeados a subredondeados. La secuencia presenta una estratificación grosera, de color gris blanquecino. Culmina el depósito una capa de conglomerados medios, con matriz limo-arenosa y cemento calcáreo, que finaliza con un nivel de calcretas.

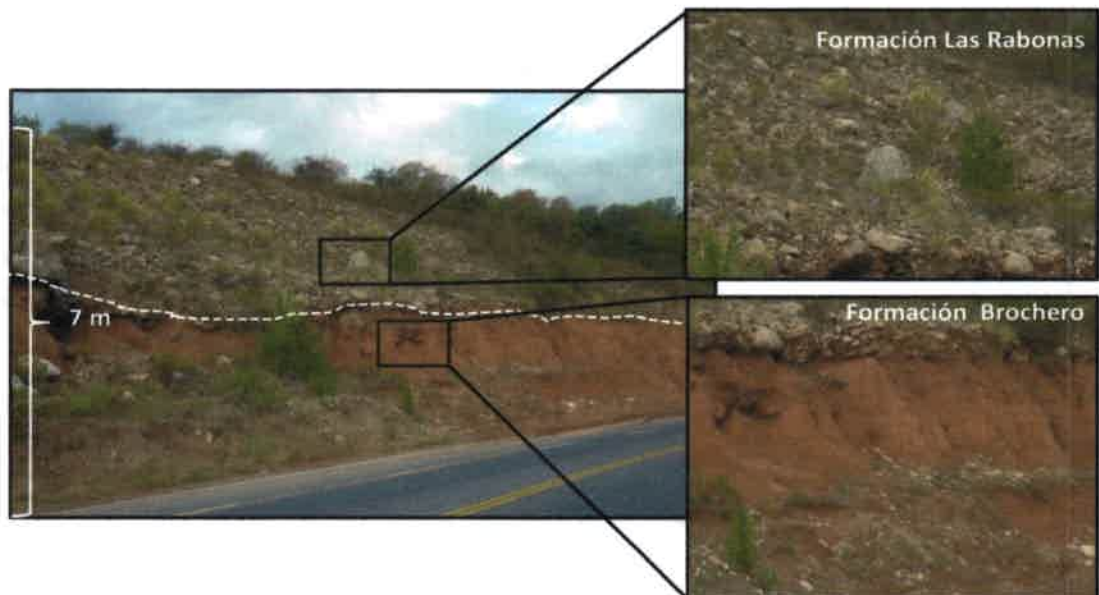


Figura 5.12. Perfil N° 1 sobre ruta Nacional N° 20, Formaciones Las Rabonas (superior) y Brochero (inferior). Fotos de la derecha detalles de las mencionadas Formaciones.

Interpretación: La secuencia basal correspondería a sedimentos aluviales, en general de baja energía, con facies de canal y otras de llanura de inundación, que se asignan a la Formación Brochero (Sayago, 1978, corregido por Bonalumi et al., 1999) de edad Plioceno inferior – medio. Sobreyacen secuencias conglomerádicas correspondientes

a facies proximales de abanicos aluviales que se incluyen en la Formación Las Rabonas (Sayago, 1978), de edad Pleistoceno inferior.

PERFIL N° 2

Ubicación: La descripción del perfil fue realizada en una cantera de áridos situada en la margen derecha del arroyo Las Tapias, localizado en las coordenadas 31° 56,079' S y 65° 08,337' W.

Descripción: Es un perfil de 5,5 m de espesor, pero presenta base cubierta hasta aproximadamente 2 m. Se inicia con una secuencia conglomerádica granodecreciente de aproximadamente 1 m de espesor, clastos redondeados a subredondeados, los superiores de hasta 0,40 m de eje mayor, composición granítica y metamórfica, matriz psefítica fina, con participación de arenas y limos, de color pardo oscuro. El paquete sedimentario presenta una estratificación grosera, en una estructura de corte y relleno, un moderado a alto grado de cementación. Hacia el techo, se observa un nivel tabular arenoso medio a fino de 0,20 a 0,30 m de espesor, color pardo oscuro. Mediante discordancia erosiva sobreyacen aproximadamente 0,80 m de materiales psefíticos en la base, que gradan a psefíticos finos o arenosos gruesos hacia el techo. Su color es pardo claro y exhiben una grosera estratificación planar. Hacia arriba y mediante contacto neto y erosivo, nuevamente se describe una secuencia psefítica granodecreciente, con estructura de corte y relleno en la base y tabular hacia el techo. La parte superior, de aproximadamente 0,40 m de potencia, presenta materia orgánica y es de color pardo oscuro. El perfil culmina con un paquete de 0,90 m de espesor, base erosiva, secuencia psefítica granodecreciente hacia el techo, donde remata con un nivel arenoso con abundante materia orgánica color pardo oscuro (Figura 5.13).

Interpretación: El perfil representa una sucesión de eventos aluviales interrumpidos por superficies erosivas, que exhiben en general facies de canal con energía decreciente de base a techo. Estratigráficamente se correlacionarían con la Formación Guanaco Muerto (Carignano, 1997), aunque litológicamente los materiales son más gruesos y representan posiciones proximales. Tentativamente y por su grado de cementación, la base de esta secuencia podría pertenecer al Pleistoceno Superior (Formación Charbonier, Carignano, 1997).

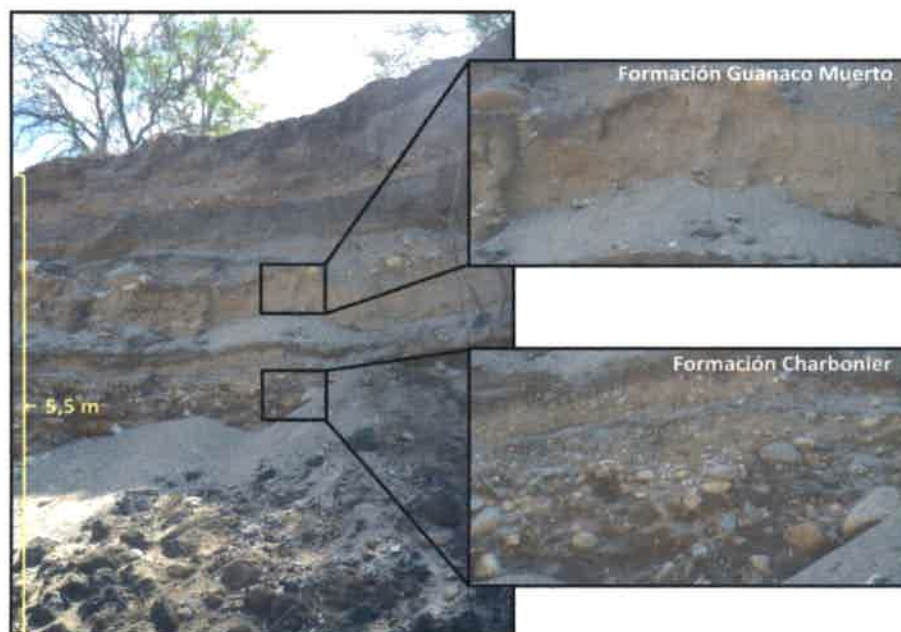


Figura 5.13. Perfil N° 2 ubicado en cantera de áridos, sobre margen derecha A° Las Tapias. A la derecha se observan detalles de los materiales que componen cada Formación.

PERFIL N° 3

Ubicación: El perfil se localiza sobre un corte de camino vecinal, a aproximadamente 2,5 km al Noreste de la localidad de Piedra Pintada (coordenadas 31° 54,277' S y 65° 08,356' W).

Descripción: Posee un espesor de 0,7-0,8 m. Se trata de sedimentos compuestos por arena fina a muy fina, escasa proporción de limos y algunos clastos de gravilla dispersa, presentan estructura masiva, color pardo claro. La secuencia apoya discordantemente sobre roca de basamento.

Interpretación: Estos depósitos representarían secuencia eólicas correlacionables con la Formación Chuña (Carignano, 1997) de edad Pleistoceno Superior (Último Máximo Glacial y Tardiglacial).

PERFIL N° 4

Ubicación: El perfil se localiza a aproximadamente 100 m al Sureste de la margen izquierda del arroyo Chuchiras (31° 58,675' S y 65° 05,146' W). Se accede a través de la Ruta N° 14.

Descripción: Corresponde a un perfil de 1,6 m de potencia. El paquete inferior, de 1,2 m de espesor, está conformado por arenas muy finas con una gran proporción de gravillas dispersas que poseen un tamaño variable entre 0,02 a 0,04 m de eje mayor. La coloración de estos materiales es pardo clara y presentan una grosera estratificación planar. El paquete presenta rasgos de bioturbación postdeposicional. Mediante contacto erosivo (Figura 5.14), sobreyacen materiales psefíticos de 0,40 m de potencia, muy heterométricos, donde se presentan



Figura 5.14. Contacto erosivo, Formación Guanaco Muerto.

clastos de aproximadamente 0,03 m, aunque dominan los que poseen un tamaño de 0,01 m. La secuencia presenta un color pardo claro blanquecino, con estructuras de corte y relleno. Culmina con un nivel de aproximadamente 0,20 m de materiales más gruesos con abundante materia orgánica, de color pardo oscuro y muy bioturbado.

Interpretación: Los niveles basales corresponden a un depósito de flujo denso, con algunos eventos aluviales intercalados, mientras que la superior a depósitos de canal. Toda la secuencia se asigna al Holoceno y sería correlacionable con dudas con la Formación Guanaco Muerto (Carignano 1997).

PERFIL N° 4 B

Ubicación: El perfil se ubica a escasos metros al Sur del perfil N° 4.

Descripción: Se trata de un perfil de aproximadamente 6 m de espesor, el cual se inicia con una secuencia basal de 1,5 m de potencia, conformada por materiales arenosos finos de color pardo rojizo que presentan un moderado grado de cementación. Mediante contacto neto, sobreyace un paquete de 0,7 m de espesor, de materiales más gruesos, con clastos psefíticos, de color gris claro. Por encima, se observan nuevamente materiales arenosos finos de color pardo rojizo de 1 m de potencia, seguidos de sedimentos más gruesos de color gris claro de aproximadamente 0,7 m de espesor. Este perfil, culmina con materiales que alcanzan una potencia de 1,5 m, de materiales arenosos finos pardo rojizos, y por encima de él, se observaron 0,4 m aproximadamente de sedimentos arenosos más oscuros, por presencia de materia orgánica, y bioturbados (Figura 5.15). Por encima del

perfil se observaron, aunque muy disturbados, sedimentos psefíticos gruesos con clastos de hasta 0,5 m de eje mayor de colores claros, alcanzando los 2 m de espesor.

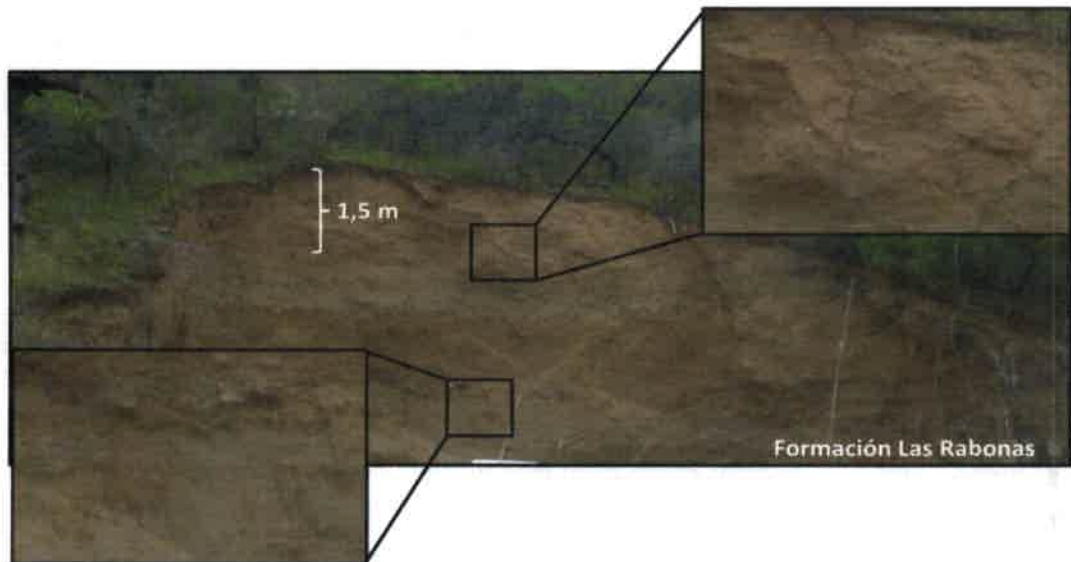


Figura 5.15. Perfil N° 4 B, ubicado en cantera de áridos. Formación Las Rabonas, con detalles de los materiales que componen la secuencia descrita.

Interpretación: El perfil descrito se relaciona a una secuencia aluvial que correspondería a una posición media distal, en su sección inferior, la cual por el grado de diagénesis, se puede atribuir a una edad Pleistoceno y se correlacionaría a las facies más finas de la Formación Las Rabonas (Sayago, 1978). La secuencia superior, integrada por conglomerados más gruesos se asigna con dudas a la Formación Charbonier.

PERFIL N° 5

Ubicación: El perfil se localiza 1,2 km al Norte de la localidad de Los Hornillos en corte sobre la Ruta Nacional N° 20, con coordenadas 31° 52,793' S y 64° 59,088' W.

Descripción: Corresponde a un perfil de 6 m de potencia, en el cual se expone una secuencia de materiales muy heterométricos polimicticos, con clastos de basamento que varían desde los pocos centímetros hasta 0,8 m de eje mayor, muy angulosos, inmersos en una matriz arenosa gruesa cementada con limos arcillosos de color pardo rojizo a verdoso en algunos niveles, de textura brechosa (Figura 5.16).

Interpretación: Esta secuencia de textura brechosa representa un depósito originado en una zona de cizalla, parcialmente removilizado por procesos gravitatorios

(flujos hiperconcentrados). Según Sayago (1978) constituye la base de la Formación Las Rabonas de edad Pleistoceno superior.



Figura 5.16. Base y parte superior del perfil N° 5 (Formación Las Rabonas), ubicado a 1,2 km al Norte de Los Hornillos.

PERFIL N° 6

Ubicación: Margen derecha del arroyo Las Chacras. Coordenadas geográficas: 31° 7,030' S y 65° 0,700' W.

Descripción: Se trata de un perfil de aproximadamente 6 m de espesor, donde afloran materiales psefíticos gruesos, con clastos de hasta 0,6 m de eje mayor, dominando los que poseen 0,3 m, los cuales se hallan imbricados en una matriz arenosa gravosa fuertemente cementada. En algunos niveles se observan capas de calcretas que cubren los clastos del conglomerado. La secuencia apoya sobre basamento metamórfico (Figura 5.17).

Interpretación: Estos depósitos se asocian con fases de abanicos aluviales proximales y se asignan a la Formación Las Rabonas (Sayago, 1978) de edad Pleistoceno superior.



Figura 5.17. Parte superior y basamento metamórfico. Perfil N° 6.

PERFIL N° 7a y b

Ubicación: Ambos perfiles se localizan en pequeñas canteras situadas en la faja fluvial actual río de Los Sauces, aproximadamente 180 m aguas abajo del puente que une Villa Dolores y San Pedro, en las coordenadas 31° 56,492' S y 65° 12,594' W.

Descripción: El perfil P7a posee un espesor de 1,60 m y está conformado por una sucesión de cuerpos tabulares donde dominan materiales psefíticos gruesos (clastos cuyo eje mayor varía entre 0,30 y 0,40 m), que incluyen restos de ladrillos en su parte superior, el depósito muestra pobre selección y los clastos se observan groseramente imbricados (Figura 5.18).



Figura 5.18. Perfil 7a, ubicado en la faja fluvial actual del río de Los Sauces.

El perfil P7b tiene una potencia de 0,80 m y posee una base cubierta del orden de 0,85 m. El paquete inferior de aproximadamente 0,4 m de espesor, presenta geometría tabular, color pardo claro y está compuesto por materiales psefíticos, pobremente seleccionados y groseramente imbricados, con clastos que alcanzan un diámetro de hasta 0,05 m. Mediante contacto gradual suprayace un paquete de 0,40 m de espesor, de color pardo a pardo oscuro hacia el techo, conformado por arenas muy gruesas con intercalaciones de gravas, ligeramente estratificadas. En su parte superior se observan restos de ladrillos (Figura 5.19).

Interpretación: Ambos perfiles representan depósitos fluviales actuales del río de Los Sauces, correspondientes a facies de canal (las secuencias psefíticas) anteriores a la construcción del embalse Medina Allende, mientras que la secuencia superior representa episodios de menor energía, tanto de canal como de desbordes. El perfil exhibe un incipiente grado de edafización.

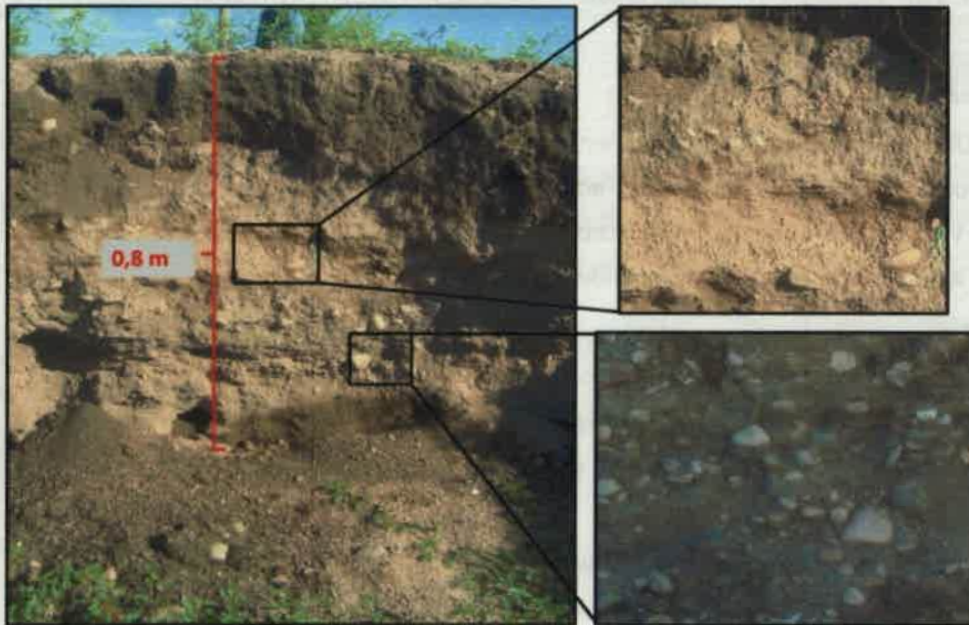


Figura 5.19. Perfil 7b, ubicado en la faja fluvial actual del río de Los Sauces y detalles de los materiales que componen la secuencia.

PERFIL N° 8

Ubicación: La descripción del perfil se realizó sobre el camino vecinal que une las localidades de San Pedro y San Vicente, distante aproximadamente 7,2 km de la primera y en el punto que tiene como coordenadas 31° 54,002' S y 65° 16,950' W.

Descripción: El perfil tiene un espesor de 0,80 m y color pardo claro. Se inicia con un cuerpo tabular de 0,30 m, compuesto por sedimentos arenosos finos a medios laminados y su color es ligeramente más oscuro que el resto del perfil. Le sucede un cuerpo de geometría similar, de 0,50 m de potencia, conformado predominantemente por arenas medias y finas (Figura 5.20).

Interpretación: La secuencia basal se asociaría a ambientes fluviales de desbordes de baja energía, que se correlacionan con la Formación Guanaco Muerto, mientras que los niveles arenosos superiores se interpretan como depósitos eólicos de la Formación Las Ollas.

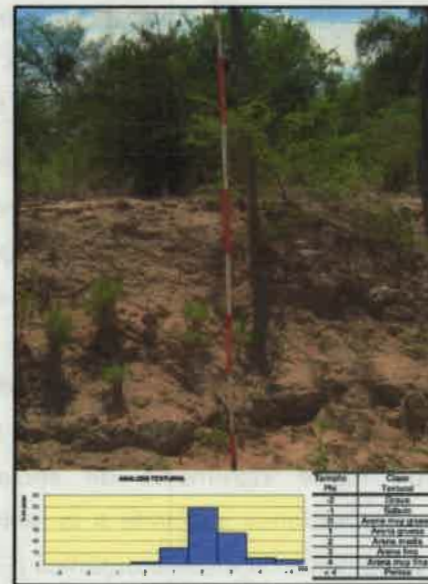


Figura 5.20. Perfil 8 con gráfico del análisis textural.

PERFIL N° 9

Ubicación: El perfil se sitúa en las coordenadas 31° 51,921' S y 65° 23,053' W. Al igual que el perfil P8, se ubica sobre el camino vecinal que conecta San Pedro y San Vicente a 4,6 km de ésta última localidad.

Descripción: Se observa una secuencia de 0,6 m, muy homogénea, de composición arenosa fina, con gravillas dispersas, color pardo claro, en general masiva (Figura 5.21).



Figura 5.21. Perfil 9, localizado en camino vecinal, entre San Pedro y San Vicente.

Interpretación: Estos depósitos corresponderían a secuencias eólicas de la Formación Las Ollas que interdigitan con materiales aluviales de abanicos distales del río de Los Sauces (Formación Guanaco Muerto).

PERFIL N° 10

Ubicación: El perfil corresponde a una cantera de extracción de áridos localizada a aproximadamente 250 m al Oeste de la ruta s212 que une las localidades de San Vicente y Los Cerrillos. Específicamente en las coordenadas 31° 54,798' S y 65° 26,177' W.

Descripción: El perfil presenta una potencia de 5 m con base cubierta y un color pardo claro. Se inicia con un nivel de aproximadamente 0,8 m compuesto por materiales arenosos finos con altos porcentajes de arcillas y con gravillas dispersas. Mediante contacto neto y erosivo suprayace una secuencia de 3,3 m compuesta por materiales areno-gravosos, con clastos de hasta 0,04 m de eje mayor pobremente seleccionados, con estructura en artesa y entrecruzada. Remata la secuencia un nivel de aproximadamente 0,9 m de materiales predominantemente arenosos con estructuras en artesas y entrecruzadas, con un fuerte incremento de secuencias laminadas. Hacia arriba, este nivel presenta bioturbaciones asociada a la actividad de raíces y en los centímetros superiores un leve incremento de materia orgánica (Figura 5.22).

Interpretación: Toda la secuencia se interpreta como depósitos fluviales, correspondientes al abanico distal del río de Los Sauces. Los niveles basales se asocian a la ocurrencia de flujos hiperconcentrados episódicos, mientras que los superiores corresponden a facies de canal que hacia el techo van gradando hacia depósitos de

desbordes. Se asignan a esta secuencia a los depósitos del Holoceno superior – actualidad de la Formación Guanaco Muerto.

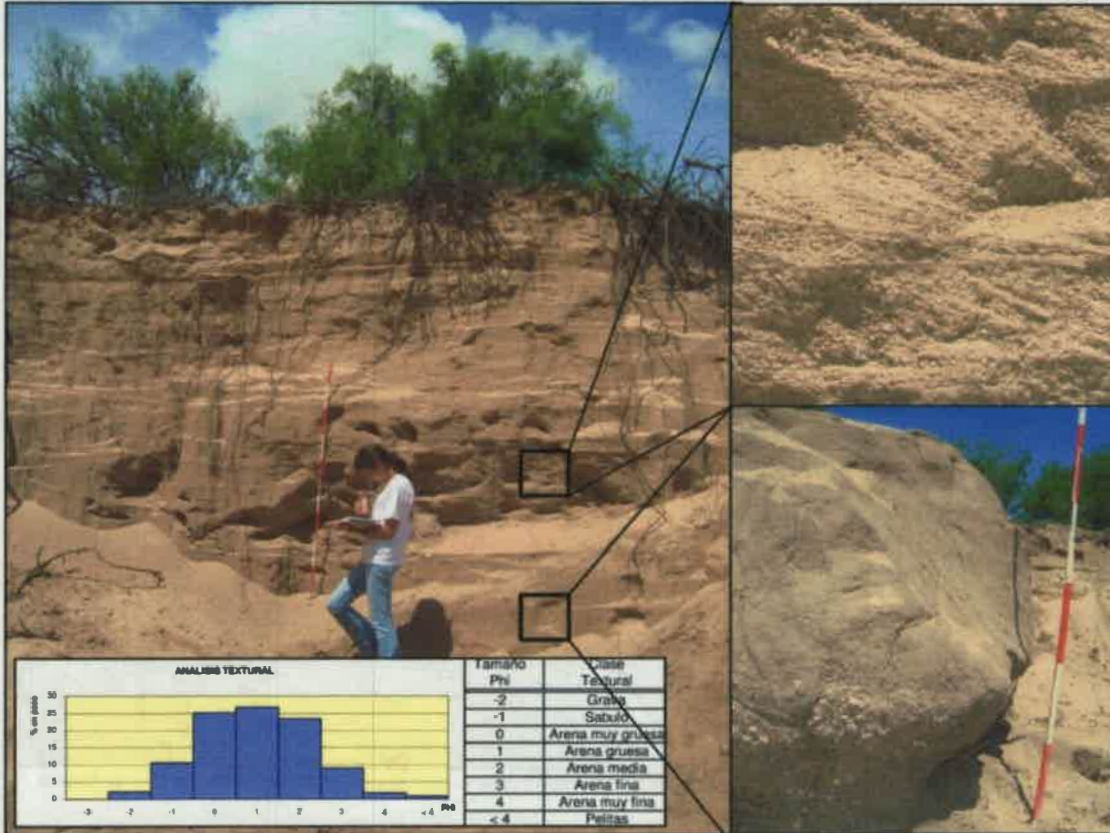


Figura 5.22. Perfil N° 10. Fotos de la derecha presentan detalles de los materiales que componen la secuencia con gráfico de análisis textural de la parte intermedia del perfil.

PERFIL N° 11

Ubicación: La descripción del perfil se realizó sobre la ruta E91 a aproximadamente 5 km al sureste de Villa Dolores, puntualmente en las coordenadas geográficas 31° 58,535' S y 65° 14,610' W.

Descripción: Se trata de un perfil de aproximadamente 4 m de potencia, parcialmente cubierto, que en general presenta un color pardo a pardo claro, más oscuro hacia el techo. En los afloramientos discontinuos de estructura laminar, se reconocieron materiales arenosos muy gruesos y gravillosos con abundante muscovita, con algunos niveles parcialmente cementados. Hacia el techo del perfil, se observan bioturbaciones asociadas principalmente al desarrollo de raíces y un incremento de la materia orgánica (Figura 5.23).

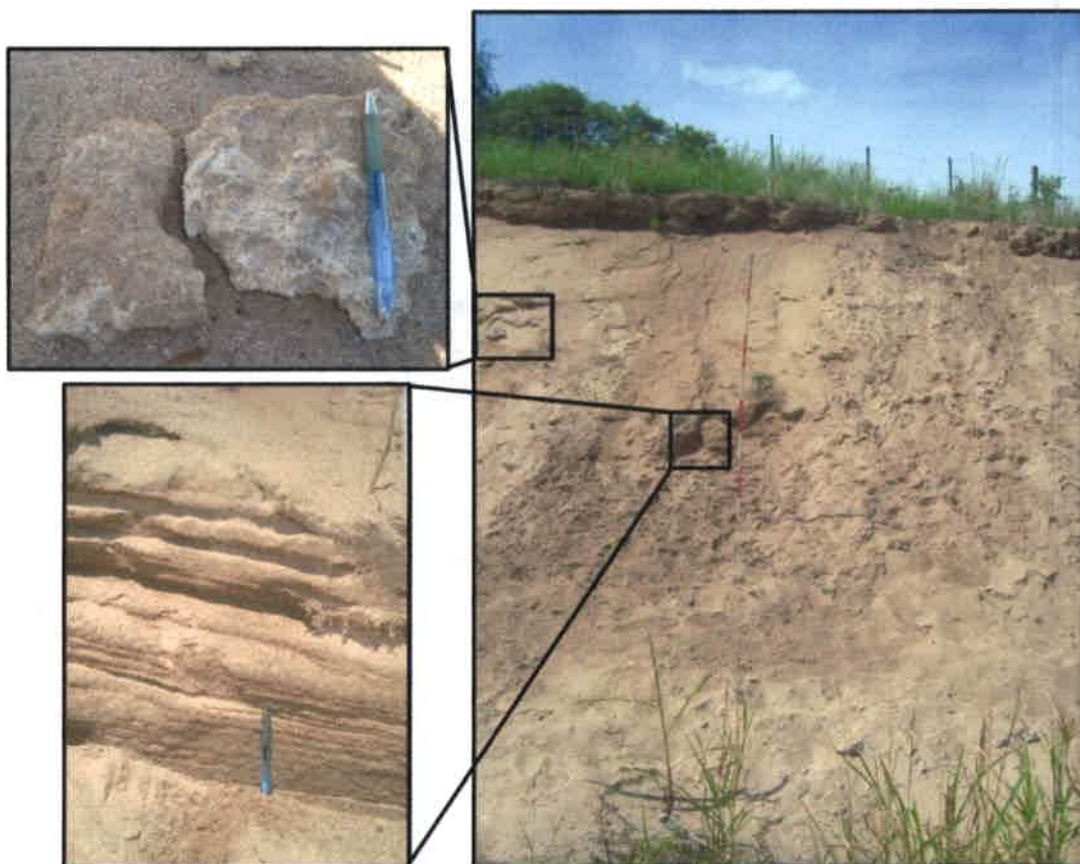


Figura 5.23. Perfil N° 11, con detalles de los materiales que lo componen y las estructuras que presenta.

Interpretación: Estos depósitos corresponden a facies de barra y canal de moderada energía, donde los niveles compuestos por sedimentos arenosos más cementados se asignarían a las secuencias más antiguas de la Formación Guanaco Muerto, mientras que los superiores, que presentan un incipiente desarrollo edáfico, corresponderían a depósitos más recientes.

5.2.1.2. Principales Sistemas de Estructuras

Se describen aquí las principales estructuras resultantes de deformaciones frágiles asociadas a la orogenia Andina y que otorgan a la provincia geológica Sierras Pampeanas la clásica morfología de grandes bloques de basamento diferencialmente ascendidos y basculados.

En la Figura 5.3 (mapa geológico, expuesto con anterioridad), se pueden observar las principales estructuras identificadas por Bonalumi et al. (1999), integradas por las fallas

mayores y un conjunto de lineamientos y fracturas de menor envergadura. Se las puede dividir en 3 principales sistemas según su orientación:

- **Sistema N-S:** Compuesto por las fallas: Potrero de Gero - Los Ramplones, Niña Paula, del Molino, de Nono, Quebrada de los Pozos, Quebrada del Tigre, lineamiento El Portezuelo y dos lineamientos menores.

Las fallas *Potrerros de Gero - Los Ramplones* y *Niña Paula* se desarrollan al Oeste de las Sierras Grandes y son del tipo inverso, con buzamiento hacia el Este. Estas estructuras producen escalones morfológicos, que descienden progresivamente hacia el Valle San Alberto, originados por el ascenso relativo de los bloques superiores orientales sobre los bloques occidentales inferiores (Bonalmi et al., 1999).

La *falla del Molino* de tipo inversa y con plano buzante hacia el Este, se une en su extremo norte con la falla *Niña Paula* y en su extremo sur, se extiende en el borde occidental/pedemonte de las Sierras de Comechingones hasta la provincia de San Luis. A este último segmento, se asocian deformaciones cuaternarias, como las observadas en las cercanías de la localidad de Merlo, donde el basamento cristalino está sobrecorrido con un ángulo de 45° E sobre depósitos aluviales y coluviales holocenos (Costa et al., 1992; Murillo, 1996). Se ha verificado allí un desplazamiento mínimo de 2,10 m en el último milenio, distribuido en por lo menos dos eventos. Esto pudo haber estado asociado a sismos prehistóricos con generación de ruptura superficial (Costa y Vita Finzi, 1996).

Falla de Nono: se desarrolla al Oeste de las Sierras Grandes, ingresando por el Noreste del área sobre la margen derecha del río de Los Sauces. Contrariamente a lo que sucede con la mayor parte de las fallas inversas en el sector oeste de las sierras, el buzamiento de esta falla es hacia el Oeste, con el bloque oriental hundido. Entre el flanco oeste de las sierras y el resalto topográfico generado por el bloque superior que genera esta falla, se extiende el Valle de San Alberto, el cual fue rellenado por sedimentos depositados en el Plioceno-Pleistoceno. Bonalmi et al. (1999) sugieren que el estudio conjunto de la deformación frágil de esta falla y la evolución de los rellenos mencionados, demuestra que las fallas del flanco oeste de las sierras habrían sido activadas al menos durante el Pleistoceno medio, produciendo el aporte clástico que se observa en la Formación Las Rabonas.

El resalto vertical producido por la falla de Nono es de 17 m. El plano de la misma posee una brecha con espesor variable entre 2 y 0,2 m, con un nivel arcilloso de tonos gris blanquecino en superficie alterada, siendo frecuentes las fallas menores con estrías (Bonalmi et al., 1999).

La falla *Quebrada de los Pozos*, se extiende al Oeste de la falla de Nono con inicio al Este del Embalse Medina Allende.

Falla Quebrada del Tigre: Se inicia en la Quebrada de Chúa (fuera del área de estudio) y en ese punto, se intercepta con la falla de Pocho. Es de tipo inversa, buzando hacia el Este.

Por último existen 3 lineamientos que se extienden, uno a lo largo del flanco Oeste del cuerpo granítico sobre el que se emplaza el Embalse Medina Allende, el segundo hacia el Oeste del mencionado y el tercero se inicia fuera del área de estudio e ingresa a la misma por el sector Noreste, sobre la margen izquierda del río de Los Sauces. De la observación de la carta geológica de Villa Dolores surge que es una falla de tipo inversa supuesta.

En este sistema, se incluye un lineamiento de rumbo N-SO, que se inicia en el Norte y al Oeste de la falla de Pocho, controlando el curso del arroyo Cóndor Huasi.

- **Sistema NE-SO**: Está conformado por el lineamiento *Las Tapias*, lineamiento *Villa Dolores*, lineamiento *La Cautiva* y dos lineamientos menores. El lineamiento *Villa Dolores* es el de mayor longitud y aguas arriba del Embalse Medina Allende, controlando el curso del río de Los Sauces. En su tramo final y sector extraserrano su traza es inferida ya que se halla sepultada por depósitos pedemontanos.

- **Sistema NO-SE**: integran este grupo la *falla de Pocho* y dos lineamientos menores. La falla de Pocho de tipo inversa, con plano buzante hacia el Este, constituye el borde occidental de la sierra homónima y posee el bloque occidental hundido. Presenta un desnivel relativo entre los bloques de más de 700 m (Bonalumi et al., 1999) y tiene un recorrido aproximado de 120 km en la hoja geológica Villa Dolores, uniéndose hacia el Sur con la falla de Comechingones.

5.2.2. Geología del Subsuelo

Con el propósito de mostrar las variaciones estratigráficas del subsuelo representativas de los principales ambientes geológico-geomorfológicos definidos para el área de estudio (Figuras 5.3 y 6.2) se realizaron dos transectas: A-A', de rumbo E-O, que incluyó el análisis de 10 perforaciones y B-B', de rumbo N-S, el cual se efectuó sobre la base de 11 perforaciones (Figura 5.24). En el primer caso pueden observarse los cambios en la cuenca de sedimentación desde las áreas proximales a los bloques serranos hasta las distales, al ingreso de la depresión tectónica occidental; mientras que en el segundo, se ponen de manifiesto solamente las variaciones en posiciones distales.

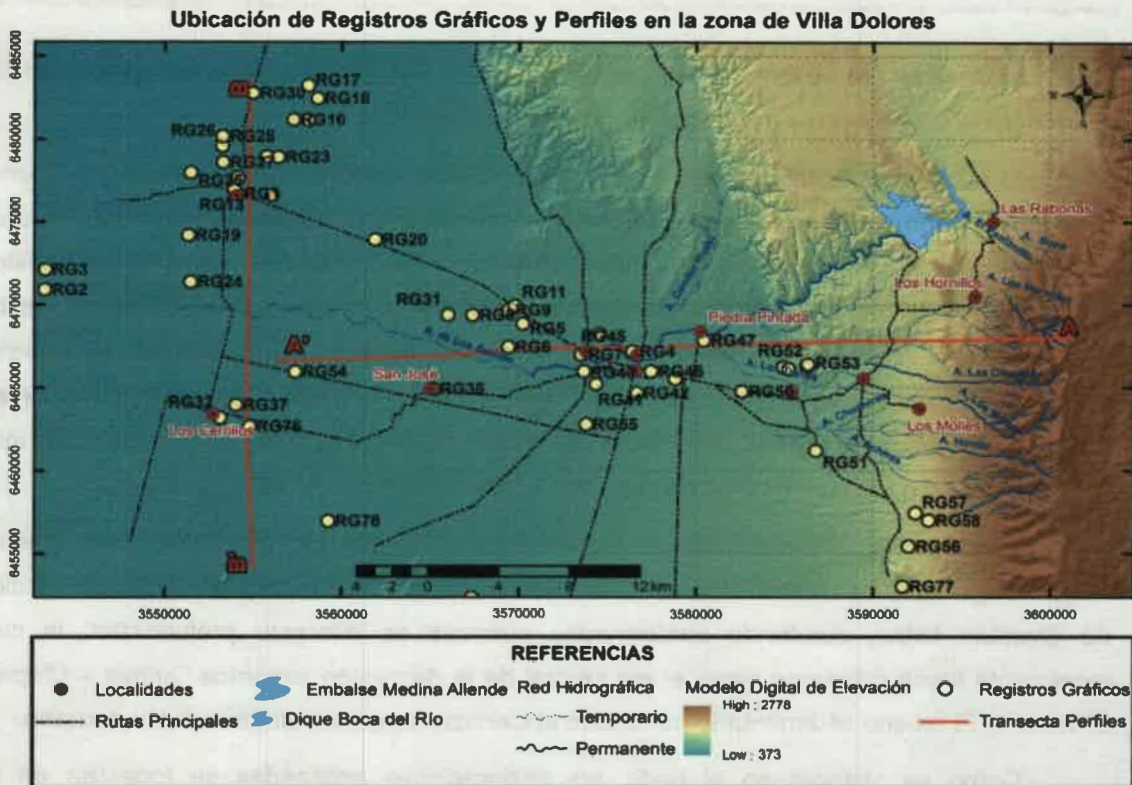


Figura 5.24. Ubicación de perforaciones con registros gráficos y de perfiles.

5.2.2.1. Descripción de transectas

Perfil A-A' (Figuras 5.25 y 5.26): se extiende con rumbo Este- Oeste, desde los 2500 hasta 430 m.s.n.m, con una longitud de aproximadamente 45 km. Las estructuras y formaciones geológicas mencionadas pueden observarse en el mapa geológico de la Figura 5.3.

El perfil se inicia en la escarpa principal de las Sierras Grandes, donde se exponen rocas metamórficas (Complejo Guasapampa-Gneises y Esquistos Mojigasta); atraviesa el extremo meridional de la depresión tectónica del valle de San Alberto (definida por las fallas Niña Paula y Nono), donde la cubierta sedimentaria tiene una potencia variable, superando en algunos sectores los 120 m y está constituida predominantemente por depósitos aluviales y coluviales gruesos a muy gruesos (Formación Las Rabonas- Pleistoceno medio), sobre el que sobreyacen materiales aluviales gruesos a medios con niveles de loess retransportados mezclados con arenas fluviales (Formación Charbonier). En algunos sectores, en la base del perfil se exponen sedimentos limo arenosos - limo arcillosos rojizos, parcialmente diagenizados (Formación Brochero- Plio-Pleistoceno inferior). Estas secuencias cuaternarias, están afectadas por la Falla del Molino y adosadas al frente montañoso.

Secundariamente se exponen en algunos sitios secuencias loésicas pleistocenas (Formación Toro Muerto) y depósitos aluviales y coluviales holocenos.

El borde occidental del valle de San Alberto está constituido por la Sierra de Pocho, que corresponde a un bloque de basamento de menor altura (1100 msnm) conformado en este sector por rocas graníticas porfíricas (Complejo Achalita-Paleozoico medio) y esquistos y gneises (Gneises y Esquistos Mojigasta- esquistos Altautina) más hacia el Oeste. Asociado a la zona pedemontana de este ambiente serrano, se reconocen secuencias aluviales- coluviales, tanto pleistocenas (Formación Las Rabonas, Formación Charbonier, entre otras) como holocenas (Formación Guanaco Muerto) y, localmente depósitos más finos, loésicos o loessoides (Formación Chuña, Formación La Batea).

Como puede observarse en las Figuras 5.25 y 5.26 hay un marcado escalonamiento de los bloques del basamento cristalino, el cual va descendiendo hacia el Oeste, por acción de diversas fallas, quedando conformadas cuencas de diferente profundidad, la cual incrementa hacia occidente hacia el eje central de la depresión tectónica Quines – Ulapes-Chancaní. El relleno sedimentario pertenece al Cenozoico, principalmente al Cuaternario.

Como se observa en el perfil, las perforaciones analizadas se localizan en su totalidad al Oeste de la Sierra de Pocho, y muestran el relleno sedimentario de las diferentes posiciones de esta gran zona de agradación occidental, representada en el mapa geomorfológico de la Figura 6.2 (Capítulo 6), por la Planicie fluvio-eólica, Planicie eólica y Sistema fluvial actual del río de Los Sauces. Los depósitos presentan granulometría variada, predominando fracciones pséfiticas y psamíticas. Estos cambios, reflejan variaciones energéticas en el medio, que pueden asociarse a oscilaciones climáticas y actividad neotectónica, ocurridas especialmente durante el Terciario superior-Cuaternario. Tal como surge de la información ya presentada en este capítulo, los mayores cambios en el clima, se relacionan a las glaciaciones cuaternarias, y se ponen de manifiesto en la modificación del régimen hidrológico y comportamiento morfodinámico de los cursos de agua, los cuales cambian la posición de los ápices de sus abanicos y la granulometría de su carga, en los períodos secos y húmedos. Durante los primeros, el ápice se traslada hacia el Este, más próximo a

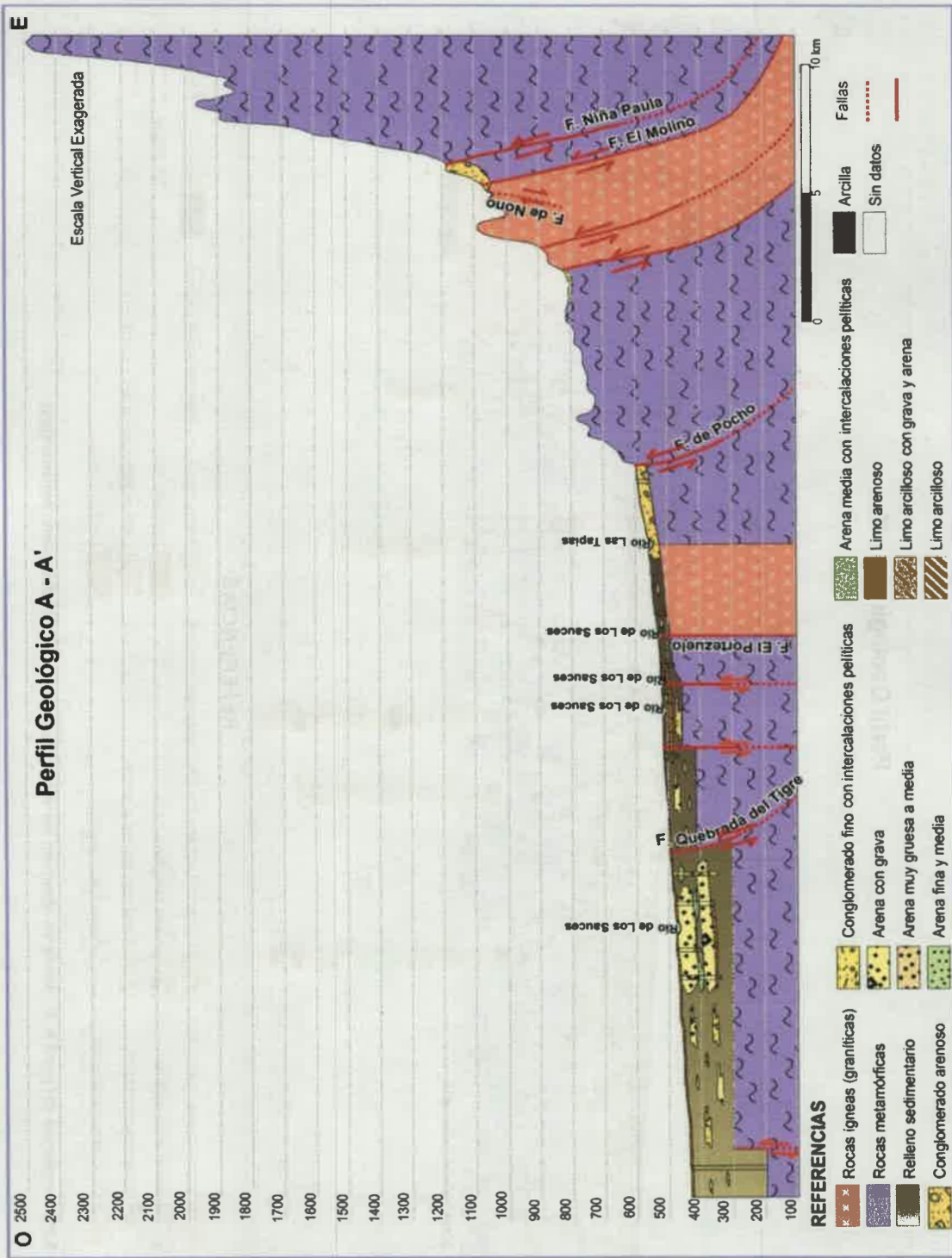


Figura 5.25. Perfil Geológico A - A', con rumbo E-O.

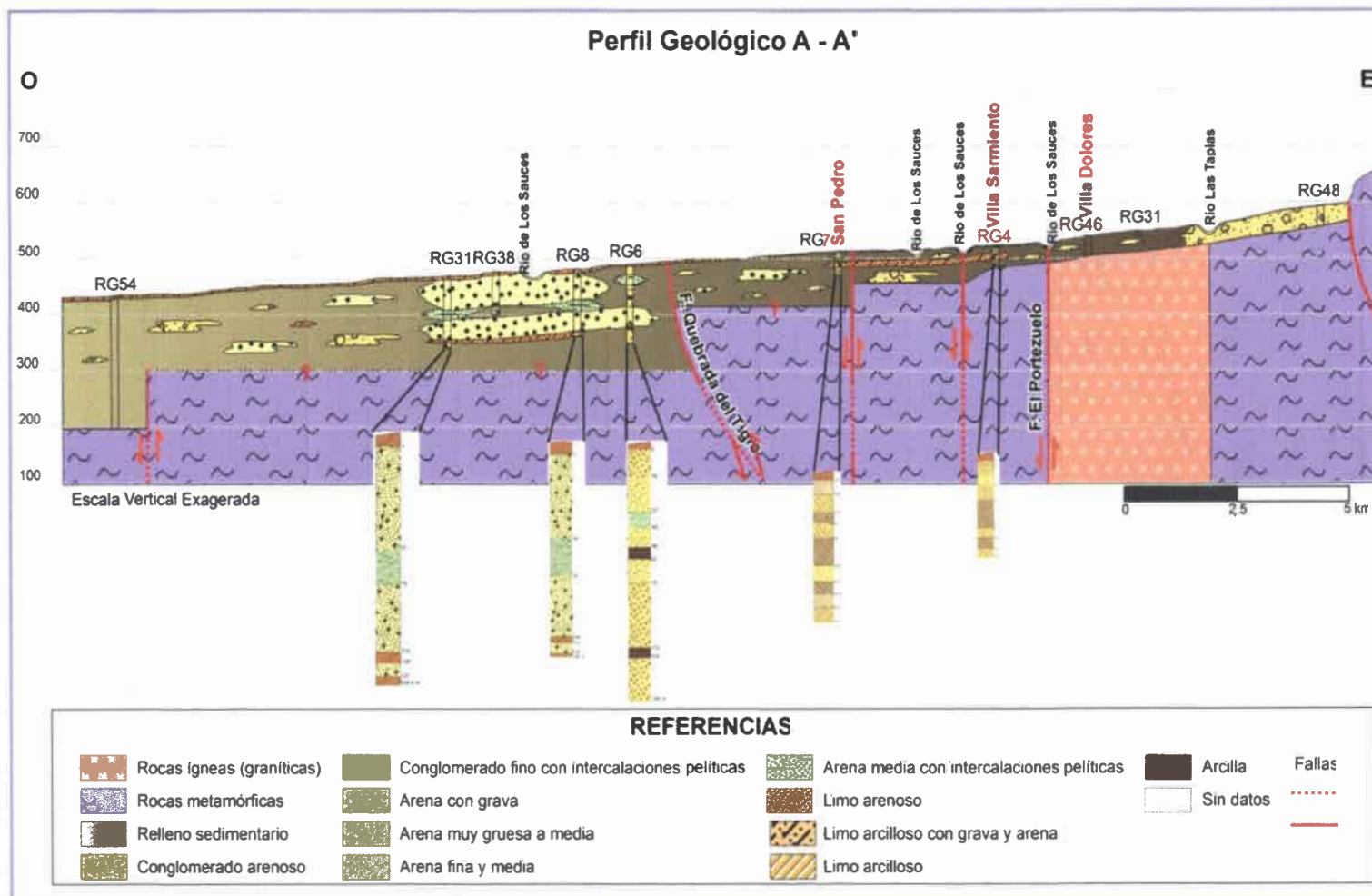


Figura 5.26. Ampliación del perfil A-A', donde se observan las variaciones en el espesor del relleno sedimentario.

los cordones serranos, mientras que durante los ciclos húmedos, los sistemas fluviales adquieren mayor capacidad de transporte, inciden en los abanicos anteriores y descargan más cercanos a la depresión occidental. Por otra parte, durante los ciclos áridos en la región se depositaron materiales loésicos provenientes del sector sud-sudoeste, o bien se removilizaron materiales arenosos finos-limosos locales. La actividad tectónica Cuaternaria, también genera modificaciones energéticas en los cursos de agua, al modificar la pendiente, controlando la tasa de erosión- sedimentación.

En este contexto, en el sector pedemontano se han generado cuencas sedimentarias, cuyo relleno en general no supera los 50 m de espesor. Aquí el basamento se encuentra a escasa profundidad (según las perforaciones registradas), conformando una serie de bloques diferencialmente ascendidos definidos por fallas mayores, entre las que se destacan El Portezuelo, ya referidas en el mapa geológico (Figura 5.3). Los depósitos sedimentarios están representados por materiales predominantemente finos (limos y arenas finas) en alternancia con materiales más gruesos (gravas, gravillas y arenas gruesas), cuyo origen está asociado a los abanicos aluviales de los ríos de Los Sauces, Las Tapias y demás arroyos que descienden desde las escarpa de las Sierras Grandes y derraman en este sector. Representativos de este ambiente son las perforaciones RG4 y RG7 de la Figura 5.27.

Hacia el sector central del perfil, no existen perforaciones que hayan alumbrado basamento, sin embargo por la profundidad del nivel estático (Capítulo 10), se infiere que no debe estar a mayores distancias de las mencionadas anteriormente. Hacia occidente, la falla inversa Quebrada del Tigre, con buzamiento hacia el Este, como la mayoría de las estructuras que afectan la zona, hace descender el basamento a profundidades mayores a los 140 m (perforación de mayor extensión vertical, que no alcanza basamento), lo que genera cuencas sedimentarias de gran potencia. La secuencia de sedimentos dominantes para esta zona, son gravas, gravillas, arenas muy gruesas a gruesas, que se intercalan con materiales más finos como arenas finas, limos y excepcionalmente arcillas, que tienen escaso desarrollo dentro del perfil (Figura 5.28 a y b). En los primeros 7 m de espesor, predominan limos, de origen eólico (Formación La Batea). La perforación más occidental presente en el perfil, alumbró basamento cristalino a los 237 m, lo que indica la gran potencia de la cubierta sedimentaria.

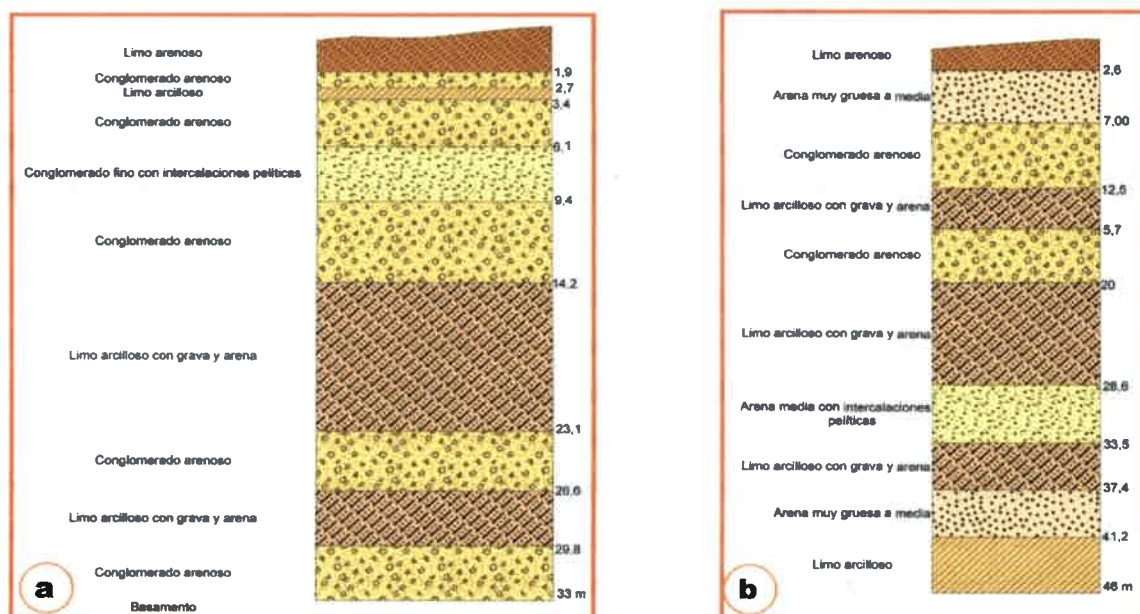


Figura 5.27. Descripción litológica de las perforaciones RG4 (a) y RG7 (b).

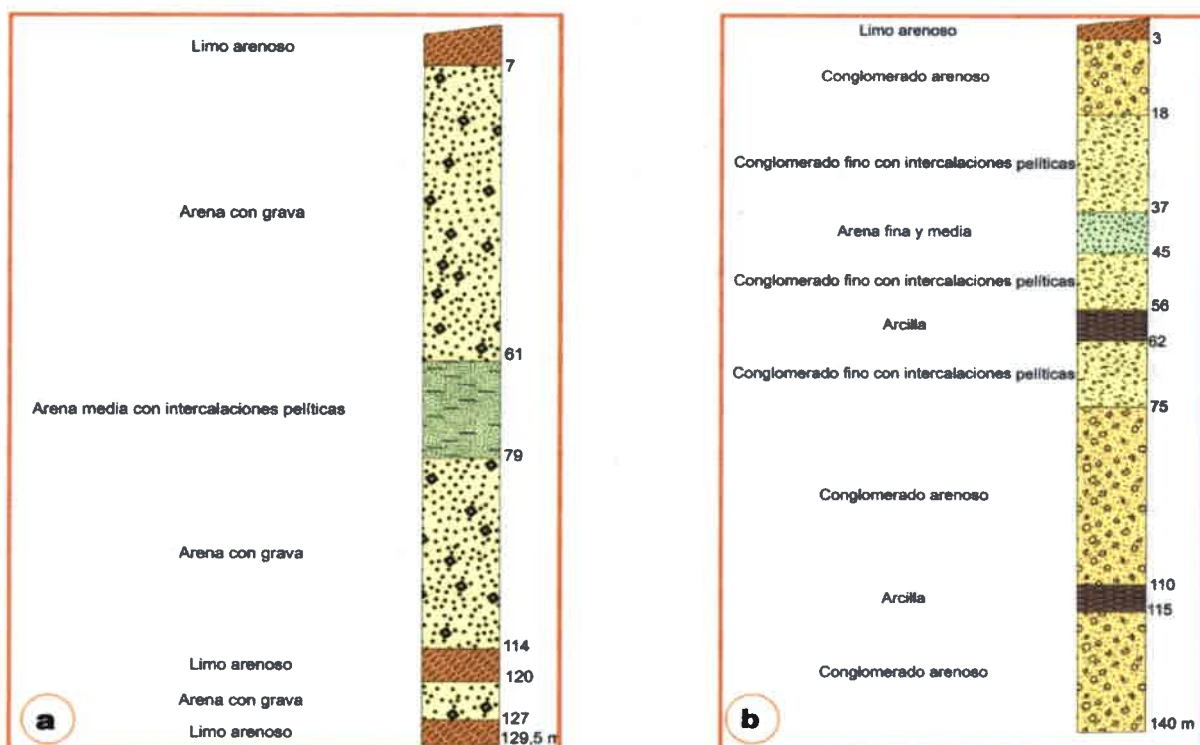


Figura 5.28. Descripción litológica de las perforaciones RG31 (a) y RG6 (b)

Perfil B-B': como se muestra en la Figura 5.29, el perfil se ubica en el límite oeste del área de estudio, y se extiende aproximadamente 30 km, con rumbo Norte - Sur, involucrando el

relleno sedimentario hacia la depresión tectónica de Quines – Ulapes - Chancaní, representado en la zona estudiada principalmente por los sedimentos que conforman la planicie fluvio-eólica y abanico aluvial medio-distal a distal del río de Los Sauces (Figura 6.2 – Capítulo 6). Las diferencias topográficas son poco marcadas, variando entre los 375 y 425 msnm, en sentido N-S. Las perforaciones situadas al Norte del río de Los Sauces, presentan depósitos de granulometría gruesa, entre ellos gravas gruesas, gravillas, arenas gruesas a muy gruesas pero de menor espesor que los mismos materiales que han sido descritos en el perfil A-A'. Estos se encuentran intercalados con sedimentos más finos como limos, con un notable incremento de la fracción arcilla (Figura 5.30 a). La secuencia descrita es de origen fluvial y sus variaciones granulométricas y potencia se asocian a distintas facies del abanico aluvial del río de Los Sauces en su sector más distal. Tal como se muestra en el mapa geomorfológico (Figura 6.2– Capítulo 6), el mismo se ha desarrollado mayormente hacia el sector noroeste del área de estudio, coincidente con las perforaciones aquí detalladas.

Al Sur del río de Los Sauces, (sector central del perfil), se encuentra una perforación que alumbró basamento cristalino a los 237 m, observándose la gran potencia de la capa sedimentaria. Las perforaciones ubicadas en la localidad de Los Cerrillos, presentan sedimentos predominantemente finos que intercalan con materiales más gruesos como gravillas y arenas gruesas a muy gruesas, pero que también poseen fracciones pelíticas (Figura 5.30 b). Esta secuencia se asocia tanto a la dinámica fluvial del río de Los Sauces, que aunque en este sector ha tenido menor actividad, se observan paleocanales menores, como al abanico terminal del río Conlara, que explicarían el alto porcentaje de sedimentos finos. Estudios sísmicos, llevados a cabo por el C.A.A.S (1973) determinan la profundidad del basamento a los 150 m, en proximidades a Los Cerrillos. Por último, en una perforación ubicada en la localidad de Los Cajones (San Luis), se observan en los 68 metros superiores arenas con gravas, que sobreyacen a arenas medias con intercalaciones pelíticas, las cuales, son seguidas en profundidad por un potente paquete de arcillas (Figura 5.30 c). El basamento aquí, es alumbrado a los 172 m. El depósito de niveles de granulometría más gruesa, respondería a pulsos de mayor energía del río Conlara o bien depósitos de abanicos de cursos menores que drenan el sector nor-noroccidental de las Sierras de San Luis.

Nuevamente se pone de manifiesto, el escalonamiento de los bloques de basamento hacia el eje central de la depresión, la cual es rellenada por una potente capa sedimentaria.

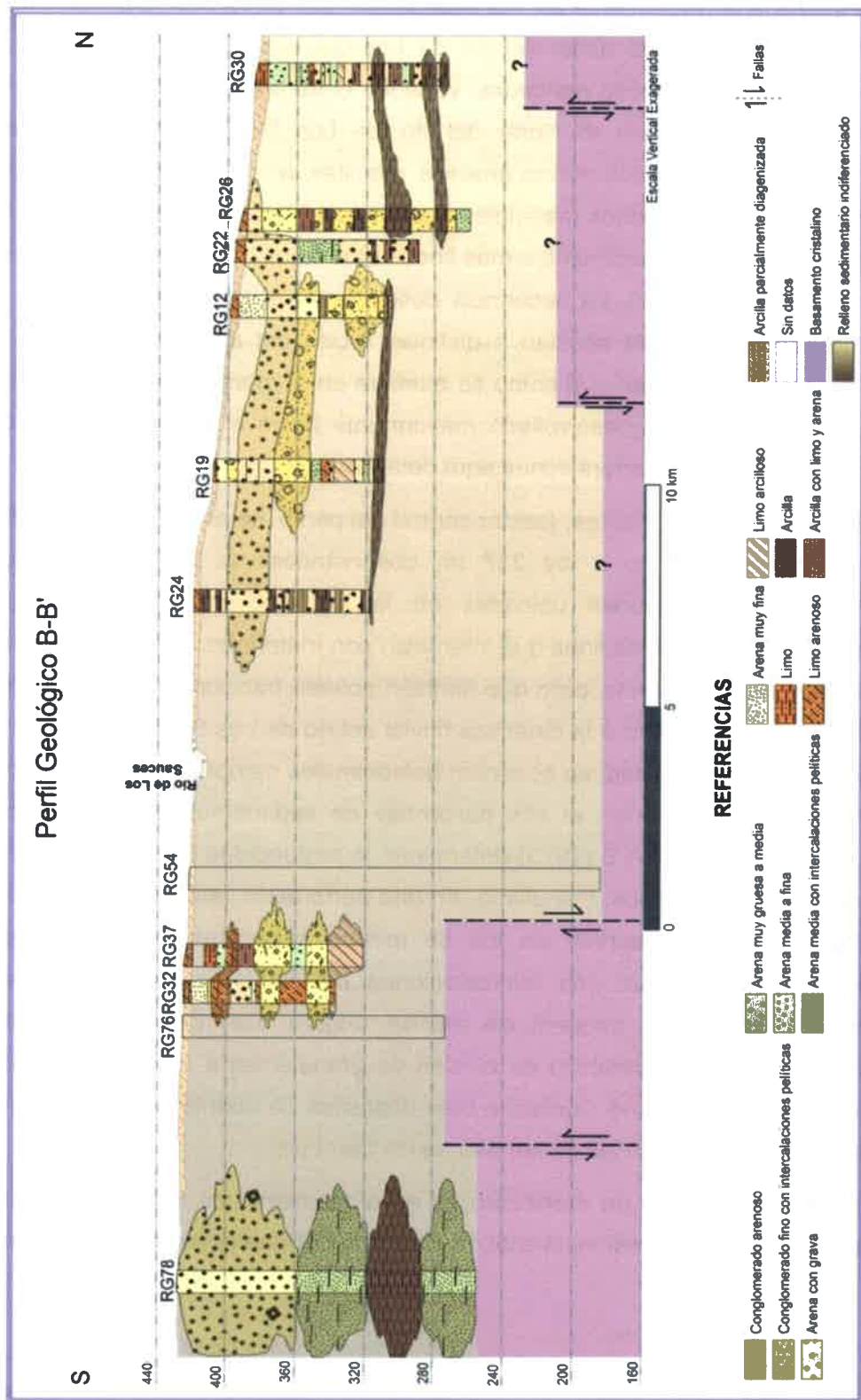


Figura 5.29. Perfil geológico B – B', con rumbo S-N.

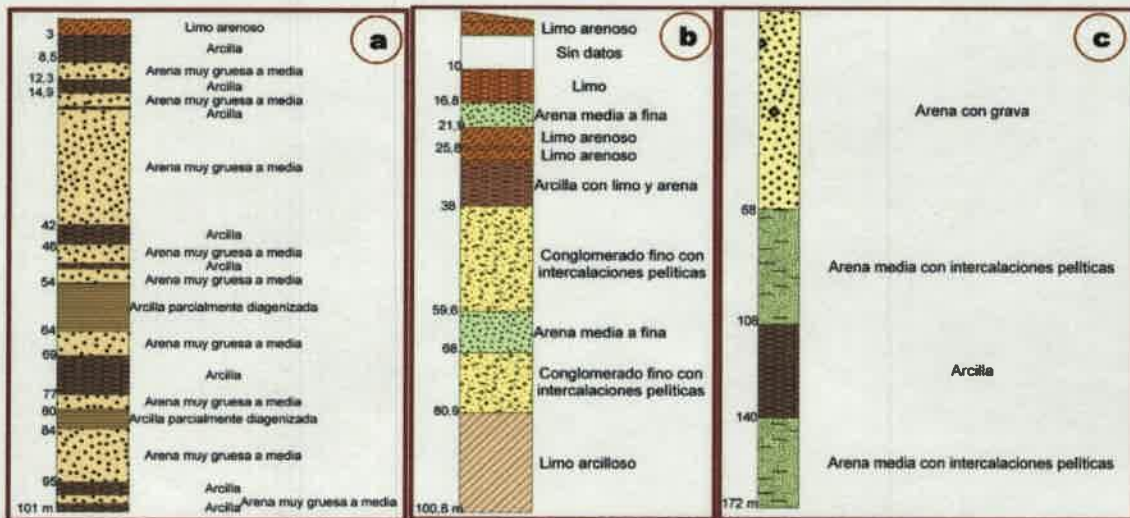


Figura 5.30. Descripciones litológicas de las perforaciones RG34 (a), RG37 (b) y RG78 (c).

Aún no se considera suficiente la información disponible para asignar nombres formacionales a las unidades del subsuelo y efectuar correlaciones con aquellas descritas en superficie. Sin embargo, de modo preliminar, puede señalarse que las secuencias limosas/arenosas muy finas que constituyen el segmento superior de la mayoría de los perfiles, formarían parte de la Formación Charbonier, Chuña y La Batea, en el sector centro-oriental y corresponderían a niveles de las Formaciones La Batea y Las Ollas, hacia occidente. Las facies psefíticas-psamíticas gruesas superiores se asociarían a secuencias fluviales Holocenas correlacionables con la Formación Guanaco Muerto, mientras que las presentes en el tramo medio-inferior de las perforaciones analizadas, se vincularían a ciclos de alta energía Pleistocenos, que se corresponderían con la Formación Las Rabonas, del sector pedemontano. Las intercalaciones de secuencias aluviales más finas, se asociarían a retracciones de los abanicos aluviales y podrían correlacionarse con las Formaciones Mina Clavero y Charbonier. Finalmente, las perforaciones más profundas han alumbrado secuencias limosas y arcillosas con cierto grado de diagénesis, que podrían asociarse a niveles del terciario superior- Pleistoceno inferior, descritos en la zona pedemontana como Formación Brochero.



CAPITULO 6

GEOMORFOLOGÍA

6.1. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA REGIONAL

En el Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino, Carignano et al. (2014) efectúan una caracterización de la geomorfología de Córdoba que incluye una compilación detallada y actualizada de los trabajos más relevantes realizados sobre esta temática en el ámbito provincial. Por tal motivo este trabajo se tomará como base para el desarrollo del siguiente apartado.

La provincia de Córdoba exhibe en su territorio un variado conjunto de geoformas resultantes de procesos exógenos y endógenos, que permiten reconocer los cambios tectónicos, ambientales y climáticos registrados en el pasado, especialmente durante el Cuaternario. A escala regional, se pueden identificar dos grandes unidades geomorfológicas: las sierras y las planicies.

Las Sierras Pampeanas, macrounidad morfoestructural que se reconoce en varias provincias del centro - oeste de la República Argentina están integradas por bloques de basamento ígneo-metamórfico elevados y basculados tectónicamente que están truncados por restos de antiguas superficies de aplanamiento y erosión que tienen diferentes orígenes y edades pre-Miocenas (Carignano et al., 2014).

Por otra parte, la llanura Chacopampeana forma parte de un sistema mucho mayor que se extiende por varios países sudamericanos. En la provincia de Córdoba, esta planicie predominantemente agradacional, está constituida por grandes abanicos aluviales generados por los principales sistemas fluviales que atraviesan la provincia (río Suquia, río Xanaes, río Ctalamochita, río Chocancharava y río Popopis) y otros desarrollados por cursos de menor jerarquía (Figura 6.1) y morfologías eólicas pleistocenas y holocenas que dominan en gran parte de la región. Estas últimas están conformadas por sedimentos arenosos que constituyen el Mar de Arena Pampeano y por loess depositados durante los períodos glaciales. La actividad neotectónica generada desde el Plioceno, ha influido notoriamente en la dinámica geomorfológica, a través de la formación de altos estructurales y de depresiones tectónicas en la región.

Siguiendo a Carignano et al. (2014), el área de estudio forma parte de tres unidades geomorfológicas que, de Este a Oeste son: *Sierras Pampeanas de Córdoba*, *Valles Estructurales (valles interserranos)* y *Bolsón de las Salinas Grandes y de Ambargasta* (Figura 6.1).

Las **Sierras Pampeanas de Córdoba**, se ubican en el centro-Oeste de la República Argentina, constituyendo un cordón de orientación norte-sur, con una extensión en la provincia de Córdoba de 430 km de longitud y 130 km de ancho en su parte más amplia.

Este sistema, puede ser dividido en cuatro cordones meridianos principales: Sierra Norte-Ambargasta, Sierra Chica-Las Peñas, Sierras Grandes-Comechingones y Sierras de Pocho-Guasapampa, los cuales tienen la típica morfología asimétrica de las Sierras Pampeanas, presentando una ladera occidental corta y abrupta, caracterizada por la escarpa de falla que representa al frente de levantamiento andino de los bloques y una ladera oriental con mayor extensión areal y menor gradiente topográfico. Una excepción a este esquema de basculación lo constituyen las sierras de La Higuera y Nono donde la escarpa se ubica en la vertiente oriental (Carignano et al., 2014). En este ambiente se preservan paleosuperficies erosivas pre-terciarias con cubierta de sedimentos cretácicos, terciarios o cuaternarios (pampas de altura) (Carignano et al., 1999; Cioccale, 1999; Degiovanni y Andreazzini, 2013; Andreazzini y Degiovanni, 2014).

Entre los principales cordones serranos, se ubican grandes **valles estructurales**, manteniendo, en general, el rumbo submeridiano. Aquellos valles que están comprendidos entre fallas inversas responsables del ascenso de las sierras que los flanquean, constituyen el grupo de lo que Carignano et al. (2014) denomina como *Depresiones Tectónicas*, entre los que se destacan dentro del área de estudio el Valle de San Alberto y el Valle de Conlara. El primero posee una forma elíptica, se ubica entre las Sierras Grandes y de Pocho, abarcando una superficie aproximada de 120 km² y se halla limitado por la Falla de Nono al Oeste y las Fallas Niña Paula y de Los Molinos al Este. En relación al Valle del Conlara, es una depresión de forma asimétrica, de orientación Norte-Sur, ubicada entre las Sierras de Comechingones y las Sierras de San Luis. Los depósitos que rellenan esta depresión tectónica, son sedimentos de bajadas aluviales de ambas sierras, compuestas por diferentes niveles de abanicos aluviales de diversas edades, que en su parte distal se encuentran cubiertos por materiales loessoides.

Hacia occidente, como parte de una gran depresión intermontana de origen tectónico (**Bolsón de las Salinas Grandes y de Ambargasta**) y adosados al frente de las Sierras de Pocho, se desarrollan distintos niveles de abanicos aluviales y, subordinadamente, depósitos eólicos. Este ambiente de agradación, incluye los remanentes de dos generaciones de abanicos aluviales que se acumularon durante el Pleistoceno inferior y el Pleistoceno medio a superior, compuestos de sedimentos fluvio-torrenciales entre los que se intercalan limos y arenas fluvioeólicas y materiales loessoides. Estos abanicos se encuentran muy erosionados en la parte cumbre y en la zona media y distal están cubiertos por loess, loess retransportado o materiales fluvio-eólicos. El tercer nivel corresponde a abanicos activos de edad holocena, construidos por los ríos de mayor jerarquía de la zona que se superponen a los abanicos más antiguos. Algunos de estos ríos han desarrollado

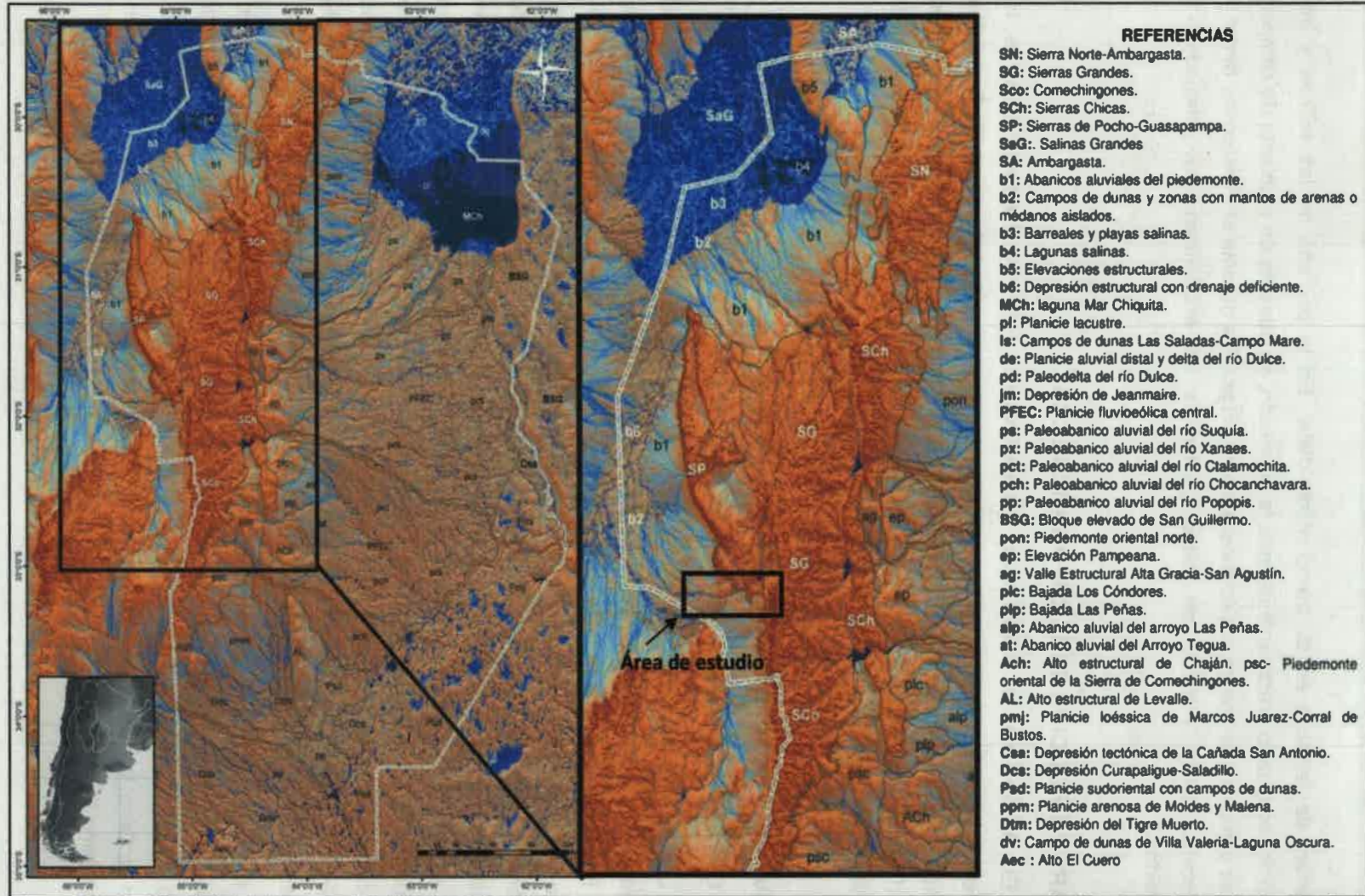


Figura 6.1. Modelo digital del terreno de la Provincia de Córdoba realizado mediante combinación de índice de humedad (*wetness index*), factor longitud de pendientes (LS factor) y sombreado analítico de tendencia de pendientes (*analytical hillshading*), para resaltar zonas deprimidas y concentración de drenajes (tonos de azul y celeste) y el gradiente de la pendiente en sectores elevados (tonos de marrón y naranja). Fuente: Carignano et al. (2014).

dos niveles de terrazas en su tramo medio-distal. En la periferia de las salinas y del pedemonte, ocupando prácticamente toda la depresión, se observa un ambiente de campos de dunas y mantos de arenas o médanos aislados originados durante el Pleistoceno tardío y el Holoceno tardío. Algunas de estas geoformas se encuentran muy disipadas y erosionadas.

6.2. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA LOCAL

En función de la clasificación geomorfológica regional, fundamentalmente la propuesta por Carignano (1997) para el sector del NO provincial, del análisis de imágenes satelitales y del reconocimiento efectuado a campo de los diferentes ambientes geomorfológicos, se definieron las unidades que se describen a continuación y se presentan en el mapa geomorfológico de la Figura 6.2.

I) Bloques fallados basculados Sierras Pampeanas

I. A) Sierras Grandes.

Las Sierras Grandes de rumbo general Norte-Sur, constituyen una unidad morfoestructural de características particulares en el entorno de las Sierras de Córdoba. Según Bonalumi et al. (1999), esta unidad sería un antiguo "horst" que habría permanecido elevado desde principios del Mesozoico, afectado por la tectónica distensiva cretácica y por la tectónica compresiva andina en el Cenozoico, la cual produjo el ascenso y basculamiento hasta la posición actual. Componen un macizo limitado por fallas inversas de buzamiento Oeste y Este en el flanco oriental y occidental, respectivamente, que generan un escalonamiento de los bloques de basamento que se encuentran más elevados hacia la parte central. Estos bloques exhiben en su parte cumbral superficies de erosión denominadas localmente pampas de altura, como la de Achala, San Luis, Olaen, Potrero de Gero, entre otras, de diferentes edades (Rabassa et al., 1996; Carignano et al., 2014).

Las alturas máximas corresponden al cerro Champaquí (2884 msnm) y al cerro Los Gigantes (2380 msnm), mientras que las alturas medias se distribuyen en tres niveles, 1900 a 2100 msnm (pampa de Achala), 1450 a 1650 msnm (pampa de San Luis, Characato, Potrero de Gero) y 1000 a 1200 msnm (Atos Pampa, San Clemente, Tanti, pampa de Olaen, Taininga, Niña Paula).

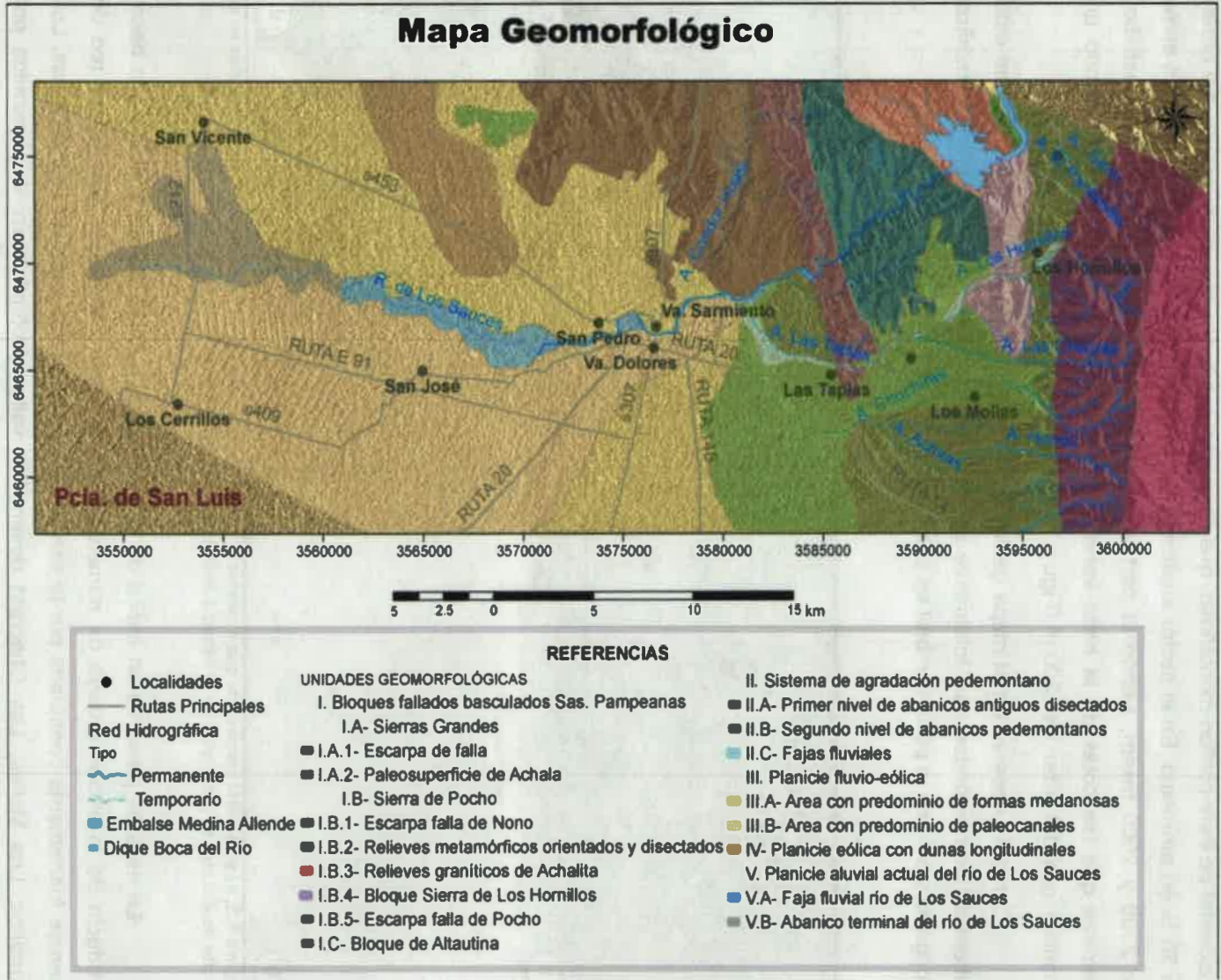


Figura 6.2. Mapa geomorfológico de la zona de Villa Dolores

I. A-1) Escarpa de falla de las Sierras Grandes: representa el frente de levantamiento occidental de éste cordón montañoso, que tiene una pendiente muy pronunciada, del orden de 30 % en promedio. En el sector analizado, en la parte cumbral las altitudes varían entre los 2300 y 2600 msnm, siendo la parte más elevada el límite sur del área de estudio, mientras que las cotas de la base varían entre los 1100 - 1400 msnm, generando un desnivel local del orden de 1200 m (Figura 6.3).

Como se observa en el mapa geológico (Figura 5.3), las rocas que componen esta subunidad corresponden casi totalmente a esquistos y gneises del Complejo Metamórfico Mojigasta y sólo en la parte cumbral se exponen los granitos de Achala.

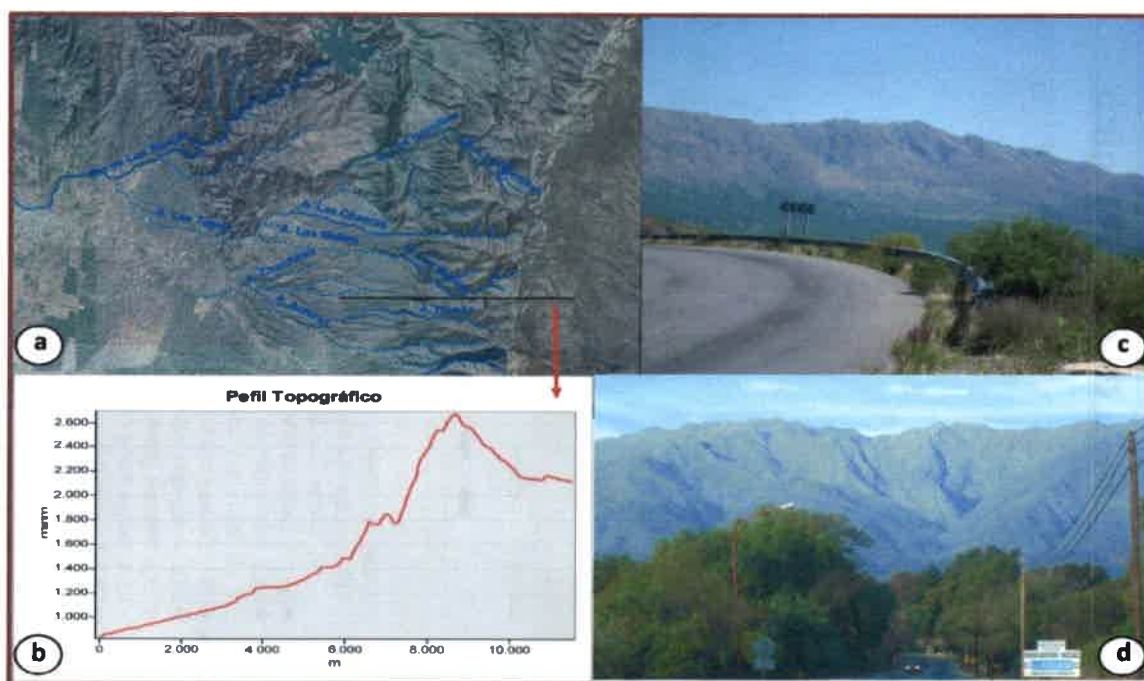


Figura 6.3. a) y b) Perfil transversal que muestra la topografía de la escarpa de falla de las Sierras Grandes en el sector de estudio. c) y d) Fotos de la escarpa desde distintos puntos de la Ruta Nacional N° 20.

La escarpa presenta un índice de sinuosidad bajo en el techo y medio en la base, producto de la acción erosiva de numerosos arroyos que constituyen una densa red de drenaje fuertemente controlada por la estructura. Estos cursos (arroyos Las Rabonas, Los Hornillos, Los Molles, Las Chacras) desarrollan valles profundos en V, separados por interfluvios de forma triangular. Algunas de estas cabeceras, en particular la del arroyo Los Hornillos, tienen forma de grandes anfiteatros, indicando que los procesos gravitatorios han sido relevantes en el modelado de la escarpa, como ocurre en general con las asociadas a fallamiento inverso.

Los procesos activos se reducen a los fluviales, los gravitatorios están subordinados, ya que la unidad presenta un grado elevado de cobertura vegetal y desarrollo de suelos en algunos sectores.

I. A-2) Paleosuperficie de Achala: presenta un relieve en general uniforme, de pendiente más suave (promedio de 5-10 %) hacia el Este, que se desarrolla entre los 2600 a 2200 msnm, y corresponde a extensas superficies de erosión. Según Rabassa et al. (1996), Carignano et al. (1999) y Carignano et al. (2014) la más elevada de ellas constituiría un *echplain* de edad jurásica media, donde se destacan *bonhardts*, *törs*, entre otros, (pampa de Achala - Los Gigantes-Figura 6.4 a) mientras que los niveles inferiores se corresponderían con *pediplanicies* del Jurásico tardío-Cretácico temprano y Cretácico superior.

Litológicamente se compone de granitoides equigranulares de grano medio (Figura 6.4 a) y en algunos sectores aparecen esquistos y gneises. En general se observa una red de drenaje de baja densidad, poco incidida, que se va profundizando a medida que se descende hacia el flanco oriental de la sierra (Figura 6.4 b).



Figura 6.4. Relieves graníticos Pampa de Achala. a) Cerros cupuliformes, *echplain* b) curso de agua sobre afloramiento de granito

I. B) Sierra de Pocho

La Sierra de Pocho constituye el cordón montañoso más occidental de las Sierras Pampeanas de Córdoba, extendiéndose en una franja de rumbo general N-SE. Al igual que la mayoría de las sierras de Córdoba, presenta una morfología asimétrica, con una vertiente occidental muy pronunciada, limitada por la falla de Pocho de tipo inversa y buzante hacia el Este y una vertiente oriental más suave, que se hunde hacia la cuenca intramontana de Pampa de Pocho. En la mayor parte de su extensión está conformada por las rocas del Complejo metamórfico Mojigasta y esquistos de Altautina, pero hacia el Sur presenta

algunos granitoides, como el de Achalita. El sector de estudio se conforma de ambos tipos de rocas y además presenta la singularidad, que el borde oriental, también está expresado por la escarpa de la falla de Nono, que eleva el granito de Achalita, por lo tanto en una transecta Oeste - Este las máximas alturas se mantienen en el orden de 900 msnm en ambos bordes (Figura 6.5). Estas particularidades permiten distinguir las siguientes subunidades:

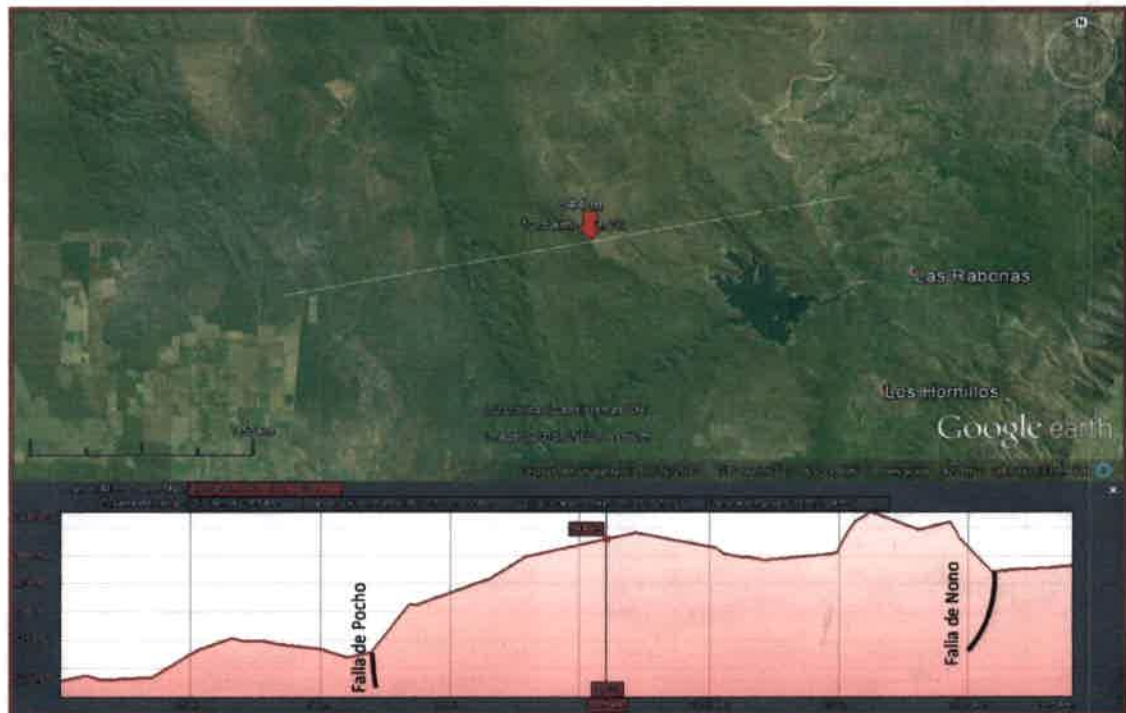


Figura 6.5. Perfil transversal donde se observa la topografía de parte de la Sierra de Pocho.

I. B-1) Escarpa de la falla de Nono: la falla de Nono, genera un bloque hundido hacia el Este y constituye el borde occidental de la depresión tectónica conocida como Valle de San Alberto. Esta escarpa tiene escasa representación en la zona de estudio donde posee un desnivel del orden de 100 m y una pendiente media entre 10 y 15 %. En este sector, está drenada por cursos temporarios de bajo orden, poco incididos y exhibe un bajo índice de sinuosidad tanto en base como techo. Litológicamente esta subunidad está compuesta por granitoides porfíricos gruesos del Paleozoico Medio que en algunos sectores cabalgan rocas cenozoicas, evidenciando actividad neotectónica.

I. B-2) Relieves metamórficos muy orientados y disectados: el sector occidental del bloque, de una altura de 900 a 700 msnm, presenta un relieve fuertemente condicionado por la litología. Efectivamente, aquí afloran rocas metamórficas (Esquistos de Altautina) con una esquistosidad muy marcada de dirección NO-SE, que controla totalmente a la red de drenaje, principalmente tributaria del río de Los Sauces (Figura 6.6). Este curso antecedente a la Sierra de Pocho la atraviesa desde el NE al SO, controlado por un importante lineamiento.

Toda el área se observa fuertemente disectada por colectores temporarios de bajo orden, que desarrollan cuencas elongadas según la esquistosidad y están separados por interfluvios angostos, con morfología crestiforme y relieves agrestes, donde se destacan las bandas más



Figura 6.6. Relieve disectado por la red de drenaje. Imagen Google Earth.

cuarcíticas. Hacia el Sur, se desarrollan varios cursos temporarios con la misma dirección, que desembocan en el arroyo Las Tapias o que se infiltran en la zona pedemontana. En general el paisaje de la zona se observa estable, los fondos de los valles están vegetados y son muy pocos los sitios donde la erosión es activa.

I. B-3) Relieves graníticos de Achalita: esta subunidad se circunscribe al sector oriental del bloque, donde se emplaza el Embalse Medina Allende, y se desarrolla sobre granitoides porfíricos gruesos orientados NO-SE, dirección que adopta la red de drenaje presente. El área tiene, una altura de 1000 a 900 msnm, una pendiente muy suave hacia el SE, y un relieve de aspecto áspero, con bajos desniveles locales. Aquí los colectores temporarios, de menor densidad de drenaje que en la unidad anterior, presentan valles anchos, de fondo plano, con relleno sedimentario en la mayoría de los casos. En los interfluvios se observan algunas morfologías bochiformes típicas de rocas graníticas, aunque en menor grado debido a la marcada orientación que exhiben las rocas de este intrusivo. Hacia el Norte, en el área de



Figura 6.7. Relieve granítico. Embalse Medina Allende, río de Los Sauces.

divisorias del río de Los Sauces se observan pequeñas pampas que representan relictos de paleosuperficies de erosión. En la Figura 6.7 se observa el cajón del río de Los Sauces, a la salida del Embalse Medina Allende, desarrollado ya en el borde de esta unidad.

I.B-4) Bloque Sierra de los Hornillos: esta unidad está formada por un cordón montañoso de rumbo Norte - Sur, y alturas del orden de 1100 msnm hasta 950 msnm, integrado por rocas graníticas, pertenecientes al cuerpo intrusivo de Achalita. Posee una pendiente occidental más abrupta, la cual es drenada por diferentes cursos de carácter temporario. Éste bloque es atravesado por el arroyo Los Hornillos, que tiene sus nacientes en las Sierras Grandes, en una relación de antecendencia.

I. B-5) Escarpa de falla de Pocho: esta escarpa, originada por la falla inversa homónima (Figura 6.8), presenta una pendiente promedio del orden del 10 %, siendo más pronunciada en la región central, mientras que, hacia el Sur desciende alcanzando valores de aproximadamente 2 %. El desnivel topográfico es del orden de los 150 - 200 msnm. Las rocas metamórficas (gneises y esquistos) que conforman esta subunidad, presentan marcada esquistosidad en sentido NO-SE y, en algunos sectores se observan intrusiones de granitos pegmatíodes y pegmatitas como el cuerpo de Las Tapias.

La escarpa se encuentra fuertemente disectada por una densa red de cursos de carácter temporario, a excepción del río de Los Sauces, los cuales se orientan siguiendo la esquistosidad de las metamorfitas, a excepción de los



Figura 6.8. Sierra de Pocho y Sierras Grandes.

colectores principales que drenan hacia el Oeste siguiendo la pendiente o sistemas de fracturas transversales. La sinuosidad del techo de la escarpa es en general baja, aunque algunos cursos ya han extendido su cabecera en el techo del bloque, favorecidos por sistemas de fracturas.

I. C) Bloque de Altautina: presenta un relieve bastante uniforme, que se desarrolla entre los 500 y 700 msnm, con pendientes suaves, menores al 2 %. Litológicamente, se compone de esquistos bandeados, cuarcitas micáceas y micacitas y hacia el extremo sur, aflora el granito denominado Cóndor Huasi.

Hacia el Oeste y Sur, está disectado por una densa red de drenaje, controlada por la dirección de esquistosidad de las metamorfitas y sistemas de fracturas secundarias. Los cursos son de carácter temporario y se infiltran en el área pedemontana. Se presentan estables, con fondos de valle rellenos y vegetados, e interfluvios suavizados y de altura similar.

Esta unidad con un ascenso relativo menor y en vías de exhumación, conserva mejor los rasgos de antiguas superficies erosivas, que se observan mejor hacia el Norte, fuera del área de estudio.

II) Sistema de agradación pedemontanos

Esta unidad constituye una zona de transición entre la región de sierras y la planicie, que se desarrolla entre los 1200 y 900 msnm en el sector norte y, 1300 y 700 msnm en el extremo sur, donde la pendiente regional tiende a la horizontal. El paisaje se caracteriza por ser un terreno ondulado con suaves lomas y colinas separadas por valles amplios de fondo plano. Aquí se incluyen diferentes sistemas de abanicos aluviales que, en el área de estudio, se desarrollaron principalmente al pie de la escarpa de las Sierras Grandes y, subordinadamente, en el pedemonte de la Sierra de Pocho. Estos sistemas conforman distintos niveles asociados a ciclos de agradación-erosión vinculados a cambios climáticos cenozoicos y actividad neotectónica.

Se distinguen las siguientes subunidades:

II. A) Primer nivel de abanicos antiguos disectados: corresponden al primer grupo de abanicos aluviales que se desarrollan más cercanos al pie de las sierras. Poseen una pendiente entre el 5 y el 10 % y, en las zonas proximales, se encuentran fuertemente disectados por los cursos que descienden desde las sierras, conformando relieves de colinas residuales, de 1200 m de altura sobre el nivel del mar, techo plano inclinado hacia el poniente (Figura 6.9).

Están compuestos por conglomerados con rodados de tamaños muy variables, con una matriz psefítica a limo-arenosa (Formaciones Las Rabonas, Charbonier), aunque en los sectores medio distales estos abanicos están cubiertos por loess y loess retransportados o materiales fluvio-eólicos (Formaciones Toro Muerto, Chuña y Guanaco Muerto); allí se observa un relieve suavemente ondulado o ligeramente plano. Según Bonalumi et al. (1999), estos abanicos se generaron durante el Pleistoceno inferior-medio a superior. En varios sitios están afectados por movimientos neotectónicos.

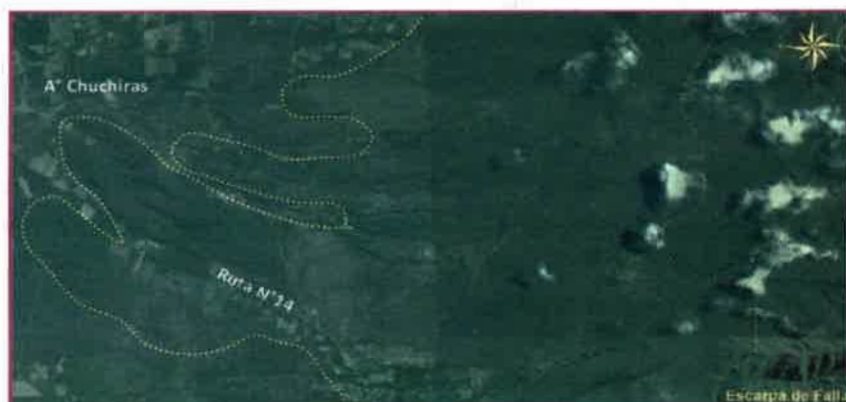


Figura 6.9. Primer nivel de abanicos disectados, al Sur del área. Imagen Google Earth.

II. B) Segundo nivel de abanicos pedemontanos: corresponde al grupo de abanicos aluviales Holocenos que en general han disectado a los anteriores y sus ápices se localizan más al Oeste (Figura 6.10). Se extienden en las partes medias distales del piedemonte, presentan pendientes muy suaves, en algunos casos menor al 1 % que puede variar en la zona apical, media o distal, siendo más pronunciada en la primera (6 al 8 %) formando en general relieves suavemente ondulados. Se asocian a los principales colectores del sector como el arroyo Los Hornillos, Las Chacras, Las Tapias, Los Molles, Chuchiras, entre otros. Están compuestos por los mismos sedimentos mencionados en el nivel anterior, aunque las facies psefiticas no alcanzan el tamaño de los conglomerados descritos en la Formación Las Rabonas. En la parte media distal pueden estar cubiertos por loess, loess retransportados o materiales de origen fluvioeólico.



Figura 6.10. Segundo nivel de abanicos. Extremo sur del área de estudio. Imagen Google Earth.

II. C) Fajas fluviales: se incluyen aquí las fajas fluviales de los principales cursos que descienden de las Sierras Grandes y disectan los diferentes niveles de abanicos para

integrarse a la cuenca del río de Los Sauces o descargar en la zona pedemontana distal. Los arroyos Las Tapias, Las Chacras y Los Molles, desarrollan un valle angosto del orden de 50-100 m de ancho poseen cursos de carácter permanentes y temporarios en el caso de Los Molles. Presentan una llanura de inundación angosta y, en general no exhiben niveles de terraza (Figura 6.11).

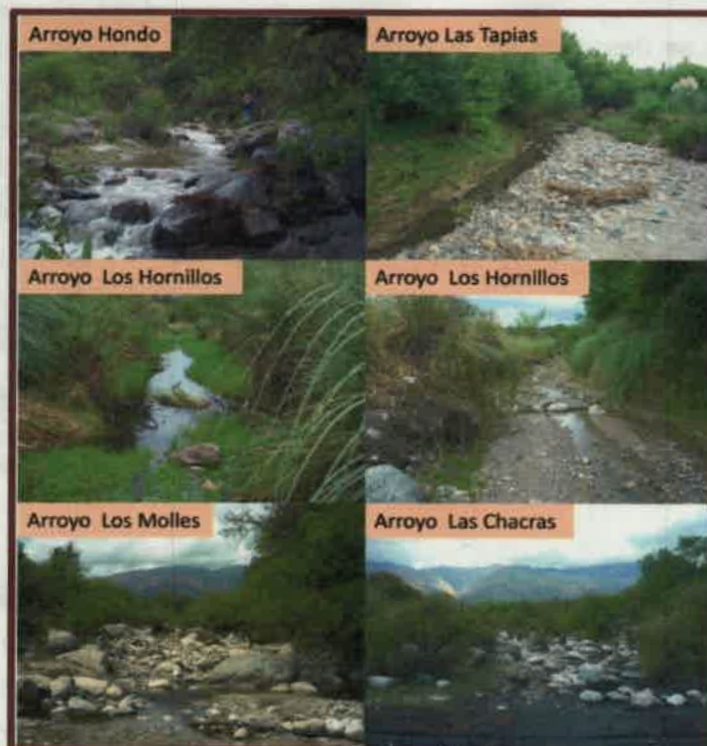


Figura 6.11. Características de la faja fluvial/canal de diferentes arroyos en el sector serrano/pedemontano.

III) Planicie fluvio-eólica

Se trata de un área de baja pendiente construida tanto por actividad fluvial, principalmente del río de Los Sauces, como eólica, resultando un paisaje donde se interdigitan y/o sobrepone morfologías fluviales (paleocanales, desbordes), mantos loésicos, cadenas de médanos longitudinales parcialmente disipados, mantos de arena, entre otros, resultando muy difícil la subdivisión a la escala de trabajo.

III. A) Área con predominio de formas medanosas: se caracteriza por la presencia de dunas longitudinales discontinuas, de rumbo NNO-SSE, parcialmente disipadas, donde las paleoformas fluviales están muy subordinadas y los derrames actuales son menores (Figura 6.12).

Esta zona se desarrolla en la parte central de la zona de trabajo a ambos márgenes del río de Los Sauces aunque las morfologías típicas prevalecen hacia el Norte. Los sedimentos que dominan en esta unidad son arenosos finos y limos de origen eólico correspondientes a las Formaciones La Batea y Las Ollas (aunque en la base pueden aflorar secuencias de la Formación Toro Muerto) y los fluviales corresponden a la Formación Guanaco Muerto.



Figura 6.12. Dunas longitudinales, ubicadas en el sector noroeste del área de estudio.

III. B) Área con predominio de paleocanales: está integrada principalmente por paleocanales de moderada a baja sinuosidad del río de Los Sauces y, en menor medida, por formas medanosas longitudinales, presentando un relieve suavemente ondulado con pendientes inferiores al 0,5 %, a excepción de los sectores medanosos donde la pendiente puede ser mayor (Figura 6.13).

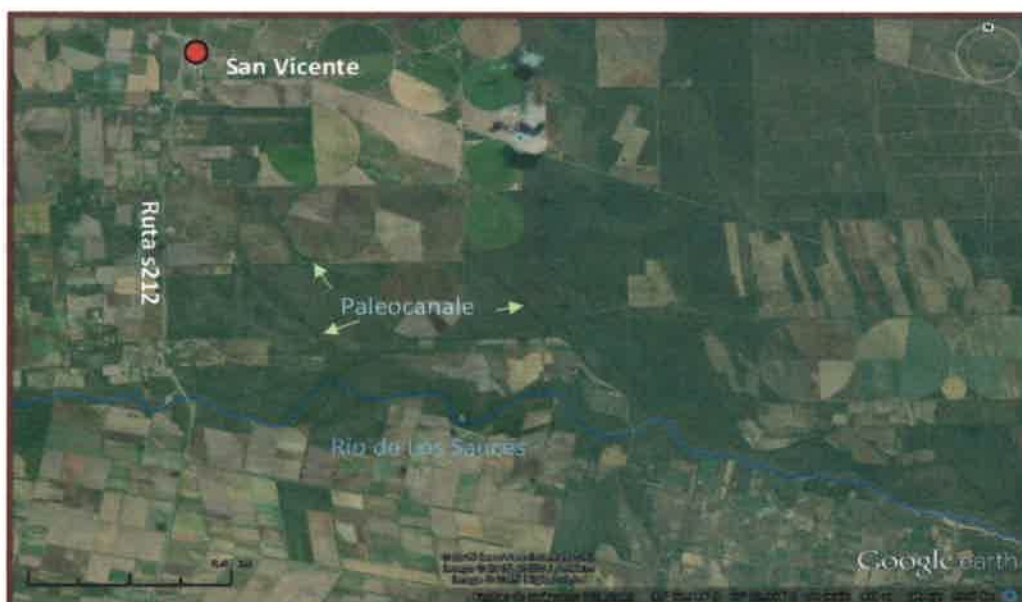


Figura 6.13. Paleocanales del río de Los Sauces.

La mayoría de los paleocanales se asocian a un antiguo abanico con ápice próximo a Villa Dolores, mientras que otros representan algunos desbordes más modernos. Los materiales dominantes son secuencias fluviales areno- gravosas a arenosas finas, interdigitadas con materiales arenosos finos-limosos de origen eólico, correspondientes a las formaciones señaladas en la unidad anterior.

IV) Planicie eólica con dunas longitudinales

Se trata de un área conformada por cadenas de dunas longitudinales de rumbo NNO-SSE, muy erosionadas y retrabajadas. Estos cuerpos medanosos tienen centenares de metros de longitud con una altura media de 2 a 6 metros y están separados por bajos arenosos de 300 a 700 m de ancho (Bonalmi et al., 1999).

Generalmente se concentran ocupando grandes áreas aunque, a veces, aparecen dispersos como en el sector centro-sur de la planicie (zona de Los Cerrillos), donde hay grandes dunas longitudinales aisladas. Con frecuencia, en los bajos y corredores interdunas afloran los sedimentos que subyacen a la unidad (Formación Toro Muerto por ejemplo). Alrededor de las agrupaciones mayores de dunas se encuentran mantos de arenas de 1 a 3 m de espesor, con morfología plana o muy suavemente ondulada. Los materiales que componen esta unidad son depósitos eólicos arenosos correspondientes a las Formaciones La Batea y Las Ollas de edad Pleistoceno Superior y Holoceno respectivamente.

Esta unidad se reconoce en el sector noroccidental de la zona de trabajo, en un área de aproximadamente 10 km de largo y 5 km de ancho, pero tiene su mejor desarrollo hacia la depresión de las Salinas Grandes.

V) Planicie aluvial actual del Río de Los Sauces

V. A) Faja Fluvial Río de Los Sauces: en la Sierra de Pocho el río de los Sauces, presenta una faja fluvial angosta y profunda, asociada a un canal rectilíneo fuertemente controlado por una estructura NE-SO. Aguas abajo de la localidad de Piedra Pintada se extiende la faja aluvial (Figura 6.14), la cual posee un ancho máximo de 1,8 km al Oeste de la ciudad de Villa Dolores. El cauce actual presenta sinuosidad moderada, exhibiendo los meandros mayor radio de curvatura a la altura de la mencionada localidad, y un diseño entrelazado sobreimpuesto. Su ancho, de aproximadamente 60 m en algunos sectores, se redujo a valores de 15-20 m con posterioridad a la construcción del embalse Medina Allende y Dique Boca del Río. Al Oeste de Villa Dolores se reconoce en algunos sectores un nivel de terrazas. Hacia la cuenca inferior se observa un antiguo abanico de derrames. Predominan

materiales de granulometría arenosas medias a finas, intercalaciones de gravillas y clastos de algunos centímetros.



Figura 6.14. Faja fluvial del río de Los Sauces en el sector extraserrano en proximidades de la localidad de Villa Dolores.

V. B) Abanico Terminal del río de Los Sauces: Hacia el Oeste de la ruta provincial s212 se desarrolla un abanico de derrames histórico - actual, conformado por paleocanales de baja sinuosidad. Este sistema, se extiende sobre un relieve suavemente ondulado a plano, con una pendiente media.



CAPITULO 7

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

7.1. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA REGIONAL

Las particularidades del medio físico que caracterizan a la Provincia de Córdoba, su extensión, el predominio de planicies o llanuras suavemente onduladas y el desarrollo de un cordón serrano en dirección norte-sur, resultan fundamentales para analizar el comportamiento hídrico asociado a la dinámica atmosférica y climática (Dasso et al., 2014). Estas características geológicas y climáticas determinan una distribución bastante irregular de las aguas superficiales en el territorio provincial, existiendo una notable desproporción entre los ambientes lénticos y lóticos (Vazquez et al., 1979)

El ambiente serrano, constituye el área de nacientes de la mayoría de los sistemas fluviales de la provincia, así como también es el área de recarga principal del agua subterránea. Recibe las mayores precipitaciones, especialmente su vertiente oriental, al interceptar las masas de aire húmedo provenientes del Atlántico. Debido a sus altas pendientes y características geológicas y geomorfológicas, en el sector serrano predomina el encauzamiento lineal de las corrientes superficiales, las cuales desarrollan redes de drenaje más densas que drenan ambas vertientes hacia las planicies circundantes. En este ambiente no se desarrollan ambientes lénticos.

La planicie oriental, también de clima húmedo-subhúmedo, presenta una configuración estructural que tiene marcada incidencia en el comportamiento del agua. En efecto, los tres megabloques estructurales definidos por Pasotti y Castellanos (1966) exhiben particularidades hidrológicas diferentes. En el bloque elevado más cercano a la sierra, los cursos fuertemente controlados por la estructura, se encajan, presentan una red de drenaje de alta densidad, con ríos principales de tipo permanentes, mientras que, la mayor parte de los secundarios se infiltran. Aquí, el nivel freático está más profundo y, en general, no hay cuerpos lénticos. En el bloque central deprimido, los niveles freáticos se encuentran a menor profundidad, los cursos mayores y arroyos son en general permanentes, y proliferan las lagunas y bañados. Por último el bloque levantado oriental, es cortado sólo por el río Carcarañá, y se observan algunas cañadas y menor cantidad de cuerpos lagunares.

Por otra parte, en la planicie occidental, debido a las escasas precipitaciones, la elevada evapotranspiración y la alta permeabilidad de los materiales que la componen, las aguas superficiales son casi inexistentes, ya que la mayoría de los cursos son temporarios a efímeros, infiltrándose en la zona pedemontana y recargando los acuíferos.

Según Dasso et al. (2014), siguiendo la clasificación realizada en el Atlas digital de cuencas y regiones hídricas superficiales de la República Argentina de la Subsecretaría de Recursos Hídricos, la vertiente occidental comprende el Sistema del río Conlara y arroyos

del Oeste de la Provincia de Córdoba. Por lo tanto, se puede clasificar a los cursos de agua, en aquellos que *derraman hacia la depresión de las Salinas Grandes* (Cuencas de los ríos Cruz del Eje, de Soto, Pichanas y Guasapampa); y *los que derraman hacia el valle de Villa Dolores*, que incluyen a la cuenca del río de Los Sauces y pequeños sistemas dispersos (Vazquez et al. ,1979; Dasso et al., 2014), los cuales son motivo de estudio del presente trabajo (Figura 7.1).

7.2. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA LOCAL

7.2.1. Cuenca de drenaje

En la Figura 7.2 se presenta el mapa hidrográfico del área estudio, donde se destacan las siguientes cuencas y subcuencas:

Cuenca del río de Los Sauces: esta cuenca tienen una superficie de 820 km² (Figura 7.1), de la cual sólo 530 km² corresponden a la zona de trabajo.

El río de Los Sauces se inicia fuera del área de estudio, a aproximadamente 15 km en línea recta al Norte del Embalse Medina Allende, por la confluencia de los ríos Panaholma y Mina Clavero. El primero se origina en la Pampa de Achala (Sierras Grandes) y desciende rápidamente, recibiendo los caudales de numerosos arroyos, hasta unirse con el río Rugapampa, que colecta agua de arroyos que también drenan esta pampa de altura. Luego de esta confluencia, desciende en dirección Este-Oeste aproximadamente 8 km para cambiar su rumbo hacia el Sur-Sureste.

Por su parte, el río Mina Clavero, tiene su nacimiento en la Sierra de Achala y colecta agua de diferentes arroyos entre los que se encuentran, Palmita, Los Manzanos, San Cristóbal y Hueco

como los de mayor importancia por su caudal. A medida que desciende hacia el Oeste, se suman tributarios como el río Hondo y el arroyo Potrero por su margen derecha.

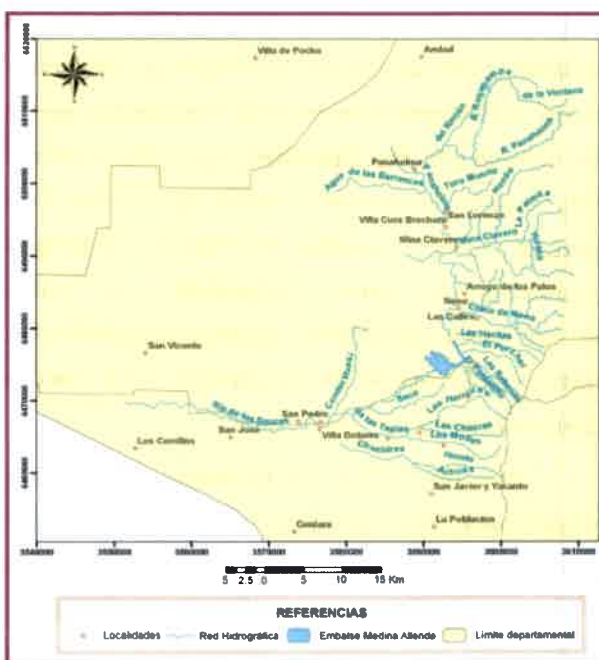
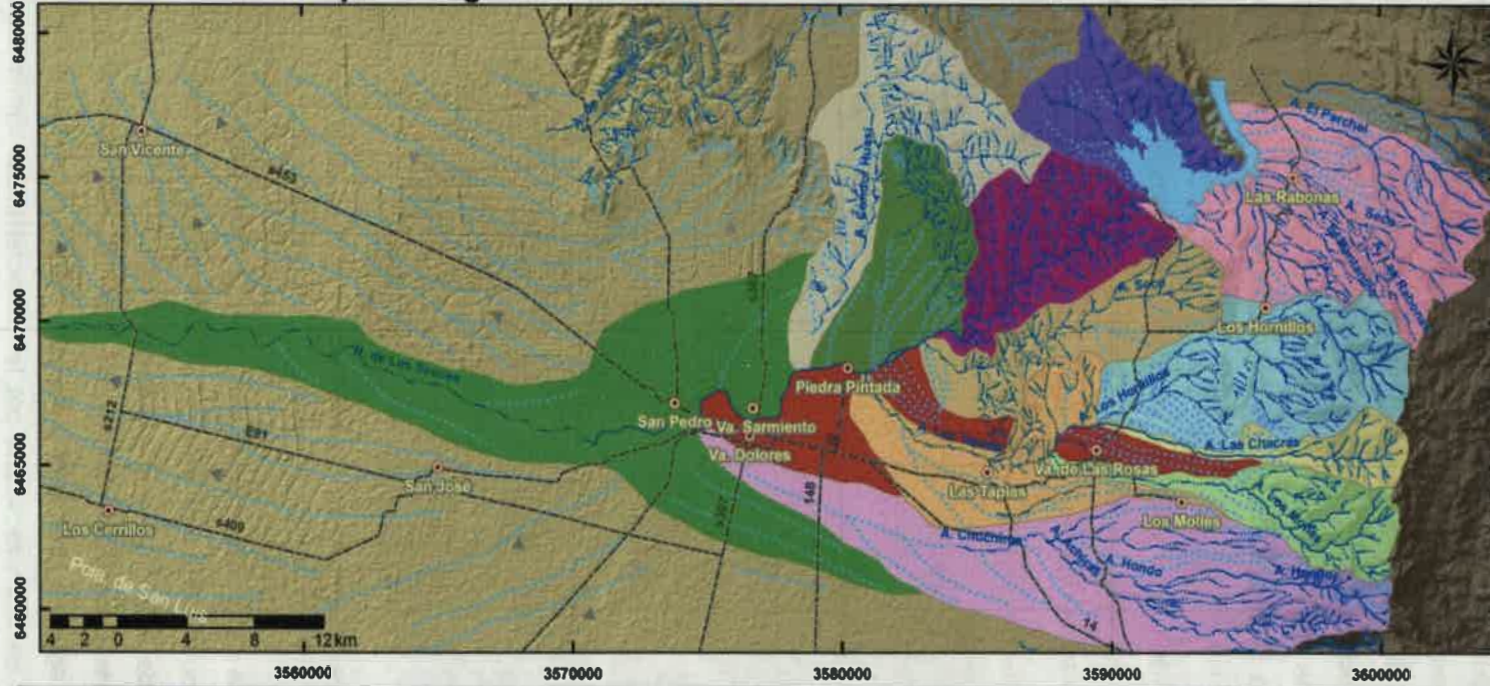


Figura 7.1. Red hidrográfica del río de Los Sauces.

Mapa Hidrográfico. Cuenca río de Los Sauces. Zona Villa Dolores



REFERENCIAS

⊙ Localidades	CUENCA RÍO DE LOS SAUCES	Modelo Digital de Elevación
— Rutas Principales	Subc. A° Las Rabonas, El Perchel y A° menores	High : 2771
🌊 Embalse Medina Allende	Subc. A° Las Tapias	Low : 192
🌊 Dique Boca del Río	Los Hornillos	
Red de Drenaje	Las Chacras	
~ Permanente	Los Molles	
~ Temporario	Subc. menores del tramo inferior A° Las Tapias	
⋯ Ecurrimientos superficiales	Subc. A° Chuchiras	
	Subc. A° Seco	
	Subc. menores entre EMA y DCBR	
	Subc. A° Cóndor Huasi	
	Subc. del sector N-NO EMA	
	Subc. de la escarpa Sa. de Pocho	
	Subc. sin colector definido	
	Subc. menores tramo medio/inf. río de Los Sauces	

Figura 7.2. Mapa hidrográfico, cuenca del río de Los Sauces en la zona de estudio. (EMA: Embalse Medina Allende y DCBR (Dique Compensador Boca del Río))

En su recorrido hacia el Sur, aguas arriba del Embalse, el río de Los Sauces colecta agua por su margen izquierda, del río Chico de Nono cuyos afluentes más importantes son el río Caracoles y el arroyo Los Sanjuaninos. Ya en la zona del Embalse, confluyen varios arroyos, como Consulta, Algodonal, Las Rabonas y El Pantanillo. Estos últimos se encuentran en el extremo Norte de la zona de estudio, son de carácter temporario y descienden de la escarpa de la Sierra Grande hasta desembocar en el embalse, en un recorrido de aproximadamente 8 km.

El Embalse Medina Allende (ex La Viña) fue construido entre los años 1939-1944, pero recién en el año 1952 se comenzó a construir la central hidroeléctrica que tuvo su primera conexión siete años más tarde (Figura 7.3).



Figura 7.3. Fotos del río de los Sauces en el lugar de emplazamiento del Embalse, de la construcción del paredón (década del 40) y fotos actuales (año 2011).

El cierre de este embalse es el más alto de Argentina, su muro tiene una altura de 106 m, 317 m de ancho, y se apoya sobre una base de 35 m de ancho. El embalse (espejo de agua) abarca una superficie de 1050 ha, con una capacidad de 230 hm³, y su finalidad es proveer agua potable a diferentes localidades como Villa Dolores, Villa Sarmiento y San Pedro y promover el desarrollo agrícola, mediante la implementación de sistemas de riego, ya que sin ellos, esta actividad sería impracticable por las características climáticas de la zona. Aguas abajo del Embalse, se halla el Dique Compensador Boca del Río el cual se construyó entre los años 1956-1958 para regular la variación de caudal producida aguas

arriba. Posee una capacidad de $1,18 \text{ hm}^3$, cubriendo una superficie de 14 ha. La altura útil del dique es de 7 m, mientras que la altura del vertedero es de 4 m.

En el área de estudio, la cuenca del río de Los Sauces recibe aportes de diferentes subcuencas que drenan la escarpa de las Sierras Grandes y de Pocho y que son de importancia en la zona, para el estudio del riesgo y peligro de inundaciones ya que sus caudales no se encuentran controlados por el embalse Medina Allende.

- **Subcuenca de los arroyos Las Rabonas – El Perchel y arroyos menores:** drena un área de 60 km^2 , ocupando la zona serrana aproximadamente el 50 %. Los arroyos que comprenden esta subcuenca, desembocan aguas arriba o directamente sobre el embalse Medina Allende y, en general, son de carácter temporario a excepción del arroyo El Perchel que es permanente en todo su recorrido. En el sector pedemontano (50 % restante) los cursos atraviesan secuencias de abanicos aluviales que conforman el Valle de San Alberto.

Si bien este sistema está conformado por varias subcuencas importantes que podrían ser subdivididas, aquí se presentan en forma conjunta ya que al confluir en el embalse, sus caudales se hallan controlados por el mismo y carecen de relevancia a la hora de analizar o dar respuestas a los objetivos planteados en la presente tesis.

- **Subcuenca del arroyo Las Tapias:** comprende una superficie de 116 km^2 que posee de forma elongada, definida por el parámetro Factor de Forma (RF, coeficiente entre ancho medio de la cuenca y la longitud del canal más largo) que posee un valor de 0,20. Esta cuenca que tiene sus nacientes en la escarpa de las Sierras Grandes, se caracteriza por presentar divisorias bien definidas, altas pendientes y valles en forma de "v" en este sector. Se une al río de los Sauces a la altura del balneario Piedra Pintada, donde su colector principal, de carácter temporario, conforma un canal encauzado que drena sobre secuencias aluviales cuaternarias en su cuenca media y baja.

Está integrada por tres subcuencas principales, las cuales se describen a continuación:

- **Subcuenca del arroyo Los Hornillos:** constituye una cuenca de forma alargada (Factor de Forma de 0,22), siendo la de mayor superficie (cerca a los 45 km^2). Tiene su nacimiento en la zona serrana (aproximadamente el 45 % del área total) constituida por rocas metamórficas (gneis y esquistos) y, ya en la zona extraserrana, drena materiales cuaternarios que rellenan el extremo sur del Valle de San Alberto y granitos de la sierra de Achalita. El colector principal, en la cuenca alta, es de carácter permanente, colectando varios arroyos temporarios que drenan la escarpa y secuencias pedemontanas.

- Subcuenca del arroyo Las Chacras: involucra la menor superficie (11,4 km² de los cuales, aproximadamente 6 km² corresponden al sector serrano), conformando una cuenca muy elongada (RF igual a 0,085) que recibe agua de diferentes cursos de carácter temporario, que se originan en la sierra. En sus cabeceras, se desarrolla sobre rocas metamórficas y luego, en el sector pedemontano, circula sobre materiales más modernos. El arroyo Las Chacras se une al arroyo Los Homillos, por su margen izquierda, al Norte de la localidad de Villa de las Rosas, y posee un carácter permanente en todo su trayecto.

- Subcuenca del arroyo Los Molles: tiene una superficie de aproximadamente 21,5 km², posee un factor de forma de 0,11, lo que indica una cuenca de forma alargada y, al igual que las anteriores, colecta los sistemas de drenaje que se desarrollan en la escarpa occidental de las Sierras Grandes, atravesando un ambiente de metamorfitas y sedimentos cuaternarios, en cuenca alta y media baja, respectivamente. El arroyo Los Molles es de tipo permanente en el sector serrano y confluye por la margen izquierda con el arroyo Las Tapias, al Sureste de la localidad Villa de las Rosas.

- Subcuenca del arroyo Chuchiras: drena un área de aproximadamente 80,5 km² y, al igual que las anteriores, tiene una forma alargada (FR= 0,09). Su cuenca superior serrana, sólo representa el 17 % de la superficie total y está conformada por las cabeceras de los arroyos Hondo y Achiras, desarrolladas sobre rocas metamórficas de la escarpa de falla de las Sierras Grandes, donde las pendientes son altas (20-25%). En la zona pedemontana, estos cursos inciden sobre secuencias de abanicos aluviales pleistocenos, fallados y sobreelevados con pendientes del orden del 6-7 %. Además en esta zona, tienen sus nacientes numerosos cursos de carácter efímero, que aportan al arroyo Chuchiras y que constituyen aproximadamente el 50 % del área de aporte. En el tramo medio-inferior este curso presenta un valle fluvial con una profundidad variable entre 5-3m, que disminuye marcadamente al Oeste de la ruta N° 14, donde se desarrolla un sistema distributivo en una planicie distal de baja pendiente (inferior a 2%). Aquí, el canal pierde definición, no se halla encauzado y es muy difícil identificarlo en su cuenca baja en proximidades de la zona urbanizada de Villa Dolores.

Los mencionados sistemas hidrológicos, presentan características en común en cuanto a su comportamiento morfohidrológico. Todos los cursos que drenan el área poseen régimen torrencial, asociado a la litología y altas pendientes de sus cuencas altas/medias altas, y a la intensidad de las precipitaciones estivales. En el sector pedemontano, donde los cursos inciden sobre secuencias de abanicos aluviales, los límites de cuencas no están claramente definidos, ya que el grado de profundización de los cursos es variable, observándose aún abanicos proximales (por ej. arroyo Los Molles) conformados por una red

distributaria donde, a pesar de que hay un canal colector principal, en crecidas extraordinarias podrían reactivarse canales históricos y provocar trasvases hacia cuencas vecinas.

- **Subcuenca del arroyo Seco:** este curso de carácter temporario, drena una superficie de aproximadamente 28,7 km² y desarrolla su cuenca alta sobre granitos que conforman el bloque Los Hornillos y sobre secuencias sedimentarias (30% del área total). Su cuenca media, está compuesta por rocas metamórficas altamente disectadas por el canal del arroyo Seco y por varios cursos que tienen su nacimiento en esta zona. Finalmente se une al río de los Sauces, aguas abajo del Dique Compensador Boca del Río, atravesando secuencias de abanicos aluviales en un sector de baja pendiente.

- **Subcuencas de los arroyos menores comprendidas entre el embalse Medina Allende y el dique Compensador Boca del Río:** en esta zona se destacan varias subcuencas menores, de forma alargada, conformadas por redes de drenaje subparalelas-subdendríticas, controladas fundamentalmente por la esquistosidad de las rocas metamórficas presentes en este sector de la Sierra de Pocho. En conjunto, drenan un área de 12,2 km² y de 19,9 km² aproximadamente, sobre la margen izquierda y derecha, respectivamente y sus colectores principales tienen régimen temporario/efímero.

-**Subcuenca del arroyo Cóndor Huasi:** Aproximadamente 4 km aguas abajo de la confluencia con el arroyo Las Tapias, el río de Los Sauces, recibe por su margen derecha al arroyo Cóndor Huasi, que con dirección Norte - Sur drena la Sierra de Altautina. Este curso, posee una cuenca de 41,5 km², en todo su recorrido es de carácter temporario y se desarrolla en la mayor parte de su trayecto sobre rocas metamórficas (esquistos) y en menor medida sobre granitos.

Por último, en su cuenca baja, el río de Los Sauces atraviesa la ciudad de Villa Dolores donde cambia su carácter de permanente a temporario. Esto se debe a que, como se mencionó anteriormente, aguas arriba se halla embalsado. La red de drenaje muestra un fuerte control estructural en la mayor parte de la cuenca, presentando diseños de tipo angular y subdendrítico, con canales rectos, en el área serrana, mientras que en el sector pedemontano, el diseño de canal varía desde tramos rectos, a otros de baja y de moderada sinuosidad y la red presenta un diseño distributivo en la parte distal.

7.2.2. Hidrometría

Para la zona, existen registros de aforos en la Estación Embalse La Viña (actual Medina Allende), la cual en la actualidad no se encuentra en funcionamiento. Según los datos registrados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, en esta estación, el módulo para el período 1928 - 1980 es de 5,56 (m³/seg), aunque la serie se encuentra incompleta, ya sea por la falta de datos anuales o mensuales. En la Figura 7.4 se observa que el mes de febrero posee los mayores valores de caudales, con un promedio de 12,3 m³/seg, a partir del cual se produce un descenso de los valores hasta el mes de agosto con una media de 1,17 m³/seg. Estos resultados, son correlacionables con el período de mayores precipitaciones, que ocurren entre los meses de noviembre a marzo y con los ciclos húmedos y secos mencionados en el apartado correspondiente. Se puede observar que en el período 1961-1975 correspondiente un ciclo seco, el módulo anual varía entre 2,5 y 5,5 m³/seg (dominando los valores más próximos a 3 m³/seg), mientras que en el ciclo húmedo 1976-1981, los valores varían de 6,5 a 9 m³/seg. A su vez, del análisis de los datos, se desprende que el máximo caudal, se registró en el mes de febrero del año 1979, con un valor de 46,1 m³/seg, y el mínimo en el mes de julio de 1963, con 0,1 m³/seg.

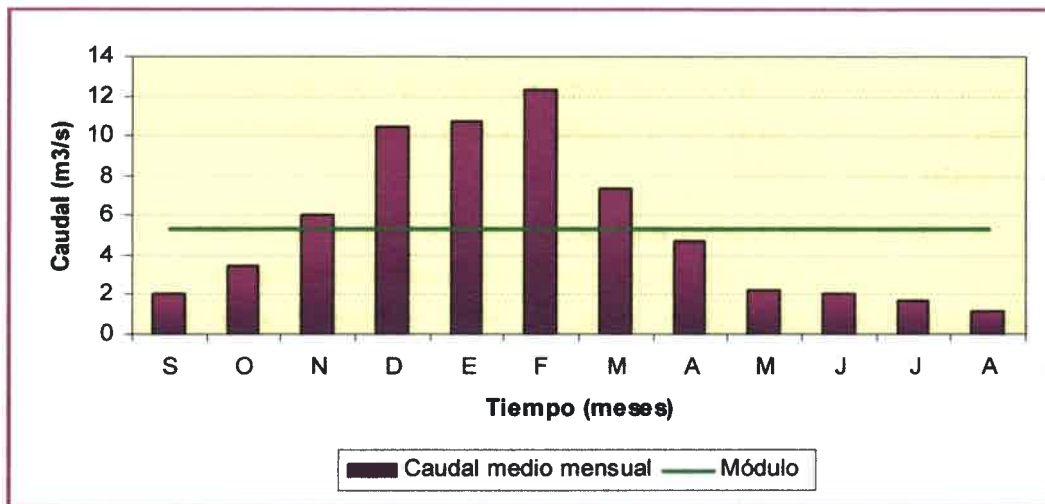


Figura 7.4. Caudal medio anual y mensual del río de Los Sauces, estación Embalse Medina Allende. (Serie incompleta 1928-1980).

En el mapa de la Figura 7.5 se ubican las estaciones donde se efectuaron aforos instantáneos en los meses de octubre de 2011 y febrero de 2014. El caudal se calculó mediante el método de la sección media y las velocidades de la corriente de agua fueron

medidas con un flotador y/o con un molinete hidrométrico (marca OTT), tal como se explicó en el capítulo 2 (materiales y métodos).

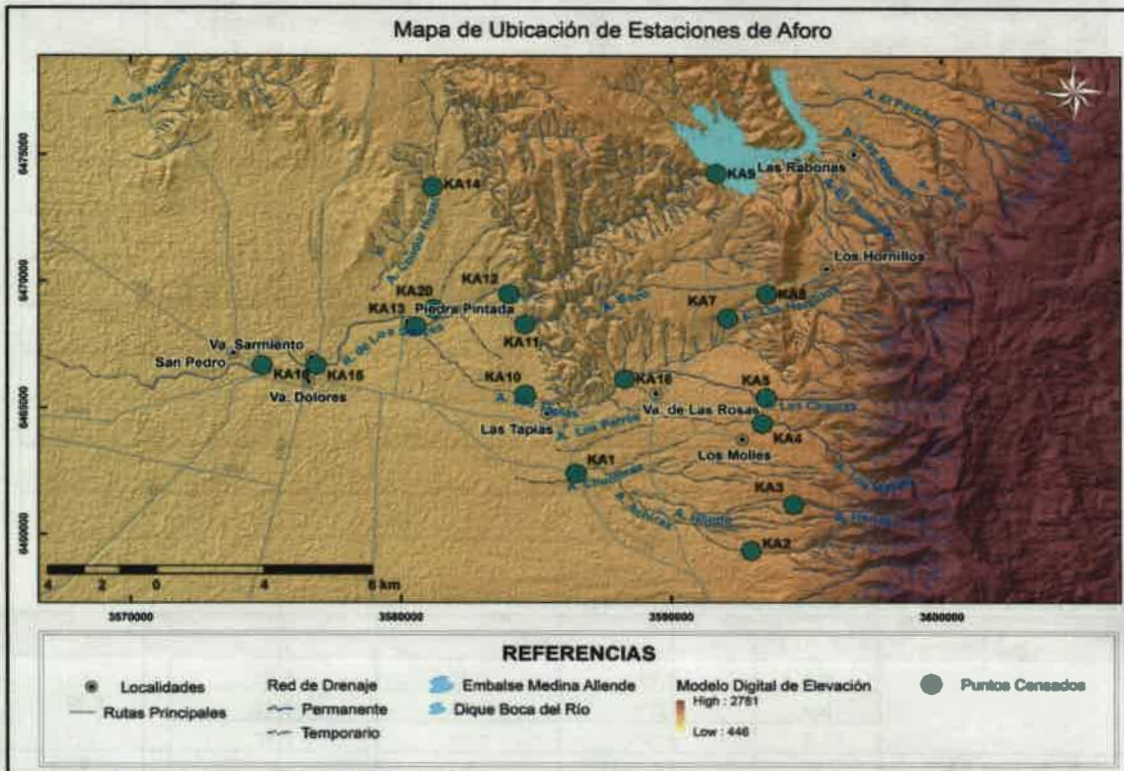


Figura 7.5. Ubicación de las estaciones de aforo.

En las Tablas 7.1 y 7.2, se presentan los valores de caudales medidos en secciones de diferentes arroyos y ríos del área de estudio (Figura 7.6). De la comparación de ambas tablas surge que, los caudales han sido superiores en febrero de 2014, coincidente con el período de mayores precipitaciones en la región. Como puede observarse, los valores más bajos de caudal, se midieron en el arroyo Las Chacras (KA5 - año 2011) y en los arroyos Los Hornillos y Las Tapias (KA7 y KA18, respectivamente - año 2014), mientras que los valores más elevados se registraron en el río de Los Sauces (KA15 – año 2011) en el tramo urbano de Villa Dolores, y en el arroyo Hondo (KA3 – año 2014). Se exceptuó del análisis KA8 por corresponder a una acequia.

Tabla 7.1. Resultados de los aforos instantáneos realizados en octubre de 2011.

Arroyo/rio aforado	Ancho (m)	Profundidad media (m)	Velocidad media (m/seg)	Caudal (m ³ /seg)
A° Chuchiras (KA1)	0	0	0	0
A° Achiras (KA2)	0,8	0,15	0,1	0,0104
A° Hondo (KA3)	1,4	0,10	0,17	0,023
A° Los Molles (KA4)	s/d	s/d	s/d	0,011
A° Las Chacras (KA5)	s/d	s/d	s/d	0,003
A° Los Hornillos (KA7)	0,78	0,06	0,125	0,006
A° Los Hornillos (KA8)	3,5	0,04	0,5	0,07
A° Las Tapias (KA10)	0,6	0,12	0,3	0,027
A° Seco (KA11)	0,9	0,12	0,15	0,016
Río de Los Sauces (KA15)	0,18	2	0,38	0,14

Tabla 7.2. Resultados de los aforos instantáneos realizados en febrero de 2014.

Arroyo/Río aforado	Ancho (m)	Profundidad (m)	Velocidad (m/seg)	Caudal (m ³ /seg) en cada sección	Caudal Total (m ³ /seg)
A° Chuchiras KA1	0,4	0,18	0,17	0,01	0,29
	0,9	0,275	0,45	0,11	
	1,4	0,27	0,43	0,17	
A° Achiras KA2*	0	0	0	0	0
A° Hondo KA3	0,3	0,05	0,78	0,01	1,41
	0,8	0,1	1,27	0,10	
	1,8	0,08	1,73	0,25	
	2,8	0,06	1,47	0,25	
	3,8	0,08	2,65	0,80	
A° Los Molles KA4	0,4	0,07	0,79	0,02	1,17
	2,4	0,08	1,26	0,24	
	4,4	0,09	0,85	0,33	
	6,4	0,06	0,40	0,15	
	7,7	0,07	0,78	0,42	
A° Las Chacras KA5	1	0,04	0,32	0,01	1,08
	4	0,05	0,79	0,16	
	6	0,04	3,78	0,91	
A° Los Hornillos KA7	0,4	0,09	0,11	0,004	0,02
	1	0,06	0,13	0,008	
	1,6	0,03	0,23	0,01	
A° Los Hornillos KA8	0,125	0,07	0,77	0,007	0,007
	0,7	0,4	0,34	0,09	
	1,3	0,46	0,16	0,09	
R. de los Sauces KA13	2,15	0,29	0,07	0,05	0,23
	0,4	0,34	0,15	0,02	
	1,2	0,35	0,15	0,06	
R. de los Sauces KA15	1,9	0,3	0,18	0,10	0,18
	0,4	0,09	0,7	0,02	
A° Las Tapias KA18	0,4	0,09	0,7	0,02	0,02
Canal KA20	0,55	0,16	0,44	0,04	0,04

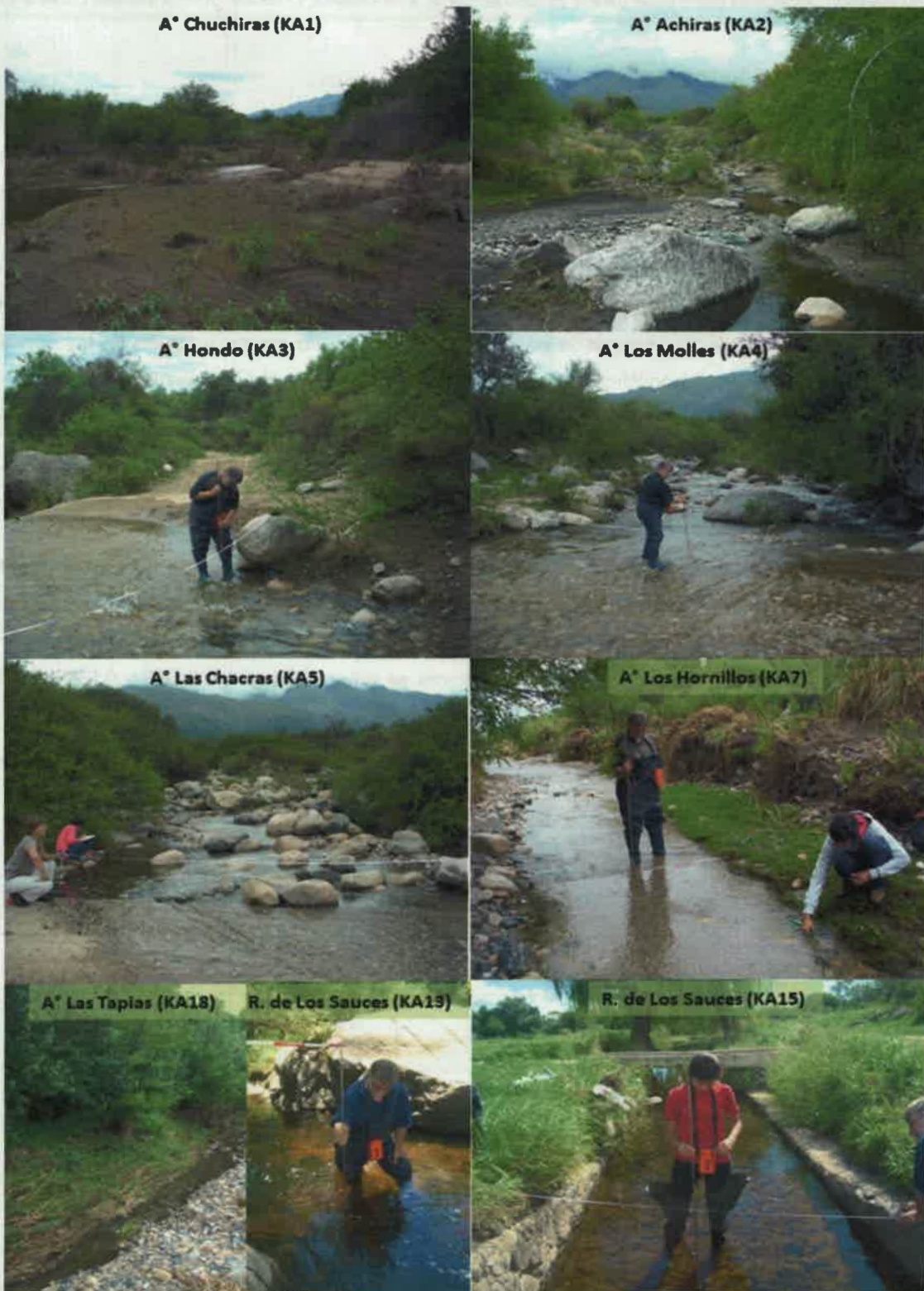


Figura 7.6. Secciones de aforo en diferentes arroyos y ríos.

- Estimación de Caudales de Crecidas

Los valores de caudales de crecidas, se estimaron a través de los datos de áreas relevadas a campo en las secciones de aforos de ríos y arroyos monitoreados y teniendo en cuenta algunos indicadores indirectos como son marcas de alturas de agua (vegetación, sedimentos), que se observan después de algún evento de crecida. Las velocidades (V) fueron calculadas mediante la ecuación de Manning que relaciona el *Radio Hidráulico* (R – cociente entre el área y el perímetro mojado de la sección transversal), la *Pendiente del Gradiente de Energía* (S - calculada para un tramo del río y/o arroyo a través de las curvas de nivel de las hojas topográficas del IGN, escala 1:50.000) y el *Coefficiente de Rugosidad Manning* (n).

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Para este último, se tuvieron en cuenta los valores citados en Ven Te Chow (1994) para corrientes naturales (Tabla 7.3) y en base a las características del canal y la llanura de inundación (granulometrías dominantes en los materiales, tipo y cobertura de vegetación, etc) se estableció un "n ponderado", cuyos valores se encuentran entre 0,058 y 0,082 (Tabla 7.4).

Tabla 7.3. Valores del coeficiente de Manning (Fuente: Ven Te Chow, 1994).

TIPO DE CANAL Y DESCRIPCIÓN	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
Corrientes menores			
Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
Planicie de inundación			
Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivos maduros	0.030	0.040	0.050
Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos en verano	0.070	0.100	0.160
Árboles			
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terrenos limpios, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual que el anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160

En los casos, donde se presenta vegetación tanto en el canal como en la llanura de inundación, se utilizó un "n" que resulta de considerar que al inicio de la crecida, el coeficiente de rugosidad es mayor, mientras que en el pico del hidrograma y curva de descenso, éste disminuye ya que la vegetación se inclina u horizontaliza por el paso del flujo de agua y por lo tanto ofrece menor resistencia (Figuras 7.7 y 7.12).

Tal como se mencionara en el capítulo de materiales y métodos, el día 4 de febrero de 2014, se registraron valores de precipitaciones de 120 mm en pocas horas, lo que provocó crecidas extraordinarias en diferentes arroyos serranos, que según vecinos de la zona, no ocurrían desde hace más de 30 años. De esta forma, se pudieron observar y medir a campo marcas y alturas de crecidas recientes (Figuras 7.7 a 7.12), lo que facilitó los datos para la estimación de caudales asociados a eventos extraordinarios (Tabla 7.4).

Si bien se requiere de mediciones continuas para poder establecer la recurrencia de crecidas de diferentes magnitudes, es de destacar la importancia que posee haber registrado este evento a tan pocos días de su ocurrencia, debido a la relevancia que constituye como amenaza en la caracterización de los peligros y riesgos asociados a la actividad fluvial en la zona, considerando que ninguno de los cursos de la zona está instrumentado y la estimación de los caudales erogados en eventos extraordinarios siempre resulta de la consideración de evidencias/indicadores indirectos.

Tabla 7.4. Estimación de caudales de crecidas para diferentes secciones transversales de arroyos. Crecida (04/02/2014)

Sección	Área (m ²)	Radio Hidráulico (m)	Pendiente (m/m)	Coefficiente Manning Ponderado	Velocidad (m/seg)	Caudal (m ³ /seg)
A° Chuchiras KA1	60,32	1,82	0,016	0,058	3,31	200,1
A° Hondo KA3	5,525	0,56	0,083	0,082	2,39	13,19
A° Los Molles KA4	11,76	0,65	0,066	0,075	2,56	30,1
A° Las Chacras KA5	9,6	0,56	0,071	0,0725	2,5	24
A° Los Hornillos KA7	9,72	1,08	0,026	0,065	2,58	25,12
R. de Los Sauces KA13	40	0,87	0,025	0,045	3,24	129,7
A° Las Tapias KA18	37,4	1,74	0,022	0,063	3,45	129,03



Figura 7.7. Sección transversal del A° Chuchiras (KA1) aguas arriba ruta N°14. Detalle de marcas de crecidas y depósitos en distintas posiciones del canal.



Figura 7.8. Marcas de crecidas y características de la sección de aforo. A° Hondo (KA3)



Figura 7.9. Características de la sección de aforo. A° Los Molles (KA4) y Las Chacras (KA5).



Figura 7.10. Marcas de crecidas y detalles de las granulometrías de los depósitos de barra y canal A° Los Homillos (KA7).



Figura 7.11. Características de la sección de aforo y marcas de crecida. Río de Los Sauces (KA13).



Figura 7.12. Características de la sección de aforo y marcas de crecida. A° Las Tapias (KA18).

* Crecidas asociadas a ríos regulados por presas

Otro evento registrado durante el desarrollo de esta tesis es la crecida del río de Los Sauces asociada a la apertura de cuatro compuertas del Embalse Medina Allende, debido a las crecidas de los ríos Panaholma y Mina Clavero en la cuenca alta durante las lluvias registradas entre los meses de febrero y marzo de 2015. Esto produjo que el nivel del agua en el embalse, llegue a aproximadamente 1 metro del nivel de vertedero, lo que se tradujo en la apertura de forma consecutiva de cuatro compuertas a partir del 19 de febrero de 2015, evacuando un total de 20 m³/seg.

Como consecuencia de la liberación de estos caudales controlados, se registraron pequeñas crecidas y desbordes en sectores aledaños al río de Los Sauces, a la altura de la ciudad de Villa Dolores.

7.2.3. Calidad del agua superficial

Con el fin de observar las características físico químicas del agua superficial y, posteriormente establecer relaciones con el agua subterránea, definir su aptitud de uso, entre otras, durante los aforos llevados a cabo en octubre 2011 y febrero del 2014, se efectuaron mediciones in situ de conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto y temperatura y se tomaron muestras para su posterior análisis físico-químico en laboratorio, en diversos arroyos y ríos, además del Embalse Medina Allende y el Dique compensador Boca del Río (Tabla 7.5).

Como se observa en la Tabla 7.5 son aguas dulces, variando su contenido salino entre 65,1 mg/L (arroyo Hondo) y 1176,7 mg/L (arroyo Seco) en el año 2011 y entre 28,56 mg/L (arroyo Hondo) y 438,9 mg/L (arroyo Las Tapias) en el año 2014. En el caso del arroyo Seco, muestreado en el año 2011, el valor de salinidad se considera anómalo teniendo en cuenta los tenores característicos del agua superficial de la zona y se vincula a un endicamiento artificial y a la presencia de corrales de ganado vacuno inmediatamente aguas arriba del sitio de muestreo (Figura 7.13).



Figura 7.13. Vista escenarios de contaminación A* Seco, aguas arriba de sitio de muestreo KA11. Imagen Google Earth.

En aquellos sitios que fueron muestreados en las dos oportunidades, los valores de salinidad resultaron ser menores en el año 2014 en el sector serrano, como consecuencia de la dilución causada por la mayores precipitaciones características del período estival, mientras que en el arroyo Las Tapias el valor de salinidad se mantuvo y en el río de Los Sauces, los contenidos aumentaron entre 1,5 y 2 veces en el año 2014. Esto ha sido acompañado por un descenso en los valores de oxígeno disuelto, por lo que podría deberse a procesos puntuales de contaminación, asociados a la actividad turística.

Siguiendo a Custodio (1993) se realizó la caracterización geoquímica de las muestras analizadas, clasificando el agua según los aniones y cationes que excedan el 50 % de sus sumas respectivas. En caso de no superar ese porcentaje, se nombra a la muestra con los

Tabla 7.5. Resultados análisis de agua superficial

Nº Muestra	pH		CE in situ [µS/cm]		CE Lab [µS/cm]		S.D.T. [mg/L]		CO ₃ ²⁻ [mg/L]		CO ₃ H [mg/L]		SO ₄ ²⁻ [mg/L]		Cl ⁻ [mg/L]		Na ⁺ [mg/L]		K ⁺ [mg/L]		Ca ²⁺ [mg/L]		Mg ²⁺ [mg/L]		As [µg/L]		F [mg/L]		NO ₃ ⁻ [mg/L]			
	2011	2014	2011	2014	2011	2014	2011	2014	2011	2014	2011	2014	2011	2014	2011	2014	2011	2014	2011	2014	2011	2014	2011	2014	2011	2014	2011	2014	2011	2014		
A ^o Chucuras (KA1)	S/D	7,3	S/D	116	S/D	116	S/D	81,2	S/D	0	S/D	42,5	S/D	16,9	S/D	2,9	S/D	8,1	S/D	1,9	S/D	8,8	S/D	7,8	S/D	0	S/D	0,12	S/D	0	0	
A ^o Achras (KA2)	8,2	S/D	234	S/D	226	S/D	158,2	S/D	0	S/D	137,5	S/D	16,13	S/D	2,86	S/D	17,19	S/D	4,98	S/D	22,4	S/D	4,88	S/D	0	S/D	0,5	S/D	6	S/D	0	
A ^o Hondo (KA3)	6,9	7,3	97,4	34	96	40,8	67,2	28,56	0	0	50	20	11,80	4,7	2,86	1,4	5,76	2,9	3,37	1	10,4	4	1,95	1,5	0	0	0,2	0,09	6	0	0	
A ^o Los Molles (KA4)	7,5	7,1	182	26	152	42,5	106,4	29,75	0	0	87,5	22,5	14,16	4,5	2,86	1,4	6,37	3,5	6,89	0,7	17,6	5,6	2,93	1	0	0	0,2	0,11	8	0	0	
A ^o Los Chucuras (KA5)	7,8	7	96,4	36	93	62,7	65,1	43,89	0	0	42,5	25	13,77	9,2	2,86	1,4	6,07	3,5	2,49	0,9	10,4	5,6	0,98	3,4	0	1	0,2	0,11	6	0	0	
A ^o Los Hornillos (KA7)	7,7	7,6	372	292	357	334	249,9	233,8	0	0	197,5	182,5	25,57	36,6	8,57	11,4	28,31	24,3	3,81	4,1	37,6	40	7,32	13,7	1	1	1,2	0,8	4	0	0	
A ^o Los Hornillos (KA8)	7,8	7,5	335	394	312	391	218,4	273,7	0	0	195	212,5	15,73	40,9	8,57	7,1	21,23	24,3	3,52	4,2	36	56,8	7,80	10,7	1	1	1,2	0,8	5	0	0	
Embalse M. Atencio (KA9)	8,5	S/D	244	S/D	228	S/D	159,6	S/D	2,4	S/D	90	S/D	18,09	S/D	11,43	S/D	28,31	S/D	2,20	S/D	16	S/D	3,90	S/D	1	S/D	0,8	S/D	5	S/D	S/D	
A ^o Las Tapias (KA10)	8,3	S/D	586	S/D	546	S/D	382,2	S/D	0	S/D	277,5	S/D	42,09	S/D	14,29	S/D	65,72	S/D	5,86	S/D	S/D	52,8	S/D	10,24	S/D	1	S/D	1,0	S/D	5	S/D	S/D
A ^o Seco (KA11)	8,3	S/D	1905	S/D	1681	S/D	1176,7	S/D	0	S/D	292,5	S/D	664,16	S/D	45,71	S/D	343,78	S/D	16,25	S/D	80	S/D	28,29	S/D	3	S/D	1,8	S/D	5	S/D	S/D	
Dique BR (KA12)	8,2	S/D	263	S/D	201	S/D	140,7	S/D	0	S/D	77,5	S/D	16,52	S/D	8,57	S/D	22,24	S/D	2,20	S/D	S/D	14,4	S/D	2,93	S/D	1	S/D	0,7	5	S/D	S/D	
R de Los Sauces (KA13)	7,9	7,1	262	478	248	464	173,6	324,8	0	0	95	130	18,49	98,9	11,43	14,3	24,27	54,6	2,20	5	20	40	2,93	10,2	1	1	0,7	0,48	6	0	0	
A ^o Conzor Huasi (KA14)	7,7	S/D	469		440		308	S/D	0	S/D	162,5	S/D	35,40	S/D	14,29		27,30	S/D	17,14	S/D	S/D	41,6	S/D	11,22	S/D	4	S/D	0,8	S/D	6	S/D	S/D
R de Los Sauces (KA15)	7,8	7,1	264	408	254	401	177,8	280,7	0	0	100	125	19,67	71,2	11,43	11,4	27,30	44,5	3,22	4,8	19,2	36	4,39	11,2	1	1	0,7	0,5	6	0	0	
R de Los Sauces (KA16)	7,4	7,1	292	434	277	425	193,9	297,5	0	0	130	122,5	22,03	94,3	5,71	14,3	14,16	46,5	15,82	5,7	27,2	38,4	5,85	9,8	3	1	0,1	0,44	7	0	0	
A ^o Las Tapias/KA16 Canal (KA20)	S/D	7,4	S/D	546	S/D	627	S/D	436,9	S/D	0	S/D	285	S/D	73,9	S/D	11,4	S/D	64,7	S/D	6,4	S/D	64	S/D	12,2	S/D	1	S/D	0,85	S/D	0	0	
	S/D	6,6	S/D	211	S/D	197	S/D	137,9	S/D	0	S/D	72,5	S/D	28,7	S/D	7,1	S/D	19,2	S/D	2,9	S/D	26,4	S/D	0,5	S/D	1	S/D	0,42	S/D	0	0	0

dos más abundantes. Para el año 2011, el 92,85 % de las muestras resultaron ser bicarbonatadas y sólo el 7,15 % sulfatadas. De las bicarbonatadas un 30,8 % corresponden al tipo cálcicas, un 30,8 % son cálcico-sódicas, un 15,4 % sódico-cálcicas y un 23 % sódicas. Las sulfatadas corresponden al tipo sódicas (Figura 7.14).

En general puede observarse que las muestras bicarbonatas cálcicas se encuentran en la zona serrana, mientras que hacia la zona pedemontana antes de la unión con el río de Los Sauces, dominan las facies bicarbonatadas sódicas.

Los arroyos Hondo y Achiras, afluentes del Chuchiras, poseen aguas muy dulces, con tenores salinos de 67,2 y 158,2 mg/L, correspondientes a las facies bicarbonatadas cálcicas y cálcico-sódicas respectivamente. Los arroyos Los Molles, Las Chacras y Los Homillos que conforman la subcuenca las Tapias, poseen salinidades de 106,5 - 65,1 - 218,4 y 249,9 mg/L, respectivamente, correspondiendo los dos últimos valores al arroyo Los Homillos. El tipo de agua que domina es bicarbonatada cálcica y hacia aguas abajo de Los Homillos bicarbonatada cálcico-sódica variando a sódica en el arroyo Las Tapias, el cual aumenta su contenido salino a 382,2 mg/L.

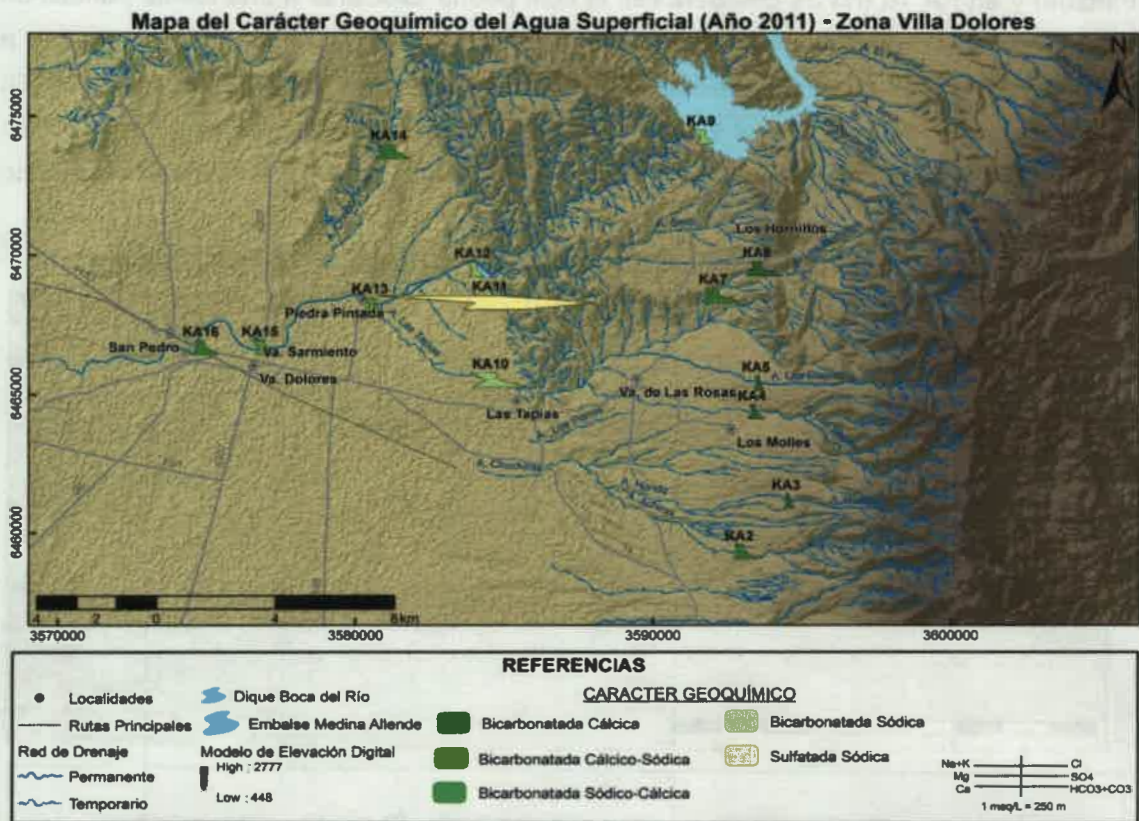


Figura 7.14. Carácter geoquímico del agua superficial y diagramas de Stiff modificado. Año 2011

El arroyo Seco que tiene su nacimiento en el bloque de la Sierra Los Homillos, presenta una salinidad de 1176,7 mg/L, valor muy alto para la zona, el cual puede estar vinculado a un tipo puntual de contaminación tal como se mencionara anteriormente, siendo el carácter geoquímico del agua sulfatada sódica. Por su parte, el arroyo Cóndor Huasi, posee aguas dulces bicarbonatada calco-sódica, con un valor de salinidad de 308 mg/L.

En la cuenca baja del río de Los Sauces se tomaron cinco muestras, las cuales aumentan escasamente su salinidad hacia aguas abajo desde 159,6 a 193,9 mg/L, variando su carácter geoquímico de bicarbonatada sódica en el Embalse Medina Allende y en el Dique Compensador Boca del Río a bicarbonatada sódico cálcica en el balneario Piedra Pintada y a bicarbonatada cálcico sódica en la muestra más occidental, KA16.

En relación a las muestras de agua analizadas en el año 2014 (Figura 7.15), el 81,8 % fueron bicarbonatadas y el 18,2 % restantes resultaron bicarbonatadas sulfatadas. El aumento en el contenido de sulfatos, se observa en las muestras KA 13 (Balneario Piedra Pintada) y en KA 16 (río de Los Sauces), lo cual podría asociarse a una fuente puntual de contaminación asociada una mayor afluencia de turismo, dada la época del año (KA13) y a la localización de un basural a cielo abierto (KA16) en la margen del río de Los Sauces. En cuanto al contenido aniónico, el 27,2 % de la muestras fueron cálcicas, el 27,2 % sódico cálcicas, el 18,2 % calco magnésicas, el 18,2 % calco sódicas y el 9,2 % restante magnésico sódica.

Mapa del Carácter Geoquímico del Agua Superficial (Año 2014) - Zona Villa Dolores

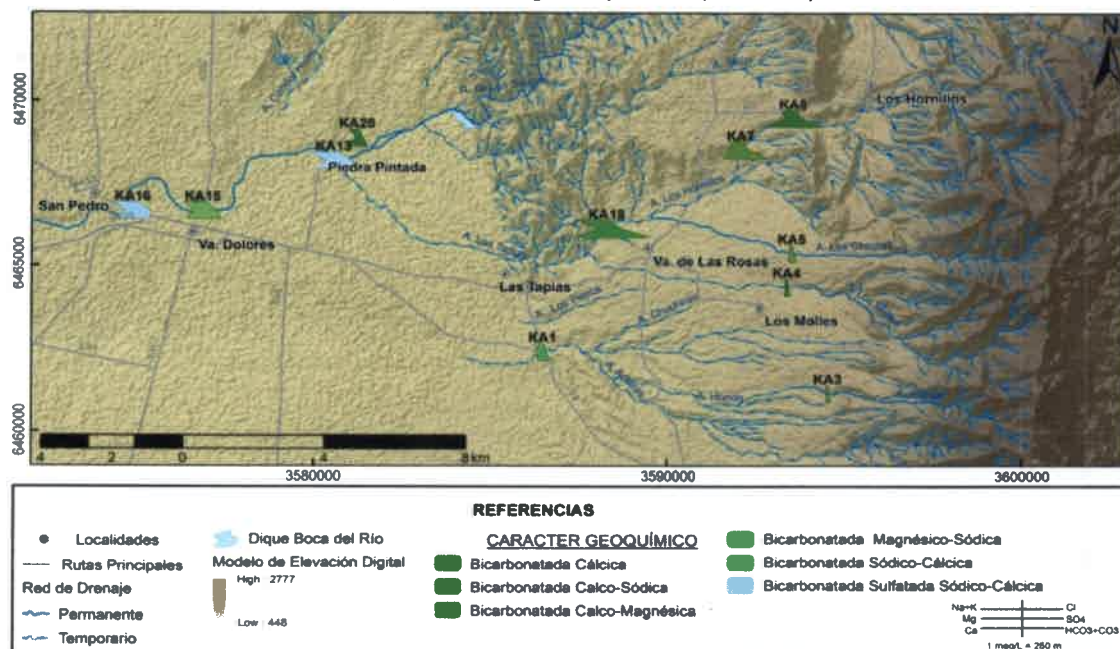


Figura 7.15. Carácter geoquímico del agua superficial y diagramas de Stiff modificado. Año 2014.

CAPITULO 8

EDAFOLOGÍA

8.1. CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS LOCALES

De acuerdo a un estudio realizado por Gorgas et al. (2003) sobre los suelos de la provincia de Córdoba, a escala 1:500.000, se pueden reconocer en el área de estudio tres órdenes diferentes: *Aridisoles*, *Entisoles* y *Molisoles* (Tabla 8.1 – Figura 8.1).

Tabla 8.1: Clasificación taxonómica de los suelos presentes de la zona de Villa Dolores

ORDEN	SUBORDEN	GRAN GRUPO	SUBGRUPO	SIMBOLO
ARIDISOL (D)	ORTHID	Camborthid (G)	ustólico (ut)	DGut
		Salorthid (K)	típico (tc)	DKtc
ENTISOL (E)	ORTHENT	Ustorthent (P)	típico (tc)	EPtc
			lítico (li)	EPLi
			paralítico	EPLi
		Torriorthent (N)	típico (tc)	ENtc
MOLISOL (M)	USTOL	Haplustol (N)	éntico (en)	MNen
			lítico (li)	MNli
			torriorthéntico (to)	MNto
	UDOL	Hapludol (J)	paralítico (li)	MJli
Misceláneas	Roca			R
	Lagunas			L

Los **Molisoles** (Figura 8.1 y 8.2) son los suelos de mayor desarrollo en la zona, siendo los *Haplustoles torriorthénticos*, los que ocupan mayor superficie. Los mismos se asocian a la planicie fluvio-eólica, entre los 600 y 400 msnm, conformada por materiales areno gravosos depositados por la acción fluvial del río de Los Sauces o arenosos finos/muy finos que forman los campos de dunas longitudinales. Para incorporar a estos suelos a la producción agropecuaria, es necesario realizar operaciones de riego y, en la actualidad, la unidad registra la mayor extensión de canales y número de perforaciones hidrogeológicas del área estudiada. En general, tienen un horizonte superficial oscuro, moderado contenido de materia orgánica y se encuentran bien estructurados. Le siguen en importancia los *Haplustoles énticos*, que presentan las mismas características que el subgrupo anterior, pero como su nombre lo indica, poseen un horizonte de transición con escaso desarrollo, lo que lo convierte en un suelo poco evolucionado, que se desarrolla entre los 700 y 500 msnm. Los *Haplustoles líticos*, son suelos someros (< 50 cm) que ocupan posiciones altas dentro de los abanicos y conos aluviales, con pendientes fuertes y se hallan escasamente

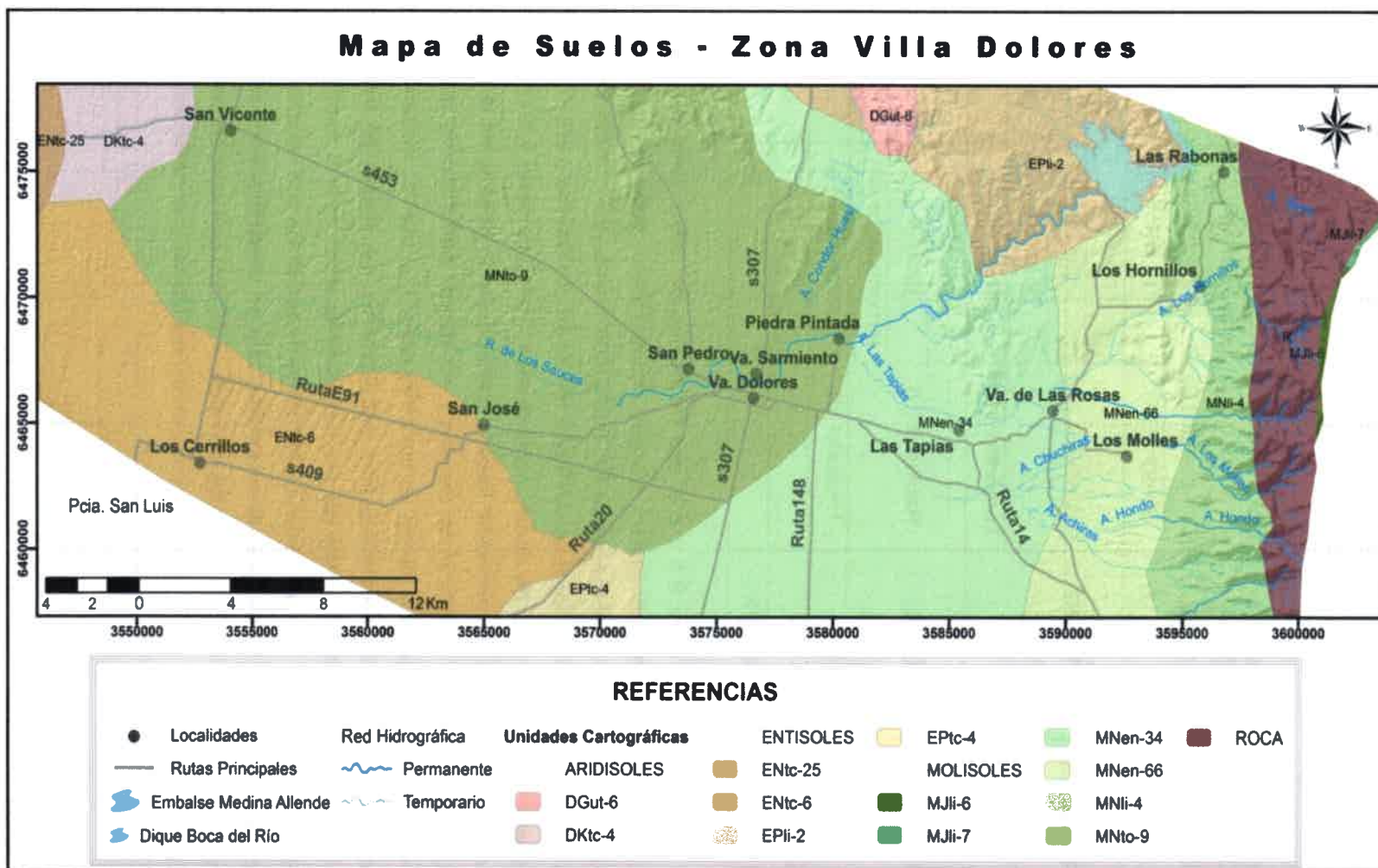


Figura 8.1. Mapa de suelos correspondiente al área de estudio, según Gorgas et al. (2003).

representados en zonas escarpadas, donde las elevadas pendientes y la rocosidad limitan su uso.

Los **Entisoles** (Figura 8.1 y 8.2) ocupan una superficie bastante extensa, aunque menor que los molisoles. Incluyen al subgrupo *Torriorthent típico*, el cual se extiende sobre el Suroeste y Oeste del área de estudio, asociado a la planicie fluvio eólica donde se observa predominio de paleocanales, interdigitados con formas medanosas. Son suelos de baja fertilidad, que presentan un horizonte superficial muy claro, muy pobre en materia orgánica, débilmente estructurado y de textura areno franca. Están asociados a los Haplustoles torriorthénticos, en una zona donde se realizan cultivos a través de sistemas de riego superficial y subterráneo.

En los bloques serranos de Pocho, Altautina y otros menores, se reconocen *Ustorthentes líticos*, muy pocos desarrollados, someros, con pobre contenido en materia orgánica, estructura muy débil, textura gruesa y pedregosa, que apoyan sobre la roca subyacente sin o con muy poca alteración (contacto lítico neto).

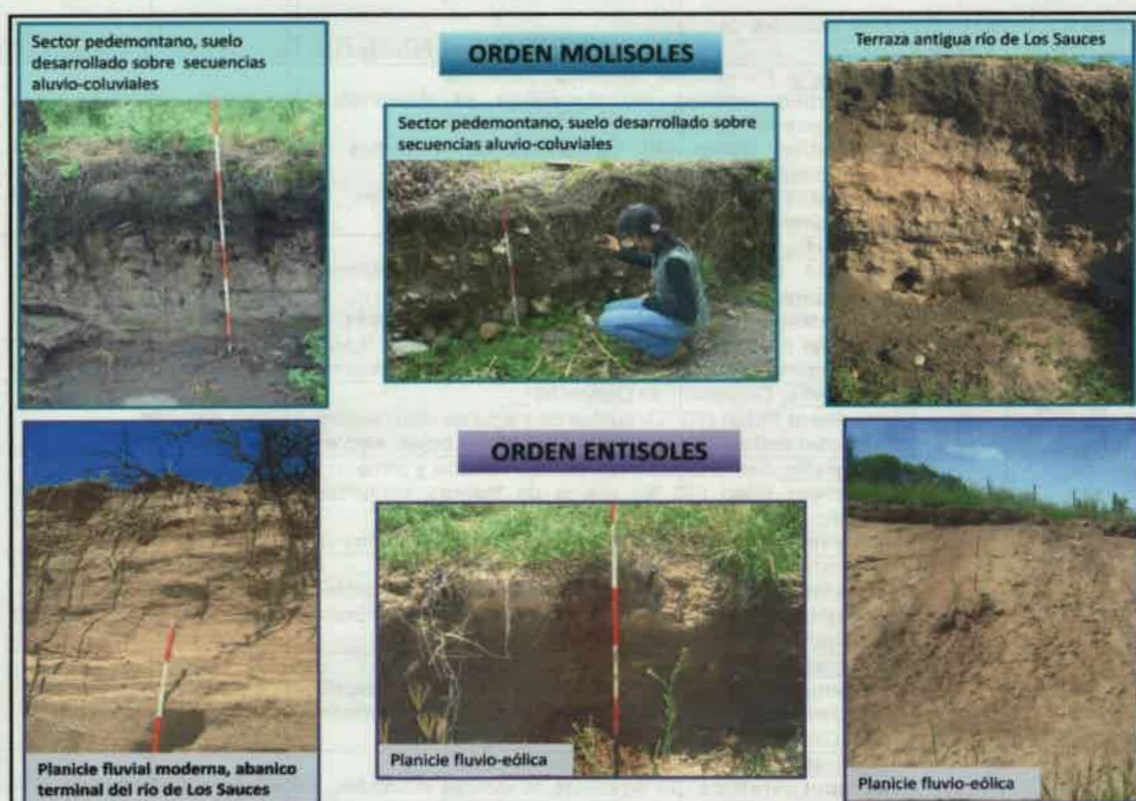


Figura 8.2. Ejemplos de suelos pertenecientes a los órdenes Molisol y Entisol en diferentes posiciones del área de estudio.

Por último, representados en menor porcentaje se encuentran los **ARIDISOLES**, que se extienden en el extremo noroeste del área, asociados al sistema de dunas longitudinales que se observan fuera del área de estudio y al bloque de Altautina en el sector norte. El subgrupo *Salorthid típico*, presenta un horizonte de acumulación de sales dentro del perfil producida por las fluctuaciones del nivel freático cercano a la superficie en determinadas épocas del año.

Finalmente, el *Camborthid ustólico* asociado al piedemonte occidental y a los abanicos aluviales, posee una escasa representación en el área, presentando moderados contenidos de materia orgánica en el horizonte superficial, donde en general predominan las texturas francas. Son suelos profundos, en los que se puede observar moderada salinidad en profundidad.

En la Tabla 8.2, se presentan a modo de resumen las principales características de las unidades cartográficas que se encuentran en el área de estudio.

Tabla 8.2. Descripción de las unidades cartográficas

U. Cartog	Clase	Características Principales
DGut-6	VII	Fisiografía: Piedemonte occidental, abanicos Camborthid ustólico (40 %) suelos de derrames suavemente deprimido. Algo excesivamente drenado. Camborthid típico (40 %) suelos de derrames suavemente ondulados. Algo excesivamente drenado Calciorthid típico (20 %) suelos de derrames suavemente ondulados. Algo excesivamente drenado
DKtc-4	VII	Fisiografía: Planicie eólica occidental. Salorthid típico (40 %) suelos de áreas intermedias y bajos salinos. Algo excesivamente drenado. Camborthid típico (20 %) suelos de lomas medanosas. Algo excesivamente drenado Natargid típico (20 %) suelos de bajos y derrames fluviales pobremente drenado Ustipsamment típico (20 %) suelos de lomadas medanosas. Excesivamente drenado
EPtc-4	IV	Fisiografía: Depresión de Concarán Ustorthent típico (70 %)- suelos de sectores altos. excesivamente drenado. Haplustol éntico (30 %) suelos de sectores bajos. algo excesivamente drenado
EPII-2	VII	Fisiografía: Sierra Occidental, sector Altautina y otros Ustorthent lítico (90 %) suelos de laderas inclinadas y escarpas. Excesivamente drenado Ustipsamment típico (10 %) laderas bajas y pequeños valles. Excesivamente drenado
ENtc-6	VII	Fisiografía: Planicie fluvio eólica de Candelaria. Torriorthent típico (70 %) suelos de lomadas extendidas. Algo excesivamente drenado Haplustol torriorthéntico (30 %) suelos de sectores suavemente convexos. Algo excesivamente drenado
MJII-6	VII	Fisiografía: Sierras Grandes, laderas altas Hapludol paralítico (40 %) suelos de pendientes y escalones. Excesivamente drenado Udorthent paralítico (30 %) suelos de laderas escarpadas. Excesivamente drenado Roca (30 %)
MJII-7	VII	Fisiografía: Sierra Grande, Pampa de altura Hapludol paralítico (30 %) suelos de laderas inclinadas. Excesivamente drenado Udorthent paralítico (30 %) suelos de laderas escarpadas. Excesivamente drenado Argludol paralítico (20 %) suelos de sectores bajos de laderas. Bien drenado Roca (20 %)
MNen-34	VII	Fisiografía: Piedemonte occidental, sectores distales Haplustol éntico (50 %) suelos de pendientes. Algo excesivamente drenado Haplustol torriorthéntico (40 %) suelos de sectores ondulados. Algo excesivamente drenado Ustipsamment típico (10 %) suelos de convexidades excesivamente drenado

MNen-66	VII	Fisiografía: Piedemonte occidental, conos antiguos Haplustol éntico (40 %) suelos de valles algo excesivamente drenado* Haplustol fluvéntico (30 %) suelos áreas intermedias. Algo excesivamente drenado Ustorthent lítico (30 %) suelos de áreas proximales. Algo excesivamente drenado
MNI-4	VII	Fisiografía: Sierra Grande, ladera occidental y conos. Haplustol lítico (30 %) suelos de ladera. Excesivamente drenado Haplustol fluvéntico (20 %) suelos valles serranos. Algo excesivamente drenado Ustorthent típico (20 %) suelos de conos. Excesivamente drenado Ustorthent paralítico (20 %) suelos de sectores apicales. Excesivamente drenado
MNto-9	VII	Fisiografía: Piedemonte occidental y derrames Haplustol torriorthéntico (40 %) suelos de derrames y planos loésicos. Algo excesivamente drenado Haplustol arídico (30 %) suelos de derrames ondulados. Bien drenado Torrripsamment ústico (30%) suelos de albardones o paleocauces. Excesivamente drenado

Clase IV: Suelos con limitaciones más severas que la clase tres, cuando están cultivados requieren prácticas de manejo y conservación más difíciles y complejos. Adecuados para una estrecha gama de cultivos, pueden ser inutilizados para pastura y otros usos de tierra.

Clase VII: Suelos con muy graves limitaciones para el uso, resultando también ineptos para cultivos. Su uso queda reducido exclusivamente para pasturas cultivadas, campos naturales de pastoreo o para bosques y refugio de fauna.

Por lo expuesto y en función de las aptitudes de uso del suelo, se concluye que en general los mismos presentan graves limitaciones para su uso, especialmente para agricultura, quedando limitados a la ganadería extensiva (específicamente como campos naturales de pastoreo). En la zona serrana, la limitante principal está asociada a que son suelos someros que presentan alta pedregosidad/rocosidad, en cambio en la zona de la planicie, están constituidos por materiales de textura más gruesa, que poseen baja retención de humedad, siendo el clima la limitante común en toda el área de estudio. Sin embargo, debido al sistema de riego implementado en la zona, sumado al uso de agroquímicos, se ha logrado mejorar la productividad de los suelos, realizándose diferentes tipos de cultivos (Figura 8.3).



Figura 8.3. Diferentes tipos de cultivos (trigo, papa, maíz, algodón) implementados en la zona, bajo riego, en suelos pertenecientes a los órdenes molisoles y entisoles.



CAPITULO 9

USO ACTUAL DEL SUELO

A través del análisis de imágenes satelitales, con la ayuda del software Google Earth (imagen satelital del año 2011) y el reconocimiento a campo de las diferentes actividades realizadas en el área de estudio, se pudo construir el mapa de uso de suelo, el cual es de gran importancia, para analizar los posibles impactos que pudieran generarse sobre la calidad y dinámica de los recursos hídricos subterráneos y superficiales. Los mismos son utilizados principalmente como como fuente de recursos, en otros casos como sumidero y, en algunas zonas en particular, se relacionan estrechamente con la capacidad soporte del territorio para acoger diferentes actividades.

Con ese fin, se dividió a la zona, de acuerdo a las actividades que predominan en cada sector (Figura 9.1) y se describen a continuación:

I. ZONA AGRÍCOLA – HORTÍCOLA: Esta actividad predomina en el sector centro y Oeste del área de estudio. En los últimos tiempos, hubo una expansión de la agricultura bajo riego hacia el Oeste, ya sea a través del agua superficial proveniente del río de Los Sauces como del agua subterránea, que permiten el cultivo de papa, cebolla, aromáticas, olivo, nogales, duraznos, vides, almendros, arándanos, entre otros y de cereales como trigo. Estas actividades se desarrollan sobre suelos pertenecientes al orden de los Molisoles y Entisoles que por sus propiedades físico-químicas, poseen restricciones de uso y no tienen aptitud agrícola, pero debido a la aplicación conjunta del riego y de fertilizantes, es factible su utilización.

Aproximadamente 20.000 ha son irrigadas en la actualidad por el agua proveniente de *canales y acequias* del río de Los Sauces, los cuales se distribuyen a través de un canal matriz que nace en el dique nivelador Boca del Río (Figura 9.2). El mismo, abastece al Canal Maestro Sur que provee a las zonas de riego ubicadas sobre la margen izquierda del río y al Canal Maestro Norte que suministra agua a los cultivos ubicados sobre la margen derecha. En total, estos canales se extienden aproximadamente 40 km hacia el sector Oeste en ambas márgenes del curso. Como se puede observar en la Figura 9.1, el sistema de riego se encuentra más densificado en el sector Suroeste, abarcando un ancho de aproximadamente 6 km. Es por ello, que se dividieron las zonas donde hay mayor o menor densificación de canales y/o acequias. Este tipo de sistemas, tiene una ineficiencia elevada (cercana al 30%) en el uso del agua, debido a las pérdidas por infiltración, ya sea por falta de mantenimiento o mala construcción de las acequias. En muchas parcelas, se observó el uso de represas como fuente de almacenamiento del agua, proveniente no solo de las precipitaciones sino principalmente de los canales.

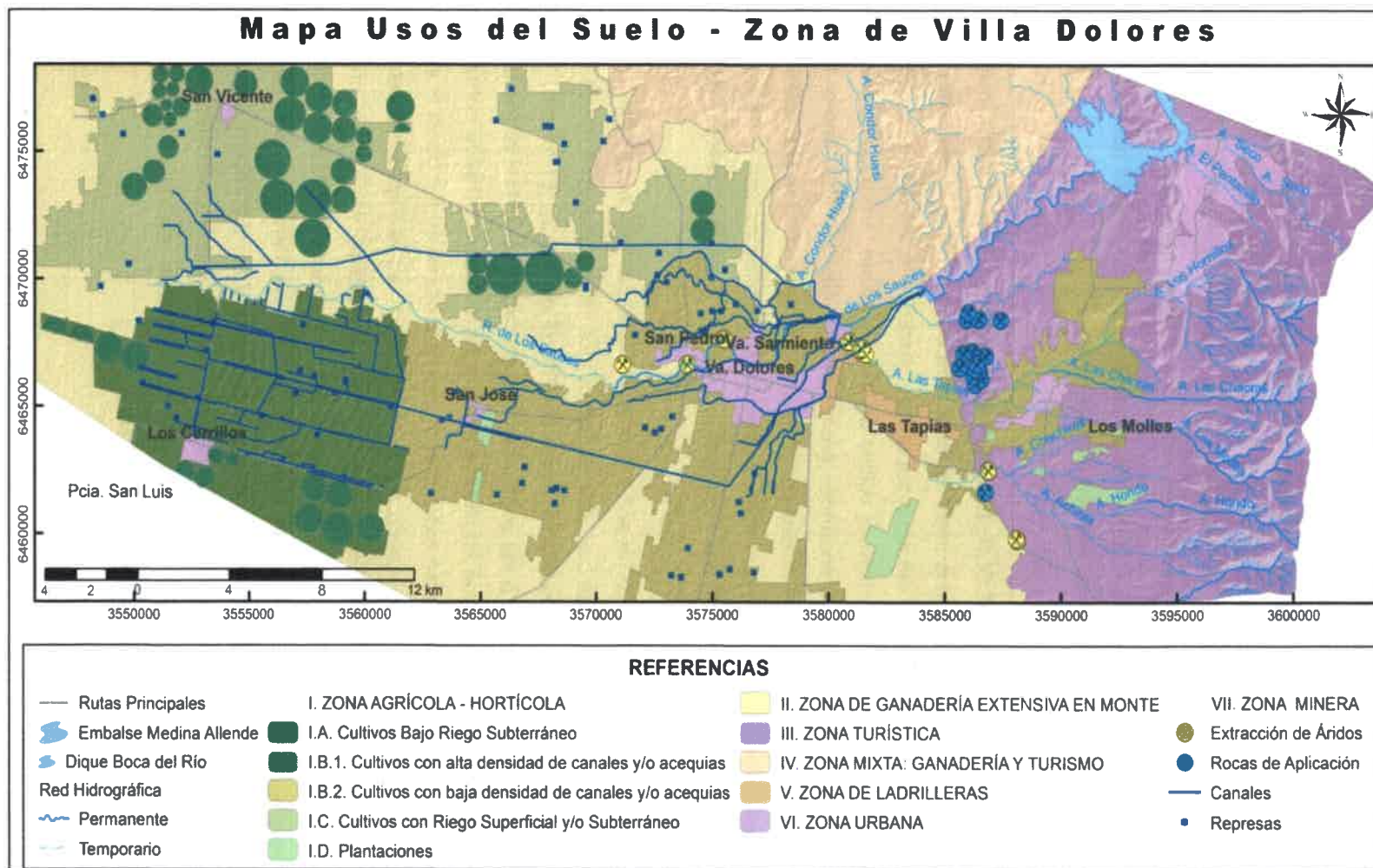


Figura 9.1: Mapa de usos del suelo de la zona de Villa Dolores.



Figura 9.2. Sistema de canales provenientes del dique nivelador Boca del Río, que almacena agua del río de Los Sauces.

Otro sistema de riego existente en el área, es *el pivot*. Aproximadamente 4.500 ha, son regadas a través de perforaciones que en general tienen una profundidad de 110 m y extraen agua subterránea, con caudales que se hallan entre los 180 m³/h y 400 m³/h. En los últimos tiempos, ha habido una extensión de la superficie cultivada de cereales a través de este método, que puede utilizar más de una perforación para su funcionamiento. Sin embargo para el cultivo de papas, predomina el *riego por inundación proveniente del agua subterránea*, que consiste en extraer el agua a través de perforaciones hacia una pileta que luego conduce por canales y surcos hacia el cultivo (Figura 9.3). En la zona, el uso de estos equipos es restringido, pudiendo operar en ciertos horarios establecidos por la legislación. Hay sectores, en donde se desarrolla un uso conjunto de los dos sistemas, utilizando tanto agua subterránea como superficial.

Cabe aclarar que el grado de parcelamiento difiere notablemente entre los dos sistemas. Por lo general, las parcelas que son irrigadas con fuentes de agua superficiales, son de menor superficie que aquellas que se utilizan bajo riego subterráneo.

Este tipo de actividades, como en el resto de la provincia es fuertemente subsidiada por el uso de fertilizantes y plaguicidas, asociada a su vez a la siembra directa en su gran mayoría, los cuales tienen en su formulación compuestos nitrogenados, organoclorados y organofosforados, que pueden llegar a afectar la calidad del recurso hídrico (Figura 9.3).

Como se mencionó anteriormente existen plantaciones importantes de frutales como almendros, ciruelos, nogales y olivos que ocupan una superficie aproximada de 1000 ha.



Figura 9.3. Perforaciones que extraen agua subterránea para el riego mediante pivot o por inundación. En las fotos de abajo, se observan envases de agroquímicos utilizados para mejorar el rendimiento de los cultivos.

II. ZONA CON GANADERIA EXTENSIVA EN MONTE: Ocupa una superficie importante, en la zona de estudio que incluye áreas de grandes dimensiones, en comparación con las utilizadas para cultivos, que son explotadas por la ganadería extensiva (Figura 9.4). En ellas se desarrolla vegetación natural perteneciente a la Provincia Fitogeográfica Chaqueña, más específicamente al Distrito Chaqueño Occidental y al Distrito Chaqueño Serrano (Cabrera, 1976).



Figura 9.4. Ganadería extensiva en monte en el área de estudio.

El Distrito Chaqueño Occidental: dominado por *Aspidosperma quebracho-blanco* (quebracho blanco), a quien acompañan *Prosopis nigra* (algarrobo negro), *Ziziphus mistol* (mistol), *Cercidium praecox* (brea), *Prosopis torquata* (tintitaco) y otros árboles y arbustos de menor porte. El estrato arbustivo es el de mayor cobertura (hasta el 80 %) y se compone de numerosas especies entre las que sobresalen *Larrea divaricata* (jarilla hembra), *Mimozyanthus carinatus* (lata), *Condalia microphylla* (piquillín), *Atamisquea emarginata* (atamisqui), *Celtis pallida* (tala churquis), *Maytenus spinosa* (abriboca), *Geoffroea decorticans* (chañar), entre otros. El estrato herbáceo está dominado por *Trichloris spp.*, *Setaria spp.*, *Pappophorum spp.*, *Aristida spp.*, *Sporobolus spp.* y *Gouinia spp.*

El Distrito Chaqueño Serrano se ubica entre los 500 y 2800 metros sobre el nivel del mar, dividido en tres pisos altitudinales: el bosque serrano, entre los 500 y 1300 metros, en el cual una de las especies arbóreas más características es *Lithraea molleoides* (molle), acompañado de *Schinopsis marginata* (orco quebracho). Otras especies arbóreas comunes son *Ruprectia apétala* (manzano de campo), *Celtis tala* (tala), *Condalia buxifolia* (piquillín grande), *Zanthoxylum coco* (coco). Cuando la vegetación natural, ha sido sometida a numerosas quemadas, que junto con la ganadería impiden que se desarrollen y predominen las especies características de los bosques, aparecen especies como *Acacia caven* (espinillo), *Kageneckia lanceolata* (durazno de campo), entre otras. El romerillo, que se desarrolla entre los 1300 y 1700 metros, tiene como especies *Heterothalamus alienus* (romerillo) y *Flourensia spp.* (chilcas), acompañadas de especies leñosas y gramíneas que se encuentran también en los matorrales de espinillo y en los pastizales. Por último, el piso de pastizales y bosquesillos de altura, por encima de los 1700 metros, (aunque pueden también encontrarse a menos de 600 m) está dominado por varias especies de gramíneas de crecimiento en mata (pajas), que varían de acuerdo a la altitud, así en las zonas más bajas domina *Stipa eriostachyay* a medida que se asciende, *Festuca hieronimii* y a continuación *Festuca tucumanica*, todas ellas acompañadas por *Stipa*, *Schizachirium*, *Aristida*, *Paspalum* y *Bothriocloa*.

Si bien, estas son las especies características de cada dominio, el área se halla afectada por numerosos incendios, en algunos casos por causas climáticas y en otros, como una medida de manejo para estimular el rebrote de gramíneas para el ganado. Este tipo de prácticas promueve el crecimiento del denominado "fachinal" donde predominan arbustos espinosos que se ramifican desde el suelo, haciendo una cobertura cada vez más densa y cerrada. Esto produce una disminución de las especies que dominan el bosque chaqueño, lo que se traduce en cambios significativos en el paisaje.

El tipo de ganadería que predomina es caprina, seguida por la de ovinos. En menor medida, se desarrolla la cría de ganado bovino y por último porcino. Según datos publicados por INTA Manfredi (2009), en donde se divide a la provincia en Zonas Agroeconómicas Homogéneas, el área de estudio se encuadra en las regiones XI-D Cruz del Eje. Árida de traslasierra de producción ganadera extensiva, que constituye un 45,7 % de caprinos, 5,2 % ovinos, 3,7 % bovinos y 1,4 % porcinos del total provincial, mientras que en la región XI-E Cosquín. Serrana de producción ganadera extensiva, se invierte el sector ovino (32 %) por el caprino (28%). Sin embargo hay que tener en cuenta que las zonas son más amplias, por lo cual puede haber diferencias en cuanto al porcentaje, manteniéndose el orden.

III. ZONA TURÍSTICA: El turismo es la principal actividad que se desarrolla en las localidades ubicadas en la zona pedemontana, como Las Rabonas, Los Homillos, Villa de Las Rosas, Las Tapias, Los Molles, el balneario Piedra Pintada y las zonas aledañas al Embalse Medina - Allende, siendo una fuente muy importante de ingresos, principalmente en el período estival. Según información Buguña et al. (2008), en relación al período 2004-2005, la población se incrementó en un 50 % en el Valle de Traslasierras en los meses de verano.

La excelente combinación de la riqueza paisajística, las características de los ríos y arroyos y la flora y fauna presentes en la zona hacen que en los últimos años, el desarrollo del turismo haya manifestado un importante incremento en áreas urbanas y rurales. Esto no sólo se debe a la afluencia turística, sino también al aumento de la población estable, que elige estos lugares para radicarse y desarrollar nuevas actividades económicas.

Entre las actividades que se pueden realizar en esta zona del Valle de Traslasierras, se destacan cabalgatas, trekking y otros deportes de montañas, además de prácticas de kayak, canotaje, windsurf, natación y pesca en el Embalse Medina – Allende.

Como actividades secundarias, en esta zona, también se realizan producciones minifundistas y en menor medida la ganadería extensiva.

La actividad turística/recreativa tiene una relación directa con el crecimiento urbanístico que muestra especialmente el sector pedemontano, lo cual como se analizará en el capítulo ambiental, sin una adecuada planificación territorial puede incrementar los peligros y riesgos vinculados a la dinámica de los sistemas fluviales que drenan el área.

IV. ZONA MIXTA: GANADERIA – TURISMO: Se ubica principalmente al Oeste del Embalse Medina Allende, sobre la margen derecha del río de Los Sauces. Es un área que se

desarrolla entre los 500 msnm a los 900 msnm aproximadamente, por lo cual predominan principalmente especies del bosque serrano para el desarrollo de la ganadería extensiva. Al ser una zona mixta, se realizan las actividades mencionadas en los apartados correspondientes a las zonas II y III, del presente estudio, sin predominancia de ninguna de ellas.

V. ZONA DE LADRILLERAS: Esta actividad se extiende principalmente entre las localidades de Villa Dolores y Las Tapias, al Norte y Sur de la Ruta N° 20, afectando un área de aproximadamente 650 ha, correspondientes a suelos del orden de Molisoles (Figura 8.1 – capítulo 8), que poseen un horizonte oscuro por la presencia de materia orgánica, son profundos, pero que en general tienen limitaciones en cuanto a su uso para cultivos, por restricciones climáticas.

Por lo general, es una actividad de desarrollo artesanal, que se caracteriza por ser una economía de subsistencia y que se halla precarizada por las condiciones de trabajo, de higiene y seguridad en que se lleva a cabo.

El tipo de tareas que se realiza en estos lugares, consiste en la extracción de arena y arcilla de los horizontes superiores del suelo (aproximadamente 2 m), que luego son mezcladas con agua y en algunos casos con materia orgánica y/o aserrín. La mezcla se produce por tracción animal (caballos). El material obtenido, se coloca en moldes que se dejan secar a la intemperie y luego son introducidos en un horno de ladrillos para su cocción (Figura 9.5).



Figura 9.5. Hornos utilizados en la elaboración de ladrillos.

Esta actividad provoca la eliminación de la capa fértil del suelo y contribuye al desmonte ya que se utiliza la leña como combustible para la cocción de los ladrillos en los hornos (Figura 9.6). Por otra parte, afecta la calidad del aire por el humo que se genera de la combustión de materiales como llantas, artículos plásticos y distintos tipos de aceites que

son accesorios a la leña. Esto puede tener efectos sobre la salud de los trabajadores y los asentamientos que se desarrollan en las zonas aledañas a este tipo de emprendimientos.



Figura 9.6. Terreno abandonado utilizado para la elaboración de ladrillos. Desnivel de 1,4 m por eliminación de la capa fértil del suelo.

VI. ZONA URBANA: En el área de estudio se hallan 11 localidades, Villa Dolores, Villa Sarmiento, San Pedro, San José, Villa de Las Rosas, Los Cerrillos, Las Tapias, Los Hornillos, Las Rabonas, San Vicente y Los Molles, distribuidas en los Departamentos San Javier y San Alberto.

Villa Dolores representa la ciudad de mayor importancia en el área en cuanto a la cantidad de habitantes (36.638 hab.), constituyendo un polo de desarrollo comercial y en menor medida industrial en el Valle de Traslasierras. Se pudo observar que presenta algunos problemas ambientales relacionados a la disposición final de los residuos sólidos urbanos ya que un sector periurbano de la ciudad y asociado al río de Los Sauces, se encuentra un basural a cielo abierto, en el cual se disponen distintos tipos de residuos. Sin embargo, a 3 km de la ciudad se halla localizado un vertedero que recibe basura de otras localidades cercanas. Por otra parte, en el proceso de expansión urbana, se observa un crecimiento de espacios aledaños a la faja fluvial o en sus bordes, que presentan uso residencial.

En la actualidad, se halla en construcción la obra de desagües cloacales, por lo que hasta el momento los vecinos disponen los residuos en cámaras sépticas o pozos negros. Lo mismo sucede con el resto de las localidades, ya que ninguna cuenta con un servicio de tratamiento de líquidos cloacales (Buguñá et al., 2008).

En la zona de pedemonte, los centros urbanos si bien ocupan grandes extensiones, se encuentran más dispersos y la densidad de habitantes es mucho menor.

En relación al agua potable, las localidades de Villa Dolores, Villa Sarmiento y San Pedro se abastecen del río de Los Sauces, mientras que centros poblados del pedemonte reciben agua de arroyos que descienden desde las sierras, derivando la misma a través de acequias hacia una pileta y luego a cisternas que conducen el agua mediante cañerías a cada vivienda. Este sistema, también es utilizado para riego en esa zona, pero con algunas restricciones.

El resto de las localidades ubicadas al Oeste del área, se abastecen mediante perforaciones.

VII. ZONA MINERA: La actividad minera de mayor envergadura, se desarrolla principalmente en el sector comprendido al Sur del dique compensador Boca del Río y al Norte del arroyo Las Tapias. Debido a las características geológicas, es posible extraer minerales como cuarzo, feldespato y micas, además de otros minerales accesorios.

Las canteras, de donde se extraen áridos, se ubican en su mayoría, en los márgenes del río de Los Sauces y el arroyo Las Tapias y las plantas de procesamiento, se encuentran estratégicamente localizadas sobre la Ruta N° 20, cuando se disponen en un lugar diferente al de la extracción (Figura 9.7).



Figura 9.7. Ejemplos de canteras ubicadas sobre el arroyo Las Tapias (Imagen Google Earth 2013).

Según un estudio realizado por la Secretaría de Minería de la Provincia de Córdoba (Gil Fiorenza, et al., 2008) en relación a la actividad minera, el mayor conflicto se genera por la falta de planificación de las explotaciones que provocan una degradación de las geoformas, eliminación de cubierta vegetal y suelos y una degradación paisajística acentuada.



CAPITULO 10

HIDROGEOLOGÍA



10.1. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS E HIDROQUÍMICOS REGIONALES

Los grandes ambientes o sistemas hidrogeológicos de la provincia de Córdoba (Figura 10.1 a) están estrechamente vinculados a la geomorfología, a la estructura de bloques que caracterizan a las Provincias Geológicas Sierras Pampeanas y Llanura Chaco Pampeana, a las litologías, a las variaciones climáticas del Cuaternario y a eventos neotectónicos (Blarasin et al., 2014). De esta forma, para el territorio provincial, se destacan dos grandes ambientes hidrogeológicos: "Sierras de Córdoba" y de "la llanura cordobesa", siendo parte la zona de Traslasierras del denominado "Pedemonte y áreas fuertemente onduladas" – "Oeste de Sierras Pampeanas (Traslasierras y Valle de Conlara)".

En la Provincia de Córdoba, como en todos aquellos sistemas de flujo de agua subterránea en regiones con relieve ondulado, se observa una jerarquización de los flujos, distinguiéndose niveles regionales, intermedios y locales que interactúan con el ambiente (Blarasin, 2003). Se observa flujo descendente en áreas de recarga y ascendente en áreas de descarga apareciendo en estas últimas bañados y lagunas. A nivel regional, hay un flujo radial divergente desde las sierras y hacia la periferia, indicando que la zona de recarga neta regional es el ámbito pedemontano (Blarasin et al., 2014). Específicamente en el área de Traslasierra, el agua subterránea fluye hacia el oeste y noroeste (Figura 10.1 b).

En relación al contenido salino, aumenta claramente en el sentido del flujo. La salinidad del agua es baja en los ambientes hidrogeológicos vinculados a las sierras (valles intermontanos y medio rocoso fracturado), pedemonte, áreas fuertemente onduladas y fajas fluviales-abanicos proximales, en las que conductividad eléctrica no supera en general los 1.000–2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hacia el Oeste, se repite el esquema de arroyos que en la salida serrana se infiltran aportando al acuífero libre aguas dulces, obteniéndose aguas menos de 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la llanura de Villa Dolores (Figura 10.1 c).

Además del mencionado trabajo a escala regional de la provincia, existen otros estudios hidrogeológicos regionales que abarcan la zona de Traslasierra de Córdoba y Valle de Conlara en San Luis, entre los que se destacan el Convenio Argentino Alemán de aguas subterráneas (C.A.A.A.S, 1973) e Ivkovick et al. (2000). En ambos casos se discuten aspectos hidrolitológicos e hidráulicos, además de hidroquímicos, si bien no se hacen consideraciones hidroestratigráficas detalladas.

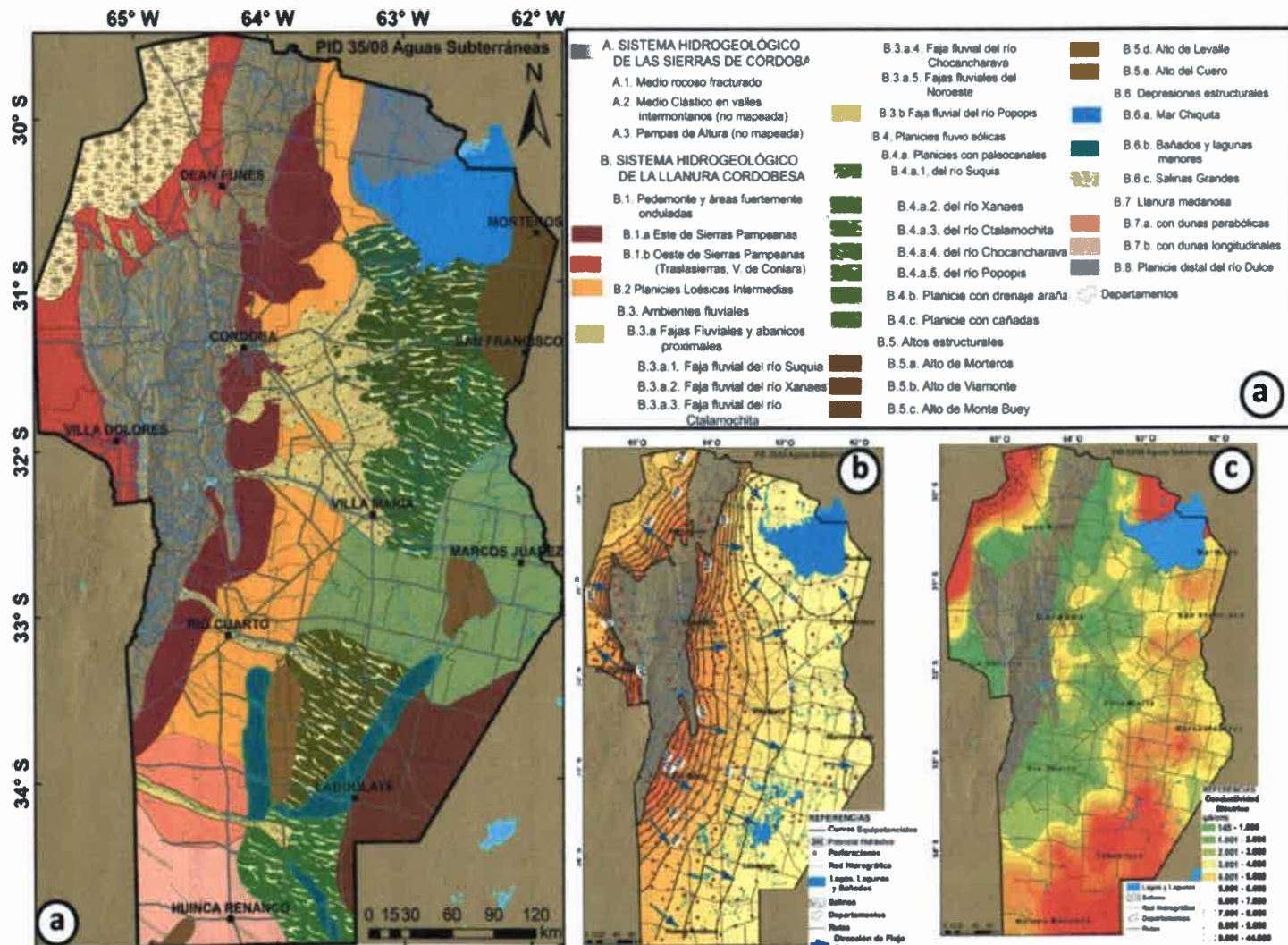
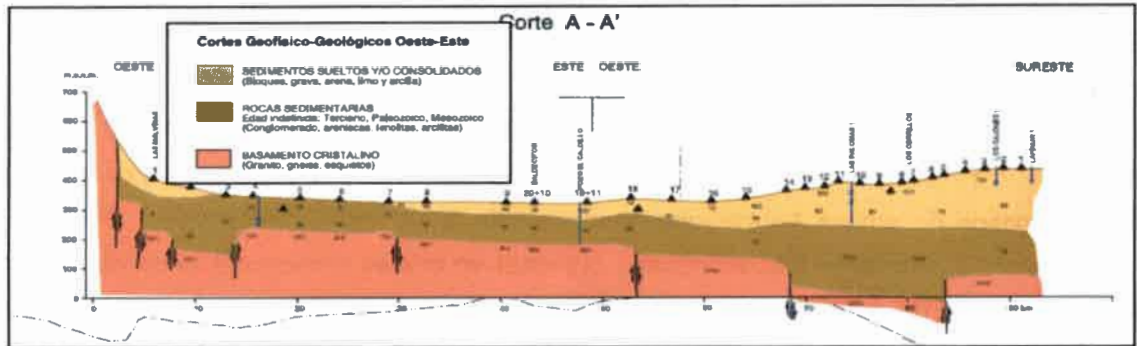


Figura 10.1. a) Ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Córdoba. b) Mapa de curvas equipotenciales del acuífero freático. c) Mapa de isoconductividad eléctrica del agua subterránea. Tomado de Blarasin et al. (2014).

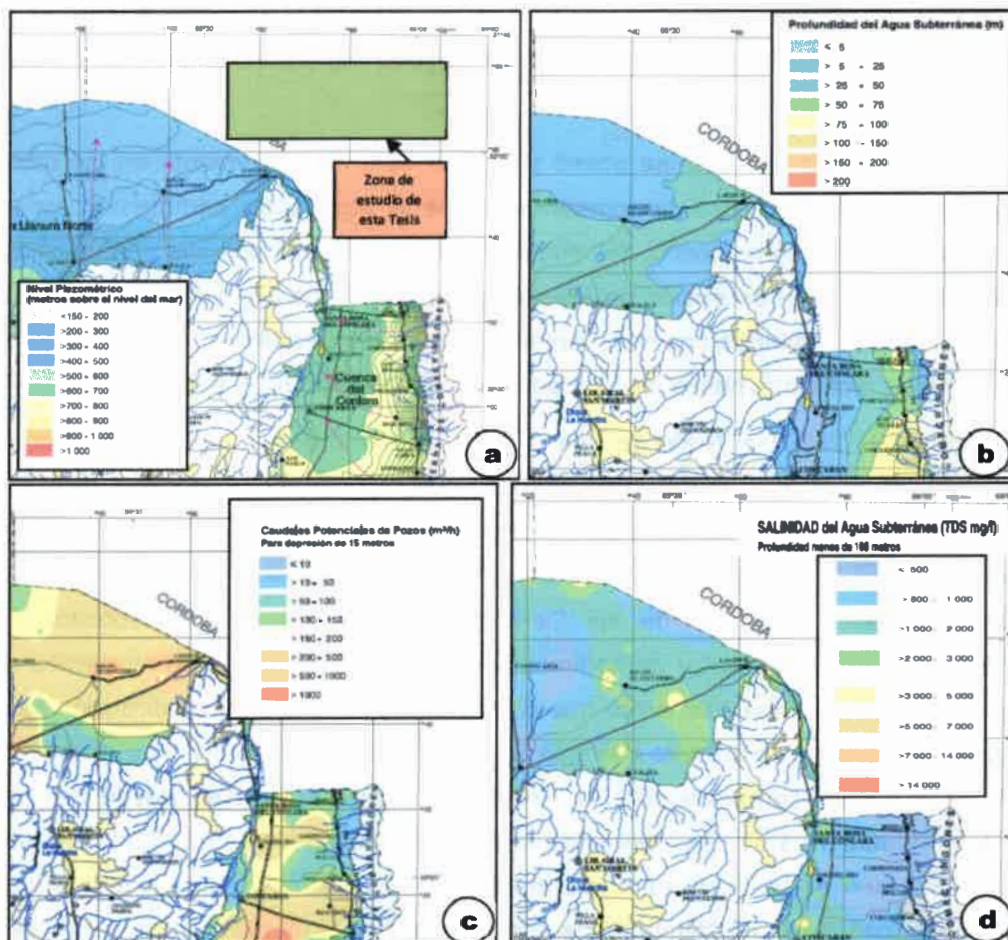
El C.A.A.S (1973) destaca que en general las rocas del basamento cristalino son completamente impermeables. En casos especiales admiten una permeabilidad cambiante del mismo, en zonas de diaclasas, fracturación o fallas, o zonas de meteorización, pero indican sólo importancia local. En forma general, identifican una Formación Clástica Fina (FCF), integrada predominantemente por capas arcillosas, y una Formación Clástica Gruesa (FCG), conformada principalmente por materiales psamíticos y psefíticos. Los niveles arcillo-limosos de ambas Formaciones poseen baja a mediana conductividad hidráulica, mientras que en las capas limo-arenosas y gravosas en ambas secuencias, la conductividad alcanza valores de medios a altos. Por último, los bancos de arena y grava de las dos Formaciones, poseen permeabilidad muy alta. En síntesis indican que para el Valle de Conlara en general, se han desarrollado gran cantidad de capas acuíferas, debido a la alternancia de secuencias de distinta conductividad hidráulica. Para el relleno del valle, admiten un sólo cuerpo de agua subterránea (compuesto por diferentes capas acuíferas) el cual se encuentra debajo de todo el llano del valle, limitado en su base por el basamento cristalino. Como las capas a menudo se acuñan en distancias cortas, faltando en la secuencia sedimentaria capas completamente impermeables, no son de esperar cuerpos de agua completamente separados.

El cuerpo de agua subterránea posee superficie libre exclusivamente en las capas superiores bien permeables, que no presentan cubierta alguna de sedimentos menos permeables que actúen como techo del acuífero. Como los estratos de permeabilidad comparativamente alta (con excepción de las capas arenosas más cercanas a la superficie freática) siempre están cubiertos con sedimentos de menor permeabilidad, el agua de todas las capas acuíferas profundas posee algún grado de confinamiento (C.A.A.S, 1973).

Ivkovick et al. (2000), al Norte de San Luis, en un tramo que toma parte del Sur del área de estudio de esta tesis (zona Los Cerrillos), con resultados de sondeos eléctricos verticales, sumado a información de algunas perforaciones, realizaron un corte geofísico geológico (Figura 10.2) en el que indican una profundidad variable de basamento, de aproximadamente 350 m al Sur de los Cerrillos, con un espesor de depósitos pre cuaternarios del orden de 200 m y de sedimentos sueltos cuaternarios suprayacentes del orden de 100 m. En este trabajo se indica que el agua subterránea fluye con dirección hacia el Oeste en el propio Valle de Conlara mientras en el límite San Luis - Córdoba (Sur del área de estudio de esta tesis) tiene dirección Sur - Norte, es decir el agua fluye desde San Luis hacia Córdoba (Figura 10.3 a). Los valores de profundidad del nivel freático citados en este estudio son del orden de 25-50 m para la zona sur de Los Cerrillos y muy variable en el Valle del Conlara, con zonas no saturadas de aproximadamente 100 m en cercanías de la



Sierra de Comechingones (Figura 10.3 b). Dada la presencia abundante de materiales muy permeables, los caudales posibles de extracción para depresiones del orden de 15 m en el pozo de bombeo son muy altos (Figura 10.3 c).



Desde el punto de vista hidroquímico, tanto el trabajo del C.A.A.S (1973) como el de Ivkovick et al. (2000) y al igual que Blarasin et al. (2014), en esta región, destacan aguas subterráneas en general dulces para el Valle de Conlara, en cercanía de Lafinur (San Luis) y la propia zona de Villa Dolores, con agua del orden de 2.000 mg/L o menos (Figura 10.3 d).

10.2. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS LOCALES

10.2.1. Hidrolitología e hidráulica

Sobre la base de los estudios geológicos, geomorfológicos e hidrológicos de superficie y de los registros gráficos de perforaciones analizados, que permiten obtener de profundidades, litologías atravesadas, ubicación de los filtros, entre otros, se pudo inferir o contar con abundantes datos sobre el subsuelo.

La zona de estudio, acorde a lo descrito en los trabajos regionales disponibles, está caracterizada por 2 grandes ambientes, el correspondiente a las unidades geológicas formadas por rocas y aquel vinculado al medio sedimentario de origen clástico. De este modo y desde una perspectiva hidrogeológica, más específicamente hidrolitológica, es decir teniendo en cuenta la capacidad de los materiales para recibir, almacenar y transmitir agua, se pudo clasificar a los mismos como *acuíferos*, *acuitardos* y *acuicludos* (Figuras 10.4 y 10.5). Se separaron dos grandes ambientes:

A) Sistema acuitardo- acuífero pobre del medio rocoso fracturado o fisurado: se trata de todas las rocas (metamórficas e ígneas) que se encuentran en la región, tanto aflorantes como en profundidad. Se resaltan aquellos sectores aflorantes en Sierras Grandes, Sierras de Pocho, Sierra de Altautina y demás afloramientos rocosos presentes en la zona, ya que parte de esa masa rocosa, debido al importante fracturamiento y diaclasamiento, posee una permeabilidad secundaria que es capaz de transmitir agua, constituyendo un acuífero libre de tipo fisurado. Si bien circulan cantidades de agua menos importantes que en los medios porosos, son suficientes para sostener manantiales y arroyos serranos en cuenca alta, que luego infiltran en el pedemonte. En la actualidad, el avance tecnológico, ha permitido realizar perforaciones en roca, como ocurre en numerosos sitios de las Sierras de Córdoba (Carranza, com per.), explotando acuíferos que si bien erogán caudales pequeños (1500 l/h), sus aguas tienen alta aptitud de uso. Por otro lado, en profundidad, el basamento actúa como base del sistema multicapa acuífero analizado en el medio sedimentario, constituyéndose en el hidroapoyo por excelencia. El basamento se encuentra diferencialmente ascendido, debido al fuerte control estructural al que está

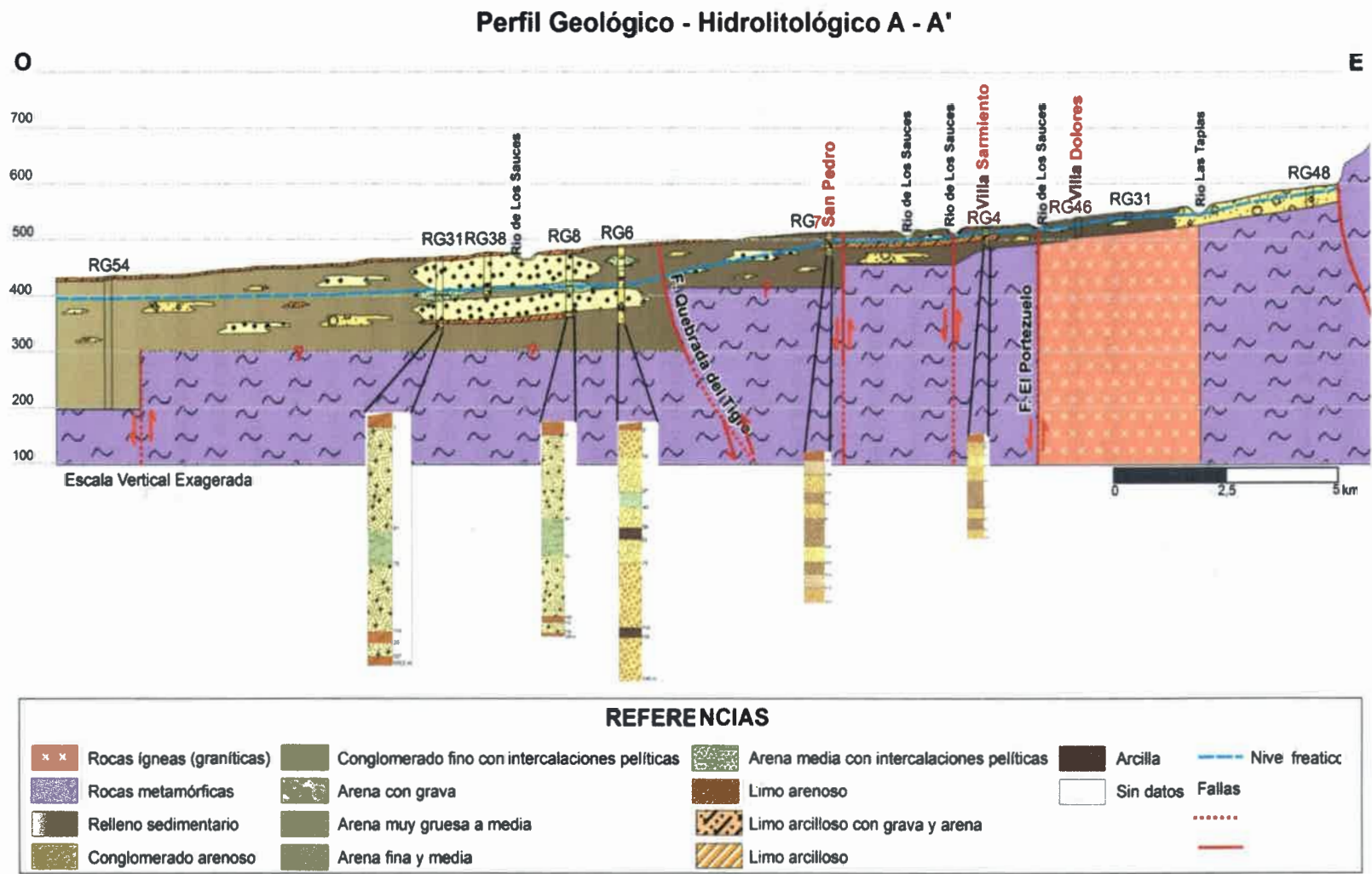


Figura 10.4. Perfil geológico – hidrolitológico A-A'. La ubicación de la transecta se puede observar en el mapa de la Figura 5.24 (Capítulo 5).

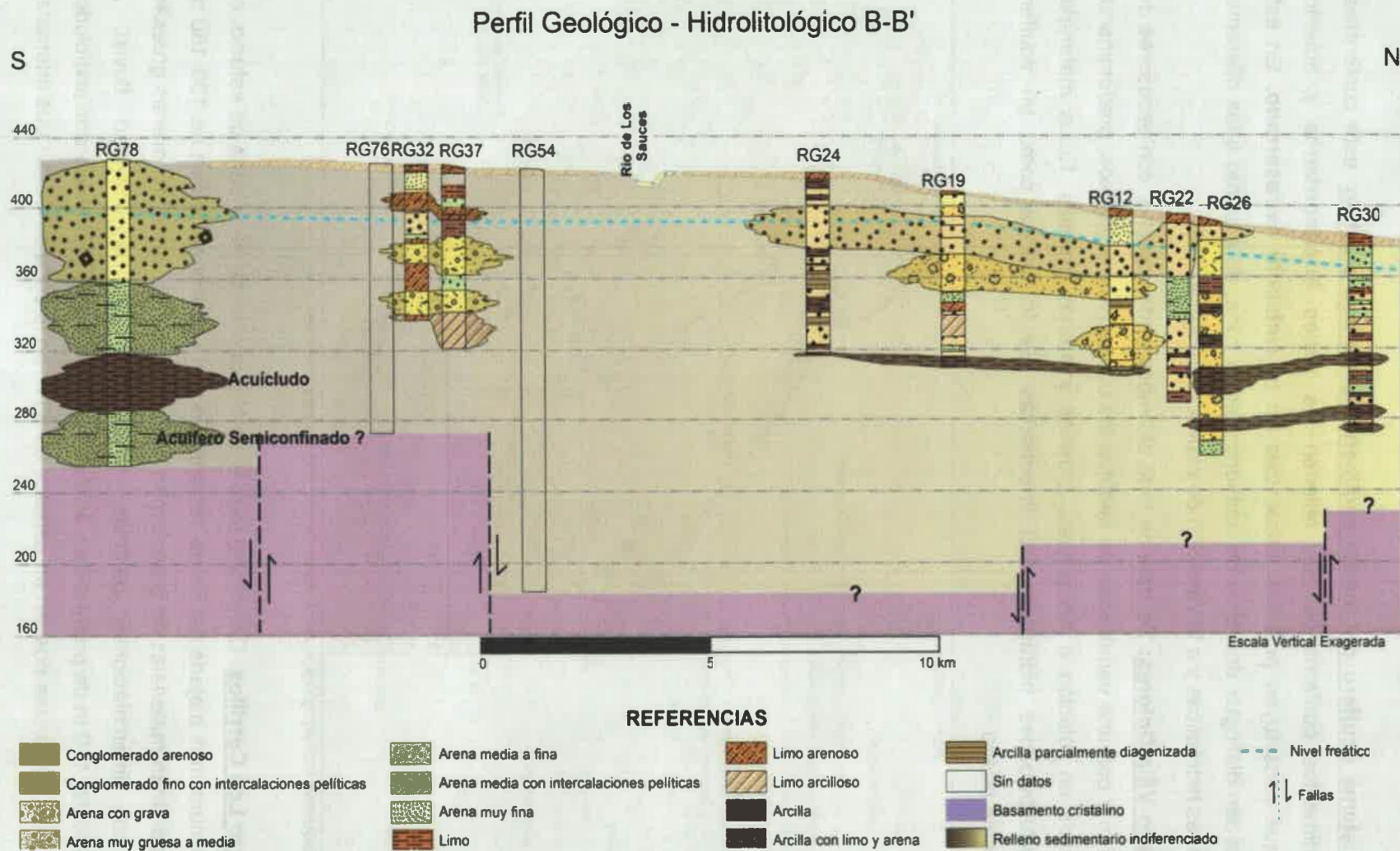
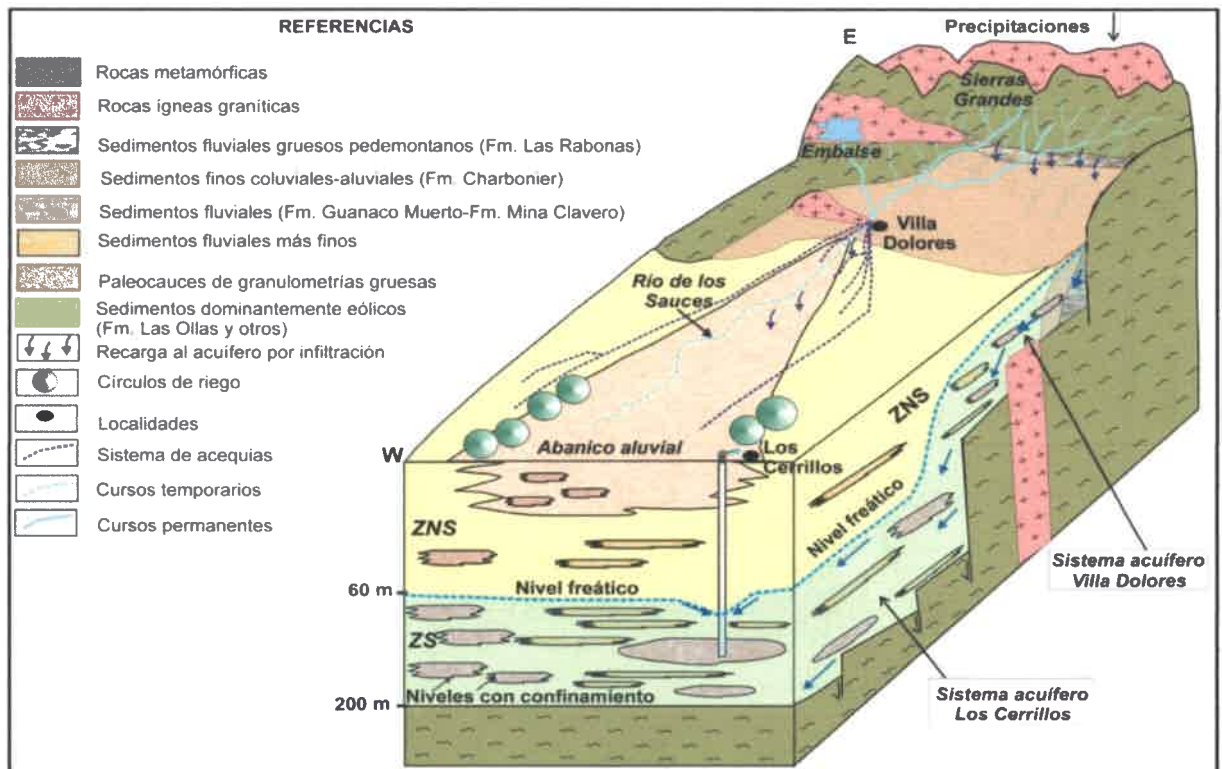


Figura 10.5. Perfil geológico – hidrolitológico B-B'. La ubicación de la transecta se puede observar en el mapa de la Figura 5.24 (Capítulo 5).

B) Sistema acuifero del medio sedimentario poroso clástico: está conformado por los sedimentos cuaternarios que rellenan los *valles intermontanos* y aquellos materiales que constituyen potentes secuencias en el *ambiente extraserrano*. En este último se pueden distinguir dos tipos de ambientes en la zona, de acuerdo a las diferentes conductividades hidráulicas y a la variación de espesores (Figura 10.6).

- **B.1. Acuífero Villa Dolores:** Se trata de todo el ámbito pedemontano, con espesores del orden de 30 m y con una variabilidad de sedimentos desde finos a gruesos, predominando limos arenosos en relación a las gravas, gravillas y arenas gruesas. Estos materiales poseen conductividades hidráulicas (K) intermedias. Se lo califica como un acuífero moderadamente bueno.



- **B.2. Acuífero Los Cerrillos:** Constituye todo el ámbito occidental de la zona de estudio, en el área de llanura más alejada del frente serrano, con un espesor del orden de 100-150 m. En general dominan materiales de granulometría gruesa (gravas, gravillas, arenas gruesas) y arenas con intercalaciones pelíticas, depositados por la actividad fluvial. A aproximadamente, 110 m de profundidad, aparecen materiales de tipo acuitardos/acuícludos como limos y arcillas (estas poseen un espesor de 30 m en la zona suroeste) que intercalan

con capas de arenas gruesas y medias (Figura 10.5). Se lo califica como acuífero muy bueno a excelente.

En la Figura 10.6 se muestra una síntesis del funcionamiento hidrogeológico explicado, con un esquema simplificado de los materiales y las relaciones descriptas.

10.2.1.1. Parámetros hidráulicos

Para la zona de estudio, se cuenta con datos de cuatro ensayos de bombeo realizados por el C.A.A.S en el año 1973 en el ámbito del medio sedimentario, los cuales se resumen en la Tabla 10.1.

Ensayo de bombeo N° 1: Ubicado en la localidad de Los Cajones (Pcia. de San Luis), la cual se halla a aproximadamente 10 km al Sureste de Los Cerrillos. Los valores obtenidos según el método de Jacob son: Transmisividad (T) de 1068 m²/día, Conductividad Hidráulica (K) de 224,64 m/día y un Coeficiente de Almacenamiento (S) de $2,4 \times 10^{-4}$.

Ensayo de bombeo N° 2: Localizado 5 km hacia ENE de Los Cerrillos. Se obtuvieron los siguientes valores: Transmisividad (T) de 2042,4 m²/día y Conductividad Hidráulica (K) 406,08 m/d, según el método de Theis.

Ensayo de bombeo N° 3: realizado en la perforación cuyo registro gráfico corresponde a RG54. La captación posee una profundidad de 243 m.

- Acuífero B (B: nombre de la capa ensayada): Los datos obtenidos siguiendo Theis, son: Transmisividad (T) de 720 m²/día, Conductividad Hidráulica (K) de 69,12 m/día y un Coeficiente de Almacenamiento (S) de 3×10^{-3} . En cambio para Jacob, los valores son: Transmisividad (T) de 816 m²/día, Conductividad Hidráulica (K) de 81,21 m/día y un Coeficiente de Almacenamiento (S) de $1,5 \times 10^{-3}$.

- Acuífero C: Transmisividad (T) de 696 m²/día, Conductividad Hidráulica (K) de 103,68 m/día y un Coeficiente de Almacenamiento (S) de $1,3 \times 10^{-4}$, a través del método de Theis y según Jacob, los datos son: Transmisividad (T) de 816 m²/día, Conductividad Hidráulica (K) de 164,16 m/día y un Coeficiente de Almacenamiento (S) de $2,7 \times 10^{-5}$.

Ensayo de bombeo N° 4: Se ubica a aproximadamente 5 km hacia el Sureste de la localidad de San José y los valores de los parámetros hidráulicos, según Theis son los siguientes: Transmisividad (T) de 840 m²/día y una Conductividad Hidráulica (K) de 17,28 m/día.

Tabla 10.1. Resumen de datos de los ensayos de bombeo

Datos	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3		Ensayo N° 4
			Acuífero B	Acuífero C	
Caudal (m ³ /h)	66	67.5	39	15	72
Prof. Bomba (m)	80	s/d	52	52	s/d
Duración bombeo (hs)	25	22 h 20'	120 h 25'	120 h 25'	5
Dist. Piezómetro (m)	21	s/d	9	9	s/d
Espesor sedim. Saturado (m)	125	154	197	197	229
Espesor acuífero ensayado (m)	7	5	9	9	45
Nivel estático (m)	46,67	43,65	40,52	39,56	58,60
T (m ² /día)	1068	2042,4	720 (t) y 816 (j)	696 (t) y 816 (j)	840
K (mvd)	224,64	406,08	69,12 (t) y 81,21 (j)	103,68 (t) y 164,16 (j)	17,29
S	$2,4 \times 10^{-4}$	s/d	3×10^{-3} (t) y $1,5 \times 10^{-3}$ (j)	$1,3 \times 10^{-3}$ (t) y $2,7 \times 10^{-3}$ (j)	s/d

s/d: sin datos, (t): método de Theis y (j): método de Jacob

Con el fin de verificar el comportamiento del acuífero, se realizó un ensayo de bombeo en la zona de estudio en régimen de no equilibrio y a caudal constante ($Q=180 \text{ m}^3/\text{h}$). La perforación de bombeo (P_b) involucra capas que están aproximadamente a 60 m de profundidad en el acuífero (la zona no saturada es del orden de 70 m) y el pozo de observación (P_o) es una vieja perforación sin uso que atraviesa el mismo acuífero, situada a 43 m de distancia (Figura 10.7).

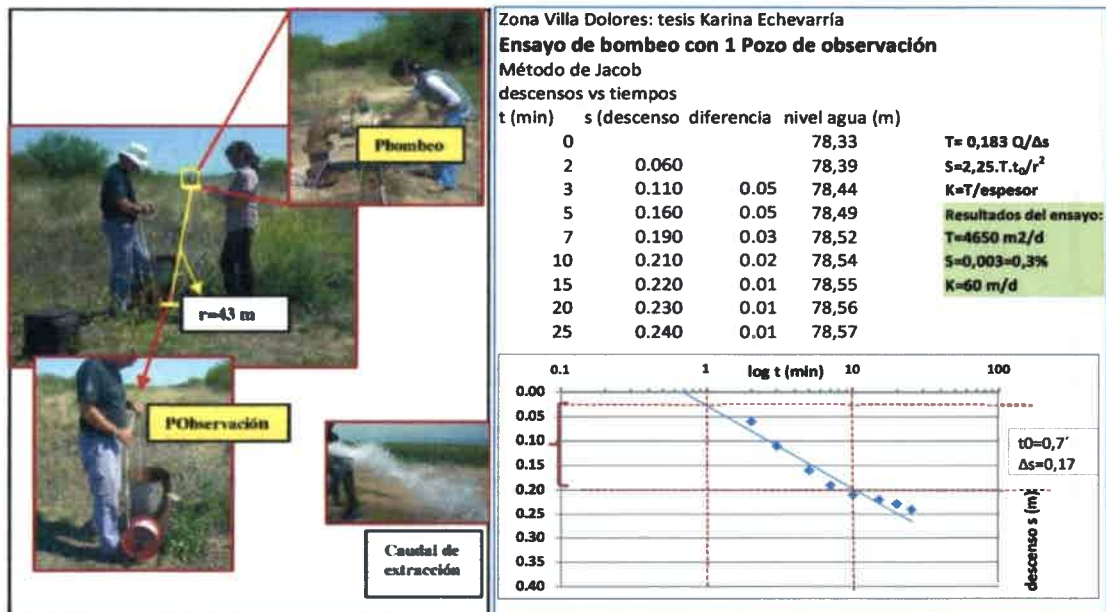


Figura 10.7. Realización de ensayo de bombeo en régimen de no equilibrio, según Jacob.

Como se aprecia, el valor de S (coeficiente de almacenamiento) que define el comportamiento hidráulico de la capa acuífera es casi de semiconfinamiento aunque podría

catalogarse en valores muy bajos de un libre. Los ensayos anteriores muestran también valores de S de semiconfinamiento y aún de confinamiento para las capas que poseen techos de sedimentos más finos.

De acuerdo a las descripciones litológicas obtenidas de los registros gráficos, a los ensayos de bombeo y a los datos de Conductividades Hidráulicas (K) tomados de las Tablas 10.2 (Brassington, 2007) y 10.3 (Custodio y Llamas, 1983), se pudieron asignar diferentes valores de K para el acuífero en distintos sectores. De esta forma, en el acuífero Villa Dolores, donde dominan sedimentos más finos, como limos arcillosos con gravillas dispersas se asignó una K de aproximadamente 0,5 a 0,1 m/día, mientras en las secuencias alternantes con materiales más gruesos como gravas, gravillas y arenas gruesas los valores de K variarían entre 400 y 20 m/día. En el acuífero Los Cerrillos, la relación se invierte, predominando espesores mayores de sedimentos de granulometría más gruesa intercalados con otros más finos. Hacia el límite oeste del área de estudio, comienzan a aparecer espesores más importantes de arcillas, las cuales pueden definir formaciones acucludadas, confiando cierto grado de confinamiento a capas de sedimentos más gruesos (Figura 10.5).

Es decir que en el medio sedimentario se detectan diferentes capas acuíferas, probablemente con importante conexión hidráulica entre ellas, dado que las diferentes capas, especialmente las más gruesas se acuñan en distancias relativamente cortas. La parte superior saturada actúa como acuífero libre (primeros 30-54 m) mientras que las capas más profundas empiezan a mostrar cierto confinamiento, si bien, en general, no se observan capas potentes muy impermeables.

Tabla 10.2 Valores K (Brassington, 2007).

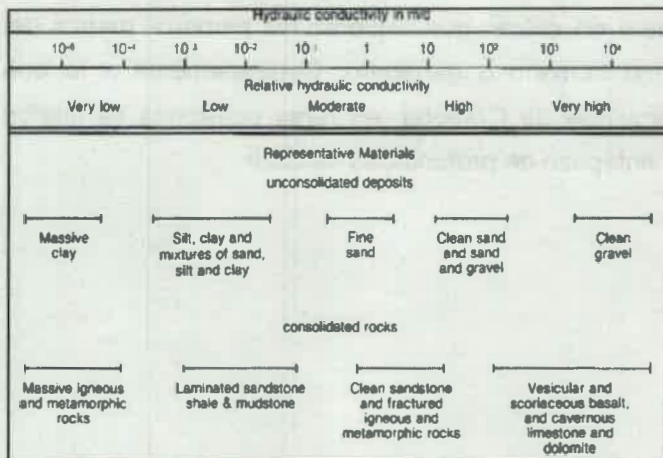


Tabla 10.3. Valores de K según el tipo de material Custodio y Llamas (1983).

Material	K (cm/seg)	K (m/día)
Grava Limpia	> 1	> 1000
Arena Gruesa Limpia	1 a 0,001	1.000 a 10
Mezcla de Arena	10^{-2} a $5 \cdot 10^{-3}$	10 a 5
Arena Fina	$5 \cdot 10^{-3}$ a 10^{-3}	5 a 1
Arena Limosa	$2 \cdot 10^{-4}$ a 10^{-4}	2 a 0,1
Limo	$5 \cdot 10^{-4}$ a 10^{-5}	0,5 a 0,001
Arcilla	$< 10^{-6}$	$< 0,001$

Dadas las características hidrogeológicas hasta acá descritas, en el sistema acuífero Villa Dolores no serían esperables confinamientos, mientras que por los espesores del sistema acuífero Los Cerrillos y la profundidad de las capas captadas, además de las intercalaciones litológicas más finas mencionadas, este sería el ámbito en el que es posible encontrar capas con diverso grado de confinamiento. En ningún caso se detectó surgencia en alguna perforación, por el contrario, los niveles piezométricos en algunas perforaciones son coincidentes prácticamente con el nivel freático, lo que indica la conexión hidráulica entre capas y escaso confinamiento.

10.2.2 Captaciones existentes en el área de estudio

En los dos ámbitos acuíferos (sistema acuífero Villa Dolores y sistema acuífero Los Cerrillos) de acuerdo al espesor de la capa captada, de sus características granulométricas y del diseño de perforación, se observan en la zona diferentes caudales de servicio y específicos de la obra. Según el espesor de la capa sedimentaria, se pueden diferenciar claramente las perforaciones y los caudales, en relación al acuífero del que extraen el agua. En la Tabla 10.4 se pueden observar valores de caudales extraídos para el acuífero Villa Dolores, los cuales son relativamente bajos en comparación con el de Los Cerrillos. En el primero la profundidad máxima de las perforaciones alcanza los 58 metros y en general el uso al cual es destinada el agua, es para abastecimiento público (Figura 10.8). Por otra parte, los caudales extraídos del acuífero de mayor espesor, Los Cerrillos, son muchos mayores, con captaciones que alcanzan los 140 m de profundidad (Tabla 10.5). Las mismas son utilizadas para riego, a través de pivote o por inundación (Figura 10.9). A su vez en la región existen pozos cavados, calzados o sin calzar, que exploran los primeros metros del acuífero y son utilizados para consumo humano o ganadero. Contrariamente a lo que sucede en la llanura del Este de la provincia de Córdoba, en raras ocasiones se suelen encontrar molinos, que cuentan con un antepozo de profundidad variable.



Figura 10.8. Captaciones más someras y de menor caudal.

Tabla 10.4. Caudales extraídos del acuífero Villa Dolores

Registro Gráfico	Caudal (m ³ /h)	Caudal Específico (m ³ /h/m)
RG4	8	3.1
RG7	7	3.3
RG35	8	40
RG42	8	2.8
RG43	7.5	7.5

Tabla 10.5. Caudales extraídos del acuífero Los Cerrillos

Registro Gráfico	Caudal (m ³ /h)	Caudal Específico (m ³ /h/m)
RG1	6.5	6.5
RG3	385	45.8
RG5	190	S/D
RG6	140	S/D
RG8	260	65.0
RG9	220	31.4
RG15	377	54.6
RG16	400	90.9
RG17	377	25.0
RG19	250	28.0
RG21	380	S/D
RG22	320	S/D
RG23	300	S/D
RG24	90	22.5
RG25	100	10.0
RG26	455	58.3
RG27	434	64.8
RG28	454	63.0
RG30	280	S/D
RG31	263	52.6
RG32	7.2	24.0
RG37	7.0	12.7
RG38	4.5	4.5



Figura 10.9. Captaciones más profundas y de mayor caudal.

10.2.3. Hidrodinámica

Como se mencionó en el capítulo de materiales y métodos, para la elaboración de mapas hidrodinámicos e hidroquímicos, se realizaron varias campañas de censo y muestreo de perforaciones/captaciones presentes en la zona de estudio entre los años 2011-2012, las cuales consistieron en la medición de la profundidad de niveles estáticos y, en algunos

casos, dinámicos del acuífero freático y en la determinación de parámetros in situ de calidad del agua subterránea (Conductividad Eléctrica, pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto y Nitrato). En total se censaron 46 perforaciones y pozos cavados, en 30 de ellas, se midió la profundidad del nivel estático (Figura 10.10) y en 30 se tomaron muestras de agua para su posterior análisis físico químico en laboratorio. A su vez, se colectaron 16 muestras de agua en ríos y arroyos de la zona (Figura 10.11).

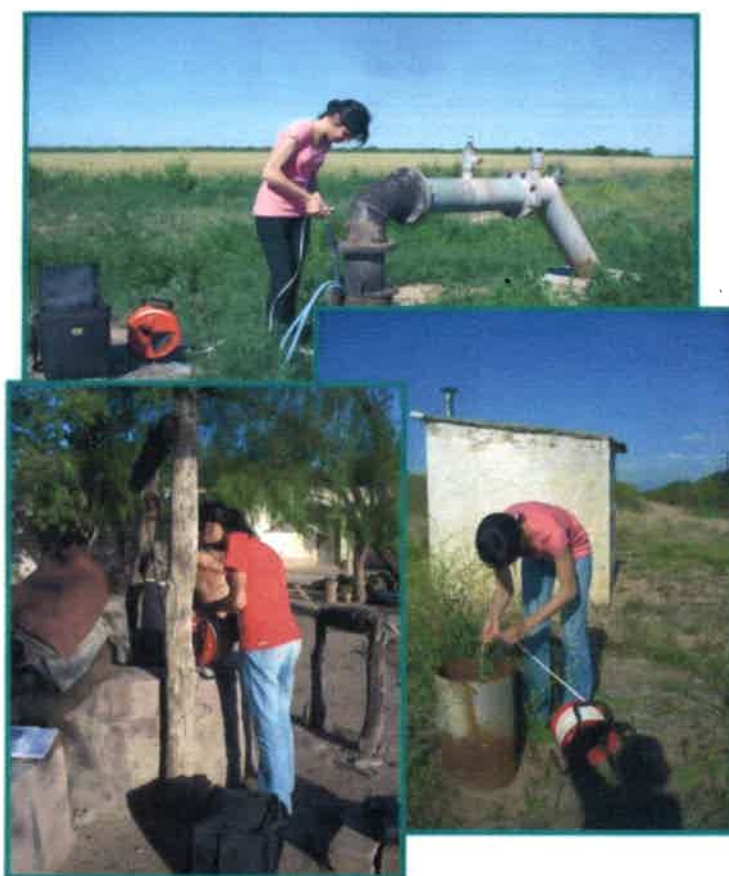


Figura 10.10. Medición de profundidad de nivel estático en perforaciones y pozos cavados.



Figura 10.11. Ubicación de muestras de medición de profundidad del nivel estático, y muestreo de agua superficial y subterránea.

En el mapa equipotencial realizado para el acuífero en medio sedimentario (Figura 10.12), se observa que la dirección general del flujo subterráneo en la zona es Este-Oeste, y debe destacarse que, al menos para el detalle empleado, no se aprecian divisorias de aguas subterráneas. La descarga del flujo subterráneo, se realiza fuera del área de estudio en la depresión Quines-Ulapes-Chancaní, siendo el sector estudiado un área en general de tránsito del agua, aunque se detecta que la zona de recarga preferencial es en el sector pedemontano de las Sierras Grandes, fundamentalmente generada por aquellos arroyos que infiltran en esos sectores.

Se pueden distinguir dos zonas claramente diferenciables de acuerdo a los gradientes hidráulicos. En la zona pedemontana, especialmente en los valles, se observa una divergencia del flujo, con gradientes hidráulicos altos, con valores que varían entre el 0,8 y 3 %, los cuales pueden explicarse por el escaso espesor del relleno, con dominancia de sedimentos finos, sumados al gradiente topográfico. Por otra parte, hacia el Oeste los gradientes descienden notablemente a valores entre 0,2 y 0,3 %. Hacia el sector noroeste.

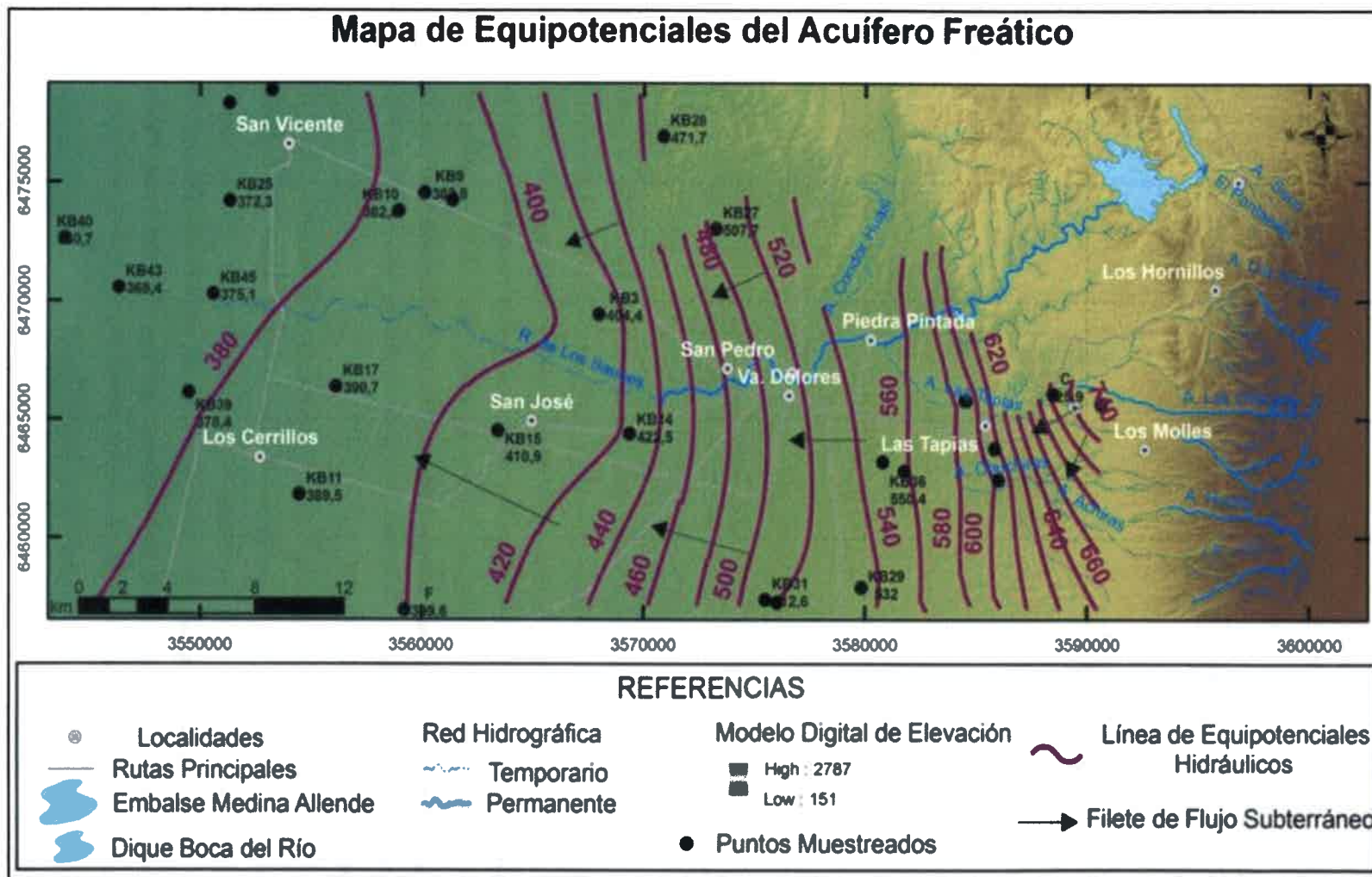


Figura 10.12. Mapa de equipotenciales del acuífero freático para la zona de Villa Dolores

del mapa, se observan modificaciones en las líneas equipotenciales, asociadas a los elevados caudales de agua que extraen las perforaciones utilizadas para riego

Para los gradientes y conductividades hidráulicas mencionadas para la zona, las **velocidades reales** de escurrimiento del agua subterránea varían entre 0,17 m/día y 4,06 m/día, para los materiales más gruesos (gravas, gravillas y arenas muy gruesas) y son del orden de 0,05 m/día para los limos.

En el mapa de isopropundidad del nivel freático (Figura 10.13) se pueden observar las variaciones que posee la zona no saturada, que se vincula fundamentalmente al fuerte control estructural del área de estudio. En el sector oriental, los niveles estáticos se hallan a profundidades que varían entre 20 y 30 metros, aumentando hasta casi 80 metros en la zona central. En general en la zona del acuífero Los Cerrillos son comunes valores que varían gradualmente hacia el Oeste desde 60 m hasta 16 m. Sin embargo, se destaca que la mayor profundidad a la que se midió el nivel estático fue de 77,4 m en el punto KB₃, correspondiente a una perforación que extrae caudales de aproximadamente 180 m³/h para irrigación por medio de pivot. Según la época del año, estas captaciones son utilizadas la mayor parte del día, estando su uso restringido en cierto intervalo de tiempo por el consumo de energía eléctrica. Por estos motivos, la recuperación del nivel puede no haber alcanzado su valor original, midiendo a mayor profundidad de lo que se encontraría sin una explotación tan intensiva. Hacia el Oeste, nuevamente disminuye el espesor de la zona no saturada, encontrándose el nivel estático a una profundidad de 20 m en el sector más occidental.

Variación de niveles estáticos

Algunos puntos censados para el presente trabajo, coincidieron con sitios muestreados por el C.A.A.S entre los años 1969-1973. Esto permitió realizar un análisis de las variaciones de los niveles estáticos (Tabla 10.6), el cual permite tener una primera aproximación del comportamiento de los niveles, aunque se requiere de estudios más detallados.

Tabla 10.6. Variación del nivel estático entre los años 1969/1973-2011/2012

Puntos Censados	Profundidad NE (m) 1969 a 1973	Profundidad NE (m) 2011-2012	Variación (m)
KB2	19,6	18,72	+0,88
KB11	35,4	34,22	+1,18
KB27	16,3	11,55	+4,75
KB29	61,9	50	+11,9
KB30	28	22,46	+5,54
KB33	38,8	32,84	+5,96

Mapa de Isopropfundidad del Nivel Freático

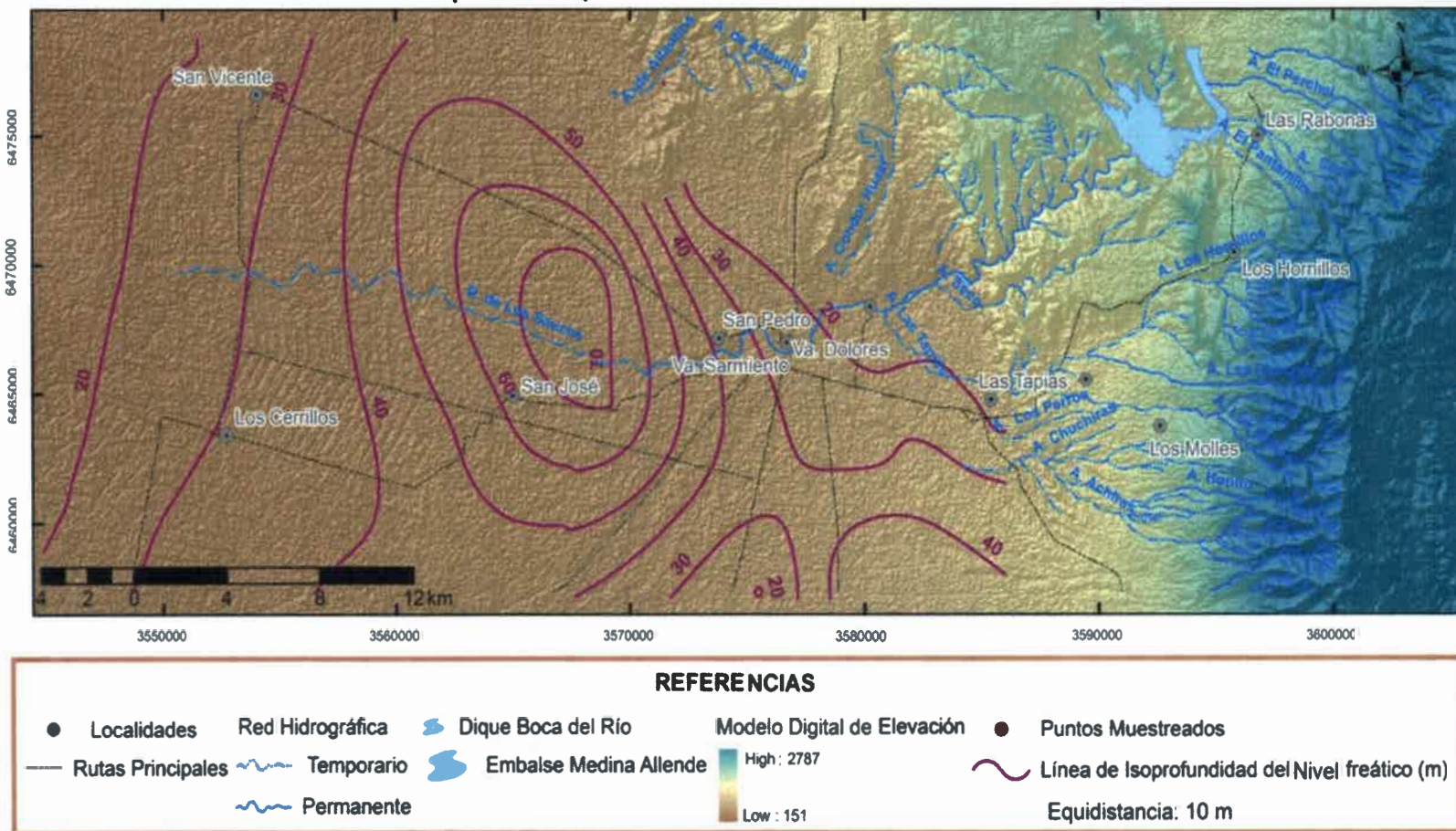


Figura 10.13 Mapa de isopropfundidad del nivel estático para la zona de Villa Dolores.

Del análisis de las variaciones del nivel estático se desprende que, para los puntos comparados, los niveles han ascendido en un rango comprendido entre aproximadamente 1 y 12 m. Si se observa la curva cronológica anual de precipitaciones para el período 1961-2014 en Villa Dolores (Figura 4.4) presentada al inicio del trabajo, se aprecia que desde 1961 a 1975 (con un promedio de 546,36 mm), se desarrolla un ciclo seco, donde en líneas generales, los valores han estado por debajo de la media, destacándose los años 1971 y 1969 como los de menor precipitación con 406,4 mm y 410,3 mm, respectivamente. Por otra parte, si se analizan los últimos años de la serie, se observa que para el período 2004-2014, las precipitaciones fluctúan alrededor de la media, destacándose el año 2008 por ser el más lluvioso (917,4 mm). A pesar de estas variaciones se destaca la tendencia ascendente de las precipitaciones, especialmente desde fines de los años '70, y picos de años húmedos desde 1977, que se ubican siempre por encima de la precipitación media. El balance hídrico seriado edáfico en la región, si bien muestra escasos excesos, exhibe algunos notorios en los años 1973, 1980, 1981, 2004, 2007, 2008 y 2014 (Figura 4.9). Como es sabido estos excesos se distribuyen en escurrimiento superficial e infiltración efectiva al acuífero libre. De lo expuesto, se deduce que la comparación de años secos coincidente con los puntos muestreados en los años 1969-1973 y de un período con valores muy cercanos o mayores a la media, para el muestreo actual, conllevan al aumento de los niveles en la actualidad. Esta información coincide con aumentos de niveles ocurridos en los últimos 40 años en toda la provincia de Córdoba que sólo han mostrado un proceso de reversión en los últimos 4 años más secos (Blarasin et al., 2011; Aguirre, 2013). Si los escurrimientos superficiales, como ocurrió en el resto de la provincia, aumentaron también por los mayores excesos hídricos, aquellos arroyos que descienden de la sierra e infiltran al pie de la misma, han constituido una importante fuente de recarga de los acuíferos en medio sedimentario en el período analizado.

10.2.4. Hidrogeoquímica

Como se aprecia en el mapa de la Figura 10.14, la *salinidad* del agua subterránea varía desde el pedemonte hacia la llanura occidental en un sentido que podría calificarse como contrario a la evolución normal del agua en el sentido del flujo. De este modo, se observa que si bien en general son aguas dulces (menor a 1500 mg/L), con sólo algunas excepciones salobres (entre 1500 y 2000 mg/L), las que poseen mayor contenido salino se ubican en la franja pedemontana, en un sector con abundancia de sedimentos finos (loessoides/arenosos finos). Aquí, las perforaciones son más someras, captando de estos materiales donde se producen típicos procesos de transferencia de iones a la solución. Esto

Mapa de Isosalinidad del Acuífero Freático

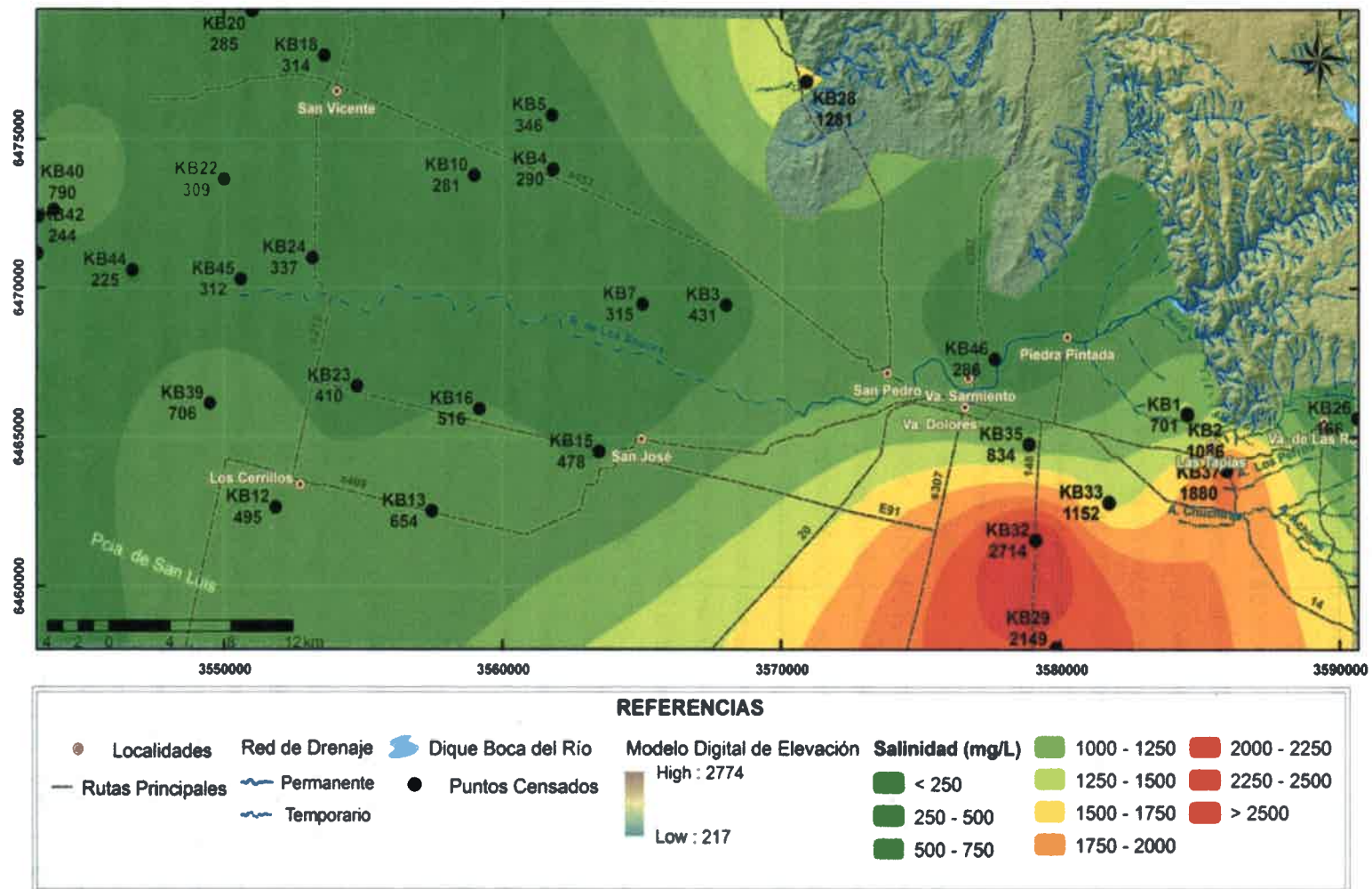


Figura 10.14. Mapa de isosalinidad del agua subterránea para el área de estudio.

también puede observarse, en el límite oeste del área de estudio, donde se tomaron dos muestras de agua a dos captaciones distantes entre sí unos 600 m aproximadamente. Una de ellas, corresponde a un molino que extrae agua a escasa profundidad e involucra formaciones acuíferas de materiales más finos, mientras que la otra es una perforación utilizada para riego por pivot y cuya profundidad es 100 m (Figura 10.15), captando agua de acuíferos alojados en sedimentos más gruesos. La primera posee una salinidad de 790 mg/L (KB40), mientras que en la segunda el valor medido fue de 241 mg/L (KB41). Para explicar la "inversión" en los valores de salinidad en el sentido del flujo, se postula que en la zona más inmediatamente cercana a la sierra donde yacen abanicos disectados de sedimentos aluvio-coluviales muy gruesos (Formación Las Rabonas y Guanaco Muerto) el agua dulce infiltra rápidamente, con gradientes casi verticales, alcanza el acuífero y se conecta en profundidad con estratos permeables circulando rápidamente hacia zonas alejadas donde también dominan paleocanales compuestos por sedimentos gruesos, teniendo pocas posibilidades de salinización. Por su parte, los mayores valores en el contenido salino, pueden adjudicarse al contacto del agua con sedimentos más finos (eólicos) que cubren las secuencias aluviales gruesas en algunos sectores de la zona pedemontana, lo que genera típicos procesos de transferencia de iones a la solución y gradación vertical de la calidad del agua.

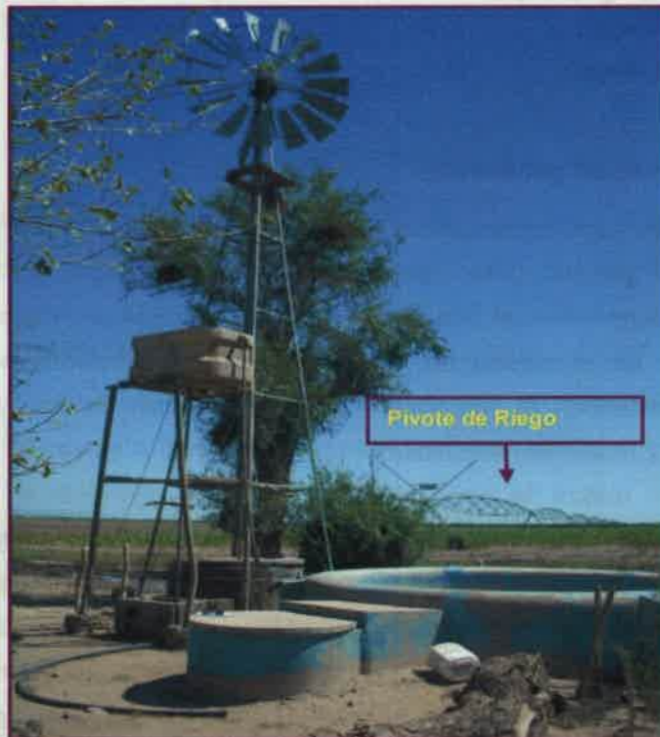


Figura 10.15. Captaciones de diferentes profundidades y valores de salinidad.

En la Tabla 10.7 se presentan los estadísticos descriptivos más importantes de los análisis físico químicos de las 30 muestras de agua subterránea tomadas en la zona de estudio, donde se puede observar que la salinidad varía entre 131,6 y 2471 mg/L. En la Tabla 1 (Anexo II), se presentan los resultados completos de los análisis físico químico realizados en el laboratorio.

Tabla 10.7. Estadísticos descriptivos de las muestras de agua subterránea.

	Promedio	Máximo	Mínimo	Desvío Estandar
pH	7,6	7,95	6,8	0,33
CE ($\mu\text{S/cm}$)	907,7	3530	188	840,7
SDT (mg/L)	635,4	2471	131,6	588,5
HCO_3^- (mg/L)	222,4	690	76,25	142,9
SO_4^{2-} (mg/L)	177,8	1131,1	20,8	262,2
Cl^- (mg/L)	68,3	514,3	5,7	116,5
Na^+ (mg/L)	107,7	513,6	24,3	140,3
K^+ (mg/L)	6,05	19,2	2,0	3,5
Ca^{2+} (mg/L)	77,7	304,8	2,7	62,2
Mg^{2+} (mg/L)	11,1	37,6	0,07	9,2
As (mg/L)	4,1	25	0	5,3
F (mg/L)	0,6	5	0,17	0,9
NO_3^- (mg/L)	10,8	26	2	5,7

10.2.4.1. Clasificación geoquímica

La caracterización geoquímica del agua subterránea se realizó teniendo en cuenta la clasificación de Piper Hill. Como se observa en la Figura 10.16, el 63,3 % de las muestras (19 muestras) pertenecen al tipo bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, el 16,7 % (5 muestras) caen en el campo de las cloruradas y/o sulfatadas sódicas, el 13,3 % (4 muestras) corresponden al tipo sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas y por último el 6,7 % (2 muestras) son bicarbonatadas sódicas. A su vez, al igual que en las aguas superficiales, se realizó la clasificación geoquímica siguiendo a Custodio (1993), que permitió discriminar 11 grupos diferentes de muestras: bicarbonatadas cálcicas (12 muestras = 40 %), bicarbonatadas calco sódicas (5 muestras = 16,6 %), bicarbonatadas sódicas (2 muestras = 6,7%), bicarbonatada sódica cálcica (2 muestras = 6,7 %), bicarbonatada sulfatada cálcica (1 muestra = 3,3 %), sulfatada sódica (2 muestras = 6,7 %), sulfatada bicarbonatada sódica (1 muestra = 3,3 %), sulfatada bicarbonatada sódica cálcica (1 muestra = 3,3 %), clorurada bicarbonatada cálcica (1 muestra = 3,3 %), clorurada sulfatada cálcica (2 muestra = 6,6 %) y clorurada sulfatada sódica (1 muestra = 3,3 %).

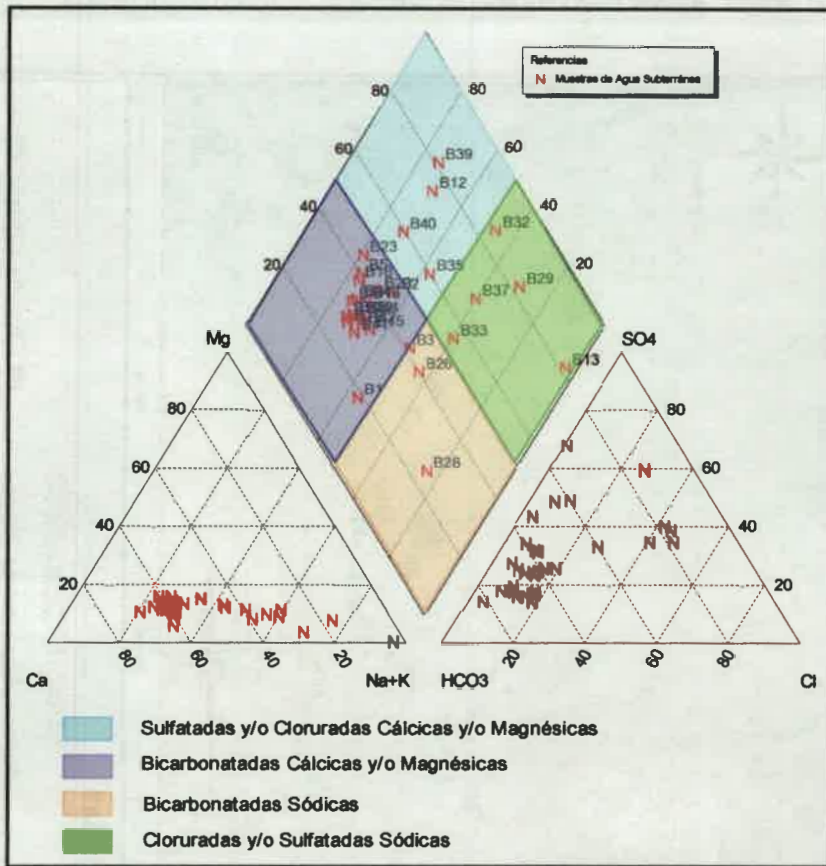


Figura 10.16. Diagrama de Piper Hill para el acuífero libre.

En la Figura 10.17, se presenta el mapa de distribución espacial de la composición geoquímica del agua subterránea mediante los diagramas de Stiff modificado. En la misma se observa que las muestras del tipo bicarbonatadas cálcicas se encuentran principalmente en el sector central y más occidental del área de estudio, es decir más alejado de la zona de recarga donde se hallan valores de conductividad eléctrica más bajos, mientras que las aguas más evolucionadas desde el punto de vista geoquímico (sulfatadas y cloruradas), se sitúan en una franja cercana a la sierra, coincidente con los mayores valores de conductividad eléctrica y donde los pozos muestreados son más someros, captando de sedimentos más finos.

Por otra parte, si bien las muestras KB12 y KB13 pertenecen a perforaciones profundas, presentan un carácter geoquímico del tipo clorurado, lo que se relaciona con la ubicación de las captaciones, ya que se encuentran asociadas a la cuenca baja del río Conlara, en su parte más distal, donde dominan secuencias de materiales más finos y las aguas son más evolucionadas.

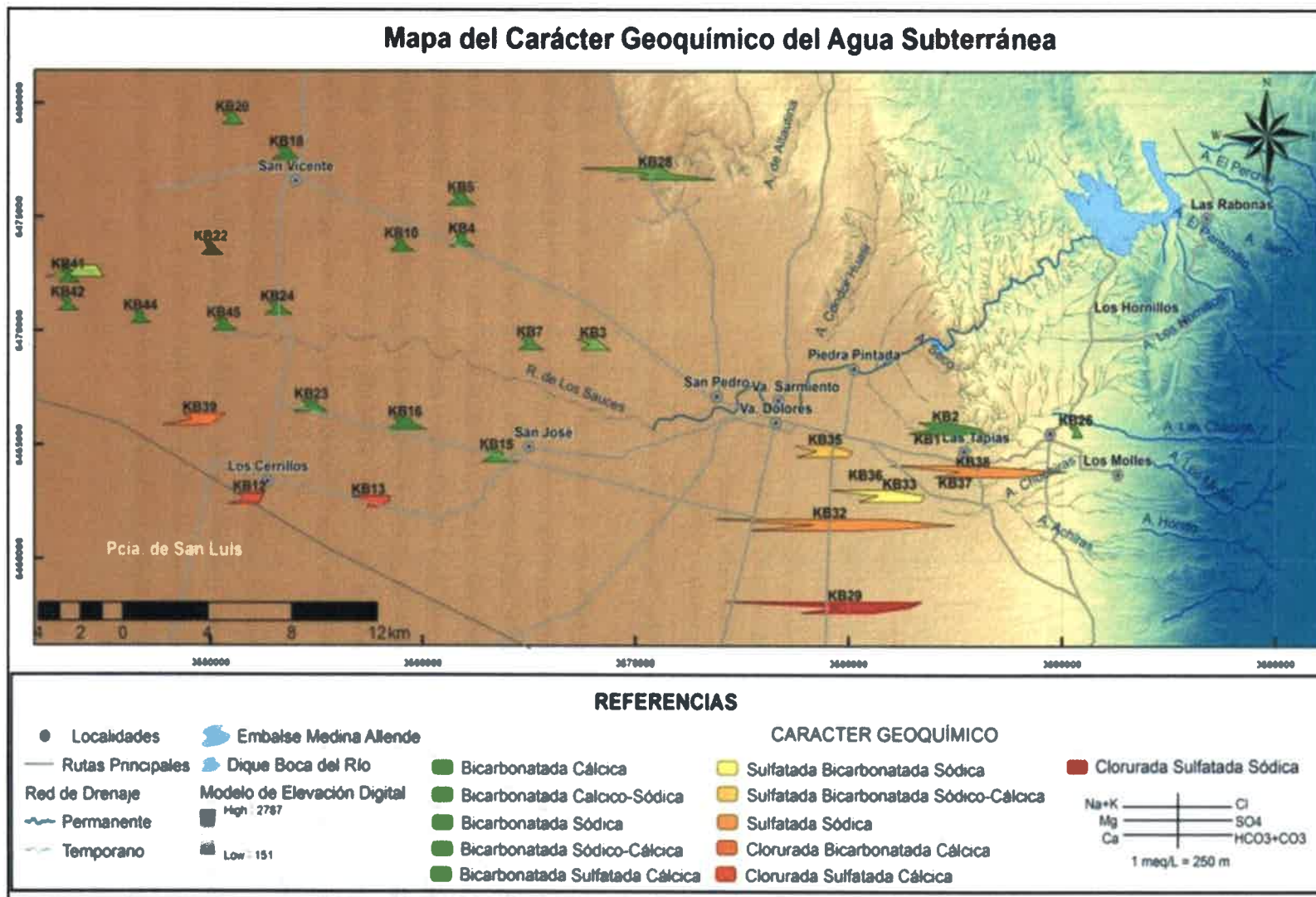


Figura 10.17. Carácter geoquímico del agua subterránea y diagramas de Stiff modificado para la zona de estudio.

CAPITULO 11

CALIDAD HIDROAMBIENTAL

11.1. INTRODUCCIÓN

11.1.1. Medio ambiente, sociedad y problemas ambientales

Desde su aparición, el hombre ha interactuado con el ambiente de diferentes maneras, haciendo uso de los recursos naturales para satisfacer sus necesidades y, por lo tanto, ha provocado modificaciones sobre el mismo. Esta relación sociedad-naturaleza se establece en las dos direcciones, ya que el medio natural condiciona e influye en las sociedades y éstas a su vez generan impactos tanto positivos como negativos sobre el ambiente. Cada organización social entonces, tiene una relación diferente con la naturaleza. En consecuencia, son distintos los impactos de sus actividades sobre el medio y, por supuesto, también las consecuencias ecológicas y sociales de estas actividades (Brailovsky y Foguelman, 1991).

Según Miller (1994), desde una mirada holística debemos considerar al ambiente como un sistema complejo (Sistema Ambiental), definido por interacciones entre componentes y procesos naturales (físicos, químicos y biológicos) y antrópicos (sociales, económicos, políticos, culturales, educativos). El mismo, puede subdividirse en dos subsistemas: Natural y Antrópico los cuales están íntimamente conectados e interrelacionados (Figura 11.1).

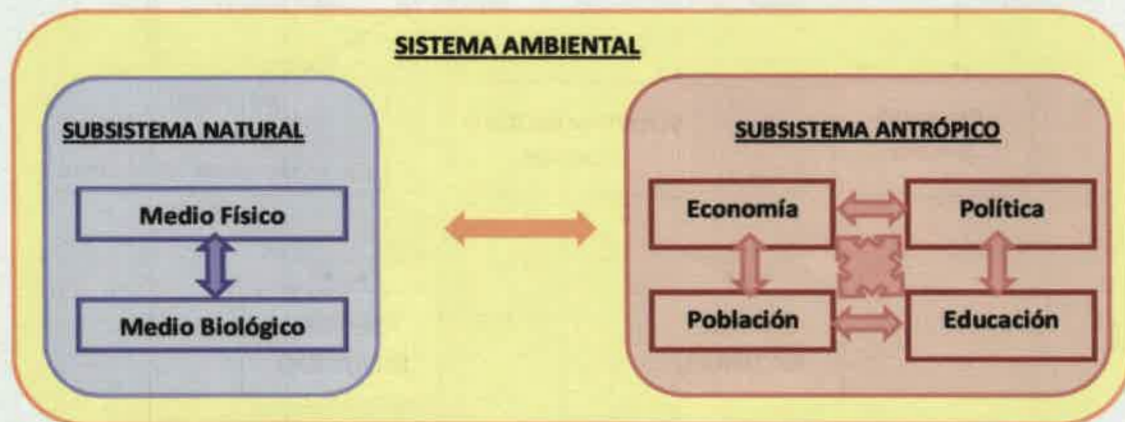


Figura 11.1. Modelo conceptual de un sistema ambiental (Modificado de Sarandón, 2000).

En el subsistema natural se pueden reconocer un *medio físico*, caracterizado por procesos físico-químicos, geológicos, geomorfológicos, meteorológicos, hidrológicos, entre otros, interrelacionado con un *medio biológico*, en el cual ocurren procesos ecológicos y fisiológicos que gobiernan a los seres vivos. Por otra parte, el subsistema antrópico, incluye a los seres humanos, sus instituciones y las interacciones que surgen de las decisiones

políticas, económicas, culturales, educativas, tecnológicas, entre otras, de la sociedad en la que se desarrollan.

El **sistema ambiental** se caracteriza por presentar una importante dinámica temporal y una estructura espacial jerárquica, con una cierta incertidumbre respecto a los procesos que lo gobiernan y a la capacidad humana de controlarlo, manejarlo o predecir sus estados futuros. Las decisiones humanas se transforman en acciones que generan cambios en el subsistema natural o ecosistema que altera su estructura y/o función y, eventualmente, la cantidad y/o calidad de los recursos naturales del mismo (Sarandón, 2000). En general de estas acciones, surgen dos grupos de problemáticas (Figura 11.2): los *riesgos naturales e inducidos*, que implican afectación de la sociedad por diversos fenómenos naturales o antrópicos, respectivamente y, los *impactos ambientales* donde es el medio natural el que resulta alterado/modificado por las actividades humanas (Degiovanni, 2008).

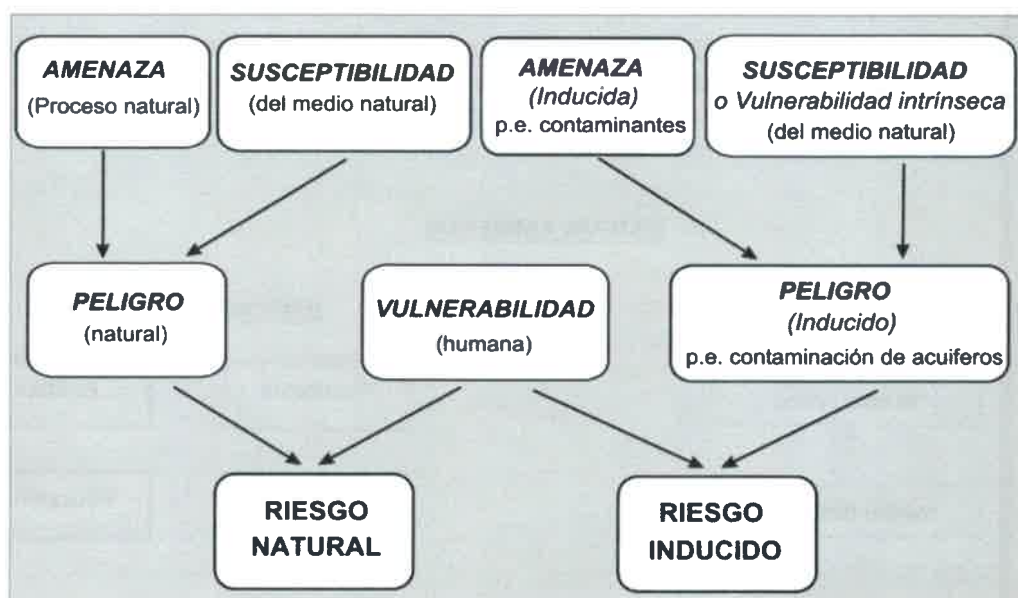


Figura 11.2. Esquema de Riesgos ambientales. Tomado de Blarasin (2003).

Para poder prever los riesgos tanto naturales como inducidos y sus posibles consecuencias, es necesario realizar una *evaluación de los mismos*, que permita determinar las medidas de mitigación para proteger a la población frente a un determinado fenómeno natural/antrópico. En este sentido es importante comprender los conceptos de *amenaza*, *peligro*, *vulnerabilidad* y *riesgo* (Figura 11.2), a fin de que en una zona determinada, puedan ser debidamente identificados, cuantificados y jerarquizados para definir un plan de manejo adecuado frente a su ocurrencia.

11.1.2. Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo

La metodología utilizada en la presente tesis para la elaboración de mapas de vulnerabilidad y riesgo, parte de la consideración de los siguientes conceptos, los cuales son retomados y desarrollados más específicamente para analizar la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero libre, en el ítem de análisis hidroambiental – sistema hídrico subterráneo:

Se considera **Riesgo** a "todo proceso, situación o suceso que pueda generar un daño económico-social y/o ambiental a una comunidad", y por lo tanto en su determinación deben incluirse dos aspectos: uno que analice y evalúe el proceso natural (**Peligro**) y otro que pondere la fragilidad del medio antrópico (**Vulnerabilidad**) (Figura 11.2). De este modo, el **Riesgo**, se obtiene de la siguiente expresión matemática:

$$\text{RIESGO} = \text{PELIGRO} \times \text{VULNERABILIDAD}$$

La **Peligrosidad** ó **Peligro** incluye la **Susceptibilidad o fragilidad natural** de una región ante una **Amenaza** (Figura 11.2). El primer concepto, la *susceptibilidad*, involucra a los aspectos geológicos, geomorfológicos, litológicos, hidrológicos, geotécnicos, entre otros, que en conjunto determinan el comportamiento de un área frente a un determinado proceso natural (Panizza, 1993); mientras que el segundo, la *amenaza*, según Hermelin (1991), se define como la probabilidad de ocurrencia dentro de un período de tiempo específico y para un área determinada de un fenómeno potencialmente destructor. Según Lavell (1996), se puede dividir a la amenaza en cuatro categorías:

1) **Amenazas Naturales**: este tipo de amenazas son completamente naturales y forman parte de la historia y de la coyuntura de la formación de la tierra y de la dinámica geológica, geomorfológica, climática y oceánica, sin la intervención humana directa o significativa posible. De acuerdo al origen, se las puede clasificar en:

a) **Geotectónico**: sismos, actividad volcánica, desplazamientos verticales y horizontales de porciones de la tierra, y los tsunamis o maremotos;

b) **Geomórfico (geodinámico)**: deslizamientos y avalanchas, hundimientos, erosión terrestre y costera;

c) **Meteorológico o climático**: huracanes, tormentas tropicales, tornados, granizadas, sequías, tormentas de nieve, oleajes fuertes, incendios espontáneos;

d) **Hidrológico**: inundaciones, desbordamientos y anegamientos.

2) **Amenazas Socio Naturales**: algunos fenómenos típicos de las amenazas naturales tienen una expresión o incidencia que es socialmente inducida. Es decir que se producen o se acentúan por algún tipo de intervención humana sobre la naturaleza, y se confunden a veces con eventos propiamente naturales. Ejemplos de estas son: inundaciones, deslizamientos, hundimientos, sequías (y desertificación), erosión costera, incendios rurales y agotamiento de acuíferos.

3) **Amenazas Antrópico-Contaminantes**: aún cuando tengan similitudes con las amenazas socio - naturales y tecnológicas en el sentido de la presencia humana en su concreción, difieren de esas en un sentido esencial, toman la forma de elementos de la naturaleza "transformados" (aire, agua y tierra). Son amenazas basadas en y construidas sobre elementos de la naturaleza, pero que no tienen una expresión en la naturaleza misma.

Se relacionan principalmente con los procesos de contaminación derivados de derrames, dispersiones o emisiones de sustancias químico-tóxicas hacia el aire, tierra y agua, como es el caso del petróleo, los plaguicidas, los gases tóxicos producto de la combustión, los clorofluorocarbonos y la contaminación nuclear, así como los procesos de eliminación o depósito de desechos líquidos y sólidos, de origen doméstico, sin canalización o procesamiento.

Además de relacionarse con medios difusos y fluidos, interconectados entre sí, los impactos potenciales no se restringen a áreas o localidades acotadas (por grandes que sean), sino que se difunden ampliamente en el ámbito local, regional, nacional o internacional.

4) **Amenazas Antrópico - Tecnológicas**: los procesos de producción y distribución industrial modernos, principalmente concentrados en los centros urbanos o próximos a ellos, y las dotaciones de infraestructura urbana, principalmente para la distribución y consumo energético, encierran problemas para la seguridad ciudadana debido al uso de un número importante de procesos potencialmente de gran peligro. Entre los ejemplos se incluyen las plantas nucleares, plantas químicas, ductos de gasolina, entre otros.

Por último, en la definición de ***Vulnerabilidad*** se consideran los aspectos poblacionales, organización social, economía, programación, valores culturales, históricos y naturales de interés para la preservación (Panizza, 1993, Cendrero, 1987).

11.2. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

11.2.1. Problemas ambientales identificados

Dado las características geológicas-geomorfológicas y de ocupación del territorio de la zona de estudio, los problemas ambientales más relevantes se relacionan a procesos de inundación/avenidas vinculados a la dinámica de los arroyos que drenan la escarpa de la Sierra Grande y, en menor medida, al río de Los Sauces debido a que éste está controlado por el embalse Medina Allende. Subordinadamente, se registran puntualmente, procesos de remoción en masa en la escarpa principal y eólicos en el sector centro occidental. La erosión hídrica no es relevante en el área, sólo se presenta de manera localizada, asociada a sectores de elevada pendiente y en la zona más occidental, a la profundización de caminos y a la salida de canales/acequias.

Por otra parte, vinculado a las actividades humanas, se observan áreas impactadas por minería de suelos (ladrilleras) lo cual ocasiona pérdida de éste recurso, de la vegetación, hay degradación visual del paisaje e interferencia en la funcionalidad del mismo, ya que, entre otros, se modifica o afectan los escurrimientos superficiales. Por otra parte, es marcada la tasa de deforestación registrada en las últimas décadas, especialmente en las áreas del sector occidental, donde es creciente la agroclaturización bajo riego proveniente de fuentes subterráneas y el uso de agroquímicos. En este sentido, resulta necesario analizar el impacto que puede tener la llegada de estos contaminantes al acuífero, la vulnerabilidad del mismo, debido a la alta permeabilidad de los materiales que caracterizan la zona y, por otra parte, evaluar si la extracción de altos caudales utilizados para irrigación implican descensos significativos del nivel freático.

Más puntualmente, se registran impactos relacionados con la urbanización, ya sea por expansión de centros urbanos o con fines turísticos, como pérdida de naturalidad y del valor estético del paisaje, vertido de basura en las márgenes de los cursos principales (río de Los Sauces, arroyo Las Tapias, Los Hornillos, entre otros) y la contaminación asociada generada, pérdida de biodiversidad, además de los riesgos inducidos provocados por diferentes intervenciones como canales, embalses, caminos, entre otros (Figura 11.3).



Figura 11.3. Identificación de problemas ambientales en la zona de estudio.

Dado los objetivos de esta Tesis en este capítulo serán evaluadas las problemáticas ambientales relacionadas a los recursos hídricos. Asociado a los sistemas superficiales, se analizará la calidad del agua y disponibilidad de agua para diferentes usos, y el riesgo de aluvionamiento/inundación asociado a los sistemas fluviales principales. En relación a los subterráneos, además de caracterizar la aptitud del agua para distintos fines, se evaluará la vulnerabilidad del acuífero, valores de fondo natural (nitratos) atendiendo a la presión creciente sobre el mismo.

11.3. ANÁLISIS HIDROAMBIENTAL

11.3.1. Sistemas Hidrológicos Superficiales

11.3.1.1. Riesgo de Inundación/Avenidas

- Marco conceptual y metodológico empleado

En el caso particular de los sistemas fluviales, los problemas ambientales son de vieja data, ya que los cursos de agua fueron elegidos a lo largo de la historia como sitios preferenciales para localizar en sus márgenes asentamientos poblacionales. Las ventajas de

esta ubicación son evidentes: disponibilidad de agua para consumo humano, navegación, riego, generación de energía, vertido de desechos, son algunas de las numerosas razones que condujeron a distintas sociedades a relacionarse con los ríos y arroyos de su región (Degiovanni, 2008).

Gran parte del área de estudio comprende el sector pedemontano de las Sierras Grandes y cordones occidentales (Pocho, Altautina), y está surcada por numerosos cursos de agua de diferente jerarquía, que tienen sus áreas de nacientes en estos cordones montañosos. A lo largo de estos arroyos se han distribuido asentamientos urbanos de forma dispersa, y de modo creciente en las últimas décadas, lo que trae aparejado el incremento de la infraestructura asociada a ellos (rutas de acceso, caminos secundarios, puentes, entre otros).

Por su parte, y tal como se mencionara en el capítulo hidrológico todos los cursos de agua de la región tienen régimen torrencial, es decir sus hidrogramas son conspicuos, exhibiendo cortos tiempos de concentración y de recesión, y esto se relaciona tanto a la intensidad de las lluvias como a las características geológico-geomorfológicas del área. En sus cuencas altas y medias/altas dominan relieves pronunciados en sustrato rocoso, con pendientes elevadas que contribuyen al desarrollo de crecidas de alta magnitud y corta duración.

En el sector pedemontano, estos colectores se resuelven en un sistema distributivo (Capítulo 6, 1° y 2° nivel de abanicos pedemontanos) con canales poco definidos, donde la **avulsión** es el proceso dominante y, como consecuencia, los episodios de inundación/avenidas ocasionados por crecidas extraordinarias se caracterizan por afectar áreas reducidas (en comparación con sectores más planos de la llanura pampeana por ejemplo), con corto tiempo de permanencia del agua y altas velocidades de circulación (flash floods - avenidas).

En los cursos de mayor jerarquía, como el río de Los Sauces, donde ya se ha desarrollado una faja fluvial bien definida, los eventos de crecida se conducen dentro de la misma y, recién en su zona distal, localizada al Oeste del área de estudio (ingreso depresión regional de las Salinas Grandes), se generan procesos de avulsión y sistemas distributivos.

Considerando que, en general, la **amenaza**, puede considerarse similar para todos los cursos de la región (a excepción de las inducidas por presas), la **peligrosidad** queda definida por variaciones en la **susceptibilidad**. Así, para los sistemas que drenan el sector pedemontano, dadas las características mencionadas, la **peligrosidad** está controlada principalmente por la topografía del área (pendiente y desnivel local), sección transversal del canal (ancho/profundidad, es decir capacidad conducción encauzada), conectividad de

cauces/vías de escurrimiento (cursos, caminos, rutas, canales) y, secundariamente, por la permeabilidad de los materiales que conforman el sustrato (textura, desarrollo pedogenético). En el caso de cursos que presentan una faja fluvial definida, la *peligrosidad* está asociada fundamentalmente a los desniveles correspondientes a los subambientes geomorfológicos presentes: llanura inundación, niveles de terrazas, paleocanales y conectividad con el cauce actual, así como también a intervenciones en el ambiente que potencian conectividad en eventos hidrológicos extremos, como canteras de extracción de áridos, acequias, entre otras.

En este contexto, surgen claramente los posibles problemas ambientales que se pueden generar en relación a los sistemas fluviales en la zona de estudio, por lo cual se hace necesario elaborar una cartografía de *vulnerabilidad, peligro y riesgo de inundación/avenidas*, que sirva de base para planes de ordenamiento territorial, y de gestión y planificación de los recursos hídricos en particular.

En la actualidad, existe una amplia gama de procedimientos adoptados para la realización de los diferentes mapas interpretativos vinculados a las inundaciones, con aplicaciones automatizadas presentes en herramientas de *Sistemas de Información Geográfica*. Más allá de las utilidades básicas que poseen los mismos, uno de los usos fundamentales es la obtención de nuevas capas de información a partir de otras previamente disponibles. Para ello, se dispone de un conjunto de herramientas que reciben el nombre genérico de álgebra de mapas.

Según Olaya (2011), se entiende por *álgebra de mapas*, el conjunto de técnicas y procedimientos que, operando sobre una o varias capas en formato raster, se obtiene información derivada, generalmente en forma de nuevas capas de datos. Aunque nada impide que este proceso se lleve a cabo sobre capas vectoriales, se entiende que el álgebra de mapas hace referencia al análisis desarrollado sobre capas raster, pues éstas, por su estructura regular y sus características inherentes, son mucho más adecuadas para plantear los algoritmos y formulaciones correspondientes.

Existen cuatro funciones en relación al álgebra de mapas (locales, focales, zonales y globales). En la presente tesis, se parte de una función local, la cual hace referencia a la asignación de valores a una celda, en base a los valores que la misma presenta para cada una de las capas de entrada, operando con éstos de una forma u otra (Olaya, 2011). Es decir, el valor resultante para una localización dada es función exclusivamente de lo que se encuentra en dicha localización, sin depender en modo alguno de otras celdas (Figura 11.4). Además, una función de este tipo, se puede aplicar a una sola capa, por ejemplo multiplicando cierto valor para cambios de unidades o asignando una fórmula matemática.

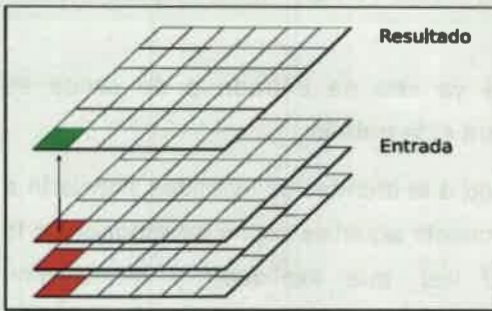


Figura 11.4. En el esquema se muestra que la capa de salida es el resultado de operaciones aplicadas a los píxeles en la misma localización de las capas de entrada. Tomado de Olaya (2011).

A su vez, es posible realizar sobre las capas, operaciones de reclasificación, las cuales consisten en agrupar valores, en base a un criterio preestablecido, a fin de asignarles un nuevo valor o calificación a la capa de salida (Figura 11.5).

Altitud												Altitud Reclasificada											
620	640	650	660	680	690	690	700	710	720	727	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3		
620	640	660	670	670	690	690	700	720	730	733	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3		
640	660	670	680	680	700	720	730	740	740	740	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3		
640	660	680	690	690	700	720	730	740	747	746	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3		
660	670	680	700	700	720	730	740	760	753	752	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4		
660	670	680	700	700	720	730	740	760	753	752	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4		
670	680	690	700	700	730	740	760	767	760	755	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4		
680	690	700	750	750	740	760	770	770	760	756	2	2	3	4	4	3	4	4	4	4	4		
690	700	740	760	760	780	780	780	780	770	760	2	3	3	4	4	3	3	2	4	4	4		

REGLAS DE RECLASIFICACIÓN 600-650=1; 650-700=2; 700-750=3; 750-800=4

Figura 11.5. Ejemplo de la obtención de una capa resultante reclasificada, a partir de una capa de altitud.

Por lo expuesto, en la presente tesis, se confeccionarán las diferentes cartas interpretativas a partir de *herramientas SIG*, en formato raster, los *mapas regionales* ya que los modelos digitales de elevación (MDE - capa de la cual se obtienen mapas derivados) tienen una resolución que permite discriminar a esa escala de análisis. Mientras que, el formato vectorial, fue empleado en *cartografía de detalle*, donde no se disponía de MDEs de alta resolución espacial.

1) Determinación del riesgo de inundación/avenidas a escala regional

- Análisis de la Susceptibilidad

Como ya se expresara en el capítulo de materiales y métodos el software utilizado en la presente tesis es el ArcGIS, por las potencialidades que presenta y además por su compatibilidad con la base de datos de Microsoft Access. En un solo caso, se utilizó el software SAGA GIS (Conrad, 2006) y, el mapa resultado fue exportado a extensiones

compatibles con ArcGIS. Cada una de las capas ya sea de entrada o de salida es almacenada en una personal geodatabase creada para este trabajo.

Para la realización del mapa de *susceptibilidad* a la inundación/avenidas asociada a los sistemas superficiales de la zona, se tuvieron en cuenta aquellas capas relacionadas a la *topografía, geomorfología, hidrología y a la red vial*, que expliquen y representen adecuadamente los sitios potencialmente inundables.

En este sentido, los MDE son insumos muy utilizados por los Sistemas de Información Geográfica para obtener mapas derivados en relación a la topografía. En este caso, se utilizó un MDE del *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* con una resolución espacial de 30 x 30 metros adquirido de la página del Servicio Geológico de Estados Unidos (<http://www.earthexplorer.usgs.gov>). En relación a la demás capas de información, las mismas se encuentran en formato vectorial, por lo cual se convirtieron a formato raster, con un valor de pixel de 30 m, a fin de poder utilizar las herramientas de álgebra de mapas para obtener la cartografía resultante. Cada una de estas coberturas raster, fue reclasificada con valores comprendidos entre 1 y 5, asociando los valores más bajos a una menor probabilidad de inundación. De esta manera el mapa final de susceptibilidad se realizó mediante la suma de las seis capas resultado de la reclasificación (Figuras 11.6 y 11.7).

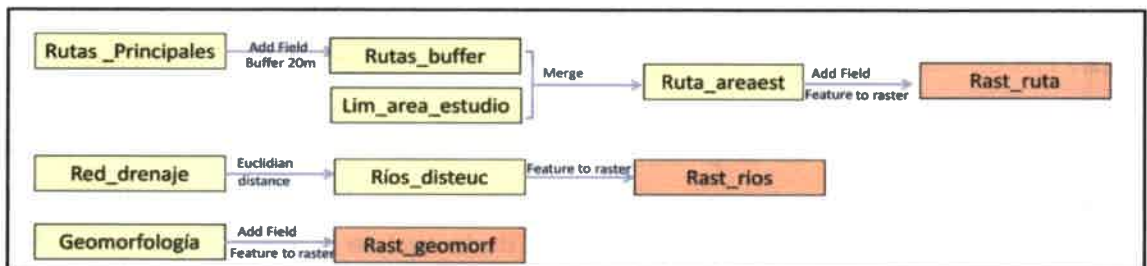


Figura 11.6. Parte del modelo conceptual generado para la realización del mapa de susceptibilidad a la inundación. Conversión del formato vectorial a raster.

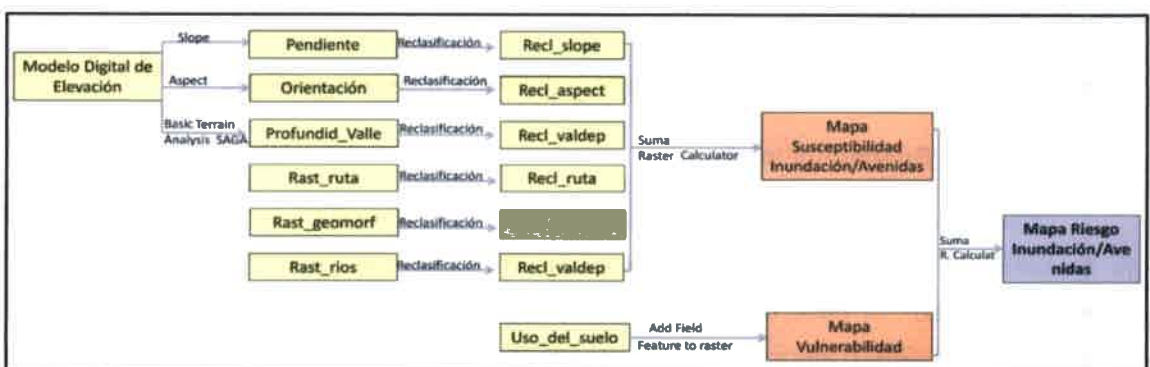


Figura 11.7. Modelo conceptual final generado para la realización del mapa de susceptibilidad a la inundación/avenidas.

Tratamiento de las distintas variables

- *Rutas y caminos principales*: dada la influencia que tienen en la distribución espacial de los escurrimientos, se consideró la orientación y estado de profundización de rutas y caminos principales, clasificándolos de acuerdo a la dirección con respecto a la pendiente regional en perpendiculares, oblicuos y paralelos a la misma, tal como se observa en la Tabla 11.1, mientras que su distribución espacial se presenta en la Figura 11.8.

Tabla 11.1. Asignación de valores para la capa red vial.

RANGO	RED VIAL
1	Rutas y caminos paralelos y poco profundizados.
2	Rutas y caminos paralelos y profundizados
3	Rutas y caminos oblicuos
4	Rutas y caminos perpendiculares y poco profundizados
5	Rutas y caminos perpendiculares y profundizados

- *Geomorfología*: esta variable sintetiza varios aspectos con distinto grado de peso. Entre los más significativos se incluyen los vinculados al funcionamiento de los sistemas fluviales, donde se analizó: la morfología (diseño de red de drenaje y canales, llanura de inundación, niveles de terrazas, entre otros), morfometría (relación ancho/profundidad de valle y canal) y dinámica fluvial (erosión, avulsión, desbordes). En segundo término se consideraron variables tales como tipo de materiales y desarrollo edáfico, los cuales en sistemas como los analizados, donde las pendientes son importantes y las velocidades de escurrimiento en general altas, tienen menor incidencia en el escenario de inundación. Los aspectos topográficos del relieve son analizados en otra capa.

De este modo el mapa geomorfológico (Figura 11.9), que se encuentra en formato vectorial, fue reclasificado asignándole un valor de probabilidad de inundación a las distintas unidades geomorfológicas, quedando definidos los rangos que se presentan en la Tabla 11.2. A partir de este campo, se elaboró el mapa de susceptibilidad según la geomorfología en formato raster, donde puede observarse que a las fajas fluviales y abanicos distales históricos de los principales ríos y arroyos de la zona, se le asignaron los mayores valores (4 y 5), seguidos por las unidades de abanicos aluviales pedemontanos que, si bien presentan diferente morfología, grados de incisión y comportamiento, a escala regional es imposible discriminar y por lo tanto se les asigna un valor de susceptibilidad intermedio. Las clases más bajas corresponden a la planicie fluvio-eólica, fundamentalmente por su desconexión de los sistemas fluviales que implican amenaza, y al sector serrano, donde los cursos tienen valles bien definidos, y los eventos de crecida se conducen en canales angostos, sin posibilidad de desbordes (Figura 11.10).

Mapa de Rutas y Caminos Reclasificados, según su Susceptibilidad de Inundación/Avenidas a escala regional

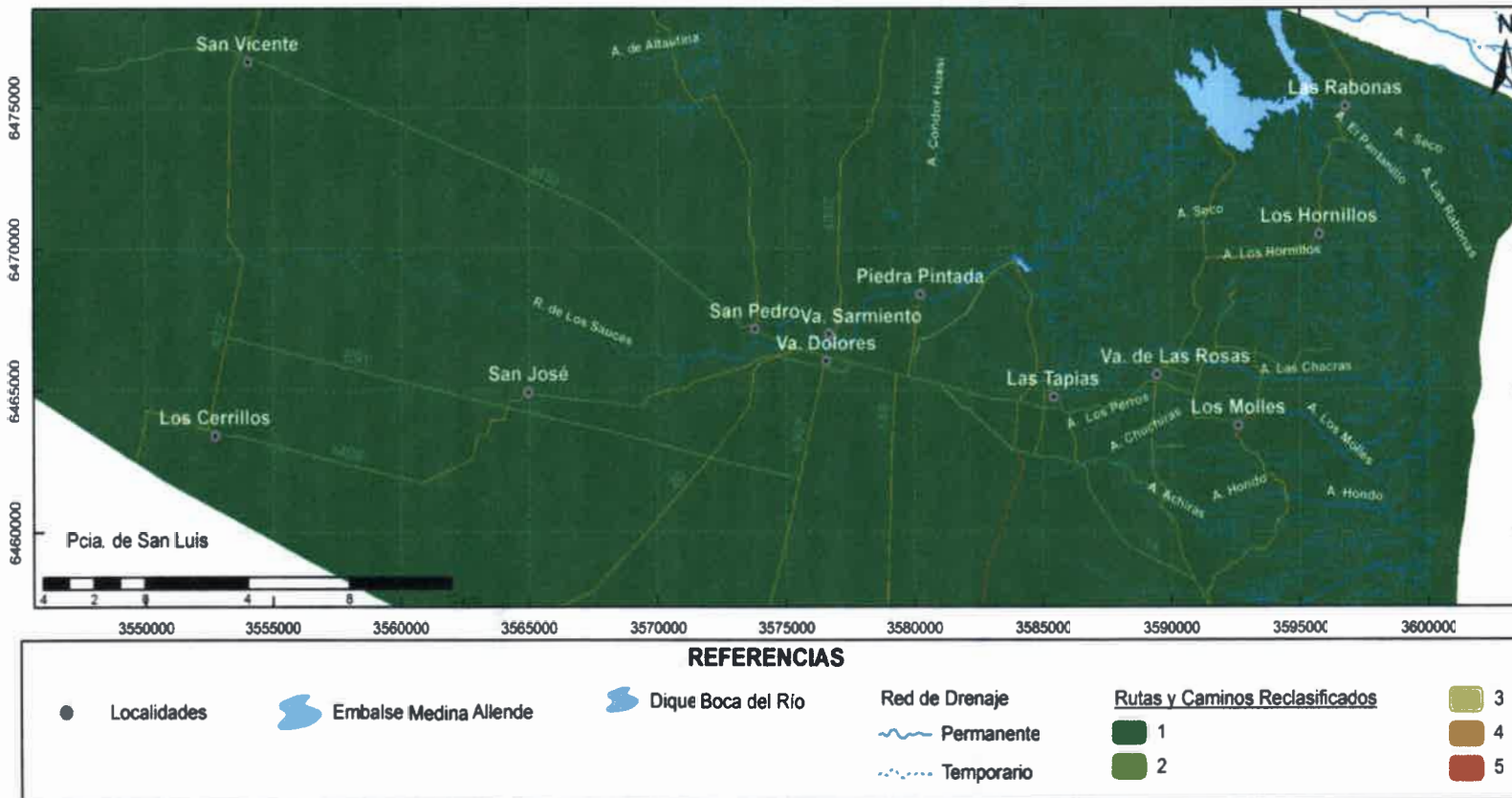


Figura 11.8. Mapa de rutas y caminos reclasificados de acuerdo a la dirección con la pendiente y al estado de profundización.

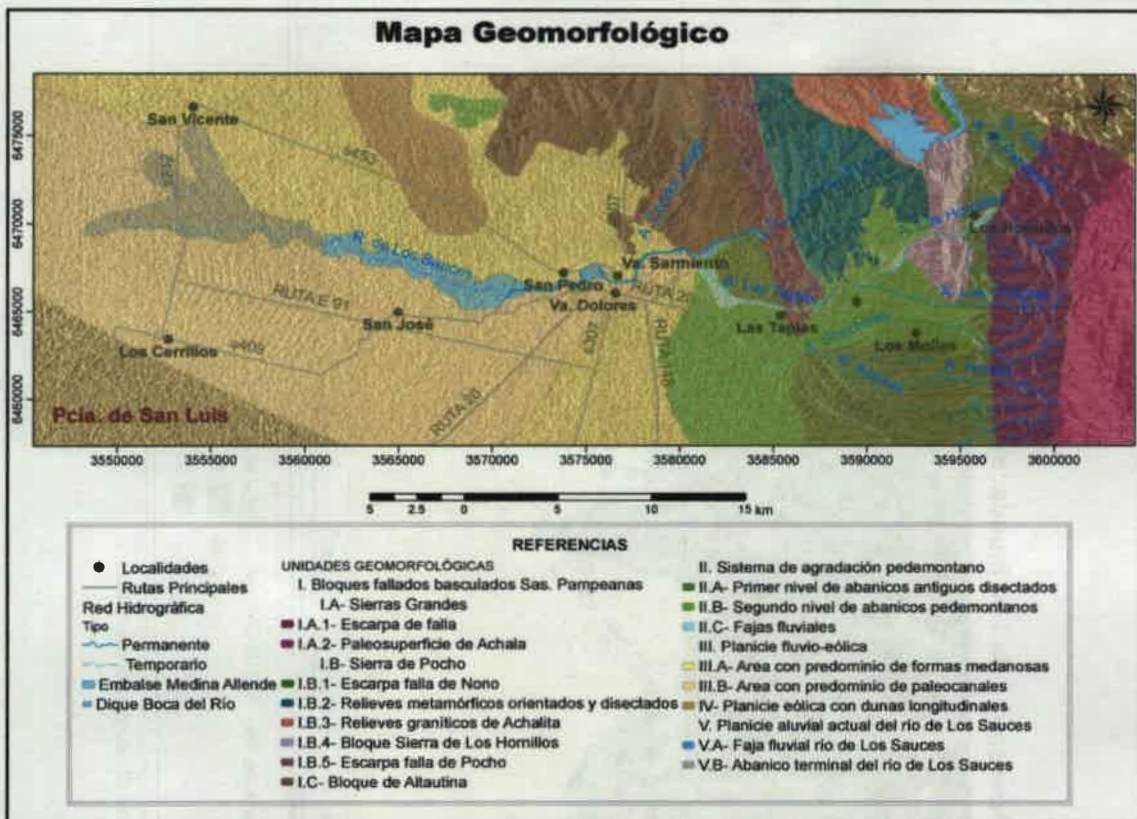


Figura 11.9. Mapa geomorfológico – Zona Villa Dolores

Tabla 11.2. Asignación de valores en relación a la unidad geomorfológica.

RANGO	UNIDAD GEOMORFOLOGICA
1	Unidad I
2	Parte unidad IIIC; unidades IV y IIIB
3	Unidades IIA, IIB, parte unidad IIIC
4	Unidades VA, VB y parte unidad IIC
5	Parte unidad IIC

Complementariamente, y para discriminar y poder evaluar la *distribución de las crecidas en las fajas fluviales* que, salvo excepciones, son en general angostas, se efectuó una clasificación de las mismas considerando una zona buffer de ancho promedio (60 m), valor representativo de la mayoría de los cursos de la región. De esta forma se asignaron clases, cuya mayor susceptibilidad se relaciona con su cercanía al canal. Se parte de la base de que el centro de esta zona corresponde al eje del canal (sector normal de circulación del flujo) y, desde allí hasta los 60 m, la susceptibilidad disminuye. Los valores que superen esta zona buffer definida se consideran de susceptibilidad baja. En la Tabla

Mapa de Unidades Geomorfológicas Reclasificadas, según su Susceptibilidad de Inundación/Avenidas a escala regional

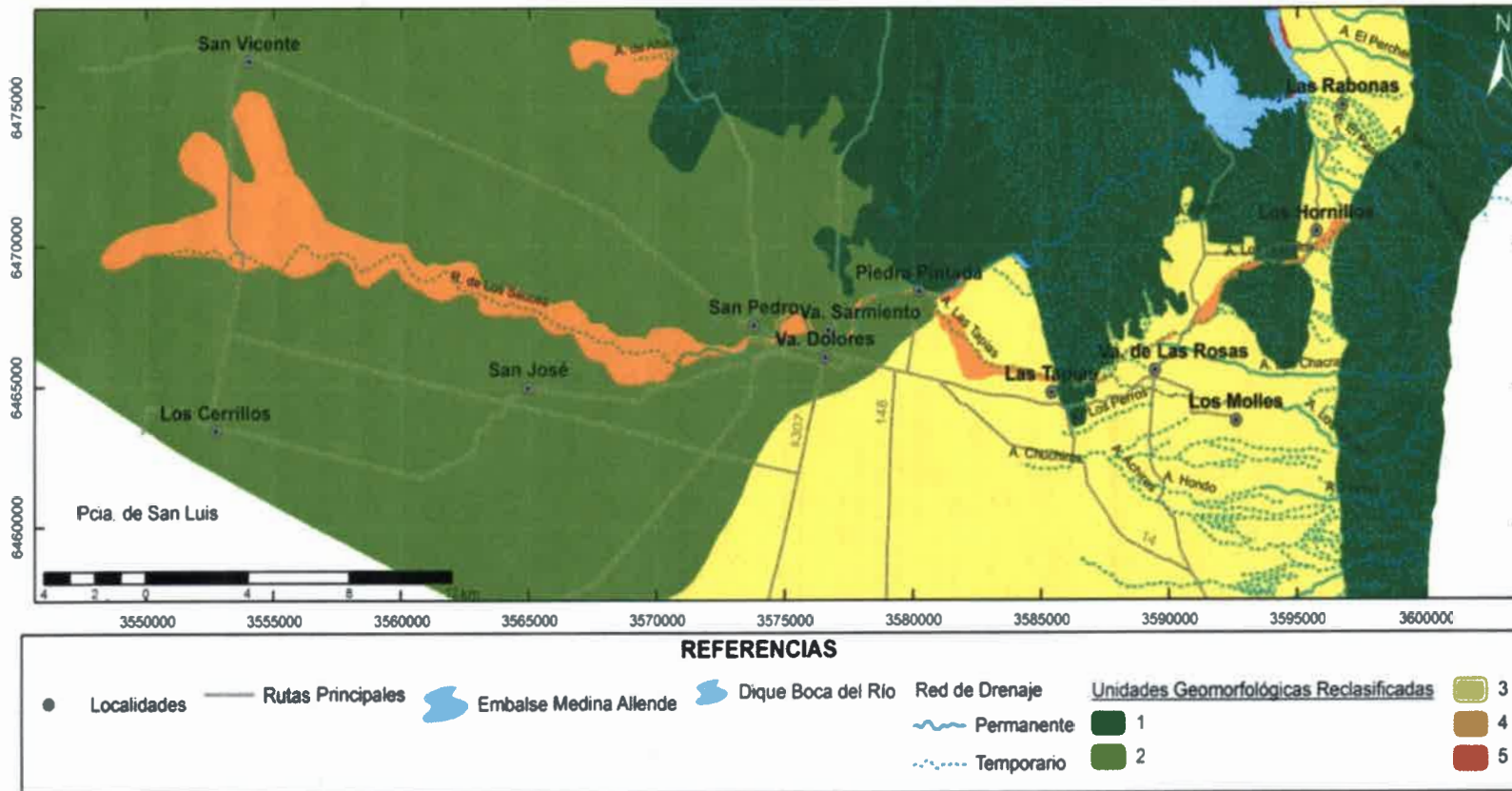


Figura 11.10. Mapa de unidades geomorfológicas reclasificadas, según su susceptibilidad de inundación/avenidas.

11.3 se presentan los valores asignados y la capa resultante está considerada en las operaciones realizadas para obtener el mapa de susceptibilidad final. No se presenta la carta específica por razones de escala, los cursos se observan sólo de color rojo.

Tabla 11.3. Asignación de valores en relación a la unidad geomorfológica.

RANGO	DISTANCIA AL EJE DEL CANAL (RED DE DRENAJE)
1	Mayor a 60 m
2	Entre 45 y 60 m
3	Entre 30 y 45 m
4	Entre 20 y 30 m
5	Entre 0 y 20 m

- *Topografía*: a partir del Modelo Digital de Elevación (Figura 11.11), se generaron los mapas de pendiente (Slope), orientación (Aspect) y de profundidad de valle (Valley Deph), este último con el Software SAGA GIS (Figura 11.7).

Para la realización del *mapa de pendientes*, para cada celda, la herramienta Slope (Spatial Analyst Tools – Surface) calcula la tasa máxima de cambio del valor de esa celda en relación a sus vecinas. Básicamente, el cambio máximo en la elevación sobre la distancia entre la celda y sus ocho vecinas identifica el descenso cuesta abajo más pronunciado desde la celda (ESRI, 2013), el cual se puede representar en porcentaje o en grados. Para la zona de estudio, las pendientes varían entre 0 y 265% (Figura 11.12), siendo reclasificadas siguiendo el criterio que se presenta en la Tabla 11.4. Los rangos se asignaron teniendo en cuenta la velocidad de evacuación del agua, de esta forma los valores más bajos de susceptibilidad a la inundación/avenidas, corresponden a las zonas de mayor pendiente, donde el agua puede circular más rápidamente, en cambio, los valores más altos, se asocian a las pendientes más bajas donde existen mayores posibilidades de anegamiento (Figura 11.13).

Tabla 11.4. Asignación de valores en relación a la pendiente

RANGO	PENDIENTE
1	> 25%
2	12 – 25%
3	7 – 12%
4	3 – 7%
5	0 – 3%

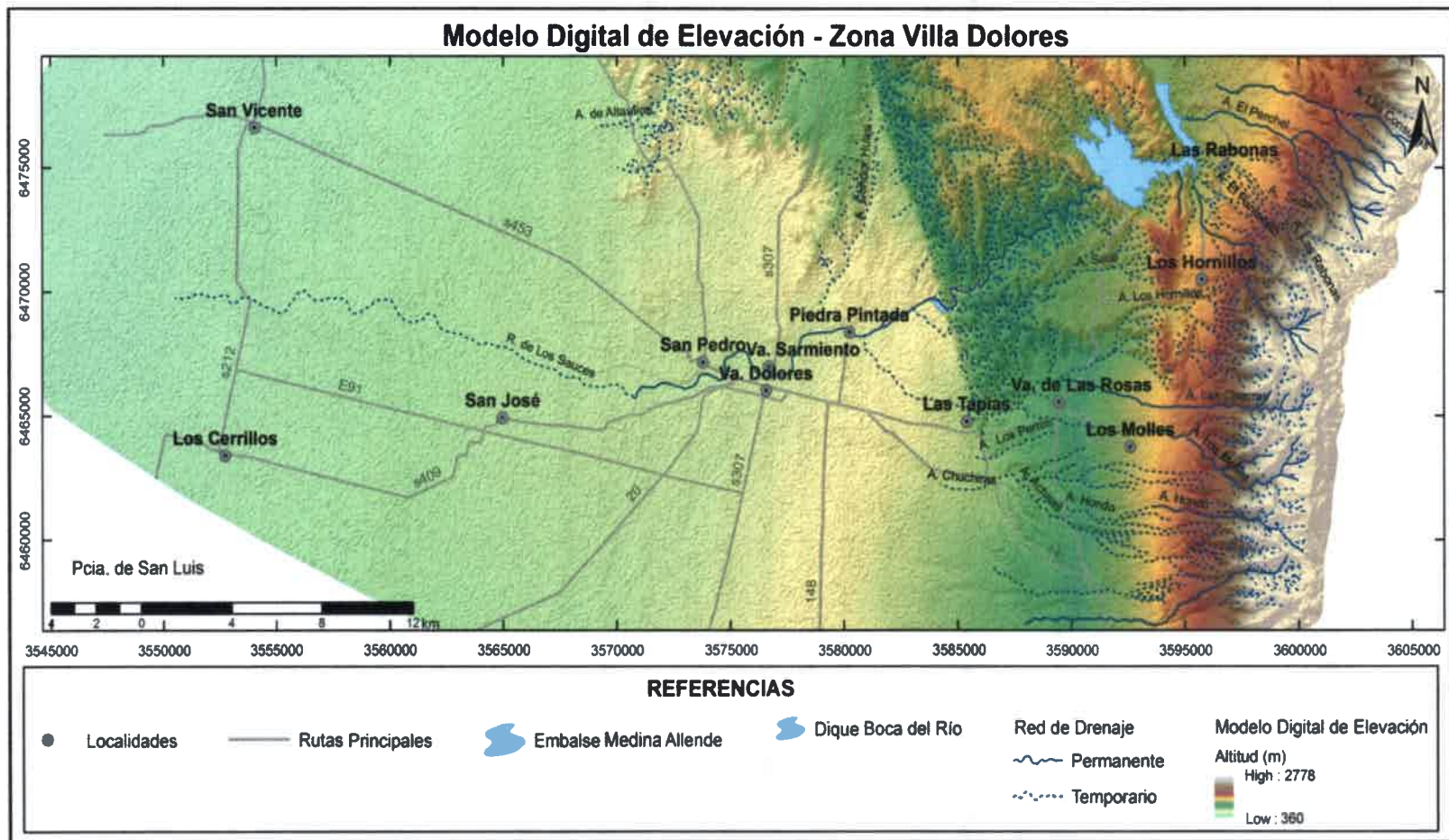


Figura 11.11. Modelo Digital de Elevación (MDE) combinado con un mapa de sombras (Hillshade) que permite realzar las zonas bajas y altas del relieve.

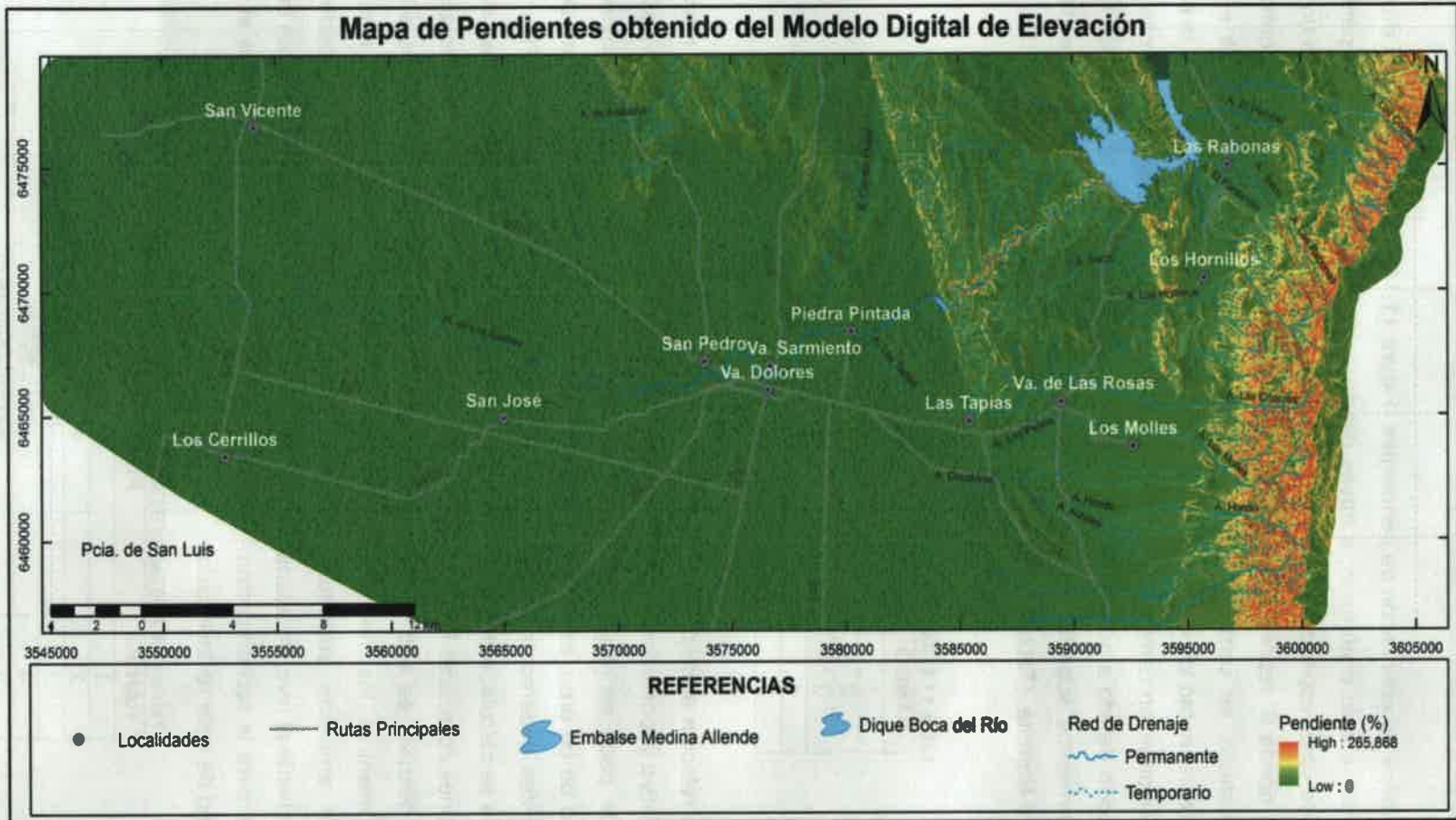


Figura 11.12. Mapa de pendientes obtenido a partir del MDE, escala regional.

El *mapa de orientación de pendientes* (Figura 11.14), indica la dirección de cada una de las celdas que lo conforman, a través del análisis de la orientación de la pendiente de cada una de ellas respecto al Norte, tomando cada celda valores que varían en un rango de 0° a 360°, donde 0° representa el Norte y por lo tanto 180°, el Sur. De esta forma, para la zona de estudio, se consideró que las orientaciones de la pendiente hacia el Oeste y Noroeste representan los valores bajos, ya que el agua circula en dirección de la pendiente, sin obstrucciones, en cambio las celdas orientadas al Este, adquieren el valor más alto en la reclasificación debido a que actúan como barrera o impedimento a la circulación natural de los escurrimientos superficiales. Las clases intermedias corresponden a las direcciones Sudoeste y Noreste. (Tabla 11.5 y Figura 11.15).

Tabla 11.5. Asignación de valores en relación a la orientación de la pendiente

RANGO	ORIENTACIÓN DE LA PENDIENTE
1	225° - 315°
2	315° - 0° y 180° - 225°
3	0° - 45° y 135° - 180°
4	90° - 135°
5	45° -90°

En relación al *mapa de profundidad de valle* (Valley Deph), el mismo representa el relieve relativo y, por lo tanto, muestra diferencias locales del mismo, haciendo visibles altos y bajos de poca expresión topográfica pero con gran incidencia en el comportamiento hidrológico de un área, especialmente en las planicies, que incluyen en el área de estudio los ambientes pedemontanos medios-distales y las planicie fluvio-eólicas (Figura 11.16). Este índice se calcula, a partir de la distancia vertical a un nivel de base de la red de canales o depresiones colectoras locales (Conrad, 2006). Los mayores valores representan sectores donde el desnivel es alto (530 m aproximadamente de desnivel local, valles en escarpa principal) mientras, los menores, se corresponden con las áreas de menor disección del relieve en ambiente serrano (paleosuperficies de erosión cumbral) y pedemontano, correspondiente al nivel de abanicos más antiguo. En la Tabla 11.6, se presentan los valores asignados para la reclasificación, mientras que en la Figura 11.17 se observa el mapa de profundidad de valle reclasificado.

Tabla 11.6. Asignación de valores en relación a la profundidad de valle

RANGO	PROFUNDIDAD DE VALLE
1	0 – 80,56 m
2	80,56 – 161,39 m
3	161,39 – 261 m
4	261 - 290,55 m
5	290,55 – 530,48 m

Mapa de Pendientes Reclasificadas, según Susceptibilidad de Inundación/Avenidas a escala regional

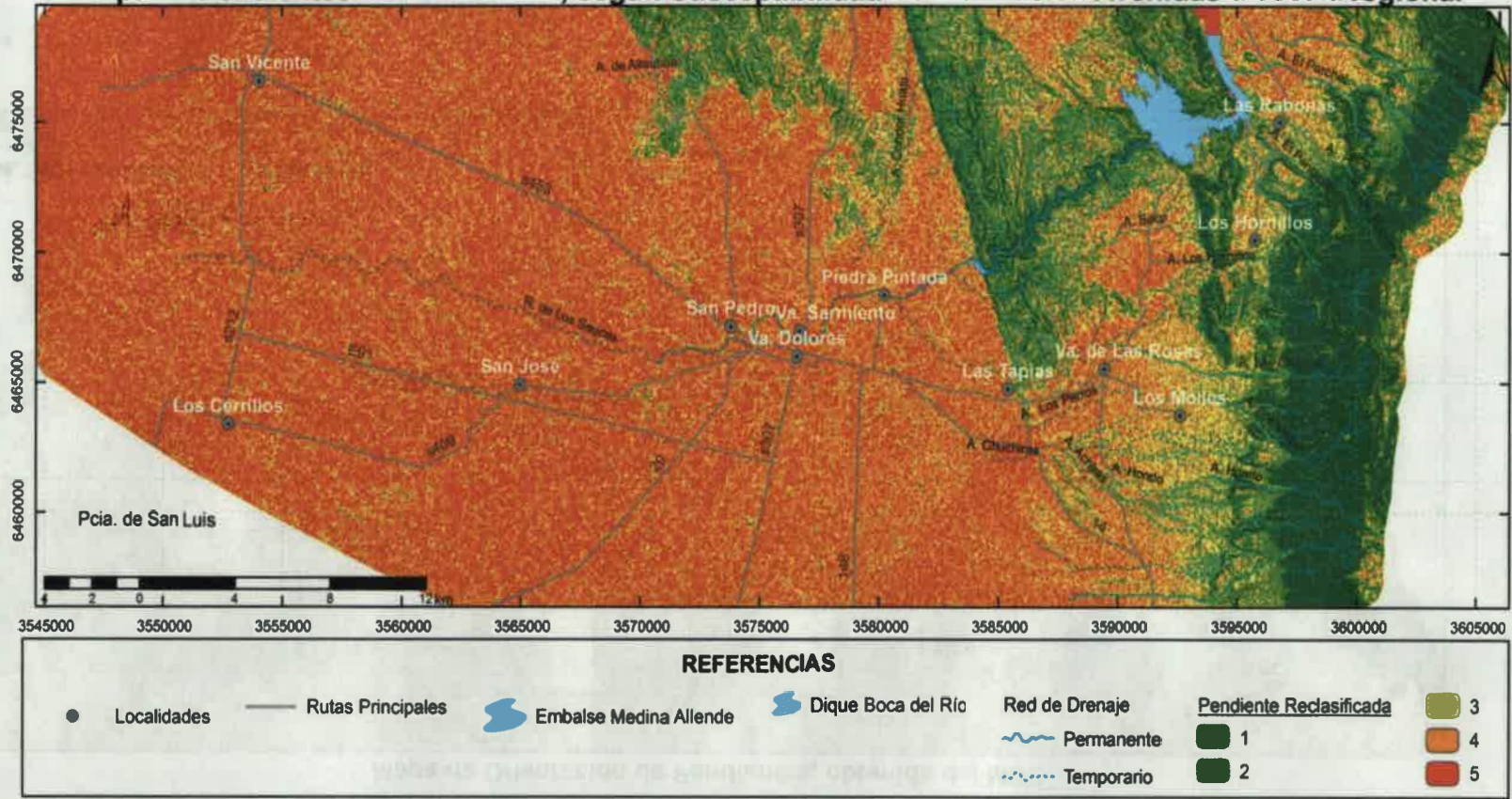


Figura 11.13. Mapa de pendientes reclasificadas, según susceptibilidad a la inundación/ avenidas.

Mapa de Orientación de Pendientes, obtenida del MDE

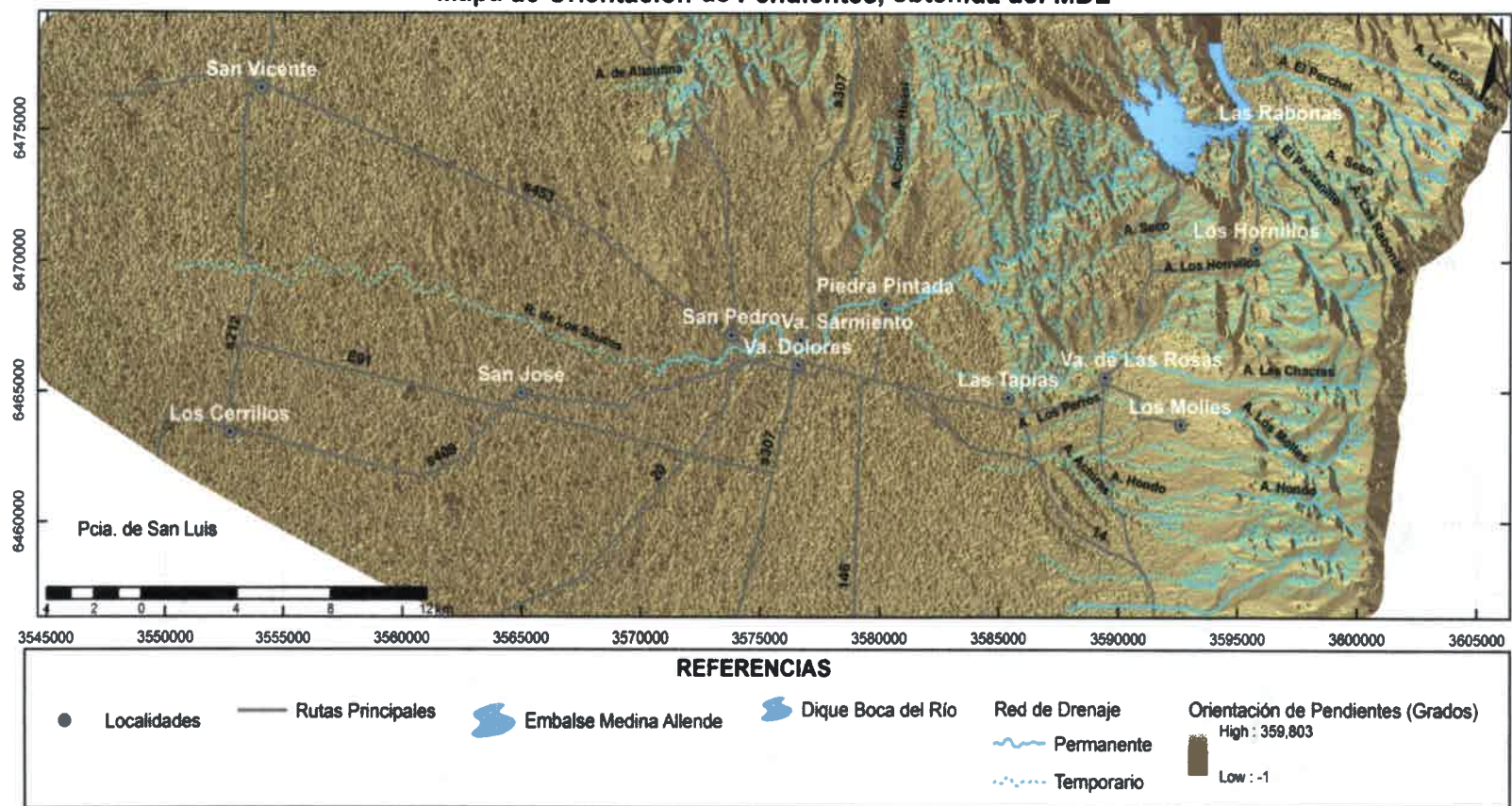


Figura 11.14. Mapa de orientación de pendientes obtenido a partir del MDE, escala regional.

Mapa de Orientación de Pendientes Reclasificada, según Susceptibilidad de Inundación/Avenidas a escala regional

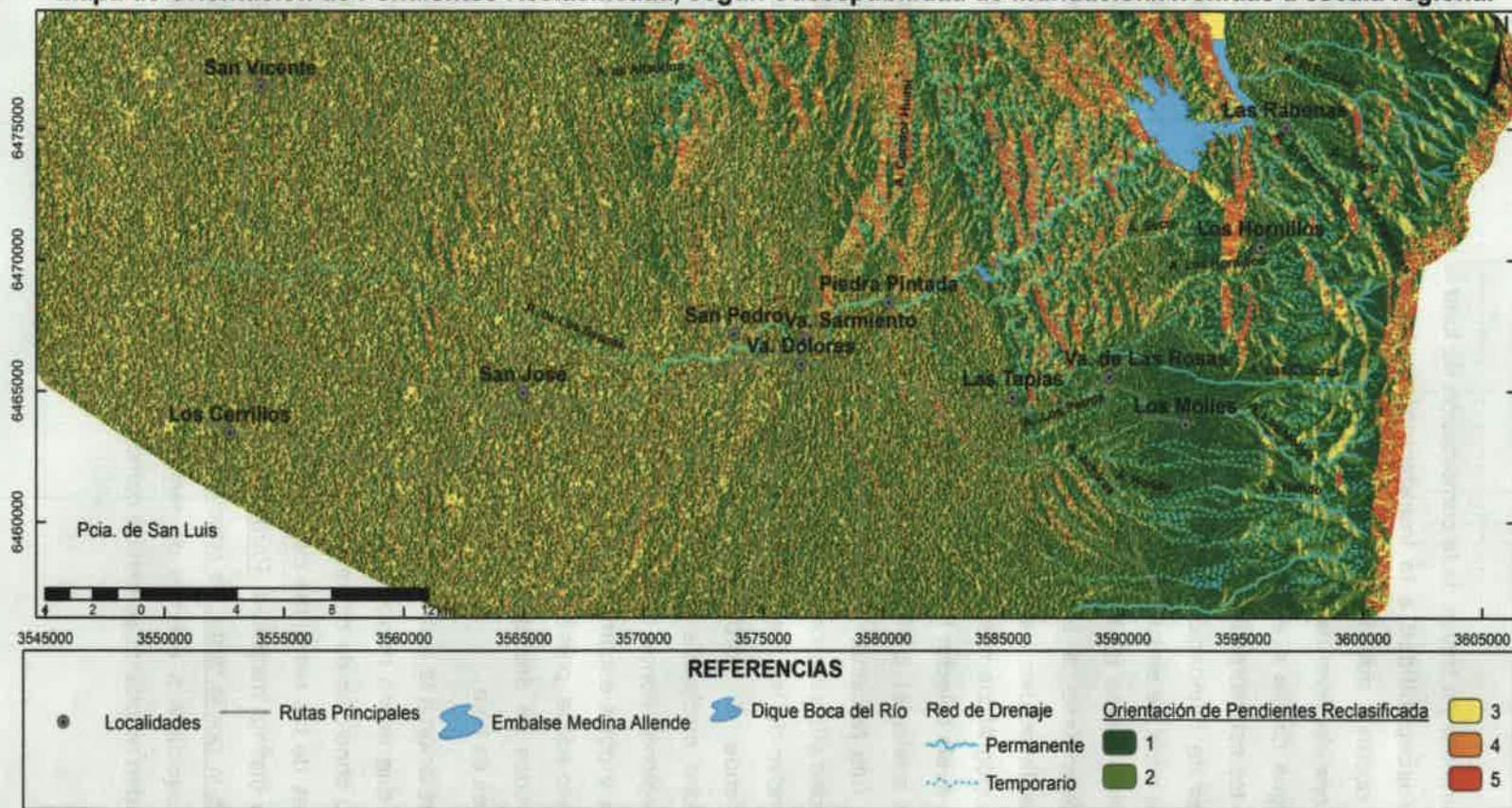


Figura 11.15. Mapa de orientación de pendientes reclasificadas, según susceptibilidad a la inundación/ avenidas.

Finalmente y a través de la combinación de toda la cartografía derivada, se obtuvo el **mapa de susceptibilidad a la inundación/avenidas a escala regional** (Figura 11.18), donde se observa que los valores *más bajos* se asocian a las *zonas serranas y pedemontanas del nivel de abanicos aluviales más antiguos* que actúan como divisorias y donde el agua circula a altas velocidades y en pendientes pronunciadas, hacia las fajas fluviales de los colectores que poseen una susceptibilidad mayor, aunque con pocas a nulas posibilidades de inundación/avenidas por su grado de confinamiento. Por otra parte los *valores más altos*, se asocian a las *fajas fluviales* (llanuras de inundación, terrazas bajas) de los principales cursos de la zona y a *los abanicos distales de los arroyos que drenan el sector pedemontano*, a través de canales pocos incididos, donde son frecuentes los procesos de desbordes. Estos excedentes, como se observa en el mapa pueden conducirse por *bajos topográficos naturales*, como el coincidente con el tramo inferior del arroyo Las Tapias que suele colectar las aguas del arroyo Chuchiras y del Perro (como se analizará en detalle más adelante); o bien distribuirse hacia el sector oeste, no superando en general la traza de la ruta Nacional 148. En el caso especial *del abanico del río de Los Sauces*, su *susceptibilidad alta* se asocia no sólo a crecidas muy extraordinarias relacionadas a los ríos que descienden de las Sierras Grandes sino a la apertura de las compuertas del Embalse Medina Allende. El *borde oriental de la depresión de las Salinas Grandes* exhibe *susceptibilidad moderada a moderadamente alta*, vinculada a su condición de área de descarga regional, donde se conducen los excedentes superficiales del río de Los Sauces, río Conlara y otros escurrimientos menores. El resto de la zona, que se desarrolla en la *planicie fluvio-eólica*, presenta una *susceptibilidad moderadamente baja*, ya que aquí no se observan redes de drenaje definidas y las posibilidades de reactivación del sistema de paleocanales es baja.

En relación a la distribución espacial de la *amenaza*, puede considerarse que, si bien hay zonas que tienen mayor influencia de los sistemas fluviales principales, en general, el área por su condición de depresión intermontana recibe escurrimientos de distinta jerarquía provenientes de las serranías circundantes en toda su extensión, a los cuales se asocian eventos de distinta magnitud. Para la escala regional, estas variaciones no son fácilmente discernibles y, por lo tanto, se consideró una amenaza uniforme en toda el área y de alta magnitud, asociada a eventos de recurrencia extraordinaria. De este modo, *el mapa de susceptibilidad resultante se tomará como equivalente al de peligrosidad*.

Mapa de Profundidad de Valle, obtenido del MDE

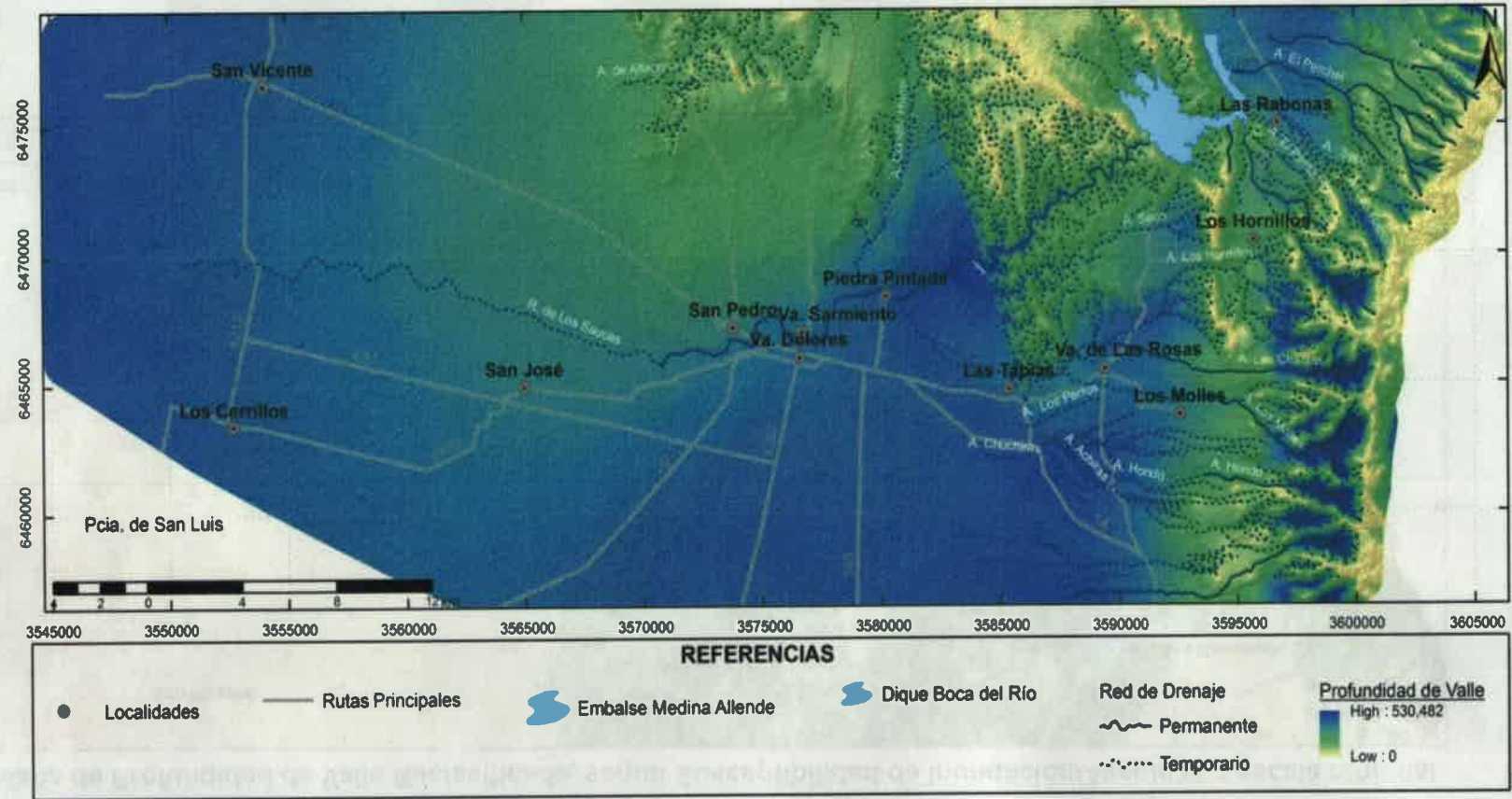


Figura 11.16. Mapa de Profundidad de valle, obtenido a partir del MDE con el software SAGA GIS.

Mapa de Profundidad de Valle Reclasificada, según Susceptibilidad de Inundación/Avenidas a escala regional

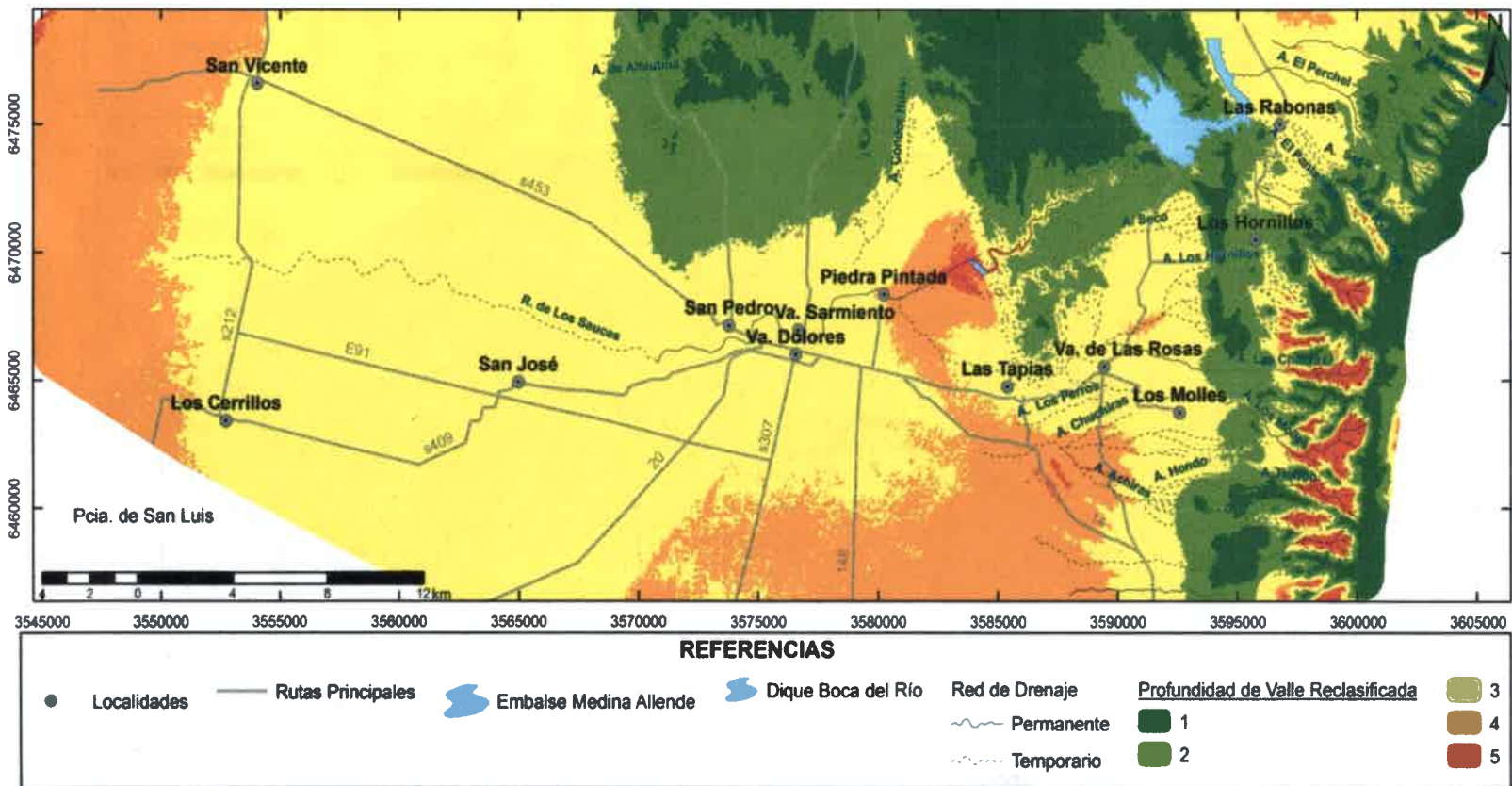


Figura 11.17. Mapa de Profundidad de valle reclasificado según Susceptibilidad de Inundación/Avenidas a escala regional.

Mapa de Susceptibilidad a la Inundación/avenidas a escala regional

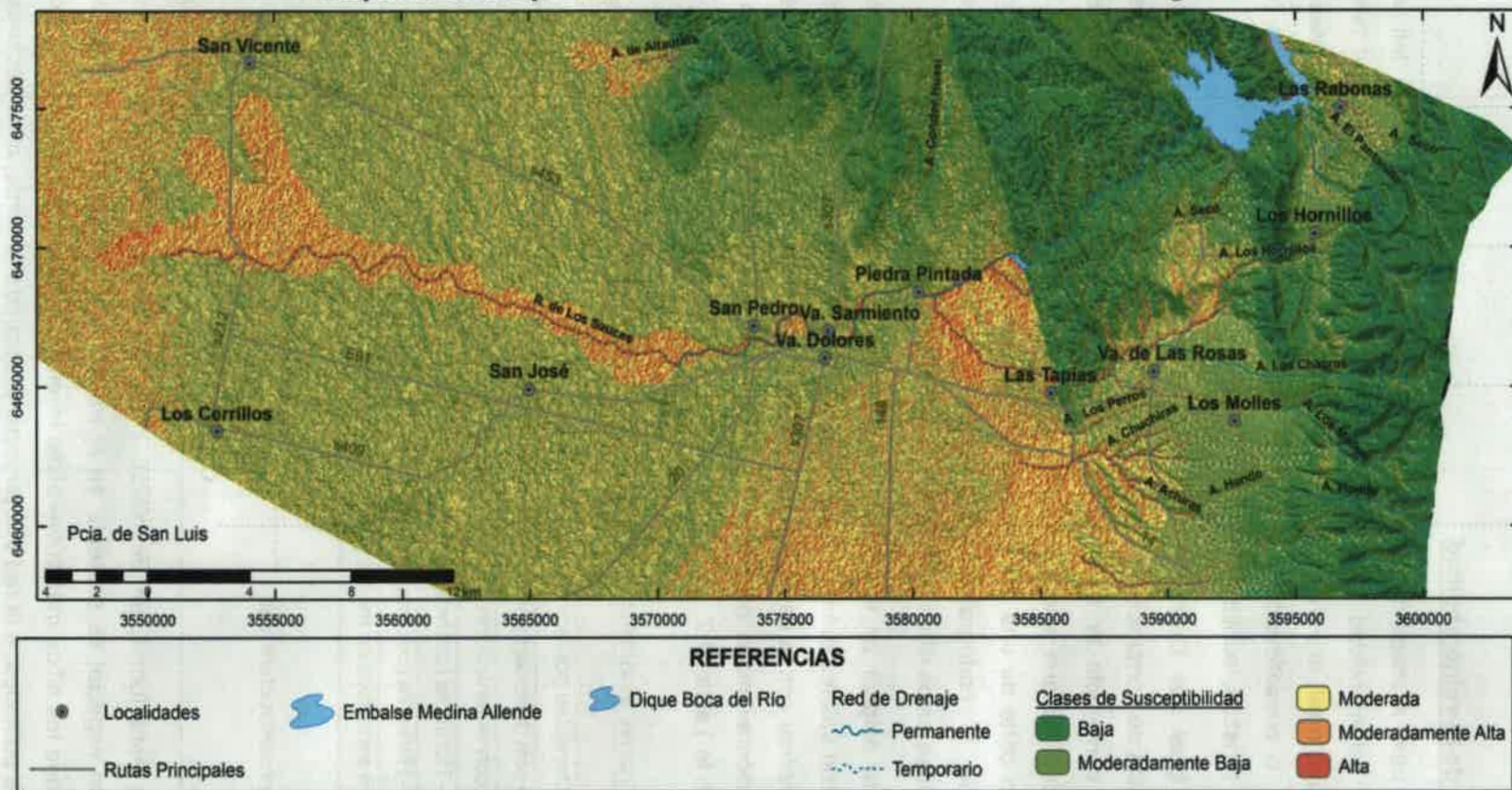


Figura 11.18. Mapa de susceptibilidad de Inundación/Avenidas a escala regional.

- Análisis de la vulnerabilidad

En base al mapa de uso actual del suelo, a escala regional, se definieron diferentes clases de vulnerabilidad, teniendo en cuenta, *la densidad poblacional* tanto en la zona urbana como rural, *la infraestructura vial* (puentes, rutas/caminos principales y secundarios asfaltados o consolidados), y *las actividades desarrolladas en la zona* (usos agrícola, ganadero, turístico, ladrillero, entre otros).

Al igual que Degiovanni (2008), aquí se consideran dos aspectos al valorar las distintas vías de comunicación: uno económico que incorpora el costo del bien vulnerable y otro que contempla la afectación de diferentes servicios. En el caso de pérdida de accesibilidad, aunque sólo pueda estar vinculada a un hecho puntual como la caída de un puente y/o corte de una ruta, el servicio afectado normalmente involucra un área mucho mayor que la cartografiada, por lo que la vulnerabilidad debe considerarse alta, destacándose estos sitios en la representación cartográfica.

Para asignar un valor de vulnerabilidad a los parámetros antes mencionados, se consideraron valores entre 1 (Baja vulnerabilidad) y 5 (Alta vulnerabilidad) con el objeto de poder combinar con la capa de susceptibilidad y así obtener un mapa de riesgo asociado a la inundación/avenidas provocadas por los sistemas fluviales. Los valores asignados se exhiben en la Tabla 11.7.

Tabla 11.7. Valores de Vulnerabilidad según diferentes usos del suelo e infraestructura vial

Usos		Puntaje
Urbano (Densidad poblacional alta a mediana)		5
Ladrillero con densidad poblacional mediana a baja		4
Turístico con urbanización de baja densidad		3
Agrícola - Hortícola (cultivos bajo riego superficial)		3
Agrícola - Hortícola (cultivos bajo riego subterráneo y mixto)		2
Ganadería extensiva en monte y zona mixta (turismo y ganadería)		1
Infraestructura Vial	Puentes	5
	Rutas principales asfaltadas	5
	Rutas principales consolidados	4
	Caminos secundarios	4

De esta forma, se definieron cinco clases de vulnerabilidad (Tabla 11.8), cuya distribución espacial se presenta en el mapa de la Figura 11.19. En el mismo se puede observar que los sitios *más vulnerables* involucran sólo el 10 % del área, y corresponden a los centros poblados, a la red vial principal y, secundariamente, a los sectores ladrilleros que poseen baja densidad poblacional. El resto de la zona, se divide entre *vulnerabilidad*

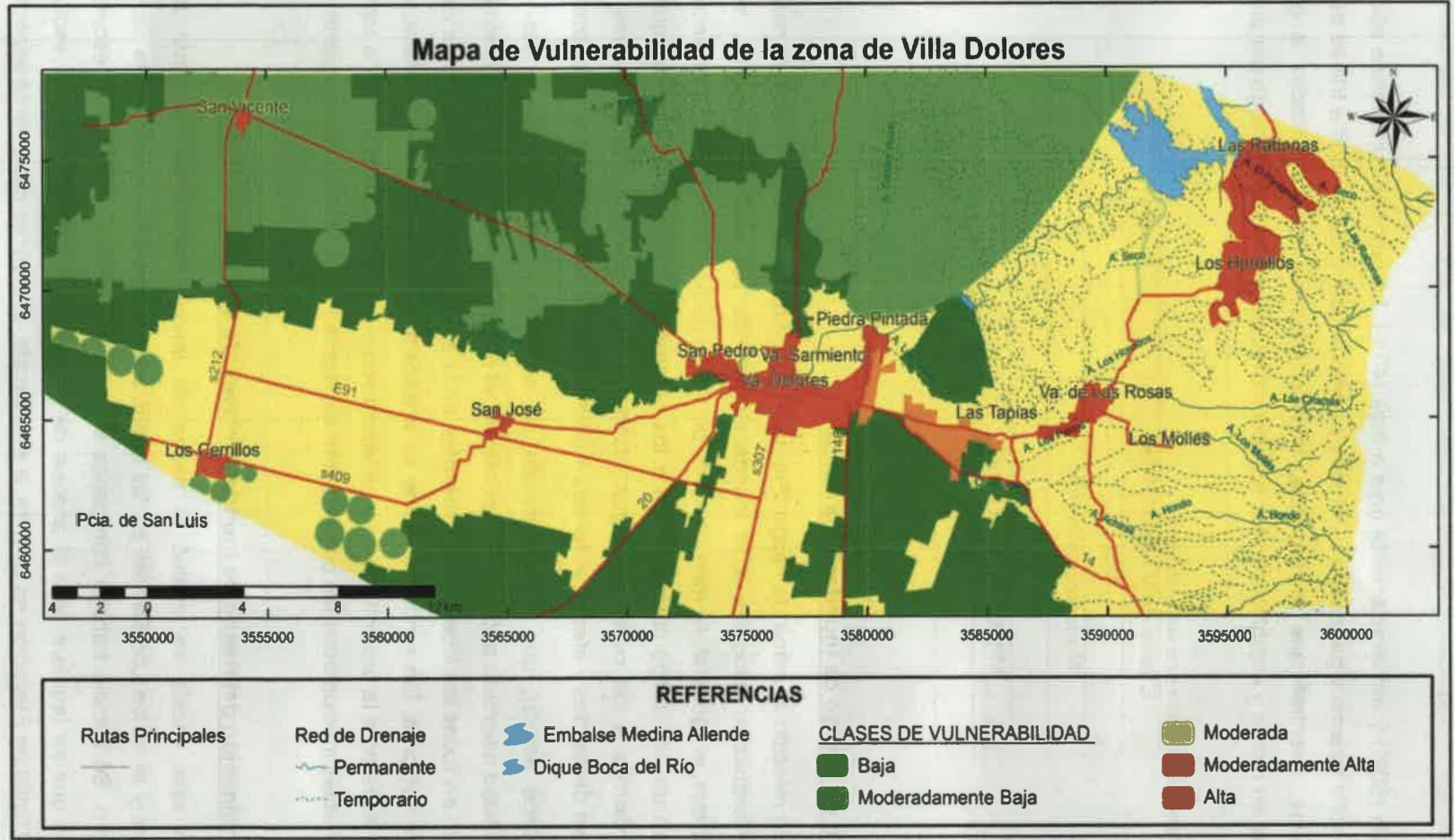


Figura 11.19. Mapa de vulnerabilidad de la zona de Villa Dolores.

moderada (50%) y moderadamente baja a baja (40%). La primera, comprende sitios donde se desarrolla turismo y ganadería extensiva y campos que realizan riego a través de canales y acequias, mientras que la segunda, involucra los sectores destinados a ganadería extensiva en monte y establecimientos agropecuarios que mantienen el riego por pivots.

Tabla 11.8. Clases de vulnerabilidad

Clases de Vulnerabilidad	Puntaje
Alta	5
Moderadamente Alta	4
Moderada	3
Moderadamente Baja	2
Baja	1

-Análisis del riesgo de inundación/avenidas

En relación al *mapa de riesgo* (Figura 11.20), producto de considerar la *peligrosidad* y la *vulnerabilidad* asociada a la inundación/avenida por sistemas fluviales, se puede observar que, en general, *la zona presenta un riesgo de bajo a moderado*. Los sectores que presentan un *alto riesgo* corresponden a los *centros urbanos* principalmente aquellos que están próximos a los cursos de agua, donde frente a crecidas extraordinarias, pueden producirse desbordes y afectar viviendas e infraestructura asociada con la urbanización.

Cabe aclarar, que a esta escala de estudio y, considerando el alto valor de vulnerabilidad asignado a los centros poblados, el riesgo en general resulta *moderadamente alto a alto* en todas las *localidades* presentes en la zona y, dentro de una misma ciudad, en todos los sectores. Sin embargo, como se analizará a escala de mayor detalle, el riesgo varía de acuerdo a la proximidad de la urbanización a los cursos, además de la topografía y otras variables involucradas las cuales serán explicadas en el ítem correspondiente.

2) Determinación del riesgo de inundación/avenida a escala de detalle

A esta escala se evaluó el riesgo de inundación/avenida asociado al arroyo Chuchiras y al río de Los Sauces en las zonas urbanas de Villa Dolores, Villa Sarmiento y San Pedro. Se decidió trabajar con capas en formato vectorial, debido a la escala de alta definición que se requiere para el análisis de las variables involucradas. La resolución del Modelo Digital de Elevación no permite, a esta escala, diferenciar claramente aspectos del

Mapa de Riesgo a la Inundación/avenidas a escala regional

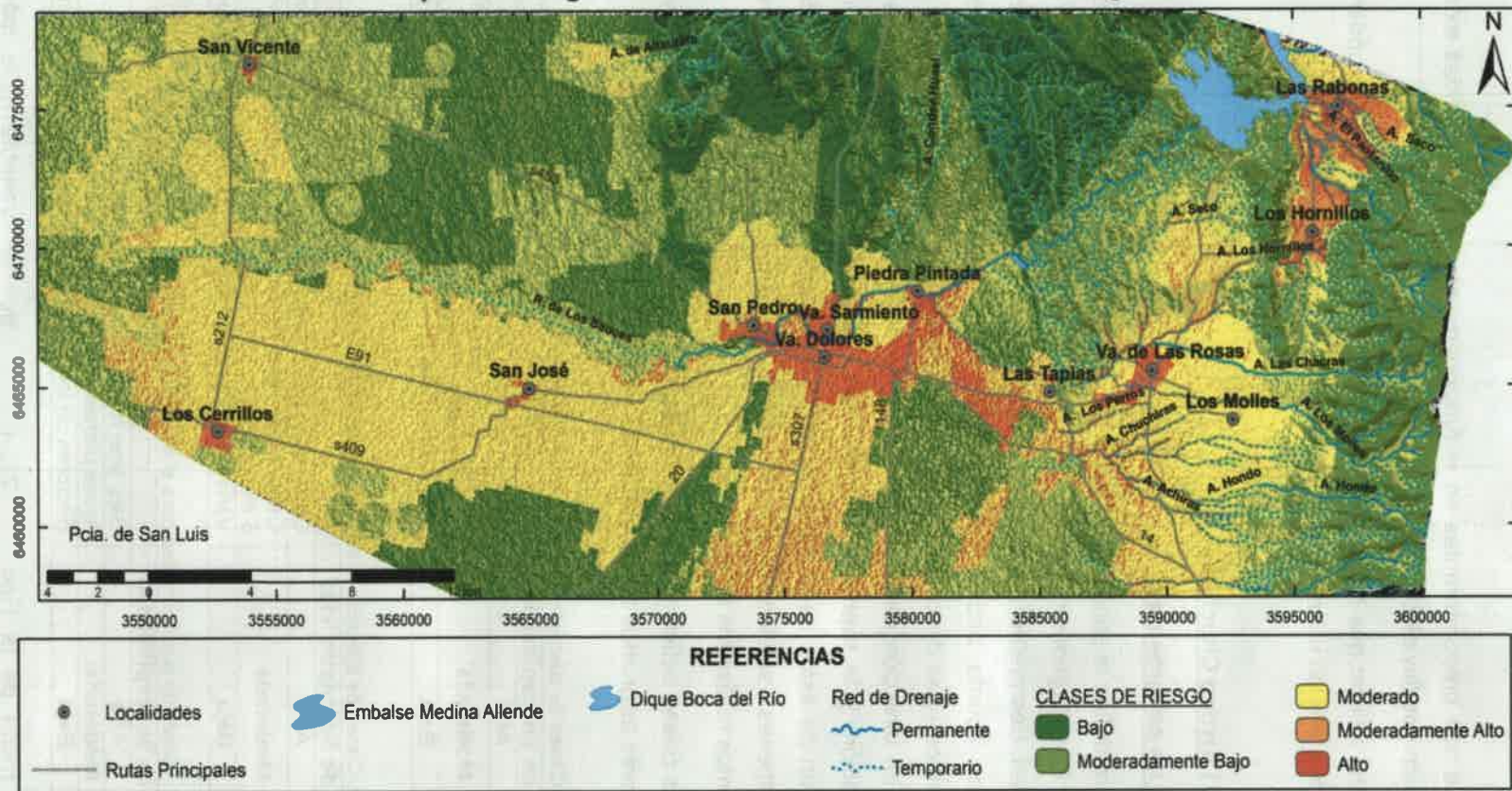


Figura 11.20. Mapa de riesgo a la inundación/avenidas a escala regional.

relieve que son preponderantes en el funcionamiento frente a crecidas extraordinarias de algunos sistemas fluviales.

Cabe aclarar que las variables consideradas a esta escala responden a los mismos fundamentos que las utilizadas a nivel regional.

2.1) Arroyo Chuchiras

- Análisis de peligrosidad

Para definir la susceptibilidad de la zona a la inundación, se consideró la **capacidad de la faja fluvial** (geometría del canal principal, canales secundarios, llanura de inundación, conectividad, desniveles) para conducir caudales que impliquen una amenaza. Además, se tuvieron en cuenta otros elementos que influyen en la distribución espacial de los escurrimientos (vías de conducción y su conectividad), tales como la **traza de la red vial** (camino en dirección de la pendiente, perpendiculares u oblicuos a la misma, estado de profundización) y la **topografía** (desniveles locales, pendientes). Para la identificación y ponderación de estos parámetros se utilizaron las hojas topográficas escala 1:50.000 del IGN, imágenes satelitales Google Earth y, principalmente, las observaciones y relevamientos realizados en el campo.

Las clases definidas se muestran en las Tablas 11.9 – 11.10 y 11.11 y la distribución de los valores asignados a los parámetros se exhiben en la Figura 11.21.

Tabla 11.9. Clases de susceptibilidad para el parámetro red vial

Clases de Susceptibilidad	Descripción
Alta	Rutas y caminos perpendiculares y profundizados
Moderada	Rutas y caminos oblicuos/transversales, moderadamente profundizados. Perpendiculares sin profundizar
Baja	Rutas y caminos en dirección a la pendiente y sin profundizar

Tabla 11.10. Clases de susceptibilidad para el parámetro morfometría de canal

Clases de Susceptibilidad	Descripción
Alta	Canal poco incidido con desniveles inferiores a 3 m.
Moderada	Canal moderadamente incidido en valle, con desniveles entre 3 y 6 m.
Baja	Valle definido, canal incidido con desniveles mayores a 6 m

Tabla 11.11. Clases de susceptibilidad para el parámetro topografía

Clases de Susceptibilidad	Descripción
Alta	Bajo bien manifiesto con conectividad hidrológica.
Moderada	Áreas planas con pendiente moderada.
Baja	Sectores de lomas con desniveles superiores a 5 m

El mapa de la Figura 11.21, muestra que las variables que más controlan la susceptibilidad en el área son las características morfológicas del tramo medio bajo del

arroyo, el cual presenta un canal poco incidido a la salida del sector de abanicos aluviales antiguos, donde adquiere un patrón distributivo, con numerosos canales secundarios que evidencian eventos anteriores de desbordes, mostrando baja capacidad de conducción del canal y desbordes por avulsión. En segundo término, cobra relevancia el bajo de orientación SE-NO situado en el sector central de la Figura 11.21, ya que se conecta al tramo inferior del curso y es un sitio probable de evacuación de excedentes hacia el arroyo Las Tapias. La toponimia reconoce parte de esta unidad como Los Barriales y encuestas de campo realizadas a pobladores del sector señalan la ocurrencia de algunos eventos de desbordes históricos en este ambiente. El arroyo del Perro, de menor jerarquía que el Chuchiras y poca expresión morfológica, tiene sus nacientes en el sector pedemontano, drena una cuenca más reducida y también descarga en este bajo topográfico provocando anegamientos temporarios.

Por último, adquieren importancia en la zona, los caminos profundizados, tanto los que siguen la dirección de la pendiente regional, como los transversales a ella, que son capaces de conducir agua frente a los desbordes de los arroyos mencionados, como lo señalan las encuestas y el relevamiento de campo.



Figura 11.21. Mapa de distribución espacial de las clases de susceptibilidad por parámetro. El sector en blanco corresponde a otra cuenca es por ello que queda fuera del análisis.

Como se observa en el mapa de la Figura 11.22, donde se presenta la distribución espacial de la susceptibilidad a la inundación/avenida (integrando los factores de control considerados), vinculada al arroyo Chuchiras, aproximadamente el 50% de la zona presenta *susceptibilidad alta a moderadamente alta* y esto se vincula al bajo topográfico principal y a los abanicos distales de los arroyos Chuchiras y del Perro. El resto del área se divide entre

clases moderada a moderadamente baja, e incluye los sectores pedemontanos de mayor pendiente y encauzamiento del canal y sectores de lomas planas sobrelevadas (Alto de Castro) en relación al relieve circundante.

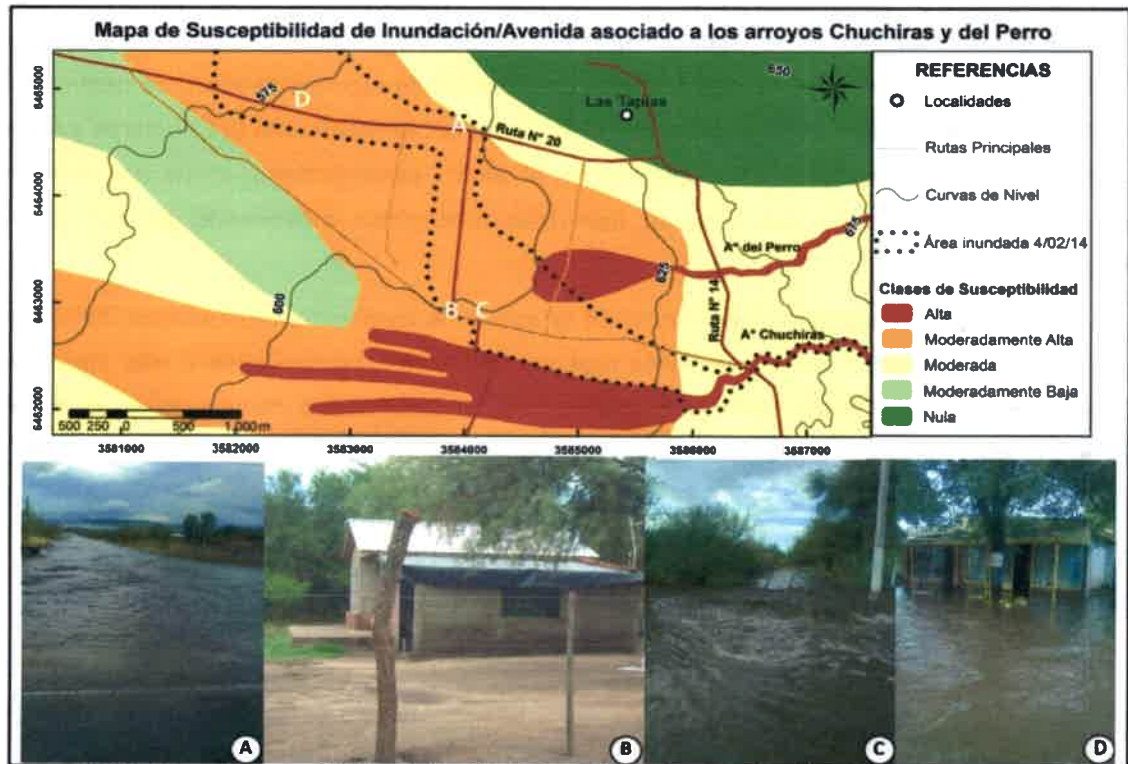


Figura 11.22. Mapa de susceptibilidad de inundación/avenida del arroyo Chuchiras. El sector en verde tiene una vulnerabilidad nula por corresponder a otra cuenca.

En relación a la *amenaza*, la misma depende fundamentalmente del volumen y torrencialidad de las precipitaciones, y de las características litológicas y topográficas de la cuenca alta del arroyo Chuchiras, que condicionan el balance escurrimiento/infiltración y definen los caudales erogados y su tiempo de concentración.

Para caracterizar la amenaza, se consideraron eventos de menor envergadura que tienen recurrencia anual o bianual y otros mayores, que ocurren en períodos de 20 - 30 años o mayor. En todos los casos los eventos hidrológicos que constituyen amenaza ocurren predominantemente en el período primavera-verano.

Respecto a la distribución espacial de la amenaza, en el primer caso los caudales evacuados en general, se conducen dentro de la faja fluvial, especialmente en el cauce, sin provocar desbordes. A estos eventos se asocia una *amenaza baja*.

Las crecidas de recurrencia mayor (20 - 30 años) presentan una *amenaza alta*, ya que los caudales evacuados son elevados y superan la capacidad de conducción del canal y

la faja fluvial. Una amenaza de estas características fue la crecida del arroyo Chuchiras del 4 de febrero de 2014, para la cual se estimó un caudal aproximado de 200 m³/seg (Tabla 7.4 - Capítulo 7). Considerando las marcas de altura de crecida que se observaron en el campo y las referencias brindadas por los pobladores, se comprobó que el agua se condujo por la faja fluvial hasta aproximadamente la intersección con la Ruta N° 14, desde allí, aguas abajo, la sección transversal (canal/valle) fue desbordada ya que se encuentra poco incidida y además se oblitera por acumulación de vegetación (endicamiento de árboles-arbustos), con lo cual se activan antiguos canales, o bien se generan nuevas vías de escurrimiento respondiendo al clásico diseño distributivo, que caracteriza a esta posición de la cuenca. De esta forma, el agua se dirigió hacia el Noroeste, por un bajo topográfico, en parte, conducida principalmente por caminos secundarios parcialmente profundizados.

En la Figura 11.22 se presenta el área afectada por la crecida extraordinaria del arroyo Chuchiras (4 de febrero del 2014), donde se observa que, en este evento no se produjo inundación hacia el Oeste, zona de descarga/abanico distal del arroyo Chuchiras, debido a la influencia del trazado de caminos en la conducción del agua, recientemente señalada.

- Análisis de Vulnerabilidad

Para la vulnerabilidad se consideró el mapa a escala regional, el cual se realizó en base al uso actual del suelo, tal como se explicara anteriormente (Figura 11.23).

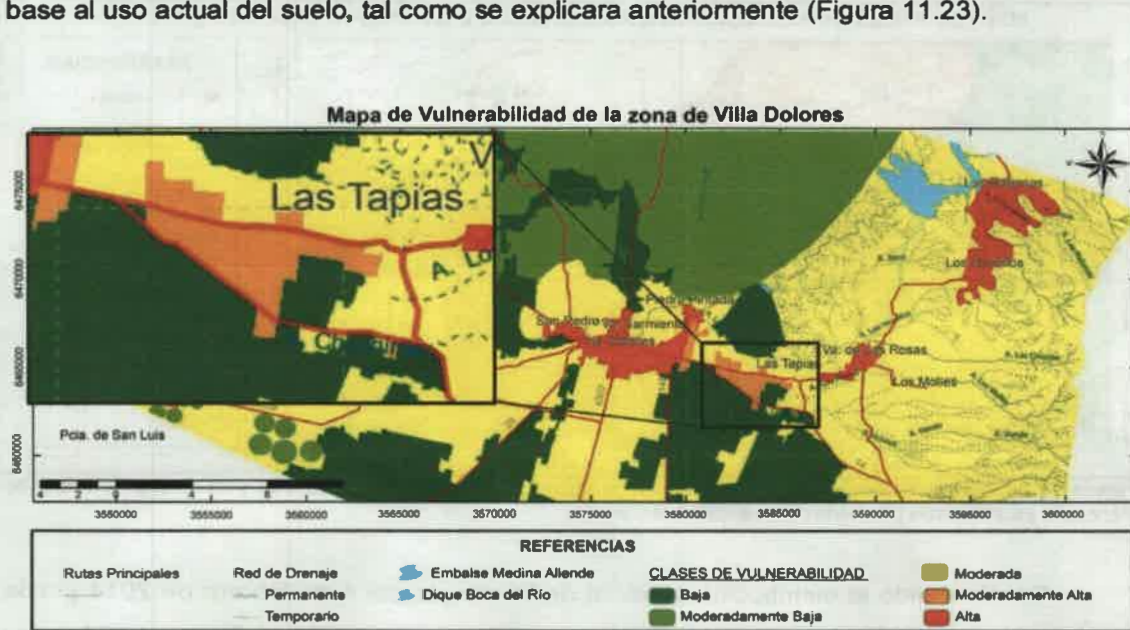


Figura 11.23. Mapa de vulnerabilidad a escala regional, con un zoom en la zona de los arroyos Chuchiras y del Perro.

Como se puede observar los sectores de *vulnerabilidad más alta*, corresponden a aquellos asociados a las ladrilleras, con urbanización de baja densidad y a las rutas principales. El resto de la zona se divide entre *vulnerabilidad baja y moderada* relacionada a los campos donde se realiza ganadería extensiva en monte y a las zonas de turismo con ganadería, respectivamente.

- Análisis del riesgo

Si se observa en el mapa de la Figura 11.24, el *riesgo de inundación/avenida del arroyo Chuchiras*, es *alto* asociado a tramos de la ruta 20, en el sector que intercepta el bajo, y a la ruta 14, en proximidades del cruce de los arroyos del Perro y Chuchiras, y a los sectores poblados ubicados al Sur de la ruta 20. Mientras que, para el sector asociado al bajo topográfico y en los sitios donde el canal del arroyo Chuchiras se halla poco incidido, con alta posibilidad de desbordar en eventos de crecida de considerable magnitud, el riesgo es *moderadamente alto*. A su vez, en el resto de la zona que se encuentra a mayor cota y donde no hay asentamientos poblacionales, el riesgo de inundación/aluvionamiento es de *moderado a bajo*.



Figura 11.24. Mapa de riesgo de inundación/avenida asociado a los arroyos Chuchiras y del Perro. El sector en blanco no es analizado por pertenecer a otra cuenca.

Considerando la distribución espacial de la crecida del 4 de febrero de 2014 puede observarse una alta correspondencia entre la carta predictiva de la Figura 11.24 y los sectores realmente afectados por un evento de crecida extraordinario del arroyo Chuchiras.

2. 2) Río de Los Sauces en el tramo urbano de Villa Dolores, Villa Sarmiento y San Pedro.

- Análisis de peligrosidad

Debido a la relevancia que tiene la ciudad de Villa Dolores en la zona, ya que constituye el mayor centro poblado, comercial y de diferentes servicios (salud, educación, administrativos, etc.), se decidió realizar un análisis del riesgo de inundación asociado a crecidas del río de Los Sauces, que incluya además a las localidades de Villa Sarmiento y San Pedro (margen norte del río), que forman parte de un aglomerado urbano fuertemente integrado a la ciudad. Como se mencionó anteriormente, si bien el caudal del río de Los Sauces, se encuentra controlado por el Embalse Medina Allende y el Dique Compensador Boca del Río, aguas abajo de estas obras éste curso recibe en proximidades de Villa Dolores (Figura 7.2 – capítulo 7) el aporte de los arroyos Cóndor Huasi, Seco y Las Tapias, cuyas cuencas no son menores, fundamentalmente ésta última que drena una importante área de la escarpa occidental de las Sierras Grandes. Esto implica que, aunque parcialmente mitigada, existe una amenaza a considerar a la hora de caracterizar la peligrosidad de inundación del área. Esta amenaza pudiera ser mucho mayor si se considera una situación extrema donde los diques debieran erogar parte de los volúmenes de agua retenidos, a causa de crecidas asociadas a la cuenca alta del río de Los Sauces, como ocurrió a fines de febrero-principios de marzo del 2015.

Para el análisis aquí presentado, se considera como **amenaza** dos eventos extraordinarios: a) el asociado a las crecidas de los tributarios que drenan la escarpa de las Sierra Grandes y confluyen en el río de Los Sauces aguas abajo de los embalses, registradas el 4 de febrero de 2014 y b) el relacionado a la apertura de compuertas del Embalse Medina Allende, en febrero del 2015, donde se evacuó un caudal máximo de 20 m³/seg.

En la definición de la **susceptibilidad** de inundación, se tuvieron en cuenta especialmente las *características geomorfológicas de la faja fluvial* del río de Los Sauces, en relación a su probabilidad de conducir agua en crecidas de esta magnitud, atendiendo a su posición topográfica y conectividad. De este modo, desde las terrazas más altas, hacia la llanura de inundación y canal, se asignaron valores crecientes de susceptibilidad. Los ambientes geomorfológicos que no corresponden a la faja fluvial se consideraron según la *topografía*, es decir cota respecto al sitio donde se distribuye la amenaza (cauce/canal del río). Para ello, se utilizó la hoja topográfica Villa Dolores, escala 1:50.000, imágenes satelitales Google Earth y principalmente se hizo hincapié en los datos relevados a campo, debido a la escasa precisión que tienen las imágenes para este nivel de detalle. La

información de campo incluye marcas de alturas de crecidas, localización de sitios de desbordes, datos morfométricos de secciones transversales y encuestas a pobladores.

Del análisis del mapa de la Figura 11.25, surge que en general la zona posee una *baja* susceptibilidad a la inundación, quedando las áreas más susceptibles limitadas a la faja fluvial que en el tramo analizado presenta barrancas de varios metros de altura (hasta 8 m) y en algunos sectores un ancho considerable. La clase *alta* corresponde al cauce original, previo a la reducción asociada a la construcción del Embalse Medina Allende y a la llanura de inundación. La clase *moderada* se relaciona a los niveles de terrazas más bajas, sobrelevados entre 3-5 m por encima de la cota del lecho actual. Para el evento de crecida del 4 de febrero del 2014 (caudal estimado del orden de 100 m³/seg- estación aforo Piedra Pintada) puede considerarse que las clases de **peligrosidad** quedan definidas por las de susceptibilidad, tal como se señala en la Figura 11.25, ya que la distribución de la amenaza involucra al canal y llanura de inundación. En relación a las zonas afectadas durante este evento, se pudo observar que aquellos sectores donde existen desniveles mayores a 3 m no se inundaron.

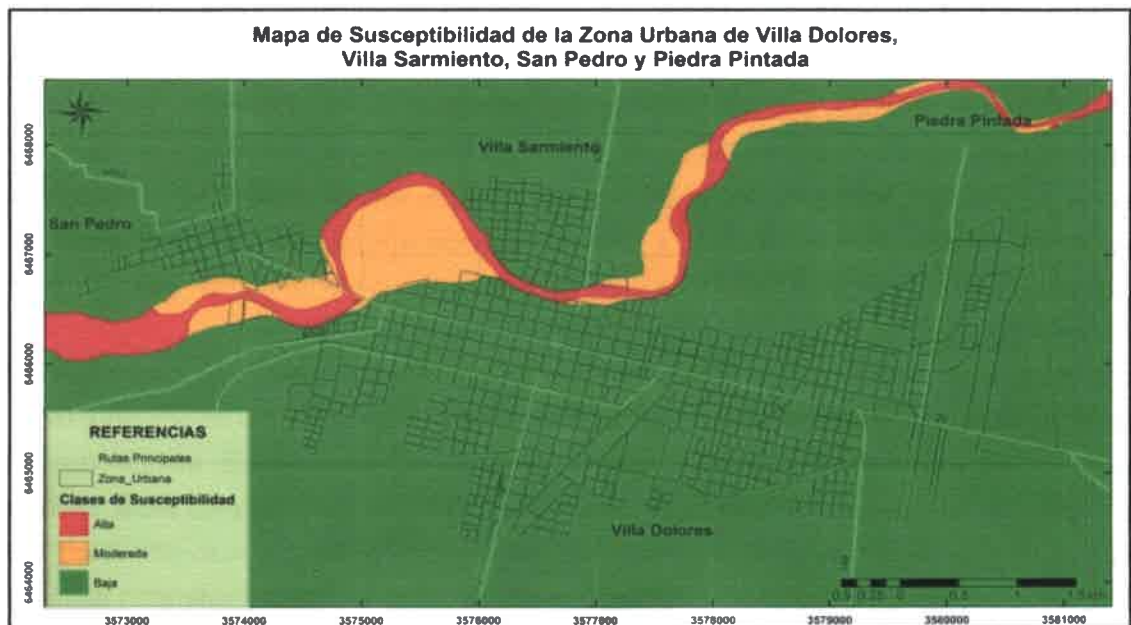


Figura 11.25. Mapa de susceptibilidad y peligrosidad de inundación de la zona urbana Villa Dolores, Villa Sarmiento y San Pedro y Piedra Pintada.

Por otra parte, la crecida de fines de febrero/principios de marzo de 2015 (caudal 20 m³/seg), provocó un menor grado de afectación que la de 2014, ya que se condujo por el canal y sólo ocupó parte de la llanura de inundación, no llegando al borde de la faja fluvial (Sector Paso de la Virgen).

- Análisis de vulnerabilidad

Para la elaboración del mapa de vulnerabilidad se consideró la *densidad poblacional* en cada manzana de las localidades de Villa Dolores, San Pedro y Villa Sarmiento, y la *infraestructura vial* (rutas, puentes y accesos), tal como se presenta en la Tabla 11.12.

Tabla 11.12. Valores de vulnerabilidad para el área urbana e infraestructura vial

Uso Urbano	Puntaje
Alta densidad poblacional	1
Moderada – Baja densidad poblacional	0,8
Sin población	0,3
Rutas y Aeropuerto	1

Siguiendo la misma metodología ya utilizada en el análisis de vulnerabilidad para toda la zona del arroyo Chuchiras (0, Vulnerabilidad baja y 1, Vulnerabilidad alta), se establecieron cuatro clases de vulnerabilidad (Tabla 11.13), las cuales son representadas arealmente en el mapa de la Figura 11.26.

Tabla 11.13 Clases de vulnerabilidad zona urbana Va. Dolores, Va. Sarmiento, San Pedro y Piedra Pintada

Clases de Vulnerabilidad	Rango de valoración
Alta	1 – 0,75
Moderada	0,75 – 0,5
Moderadamente baja	0,5 – 0,25
Baja	0,25 - 0



Figura 11.26. Mapa de vulnerabilidad de la zona urbana de Villa Dolores, Villa Sarmiento, San Pedro y Piedra Pintada.

- Análisis de riesgo

Del mapa de la Figura 11.27, se desprende que las zonas de alto riesgo se encuentran asociadas a sectores donde la población conforma núcleos urbanos en las terrazas bajas del río de los Sauces, como ocurre en el sector del puente paso de la Virgen (Figura 11.28) y en el camino que comunica Villa Dolores y Villa Sarmiento, indicados en el mapa con círculos de color negro. En general el resto del área por su posición topográfica y/o distancia al río presenta un riesgo de inundación moderadamente bajo a bajo.



Figura 11.27. Mapa de riesgo a la inundación. Zona urbana Villa Dolores, Villa Sarmiento y San Pedro.



Figura 11.28. Sector del puente Paso de la Virgen. Detalle del albardón realizado para evitar el ingreso de agua a la zona urbanizada y comparación de los niveles alcanzados durante la crecidas de febrero de 2014 y febrero/marzo 2015.

11.3.2. Sistema Hidrológico Subterráneo

11.3.2.1. Vulnerabilidad a la contaminación acuífero libre

a) Desarrollo conceptual del Riesgo, Peligro y Vulnerabilidad a la contaminación

El término Vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación fue introducido por Margat a fines de la década del '60, específicamente en el año 1968. Desde ese momento hasta la actualidad, se han sucedido numerosas definiciones, calificaciones y metodologías sobre el mismo, en muchos casos orientados a su representación cartográfica, existiendo dos grandes corrientes. Una está representada por aquellos investigadores que consideran a la vulnerabilidad como una propiedad referida exclusivamente al medio (tipo de acuífero y cobertura, permeabilidad, profundidad, recarga, etc), sin tener en cuenta la incidencia de las sustancias contaminantes (Vulnerabilidad Intrínseca) y por otro lado, aquellos que sostienen que además del comportamiento del medio, se deben considerar el tipo y carga contaminante (Vulnerabilidad Específica) (Auge, 2004). Muchos autores, representan a la vulnerabilidad específica mediante el riesgo.

En este sentido, se hace necesario, aclarar y definir qué se entiende por Riesgo, Peligro, Vulnerabilidad del acuífero a la contaminación y amenaza, en la presente tesis, más allá de los conceptos explicados anteriormente. Según Foster e Hirata (1991) el **Riesgo** de contaminación se define como la interacción entre la *carga contaminante* y la *vulnerabilidad del acuífero*. La primera se refiere a la carga que está siendo, será, o pudiera ser aplicada al subsuelo como resultado de la actividad humana, mientras que la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, es debida a las características naturales (granulometría, espesor, etc.) de los materiales que lo cubren y separan de la superficie (zona no saturada). Años más tarde, Foster et al. (2003) hacen una revisión del término, reemplazando la palabra riesgo por **Peligro**, conservando el uso de la primera sólo para la salud de las personas, animales y plantas de los ecosistemas (Blarasin, 2003).

Foster (1987) define **Vulnerabilidad** a la contaminación del acuífero como aquellas características intrínsecas de los estratos que separan la zona saturada del acuífero de la superficie del terreno, lo cual determina su sensibilidad a ser adversamente afectado por una carga contaminante aplicada en la superficie. Así, la misma, sería función de a) accesibilidad de la zona saturada del acuífero a la penetración de contaminantes y b) en un sentido hidráulico, la capacidad de atenuación de los estratos suprayacentes a la zona saturada resultantes de la retención o reacción físico-química de los contaminantes (Foster et al., 2003). En el mismo sentido, Vrba y Zaporozec (1994) consideran a la **Vulnerabilidad** como una propiedad intrínseca del sistema agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales y Auge (1995) entiende que es

un concepto cualitativo que en la generalidad se refiere al grado de protección natural de un acuífero frente a la contaminación.

De esta forma, la vulnerabilidad, está definida como una función de los factores hidrogeológicos, de las características del acuífero y de los sedimentos y suelos suprayacentes, basándose en la suposición de que el ambiente físico provee algún grado de protección al sistema subterráneo ante impactos naturales y especialmente antrópicos, resguardando la entrada de contaminantes desde la superficie o desde ambientes subsuperficiales. Así, se destaca la importancia que posee la zona no saturada, a través de los materiales que la conforman, los cuales tienen una cierta capacidad de retener algunos contaminantes o reducir sus concentraciones (capacidad de atenuación). Esta capacidad expresa la habilidad de los materiales de esta zona y de la zona saturada (cuando los contaminantes logran alcanzarla) para adsorber, dispersar, complejar o retardar contaminantes por diferentes procesos físicos, químicos y biológicos naturales que actúan en el sistema suelo-roca o sedimento-agua subterránea (Blarasin, 2003).

Por lo expuesto y a modo de síntesis, se deduce por los conceptos desarrollados que, se puede obtener una alta vulnerabilidad sin riesgo de contaminación, debido a la ausencia de una carga significativa de contaminantes y viceversa. Aún más, la carga contaminante puede ser controlada o modificada, pero no la vulnerabilidad del acuífero, excepto en algunas actividades antrópicas donde se extraen la cubierta de suelos o de material de la zona no saturada (por ejemplo minería) y que puede reducir la vulnerabilidad natural (Foster e Hirata, 1991).

b) Metodologías de estudio y mapas de vulnerabilidad

La idea de describir el grado de vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación como una función de condiciones hidrogeológicas por medio de mapas, fue concebida para mostrar que la gran variedad de ambientes naturales provee diversa protección. De este modo, se definen áreas más vulnerables a la contaminación que otras, es decir, se trata de valores relativos y no absolutos. El objetivo principal de los mapas de vulnerabilidad es la división de una zona en pequeñas unidades que muestren potencialidades diferentes para un propósito o uso específico, constituyéndose así en una herramienta fundamental para asistir a planificadores y tomadores de decisiones en respuesta al planeamiento, manejo y control de los recursos hídricos. Estos mapas están clasificados como de carácter interpretativo para la protección del agua subterránea y derivan de los mapas hidrogeológicos generales (Blarasin, 2003).

En la actualidad, existen diferentes métodos que permiten la evaluación de la vulnerabilidad para una zona determinada y la elaboración de mapas, los cuales consideran una variedad de parámetros y en algunos casos, le otorgan una ponderación a cada una de las variables intervinientes de acuerdo a la importancia en la estimación (Tabla 11.14). En Argentina los métodos más utilizados son el DRASTIC y el GOD (DIOS, en castellano), aunque la elección para un determinado estudio dependerá de la información obtenida, el alcance de la investigación, la difusión de la metodología y la validación de los resultados (Auge, 2004). El método EPIK es el único desarrollado para acuíferos kársticos, mientras que el SINTACS es una derivación del DRASTIC, adecuado a Italia y se halla computarizado.

Debido a la claridad conceptual, sencillez en su aplicación y a que es un método robusto, en la presente tesis, se ha seleccionado la metodología GOD, la cual se explica con detalle a continuación.

Tabla 11.14. Ejemplos de diferentes metodologías utilizadas en la estimación de la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación

DRASTIC (Aller et al., 1987)		SINTACS (Civita et al., 1990)		GOD (Foster 1987; Foster e Hirata, 1988)		EPIK (Doerfliger y Zwahler, 1997)	
D	Profundidad del nivel freático	S	Profundidad del agua	G	Grado de confinamiento hidráulico	E	Características del epikarst
R	Recarga neta	I	Infiltración	O	Ocurrencia del sustrato suprayacente	P	Cobertura edáfica
A	Litología y estructura del acuífero	N	Zona saturada	D	Distancia al nivel del agua subterránea	I	Infiltración
S	Tipo de suelo	T	Tipo de suelo	EKv (Auge, 1995)		K	Red kárstica
T	Topografía del terreno	A	características del acuífero	E	Espesor de la zona saturada		
I	Impacto de la Zona no Saturada	C	Conductividad hidráulica	K	Permeabilidad vertical de la zona saturada	v	
C	Conductividad hidráulica	S	Topografía				

*** Método GOD**

Esta metodología desarrollada por Foster e Hirata (1988) y modificada en el año 1991, por los mismos autores, considera dos factores básicos: 1) el grado de inaccesibilidad hidráulica de la zona saturada y 2) la capacidad de atenuación de los estratos suprayacentes a la zona saturada del acuífero. Sobre esta base, caracteriza la

vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos en función de los parámetros **G** (grado de confinamiento hidráulico del acuífero), **O** (ocurrencia del sustrato suprayacente (zona no saturada o capas confinantes) en términos de características litológicas y grado de consolidación, que determinan su capacidad de atenuación de contaminantes) y **D** (distancia al agua determinada como: la profundidad al nivel del agua en acuíferos no confinados o la profundidad al techo de acuíferos confinados). Tal como se observa en la Figura 11.29, el índice final de vulnerabilidad, que varía entre 0 y 1 (siendo 1 más vulnerable), se obtiene multiplicando el valor asignado para cada variable.

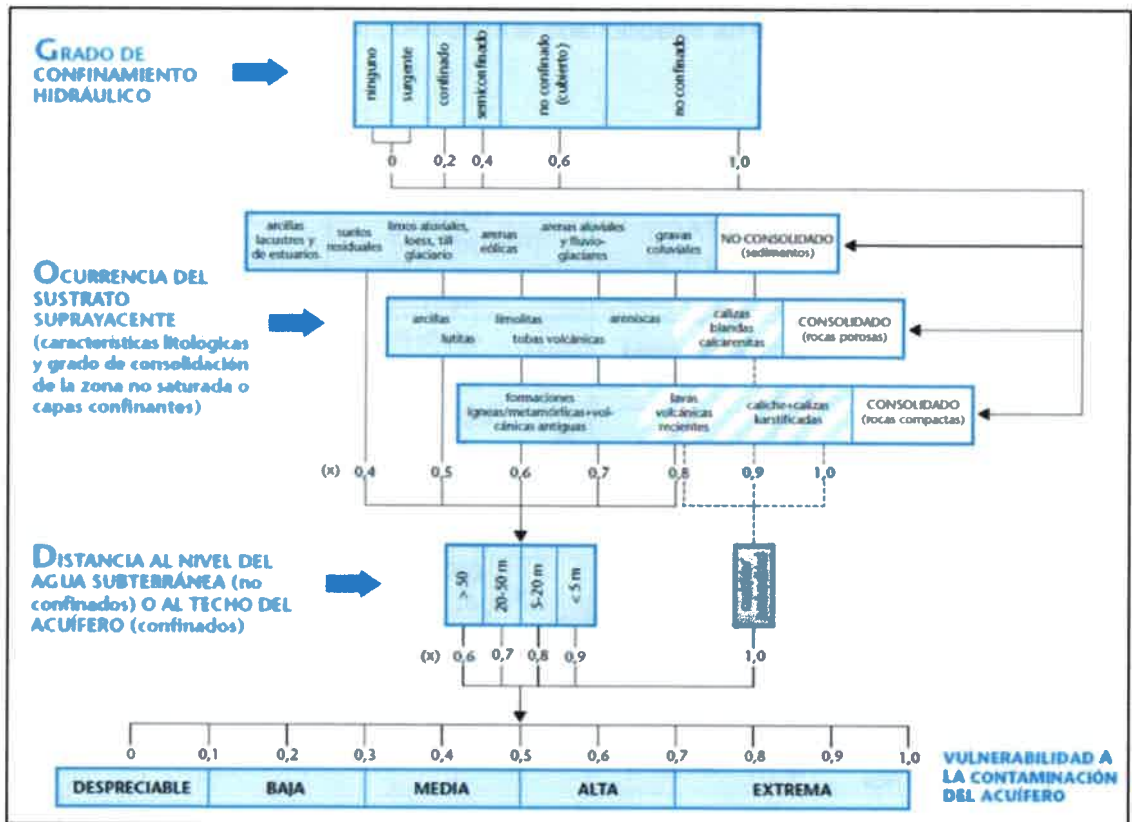


Figura 11.29. Índice GOD para evaluar la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación.

c) Determinación de la Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero freático en la zona de Villa Dolores

Tal como se mencionó anteriormente, el método elegido para evaluar la vulnerabilidad del acuífero freático a la contaminación, es el GOD.

- Para el parámetro "Grado de confinamiento hidráulico", el valor asignado es 1 (más vulnerable), ya que se trata de un acuífero freático y por lo tanto las actividades antrópicas pueden impactar en forma directa.

- Parámetro "Ocurrencia del sustrato suprayacente". En este caso, se consideraron las descripciones litológicas de las perforaciones presentes en el área de estudio. Al no tener una distribución uniforme de las mismas, en algunos casos, se interpretaron características de la zona no saturada con criterios geológicos, considerando los materiales aflorantes observados en el campo y los aspectos evolutivos de la unidad geomorfológica.

En la Tabla 11.15, se presentan los índices adoptados para las litologías presentes en la zona no saturada, los cuales se asignaron para la zona de estudio, con leves modificaciones de la propuesta original de la metodología GOD.

Tabla 11.15. Índices asignados a la litología de zona no saturada

Litología de la Zona No Saturada	Índice
Gravas medias y gruesas	0,9
Gravas finas y gravillas	0,8
Arenas gruesas, medias y finas	0,7
Arenas eólicas y fluviales finas y muy finas	0,6
Limos, loess	0,5
Pelitas (limo arcilloso)	0,4
Arcillas	0,3

En aquellos casos en que se dispuso de perforaciones, se obtuvo un valor ponderado de la variable, teniendo en cuenta la granulometría y el espesor de cada capa litológica, dividido por el espesor total de la zona no saturada tal como se ejemplifica en la Figura 11.30.

De acuerdo al índice asignado en cada perforación y a las consideraciones geológicas y geomorfológicas, en la Figura 11.31, se representa la distribución espacial de cada valor de la litología de la zona no saturada.

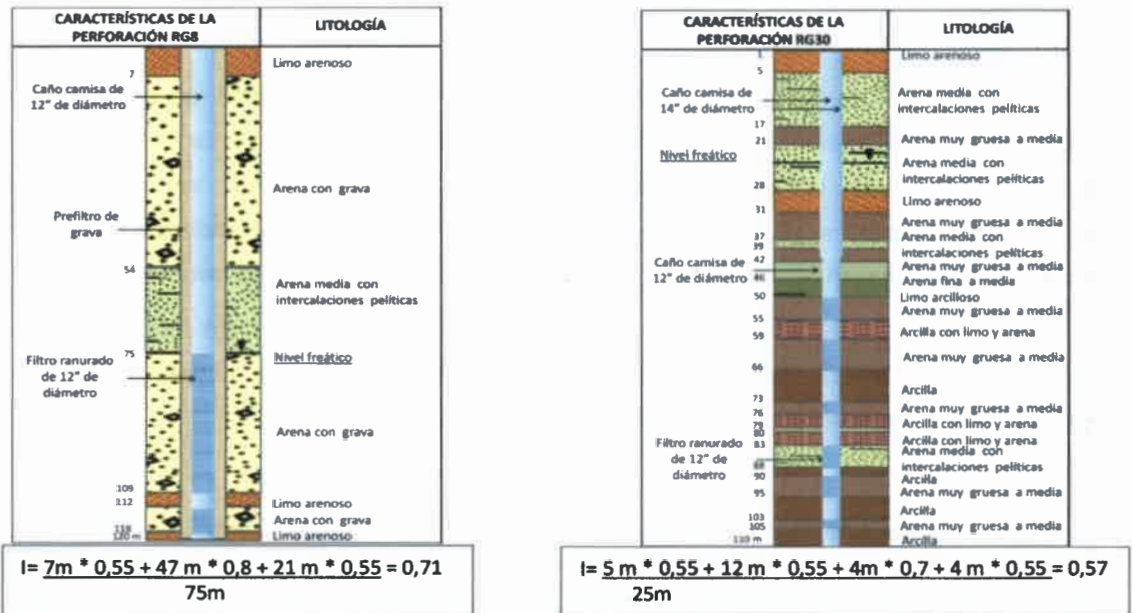


Figura 11.30. Ejemplo de dos valores diferentes para el parámetro O de dos perforaciones, considerando la litología y el espesor de la zona no saturada.

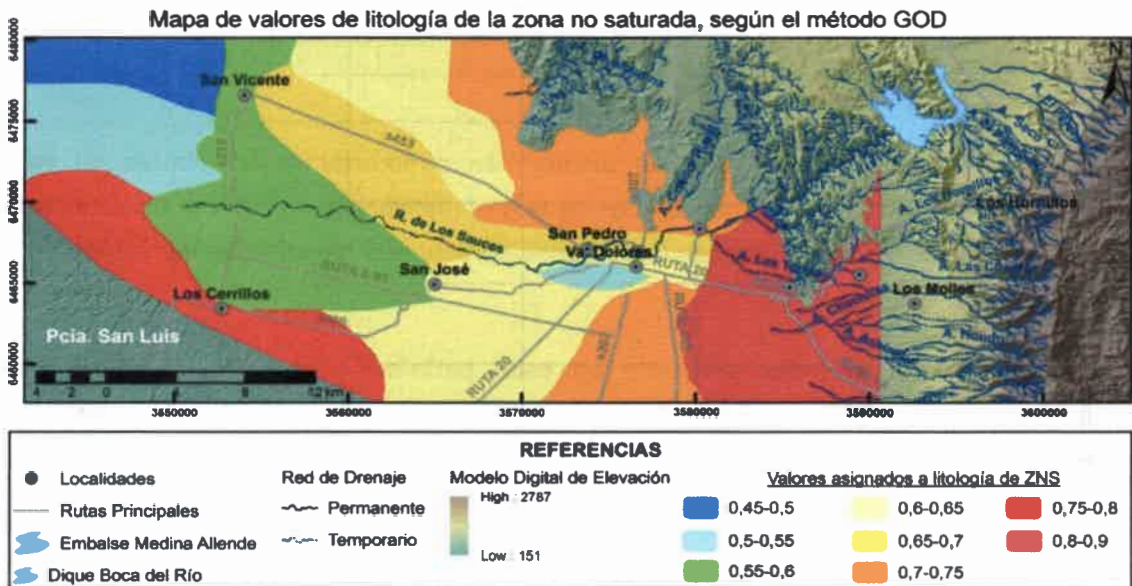


Figura 11.31. Mapa de valores asignados a la litología de la zona no saturada.

-Parámetro "Distancia al nivel del agua subterránea". Para esta variable se utilizó el mapa de isopropundidad del nivel freático elaborado en el capítulo 10 y que se presenta nuevamente en la Figura 11.32. En este caso, también se modificaron los valores originales

del método GOD, ajustándolos a las características de la zona de estudio para su mejor representación, tal como se observa en la Tabla 11.16.

Tabla 11.16. Índices atribuidos a la profundidad del nivel freático.

Profundidad del nivel freático (m)	Índice
< 10	0,9
10-20	0,8
20-30	0,75
30-40	0,7
40-50	0,65
50-60	0,6
>60	0,55

Mapa de valores asignados a la profundidad del Nivel Estático, según método GOD

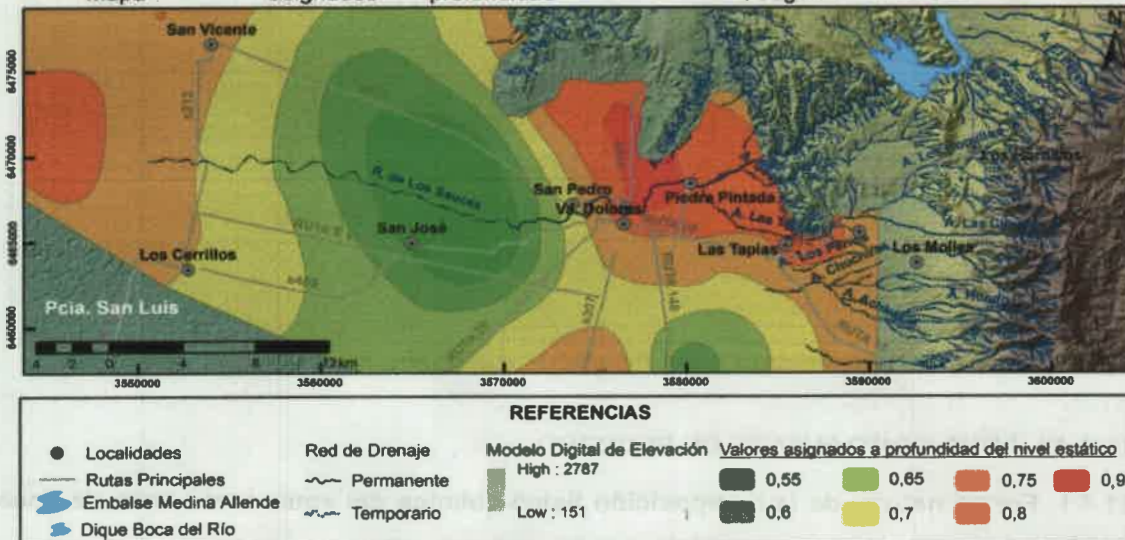


Figura 11.32. Mapa de valores asignados a la profundidad del nivel estático.

De esta forma, a partir de la combinación de los tres parámetros antes mencionados, se obtiene una *vulnerabilidad de media a alta* (entre 0,5 y 0,7 según el método original GOD) para toda la zona de estudio. Estas clases fueron adaptadas a la zona, quedando establecidas cuatro subclases (Figura 11.33), definidas *entre moderadamente media* (0,3 - 0,4), *media* (0,4 - 0,5), *moderadamente alta* (0,5 - 0,6) y *alta* (0,6 - 0,7). Así, se observa que la clase moderadamente media, está asociada principalmente a los sitios donde los valores de profundidad del nivel estático son más altos o donde los materiales que componen la zona no saturada son más finos, correspondiéndose con gran parte del abanico aluvial del río de Los Sauces y planicie fluvio-eólica. Por otra parte, los valores *más altos* de vulnerabilidad están relacionados a la *zona pedemontana*, donde las litologías son más

gruesas y el espesor de la zona no saturada, es menor. El resto de la zona y, en un porcentaje similar, se divide entre vulnerabilidad media y moderadamente alta.

Mapa de Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero libre, según método GOD.
Zona Villa Dolores

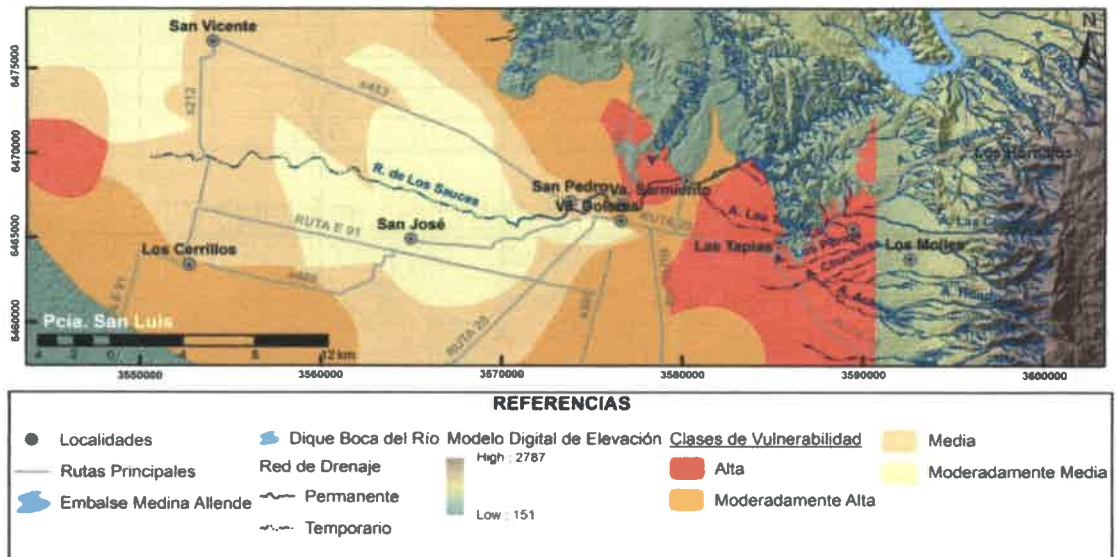


Figura 11.33. Mapa de Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero libre, según GOD.

11.4. EL AGUA COMO FUENTE DE RECURSO

11.4.1. Fondo natural de la composición físico-química del agua como base de línea ambiental

11.4.1.1. Introducción

El agua pura no existe en la naturaleza, por lo que su definición teórica como combinación química de oxígeno e hidrógeno no puede extenderse al estado en que se encuentra habitualmente. Al ser el solvente más abundante, es capaz de incorporar gran cantidad de sustancias a través del contacto con el terreno por el que circula. En un agua subterránea natural, la mayoría de estas sustancias disueltas se encuentran en estado iónico (Custodio y Llamas, 1983). Esta característica, sumado a una serie de procesos, le confiere a los sistemas hidrológicos una determinada composición química.

Como ya se analizara en capítulos precedentes, en aguas subterráneas naturales, esta composición está determinada por la suma de los componentes derivados de la litología de la zona no saturada y del acuífero, por los aportes biosféricos y atmosféricos (modificados por evapotranspiración) y de las reacciones que tienen lugar a lo largo de las trayectorias de flujo en la zona saturada, siendo de suma importancia la variabilidad de los

espesores de zona no saturada, las conductividades hidráulicas, los gradientes hidráulicos, la recarga y las características geológico-geomorfológicas que influyen en la dinámica y en la calidad del agua (Edmunds y Shand, 2008; Matteoda, 2012).

Manzano et al (2005) definen como las principales fuentes de la calidad 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. De esta forma, la línea de fondo de las aguas subterráneas estará representada por un intervalo de valores que reflejan la variabilidad espacial natural en la calidad del agua debido a factores geológicos, geoquímicos y ambientales (Edmunds y Shand, 2008).

Por lo tanto, determinar la calidad intrínseca de las aguas naturales, es de relevancia fundamental para poder identificar y diferenciar los impactos derivados de actividades antrópicas sobre los sistemas hidrológicos. De esta manera, surge la necesidad de entender el concepto de fondo natural o línea de base a fin de poder establecer un punto de partida para el monitoreo de las aguas subterráneas.

Según Edmunds y Shand (2008), los términos "fondo" y "umbral" se utilizaron en diferentes disciplinas para identificar concentraciones anómalas respecto a valores "típicos". Estos autores definen el fondo natural de la calidad del agua (Baseline) como el rango de concentraciones de un compuesto químico, isótopo o elemento dado presente en solución, derivado de fuentes puramente naturales, geológicas, biológicas o atmosféricas, bajo condiciones no perturbadas por actividad antropogénica. Anteriormente y acordando con esta postura, Manzano et al. (2004) lo definen como aquellas condiciones físico-químicas propias del agua subterránea que derivan de procesos puramente naturales. Más específicamente y por las incertidumbres que genera la definición, agregan que el fondo natural es el rango de concentraciones en el agua subterránea de un cierto elemento, especie o sustancia presente, y derivado de fuentes geológicas, biológicas o atmosféricas naturales.

Teniendo en cuenta que en la actualidad son escasos los lugares que no se encuentran impactados por las actividades humanas, Panno et al. (2006) sugieren hablar de "fondo actual" (*present day background*) para incluir concentraciones de contaminantes relacionados a las actividades antrópicas, que se encuentran elevados con respecto a las condiciones pre-asentamiento humano. Por ello, por ejemplo, para el fondo actual del nitrato (NO_3^-), se deben incluir no sólo las concentraciones derivadas naturalmente, sino también aquellas provenientes de residuos de la materia orgánica del suelo, de cultivos, productos

de la combustión y evaporación de amoníaco de fertilizantes orgánicos y, sintéticos y residuos ganaderos (Panno et al., 2006).

11.4.1.2. Metodología para el cálculo de Fondo Natural

En el estudio del fondo natural es necesario tener en claro si las concentraciones del ion estudiado corresponden pura y exclusivamente a fuentes naturales o si algunas de ellas se encuentran perturbadas antrópicamente. En el primer caso, todos los valores obtenidos formarán parte del rango (intervalo) de fondo natural, mientras que en el segundo caso es necesaria la aplicación de alguna metodología que permita excluir aquellos valores que sean producto de algún tipo de contaminación (Matteoda, 2012).

Para el caso de los iones As y F, cuyas concentraciones en el agua subterránea dependen de la composición mineralógica y ambiente geoquímico propios de una zona, se deben considerar todos los valores obtenidos en el muestreo, mientras que para el NO_3^- que puede derivar de fuentes antrópicas, se debe extraer los valores anómalos correspondientes a contaminación.

Tradicionalmente, el uso de técnicas estadísticas ha asumido que las distribuciones geoquímicas son normales, o más generalmente, lognormal (Ahrens, 1954). En sistemas más naturales, incluyendo las aguas subterráneas, las distribuciones geoquímicas pueden ser polimodal y están fuertemente sesgadas (Shand y Frengstad, 2001). Desde el punto de vista estadístico, es necesario para determinar el fondo natural, conocer 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 μ , el cual puede ser obtenido usando estimadores muestrales como la media, mediana, rango medio, etc., o combinaciones lineales de éstos (Blarasin et al. 2006, 2008; Matteoda et al. 2008).

Para propósitos prácticos, en las concentraciones de línea de base son utilizados rangos y no un promedio de valores. Este rango puede ser descripto de diversas maneras, por ejemplo, a través de la media y la desviación estándar, el rango total de valores o describiendo el máximo y mínimo de las concentraciones de línea de base después de remover los outliers. El parámetro estadístico más comúnmente utilizado, es la *mediana o moda*, de utilidad cuando se compara la línea de base de acuíferos de diferentes áreas o dentro del mismo acuífero de diferentes regiones. El uso de la mediana en lugar de la media es más útil para comparar diferentes conjuntos de datos porque es más robusto y mucho menos afectada por los outliers (Edmunds y Shand, 2008). En el mismo sentido, Manzano et

al. (2004) proponen, para el cálculo del fondo natural, utilizar la mediana como parámetro más ilustrativo del valor característico de un componente y los percentiles 2,3% y 97,7% para ilustrar su rango de variación, lo cual asegura que el 95,4% de la población estudiada esté dentro del rango. Por su parte, Blarasin et al. (2012) consideran al rango de fondo natural (RFN) como el intervalo comprendido entre el valor máximo y mínimo de un elemento estimado como fondo natural de un acuífero y el VCF (valor característico de fondo natural) como el percentil 50 o mediana.

Otras técnicas que han sido utilizados para ilustrar datos hidrogeoquímicos incluyen diagramas de caja que muestran la mediana, media, percentiles especificados y outliers (Edmunds et al., 2003).

11.4.1.3. Cálculo del fondo natural de nitratos en la zona de estudio

Para la estimación de los valores relacionados al fondo natural del nitrato, se consideraron las 30 muestras de agua extraídas de diferentes perforaciones en la zona de estudio. Como primer paso, se determinó la distribución que presenta el conjunto de datos. A diferencia de lo que ocurre en otros estudios del Sur de la provincia de Córdoba (Blarasin et al., 2006; Matteoda, 2012; Giuliano Albo y Blarasin, 2013; Savini, 2014), se observa que los datos obtenidos en relación al ion nitrato, se ajustan a la distribución "Normal" (Figura 11.34), por lo que se puede deducir, que la mayoría de los datos pertenecen a valores cercanos al fondo natural, a excepción de los outliers (anómalos) que se observan en el diagrama de caja de la Figura 11.35.

De esta forma y siguiendo a Walter (2006), se excluyeron de forma iterativa, a través de diferentes cortes, los valores más elevados o "outliers" que distorsionan el ajuste y que pueden considerarse como derivados de contaminación relacionados a la actividad humana, obteniendo

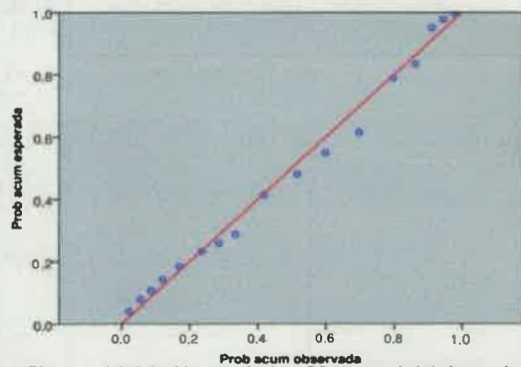


Figura 11.34. Ajuste de los 30 datos iniciales a la Distribución Normal

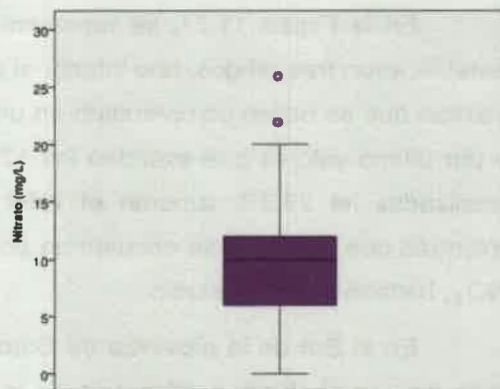


Figura 11.35. Diagrama de caja. NO₃⁻

un valor de fondo natural actual de 7,8 mg/L (n=23 datos) y un rango de fondo natural actual que varía entre 0 y 12 mg/L. Como se observa en la Figura 11.36, el primer corte se realizó en el percentil 90%, excluyendo aquellos valores superiores a 20 mg/L, mientras que en el segundo corte, también en el percentil 90%, se eliminaron los valores que exceden 15 mg/L, quedando de esta forma, los datos que representarían la población que Walter (2006) denomina "Normal".

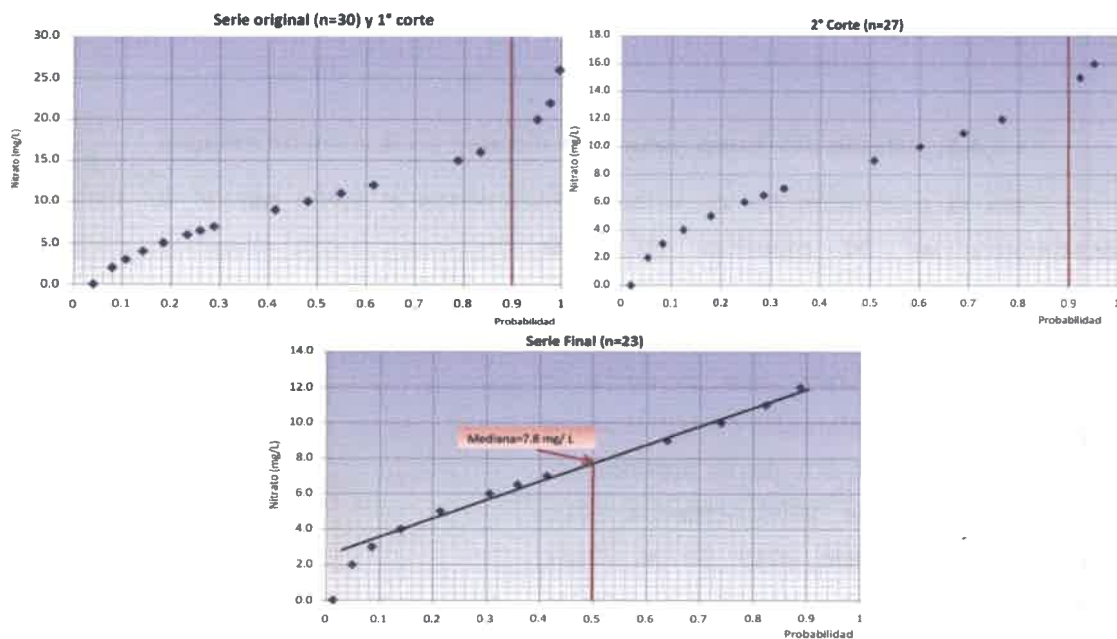


Figura 11.36. Gráficos de probabilidad y exclusión de datos outliers para NO_3^-

En la Figura 11.37, se representa la distribución del contenido de NO_3^- , donde se establecieron tres rangos: uno inferior al valor característico de fondo natural actual, otro con valores que se hallan comprendido en un intervalo entre 7,8 y el límite máximo de variación y por último valores que exceden los 12 mg/L. Si se consideran, las 30 muestras de agua analizadas, el 23,3% superan el valor máximo del rango de fondo natural (12 mg/L), mientras que el 63,3% se encuentran por encima del valor característico (7,8 mg/L) para el NO_3^- , hallado en este estudio.

En el Sur de la provincia de Córdoba, donde el desarrollo la actividad agrícola lleva más de una centuria, a diferencia de lo que ocurre en la zona de Traslasierras, donde la presión de uso de ésta actividad se ha potenciado en las últimas décadas, existen numerosos trabajos destinados a la estimación del fondo natural para el nitrato, donde se

han encontrado valores similares, e incluso mayores, a los hallados en el presente trabajo. De esta forma, Blarasin et al. (2006) establecieron un valor de 7,9 mg/L en la cuenca del arroyo La Colacha, mientras que Matteoda (2012) para la cuenca del arroyo El Barreal obtiene un valor de 12 mg/L para el NO_3^- . Por su parte Giuliano Albo y Blarasin (2013) estiman un valor característico de 7,5 mg/L para las cuencas de los arroyos Barranquita y Knutzen, y Savini (2014) calcula un valor de 4,3 mg/L de nitrato para la cuenca del arroyo Mosuc Mayú. En todos los casos analizados, los autores aclaran que estos valores pueden verse alterados dado que en las zonas de estudio, son muy comunes y de larga data, las actividades agrícolas ganaderas, con el uso cada vez más extendido de fertilizantes, por lo que concluyen que es más adecuado hablar de fondo actual del NO_3^- .



Figura 11.37. Distribución de las concentraciones de NO_3^- en la zona de estudio, según valores de fondo natural.

Por otra parte, a nivel nacional también se han desarrollado diversos trabajos en diferentes zonas, entre los que se destacan: Bonorino et al. (1999), quienes hallan un valor de 12,6 mg/L en acuífero freático de la zona periserrana de las Sierras Australes (Pcia. de Buenos Aires) atribuible a un origen natural, principalmente por mineralización de la materia orgánica en el suelo. A su vez, Rocha y Baudino (2002) citan un valor de fondo de las concentraciones de NO_3^- en el agua subterránea en la ciudad de Salta, menor a 10 mg/L y por último Blarasin et al. (2012) para la localidad de Justo Daract (Pcia. de San Luis) obtienen un valor característico de 10 mg/L para el mencionado ion.

11.4.2. Aptitud de uso del recurso hídrico

En este apartado se presenta la aptitud del agua superficial y subterránea para diferentes usos, como consumo humano, ganadero y riego. Para ello, se tuvo en cuenta los límites admisibles para consumo humano del Código Alimentario Argentino (CAA, 2007) y para consumo ganadero la clasificación de Bavera (2001) (Figura 11.38). Por otra parte, debido a la gran proporción del territorio que se destina para agricultura bajo riego, se utilizaron las clasificaciones de FAO (Ayers y Westcott, 1985) y Riverside (Richards, 1954) para esta actividad (Figura 11.38). La primera, se considera más adecuada ya que tiene en cuenta aguas de baja conductividad eléctrica (menor a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) que pueden originar problemas de infiltración, debido a que tienden a lavar sales solubles del suelo, principalmente calcio. Sin embargo también se presentan los resultados de la clasificación de Riverside ya que la misma es muy utilizada en el país, aunque considera el riesgo de sodificación en función de la salinidad del agua de forma inversa a la FAO. Cabe destacar, que estos resultados, deben ser complementados con análisis de suelos que determinen su capacidad para esta actividad, además de tener en cuenta los caudales que se deben extraer para llevar a cabo la irrigación.

Debido a los efectos toxicológicos que puede producir el consumo de determinadas concentraciones de iones en el agua de bebida sobre la salud humana, se hace hincapié en la observación de los valores de nitratos (NO_3^-), arsénico (As) y flúor (F^-) tanto en el agua superficial como subterránea.

A diferencia de los iones As y F^- , la presencia de elevadas concentraciones de los compuestos derivados del nitrógeno, como el NO_3^- , se debe específicamente a actividades llevadas a cabo por el hombre, entre las cuales se pueden mencionar la disposición de excretas en pozos ciegos, la utilización de feed-lots en establecimientos agropecuarios, el uso de fertilizantes en actividades agrícolas, entre otras. Dada la relevancia que tiene la actividad agrícola en la zona, principalmente por el uso conjunto del riego con fertilizantes, se presentan los resultados de los análisis de agua para este compuesto en el apartado correspondiente.

Los valores límites establecidos para consumo humano por el CAA, para estos iones se presentan en la Figura 11.38.

LIMITES DE APTITUD ADMITIDOS PARA CONSUMO HUMANO
(Código Alimentario Argentino,CAA)

- * **Arsénico:** 10 µg/L
- * **Fluoruros:** 1,3 mg/L (para una Temperatura media de 16 °C)
- * **Nitratos:** 45 mg/L
- * **Sulfatos:** 400 mg/L
- * **Cloruros:** 350 mg/L
- * **Sales Disueltas Totales:** 1.500 mg/L

La Secretaría de Recursos Hídricos de Córdoba establece para Arsénico, hasta tanto se tengan estudios epidemiológicos amplios y completos (Res. 074/06):
a) límite ideal= 10 µg/L.
b) límite aceptable= 50 µg/L.
c) límite tolerable= 100 µg/L.

REFERENCIAS GEOQUÍMICAS

CO₃²⁻= Carbonatos; HCO₃⁻= Bicarbonatos; SO₄²⁻= Sulfatos; Cl⁻= Cloruros;
Na⁺= Sodio; K⁺= Potasio; Ca²⁺= Calcio; Mg²⁺= Magnesio; As= Arsénico;
F= Flúor; NO₃⁻= Nitrato

CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA GANADERÍA
(Bavera 2001)



Tambo e Inverne	SDT	CINa	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻
Deficiente	< 1 g/L	---	---	---	---
Muy Buena	> 1 g/L	0,6 g/L	0,5 g/L	0,20 g/L	0,05 g/L
Buena	Hasta = 2 g/L	1,2 g/L	1,0 g/L	0,25 g/L	0,20 g/L
Aceptable	Hasta = 4 g/L	2,4 g/L	1,5 g/L	0,30 g/L	0,30 g/L
Mala Usable	Hasta = 7 g/L	4,2 g/L	2,5 g/L	0,40 g/L	0,40 g/L
----	Hasta = 11 g/L	6,6 g/L	4,0 g/L	0,50 g/L	0,50 g/L
----	Hasta = 13 g/L	10,0 g/L	7,0 g/L	0,60 g/L	---

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

CLASIFICACIÓN DE AGUAS PARA RIEGO - SEGÚN RIVERSIDE
(Diagrama de USLS. Modificado por Richards L.A. 1954)

Clase	Aptitud	Peligrosidad Salina y Sódica
I	Excelente	C1-S1
II	Buena	C1-S2, C2-S2, C2-S1
III	Buena a Regular	C1-S3, C2-S3, C3-S1, C3-S2, C3-S3
IV	Regular a Mala	C1-S4, C2-S4, C3-S4, C4-S1, C4-S2, C4-S3, C4-S4
V	Inapropiada	CE mayor a 5.000 µS/cm y Ras mayor a 30



CLASIFICACIÓN DE AGUAS PARA RIEGO - SEGÚN FAO
(Ayer y Westcot, 1985)



	GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO		
	NINGUNO	LIGERO O MODERADO	SEVERO
Problema potencial: SALINIDAD			
CE (µS/cm)	<700	700 - 3.000	>3.000
Problema potencial: INFILTRACIÓN			
RAS entre 0 y 3 y CE=	>700	700 - 200	<200
RAS entre 3 y 6 y CE=	>1.200	1.200 - 300	<300
RAS entre 6 y 12 y CE=	>1.900	1.900 - 500	<500
RAS entre 12 y 20 y CE=	>2.900	2.900 - 1.300	<1.300
RAS entre 20 y 40 y CE=	>5.000	5.000 - 2.900	<2.900

Importante: Para riego, la aptitud de uso del agua debe ser complementada con la aptitud de riego de los suelos.

Figura 11.38. Límites admisibles para consumo humano, según el CAA, para consumo ganadero (Bavera, 2001) y aptitud para riego según Riverside y FAO.

- Consumo Humano

En este apartado sólo se presentan los resultados de los análisis físico-químicos del agua superficial y subterránea, los cuales deben ser complementados con un análisis microbiológico cuando se considera la aptitud del agua para consumo humano.

Agua Superficial: de las muestras analizadas, se observa que el 57,14% y 72,70% es apta para consumo humano para los años 2011 y 2014 respectivamente, mientras que el 42,86% (año 2011) y 27,30% (año 2014) resultaron no aptas para tal fin, principalmente por el color que presenta el agua (Figura 11.39 – Tabla 11.17).

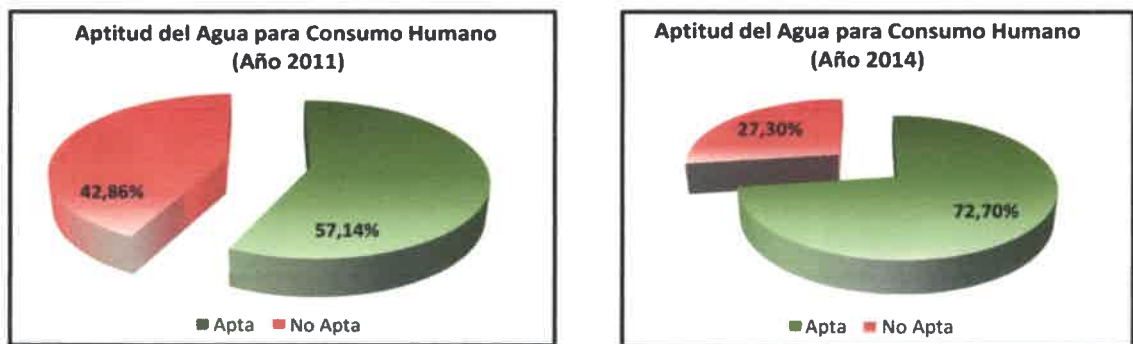


Figura 11.39. Porcentaje de aptitud del agua superficial para consumo humano para la zona de Villa Dolores. Años 2011 y 2014.

Como se observa en la Tabla 11.17, aquellos puntos que fueron muestreados en las dos estaciones, presentan algunas diferencias en cuanto a su aptitud para consumo humano.

Tabla 11.17. Aptitud del agua superficial para consumo humano años 2011 y 2014.

Muestra	Aptitud		Limitantes
	2011	2014	
KA1	S/D	APTA	
KA2	APTA	S/D	
KA3	NO APTA	APTA	Color
KA4	NO APTA	APTA	Color
KA5	NO APTA	APTA	Color
KA7	APTA	APTA	
KA8	APTA	APTA	
KA9	APTA	S/D	
KA10	APTA	S/D	
KA11	NO APTA	S/D	Color, SO4=, F
KA12	APTA	S/D	
KA13	APTA	NO APTA	Color
KA14	NO APTA	S/D	Color
KA15	APTA	APTA	
KA16	NO APTA	NO APTA	Color
KA18	S/D	APTA	
KA20	S/D	NO APTA	Color y Olor

Las muestras KA3, KA4 y KA5 fueron no aptas para tal fin en el año 2011 y aptas en el año 2014, mientras que para la muestra KA13 el resultado fue inverso. En todos los casos analizados, la falta de aptitud se debe al parámetro color, lo cual puede deberse a un aumento en el contenido de materia orgánica, variable no analizada en la presente tesis.

Queda en evidencia, por lo expuesto, la variabilidad que tiene el agua superficial con respecto a algunos parámetros analizados según la época del año.

Cabe aclarar que en la Figura 11.40 se presenta la distribución de las muestras de agua superficial según la aptitud para consumo humano, teniendo en cuenta los resultados del año 2011, sumados a los del año 2014, inexistentes en el muestreo del 2011.

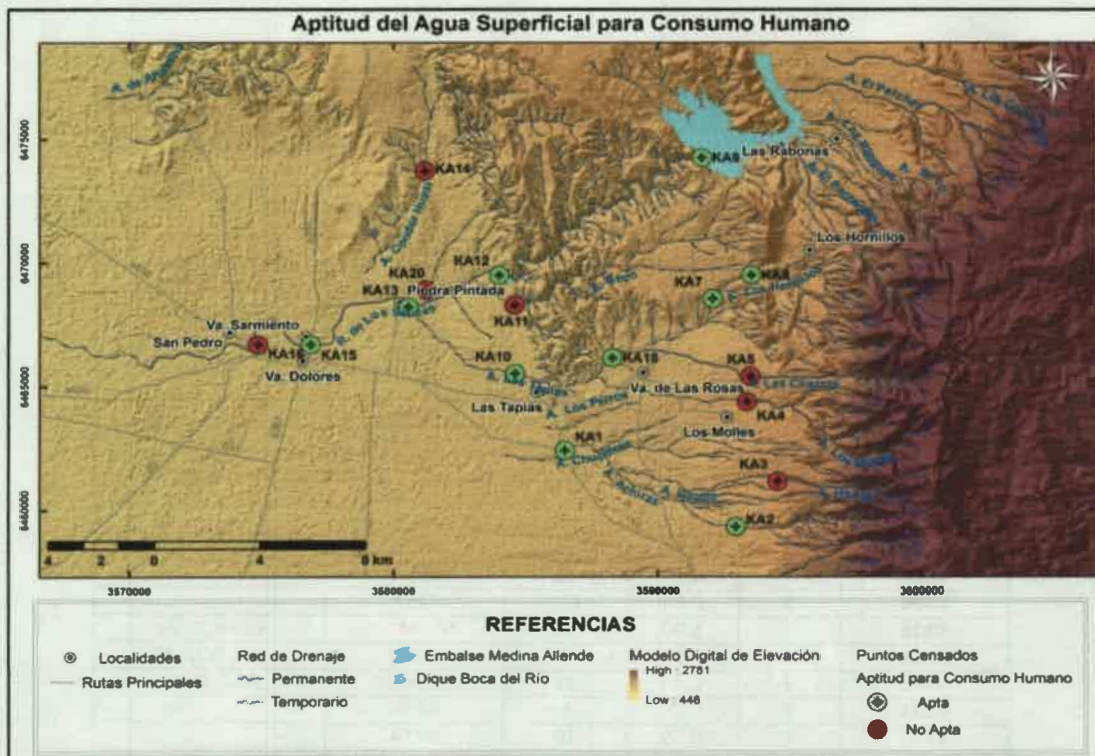


Figura 11.40. Mapa de aptitud de uso del agua superficial para consumo humano para la zona de estudio, años 2011 y 2014.

Agua Subterránea: Como se observa en la Figura 11.41, el 80% de las muestras de agua subterránea resultó apta para consumo humano, mientras que el 20% restante no es apta por superar los límites admisibles en SDT, SO_4^{2-} , Cl^- , Dureza, As y F (Tabla 11.18).

A diferencia de lo que ocurre en muchos sectores de la provincia de Córdoba, sólo en una muestra, se sobrepasó los límites en As y F⁻ y en ningún caso, se superó el límite para consumo humano en NO₃⁻ (45 mg/L), siendo en general los valores para este compuesto, bajos.

En la Figura 11.42, se presenta la distribución de las muestras en la zona estudiada.

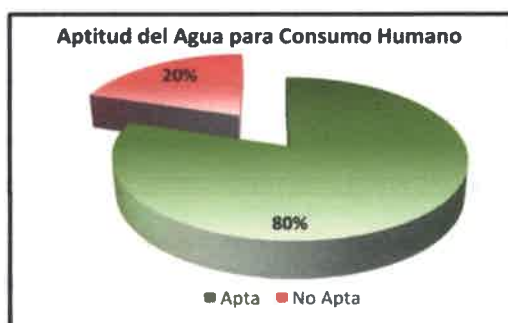


Figura 11.41. Porcentaje de aptitud del agua subterránea para consumo humano

Tabla 11.18. Clasificación del agua subterránea para consumo humano

Muestra	As (ug/L)	F ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Aptitud	Limitantes
KB1	1	1,0	7	APTA	
KB2	1	1,1	6	NO APTA	Dureza total
KB3	0	0,6	7	APTA	
KB4	1	0,2	5	APTA	
KB5	1	0,3	9	APTA	
KB7	1	0,4	12	APTA	
KB10	1	0,2	10	APTA	
KB12	2	0,3	9	APTA	
KB13	2	0,3	12	APTA	
KB15	0	0,42	16	APTA	
KB16	1	0,22	15	APTA	
KB18	1	0,22	12	APTA	
KB20	2	0,42	12	APTA	
KB22	5	0,55	26	APTA	
KB23	4	0,17	11	APTA	
KB24	4	0,29	16	APTA	
KB26	1	0,34	6,5	APTA	
KB28	25	5,00	15	NO APTA	Color, F ⁻ , As
KB29	9	0,38	10	NO APTA	SDT, SO ₄ ⁻ , Cl ⁻
KB32	3	0,46	22	NO APTA	SDT, SO ₄ ⁻ , Cl ⁻ , Dureza
KB33	9	0,75	5	APTA	
KB35	1	0,55	10	APTA	
KB37	0	1,35	2	NO APTA	SDT, SO ₄
KB39	3	0,2	20	NO APTA	Dureza Total
KB40	7	0,3	11	APTA	
KB41	7	0,5	4	APTA	
KB42	12	0,5	3	APTA	
KB44	10	0,4	6	APTA	
KB45	2	0,4	9	APTA	
KB46	1	0,4	0	APTA	

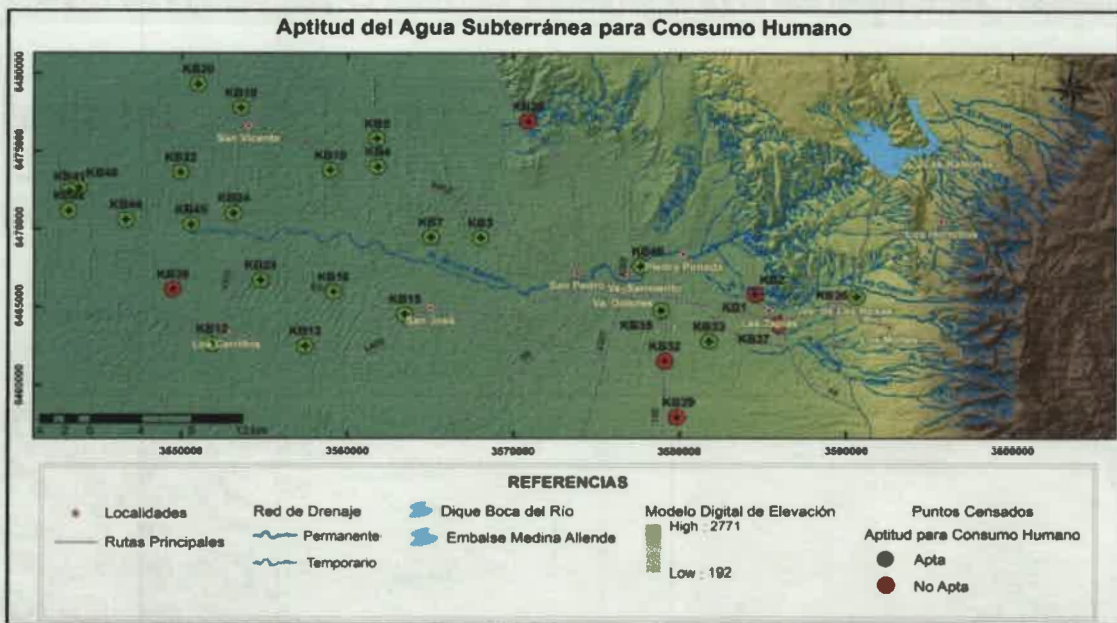


Figura 11.42. Mapa de aptitud de uso del agua subterránea para consumo humano para la zona de Villa Dolores.

- Consumo Ganadero

Agua Superficial: Teniendo en cuenta la clasificación de Bavera (2001), las muestras de agua fueron *deficientes* en sales en un 94,10 % debido al bajo contenido salino que presentan y *buenas* en un 5,9 % (Figura 11.43 – Tabla 11.19). Si se comparan los resultados obtenidos en el 2011 y 2014, no hay diferencias en cuanto a la aptitud del agua para consumo ganadero, es por ello, que en el mapa de la Figura 11.44, sólo se presentan espacialmente las muestras de 2011, agregando las del 2014, inexistentes en el primer muestreo.

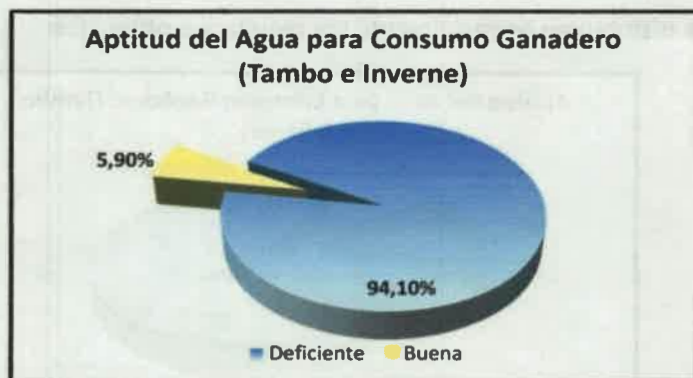


Figura 11.43. Aptitud del agua superficial para consumo ganadero para animales de tambo e inverne.

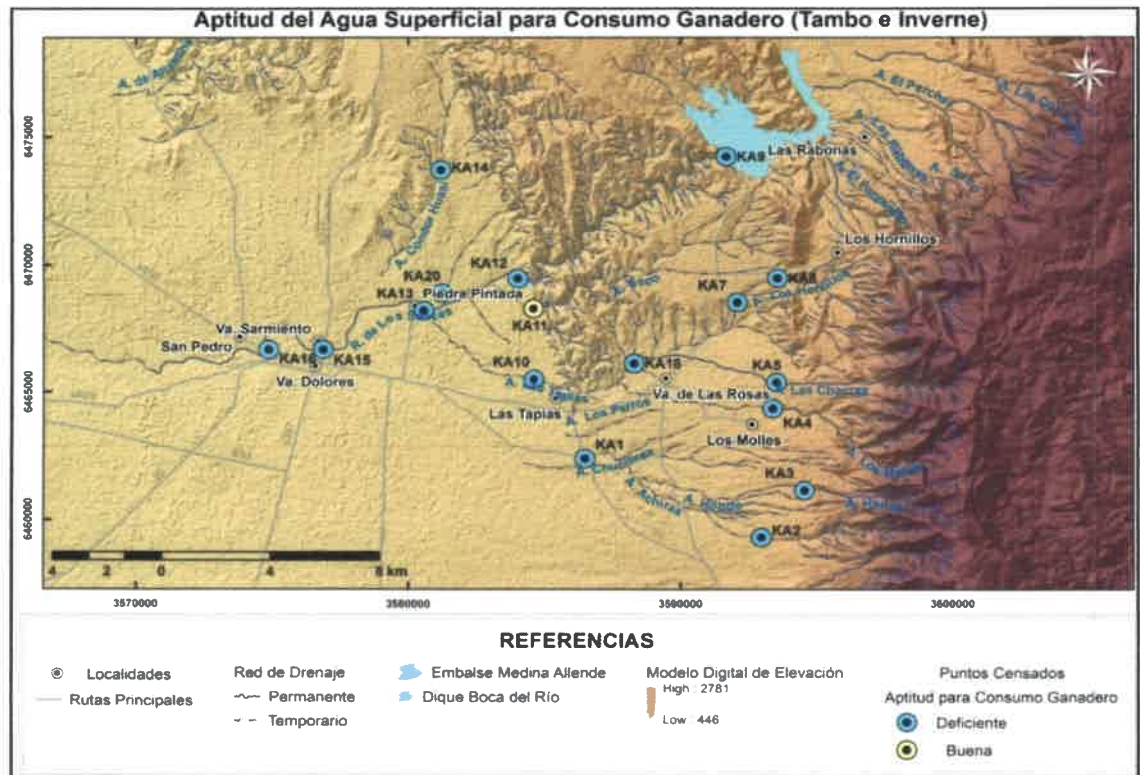


Figura 11.44. Mapa de aptitud del agua superficial para consumo ganadero, en la zona de estudio.

Agua Subterránea: El agua resultó en su mayoría *deficiente* en sales (80 %) para animales destinados a tambo e inverne. Por otra parte, sólo el 10 % fue *muy buena*, el 3,3 % *buena* y el 6,7 % *aceptable* (Figura 11.45 – Tabla 11.20). Cabe aclarar que la deficiencia en sales, no hace que el agua no sea apta para consumo ganadero ya que puede ser suplementada con minerales en la alimentación animal. En la Figura 11.46 se puede observar cómo se distribuyen espacialmente los resultados obtenidos.



Figura 11.45. Aptitud del agua subterránea para consumo ganadero para animales de tambo e inverne.

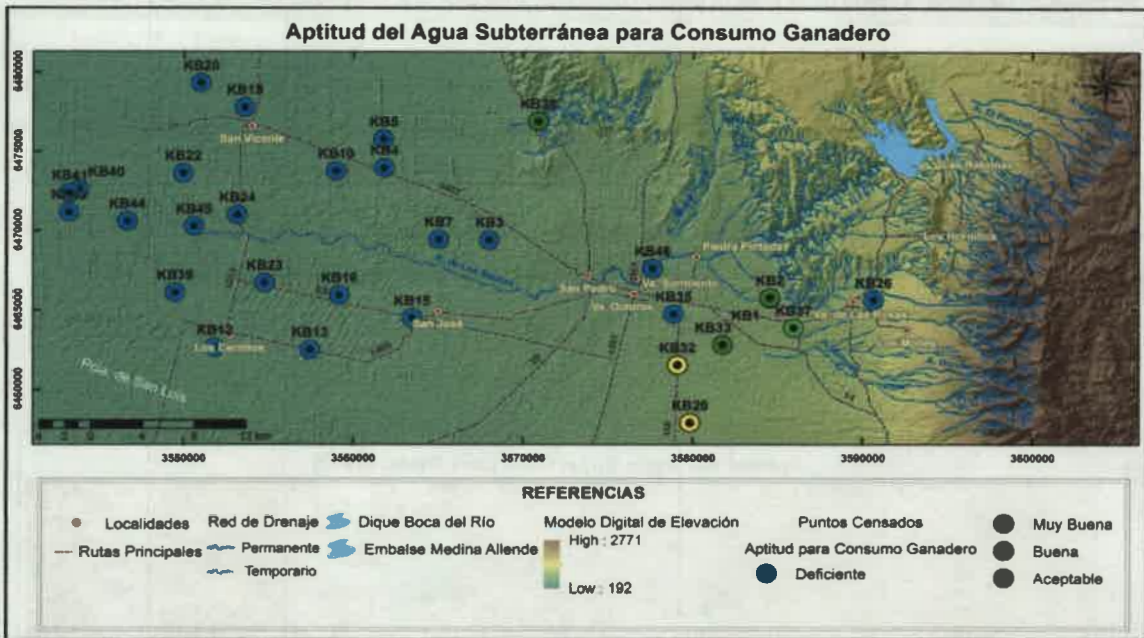


Figura 11.46. Mapa de aptitud del agua para animales destinados a tambo e invernepara la zona de estudio.

- Riego

Agua Superficial: Si se considera la clasificación de FAO para riego (Tabla 11.19), el agua resultó *apta* en un 70,6% y *no apta* en un 29,4% por pérdida de infiltración ocasionada por el bajo contenido salino (Figura 11.47). Por otra parte, teniendo en cuenta la clasificación de Riverside para la mencionada actividad, se obtiene que un 52,9% de la muestras es *excelente*, mientras que el 41,2% es *buena* y el 5,9% es de *buena a regular* (Figura 11.47). Como puede observarse y como se explicó anteriormente, aquellas muestras que resultan excelentes para Riverside, no son aptas para irrigación por la clasificación de FAO, ya que la primera no considera los perjuicios que pueden ocasionar los bajos contenidos salinos del agua.

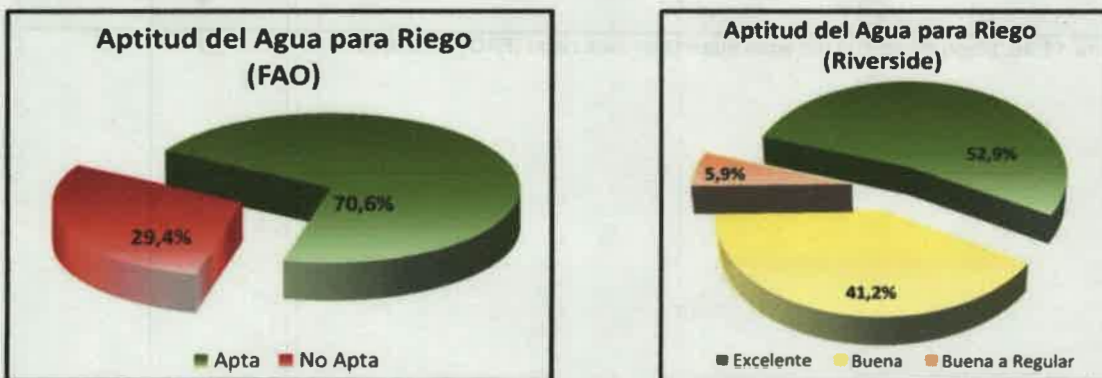


Figura 11.47. Porcentaje de aptitud del agua superficial para riego según la clasificación de FAO y Riverside

De las muestras obtenidas en 2011 y 2014, a excepción de la muestra KA13 que cambió su aptitud de uso para riego según Riverside, de excelente (2011) a buena (2014), el resto de las muestras se mantuvieron igual en los dos períodos considerados.

En las Figuras 11.48 y 11.49, se presentan la distribución espacial de la muestras en la zona de estudio, según la clasificación de FAO y Riverside respectivamente.

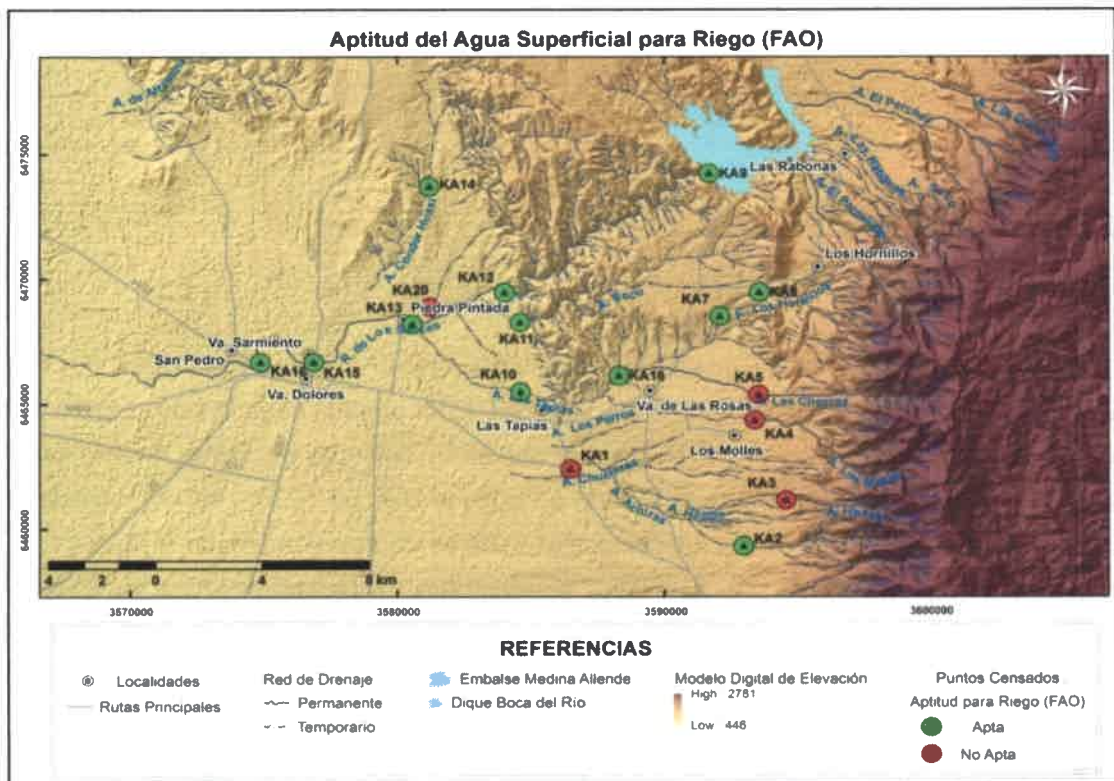


Figura 11.48. Mapa de aptitud del agua superficial para riego (FAO) para la zona de Villa Dolores.

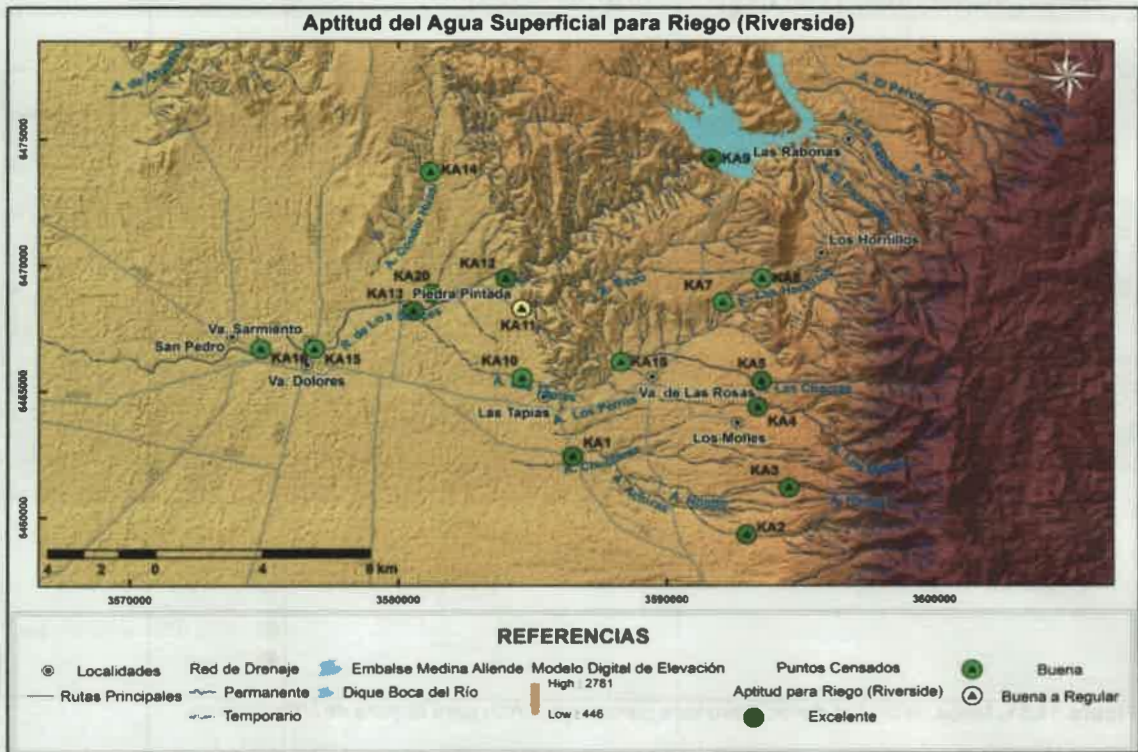


Figura 11.49. Mapa de aptitud del agua superficial para riego (Riverside) para la zona de Villa Dolores, representando los resultados de las muestras obtenidas en 2011, sumadas a las del 2014, inexistentes en el primer muestreo.

Agua Subterránea: atendiendo a la clasificación de la FAO (Tabla 11.20), el agua de acuífero libre, resultó *apta* para riego en un 89,65% y *no apta* en un 10,35% (Figura 11.50). Mientras que para Riverside (Tabla 11.20), el agua es *excelente* en un 3,3%, *buena* en un 56,7%, *buena a regular* en un 30% y de *regular a mala* en un 10% (Figura 11.50). Como puede observarse, para ambas clasificaciones, se obtuvo el mismo porcentaje en cuanto a su aptitud (10,35%, siendo éste bajo dada la importancia del riego en la zona de estudio). En los mapas de la Figuras 11.51 y 11.52, se observan la distribución espacial de las muestras considerando la calificación de FAO y Riverside, respectivamente.

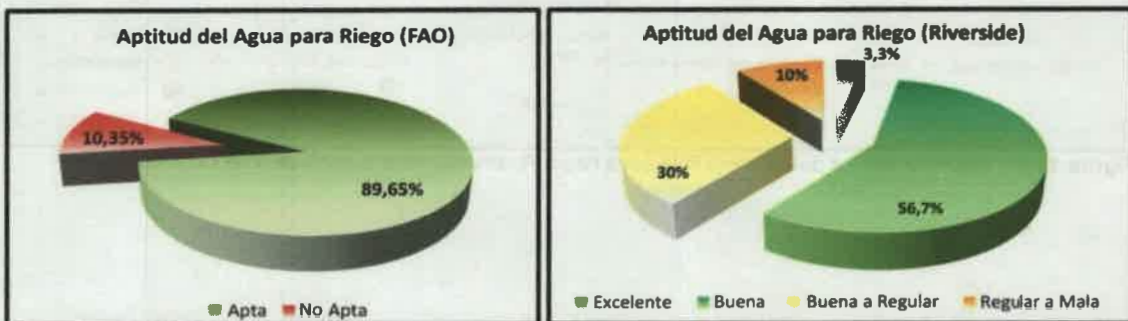


Figura 11.50. Clasificación de FAO y Riverside del agua subterránea para riego.

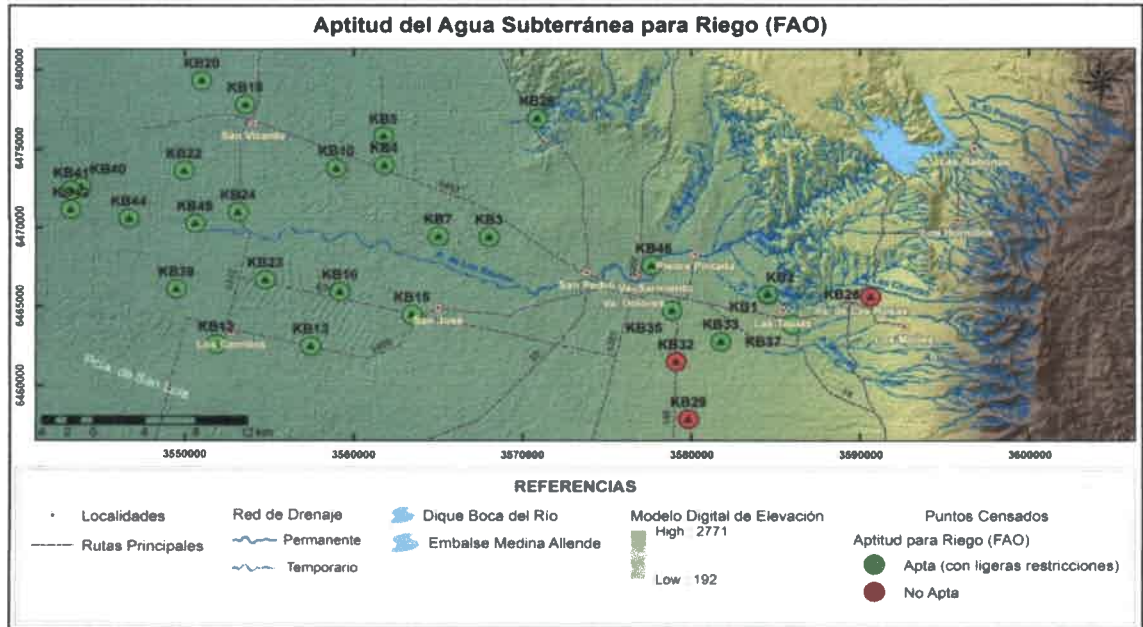


Figura 11.51. Mapa de aptitud del acuífero libre para riego (FAO) para la zona de Villa Dolores.

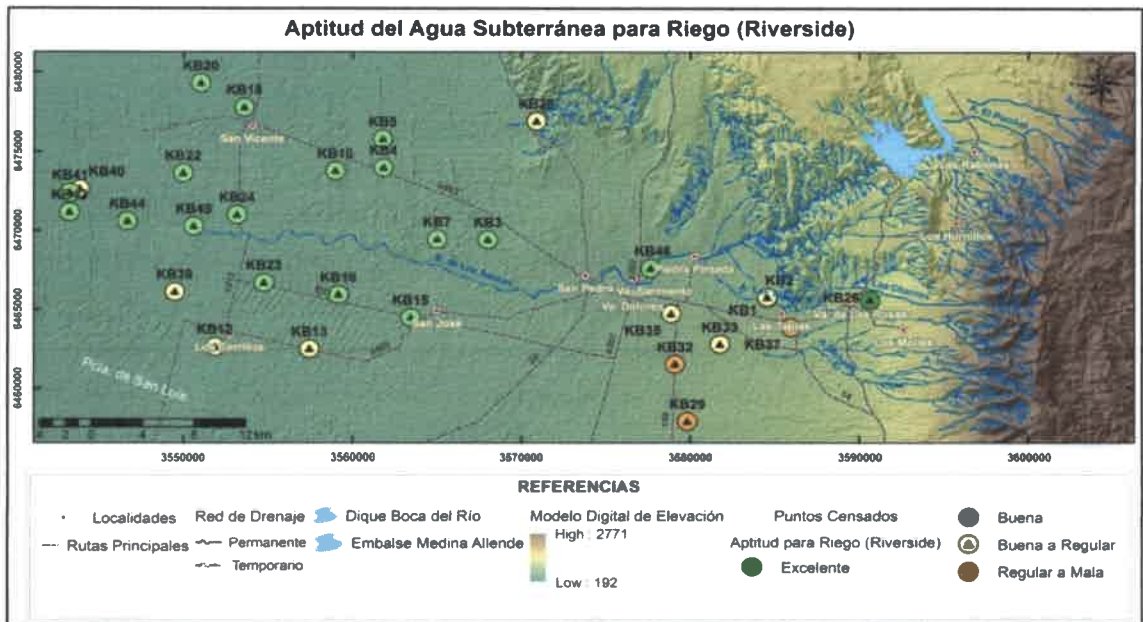


Figura 11.52. Mapa de aptitud del acuífero libre para riego (Riverside) para la zona de Villa Dolores.

Tabla 11.19. Clasificación del agua superficial para consumo ganadero y riego.

Muestra	USO PARA RIEGO					USO GANADERO
	Riverside					Tambo e inverne
	RAS	CE (µS/cm)	Clasificación	Aptitud	Clasificación FAO	
KA1	0,5	116	C1S1	E	No apta	Deficiente
KA2	0,8	226	C1S1	E	Apta	Deficiente
KA3	0,4	96	C1S1	E	No apta	Deficiente
KA4	0,4	152	C1S1	E	No apta	Deficiente
KA5	0,5	93	C1S1	E	No apta	Deficiente
KA7	1,1	357	C2S1	B	Apta	Deficiente
KA8	0,8	312	C2S1	B	Apta	Deficiente
KA9	1,6	228	C1S1	E	Apta	Deficiente
KA10	2,1	546	C2S1	B	Apta	Deficiente
KA11	8,3	1681	C3S2	B a R	Apta	Buena
KA12	1,4	201	C1S1	E	Apta	Deficiente
KA13	1,3	248	C1S1	E	Apta	Deficiente
KA14	1,0	440	C2S1	B	Apta	Deficiente
KA15	1,4	254	C2S1	B	Apta	Deficiente
KA16	0,6	277	C2S1	B	Apta	Deficiente
KA18	1,9	627	C2S1	B	Apta	Deficiente
KA20	1	197	C1S1	E	No apta	Deficiente

Siendo: E (Excelente), B (Buena), B a R (Buena a Regular)

Tabla 11. 20. Clasificación del agua del acuífero libre para consumo ganadero y riego.

Muestra	USO PARA RIEGO					USO GANADERO
	Riverside					Tambo e inverne
	RAS	CE (µS/cm)	Clasificación	Aptitud	Clasificación FAO	
KB1	2,7	854	C3S1	B a R	Apta	Deficiente
KB2	2,2	1172	C3S1	B a R	Apta	Muy Buena
KB3	2,4	569	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB4	0,9	404	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB5	1,2	480	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB7	1,3	420	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB10	0,9	378	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB12	1,8	776	C3S1	B a R	Apta	Deficiente
KB13	1,5	955	C3S1	B a R	Apta	Deficiente
KB15	1,5	605	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB16	1,3	516	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB18	1,1	436	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB20	1,6	356	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB22	1	309	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB23	1,2	410	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB24	1,2	400	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB26	1,7	188	C1S1	E	No Apta	Deficiente
KB28	9,1	1618	C3S2	B a R	Apta	Muy Buena
KB29	10,2	3160	C4S2	R a M	No Apta	Aceptable
KB32	7	3530	C4S2	R a M	No Apta	Aceptable
KB33	5,6	1367	C3S1	B a R	Apta	Muy Buena
KB35	3	1164	C3S1	B a R	Apta	Deficiente
KB37	6,8	2300	C4S2	R a M	Apta	Buena
KB39	1,4	1127	C3S1	B a R	Apta	Deficiente
KB40	1,6	1087	C3S1	B a R	Apta	Deficiente
KB41	1	335	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB42	1,3	336	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB44	1,1	322	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB45	1,3	390	C2S1	B	Apta	Deficiente
KB46	1,3	338	C2S1	B	Apta	Deficiente

CAPITULO 12

CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan conclusiones de síntesis, que integran e interrelacionan los resultados alcanzados en los distintos aspectos abordados en esta tesis, con el propósito de dar respuesta a las principales hipótesis y objetivos planteados.

Entre las más relevantes se destacan:

❖ *Los aspectos geológicos y geomorfológicos constituyen las variables que mejor explican la dinámica y calidad del agua superficial y subterránea.* Los primeros definen la conformación del relieve primario, luego de la orogenia andina, en bloques de basamento diferencialmente ascendidos y, como consecuencia, las características (pendientes, desniveles locales, litologías, actividad tectónica) de los ambientes de erosión (bloques serranos) y sedimentación (cuencas intermontanas). Los segundos evidencian que la evolución geomorfológica del área desde el Neógeno, estuvo controlada principalmente por sistemas fluviales de alta energía, que aportaron importantes volúmenes de sedimentos pséfíticos-psamíticos al relleno de las cuencas intermontanas, a través del desarrollo de grandes abanicos aluviales, cuyas variaciones espacio-temporales reflejan principalmente oscilaciones climáticas y actividad neotectónica cuaternaria. Los procesos de remoción en masa y los eólicos están subordinados.

❖ *Las características climáticas de la zona, constituyen otra variable que tiene alta incidencia en los aspectos dinámicos y químicos de los recursos hídricos de la región.* Las mayores precipitaciones ocurren en el sector serrano y pedemontano (del orden de 900 mm), observándose un marcado gradiente descendente hacia la depresión intermontana del Bolsón de las Salinas Grandes (aproximadamente 400 mm), registrándose en la planicies intermedias, valores del orden de 600 mm (Estación meteorológica Villa Dolores). En toda la región, hay una notoria estacionalidad en la distribución de las lluvias, correspondiendo los mayores valores al período primavera-verano (aproximadamente el 80%). Especialmente, en las Sierras Grandes, se destaca la importancia de las precipitaciones níveas registradas durante la estación invernal, cuando las tasas de evapotranspiración son bajas, con lo cual se incorporan al medio fisurado, importantes volúmenes de agua que permiten mantener un caudal permanente en los sistemas fluviales que nacen en el faldeo occidental de este cordón montañoso. En la zona extraserrana, el balance hídrico es marcadamente deficitario (326 mm - Estación meteorológica Villa Dolores) y los escasos excesos registrados se concentran en el período estival de los ciclos más húmedos. En general, durante este período, en los sistemas fluviales que drenan las Sierras Grandes y de Pocho, ocurren los eventos de crecidas más importantes, provocando avenidas y desbordes.

❖ En este contexto, los *sistemas superficiales*, presentan las siguientes características:

a-morfología de la cuenca y red de drenaje: en general son elongadas, con diseños subangulares-subdendríticos, en cabeceras, a distributarios en su parte distal, evidenciando relieves serranos rocosos y escarpados que, en su conexión con el ambiente pedemontano, muestran importantes desniveles y cambios de gradiente.

b- la morfología de valle y canal: dominan canales rectos, de alto gradiente, en valles incididos en el sector serrano, entrelazados y poco confinados en los cursos que descargan en el ambiente pedemontano y meandriformes de moderada sinuosidad, con una faja fluvial definida, en la cuenca media –baja del río de Los Sauces desarrollada sobre las planicie fluvio-eólica. Los diferentes diseños de canal y valle se vinculan a controles litológicos-estructurales, variaciones de gradiente, en general alta disponibilidad de materiales y régimen hidrológico muy fluctuante.

c- carácter y régimen hidrológico: a pesar de que este aspecto está fuertemente vinculado a las precipitaciones (magnitud e intensidad), las características del relieve y sustrato tienen alta incidencia. Los cursos poseen carácter permanente en sus cuencas altas y régimen torrencial, éste último asociado a las litologías poco permeables y altas pendientes; mientras que, en el sector pedemontano, donde dominan sedimentos gruesos de alta permeabilidad, en general se infiltran constituyendo la principal recarga del acuífero libre, y adquieren un carácter temporario o efímero.

d- aspectos morfodinámicos: en general, son sistemas que poseen alta energía, velocidad de flujo, competencia y capacidad de transporte, con dominio de erosión vertical en el sector serrano y primer nivel de abanicos pedemontanos y, avulsión, trasvases y sedimentación en el sector pedemontano y planicies distales occidentales, lo cual ocasiona desbordes y avenidas estacionales.

e- aspectos hidroquímicos: los valores de conductividad eléctrica, permiten concluir que son aguas dulces, con bajo contenido iónico (bicarbonatadas cálcicas a sódicas), asociado a los cortos trayectos recorridos y a las litologías presentes.

❖ En relación a las aguas subterráneas, estas características condicionan:

a- los aspectos *hidrolitológicos*: pudiéndose definir dos *acuíferos principales*: *Villa Dolores* y *Los Cerrillos*, los cuales poseen marcadas diferencias en su granulometría, espesor, parámetros hidráulicos y caudal. El *acuífero Villa Dolores*, es menos profundo (zona no saturada del orden de 20 – 30 m), tiene un espesor aproximado de 30 m, está constituido por materiales psefíticos y psamíticos con alta proporción de materiales finos (arenosos finos y limosos) intercalados, que permiten extraer caudales del orden de 10 m³/h. El *acuífero Los Cerrillos*, más profundo (espesor máximo aproximado de la zona no saturada de 80 m), tiene una potencia máxima medida de aproximadamente 150 m, dominan materiales gruesos y se pueden extraer caudales muy elevados (del orden de 400 m³/h).

b- los aspectos *hidrodinámicos*: puestos de manifiesto en las marcadas variaciones en el gradiente hidráulico en el sentido de flujo regional (Este-Oeste), con valores que van desde 0,8 a 3% en la zona pedemontana, donde se recarga el acuífero, hasta 0,2 - 0,3% en el sector central y occidental del área. En general, el área de estudio, presenta una importante condición de recarga periférica al pedemonte por infiltración de numerosos cursos de agua que alimentan el sistema subterráneo estudiado, luego actúa fundamentalmente como una zona de tránsito hacia el Bolsón de las Salinas Grandes, que constituye el área de descarga regional.

c- los aspectos *hidroquímicos*: el agua en general posee bajos contenidos salinos (menor a 1500 mg/L) y carácter geoquímico bicarbonatado cálcico, mostrando una escasa evolución en su composición química, como consecuencia de las cortas distancias recorridas, desde que infiltra en el sector pedemontano, altos gradientes y granulometrías gruesas de los materiales por los circula. A su vez, los escasos valores más elevados de salinidad (máximo 2714 mg/L) se relacionan a pozos más someros que extraen el agua de sedimentos más finos, donde la misma tiene mayor tiempo de contacto sedimento-agua permitiendo la transferencia de iones a la solución.

❖ Considerando *la influencia de las actividades humanas en las características hidroambientales* del área, puede concluirse que, al presente, *el impacto en general es moderado a bajo*, siendo mayores las alteraciones registradas en los sistemas superficiales.

a- respecto a los *sistemas superficiales*, las alteraciones son altas, e incluyen intervenciones directas en los cursos como construcción de presas, derivaciones de agua para riego mediante acequias, lo cual provoca cambios hidromorfosedimentológicos en los cauces y, como consecuencia, en su comportamiento integral, llegando a modificar los peligros y riesgos naturales asociados (erosión, inundación, avenidas) y a generar otros inducidos, como es el caso de la faja fluvial del río de Los Sauces aguas abajo del embalse Medina Allende. En relación a la *calidad* se ha medido localmente incremento de valores de salinidad en la estación estival, lo que se podría relacionar a fuentes puntuales de contaminación asociada al turismo que se desarrolla en la zona (sitios de balnearios en el río de Los Sauces).

b- en relación al *agua subterránea*, si bien en los últimos 20 años hubo un incremento de la actividad agrícola bajo riego, con aplicación de agroquímicos, los valores de nitratos encontrados, reflejan un *bajo impacto* sobre la *calidad* del recurso hídrico, en relación a este compuesto. Esto podría deberse a que, si bien el nitrato es un ion conservativo en medio oxidante, las granulometrías gruesas que predominan en el acuífero, permiten una alta dilución de los compuestos por dispersión hidrodinámica, principalmente por la recarga que se genera en la zona pedemontana. Por otra parte, si bien son escasos los pozos censados, que coinciden con el muestreo realizado por el Convenio Argentino Alemán de Aguas Subterráneas, se observa que, los niveles estáticos han aumentado en relación al año 1973, con lo cual *la disponibilidad de agua tampoco estaría afectada* por las extracciones. En algunos sectores del área de estudio, se observan modificaciones locales en las líneas equipotenciales, asociadas a los elevados caudales de agua que extraen las perforaciones utilizadas para riego.

❖ En relación a la **calidad hidroambiental** del área, los resultados indican que la misma es *moderadamente alta a alta*, existiendo diferencias entre los sistemas subterráneos y superficiales, tanto en la distribución espacial como en la temporal y, según se analice su función como fuente de recurso, sumidero de desechos y soporte de actividades y servicios.

❖ Las *variables* que mejor explican la calidad hidroambiental del área son:

a- como *fuerza de recurso*: disponibilidad y calidad del agua subterránea y superficial, expresada a través de reservas, caudales, composición química, presencia iones indicadores de impactos (nitratos), valores de fondo natural del nitrato.

b- como *sumidero*: espesor y granulometría de los materiales que componen la zona no saturada, capacidad de depuración de los sistemas superficiales (caudal, velocidad del agua, turbulencia, régimen, tipo y cantidad de carga).

c- como *soporte de actividades y servicios*: áreas afectadas por peligros y riesgos de inundación/avenidas y calidad del paisaje.

❖ Como Fuente de Recurso:

a- el **agua subterránea** en general presenta una buena calidad para diferentes usos, como son consumo humano y para riego, actividad muy difundida en el área. En cambio para consumo ganadero el agua resulta deficiente en sales, en su mayoría, por el bajo contenido en sólidos disueltos totales, lo que genera que la alimentación de los animales deba ser suplementada con diferentes minerales. Por su parte, los valores de nitratos obtenidos, son bajos o en pocos casos superan el valor (7,8 mg/L) y rango de fondo actual (0 – 12 mg/L) evaluados para este compuesto. Respecto a la disponibilidad, los caudales extraídos indican una alta potencialidad de uso.

b- en relación al **agua superficial** la calidad también es buena, aunque está más condicionada por las variaciones estacionales e impactos antrópicos. Por otra parte, la disponibilidad está restringida espacialmente, ya que la mayoría de los cursos se infiltran en el sector pedemontano. Hacia el Oeste se dispone del agua del río de Los Sauces a través de una red de canales y acequias. Complementan las reservas, el Embalse Medina Allende y el Dique Compensador Boca del Río.

❖ En relación a la *vulnerabilidad del acuífero libre* a la contaminación:

a- el acuífero libre, presenta una *vulnerabilidad predominantemente media a moderadamente alta* a la contaminación, condicionada principalmente por la granulometría gruesa de los materiales que componen la zona no saturada y, secundariamente por

profundidad del nivel estático, correspondiendo las mayores valores al acuífero Villa Dolores y los menores a Los Cerrillos.

b- dados los valores de vulnerabilidad, la alta permeabilidad del acuífero que permite inferir importantes procesos de dilución por dispersión hidrodinámicos y los valores bajos de nitratos medidos, la capacidad sumidero del subsuelo, se interpreta como moderada a alta, para la presión de uso analizada.

❖ Como *soporte de actividades y servicios*: en relación a los *peligros y riesgos de inundación/avenidas*, se concluye que:

a- escala regional, en general, la zona presenta un peligro de inundación/avenida *moderadamente bajo a bajo*. Los *sitios más peligrosos*, se asocian a *las fajas fluviales* de los principales cursos de la zona y a los *abanicos distales* de los arroyos que drenan el sector pedemontano, a través de canales pocos incididos, donde son frecuentes los procesos de desbordes y avulsión. En todos estos cursos, la amenaza es alta y se vincula a crecidas de alta torrencialidad generada en el sector serrano (Sierras Grandes). Considerando la vulnerabilidad del área, se obtienen clases de *riesgo alta* sólo en centro poblados cercanos a los sistemas fluviales y a las rutas principales.

b- a escala de detalle, en el sector pedemontano, el arroyo Chuchiras exhibe mayor área con peligro de inundación/avenidas alto, ya que su tramo inferior presenta el clásico patrón distributivo, con canales poco incididos, lo cual favorece los procesos de desbordes y avulsión en zonas de descargas de mayor distribución areal.

Los escurrimientos superficiales generados en el sector pedemontano, no pertenecientes a redes organizadas, se encauzan por la red vial, siguiendo la pendiente regional, implicando un riesgo de inundación en algunas localidades como Villa de las Rosas, sector Este de Villa Dolores, entre las principales.

Al igual que a escala regional, el riesgo en estas áreas, es alto, asociado al mayor grado de urbanización e infraestructura instalada.

c- el río de Los Sauces, en el tramo extraserrano, presenta un peligro de inundación, mitigado por la puesta en operación del embalse Medina Allende en la década del '40, asociado a dos fuentes de amenazas.

En primer lugar, los volúmenes de agua aportados durante los eventos de crecida de los arroyos Las Tapias, Seco y Cóndor Huasi, implican un *peligro alto a moderadamente alto* a nivel de la faja fluvial y, en las localidades Piedra Pintada, Villa Dolores, Villa Sarmiento y San Pedro, se traduce en *riesgo alto* debido a los asentamientos poblacionales situados dentro de este espacio.

En segundo término, el río de Los Sauces tiene un *peligro de inundación inducido* por la apertura de compuertas del Embalse Medina Allende, lo cual, dependiendo de los volúmenes erogados, puede convertirse en clases de *riesgo moderado a alto* en los sectores poblacionales recientemente mencionados.

d- Como recurso paisajístico, en general, la zona serrana y pedemontana, aun preservan un *valor moderadamente alto a alto*.

Analizando a una escala de mayor detalle, se observa pérdida de naturalidad y focos de contaminación, especialmente, en la faja fluvial del río de Los Sauces en el tramo comprendido entre Piedra Pintada y el área urbanizada Villa Dolores, Villa Sarmiento y San Pedro. En este sector y vinculado a la retracción del canal por la construcción del embalse, la faja fluvial presenta un marcado deterioro. Hay degradación paisajística por impacto visual y contaminación (basura, extracción de áridos), pérdida de vegetación natural, ocupación urbana no planificada, pérdida de conectividad del sistema fluvial, lo cual retroalimenta, el peligro y riesgo de inundación.

❖ La creación de una base de datos hidrológica y su vinculación a un Sistema de Información Geográfica, constituye una herramienta de gran utilidad para el almacenamiento y actualización de datos, que facilitó la integración de información para la elaboración de cartografía que permitieron el diagnóstico, monitoreo, gestión y ordenamiento ambiental de la región de Villa Dolores.

RECOMENDACIONES

Por todo lo expuesto, en el marco de la presente tesis surgen las siguientes recomendaciones:

Debido al incremento de la actividad agrícola en los últimos años y al uso de fuentes de agua subterránea para riego, se requieren continuos monitoreos de los niveles estáticos,

ya que de continuar estas tasas de extracción de agua, podría generarse un descenso de los mismos.

Dado que el fondo natural y fondo actual reflejan 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.

Relacionado a los sistemas superficiales, en el tramo del río de Los Sauces que se desarrolla entre Piedra Pintada, Villa Dolores, Villa Sarmiento y San Pedro, se requieren de prontas intervenciones de rehabilitación y recuperación de espacios, asociados a la faja fluvial del río.

Debido al comportamiento morfohidrológico que poseen los arroyos que drenan la escarpa de las Sierras Grandes, se hace necesario implementar una red de monitoreo en diferentes cuencas, a través de instrumentales para la medición de caudales y precipitaciones, que permita establecer una alerta temprana en relación a crecidas asociadas a estos sistemas fluviales.

BIBLIOGRAFÍA

- **Acreman, M. C., 1999.** Guidelines for sustainable management of groundwater – fed catchments in Europe. Report of groundwater and river Resour. Action Programme on a European Scale (Grapes) Institute of Hydrology, Wallingford, 82 p., UK.
- **Aguirre, M. 2013.** Caracterización hidrogeológica, hidroquímica e isotópica ambiental de los sistemas acuíferos del Noreste de Córdoba. Tesis Doctoral 2° Informe, Universidad Nacional de Rio Cuarto (inédito), 70 p. Rio Cuarto.
- **Ahrens, L. H., 1954.** The lognormal distribution of the elements (a fundamental law of geochemistry and its subsidiary). *Geochim et Cosmochim Acta* 5:49 –74.
- **Alvarez, J., 1992.** Determinación petrológica en facies ígneas regionales en el Batolito de Achala. Comisión Nacional Energía Atómica. Informe Interno Inédito, 23 p.
- **Aller, L., T. Bennett, J. H. Lehr, R. J. Petty y G. Hacket, 1987.** DRASTIC A. Standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Environmental Protection Agency Report 600/2-87-035, 641 p., Washington, D.C.
- **Ameghino, F., 1885.** Informe sobre el Museo Antropológico y Paleontológico de la Universidad Nacional de Córdoba. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba* 8: 347-360.
- **Ameghino, F., 1889.** Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba* 6: 1-1027.
- **Andreazzini, J. y S. Degiovanni, 2014.** Geomorphology of Paleosurfaces in the Sierras de Comechingones, Central Pampean Ranges, Argentina. En: Rabassa, J. y Ollier, C. (eds.) *Gondwana Landscapes in southern South America*. Springer Earth System Sciences: 305–330. Netherlands.
- **Aránguiz, L., 2002.** La programación multicriterio como herramienta de la ordenación territorial. En: Gastó, J., P. Rodrigo y Aránguiz L. (eds) *Ordenación territorial, desarrollo de predios y comunas rurales*. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Univ. Católica de Chile. LOM Ediciones. Chile.
- **Auge, M., 1995.** Primer curso de posgrado de hidrogeología ambiental, Universidad de Buenos Aires, 65 p., Buenos Aires.
- **Auge, M., 2004.** Vulnerabilidad de acuíferos. Conceptos y métodos. Universidad de Buenos Aires, 38 p.

<http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/sitioscontaminados/CEPIZ-GTZ/I-Vulnerabilidad-Conceptos-Auge.pdf>

- **Ayers, R.S. y D.W. Westcot, 1985.** Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 (1): 174 p.
- **Baalousha H., 2006.** Vulnerability assessment for the Gaza Strip, Palestine using DRASTIC H. Environmental Geology 50 (3): 405–414.
- **Baker, V. R., 1994.** Geomorphological understanding of floods. Geomorphology 10:139-156.
- **Barnolas, M. y M. C. Llasat, 2005.** Aplicación de una herramienta SIG en el estudio de las inundaciones en Catalunya, 1901-2000. Revista del Aficionado a la Meteorología, N° 28.
- **Bavera G., 2001.** Manual de Aguas y Aguadas para el ganado. Ed. Hemisf. Sur S.A., 390 p.
- **Blarasin, M., 2003.** Geohidrología ambiental del sur de Córdoba, con énfasis en la ciudad de Río Cuarto y su entorno rural. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 377 p., Río Cuarto.
- **Blarasin, M., S. Degiovanni, A. Cabrera, M. Villegas, G. Sagripanti y J.J. Cantero, 2004.** Morfotectónica, escalas de flujo de aguas superficiales y subterráneas y antropización en los humedales pampeanos. 22° Congreso IAH- 6° ALHSUD, 6 p., Zacatecas, México.
- **Blarasin, M., S. Degiovanni, A. Cabrera, M. Villegas y G. Sagripanti, 2005.** Los humedales del Centro-Sur de Córdoba. Parte A: Factores naturales y antrópicos condicionantes de la dinámica hidrológica regional. En Blarasin M., S. Degiovanni, A. Cabrera y M. Villegas (eds) Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: 275-282.
- **Blarasin, M., G. Damilano, A. Cabrera 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. 8° Congreso Latinoamericano de Hidrología subterránea. Actas CD: 1-25, Paraguay.
- **Blarasin, M., A. Cabrera, E. Matteoda, G. Damilano y J. Giuliano, 2008.** Indicadores para evaluar cambios ambientales en acuíferos. Consideraciones sobre el fondo natural de la calidad de agua. En Cantú, Becker y Bedano (Eds). Evaluación de la sustentabilidad ambiental en sistemas agropecuarios, 184 p.
- **Blarasin, M., A. Cabrera y N. Alincastro, 2011.** Evaluación del nivel freático y consecuencias en relación a procesos de recarga-descarga del acuífero. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Hidrogeología Regional y Exploración Hidrogeológica. T29: 220-227.

- **Blarasin, M., F. Bécher Quinodóz, J. Felizzia, J. Giuliano y A. Cabrera, 2012.** Hidrogeoquímica del acuífero freático, anomalías en nitratos y relación con valores de fondo natural, Justo Daract, San Luis. 2° RAGSU. CD: 23-29, Bahía Blanca.
- **Blarasin M., A. Cabrera y E. Matteoda (2014).** Aguas subterráneas de la provincia de Córdoba, 127 p.
- **Blarasin M., A. Cabrera, E. Matteoda, H. Frontera, M. Aguirre, L. Maldonado, F. Bécher Quinodóz y J. Giuliano Albo, 2014.** Recursos hídricos subterráneos Parte I: Aspectos litológicos, hidráulicos, cambios de régimen y reservas de los principales acuíferos. En: R. D. Martino y A. B. Guerreschi (eds) Relatorio del 19° Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba: 1233 – 1261, Córdoba.
- **Blarasin M., A. Cabrera, E. Matteoda, M. Aguirre, J. Giuliano Albo, F. Bécher Quinodóz, L. Maldonado y H. Frontera, 2014.** Recursos hídricos subterráneos Parte II: Aspectos geoquímicos, isotópicos, contaminación y aptitudes de uso. . En: R. D. Martino y A. B. Guerreschi (eds) Relatorio del 19° Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba: 1263 – 1287, Córdoba.
- **Bodenbender, G., 1905.** La Sierra de Córdoba. Constitución geológica y productos minerales de aplicación. Ministerio de Agricultura de la Nación, 1 (2): 1-146, Buenos Aires.
- **Bodenbender, G., 1929a.** Triásico y Terciario en la falda occidental de la Sierra de Córdoba. Relaciones morfológico-tectónicas. Rocas volcánicas. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias. Córdoba 25: 1-73,
- **Bodenbender, G., 1929b.** Triásico y Terciario en la falda oriental de la Sierra de Córdoba. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, 31: 73-140.
- **Bonalumi, A., R. Martino, E. Baldo, J. Zarco, J. Sfragulla, C. Carignano, P. Kraemer, M. Escayola y A. Tauber, 1999.** Hoja Geológica 3166-IV, Villa Dolores. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina, 1:250.000, 122 p., Córdoba.
- **Bonalumi, A., R. Martino, J. Sfragulla, C. Carignano y A. Tauber, 2005.** Hoja Geológica 3363-I, Villa María, Provincia de Córdoba. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina, 1:250.000, 74 p., Buenos Aires.
- **Bosisio, A., 2011.** Análisis de variables ambientales en una planicie aluvial con alta intromisión antrópica, en situación de una crecida extraordinaria. Tesis Magister, Universidad Nacional del Litoral (inédito), 131 p., Santa Fé.

- **Bonorino, G., R. Albouy, C. Lexow y J. Carrica, 1999.** Nitratos en acuífero zona periserrana de las Sierras Australes. II Congreso Argentino Hidrogeológico. Serie Correlación Geológica N° 13: 231-240.
- **Brailovsky, E y D. Foguelman, 1991.** Memoria verde, historia ecológica de la Argentina. Ed. Sudamericana S.A, 352 p., Buenos Aires.
- **Brandt, S., 2000.** Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Geomorphology*, 40: 375-401.
- **Brassington R., 2007.** Field Hydrogeology. John Wiley & Sons Ltd, England.
- **Brown, A. G., 1995.** Geomorphology and Groundwater. Wiley, 213 p., England.
- **Buguña, P., C. Cometta y M. Oviedo, 2008.** Diagnóstico preliminar y formulación de proyectos. Municipalidad de La Paz. Valle de Traslasierras, Córdoba. (inédito), 49 p. <http://es.scribd.com/doc/45058814/Diagnostico-La-Paz>
- **Buzai, G., 1998.** Sistemas de Información Geográfica (SIG). En Matteucci, S. y G. Buzai (eds) *Sistemas Ambientales Complejos: Herramientas de Análisis Espacial*, 185-196, Buenos Aires.
- **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, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 354 p., Río Cuarto.
- **Cabrera, A. L., 1976.** Regiones fitogeográficas argentinas. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería (2° Ed.)*, Tomo I, Fase 1:85 p, Buenos Aires.
- **Candiani, J. C., H. Ulacco y G. Ojeda, 2010.** Hoja geológica 3366-II Villa de Merlo, provincias de Córdoba y San Luis. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR. Buenos Aires.
- **Cantú, M., 1992.** El Holoceno en la provincia de Córdoba. *Holoceno de la República Argentina*. Cadinqua 1: 1-16, Paraná.
- **Capitanelli, R. G., 1979.** Clima. En: *Geografía física de la Provincia de Córdoba*. Editorial Boldt: 45-138, Córdoba.
- **Carignano, C., 1996.** Evolución geomorfológica de las planicies en la provincia de Córdoba, durante el Pleistoceno Superior. *Revista del Instituto de Geología y Minería*. Universidad Nacional de Jujuy, 11 (1): 7-26.
- **Carignano, C., 1997.** Caracterización y evolución durante el Cuaternario Superior de los ambientes geomorfológicos extraserranos en el noroeste de la provincia de Córdoba. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 207 p., Córdoba

- **Carignano, C., Cioccale, M. y J. Rabassa, 1999.** Landscape antiquity of the Central Eastern Sierras Pampeanas (Argentina): Geomorphological evolution since Gondwanic times. *Zeitschrift fur Geomorphologie, NF, Supplement Band 118*: 245–268.
- **Carignano, C., D. Kröhlhing, S. Degiovanni y M. Cioccale, 2014.** Geomorfología. En: Roberto D. Martino y Alina B. Guerreschi (eds.) *Relatorio del 19° Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba*: 747-821, Córdoba.
- **Carrera Hernández, J. J. y S. J. Gaskin, 2007.** Spatio temporal analysis of daily climatological variables. Application to the Basin of Mexico. *Journal of Hydrology*, 336 (3-4): 231-249.
- **Castañeda Herris, S y R. Guardado Lacaba, 2006.** Zonación ingeniero geológica de peligrosidad y riesgo por inundación del territorio de Sagua de Tánamo. *Minería y Geología* 22 (2): 14 p.
- **Castellanos, A., 1942.** Los sedimentos prepampeanos del Valle de Nono (Sierra de Córdoba), Argentina. *Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología, Universidad Nacional del Litoral*, 13: 1-62.
- **Castellanos, A., 1944.** Paleontología estratigráfica de los sedimentos Neógenos de la provincia de Córdoba. *Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología, Universidad Nacional del Litora*, 23: 1-46.
- **Cendrero A., 1987.** Riesgos Geológicos, Ordenación del Territorio y Protección del Medio Ambiente. 1° Curso de Riesgos Geológicos. Instituto Geológico Minero de España, Madrid: 327-333.
- **Christofoletti, A., 1998.** Perspectivas para el análisis de la complejidad y la autoorganización en sistemas geomorfológicos. En: Matteucci, S. y G. Buzai (eds) *Sistemas Ambientales Complejos: Herramientas de Análisis Espacial*: 57-99, Buenos Aires.
- **Ciminari, M., C. Torrens y E. Jurio, 2003.** Los Sistemas de Información Geográfica una herramienta eficaz para el análisis ambiental. 1° Congreso de la Ciencia Cartográfica y 8° Semana Nacional de Cartografía, 11 p., Buenos Aires.
- **Cioccale, M. 1999.** Investigación geomorfológica de cuencas serranas. Estudio geomorfológico integral: Morfodinámica, morfometría y morfogénesis del flanco oriental de las Sierras Chicas de Córdoba. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Córdoba (inédita) 250 p. Córdoba.
- **Civita, M., A. Chiappone, M. Falco y P. Jarre, 1990.** Preparazione della carta di vulnerabilità per la rilocalizzazione di un impianto pozzi dell' Aquedotto di Torino. *Proc. 1°*

Conv Naz. Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee, Metodologie, Tecnologie e Obiettivi, 2: 461-462, Marano sul Pamano.

- **Código Alimentario Argentino, 2007.** Bebidas hídricas, aguas y aguas gasificadas. Capítulo XII, Artículo 982 (Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007), 60 p.

- **Conesa García, C., López Bermúdez, F. y R. García Lorenzo, 2008.** Bed stability variations after check dam construction in torrential channels (South-East Spain). *Journal Earth surface processes and landforms*. 32: 2165-2184.

- **Conrad, O., 2006.** SAGA Program Structure and Current State of Implementation. In: Böhner, J., McCloy, K. R., Strobl, J. (eds): *SAGA-Analysis and modeling applications*. Göttinger Geographische Abhandlungen 115: 39-52.

- **Convenio Argentino Alemán de Aguas Subterráneas, 1973.** Recursos de agua subterránea y su aprovechamiento en la llanura pampeana y el Valle de Conlara (Provincias de Córdoba, Santa Fe, San Luis; República Argentina). *Hidrogeología*, Tomo 4, 182 p.

- **Costa, C., 1992.** Neotectónica del sur de la sierra de San Luis. Tesis doctoral, Universidad Nacional de San Luis (inédita), 390 p., San Luis.

- **Costa, C. y C. Vita Finzi, 1996.** Late Holocene intraplate faulting in the southeast Sierras Pampeanas, Argentina. *Geology* 24: 1127-1130.

- **Criado Roqué P., C. Mombrú y V. Ramos, 1981.** Estructura e interpretación tectónica. En Yrigoyen, M. (ed.) *Geología y Recursos Naturales de la provincia de San Luis*. 8° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 155-192, Buenos Aires.

- **Cruz, L. E., 2011.** La megafauna del Pleistoceno - Holoceno temprano de la Provincia de Córdoba y su comparación con la de Buenos Aires. *Sistemática, Bioestratigrafía y Dinámica Faunística*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata (inédita), 226 p., La Plata.

- **Custodio E., 1993.** Hidrogeoquímica e Isotopía ambiental. *Temas Actuales de la Hidrología Subterránea*, 61-78, Mar del Plata.

- **Custodio E. y M. Llamas, 1983.** Hidrología subterránea. Ed. Omega, 2: 2350 p., Barcelona.

- **Dalla Salda, L., 1987.** Basement tectonics of the Southern Pampean Ranges, Argentina. *Tectonics* 6 (3): 249-260.

- **Dasso, C. M., E. L. Piovano, A. I. Pasquini, F. E. Córdoba, K. L. Lecomte, L. Guerra y V. A. Campodónico, 2014.** Recursos hídricos superficiales. En: R. D. Martino y A. B.

Guereschi (eds) Relatorio del 19° Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba: 1209-1231.

- **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, Universidad Nacional de Río Cuarto (inérita), 506 p., Río Cuarto.
- **Degiovanni, S. y J. Andreazzini, 2013.** Geomorphological characterization of relictic Gondwanic paleosurfaces in the Comechingones range, Central Pampean Mountains, Argentina. Actas del 8° International Conference on Geomorphology, Acta 2 (S18-S27): 810, París.
- **Demange, M., Baldo, E. y R. Martino, 1993.** Estructural evolution of the Sierra de Córdoba (Argentina). 2nd Symposium of Andean Geodynamic, 513-517, Oxford.
- **Díez Herrero, A. y J. A. Pérez Guerrero, 2003.** Los SIGs en el plan de protección civil de ámbito local ante el riesgo de inundaciones de Navalunga (Ávila, España). Seminario Euromediterráneo sobre Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Gestión de Desastres, 12 p.
- **Dimitriou, E., y I. Zacharias, 2006.** Groundwater vulnerability and risk mapping in a geologically complex area by using stable isotopes, remote sensing and GIS techniques, *Environmental Geology*, 51 (2): 309-323.
- **Doerfliger, N. y F. Zwahlen, 1997.** EPIK: a new method for outlining of protection areas in karstic environment. En Gunay y Jonshon (eds). *Int. Symp. on Karst Waters and Environ. Impacts*. Antalya, Turkey, Balkema: 117-123. Rotterdam.
- **Doffo, N. y G. Bonorino, 2005.** Control litológico-estructural en la morfometría de la red de drenaje de la cuenca alta del A° Las Lajas. Implicancias hidrológicas. En Blarasin M., S. Degiovanni, A. Cabrera y M. Villegas (eds), *Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba*: 153-163.
- **Domenech, S., F. Espejo, A. Ollero y M. Sánchez, 2011.** Peligrosidad por inundaciones en una cuenca no aforada: el río Sosa en Monzón (Huesca) y el evento de agosto de 2006. *Geographica* 59-60: 95-108.
- **Downs, P. W. y K. J. Gregory, 1993.** The sensitivity of River Channels in the Landscape System. En: Thomas, D.S.G., Allison, R.J. (eds.), *Landscape Sensitivity*, 15-30.
- **Edmunds, W., P. Shand, P. Hart y R. Ward, 2003.** The natural (baseline) quality of groundwater: a UK pilot study. *Science of the Total Environment*, 310: 25-35.

- **Edmunds, W. M. y P. Shand, 2008.** Natural Groundwater Quality. Blackwell Publishing Ltd., 488 p., Oxford.
- **ESRI (Environment System Research Institute), 2012.**
<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#>
- **ESRI (Environment System Research Institute), 2013.**
<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1>
- **Esteller, M. V., E. Quentin y C. Díaz Delgado, 2003.** Uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la determinación de parámetros utilizados en la construcción de mapas de vulnerabilidad de acuíferos. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología* 2 (1): 17-30.
- **Fidalgo, F., D. Colado y F. Defrancesco, 1973.** Geología superficial en las Hojas Castelli, J. M. Cobo y Monasterio (prov. de Buenos Aires). 5° Congreso Geológico Argentino. *Actas* 4: 27-39.
- **Foster, S. S. D., 1987.** Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. *Proceedings of International Conference: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants.* Noordwijk, Países Bajos.
- **Foster, S. S. D. y R. Hirata, 1988.** Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO/ HPE-CEPIS Technical Manual, 81 p., Lima, Perú.
- **Foster, S. y R. Hirata, 1991.** Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodología basada en datos existentes", 2° edición. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 81 p., Lima.
- **Foster S., R. Hirata, D. Gomes, M. D'Elia y M. Paris, 2003.** Protección de la Calidad del Agua Subterránea: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial, 128 p., Washington.
- **Gaido, M. F., Murra, J. A. F y M. Sapp, 2006.** Hoja Geológica 3166-36, Valle de Calamuchita, Provincia de Córdoba, 1:100.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero, Boletín 361, 87 p., Buenos Aires.
- **Gates, J. B., J.K. Bohlke y W. M. Edmunds, 2008.** Ecohydrological factors affecting nitrate concentrations in a phreatic desert aquifer in Northwestern China. *Environmental Science and Technology*, 42 (10): 3531-3537.
- **Gell, P., J. Fluin, J. Tibby, G. Hancock, J. Harrison, A. Zawadzki, D. Haynes, S. Khanum, F. Little, y B. Walsch, 2009.** Anthropogenic acceleration of sediment accretion in

low land flood plain wetlands, Murray-Darling Basin, Australia. *Geomorphology* 108: 122-126.

- **Gemitzi, A. y D. Tolikas, 2004.** Development of a sharp interface model that simulates coastal aquifer flow with the coupled use of GIS. *Hydrogeology Journal* 12 (3): 345-356.

- **Gil Fiorenza, A., R. Moreno y E. Lis, 2008.** Bases para el ordenamiento territorial de la cuenca del arroyo Las Tapias, Provincia de Córdoba. Secretaría de Minería de la Provincia de Córdoba (inédito), 15 p.

- **Giuliano Albo, J. y M. Blarasin, 2013.** Hidrogeoquímica y estimación del fondo natural de nitratos del agua subterránea en un agroecosistema del pedemonte de la sierra de Comechingones, Córdoba (Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71 (3): 378-392.

- **Gogu, R., G. Carabin, V. Hallet, V. Peters y A. Dassargues, 2001.** GIS-based hydrogeological databases and groundwater modelling. *Hydrogeology Journal* 9 (6): 555-569.

- **González Bonorino, F., 1950.** Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 5 (3): 81-110.

- **Gonzalo Aranoa, C. 2011.** Propuesta metodológica de modelización hidrometeorológica e hidrodinámica enfocada a la ordenación del riesgo de inundación: aplicación a la cuenca del río Pejibaye (Costa Rica). Tesis de Maestría Universidad Politécnica de Madrid (inédita), 157 p.

- **Gordillo, C. y A. Lencinas, 1979.** Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. 2° Simposio de Geología Regional Argentina 1: 577-650.

- **Gorgas J. A., J. Tassile, B. Jarsún, E. Zamora, E. Bosnero, E. Lovera, A. Ravelo, M. Carnero, V. Bustos, J. Pappalardo, G. Petropulo, E. Rossetti 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, 567 p.

- **Gossel, W., A. M. Ebraheem y P. Wycisk, 2004.** A very large scale GIS-based groundwater flow model for the Nubian sandstone aquifer in Eastern Sahara (Egypt, northern Sudan and eastern Libya). *Hydrogeology Journal* 12 (6): 698-713.

- **Gregory, K. J., 2006.** The human role in changing river channels. *Geomorphology* 79 (3-4): 172-191.

- **Hafez, Y., 2002.** On the dynamic adjustments of stream channels. *Journal of Environmental hydrology. The Electronic Journal of the International Association for Environmental Hydrology* 10: 1-15.

- **Hermelin, M., 1991.** Introducción a la Geología Ambiental. Geología Ambiental y Geomorfología aplicada en Colombia. Reporte 16: 3-20.
- **Hooke, J. M., 1997.** Styles of channel change. En: Thorne, C.R., Hey, R.D., Newson, M.D. (eds), Applied Geomorphology for River Engineering and Management, 237–268 p.
- **Houben P., J. Wunderlich y L. Schrott, 2009.** Climate and long-term human impact on sediment fluxes in watershed systems. Journal of Geomorphology 108 (1-2):1-144.
- **Introcaso, A., Lion, A. y V. Ramos, 1987.** La estructura profunda de las sierras de Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 42 (1-2): 177-187.
- **Ivkovic K. I., R. Kingham, C. Awrence. INA: O. A. Damiani, C. Ferrés, E. García, R. N. Gianni. SEGEMAR: R. Miró, Zavalía y Associates: E. Zavalía S. R., E. Zavalía J. R., 2000.** Proyecto de Cooperación Técnica Argentino-Australiano. BRS:
- **Jordan, T. y R. W. Allmendinger, 1986.** The Sierras Pampeanas of Argentina; a modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. American Journal of Science 286: 737-764.
- **Latrubesse E. y D. Brea, 2010.** Floods in Argentina. En: E. Latrubesse, (ed), Geomorphology of Natural Hazards and Human Exacerbated Disasters in Latin America, Elsevier, 333-349.
- **Lavell, A., 1996.** Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación. En Ciudades en riesgo. Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina: 2-30.
- **Lin, Yu-Shih, Yi-Wen Lin, Yu Wang, Yue-Gau Chen, Mei-Ling Hsu, Shou-Hao Chiang y Zueng-Sang Chen, 2007.** Relationships between topography and spatial variations in groundwater and soil morphology within the Taoyuan–Hukou, Tableland, Northwestern Taiwan. Geomorphology 90: 36–54.
- **Llamas, R., N. Hernández Mora y L. Martínez, 2000.** El uso sostenible del agua subterránea. Serie A. Uso intensivo de las aguas subterráneas, aspectos ecológicos, tecnológicos y éticos. Fundación Marcelo Botín. Madrid.
- **Loheide, S. P. y E. G. Booth, 2011.** Effects of changing channel morphology on vegetation, groundwater, and soil moisture regimes in groundwater-dependent ecosystems. Geomorphology 126: 364–376.

- **Lopez Lopez, A. y K. A. Delgado Soriano, 2009.** Modelación hidrológica de la subcuenca Lempa Alto, en cooperación con la comisión trinacional del plan Trifinio (El Salvador, Honduras, Guatemala). Tesis de grado, Universidad de El Salvador (inédita), 209 p.
- **Macklin M. y J. Lewin, 2008.** Alluvial responses to the changing Earth system. *Journal of Earth surface processes and landforms* 1374-1395.
- **Manzano Arellano, M., E. Custodio Gimena y P. Nieto López Guerrero, 2004.** El fondo natural del agua subterránea. Definición, establecimiento y papel en la directiva marco del agua. 8° Simposio de Hidrogeología, 223-237, Madrid.
- **Manzano M., E. Custodio y M. Colomines, 2005.** El fondo hidroquímico natural del acuífero de Doñana (SO España). 5° Congreso Ibérico de Geoquímica y 9° Congreso de Geoquímica de España, 1-13 p.
- **Martínez, A., J. F. Ortega, J. A. de Juan; D. Medina y J. M. Tarjuelo, 2010.** Los servicios de asesoramiento en la gestión y uso del agua de riego. 2° Reunión Internacional de riego, 7-28, INTA Manfredi.
- **Martínez Graña, A., J. L. Goy, R. Cruz, J. Forteza, C. Zazo y I. Barrera, 2006.** Cartografía del riesgo de erosión hídrica mediante SIG en los espacios naturales de Candelario – Gredos (España). *Edafología*, 13 (1):11-20.
- **Massone, H., D. Martinez, M. Quiroz Londoño, A. Ferrante, M. Tomas, V. Bernasconi y M. Farenga, 2008.** Prospección Geoeléctrica con fines Hidrogeológicos en la Cuenca Sur del Partido de General Pueyrredón, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo (ALHSUD)*, 6: 57-68.
- **Matteoda, E., M. Blarasin, G. Damilano y A. Cabrera, 2008.** Contaminación por nitratos en el acuífero freático: análisis del fondo natural y relaciones con las actividades de uso del territorio. 9° Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea y Expo Agua. CD: 41 p., Quito, Ecuador.
- **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. Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 370 p. Río Cuarto, Córdoba.
- **Mattos Gutierrez, S. R., G. N. Parodi y F. Damiano, 2012.** Análisis de amenaza por inundación en área urbana empleando modelos hidrodinámicos y herramientas SIG (Pergamino, Arg.). Pub. INTA, 24 p. <http://inta.gov.ar/documentos/analisis-de-amenaza-por-inundacion-en-area-urbana-empleando-modelos-hidrodinamicos-y-herramientas-sig>

- **Miller, G. T., 1994.** Ecología y medio ambiente. Grupo Ed. Iberoamericana, 867 p., México D.C.
- **Minor, T., C. Rusell y S. Mizell, 2007.** Development of a GIS-based model for extrapolating mesoscale groundwater recharge estimates using integrated geospatial data sets. *Hydrogeology Journal* 15: 183-195.
- **Murillo, M., 1996.** Neotectónica del flanco occidental de la sierra de Comechingones, entre los arroyos Piedra Blanca y San Miguel (Pcia. de San Luis). Tesis de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédita), 135 p., Buenos Aires.
- **Noda, N. y L. E. Mendoza, 1998.** Guía de Laboratorio N° 4 de Sistemas de Información III, Universidad Simón Bolívar Sistemas de Información III (inédito) - PS6117 Laboratorio.
[www.prof.usb.ve/.../PS 6117%20\(Laboratorio\)/Guía_No_4_Lab_SI-III.pdf](http://www.prof.usb.ve/.../PS_6117%20(Laboratorio)/Guía_No_4_Lab_SI-III.pdf)
- **Olaya, V., 2011.** Sistemas de Información Geográfica. 911 p
http://wiki.osgeo.org/wiki/Libro_SIG
- **Olsacher, J., 1972.** Descripción geológica de la Hoja 21h, Cerro Champaquí, Provincia de Córdoba. Dirección Nacional de Geología y Minería. Boletín 133: 1-64, Buenos Aires.
- **Panizza M., 1993.** Riesgo Geomorfológico y Vulnerabilidad Ambiental. Quaderni Instituto Italo Latino Americano (IILA), Serie Scienza 6. México.
- **Panno, S., W. Kelly, A. Martinsek y K. Hackley, 2006.** Estimating background and threshold nitrate concentrations using probability graphs. *Ground Water* 44 (5): 697-709.
- **Passotti, P. y A. Castellanos, 1966.** Rasgos geomorfológicos generales de la Llanura Pampeana. Conferencia Regional Latinoamericana, UGI, Tomo 3, México.
- **PLANINPA, 2010.** Plan especial de protección civil ante el riesgo de inundaciones del principado Asturias, 447 p.
- **PROSAP (Programa de Servicios Agrícolas Provinciales), 2011.** Proyecto Reordenamiento del sistema de riego del río de Los Sauces – Préstamo BID 899/OC-AR 1. Informe de cierre (inédito), 22 p.
- **Quiroz M.; H. Massone y D. Martinez, 2007.** Sistema de Información Geográfica para el manejo integral de información hidrológica en la cuenca del río Quequén Grande, provincia de Buenos Aires, Argentina. 5° Congreso Argentino de Hidrogeología y 3° Seminario hispanoamericano de Temas Actuales de la Hidrogeología Subterránea, 296-306, Paraná, Entre Ríos.
- **Quiroz Londoño, O. M., S. I. Grondona, H. E. Massone, M. Farenga, G. Martínez y D. E. Martínez, 2013.** Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de

inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica (GeoFocus)* 13 (1): 76-98.

- **Rabassa, J., M. Zárate, M. Ciocale, C. Carignano, T. Portridge y R. Mand, 1996.** Paisajes relicturales de Edad Gondwánica en áreas cratóbicas de Argentina. 13° Congreso Geológico Argentino. Actas 4: 219-220, Buenos Aires.

- **Ramonell, C., M. Montagnini, E. Cafaro, M. Gallego, J. Alarcón, y M. Amsler, 2009.** River morphodynamics in Argentina: A regional perspectiva. 4° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, 12° Congresso da associação Brasileira de Estudos do Cuaternario y Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur. Ed. Resumen CD: 78, La Plata.

- **Raj Pathak D., A. Hiratsuka, I. Awata y L. Chen, 2009.** Groundwater vulnerability assessment in shallow aquifer of Kathmandu Valley using GIS-based DRASTIC model. *Environmental Geology* 57 (7): 1569-1578.

- **Ramos, V. A. 1999.** Las provincias geológicas del territorio argentino. En Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29 (3): 41-96, Buenos Aires.

- **Ravelo, C., 1990.** Balance hídrico seriado - Índices de sequía y humedad del cultivo. Manual Teórico/operativo. Asociación Agronómica de Agrometeorología, 8 p.

- **Ravi Shankar, M. N. y G. Mohan, 2006.** Assessment of the groundwater potential and quality in Bhatsa and Kalu river basins of Thane district, western Deccan Volcanic Province of India. *Environmental Geology* 49: 990-998.

- **Reyna J., P. Spalletti y J. D. Brœa, 2007.** Riesgo de inundaciones en el río Luján. 3° Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, 13 p. Córdoba.

- **Ribera Masgrau, L., 2004.** Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas. *Documents d' Análisis Geogràfica* 43: 153-171.

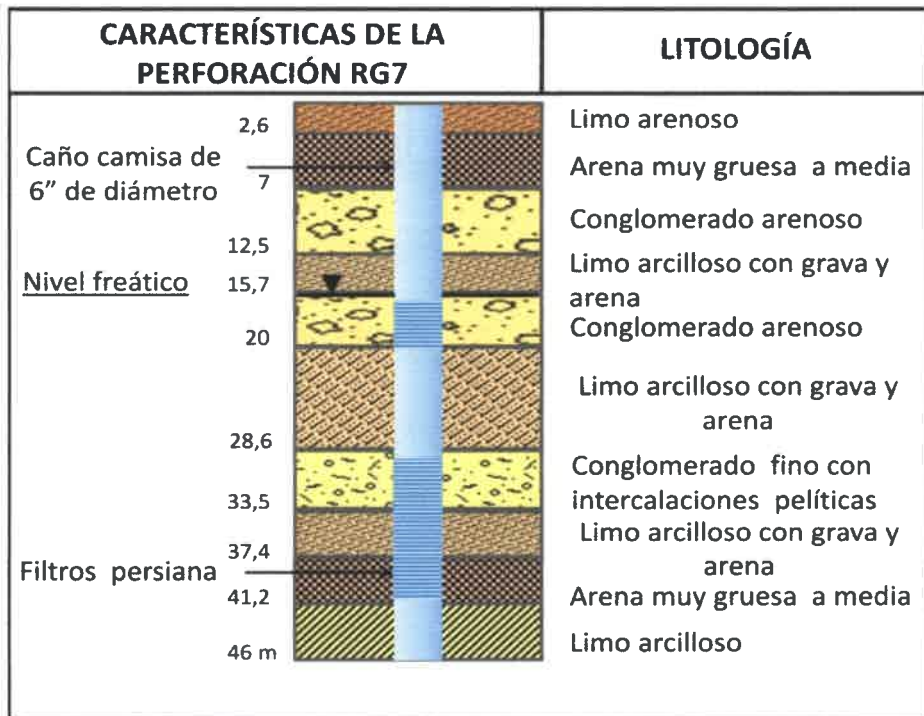
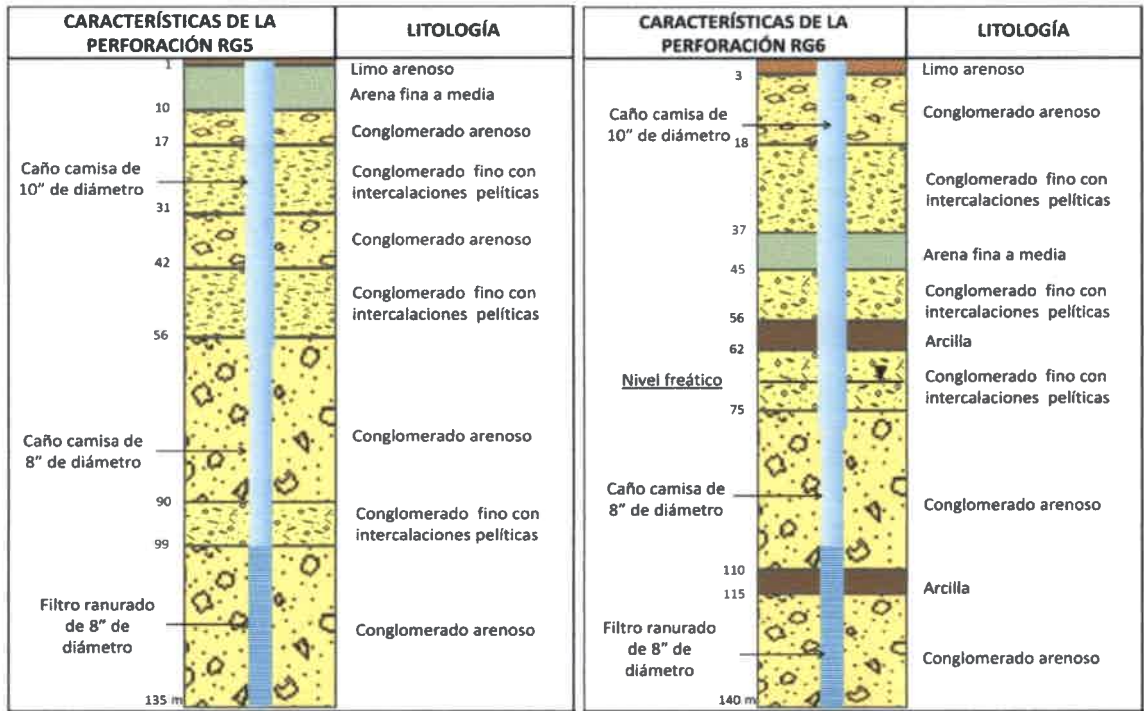
- **Richards, L. A., 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA Agricultural Handbook* 60: 160 p.

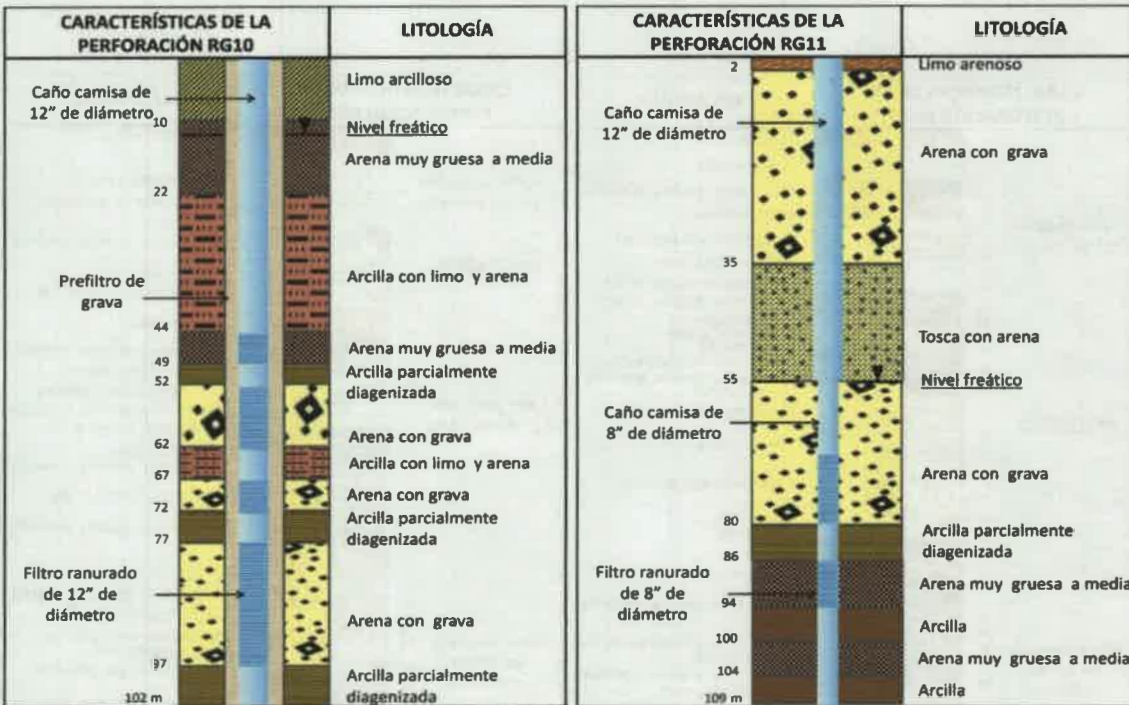
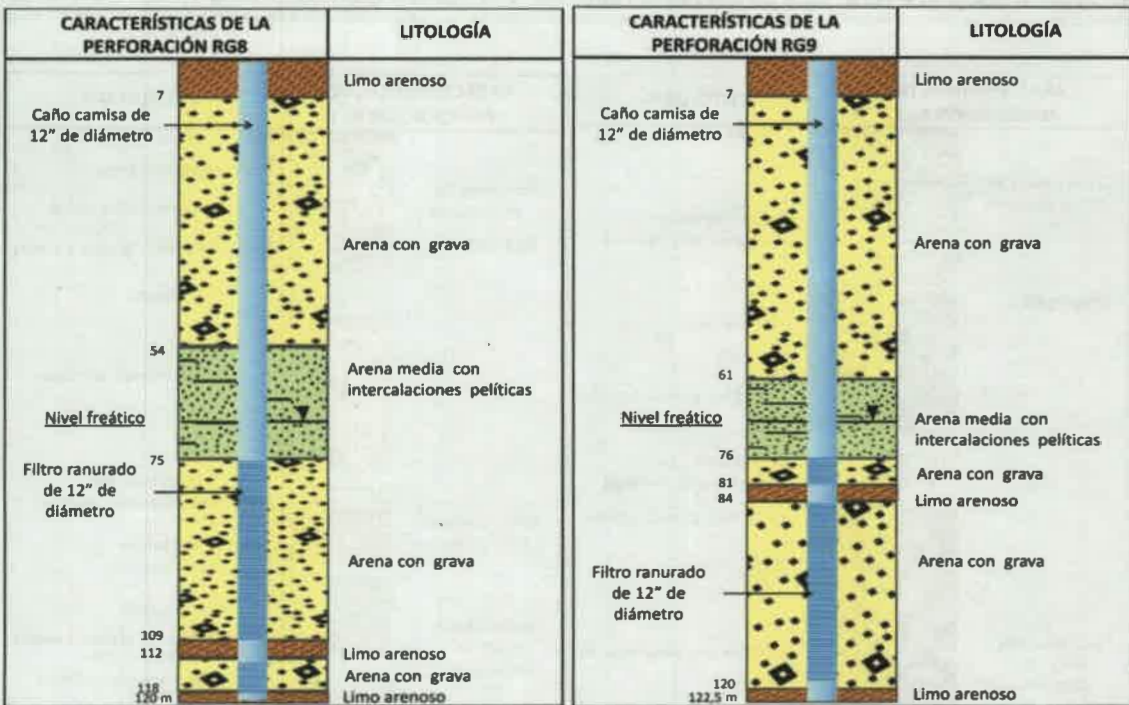
- **Rocha, V. y G. Baudino, 2002.** Contaminación con nitratos en el Norte de la ciudad de Salta Capital, Noroeste Argentino. *Congress Groundwater and Human Development*, 480-489, Mar del Plata.

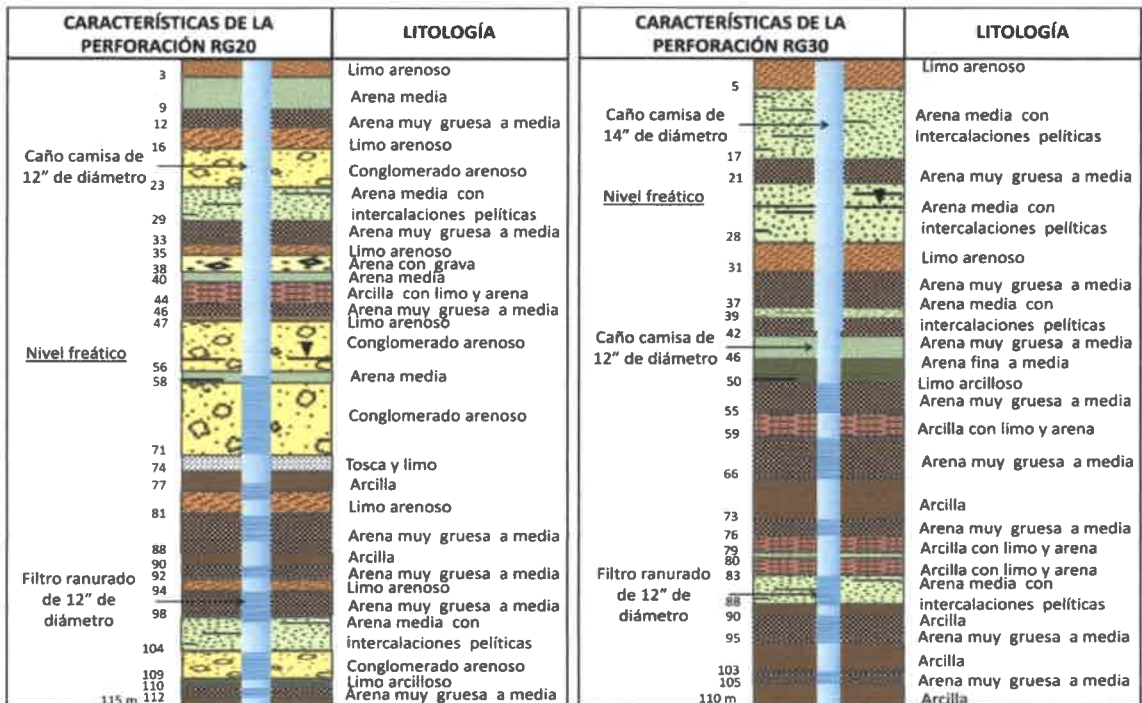
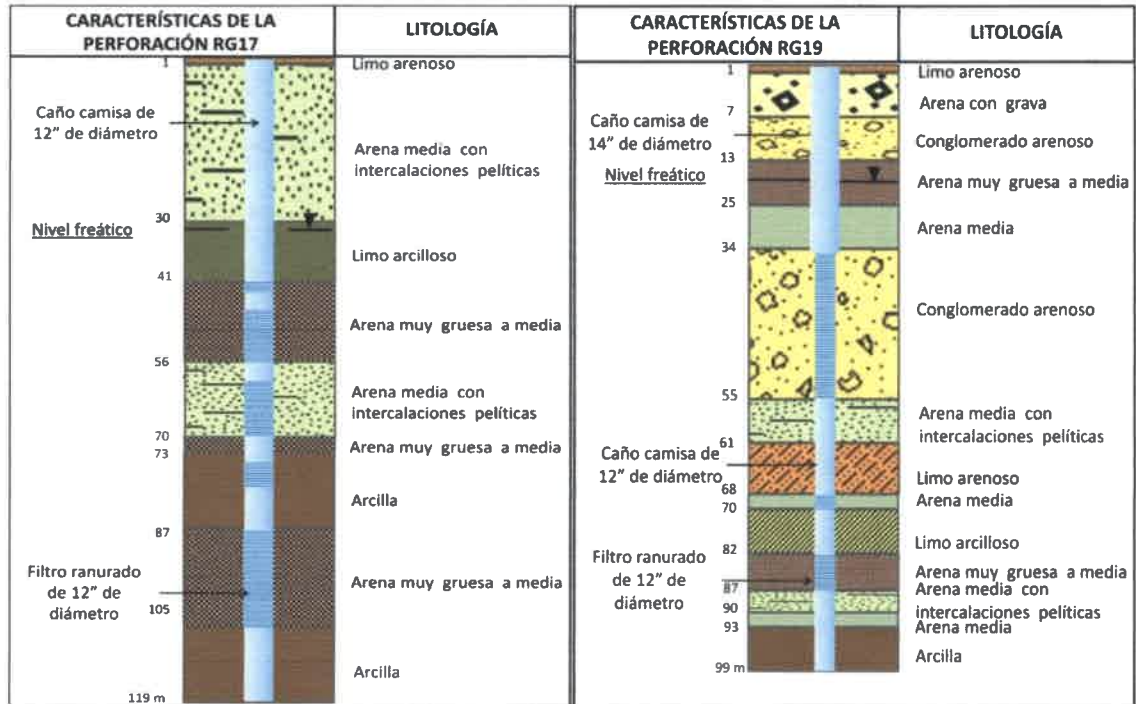
- **Saraf, A. K. y P. R. Choudhury, 1998.** Integrated remote sensing and GIS for groundwater exploration and identification of artificial recharge sites. *Int J Remote Sens* 19: 1825–1841.
- **Sarah, O., M. Tweed, J. A. Leblanc, M. Webb y M. Lubczynski, 2007.** Remote sensing and GIS for mapping groundwater recharge and discharge areas in salinity prone catchments, southeastern Australia *Hydrogeology Journal* 15: 75–96.
- **Sarandón, R., 2000.** Fundamentos y estrategias para el análisis del ambiente en los estudios de impacto ambiental. Universidad Nacional del Litoral (Inédito), 16 p.
- **Savini, J., 2014.** 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. Tesis de grado, Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 211 p., Río Cuarto.
- **Sayago, J., 1975.** Geomorfología aplicada del valle de San Alberto (Provincia de Córdoba). Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (Inédita), 131 p., Córdoba.
- **Sayago, J., 1978.** Geomorfología del Valle de "San Alberto", Provincia de Córdoba. 7° Congreso Geológico Argentino Acta 2: 89-108, Neuquén.
- **Schumm, S. A., 1969.** River Metamorphosis. *Journal of the Hydraulics Division*, 95(1): 255-273.
- **Shaban, A., M. Khawlie y C. Abdallah, 2005.** Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones. The case of Occidental Lebanon. *Hydrogeology Journal* 14 (4):433-443.
- **Shand P. y B. Frøngstad, 2001.** Baseline groundwater quality: a comparison of selected British and Norwegian aquifers. British Geological Survey Report, IR/01/177, 92 p.
- **Sener, E., S. Sener y A. Davraz, 2009.** Assessment of aquifer vulnerability based on GIS and DRASTIC methods. A case study of the Senirkent-Uluborlu Basin (Isparta, Turkey). *Hydrogeology Journal* 17 (8): 2023-2035.
- **Splinter, D. K., D. C. Dauwalter, R. A. Marston y W. L. Fisher, 2010.** Ecoregions and stream morphology in eastern Oklahoma. *Geomorphology* 122: 117–128.
- **Surian, N. y A. Cisotto, 2007.** Channel adjustments, bed load transport and sediment sources in a gravel-bedriver, Brenta River, Italy. *Journal of Earth Surface Processes and Landforms*, 32: 1641-1656.
- **Thornthwaite, C. 1948.** An approach towards a rational classification of climate. *Geographic Review* 38 (1): 221-229.
- **Thornthwaite y Mather, 1955.** The water balance. Drexel Institute of Technology. *Publications in Climatology* 8 (1):104 p.

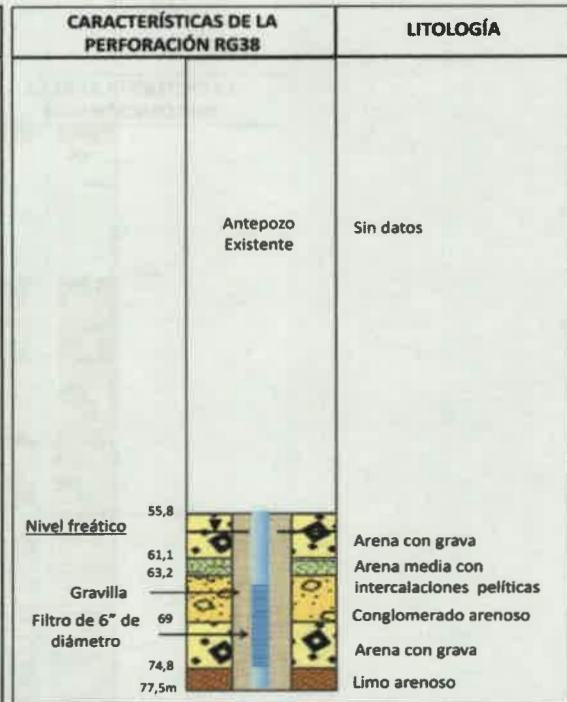
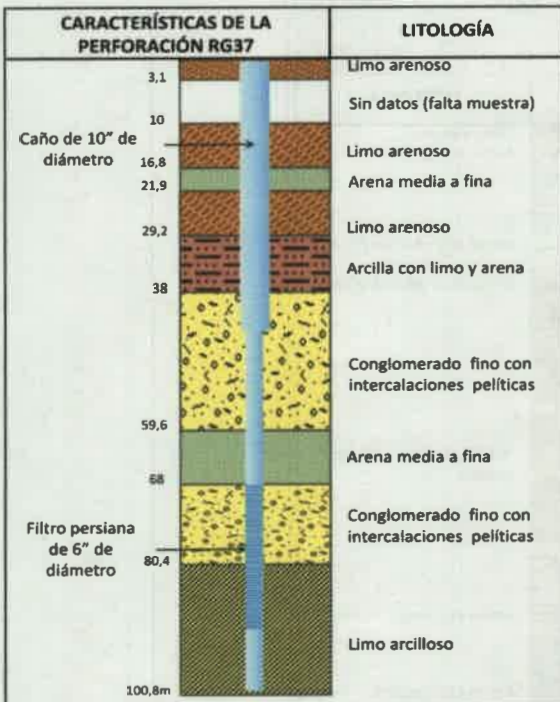
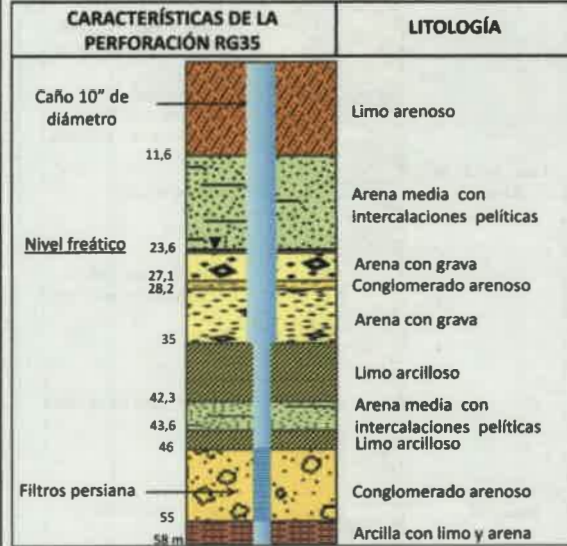
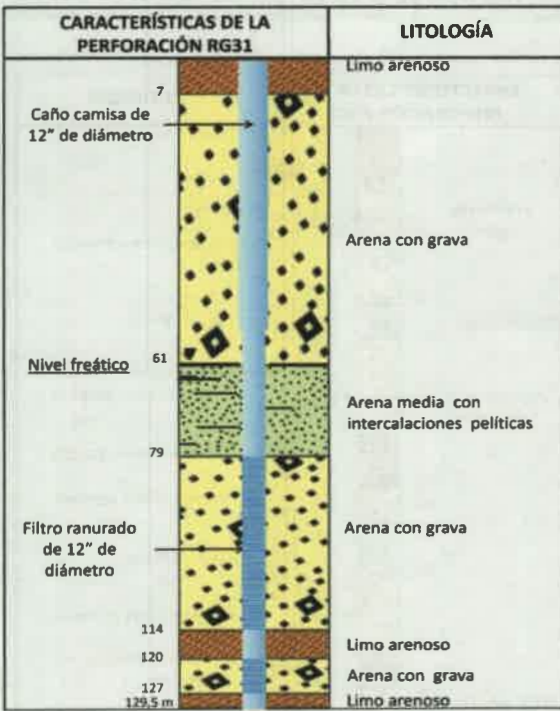
- **United State Geological Survey (USGS), 1998.** Strategic directions for the U.S. Geological Survey Groundwater resources Program A report to congress. Water resources Division, 14 p. Reston, Virginia.
- **Vazquez, J. B., A. Lopez Robles, D. Sosa y M. Sáez, 1979.** Aguas. En: J. B. Vázquez, R. A. Miatello y M. E. Roqué (eds) *Geografía física de la Provincia de Córdoba*: 139-212, Buenos Aires.
- **Vazquez Suñe, E. y A. Serrano Juan, 2012.** Mini manual de EasyQuim v5. Barcelona, España
- **Ven Te Chow, 1994.** Hidráulica de canales abiertos, 667 p., Colombia.
- **Vergara Tenorio, M. A., E. A. Ellis, J. A. Cruz Aguilar, L. Alarcón Sánchez, U. Galván del Moral, 2011.** La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental. *Política y Cultura*, 36: 45-69.
- **Vrba, J. y A. Zaporozec, 1994.** Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH, 16: 1-131, Verlag Heinz Heise, Hannover
- **Vrba J. y A. Lipponen 2007.** Groundwater resources sustainability indicators. IHP-VI, Series on groundwater 14: 127 p., París.
- **Walter, T., 2006.** An automated Excel-tool to determine geogenic background values using a probability net. Poster 06 - Landsemat für Umwelt. Saarbrücken. Germany
- **Wang, C.-Y. y Y. Chia, 2008.** Mechanism of water level changes during earthquakes: Near field versus intermediate field, *Geophysical Research Letters* 35 (12): L12402, doi: 10.1029/2008 GL034227.
- **Wang, C. y Mang, M., 2010.** *Earthquakes and Water*. Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 228 p.
- **Wendland, F., R. Kunkel, B. Tetzlaff y G. Do"rho"fer, 2003.** GIS-based determination of the mean long-term groundwater recharge in Lower Saxony. *Environmental Geology* 4: 273-278.
- **WWAP, 2006.** World Water Development Report 2: Water – A Shared Responsibility. UNWWAP, 52 p.
- **Zarco Ambrosio, J. J., 1992.** Prioridad de indicios uraníferos. Modelo genético basado en el cizallamineto magmático ocurrido durante el emplazamiento del Batolito de Achala.
- **Zubieta Barragán, R., 2013.** Modelado hidrológico distribuido de la cuenca amazónica peruana utilizando precipitación obtenida por satélite. Tesis de maestría Universidad Nacional Agraria La Molina (inédita), 110 p., Perú.

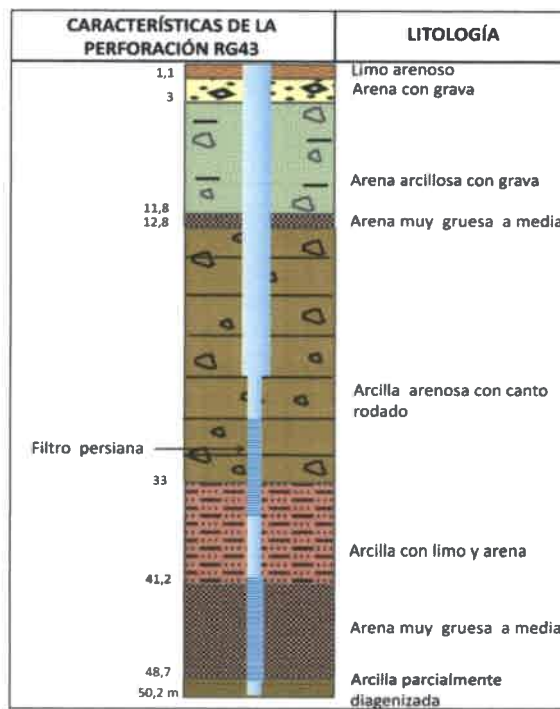
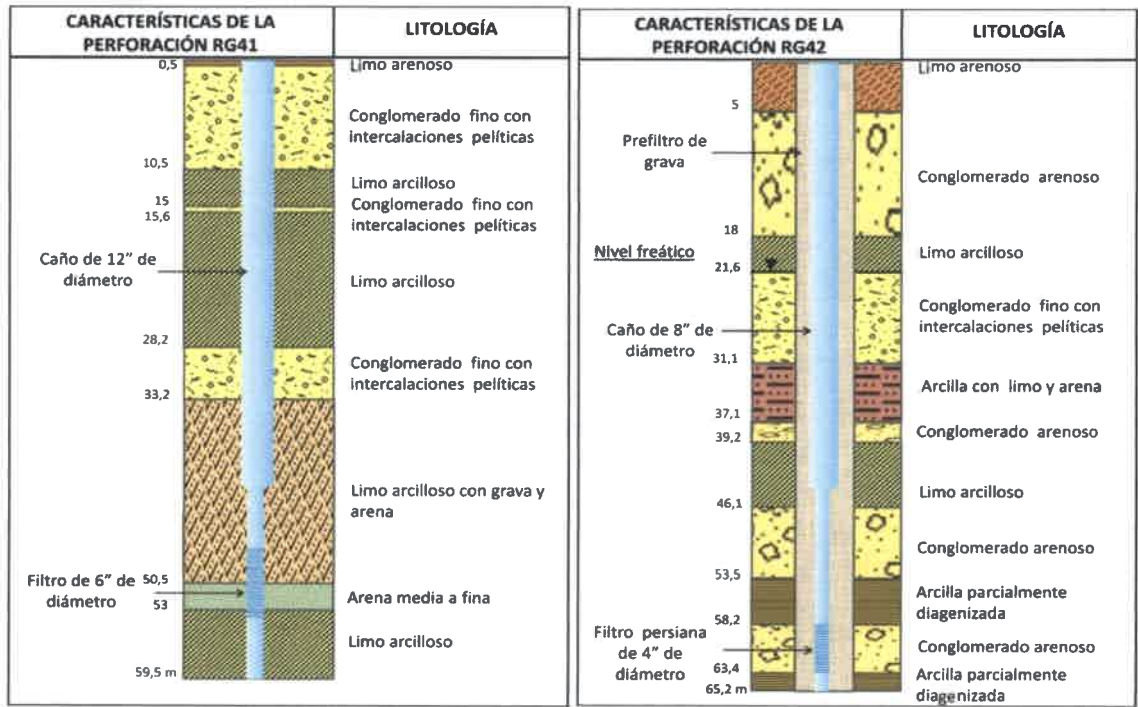
ANEXOS











ANEXO II

Tabla 1. Resultado análisis físico químico. Muestras de agua subterránea

Nº Muestra	pH	Cond. [µS/cm]	S.D.T. [mg/L]	CO ₃ ²⁻ [mg/L]	CO ₃ H ⁻ [mg/L]	SO ₄ ²⁻ [mg/L]	Cl ⁻ [mg/L]	Na ⁺ [mg/L]	K ⁺ [mg/L]	Ca ⁺ [mg/L]	Mg ⁺ [mg/L]	As [µg/L]	F [mg/L]	NO ₃ ⁻ [mg/L]
KB1	7,3	854	597,8	0	417,5	57,6	14,29	101,11	7,62	81,6	13,17	1	1	7
KB2	7,3	1172	820,4	0	470,00	300,00	20,00	109,20	14,65	139,20	25,37	1	1,1	6
KB3	7,2	569	398,3	0	192,50	82,54	20,00	68,76	3,66	47,20	8,78	0	0,6	7
KB4	7,1	404	282,8	0	147,50	29,89	22,86	25,28	4,25	48,00	6,83	1	0,2	5
KB5	7,1	480	336	0	157,50	53,97	25,71	35,39	4,10	52,00	8,29	1	0,3	9
KB7	7,3	420	294	0	162,50	35,01	14,29	36,40	3,81	43,20	7,32	1	0,4	12
KB10	7,4	378	264,6	0	150,00	29,50	14,29	24,27	4,54	41,60	6,83	1	0,2	10
KB12	7,9	776	543,2	0	105,00	114,01	102,86	65,72	6,89	82,40	9,27	2	0,3	9
KB13	7,1	955	668,5	0	105,00	184,91	145,71	66,73	7,03	2,75	0,08	2	0,3	12
KB15	7,10	605	424	0	247,5	73,5	20,0	47,5	6,0	56,8	10,2	0	0,42	16,0
KB16	7,60	650	455	0	250,0	73,5	34,3	47,5	6,3	77,6	11,2	1	0,22	15,0
KB18	7,60	436	305	0	140,0	44,1	20,0	32,4	4,1	54,4	6,8	1	0,22	12,0
KB20	7,90	356	249	0	120,0	51,7	14,3	39,4	3,7	38,4	4,9	2	0,42	12,0
KB22	7,80	344	241	0	150,0	48,1	8,6	26,3	4,0	40,8	4,4	5	0,55	26,0
KB23	7,80	547	383	0	180,0	65,3	37,1	37,4	5,4	66,4	6,8	4	0,17	11,0
KB24	7,80	400	280	0	165,0	48,1	17,1	33,4	4,2	47,2	5,9	4	0,29	16,0
KB26	6,80	188	132	0	76,3	34,6	5,7	25,8	2,1	12,8	2,4	1	0,34	6,5
KB28	7,80	1618	1133	0	690,0	130,7	42,9	305,4	19,2	57,6	15,1	25	5,00	15
KB29	7,70	3160	2212	0	330,0	591,8	514,3	513,7	9,2	168,0	12,2	9	0,38	10
KB32	7,70	3530	2471	0	337,5	1131,1	382,9	489,4	7,9	304,8	37,6	3	0,46	22
KB33	7,90	1367	957	0	400,0	345,2	40,0	236,6	4,2	102,7	17,9	9	0,75	5
KB35	7,50	1164	815	0	265,0	256,0	45,7	127,4	6,2	104,8	18,0	1	0,55	10
KB37	7,55	2300	1610	0	480,0	821,5	11,4	367,0	4,7	156,0	35,6	0	1,35	2
KB39	7,7	1127	788,9	0	112,5	166,7	171,4	66,7	7,8	142,4	18,0	3	0,2	20
KB40	7,9	1087	760,9	0	270,0	173,4	107,1	73,8	7,2	132,8	14,6	7	0,3	11
KB41	7,95	335	234,5	0	127,5	22,0	14,3	25,3	4,8	38,4	3,9	7	0,5	4
KB42	7,95	336	235,2	0	125,0	20,8	20,0	29,8	4,5	38,4	2,0	12	0,5	3

KB42	7,95	336	235,2	0	125,0	20,8	20,0	29,8	4,5	38,4	2,0	12	0,5	3
KB44	7,9	322	225,4	0	107,5	22,8	17,1	26,3	4,4	35,2	5,4	10	0,4	6
KB45	7,7	390	273	0	162,5	29,1	22,9	34,4	4,7	43,2	5,9	2	0,4	9
KB46	6,6	338	236,6	0	160	34,6	8,6	33,4	7,9	33,6	7,3	1	0,42	0

75055

83