



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
CATAMARCA**
Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA RIOJA
Dpto. de Ciencias y Tecnologías Aplicadas a la
Producción, Ambiente y Urbanismo

TESIS DOCTORAL

“EVALUACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO
DEL PIEDEMONTE ORIENTAL DEL FAMATINA EN LA
SUBCUENCA DEL RÍO DURAZNO” CHILECITO (LA RIOJA)

Geólogo Miguel Alberto Jaular

2021

Evaluación y aprovechamiento del recurso hídrico del piedemonte oriental del Famatina en la subcuenca del Río Durazno, Chilecito, La Rioja

Miguel Alberto Jaular

Jaular, Miguel Alberto

Evaluación y aprovechamiento del recurso hídrico del piedemonte oriental del Famatina en la subcuenca del Río Durazno, Chilecito, La Rioja / Miguel Alberto Jaular . - 1a ed. - Catamarca : Editorial Científica Universitaria de la Universidad Nacional de Catamarca, 2021.

Libro digital, HTML

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-661-378-1

1. Hidrogeología. I. Título.

CDD 551.4830982

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723.

E.C.U. 2018

Avda. Belgrano 300 - Pab. Variante I - Planta Alta - Predio Universitario - San Fernando del Valle de Catamarca - 4700 - Catamarca - República Argentina

Prohibida la reproducción, por cualquier medio mecánico y/o electrónico, total o parcial de este material, sin autorización del autor.

Todos los derechos de autoría quedan reservados por el autor.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
CATAMARCA**
Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA RIOJA
Dpto. de Ciencias y Tecnologías Aplicadas a la
Producción, Ambiente y Urbanismo

TESIS DOCTORAL

**“EVALUACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO
DEL PIEDEMONTE ORIENTAL DEL FAMATINA EN LA
SUBCUENCA DEL RÍO DURAZNO” CHILECITO (LA RIOJA)**

Doctorando: Geólogo Miguel Alberto Jaular
Director: Dr. Jorge Walter García
Co-Director/a: Dra. Alicia Azucena Leiva.

FICHA CATALOGRÁFICA

MIGUEL ALBERTO JAULAR

**“EVALUACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL RECURSO
HÍDRICO DEL PIEDEMONTTE ORIENTAL DEL FAMATINA EN
LA SUBCUENCA DEL RÍO DURAZNO” Chilecito (La Rioja)**

Tesis de Doctorado

La reproducción total o parcial de este libro en forma idéntica o modificada, escrita a máquina o por el sistema “multigraph”, mimeógrafo, impreso, etc., no autorizada por los editores, viola derechos reservados.

Cualquier utilización debe ser previamente solicitada.

© 2021 Editorial Científica Universitaria
Universidad Nacional de Catamarca.

Hecho el depósito que marca la ley.

I.S.B.N. N° 978-987-661-378-1

Autor: Miguel Alberto Jaular

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios haber culminado esta tesis doctoral. En este trayecto de formación, voy a tratar de no olvidarme de todos aquellos que de una u otra manera participaron en la concreción de tan importante logro.

- Universidad Nacional de Catamarca. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Por permitir realizar mi doctorado.
- A la Directora Académica del Doctorado en Geología de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de UNCa, Dra. Adriana Niz por incentivar al retorno de la Investigación luego de mi abandono, con su humildad y jerarquía que la caracterizan.
- Universidad Nacional de La Rioja. Depto. De Ciencias y Tecnologías Aplicadas a la Producción Ambiente y Urbanismo, por el apoyo permanente sustentado por la referente Dra. Alicia A. Leiva.
- Universidad Nacional de Chilecito, por la participación en las determinaciones químicas y asesoramiento técnico.
- Mi Director, Dr. Jorge W. García, por sus conocimientos aportados y el apoyo sincero durante el trabajo, y sobre todo por confiar en el doctorando.
- Mi Co Directora, Dra. Alicia A. Leiva, mujer interactiva, incansable, detallista y que supo en el momento final, reencausar la tesis del doctorando.
- A los miembros del Jurado, que se tomaron su tiempo para dar lectura al trabajo enriqueciéndolo con sus sugerencias.

EVALUACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DEL PIEDEMONT
ORIENTAL DEL FAMATINA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO DURAZNO Chilecito (La Rioja).

Autor: Miguel Alberto Jaular

- Licenciada Malvina Serra, por la edición de imágenes.
- Dra. Valle Ortiz, por su gran predisposición ante la consulta.
- Licenciado en Geología Sergio Bahamonde Alvarado, por el impulso a iniciar el doctorado y predisposición ante la consulta solicitada.
- Dr. Luis M. Juárez, ex Gerente de Consuagua, por su colaboración y discusiones técnicas con el doctorando.
- Profesor Eduardo Veira, Delegado IPALaR Chilecito, por su colaboración con equipamiento y bibliografía específica.
- Sr. Leonardo Mercado, titular de Aguas Riojanas Sapem, por los intercambios de información del recurso y discusiones constructivas.
- Geólogo Oscar E. Juárez, por sus aportes desinteresados.
- Dra. Patricia Figuerola, por la asistencia en actividades meteorológicas.
- A la memoria de mi extinto padre Luis Ramón, que me inculcó la perseverancia en mis estudios primarios, secundarios y universitarios. A mi madre Leonila Antonia (Lionchi), que supo apoyarme en todos los momentos de mi vida.
- A mi familia, principal soporte de alegrías y tristezas, sustentada por el inquebrantable apoyo y amor de mi esposa Claudia. Solo ellos saben de mi sacrificio, conocen el desarraigo, limitaciones económicas, y de más contingencias. Pero también, son contendores de alegrías de logros alcanzados con esfuerzo, como el logrado en el presente trabajo. A todos... MUCHAS GRACIAS.

Autor: Miguel Alberto Jaular

Resumen

El agua es indispensable para la vida, se puede permanecer muchos días sin comer, pero no muchos sin beber agua. La cantidad de agua en el mundo, es la misma que la que disponía el planeta cuando se formó, necesitamos optimizar los Recursos Naturales, para hacerlos sustentables y poder disponer de ellos de acuerdo a las necesidades del hombre.

En tiempos actuales, el minifundio fue perdiendo protagonismo, sumado a que las obras de arte requieren otro tipo de mantenimiento, por lo que se contemplan pautas ambientales, culturales, de seguridad y de infraestructura para resguardar los intereses de la población de la región.

El agua es un recurso finito, su aptitud depende del uso de la misma. Necesitamos darle el valor que realmente tiene, más aún en esta región donde el recurso es sumamente escaso. Durante la ejecución de este trabajo, se realizó transferencia de los resultados a diferentes Instituciones del medio responsables del recurso, con el fin de resguardar los intereses de la población.

Este trabajo, establece para la ciudad de Chilecito y Distritos de influencia la calidad y cantidad de agua potable necesaria para consumo de sus habitantes. Es decir, la oferta y demanda necesaria según la época del año y el uso superficial y subterráneo con todas sus contingencias geológicas, climáticas y culturales fundamentalmente.

Además, contempla, la calidad y cantidad del agua para riego del minifundio. Es decir, aquellos pequeños productores, pioneros, que trabajando la tierra estéril, usando agroquímicos y riego, optimizaron la región para hacerla fértil y productiva, iniciando un importante polo productivo del oeste riojano, de lo que es hoy la “Perla del oeste Riojano”.

Las sugerencias finales pretenden ser disparadores para nuevas inquietudes, obrar en consecuencia o investigaciones futuras.

EVALUACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO DEL PIEDEMONT
ORIENTAL DEL FAMATINA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO DURAZNO Chilecito (La Rioja).

Autor: Miguel Alberto Jaular

Abstract

Water is essential for life, one can live many days without eating, but not many without drinking water. The amount of water in the world, is the same as that which the planet had when it formed, thus we need to optimize Natural Resources, to make them sustainable and to utilize them according to the needs of man.

At present, smallholdings are losing prominence, in addition to the fact that art works require another type of maintenance, so environmental, cultural, safety and infrastructure guidelines are contemplated to protect the interests of the region's population.

Water is a finite resource, its quality depends on its use. We need to give it the value it really has, especially in this region where the resource is extremely scarce. During the execution of this research, the results were transferred to different regional institutions responsible for the resource, in order to protect the interests of the population.

This research establishes for the city of Chilecito and Districts of influence, the quality and quantity of drinking water necessary for the consumption of its inhabitants. That is to say, the supply and demand necessary according to the time of the year, and its superficial and underground use, and fundamentally, all its geological, weather and cultural contingencies.

It also contemplates the quality and quantity of water for irrigation of the smallholdings. That is to say, those small producers, pioneers, who working the sterile land, using agrochemicals and irrigation, optimized the region to make it fertile and productive, starting an important productive pole of western La Rioja, of what is now the "Pearl of the western Riojano".

The final suggestions are intended to trigger new concerns, act accordingly, or conduct future research.

Autor: Miguel Alberto Jaular

Résumé

L'eau est essentielle à la vie, on peut vivre plusieurs jours sans manger, mais peu sans eau potable. La quantité d'eau dans le monde est la même que celle que la planète avait lors de sa formation, nous devons donc optimiser les ressources naturelles, les rendre durables et les utiliser en fonction des besoins de l'homme.

À l'heure actuelle, les petites exploitations perdent de leur importance, en plus du fait que les œuvres d'art nécessitent un autre type d'entretien, de sorte que des directives environnementales, culturelles, de sécurité et d'infrastructure sont envisagées pour protéger les intérêts de la population de la région.

L'eau est une ressource finie, sa qualité dépend de son utilisation. Il faut lui donner la valeur qu'elle a vraiment, surtout dans cette région où la ressource est extrêmement rare. Lors de l'exécution de cette recherche, les résultats ont été transférés à différentes institutions régionales responsables de la ressource, afin de protéger les intérêts de la population.

Cette recherche établit pour la ville de Chilecito et les districts d'influence, la qualité et la quantité d'eau potable nécessaire à la consommation de ses habitants. C'est-à-dire l'offre et la demande nécessaires selon la période de l'année, et son utilisation superficielle et souterraine, et fondamentalement, toutes ses contingences géologiques, météorologiques et culturelles.

Il envisage également la qualité et la quantité d'eau pour l'irrigation des petites exploitations. C'est-à-dire que ces petits producteurs, pionniers, qui travaillaient la terre stérile, utilisant des produits agrochimiques et l'irrigation, ont optimisé la région pour la rendre fertile et productive, en commençant un important pôle productif de l'ouest de La Rioja, de ce qui est maintenant la «Perle de le Riojano occidental ».

Les suggestions finales visent à susciter de nouvelles préoccupations, à agir en conséquence ou à mener des recherches futures.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN	14
1.1. CONSIDERACIONES GENERALES	14
1.2. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	15
CAPÍTULO 2 : PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA	21
2.1. OBJETIVO GENERAL	25
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
CAPÍTULO 3 : DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL OBJETO	
MOTIVO DE ESTUDIO	28
3.1. SISTEMA DEL AGUA POTABLE	28
3.2. SISTEMA DE AGUA PARA RIEGO	30
CAPÍTULO 4 : MARCO CONCEPTUAL	39
4.1. MARCO REFERENCIAL	39
4.2. ENFOQUE Y MARCO CONCEPTUAL	51
CAPÍTULO 5 : METODOLOGÍA APLICADA	57
CAPÍTULO 6 : REGIÓN DE ESTUDIO	67
6.1. CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL MEDIO	67
6.1.1. Orografía	67
6.1.2. Geología regional y local	67
6.1.2.1. Contexto general	68
6.1.2.2. Situación Contemporánea	75
6.1.3. Clima	82
6.1.4. Vegetación	88
6.1.5. Suelo	89
6.1.6. Geomorfología	90

6.1.6.1. Características morfométricas de la cuenca del Río Durazno	90
6.1.6.2. Geomorfología regional y local	103
CAPÍTULO 7 HIDROLOGÍA	120
7.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS DE LOS RÍOS DEL SISTEMA.	121
7.2. ANÁLISIS DEL SISTEMA FLUVIAL Y RESERVORIOS DE AGUAS INVOLUCRADOS EN EL RIEGO DEL MINIFUNDIO.	126
7.3. CAUDALES DE LOS RÍOS	132
7.4. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO (DOMICILIARIO O DOMÉSTICO)	136
7.5. APTITUD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO (DOMICILIARIO O DOMESTICO)	140
7.6. DETERMINACIÓN FÍSICO QUÍMICA	141
7.7. RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	145
CAPÍTULO 8 : IMPLICANCIAS DE LA GEODINÁMICA INTERNA Y EXTERNA EN EL RECURSO HÍDRICO	148
8.1. GEOFÍSICA	149
8.1.1. Consideraciones generales del Valle Antinaco-Los Colorados hasta la latitud de Chilecito	150
8.1.2. Valoración del Cono aluvial Los Sarmientos (Localidades San Nicolás-Los Sarmientos-Tilimuqui-Malligasta)	152
8.1.3. Cono Aluvial de Chilecito y Río Durazno	154
8.2. HIDROGEOLOGÍA	162
8.2.1. Introducción	162
8.2.2. Discusión sobre el comportamiento del acuífero	166
8.2.3. Recarga	169
8.2.4. Descarga	170

8.2.5. Balance Hídrico tentativo	172
CAPÍTULO 9 : RESULTADOS ALCANZADOS Y CONCLUSIONES	175
9.1. AGUA POTABLE CANTIDAD	175
9.1.1. Aporte del Acueducto (Planta de Agua Potable)	175
9.2. AGUA POTABLE CALIDAD	176
9.2.1. Resultados Físico-químico del agua de perforaciones	176
9.2.2. Resultados Microbiológicos	177
9.3. AGUA PARA RIEGO CANTIDAD	179
9.4. AGUA DE RIEGO CALIDAD	180
CAPÍTULO 10 : RECOMENDACIONES FINALES	188
BIBLIOGRAFÍA	196

ÍNDICE DE FIGURAS

<p>Figura 1.1 Imagen Satelital del noroeste de Argentina. En recuadro rojo marca la región de la zona de estudio. Sector central deprimido: Valle Antinaco-Los Colorados. PRC: Precordillera. SFT: Sistema Famatina septentrional. SFUM: Sistema Famatina meridional. SVC: Sistema Velasco.....</p> <p>Figura 1.2 Región de estudio e Infraestructura principal.....</p> <p>Figura 1.3 Región de Captación – transferencia y sedimentación (oeste – este)17</p> <p>Figura 1.4 Captación y transferencia del Río Durazno.....</p> <p>Figura 1.5 Captación y transferencia del Río Durazno. En falso verde región del Minifundio (centro/este de la imagen y de la Ciudad de Chilecito).....</p> <p>Figura 2.1 Detalle de infraestructura de agua potable y riego de la ciudad de Chilecito.....</p> <p>Figura 2.2 Aguas Riojanas. Infraestructura en Santa Florentina</p> <p>Figura 2.3 Aguas Riojanas-Planta de Tratamiento. Santa Florentina</p> <p>Figura 2.4 Santa Florentina, a 20 metros del Azud del Distrito. Cañerías de conducción de acceso a planta de Agua Potable. Al centro, conducción Canal Matriz para Riego.....</p> <p>Figura 3.1 En Infrarrojo color nomenclatura de ríos principales. Al este de la ciudad de Chilecito resaltado en tonalidad rojiza, representación del Minifundio.....</p> <p>Figura 3.2 Ruta 14, B° Los Dorados. Centro: Módulo o Canal Primario cubierto por losetas, antes de llegar a partidor “El Parque”.</p> <p>Figura 3.3 Partidor “El Parque”. Módulo Primario y distribución Secundaria en margen izquierda y derecha respectivamente.</p> <p>Figura 3.4 a- Entrada estanque Anguinán. Imagen hacia el este. b- Ingreso estanque Anguinán. Imagen hacia el oeste.</p> <p>Figura 3.5 a- Estanque en Malligasta. Imagen hacia el norte. b- Imagen hacia el este. Obsérvese gran cantidad de basura en los reservorios.</p> <p>Figura 3.6 Variación anual de los caudales para el periodo 1999 a 2007. Se observa una marcada disminución en los últimos cuatro o cinco años del periodo considerado.</p> <p>Figura 3.7 Promedios mensuales para el periodo 1997-2007</p>	<p>15</p> <p>16</p> <p>17</p> <p>18</p> <p>19</p> <p>21</p> <p>23</p> <p>23</p> <p>24</p> <p>29</p> <p>31</p> <p>32</p> <p>33</p> <p>33</p> <p>36</p> <p>37</p>
--	---

Figura 4.1 Imagen Río Amarillo o El Oro. Visión hacia el este (aguas abajo) 100 metros antes del Azud El Vallecito.....	40
Figura 4.2 Río El Cajón. Visión hacia el oeste, 300 metros aguas arriba del Azud homónimo. Al fondo quebrada El Cajón.	41
Figura 4.3 a- Azud Agua Negra. b- Río Agua Negra. Visión al norte del Azud	42
Figura 4.4 Unión del río Amarillo con los ríos El Cajón/Agua Negra. Visión hacia el oeste (“Mesada del Chileno”).....	43
Figura 4.5 Río Durazno. Sector medio. Visión hacia el oeste	43
Figura 4.6 Partidor “El Parque”, aguas arriba. Inicio de la distribución secundaria.	46
Figura 4.7 a- Reservorio de Malligasta. b- Perforación CRAS N°241, sector norte. Abastecimiento para agua potable y riego.....	48
Figura 4.8 a- Imagen Defensa aluvial. Visión hacia el oeste. b- Defensa aluvial. Urbanización al oeste de Av. Circunvalación, al fondo Sierra de Famatina.	52
Figura 4.9 Perforación “12 de Octubre”. Suministro de agua potable a sector norte de la ciudad de Chilecito.	55
Figura 6.1 Mapa Geológico (ilustrativo), área Chilecito. Hoja Geológica 16 d (De Alba 1979)	68
Figura 6.2 Detalle Litogeológico Estructural de la región de estudio	78
Figura 6.3 Mapa geológico y su vinculación con la Cuenca de estudio	80
Figura 6.4 Isoyetas. Elaboradas a partir de los Documentos del CRAS (Centro Regional de Aguas Subterráneas) y datos de la Estación meteorológica del aeródromo Anguinán.....	83
Figura 6.5 Patrones de drenaje típicos pudiendo ocurrir a escalas variables (Howard 1967).....	91
Figura 6.6 Partes de la cuenca hidrográfica del Río Durazno.....	93
Figura 6.7 Digital Model of Elevation (DEM) de la cuenca imbrífera del río Durazno en base al cual se calculan los parámetros generales de la cuenca	94
Figura 6.8 Detalle de la cuenca para cálculo de Kc	97
Figura 6.9 Muestra los canales de concentración del fluido y la longitud del cauce principal de la cuenca	99
Figura 6.10 Mapa mostrando orientación de las pendientes.....	100

Figura 6.11 Mapa de posición relativa de la pendiente.....	101
Figura 6.12 Mapa de depresiones o quebradas	102
Figura 6.13 Azud Agua Negra/El Cajón-“Chiquerito” (“mesada del Chileno”. Conducción dual (superficial y canalizada).....	104
Figura 6.14 Azud Vallecito-“Chiquerito” (“mesada del Chileno”. Conducción dual (superficial y canalizada)	104
Figura 6.15 a-b. Sistema de Captación “El Burro”. c-Agua de vertiente excedente a escasos metros aguas debajo de cámaras de captación, en margen izquierda del río Amarillo. D-Escuela rural N° 291 Sixto A. Brizuela.	105
Figura 6.16 Toma Azud El Vallecito. a-b-Obstrucción de la conducción por caída de bloque (Rockfall). c-Materiales y selección de lugar para colocación de guía. d- Ubicación de tramo de guía. Se observa humedad natural del cuerpo.	107
Figura 6.17 Zona de transferencia. Convergencia hidrológica. Río Durazno..	108
Figura 6.18 Sistema de captación “El Burro” (Tofo). a-Cisterna con aberturas deterioradas y desprovistas de candado. b- Salida del sistema de conducción c-Imagen desde el sistema de captación, hacia el sudeste. d- Unión de ríos Agua Negra/El Cajón con río Amarillo, a 90 metros del sistema de captación	109
Figura 6.19 Captación “El Burro”-Tofo (Celeste). Posibilidad de futura Captación FCC (Verde)	110
Figura 6.20 Vertientes localizadas. a y b sobre el Río Amarillo en cercanías de Escuela rural Las higueritas. c-d- sobre camino, en intersección de sendas que va a Vallecito y Agua Negra. e-f- Río Durazno en su tramo medio, en la parte inferior de la imagen se localiza alumbramiento de agua, donde se adiciona la que llega del sector del camping de familia González.	111
Figura 6.21 a-b- Azud Santa Florentina deteriorado (fines año 2018). c-d- Río Durazno a metros del ingreso a azud y conducción redireccionada por margen derecha respectivamente.	112
Figura 6.22 Cono aluvial, región de piedemonte y ciudad de Chilecito	113
Figura 6.23 a-b- Tramo superior del río los Sarmientos, margen derecha y parte de llanura e inundación. c-d- Tramo medio, lecho principal y margen derecha. e-Tramo inferior, en primer plano llanura de inundación y en parte superior Sierra Paimán. f-	

Basurales a 400 metros del puente Los Sarmientos, a escasos metros de margen derecha Av. Circunvalación y sector norte de la ciudad de Chilecito.....	115
Figura 6.24 Posibilidad de emplazamiento de reservorio.....	117
Figura 7.1 Diagrama de Piper del agua destinada a riego.....	128
Figura 7.2 Clasificación de aguas de riego de acuerdo a las Normas de Riverside. Diagrama para clasificar las aguas de riego según el U.S. Salinity Laboratory Staff (1954).....	129
Figura 7.3 a- Canal a cielo abierto en la localidad de Los Sarmientos. b- Rotura de loseta en canal primario, al costado Ruta 14.....	130
Figura 7.4 Estanque Anguinán. a-Acumulación de basura en parilla 30 metros antes del ingreso. b- Entrada al reservorio. c-Reservorio con basura. Parte superior Pozo CRAS N°241 para incrementar volumen. d-e- Asentamiento de lodo. f- Salida del caudal para su distribución.	131
Figura 7.5 a- Río El Oro (Amarillo). Imagen hacia el oeste, 200 m del Azud Vallecito. b- Río El Cajón. Imagen hacia el oeste, 300 m del Azud El Cajón. c) Río Agua Negra. Imagen al norte al ingreso al Azud. c) Río Durazno, tramo superior.....	133
Figura 7.6 Diagrama de Schöeller- Barkalof	143
Figura 7.7 Diagrama de Piper y Stiff, mostrando prevaencia de aguas Sulfatadas y/o Cloruradas Cálcicas con excepción del pozo Ocampo Anguinán 2 (Bicarbonatada Cálcica) y caracterización de principales aniones y cationes respectivamente	144
Figura 8.1 Imagen este-oeste. Valle de Chilecito y región central del valle Antinaco-Los Colorados, al occidente y oriente respectivamente. Las localidades se establecen en conos aluviales modernos, y la Sierra de Paimán (primer plano) constituye un nivel de base local.....	149
Figura 8.2 Detalle Geoeléctrico y su relación con la región de estudio. Obras e infraestructura inherente a la actividad hidrogeológica	150
Figura 8.3 San Nicolás. Corte Geoeléctrico A-B oeste-este (SEV 1-2-7-3-8) (Reformulado de Mercoaguas Servicios Hidrogeológicos y ambientales).....	153
Figura 8.4 Geoeléctrica Altos de Chilecito. Reformulación de los trabajos de Conhidro (2009). Se adiciona la perforación 12 de Octubre, actualmente en funcionamiento al noroeste de la ciudad de Chilecito. En rojo Pozo 11 que a escasos	

400 al oeste no se concluye pozo emprendido por Geogrup. También en rojo se consigna (entre sev 1 y sev 2) el fracaso de los trabajos del pozo denominado “Cementerio Parque”.....	155
Figura 8.5 Hidrogeología y detalle geoelectrico de la región de estudio.....	159
Figura 8.6 Isopiezas en la región norte de la ciudad de Chilecito.	165
Figura 8.7 Isopiezas al oeste de la ciudad de Chilecito. Comportamiento del acuífero desde el río Durazno hasta la ciudad	167
Figura 8.8 Isopiezas al este de la ciudad de Chilecito. Comportamiento del acuífero hasta el talweg del valle Antinaco-Los Colorados	168

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Datos de la ex AyEE de la Nación (1967/68).....	34
Tabla 3.2 Minifundio actual. Datos Consuagua-Ipalar Delegación Chilecito	34
Tabla 3.3 Canal Primario o Módulo. Aforos realizados antes de la distribución secundaria	35
Tabla 6.1 Datos pluviométricos IPALaR periodo 1990-1995	83
Tabla 6.2 Registro meteorológico de precipitaciones. Periodo 1989-2017. Servicio meteorológico Nacional (Aeródromo Anguinán Dpto. Chilecito).....	85
Tabla 6.3 Registro meteorológico de presión, temperatura y humedad. Servicio meteorológico Nacional (Aeródromo Anguinán Dpto. Chilecito)	86
Tabla 6.4 Registro meteorológico de intensidad, dirección del viento y nubosidad. Servicio meteorológico Nacional (Aeródromo Anguinán Dpto. Chilecito). 87	87
Tabla 7.1 Identificación de muestreo Río El Oro	122
Tabla 7.2 Identificación de muestreo Río Agua Negra.....	124
Tabla 7.3 Identificación de muestreo Río El Cajón	125
Tabla 7.4 Análisis físico químico del agua destinada a riego.....	127
Tabla 7.5 Caudales del río Durazno periodo 1940-1943. Datos Agua y Energía Eléctrica de la Nación.	134
Tabla 7.6 Caudales del río Durazno periodo 1977-1982. Datos Agua y Energía Eléctrica de la Nación.	134
Tabla 7.7 Volumen de agua potable anual que se consume en la Ciudad de Chilecito. Se tiene en cuenta un aporte superficial del recurso al acueducto de 600 m ³ /h. Queda contemplado además los derroches.	138
Tabla 7.8 Aporte de agua en verano de las perforaciones afectadas a la red de agua potable.	139
Tabla 7.9 Aporte en invierno de las perforaciones afectadas a la red de agua potable.....	139
Tabla 7.10 Aptitud físico química del agua para consumo humano.....	141
Tabla 8.1 Datos hidráulicos de pozos involucrados en la región (Conhidro/2009), se agrega Pozo 12 de Octubre.....	160

Tabla 8.2 Localización y datos hidráulicos de Perforaciones afectadas a la red de Agua Potable. Las perforaciones Malligasta (CRAS 241), Estanque Anguinán y Tilimuqui respectivamente comparten el fluido para irrigación..... 164

Tabla 9.1 Volúmenes de agua y porcentajes de uso de Perforaciones por estación del año..... 175

Nomenclatura Utilizada

Art.	artículo
AyEE	Agua y energía eléctrica de la nación
CAA	Código alimentario Argentino
CONSUAGUA	Consortio de usuarios de agua
Dptos	Departamentos
etc.	etcétera
FCC	Futura cámara de captación
FiCyT	Financiamiento para estímulo y desarrollo de investigación científica y tecnológica
Fm	Formación
has	hectáreas
Hm ³ -hm ³	Hectómetros cúbicos
hPa	Hectopascales
hs	horas
IPALaR	Instituto provincial de agua La Rioja
km	kilómetros
km ²	Kilómetros cuadrados
l/s	Litros por segundo
LAC	Laboratorio de alta complejidad
Lat	Latitud
LD	Límite de detección: concentración mínima del analito detectado
Long	longitud
LQ	Límite de cuantificación: concentración mínima del analito que puede ser cuantificable con precisión y exactitud aceptable
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cubos o cúbicos
m ³ /h	Metros cúbicos por hora
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo
mm	Milímetros

ms.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
NE	Nivel estático
Ohmios m	Ohmios por metro
OSN	Obras Sanitarias de la Nación
P_f	Interés Compuesto (Población final estimada)
P_i	Población inicial
PRC	Precordillera
Q	Caudal
S	sur
Sapem	Sociedad anónima con participación Estatal mayoritaria
SEV	Sondeo eléctrico vertical
SFT	Sistema Famatina septentrional
SFUM	Sistema Famatina meridional
SMN	Servicio meteorológico Nacional
SVC	Sistema Velasco
VALC	Valle Antinaco-los colorados
W	oeste

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN

1.1. CONSIDERACIONES GENERALES

El problema del presente y del futuro del **mundo** es el Agua, actualmente hay más de 7000 millones de habitantes en el planeta como potenciales consumidores. Por supuesto, los países del primer mundo son los que tienen mayor accesibilidad y reservas para hacer frente al déficit del recurso.

Nuestro **país**, en vías de desarrollo, si bien posee escasa población con respecto a su vasta superficie, ya presenta en algunas regiones déficit del recurso. Hay que tener en cuenta las condiciones climáticas del país ya que 2/3 de su superficie corresponden a regiones áridas a semiáridas, dónde es necesario hacer eficiente el recurso para racionalizar el mismo y hacerlo sustentable.

La **provincia de La Rioja** se encuentra en la diagonal árida del país, y como otras tantas provincias necesita crear las condiciones óptimas para la mejor administración del recurso Hídrico. El clima árido a semiárido-continental, otorga condiciones meteorológicas específicas: **Precipitaciones anuales inferiores a 200 mm y las temperaturas anuales promedio son de 18°C**. Lo antedicho, hace necesario recurrir al **recurso subterráneo** para abastecer las necesidades de la población. En el aspecto agrícola, el trabajo del hombre sobre el suelo y el uso adecuado de agroquímicos crean las condiciones mínimas y necesarias para que las producciones de viñedos, olivos y frutales respectivamente.

Con respecto al **agua de consumo Domiciliario** se pueden destacar dos aspectos significativos en el Departamento Chilecito. En primer lugar de carácter cultural, el hecho de la falta de conciencia del **valor del agua**, dando lugar a diferentes derroches como lavado de automóviles, uso para limpiar las calles asfaltadas, lavado de veredas en horarios no permitidos, uso recreativo excesivo (piletas, parques, etc.), entre otros. Por otro lado de carácter técnico, el referido a la vieja data de la **red maestra domiciliaria**

que da lugar a diferentes pérdidas del fluido a veces simultáneas, donde no tienen asistencia en tiempo y forma.

Un parámetro a tener en cuenta que interfiere sobre todo el aspecto cuantitativo y por ende los resultados a futuro, es el **incremento demográfico del Departamento Chilecito**, por lo que este modelo o investigaciones posteriores, deben tener en cuenta.

En el presente trabajo se procura la Evaluación del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Durazno, para abastecer de agua potable y riego a la ciudad de Chilecito. Dicha ciudad, es la segunda en importancia de la provincia de La Rioja, con clima semiárido-continental por lo que los Recursos Hídricos son escasos y requiere optimización máxima para su mejor aprovechamiento.

1.2. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

La región de estudio se sitúa en el ámbito del Sistema Famatina y se extiende hacia el este alcanzando parte el Valle Antinaco-Los colorados (Figura 1.1).

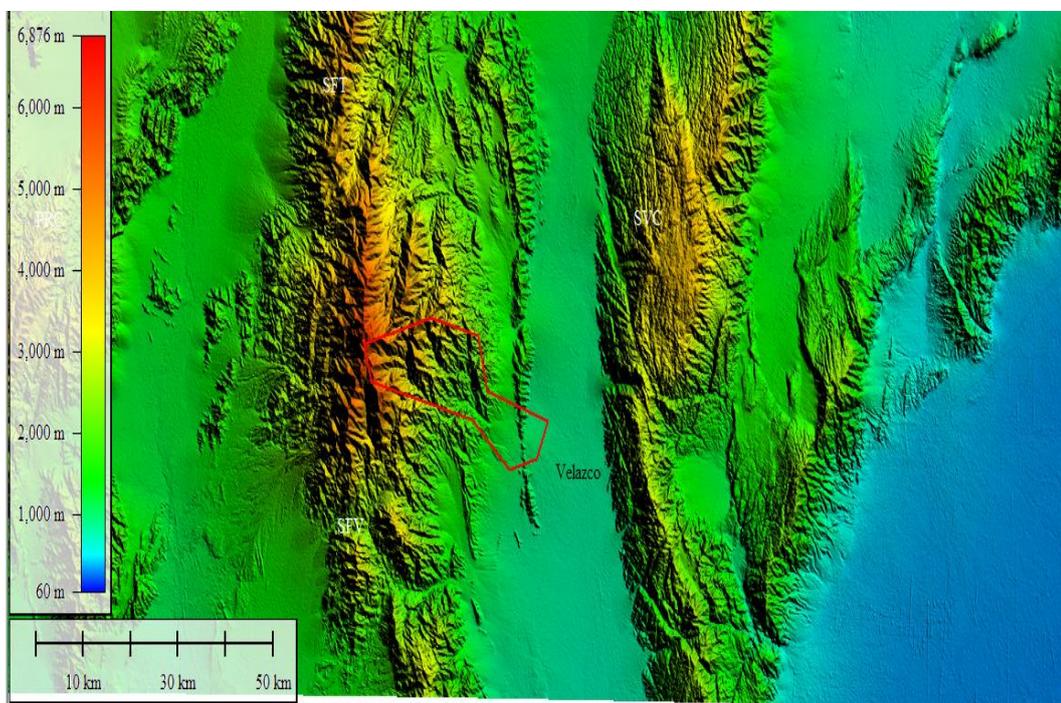


Figura 1.1 Imagen Satelital del noroeste de Argentina. En recuadro rojo marca la región de la zona de estudio. Sector central deprimido: Valle Antinaco-Los Colorados. PRC: Precordillera. SFT: Sistema Famatina septentrional. SFUM: Sistema Famatina meridional. SVC: Sistema Velasco.

Comprende la cuenca del río Durazno, cuyo sistema abierto incluye el río homónimo por ello se habla de subcuenca. Emplazada en parte de la ladera oriental de la Sierra de Famatina, un sector del piedemonte de dicha Sierra, entre Santa Florentina y la ciudad de Chilecito y continúa hacia el este de la ciudad, pasando la Sierra de Paimán hacia el sector medio del amplio valle Antinaco- Los Colorados (Figura 1.2).

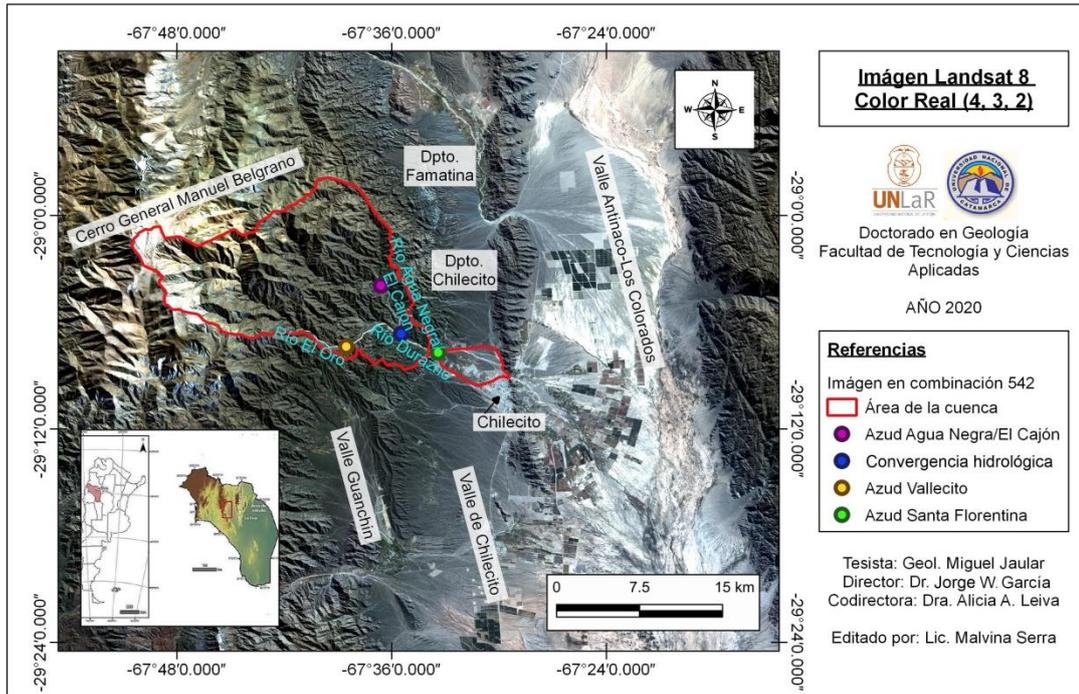


Figura 1.2 Región de estudio e Infraestructura principal

Desde el punto de vista geográfico, la zona forma parte del departamento Chilecito, y las coordenadas de los puntos extremos son las siguientes: al norte, $28^{\circ}58'52.24''S$ y $67^{\circ}40'18.03''O$, en el sector sudeste $29^{\circ}09'01.93''S$ y $67^{\circ}29'28.65''O$, y el sector oeste, $29^{\circ}01'14.86''S$ y $67^{\circ}49'26.81''O$.

La región de estudio, constituye un polígono de 300 km^2 , con un perfil longitudinal oeste-este que desde un punto de vista hidrológico – geomorfológico, incluye diferentes áreas. La región superior o de captación, que representa la zona de mayor erosión y meteorización, coincide con la zona de deshielo de la Sierra de Famatina, y se extiende hasta la localidad de Santa Florentina. Luego, desde esta localidad hasta la ciudad de Chilecito, lo constituye la región de transferencia que

coincide con el cono aluvial Santa Florentina-Chilecito. Por último, al este de la ciudad, pasando la Sierra de Paimán, corresponde a la región de sedimentación, ya prácticamente en el talweg del valle Antinaco-Los Colorados, (Figura 1.3) atestiguado por las tonalidades rojizas del minifundio.

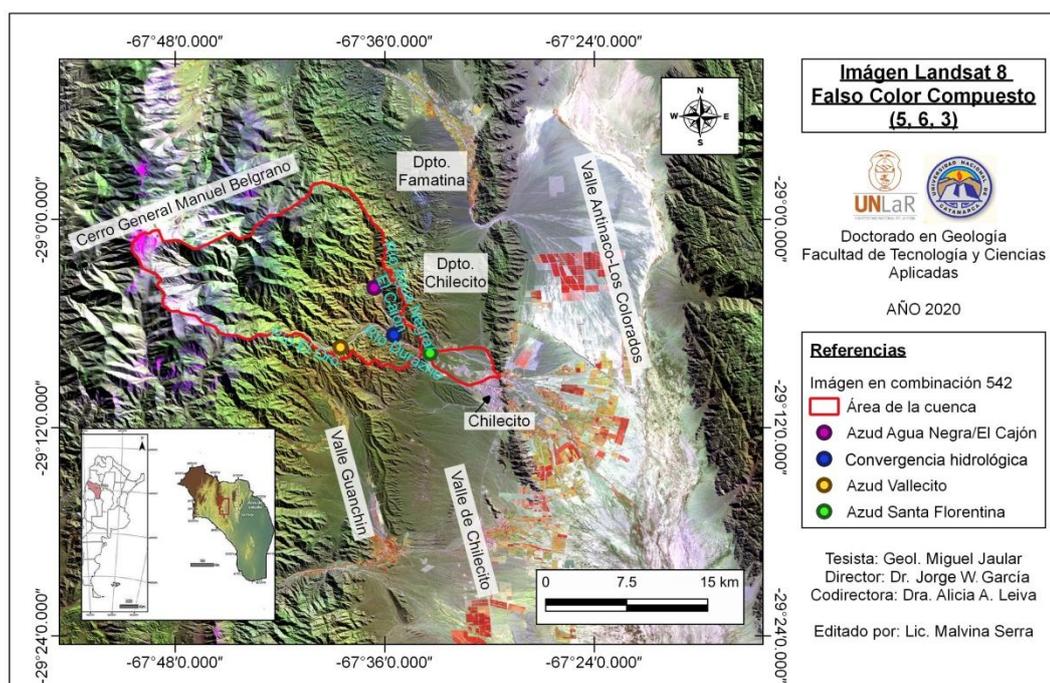


Figura 1.3 Región de Captación – transferencia y sedimentación (oeste – este)

El área se puede recorrer desde la ciudad de Chilecito por medio de la Ruta N°14, hacia el oeste llegando a la localidad de Santa Florentina, donde se localiza el río Durazno.

Otro acceso, se establece por el **sudoeste de la ciudad de Chilecito por Ruta 15 hasta la localidad de Guanchín, luego hacia el norte por la cuesta “El Pique” para acceder a la Toma o Azud El Vallecito, región sudoeste del proyecto.**

La región de estudio, en la latitud de la ciudad de Chilecito se incorpora al imponente Valle Antinaco-Los Colorados de elongación norte-sur. En esa convergencia geográfica, las altitudes del valle oscilan entre 1200 ms.n.m. al norte y 800 ms.n.m. al sur con un gradiente general del 0,7%. Esta depresión se halla dividida por la cadena Paimán-Chilecito en dos valles, el **occidental** angosto y con prolongación hacia el sur

hasta la localidad de Nonogasta. El mismo se subdivide en dos pequeños valles denominados Chilecito y Guanchín; el valle **oriental**, a su vez es amplio y llano se extiende hasta la vertiente occidental de la sierra de Velasco, siendo la prolongación sur del valle de Antinaco. Luego, ambos valles se reúnen al sur de Nonogasta para conformar el campo de Vichigasta.

Es preciso destacar que, sobre los cauces naturales de la región de estudio, hace más de 100 años, se establecieron las siguientes obras de arte: **azudes o tomas de agua a parrilla**, para conducir el fluido a destino, evitando la evaporación e infiltración del recurso.

La región de captación del recurso hídrico (Figura 1.4 y 1.5), se establece desde los **azudes Agua Negra/El Cajón y Vallecito**, localizadas sobre los respectivos cursos fluviales, hasta el cono aluvial donde se localiza la ciudad de Chilecito consumidora del **agua potable**. Hacia el este de la sierra de Paimán, se constituye el **Minifundio** cuyo riego superficial y subterráneo abastece pequeñas localidades, donde se destacan por su importancia Malligasta y Anguinán.



Figura 1.4 Captación y transferencia del Río Durazno

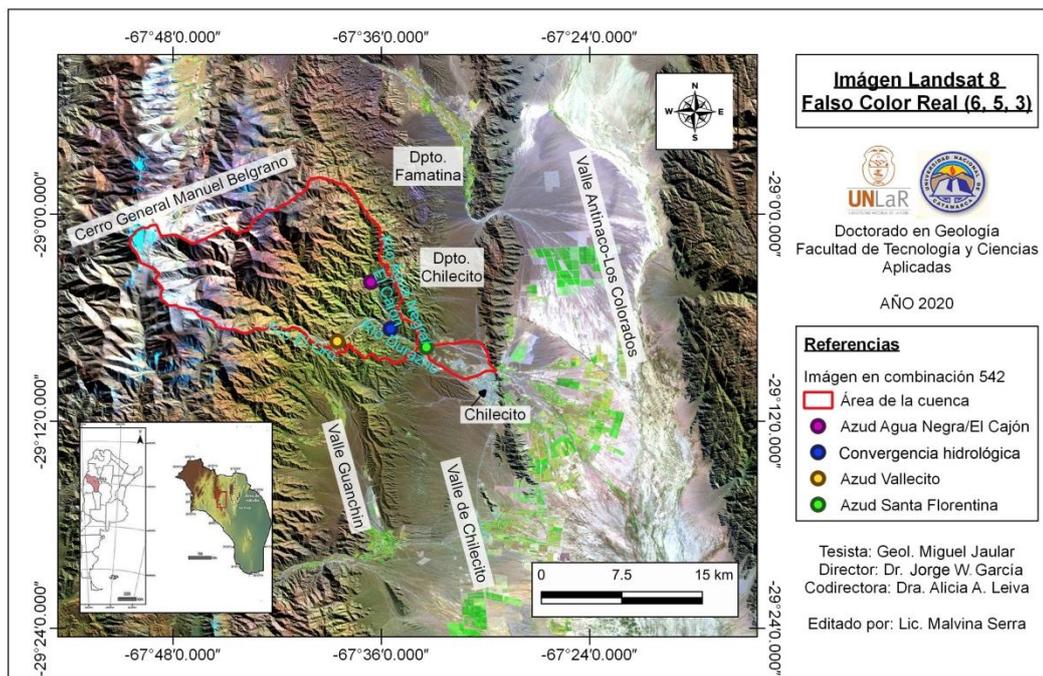


Figura 1.5 Captación y transferencia del Río Durazno. En falso verde región del Minifundio (centro/este de la imagen y de la Ciudad de Chilecito)

CAPITULO 2: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA

CAPÍTULO 2 : PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA

¿Cómo responde el Recurso Hídrico a la demanda de los Usuarios en la falda oriental del Famatina en la subcuenca del Río Durazno?

La provincia de La Rioja por medio del **Decreto Ley N°4295/83 –CÓDIGO DE AGUAS**, es el ente regulador del Recurso Hídrico. Por lo tanto, pretende garantizar tanto el recurso superficial como subterráneo en calidad y cantidad en toda la Provincia. En la presente investigación se propone el estudio de la **Subcuenca del Río Durazno y áreas de influencia** (Figura 2.1), cuya interpretación establecerá la forma o mecanismo que la naturaleza otorga el vital elemento, a la ciudad de Chilecito y distritos adyacentes, tanto para **consumo humano** como para **riego**.

Teniendo en cuenta el Tema del Proyecto, **surgen certezas, incertidumbres e interrogantes del recurso en el presente y fundamentalmente para el futuro.**

¿Qué características generales tiene el recurso?

¿Cuál es la calidad y cantidad del agua para consumo humano?

¿Cuál es la calidad y cantidad del agua destinada para riego?

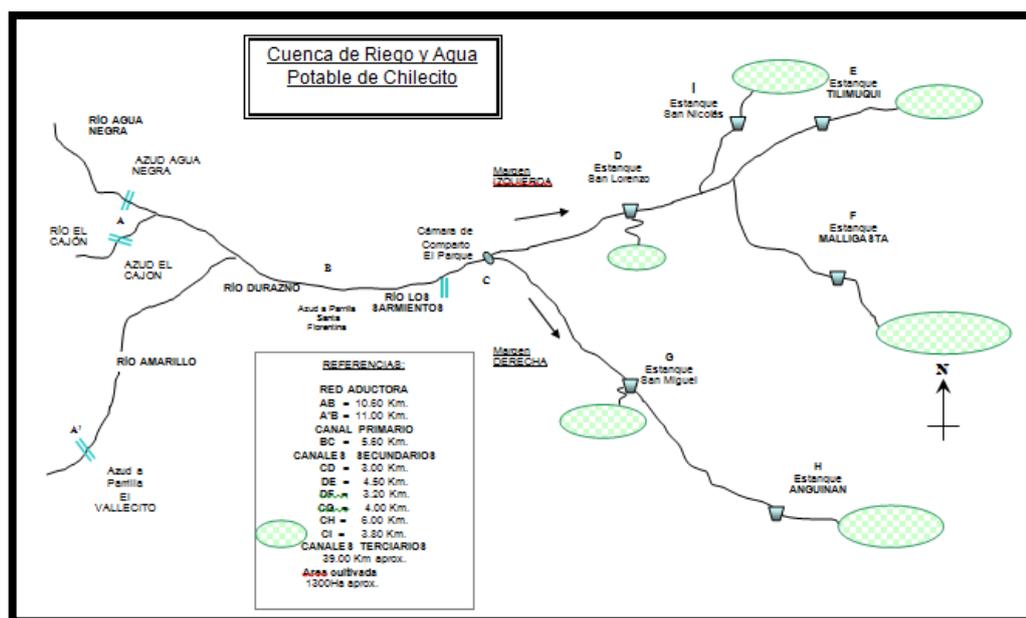


Figura 2.1 Detalle de infraestructura de agua potable y riego de la ciudad de Chilecito

Teniendo en cuenta el clima árido a semiárido-continental de la región, se hace necesario optimizar el escaso recurso, hacerlo sustentable, para su posterior distribución a los casi 40.000 habitantes para su consumo alimenticio y las 1300 has en el caso de regadíos. La infraestructura del sistema, tiene más de 100 años, por lo que es necesario cambios profundos en la gestión hídrica para mejorar el suministro y la sustentabilidad.

En la provincia de La Rioja tanto en Capital como en la ciudad de Chilecito, **IPALaR** (Instituto Provincial del agua La Rioja) le otorga la concesión a la empresa **Aguas Riojanas** para la administración del agua potable. Asimismo para el agua de riego, se crean los **Consortios de Agua**, 38 en toda la provincia, operando cada uno de ellos por fuente de agua. En el caso de la ciudad de Chilecito, administra el recurso **CONSUAGUA** encargándose del regadío de 1300 has de 800 productores minifundistas.

El exiguo caudal que provee la cuenca, crea notables inconvenientes para la administración del recurso, sobretodo en épocas de verano dónde se agudiza el problema con la disminución del fluido y aumento de la demanda, repitiéndose todos los años. Para salvar parte de ese inconveniente, los responsables del recurso adicionan caudal por medio de diferentes perforaciones. Para tener idea de lo antedicho, por ejemplo para el año 2012 (solo para riego) se administró un caudal mínimo de 300 l/s y un máximo de 780 l/s para irrigar la superficie empadronada de 1300 has.

Por otro lado, se plantea la necesidad de optimizar el recurso de agua potable para mejorar la disponibilidad (Figura 2.2 y 2.3), evaluando la calidad y demanda de la población. Se cotejará el consumo, derroches, pérdidas, etc. Igual modalidad se seguirá para el agua de irrigación (Figura 2.4), valorando la disponibilidad anual y mensual, calidad y cantidad para regar fundamentalmente vid (70%), frutales varios, olivos y hortalizas (30%) del minifundio.



Figura 2.2 Aguas Riojanas. Infraestructura en Santa Florentina



Figura 2.3 Aguas Riojanas-Planta de Tratamiento. Santa Florentina



Figura 2.4 Santa Florentina, a 20 metros del Azud del Distrito. Cañerías de conducción de acceso a planta de Agua Potable. Al centro, conducción Canal Matriz para Riego

Hay que tener en cuenta que los resultados, de la aptitud de las aguas y su valor cuantitativo, tienen que actualizarse en el tiempo de acuerdo a las necesidades y/o requerimientos. También los puntos estratégicos de tomas de muestras, pueden cambiar (variable independiente), para obtener certidumbre de los resultados (variable dependiente).

La localidad de **Santa Florentina** (1.460 ms.n.m.) y adyacencias, distante 5 km al oeste de la Ciudad de Chilecito, es el lugar estratégico y alto topográfico que congrega el Recurso hídrico. Allí se establece la Planta de Tratamiento para su posterior distribución para **Consumo Humano** en la ciudad de Chilecito (1.100 ms.n.m.), y **Riego** de los Distritos empadronados para tal fin.

Resulta necesario **Valorar el recurso hídrico** para que los responsables del suministro del mismo, tengan una base o referencia mínima en el momento del suministro del producto **alimenticio y de riego** respectivamente, a los ciudadanos de la Ciudad de Chilecito.

El agua domiciliaria, debe tener una atención preferencial. Conocidos son los casos dentro del Departamento Chilecito, donde la falta de tratamiento o control adecuado, afecta la salud de la población como el caso de la diarrea generalizada en la localidad de Anguinán en el año 2016. Asimismo, en la localidad de Nonogasta se cancela perforación de red domiciliaria (Perforación terminal), por la presencia de bacteria *Pseudomonas aeruginosa*, nociva para la salud. Esos datos surgen de proyectos del suscrito, donde resulta imprescindible **comunicar los resultados**, para que los responsables obren en consecuencia.

Se considera fundamental, **fortalecer el conocimiento del recurso natural, su comportamiento y sus variables cuantitativas y cualitativas**, para **concientizar** a los administradores para beneficio de la población.

Es importante Establecer la certidumbre de la realización o no, de nuevas perforaciones. Cuando el recurso es escaso, se puede incrementar el caudal a la red de agua potable o riego por medio de perforaciones. No solamente se valora el costo-beneficio de la gran obra, sino también la accesibilidad a volúmenes apropiados, calidad y escurrimiento subterráneo, entre otros.

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la disponibilidad del Recurso Hídrico de la cuenca del río Durazno, valorando calidad y cantidad para consumo domiciliario y riego, para el uso eficiente en la ciudad de Chilecito y Distritos inherentes a la cuenca, optimizar la utilización y gestión del recurso hídrico y posibilitar la adecuada toma de decisiones para la preservación del mismo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Cuantificar el recurso hídrico disponible para consumo doméstico o domiciliario, teniendo en cuenta las pérdidas del mismo por derroches, parques, etc. y establecer si los volúmenes de fluido son suficientes para la población actual de la Ciudad de Chilecito, en función del consumo según la estación del año.

Especificar la aptitud del agua para Consumo Domiciliario (humano), los posibles peligros potenciales de contaminación si los hubiere y concientizar a los responsables de la gestión del agua, sobre la frecuencia del monitoreo de la toma de muestras para sus correspondientes análisis.

Cuantificar la cantidad del agua necesaria para riego, para los 800 productores empadronados, en función de la estación del año y fuente de provisión.

Calificar la aptitud química del recurso hídrico para riego del Minifundio comparando, los datos químicos obtenidos de la Administración Central, con la de datos contemporáneos tomados para esta investigación, conservando la misma región de los puntos de muestreo (variable independiente) para verificar posibles cambios de los resultados (variable dependiente).

**CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DEL
ESTADO ACTUAL DEL OBJETO
MOTIVO DE ESTUDIO**

CAPÍTULO 3 : DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL OBJETO MOTIVO DE ESTUDIO

3.1. SISTEMA DEL AGUA POTABLE

A partir de la **subcuenca del Río Durazno**, se obtiene el caudal para dar sustento a la Planta potabilizadora en la localidad de Santa Florentina. Las fuentes proveedoras al sistema, son los ríos Agua Negra/El Cajón y El Oro o Amarillo y numerosas vertientes a lo largo de los ríos mencionados, cuya convergencia dan origen al río Durazno posteriormente río Los Sarmientos (Figura 3.1).

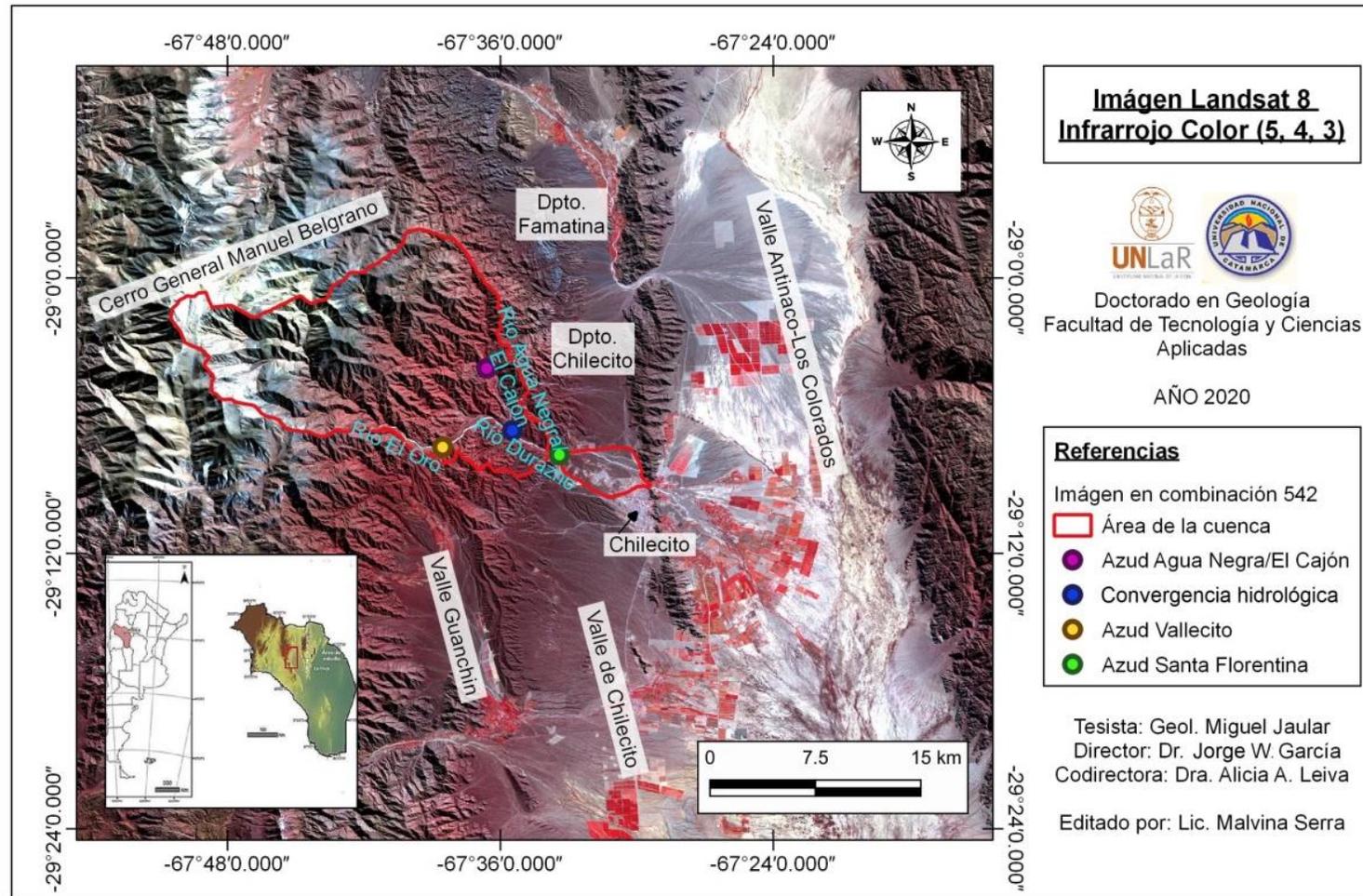


Figura 3.1 En Infrarrojo color nomenclatura de ríos principales. Al este de la ciudad de Chilecito resaltado en tonalidad rojiza, representación del Minifundio.

Por tratarse de un recurso escaso, limitado e indispensable, la Ley Provincial Código de Aguas N°4295/83 de la provincia de la Rioja (Capítulo III Art.76), establece que en caso de urgente necesidad se puede recurrir al agua destinada para riego **para incorporar bajo tratamiento pertinente, para consumo Doméstico y Municipal**. El Poder Ejecutivo, por resolución fundada podrá alterar el orden general de prioridades en el artículo mencionado.

Debido fundamentalmente a las condiciones climáticas de continentalidad, se promueve un mayor consumo en verano que en invierno, siendo significativo el derroche de agua por llenado de piletas, lavado automóviles, lavado de veredas, etc.

Además de la captación de escurrimientos superficiales, cuyos caudales varían anualmente según las precipitaciones fundamentalmente, existen perforaciones disponibles para adicionar caudal a la red de acuerdo a la necesidad de incrementar volumen. Existen perforaciones exclusivas para uso domiciliario, y otras funcionan dualmente, es decir para incorporar a la red y para irrigación.

3.2. SISTEMA DE AGUA PARA RIEGO

El suministro de agua superficial se congrega en el río Durazno, y constituye el sistema primario de la red de riego de Chilecito. A las condiciones naturales, se incorporaron obras de arte de canalización de agua actualmente tapadas en su mayoría, o a cielo abierto para optimizar la conducción, evitando la evaporación e infiltración. La recolección de agua superficial que alimenta al sistema, se efectúa desde las **Tomas o Azudes** ubicadas en la subcuenca “El Vallecito” sobre el río El Oro o Amarillo, subcuenca “Aguas-Negras” ”El Cajón” sobre los ríos homónimos y Santa Florentina sobre la cuenca del río *Durazno*, posteriormente llamado río Los Sarmientos en el Valle Chilecito.

El sistema de riego, está compuesto por dos tramos de canales colectores: El Vallecito-El Chiquerito, y Aguas Negras/El Cajón- El Chiquerito. Desde esa unión, se extiende el trayecto El Chiquerito - Santa Florentina y un tramo de alimentación **Primario, Módulo primario o Canal Matriz** (Figura 3.2) propiamente dicho que se extiende en conducción por canal desde Santa Florentina hasta el “**partidor**” **El**

Parque. En el barrio homónimo ya en la ciudad de Chilecito, se divide secundariamente en **margen derecha:** para las localidades de Anguinán y San Miguel, y **margen izquierda:** para las localidades de Los Sarmientos, San Nicolás, Malligasta y Tilimuqui (Figura 3.3). En Figura 2.1, se especificó red de drenaje y distribución del sistema de riego.



Figura 3.2 Ruta 14, B° Los Dorados. Centro: Módulo o Canal Primario cubierto por losetas, antes de llegar a partidor “El Parque”.



Figura 3.3 Partidor “El Parque”. Módulo Primario y distribución Secundaria en margen izquierda y derecha respectivamente.

La **distribución secundaria** que comienza en el **Partidor “El Parque”**, tiene un gran recorrido antes de llegar al abastecimiento del minifundio. La margen izquierda recorre el norte de la ciudad de Chilecito, mientras que la margen derecha atraviesa la ciudad de Chilecito por el centro. Ambas se dirigen de oeste a este para trascender la Sierra de Paimán para llegar a los estanques o reservorios (Figura 3.4). Requieren continuo mantenimiento para dar seguridad a la población y otorgar las condiciones sanitarias óptimas. Lamentablemente, ya se registraron **muertes de niños** que por descuidos caen en dicha conducción siendo arrastrados pendiente abajo. También hay registros nefastos en los estanques o reservorios, que son utilizados irresponsablemente como recreación. Además, es recurrente el uso desaprensivo de la población para utilizar las conducciones para arrojar todo tipo de basura al sistema, contribuyendo al **deterioro medioambiental** (Figura 3.5).

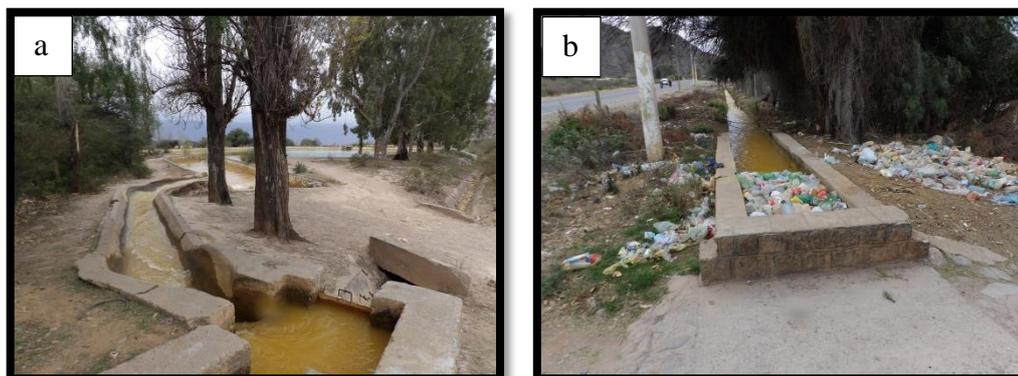


Figura 3.4 a- Entrada estanque Anguinán. Imagen hacia el este. b- Ingreso estanque Anguinán. Imagen hacia el oeste.

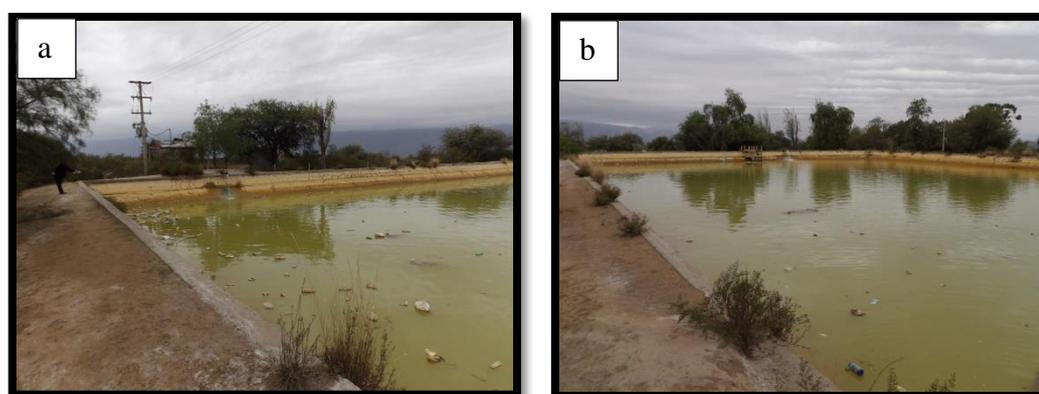


Figura 3.5 a- Estanque en Malligasta. Imagen hacia el norte. b- Imagen hacia el este. Obsérvese gran cantidad de basura en los reservorios.

Los estanques funcionan recolectando el agua durante la noche y primeras horas del día siguiente, para realizar su distribución de 08 hs a 18 hs ya en su **faz terciaria** intrafinca con una **dotación o derecho de 70 l/s**, pudiendo variar según la época del año y disponibilidad, otorgando un **tiempo de 160 minutos** (2 horas 40 minutos) por hectárea, o su proporción.

En su memoria anual (Tabla 3.1 Año1967/68) la **ex AyEE (Agua y Energía Eléctrica de la Nación)**, tenía empadronadas 1678 has con un total de 1400 lotes, siendo la superficie de los predios entre 0,5 hasta 30 has.

Tabla 3.1. Producción por Superficie del Minifundio (AyEE)-Año 1967/68

PRODUCTO	SUPERFICIE (hectáreas)	PORCENTAJE
Vid	1072	63,9 %
Cereales	250	14,9 %
Hortalizas varias	133	7,9 %
Forestales	30	1,8 %
Alfalfa	30	1,8 %
Olivo	34	2,0 %
Nogal	32	1,9 %
Frutales varios	97	5,8 %
	Total=1678	100 %

Tabla 3.1 Datos de la ex AyEE de la Nación (1967/68)

Los datos precedentes, corresponden al siglo pasado en una época de notoria prosperidad, catalogando a la región como la “**perla del oeste riojano**”. Actualmente por causas económicas, político-social, entre otras, el minifundio fue perdiendo protagonismo y está siendo reemplazado paulatinamente por **empresas privadas** con asentamiento en el valle Antinaco-Los Colorados. Las mismas, hacen uso exclusivo del agua subterránea para sus producciones, promoviendo fundamentalmente el desarrollo de la **actividad olivícola** (Tabla 3.2). Los predios pequeños, de escasa superficie e incultos, paulatinamente están siendo vendidos por los productores o destinados para viviendas residenciales, como se atestigua en la localidad de Los Sarmientos.

Tabla 3.2 Producción por Superficie del Minifundio. IPALaR-Periodo 2010/18

PRODUCTO	SUPERFICIE (hectáreas)	PORCENTAJE
Vid (existe recambio por olivos)	910	70 %
Frutales varios	195	15 %
Nogal	130	10 %
Hortalizas y otros	65	5 %
	Total=1300	100

Tabla 3.2 Minifundio actual. Datos Consuagua-Ipalar Delegación Chilecito

El minifundio, se abastece exclusivamente de la fuente del río Durazno y de las perforaciones que adicionan caudal en los diferentes estanques o reservorios de agua.

A modo de referencia, se destaca la respuesta que ofrece el sistema de captación y conducción en concordancia con las condiciones climáticas. Se rescatan de IPALaR (Instituto Provincial del Agua – La Rioja) **Delegación Chilecito**, los registros de **caudal del módulo primario** entre los años 1999 a 2007 (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Valores de referencia. Módulo del canal Matriz para distribución de riego en El Partidor “El Parque”. Parámetros de caudales de riego desde 1997 hasta el Año 2007 - (Litros/Segundo)

AÑOS/ MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM. ANUAL
1999	606	888	839	828	792	686	398	730	499	621	535	518	661,67
2000	513	692	809	744	693	470	550	555	474	493	504	567	588,67
2001	648	728	745	698	677	441	312	782	771	677	577	586	636,83
2002	729	727	659	721	686	649	430	529	608	467	413	470	590,67
2003	683	632	686	607	604	392	245	142	406	371	295	230	441,08
2004	375	589	493	496	584	408	414	411	156	310	317	236	399,11
2005	400	676	741	727	640	396	414	411	156	310	317	236	451,96
2006	350	360	450	590	700	565	360	369	277	264	240	235	454,84
2007	591	658	522	500	425	447	238	388	333				455,78
Promedios Mensuales	544	661	660	657	645	495	373	480	409	439	400	385	

Tabla 3.3 Canal Primario o Módulo. Aforos realizados antes de la distribución secundaria

Se realizó el **aforo del módulo primario o canal matriz**, utilizando **molinete hidrométrico y también por el método de flotadores**. En coincidencia con el calentamiento global de comienzo de siglo, en los últimos cuatro o cinco años del periodo considerado, se observa una disminución del caudal quizás debido a una mayor insolación o en coincidencia con el fenómeno climático como el niño/niña (Figura 3.6).

Es importante señalar, que el **Caudal o Módulo Primario** que ingresa al sistema para su administración, **se distribuye un volumen proporcional a la superficie a irrigar empadronada**. Por ejemplo 1 hectárea (10.000 m²), se irriga en un tiempo de 160 minutos (2 horas 40 minutos), con un derecho de agua que oscila según disponibilidad entre 50 a 70 litros/segundo.

En cuanto a los promedios mensuales del periodo considerado, se observa mayores caudales para la época estival (febrero) y otoño, disminuyendo el resto del año (Figura 3.7). Seguramente dicho fenómeno tiene que ver con el deshielo de las nieves eternas y cuerpos de hielo menores de la ladera oriental de la Sierra de Famatina, en la latitud de la ciudad de Chilecito.

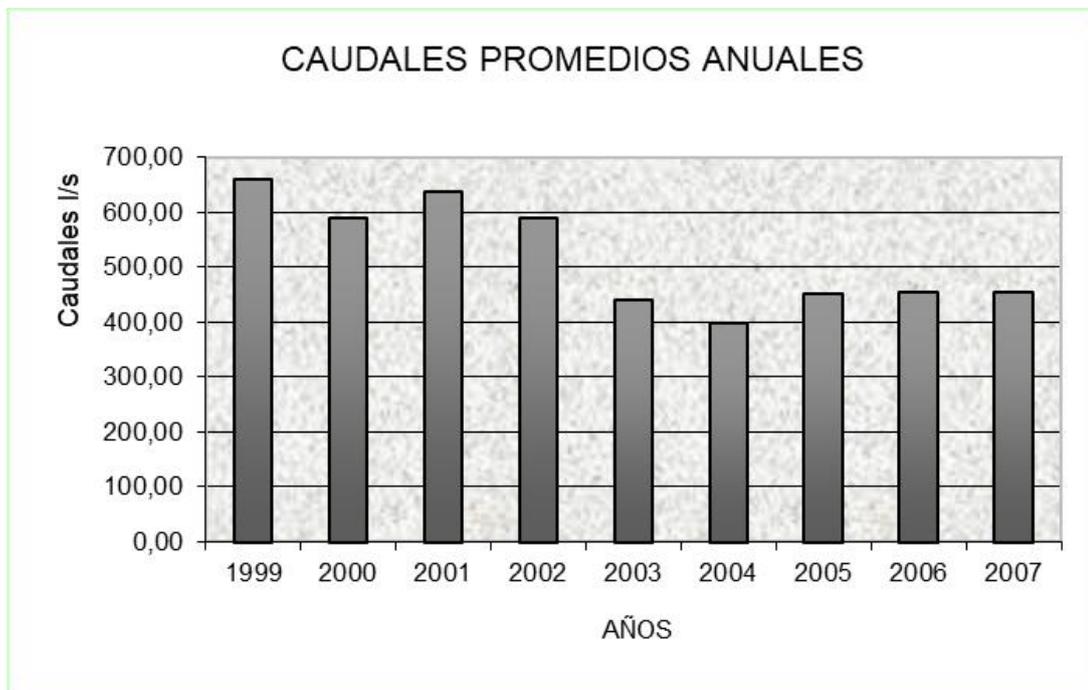


Figura 3.6 Variación anual de los caudales para el periodo 1999 a 2007. Se observa una marcada disminución en los últimos cuatro o cinco años del periodo considerado.

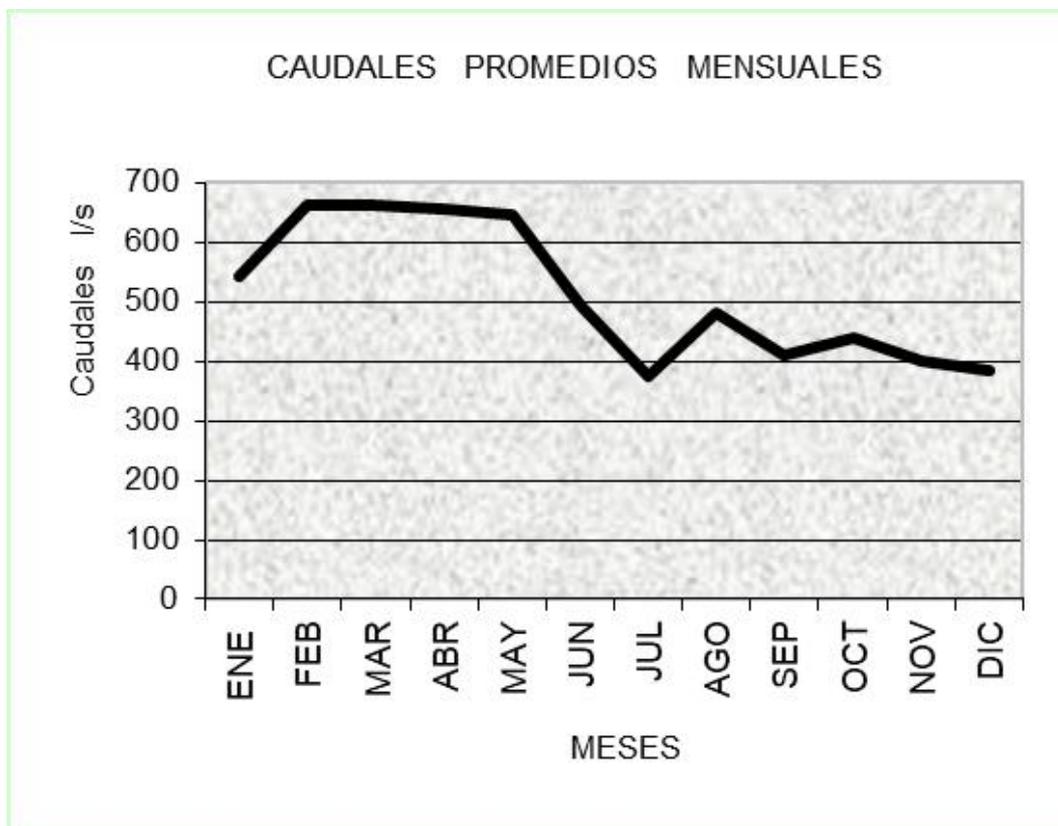


Figura 3.7 Promedios mensuales para el periodo 1997-2007

CAPÍTULO 4: MARCO CONCEPTUAL

CAPÍTULO 4 : MARCO CONCEPTUAL

4.1. MARCO REFERENCIAL

Se considera importante valorar aspectos intrínsecos al Recurso Hídrico en la Cuenca del río Durazno y región de influencia, su caracterización de emplazamiento particular, su topografía relevante, su capacidad volumétrica, y fundamentalmente su aptitud para consumo humano. Dicho río, representa el sector clave dónde se discrimina el sustento para consumo alimenticio de la Ciudad de Chilecito y riego del Minifundio.

Conocer el Recurso Hídrico y comprender su funcionamiento, nos otorga las bases necesarias para verificar fortalezas y debilidades del mismo para actuar en consecuencia. La disposición o emplazamiento de las diferentes cuencas de la provincia, dieron lugar a la creación de los **Consortios de Agua** quienes son los responsables de administrar el recurso por fuente de agua. (**Ley Código Aguas Provincial N°4295/83**). El estado provincial, controla el funcionamiento de los mismos por medio de **IPALaR**, que es la entidad u organismo de Aplicación.

A partir de la cuenca del **Río Durazno** y zonas de influencia, en la ciudad de Chilecito **Aguas Riojanas Sapem (Empresa estatal/privada)** administra el agua potable reforzando su volumen con la adición de **perforaciones** que funcionan según la época del año.

También de dicha cuenca, se discrimina el caudal con destino a irrigar el **Minifundio (1300 hectáreas)**, tarea actual del **CONSUAGUA** Chilecito (Consortio de usuarios de Agua). Entidad que cobra a los productores, un Canon de riego proporcional de la superficie, dinero que se recauda para el mantenimiento del servicio.

El río Durazno, se abastece fundamentalmente de las precipitaciones esporádicas y del deshielo de la ladera oriental de la sierra de Famatina. En la región del Vallecito, la Toma o azud del mismo nombre (29°07'19,8"S; 67°38'43,9"O) capta el agua con una coloración particular debido a la proximidad a la mina "El Oro" dónde se explotaba el metal en el siglo pasado. La denominación del río **Amarillo o "El Oro"** (Figura 4.1),

se debe al ocre, sulfuros y óxidos incorporados al agua. Aguas abajo recibe la denominación, de Río Durazno.



Figura 4.1 Imagen Río Amarillo o El Oro. Visión hacia el este (aguas abajo) 100 metros antes del Azud El Vallecito.

Algo similar ocurre más al norte, el Río **El Cajón** (Figura 4.2), reúne cualidades físico-químicas del agua, similares a las del río Amarillo con la adición de sales de carbonatos y sulfatos que quedan como residuo precipitado en el fondo y márgenes del lecho del río, dándole una tonalidad plateada al mismo. La Toma Azud del río El Cajón se localiza en la siguiente posición absoluta ($29^{\circ}03'54,9''S$; $67^{\circ}36'38,5''O$).



Figura 4.2 Río El Cajón. Visión hacia el oeste, 300 metros aguas arriba del Azud homónimo. Al fondo quebrada El Cajón.

En forma contigua al azud del Río Cajón, distante 60 metros al norte se encuentra la **Toma o Azud del Río Agua Negra** (Figura 4.3) ($29^{\circ}03'53,8''S$; $67^{\circ}36'37''O$) conformando la unión de los escurrimientos a modo de “y” griega. Este río de acuerdo a registros históricos y actuales, reúne excelentes características de potabilidad y se observa desarrollo ictícola de la especie truchas, que se encuentran habitualmente en aguas frías y limpias de ríos y lagos de agua dulce.

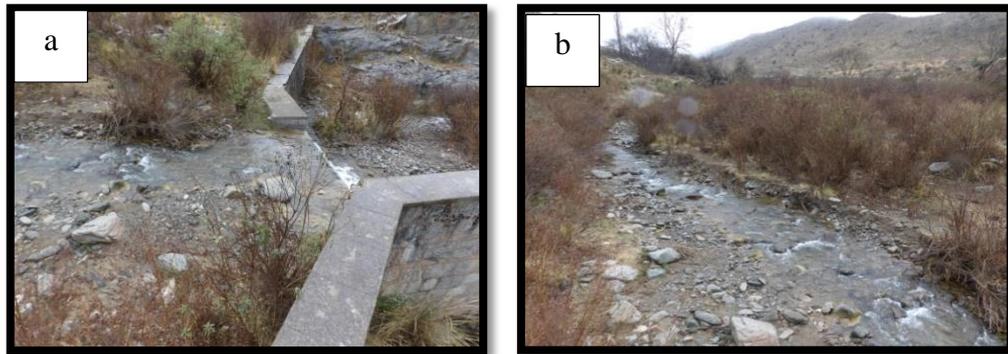


Figura 4.3 a- Azud Agua Negra. b- Río Agua Negra. Visión al norte del Azud

Todas estas obras de arte de captación y conducción incluida la de Santa Florentina fueron construidas en el siglo pasado, teniendo como fundamento principal el evitar pérdidas de evaporación e infiltración del fluido, extendiéndose desde los azudes hasta el *Partidor del Parque* donde comienza la **distribución secundaria** ya en la ciudad de Chilecito.

La unión de los ríos El Cajón/Aguas Negras con el Amarillo, dan origen al **Río Durazno** (Figura 4.4 y 4.5) en inmediaciones del paraje “Mesada del Chileno”. Dicha región no solo representa un espacio geográfico relevante, de un notable paisaje sino también de un aspecto hídrico significativo. A partir de allí disminuye la pendiente, observándose claramente un mayor desarrollo de la llanura de inundación, además de la unión de cauces que marca el contraste de diferentes fluidos por su coloración y naturaleza.



Figura 4.4 Unión del río Amarillo con los ríos El Cajón/Agua Negra. Visión hacia el oeste (“Mesada del Chileno”)



Figura 4.5 Río Durazno. Sector medio. Visión hacia el oeste

También se destaca en esta región importantes vertientes como la del “Tofo o Burro”, entre otras, que son captadas por Aguas Riojanas para su incorporación a la red de **Agua potable en Planta en la localidad de Santa Florentina**. A partir de ésta localidad, y hasta la ciudad de Chilecito (sentido oeste-este), quedan discriminadas el agua para riego de aquella para consumo humano. Además desde esa localidad el río se llama *Los Sarmientos* hasta pasar la ciudad de Chilecito y distritos para incorporarse en el talweg del valle Antinaco- Los Colorados donde el recorrido definitivamente se hace norte-sur. Lo antedicho corresponde, al proceso natural; para aprovechar el recurso endorreico se lo somete a distribución por sectores.

Obviamente, en época de creciente o avenidas estivales el sistema se suspende para evitar embancamientos u obstrucción de la conducción. Este procedimiento, se realiza cuando el volumen de las precipitaciones y el consiguiente escurrimiento pluvial exceden la capacidad del canal primario. Sucede 2 o 3 veces en el verano.

En el caso del agua potable, como no se puede discriminar el caudal se espera que mejoren las condiciones meteorológicas, recurriendo a las perforaciones para salvar el déficit momentáneo, logrando de esta forma autonomía el sistema.

Valorar el recurso implica someter el mismo a evaluación, a contrastación, para que los técnicos o responsables del recurso, operen con eficiencia y el ciudadano común que recibe el fluido aprenda no solo a preservar el mismo, sino también a fomentar el desarrollo y cuidado de los recursos naturales.

Demográficamente, la ciudad de Chilecito ha tenido en el nuevo siglo un incremento poblacional importante en el cono aluvial Chilecito–Santa Florentina. Es decir, numerosos barrios bordean el sur del río Los Sarmientos, y por el norte en cercanías de Santa Florentina, se emplaza un emprendimiento agrícola/pecuario con más de 67 hectáreas. Es decir, la actividad antrópica es significativa por lo que debe imperar el **Ordenamiento Territorial** para proteger los barrios en época estival, cuando ocurren las crecientes o avenidas hídricas como así también los potenciales problemas de contaminación. Es necesario que participen todos los estamentos para otorgar eficiencia, seguridad, salubridad; entre otros, siempre dentro de un marco de empatía para que el recurso resulte sustentable.

La **cuantificación**, adquiere relevancia porque incide directamente sobre la oferta y demanda del recurso tanto de **consumo humano como para riego**. El agua potable se reúne por la explotación de vertientes sobre el río Durazno y Amarillo, el tratamiento de las mismas, y la captación de agua del subálveo, son tratadas en **Planta de Aguas Riojanas en Santa Florentina para su posterior distribución a la red**. A lo antedicho, se le adiciona el caudal de distintas perforaciones distribuidas a lo largo de la ciudad de Chilecito y la localidad de Anguinán, para poder cumplir con el abastecimiento de la población.

Como la pendiente crece hacia el oeste de la ciudad, los niveles piezométricos se profundizan hacia ese punto cardinal, por lo tanto se encarecen las obras de perforaciones condicionando la ejecución de las mismas por parte del estado y/o empresas privadas. Existen estudios geofísicos como los de **CONHIDRO** año 2009 que nos otorgan características y propiedades del subsuelo. Estudios de igual características del **CRAS (Centro regional de Aguas Subterráneas)** son insuficientes pues caracterizan el subsuelo de la ciudad de Chilecito solo hacia el este.

En general las aguas de perforaciones son de buena calidad para consumo humano. Aquellas destinadas con este fin, están dotadas de sistemas mínimos de cloración, que a veces **no son controlados en forma fehaciente**. Cada pozo provee un caudal entre 120 a 200 m³/h; observando los pozos involucrados, el horario de funcionamiento, y la época del año, se puede llegar a determinar la cantidad o volumen de agua que aporta el subsuelo a la red. Se debe adicionar el caudal que abastece la Planta de Agua potable mencionada. **La demanda del agua** se obtendrá a partir del uso promedio por familia, datos con lo que trabaja Aguas Riojanas y de la cantidad de pobladores involucrados. Se tendrá en cuenta también, usos superfluos y las pérdidas de la red de distribución del sistema.

Con respecto al **Riego**, el conducto matriz o **Módulo primario** que llega al **partidor “El Parque”** (Figura 4.6) tiene una capacidad de transporte de 0,900 m³/s= 900 l/s. Desde allí, comienza la **distribución secundaria** que se divide en margen izquierda para abastecer los distritos de San Lorenzo, San Nicolás, La Puntilla, Los Sarmientos, Tilimuqui y Malligasta; siendo este último el más importante a irrigar. La margen derecha abastece a los distritos de Anguinán y San Miguel. Actualmente se

distribuye 60% del caudal existente para la margen izquierda, y el 40% a margen derecha. Se utiliza el “Derecho de riego” que es una proporción de agua aproximada entre 50 a 70 l/s (según disponibilidad), además se utiliza un tiempo de riego que es de 160 minutos por hectárea y de allí se deducen las distintas superficies a irrigar; por ejemplo si un empadronado tiene una superficie de 4500 m², le corresponde regar con el caudal disponible un tiempo de 1 hora con 12 minutos (72 minutos).



Figura 4.6 Partidor “El Parque”, aguas arriba. Inicio de la distribución secundaria.

PORCENTAJE DE DISTRIBUCIÓN DE RIEGO POR DISTRITO:

El sistema de Distribución es de vieja data, se aplica desde la época de la ex **Agua y Energía Eléctrica de la Nación** teniendo vigencia (con algunos inconvenientes) en la actualidad. Dicho sistema permite que al conocer el caudal en cualquier tramo o punto de la red de distribución, se pueda cotejar o deducir el resto de caudales del sistema, **incluso el caudal primario.**

Margen izquierda: del 100% del caudal que circula por la conducción secundaria, se deduce lo siguiente:

Malligasta 2 derechos – (50% de la totalidad de caudal que circula por margen izquierda)

Los Sarmientos (Incluye San Lorenzo) 1 derecho – 25%

Tilimuqui ½ derecho – 12,5%

San Nicolás ½ derecho – 12,5%

Margen derecha: del 100% del caudal que circula por esa conducción secundaria, se deduce lo siguiente:

Anguinán 2 derechos – 66,6 %

San Miguel 1 derecho – 33,3%

Ejemplo, si la conducción o módulo primario es de un caudal $Q=600$ l/s, luego de llegar al partidor “El Parque” la distribución será de la siguiente manera:

Margen izquierda: 360 l/s

Malligasta 180 l/s

Los Sarmientos 90 l/s

Tilimuqui 45 l/s

San Nicolás 45 l/s

Margen derecha: 240 l/s

Anguinán 159.84 l/s

San Miguel 79.92 l/s

En la mayoría de los distritos existen los estanques o reservorios de agua, que cumplen la función de almacenar el agua durante la noche para su posterior distribución al día siguiente.

Es necesario destacar que en los reservorios (estanques) de Malligasta (Figura 4.7 a-b), Tilimuqui, y Anguinán, existen perforaciones que vierten sus aguas en los mismos para adicionar caudal al sistema de riego. De esas perforaciones además, se deduce agua a las cisternas para consumo humano.

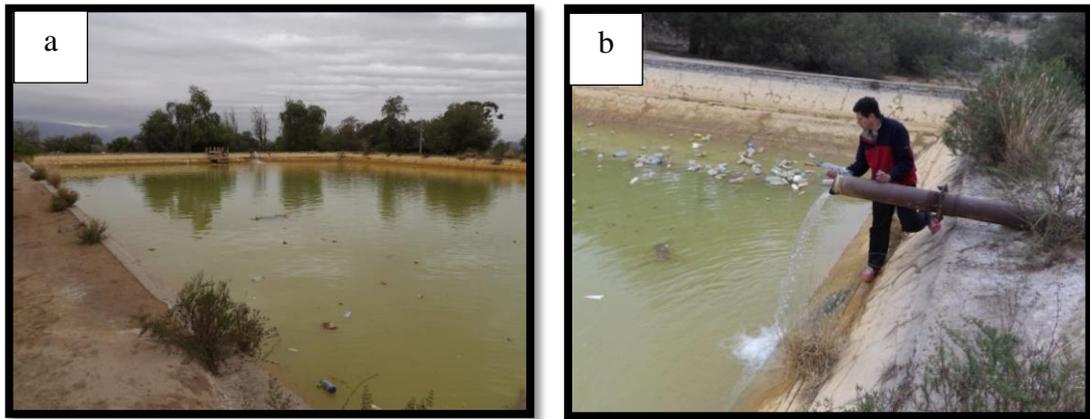


Figura 4.7 a- Reservorio de Malligasta. b- Perforación CRAS N°241, sector norte. Abastecimiento para agua potable y riego.

El área total a irrigar cuya concesión la tiene Consuagua Chilecito (Consorcio de Usuarios de Agua), es de 1300 hectáreas existiendo un Padrón de Regantes por distrito. Lo antedicho es supervisado por la Autoridad de Aplicación de la Provincia que es IPALaR (Instituto provincial del agua de La Rioja) de acuerdo a lo que establece Ley Código de Aguas N°4295/83.

RESULTADOS ESPERADOS

Se pretende la valoración concreta de volúmenes tanto para consumo humano como para riego, evaluando oferta y demanda del recurso como así también la calidad de físico químicas de las aguas.

La administración del agua potable la tiene Aguas Riojanas. En el presente proyecto se evalúan los volúmenes que provee la cuenca y su disponibilidad; así como el aporte adicional de perforaciones involucradas. La calidad del fluido se tiene en cuenta como así también, los controles de cloración mínima de planta y perforaciones afectadas a la red.

En el caso de riego se verificará la aptitud del fluido para irrigar la superficie empadronada, el déficit del mismo fundamentalmente en época estival, la posible mejora del incremento y frecuencia de riego. También la factibilidad de erradicación de canales abiertos en ciudad y distritos, valorando el **entubamiento del sistema y/o de riego presurizado para otorgar eficiencia, protección y cuidado del medio ambiente.**

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:

La Republica Argentina tiene 2/3 de su superficie con clima árido-semiárido, la provincia de La Rioja está situada en esa región donde se acentúa el fenómeno de sequedad o escasez de agua. La continentalidad afecta a la provincia donde las precipitaciones son torrenciales en época de verano y esporádicas en el resto de las estaciones. No obstante, en la región del Valle Antinaco – Los Colorados. Las precipitaciones aumentan de este a oeste, es decir desde la sierra de Velasco hacia la Sierra de Famatina. Por ello, gran parte de ciudades y pueblos localizados en el valle mencionado, se localizan estratégicamente para aprovechar al máximo las características hídricas que provee esa gran fuente que es la sierra de Famatina.

Se considera que la valoración de la cuenca del río Durazno y área de influencia, es fundamental, a partir de allí la ciudad de Chilecito y Distritos involucrados por dicha cuenca se abastecen del recurso hídrico para cubrir sus demandas. Precisamente el

origen del río Durazno representa el “nudo” hidrográfico relevante del sistema. Allí convergen los principales ríos de la cuenca que producen una mayor saturación al subsuelo dando lugar aguas abajo a vertientes, que son aprovechadas para incrementar caudales a la red domiciliaria previo tratamiento pertinente, deduciéndose además la irrigación al minifundio.

Se plantea un problema a futuro, sobre cual procedimiento es el más eficiente para adicionar agua al sistema con la menor erogación posible. En la cuenca de estudio, los escurrimientos que prácticamente no necesitan tratamiento para consumo humano, es el correspondiente al río Agua Negra. Entonces surgen preguntas: ¿Es conveniente la realización de perforaciones futuras para adicionar caudal a la red? ¿Es necesaria la implementación de obras en el río Agua Negra para incrementar el fluido a la red? ¿Cuál es el costo/beneficio de las distintas alternativas?

Es necesario evaluar las distintas perforaciones existentes que adicionan caudal a la red domiciliaria, su calidad, cantidad y fundamentalmente, la corroboración in-situ del cumplimiento mínimo de potabilización al incorporarse a la red. En época estival, la demanda es mayor por lo que algunas perforaciones afectadas al riego comparten su caudal para consumo humano. Esto último, está resguardado en Ley Código N°4295/83 dónde los escurrimientos de agua de distinto fin, por una cuestión de **prioridad en caso de emergencia, pasan a cubrir las necesidades de consumo alimenticio.**

Otro de los aspectos a tener en cuenta, es el hecho cultural de la utilización indebida del agua potable. Por ejemplo el lavado de automóviles particulares, limpieza de veredas en días y horarios no establecidos, limpieza de asfalto usando mangueras de los frentes domiciliarios, entre otros.

Merece su atención, la pérdida de agua por rotura de cañerías de la red y la falta de reparación en tiempo y forma, con el consecuente deterioro de veredas y asfalto que muchas veces no se reparan convenientemente.

Se considera fundamental la conducción canalizada y tapada desde los distintos azudes o “tomas de agua”, hasta la finalización de la conducción primaria (“partidor el parque”), para evitar infiltración y evaporación en época estival. Pero los canales que atraviesan la ciudad deben ser reemplazados, buscando una **conducción alternativa,**

habida cuenta de accidentes y vidas humanas que se perdieron en dicha conducción. Además, el mantenimiento de la conducción resulta costoso, y muchas veces no se lleva a cabo como corresponde. Tampoco se cumple la Ley con respecto a la servidumbre de paso o acceso a la conducción, ni la distancia lateral del eje de los canales secundarios.

La distribución particular por tiempo de riego según disponibilidad de agua, se puede discutir, igual que la frecuencia. Lamentablemente en época de mayor necesidad de irrigación (octubre/noviembre), es donde se dispone de menor caudal para distribuir. En años anteriores se registró por canal Primario un ingreso de 190 l/s - 220 l/s para almacenar los reservorios para su posterior distribución a las 1300 hectáreas, resultando por supuesto insuficiente.

El desafío principal, es el de proveer las pautas que conduzcan a la optimización del recurso en los aspectos principales, en beneficio de los consumidores domiciliarios y regantes del minifundio departamental.

4.2. ENFOQUE Y MARCO CONCEPTUAL

El Departamento Chilecito supera actualmente los 50.000 habitantes, su **Cabecera cuenta con 33.724 habitantes (Censo 2010)**. En el nuevo siglo que se inició, tuvo un gran **crecimiento demográfico** el oeste de la ciudad en el piedemonte Santa Florentina- Chilecito. Dicho emplazamiento demográfico se realiza en ambas márgenes de la ruta provincial N°14 a escasos metros **al sur del río Durazno- los Sarmientos**.

Atrás quedó la utilidad de la antigua “**defensa**” N-S, que protege a la ciudad de avenidas pluvial y/o fluvial del oeste (Figura 4.8 a-b). Actualmente se urbanizó hacia el oeste, trascendiendo dicha defensa con el potencial peligro que ello representa.



Figura 4.8 a- Imagen Defensa aluvial. Visión hacia el oeste. b- Defensa aluvial. Urbanización al oeste de Av. Circunvalación, al fondo Sierra de Famatina.

Dicho emplazamiento poblacional de los últimos años, más de 1.1 km² (110 hectáreas), están sujetos a peligros hídricos en las avenidas estivales. Lo antedicho también se fundamenta en el Documento “Mapa de riesgo de la Ciudad de Chilecito” Montero Hagen, *et al.* (2010), donde la categoría “riesgo alto” colinda en un 80% a los asentamientos mencionados, ya que gran parte de los **barrios Esteban Inestal, Sagrado Corazón y Sagrada Familia respectivamente, están emplazados sobre cauces temporarios del piedemonte o cono aluvial Chilecito-Santa Florentina.**

La impermeabilización edilicia, sumado al incremento de obras civil fundamentalmente el asfaltado presente y futuro, promueve nuevos encausamientos, mayor velocidad de cursos pluviales y/o fluviales tendiendo paulatinamente a modificar el nivel de base del río Durazno-Los Sarmientos. En tal sentido, observando las imágenes satelitales del periodo 2004 al 2018 se verifica una progresiva erosión en la margen izquierda del río Los Sarmientos, **poniendo en peligro de anegamiento a la Localidad de San Lorenzo por el sudoeste ante futuras avenidas o crecientes estivales.** (Región inmediateamente al oeste del puente Los Sarmientos).

La Municipalidad del Departamento Chilecito, es la responsable del control demográfico de la ciudad y debe proveer y prever las herramientas o mecanismos tendientes para **mitigar cualquier potencial peligro para sus habitantes.**

IPALaR (Instituto Provincial del Agua La Rioja) en representación del estado, (el suscrito es técnico responsable del recurso superficial y subterráneo en Delegación Chilecito) administra el recurso hídrico por medio de **Ley Código de Aguas N°4295/83**. Por esta Ley en Art. 102, se autoriza la conformación de los Consorcios de Agua, se crearon en todo el ámbito provincial más de 50 *Consortios de Agua*, **otorgando diferentes concesiones para administrar el agua de consumo humano y de riego**. Por medio de Ley 6076/95, se crean los primeros 20 Consorcios que fue posteriormente modificada por las leyes 6342/97 y 6357/97.

Es preciso destacar que por cada fuente de agua en la provincia, existe un Consorcio de Agua; por ejemplo el río Durazno-Los Sarmientos lo administra el Consorcio de Chilecito, más al sur del Departamento, el río Pismanta o Guanchín lo administra el Consorcio Nonogasta, etc.

Los escurrimientos superficiales al ser insuficientes, son incrementados por el **agua de perforaciones** para lograr más volumen y poder administrar tanto el agua potable como la de riego.

IPALaR como **Entidad de Aplicación**, es la encargada de proveer la **Certificación de no Inundabilidad** de futuros emplazamientos barriales. Dicha certificación es imprescindible y debe ser emitida por profesionales idóneos y en tiempo y forma. En este sentido, **se han constatado construcciones barriales prácticamente terminadas sobre cauces temporarios, sin la previa Certificación mencionada.**

Es necesario que todas las entidades trabajen mancomunadamente y no por separado. Es decir, IPALaR, Municipalidad, Aguas Riojanas, Consorcios, Centros vecinales etc., deben integrarse bajo las pautas de un **Ordenamiento Territorial regulado**, con el único fin de proteger a los recursos naturales y otorgar seguridad a la población.

La empresa Inconas s.a., presentó un informe sobre “PRESURIZACIÓN DE LA RED DE RIEGO EN CHILECITO Y OBRAS COMPLEMENTARIAS” (Diciembre 1998). En dicho informe, se plantea la posibilidad de presurización del minifundio haciendo hincapié en los siguientes aspectos:

- a) Situación general del actual sistema de riego: infraestructura, productores, producción.
- b) Situación Institucional.
- c) Condición agronómica del área del proyecto.
- d) Área cultivable, estructura de cultivos y requerimientos de agua.
- e) Disponibilidad de agua.
- f) Opciones de ingeniería para dar solución al problema.
- g) Factibilidad económica financiera previa.
- h) Factibilidad ambiental.
- i) Opción recomendada.

Dicha posibilidad precedente, es loable desde el punto de vista ambiental, pero hasta el momento económicamente inviable.

Aguas Riojanas ante el incremento demográfico, se le genera la necesidad de realizar o solicitar obras hacia el oeste de la ciudad para incrementar el caudal a la red. Se presenta la dicotomía a tener en cuenta:

1. Necesidad de mayor seguimiento y monitoreo de las vertientes existentes. **Considerar la posibilidad de realización de pantallas impermeables en lugares estratégicos de la región.** La misma deberá realizarse siguiendo las pautas de estudios geofísicos del subsuelo. Además, se plantea la posibilidad de voladuras de rocas/suelos aguas arriba del azud Aguas Negras para aumentar el caudal de las aguas más optimas de la región. Dicha alternativa puede ser negativa y deberá fundamentarse técnicamente su conveniencia.
2. **El uso de Perforaciones** al oeste de la ciudad es dificultoso, hay que considerar el **costo-beneficio** de su realización, teniendo en cuenta el encarecimiento de las obras por la gran pendiente del cono aluvial hacia el oeste, dónde paulatinamente se profundiza el nivel freático, además, la litología a sortear es de grandes volúmenes de bloques graníticos. Hubo intentos de explotación por empresas como Electromecánica López y Perforaciones Anguinán, pero no pudieron cumplir el objetivo a pesar del gran avance de obras, abandonando dicho emprendimiento.

La empresa **Conhidro s.r.l.**, realizó la Prospección Geoeléctrica en Altos de Chilecito (Tálamo E. 2009) efectuando cuatro sondeos E-O desde la ciudad de Chilecito hasta la quebrada Santa Florentina. En este estudio, se contempla y correlaciona las perforaciones del oeste de la ciudad como así también los proyectos abandonados del Cementerio Parque (Electromecánica. López 2003) y Pozo 11 (Electromecánica. López 2004).

A modo de ejemplo de las consideraciones precedentes, la **Perforación más occidental de la ciudad de Chilecito es la de “12 de Octubre”** (Figura 4.9), localizada a los $29^{\circ}09'16,1''$ S y $67^{\circ}30'38''$ provee agua a la región norte la ciudad, fundamentalmente al barrio Polveton.



Figura 4.9 Perforación “12 de Octubre”. Suministro de agua potable a sector norte de la ciudad de Chilecito.

CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA APLICADA

CAPÍTULO 5 : METODOLOGÍA APLICADA

Los materiales y métodos surgen de la experiencia y camino recorrido como profesional. La Docencia de nivel superior, y los trabajos cotidianos establecen la forma, las Investigaciones el procedimiento y la experiencia el temple para cambiar hacia el camino más apropiado.

Fue necesaria la interacción con diferentes entidades e Instituciones del medio y de la provincia, para afrontar y confrontar información de acuerdo a las necesidades mínimas y exigentes que una investigación requiere.

El dominio y seguimiento exhaustivo de la Ley, implica trabajar a derecho. Se recurre constantemente a ella, respetando los derechos de todas las partes, tanto en el aspecto superficial como subterráneo. El recurso hídrico se regula por la Ley provincial, oportunamente mencionada, quien garantiza calidad y cantidad del fluido a los habitantes de la provincia.

1-Entidades y Organismos Involucrados

- a) Aguas Riojanas SAPEM (Sociedad Anónima con Participación Estatal Mayoritaria). Empresa que administra por concesión el agua potable, depende de la Administración Central. Intercambio de información permanente sobretodo datos estadísticos de población, consumo de agua por habitante, número de clientes activos, detalle de erogación de caudal, monitoreo de perforaciones por estaciones; entre otros.

- b) CARPA (Cámara Riojana de Productores Agropecuarios). Entidad de amplia trayectoria en la región y provincia de La Rioja. Administra las necesidades de los productores y establece pautas de control, capacitación, investigación entre otros, de acuerdo a los intereses de los productores. Se rescata de esta Institución fundamentalmente aspectos relativos a la producción, riego y manejo sustentable del recurso Hídrico.

- c) CONSUAGUA (Consortio de Usuarios de Agua). En la ciudad de Chilecito, organismo que regula los intereses del Minifundio. La interacción con IPALaR Delegación Chilecito es permanente, compartiendo la infraestructura, administración, control, entre otros del Recurso Hídrico. Se rescatan los resultados de la oferta que se le ofrece al productor, detectando sus necesidades más apremiantes.
- d) INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), que forman parte del estudio de la producción y los recursos naturales del medio. Institución que sirvió de nexo, ante la consulta recurrente cuando fue necesario. Se deduce a partir de allí, informes y materiales tales como fotografías aéreas de diferente escala y antigüedad, como así también soporte de imágenes satelitales. Se coteja además, información de la casilla agrometeorológica Tilimuqui.
- e) IPALaR (Delegación Chilecito). Entidad que depende de la Administración Central de la Ciudad Capital de La Rioja, representa la Autoridad de Aplicación reemplazando a la antigua AyEE de la Nación. Se consideró pertinente la comparación de datos y resultados antiguos con los contemporáneos. Se procede a la cuidadosa selección de procedimientos de esa época, con el correlato de los resultados actuales, tanto en la faz superficial como subterránea del recurso.
- f) Servicio Meteorológico Nacional. Organismo con sede en el aeródromo Anguinán, se interpretan valores contemporáneos de meteorología, seleccionando régimen pluviométrico, nubosidad, dirección e intensidad del viento, variaciones térmicas, entre las fundamentales.
- g) UNCA (Universidad Nacional de Catamarca). Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Interpretación de software y teledetección.
- h) UNDeC (Universidad Nacional de Chilecito). La valoración cualitativa del agua, sus resultados, se establece por medio de LAC (laboratorio de Alta Complejidad) de esa casa de Altos estudios. Además dependiendo de las circunstancias se recurre a Laboratorios privados de la provincia como Cortés Viñez, de ciudad Capital de La Rioja. Para la toma de muestras, se procede en concordancia con los protocolos especificados para cada fin proporcionados por UNDeC. El tratamiento de datos y análisis de resultados

se realizó mediante el software (DIAGRAMMES). En cuanto a la clasificación de los tipos de agua se utilizaron los Diagramas de Piper y de Stiff (Agua y SIG, 2011; Sanchez; Custodio 2001) y Normas de Riverside.

- i) UNLaR (Universidad Nacional de La Rioja) Departamento Ciencias y Tecnologías Aplicadas a la Producción, al Ambiente y al Urbanismo. Selección e interpretación de software y teledetección.

2-Análisis y Procesamiento de Imágenes

a) Interpretación de software y teledetección de acuerdo a la siguiente caracterización:

Imágenes satelitales

Landast 8:

ID: LC08_L1TP_232080_20200526_20200608_01_T1

Acquisition Date: 26-MAY-20

Path: 232

Row: 80

SRTM 30m:

Entity ID: SRTM1S29W068V3

Publication Date: 23-SEP-14

Resolution: 1-ARC

Coordinates: -29, -68

Entity ID: SRTM1S30W068V3

Publication Date: 23-SEP-14

Resolution: 1-ARC

Coordinates: -30, -68

b) Software libres

QGIS: procesamiento de imagen Landsat 8 y de los MDE.

SAGA GIS: análisis de la cuenca a partir de los MDE SRTM.

GOOGLE EARTH: delimitación de la cuenca y análisis de detalle.

GLOBAL MAPPER.

Procedimiento: se descargaron de la plataforma Earth Explore de la NASA, dos Modelos digitales de Elevación (MDE) SRTM de 30 metros de resolución que cubren el área de estudio. En SAGA GIS se realizó un mosaico y recorte de la zona de interés a partir de un archivo shape del límite de la cuenca. El SRTM30 necesita ser pre-procesado antes de usarlo en el análisis, por lo que el primer paso fue reproyectar el MDE al sistema de coordenadas planas, luego el segundo paso constituyó rellenar los espacios en blanco aplicando un filtro gaussian para remover el ruido de alta frecuencia que hace que el MDE se vea un poco granular. Por último, en este software se realizó el análisis de pendientes, rugosidad, orientación de laderas y del nivel de base de la red de drenaje. Posteriormente se realizó el análisis de terreno, Geomorphons, cluster, Landforms.

En los mapas generados se aplicó, a los que arrojaron los mejores resultados, una clasificación de color que mejor resaltara las características de la cuenca.

Para el análisis de la imagen Landsat 8 (PATH-ROW = 232-80), obtenida también en la plataforma de descarga USGS, se utilizaron los software QGIS y su complemento GRASS GIS. En este software se recortó la imagen y se procedió a

realizar distintas combinaciones de bandas para resaltar las coberturas presentes en el área de estudio.

3-Mediciones de Campo

Para las determinaciones cuantitativas de los ríos se utiliza aforador hidrométrico a hélice marca OTT C31 Molinete universal para la medición del caudal. También se utilizó el método de “flotadores”. Se comparan resultados, y se selecciona la determinación con menor dispersión de errores. Procedimiento: En ambos casos, se determina la velocidad que al multiplicar por la sección nos determina el caudal. Es necesario para una mayor exactitud, realizar varios intentos de medición en el mismo punto de muestreo.

En función de su operación, como el caso de los trabajos sobre el lecho del río Amarillo inherente a la Escuela “Las Higueritas” de nivelación, se utilizó Nivel Topográfico marca WILD, y herramientas varias como Brújula Brunton, altímetro THOMMEN TX CIRCA 59, distanciómetro BOSCH Profesional GLM, y cámara fotográfica.

En el caso de las perforaciones para su aforo, se utiliza escuadra aforadora y/o recipiente de volumen conocido y cartilla respectiva según el diámetro de la cañería de impulsión. En algunos casos y cuando la perforación cuenta con el dispositivo, se procede a la comparación con el caudalímetro de la obra.

Para las perforaciones implicadas tanto para adicionar caudal a la red de agua potable, como la que incrementa el agua de riego, se determina su Georreferenciación con GPS Garmin etrex vista HCx. La toma de niveles con piezómetro, medición de caudal, y en algunos casos ensayos de bombeo. En muchas ocasiones, las tareas se tornaron dificultosas, ya que algunas de las obras tienen más de 50 años de antigüedad (Gobernación de Guillermo Iribarren), donde se trabajaba con caños camisa perforados, aún en actividad, que funcionan a modo de rejillas, y también con antepozos profundos.

4-Ensayos de Laboratorios de calidad de agua

Se utilizó el protocolo proporcionado por LAC UNDeC, en concordancia con CEQUIMAP FCQ (UNC).

1-Toma de muestras de agua para análisis fisicoquímico

a) Agua de red, agua de pozo con sistema de extracción. Cantidad mínima necesaria: 2 (dos) litros por muestra.

Envase: botellas de vidrio o plástico, limpias, pre-enjuagadas con el agua que se va a recolectar como muestra.

Procedimiento: abrir el suministro de agua y dejar correr 3 a 5 minutos para eliminar el agua estancada en el sistema. Llenar los recipientes sin dejar cámara de aire y cerrarlos.

b) Agua de manantial o vertiente, agua de ríos y arroyos, agua de estanques. Cantidad necesaria: 2 (dos) litros.

Envase: botellas de vidrio o plástico, limpias, pre-enjuagadas con el agua que se va a recolectar como muestra.

Procedimiento: se sumergen los envases abiertos a una profundidad de 20 a 30 cm de la superficie del agua o a profundidad media del reservorio cuando sea posible. Evitar durante la recolección remover el fondo. Cuando se trata de una corriente de agua, orientar el envase contra la corriente y recolectar la muestra a unos 20 cm de la superficie o a profundidad media del canal principal cuando sea posible. Llenar los recipientes sin dejar cámara de aire y cerrarlos.

2-Toma de muestras de agua para análisis microbiológico

Cantidad mínima necesaria:

a) 300 ml por muestra: agua de red, agua de cisternas y tanques alimentados por red, agua de pozo potabilizada.

b) 1,5 litros por muestra: agua de pozo no tratada, agua de vertiente, ríos, arroyos, lagos.

Envase: estériles de plástico disponibles comercialmente, en número suficiente para recolectar el volumen requerido. Para aguas de pozo y vertiente, se pueden utilizar botellas de agua mineral, recientemente vaciadas, limpias y pre-enjuagadas con el agua que se va a recolectar como muestra.

Procedimiento:

- a) Cuando el agua que se va a recolectar es provista por un grifo, abrir el mismo y dejar correr 2 a 3 minutos para eliminar el agua estancada en el sistema. Cerrar el agua. Desinfectar la boca del grifo, aplicando alcohol 80% o una solución de hipoclorito de sodio (100 mg NaOCl/L), o bien flameando con un soplete a gas o un hisopo encendido, previamente embebido en alcohol. Una vez desinfectada la canilla, dejar que el agua corra 2 ó 3 minutos más antes de recolectar la muestra. Abrir el envase inmediatamente antes de la recolección de la muestra para minimizar el riesgo de contaminación. Llenar el envase, dejando una pequeña cámara de aire y cerrarlo inmediatamente.
- b) Cuando el agua se recolecta de un reservorio y no de un grifo, sumergir los envases abiertos a una profundidad de 20 a 30 cm de la superficie del agua. Llenarlos, dejando una pequeña cámara de aire y cerrarlos inmediatamente al retirarlos.

En todos los casos: rotular los envases con la información que se pretende se identifique la muestra en el informe técnico emitido por el laboratorio.

Conservación: mantener la muestra refrigerada hasta el momento de llevarla al laboratorio. Es conveniente realizar el transporte en un contenedor con refrigerantes. La muestra debe ser entregada al laboratorio no más allá de las 24 horas transcurridas desde su recolección.

5-Normas complementarias utilizadas para la calidad del agua de riego

- a) Índice S.A.R. (relación absorción sodio). Nos da idea del riesgo de sodificación del complejo de cambio (degradación de la estructura del suelo). El índice S.A.R. hace referencia a la proporción relativa en que se

encuentran el ion sodio y los iones calcio y magnesio, calculándose mediante la siguiente expresión:

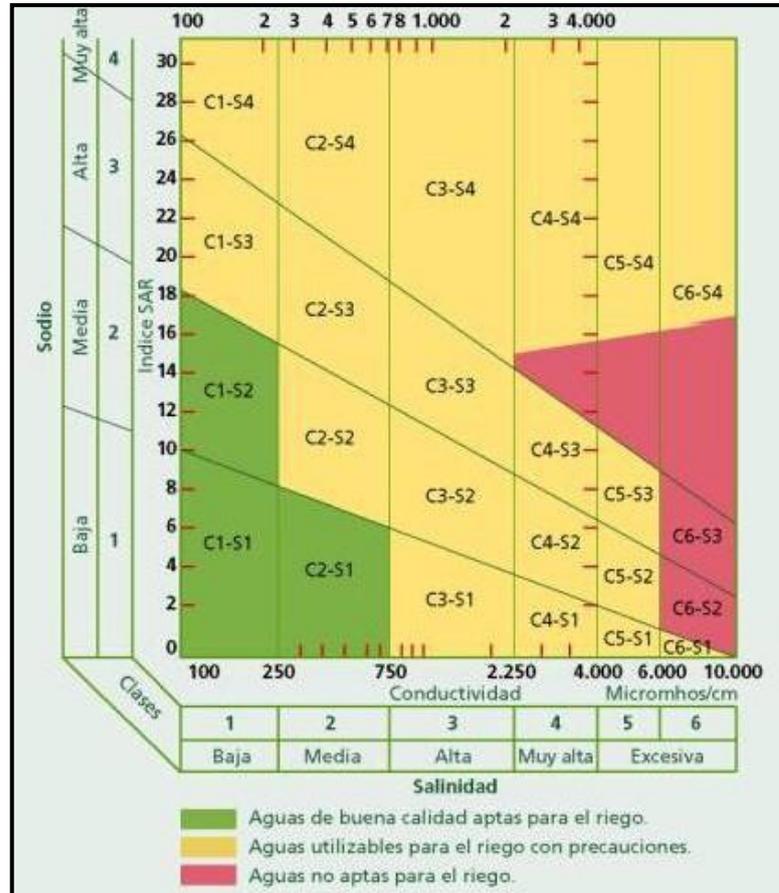
$$S.A.R = \frac{\text{sodio}}{\sqrt{\frac{\text{calcio} + \text{magnesio}}{2}}}$$

Donde los cationes se expresan en meq/l.

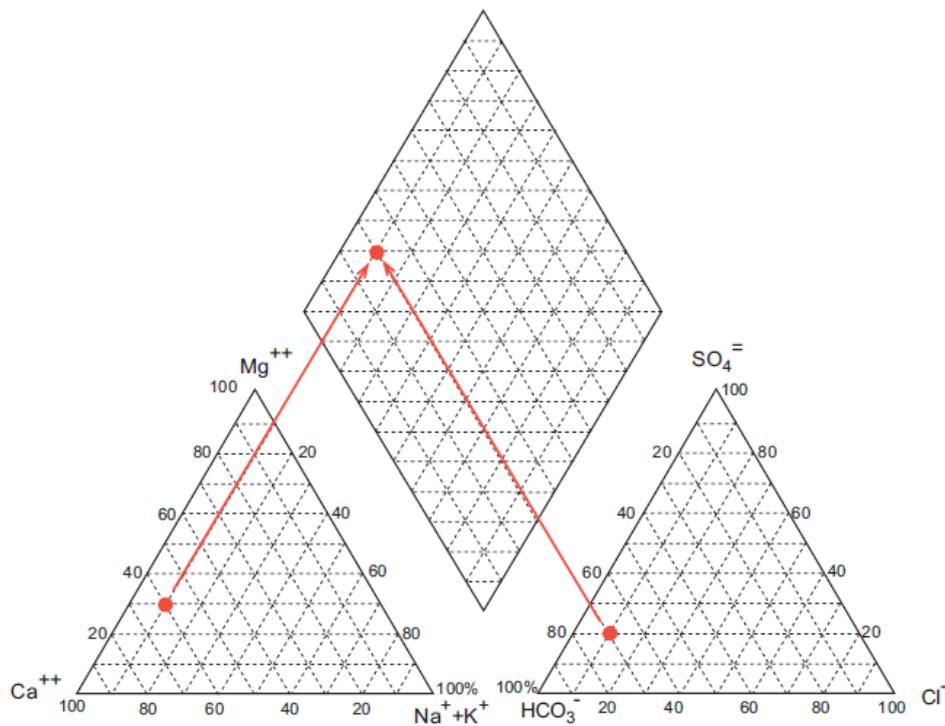
Cuando al analizar el agua se encuentran valores del S.A.R superiores a 10, podemos decir que es alcalinizante, siendo mayor este riesgo cuanto mayor es el valor.

b) Norma Riverside

Establecen una relación entre la conductividad eléctrica ($\mu\text{mhos/cm}$) y el índice S.A.R. Según estos dos índices, se establecen categorías o clases de aguas enunciadas según las letras C y S afectadas de un subíndice numérico. El gráfico estándar es el siguiente:



- c) Diagrama de Piper. Está formado por dos triángulos con un rombo que recoge la información de ambos triángulos:



En uno de los triángulos se representan los cationes ($Na^{+}+K^{+}$ sumados) y en el otro los aniones principales. El paso desde ambos triángulos hasta el rombo es inmediato y muy simple, como se indica en la figura. Por tanto, cada análisis queda representado por tres puntos: los dos triángulos y el rombo.

Lógicamente, los datos de partida deben ser meq/l de cada ión, y es preciso calcular los porcentajes considerando separadamente el 100% de cationes para el triángulo izquierdo y 100% de aniones del triángulo derecho, para llegar a la determinación de aguas en el rombo superior.

CAPÍTULO 6: REGIÓN DE ESTUDIO

CAPÍTULO 6 : REGIÓN DE ESTUDIO

6.1. CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL MEDIO

6.1.1. Orografía

Siguiendo el modelo tectónico de las sierras pampeanas, los afloramientos antiguos tienen elongación norte-sur, limitados por fallas inversas. En el sector del proyecto, la orografía que destaca o domina su entorno, se ubica inmediatamente al oeste en la ladera oriental del imponente Famatina que da lugar a distintas fuentes de agua norte-sur, permitiendo diferentes asentamientos poblacionales. La fuente del río Durazno/Los Sarmientos, provee agua para abastecimiento a la ciudad de Chilecito.

Dentro de los cerros más característicos que enmarcan el sector oeste-este del proyecto, desde la ladera oriental de la sierra de Famatina hasta la Sierra de Paimán tenemos: como límite occidental está el imponente cerro General Manuel Belgrano con 6097 ms.n.m., se puede mencionar al cerro Negro o la Viuda de 4500 ms.n.m.; cerro Morado de las Trampas de 3937 ms.n.m.; quedando en el sector central citar a la **cadena Paimán Chilecito** que con una longitud cercana a 30 km y una altitud máxima de 1900 ms.n.m. separa la ciudad cabecera de Chilecito al oeste, de los Distritos del Minifundio al este.

6.1.2. Geología regional y local

Los relieves dominantes y de gran influencia en la región, son por el oriente y occidente las **sierras de Velasco y Famatina** respectivamente. Esta última, de mayor significación constituye el marco geológico estructural propicio no solo para el desarrollo de la cuenca hídrica que da sustento a la población, sino también para el asentamiento estratégico e histórico de los primeros grupos humanos de lo que es hoy la ciudad de Chilecito. También se destaca la **sierra de Paimán**, que por su disposición norte-sur y sus características de emplazamiento, condicionan los escurrimientos fluviales y su configuración aluvial.

6.1.2.1. Contexto general

Distintas investigaciones obran sobre el sistema Famatina, inclusive destacándola como una provincia geológica particular dentro del contexto de las Sierras Pampeanas. En tal sentido, incluye materiales litológicos propios de las Sierras Pampeanas como así también a flora y fauna marina, vinculándola a la Precordillera como lo atestiguan las transgresiones constatadas en diferentes lugares de la sierra.

Las divergencias conceptuales sobre todo en las edades de los materiales, fue recurrente a través del tiempo. Por ello, los aportes en la región de estudio de Stelzner (1872), Bondenbender (1911) y Turner (1960) entre otros, se ven correlacionados con los trabajos que se especifican por De Alba (1979) fundamentalmente en el paleozoico de la región. Para las especificaciones contemporáneas, se recurre a los trabajos de la Asociación Geológica Argentina (2005) y Segemar Carta Geológica Sañogasta 2969-24 (2007).

En los trabajos de Enrique de Alba (1979) hoja 16d, Chilecito (Figura 6.1), las rocas de mayor desarrollo de la región son migmatitas, sedimentos pelíticos metamorizados y granito, donde sobre ellos se apoyan depósitos de origen continental del Carbónico, Pérmico y materiales Cenozoicos. Dentro de este marco geológico, es posible sintetizar los siguientes grupos de roca que caracterizan a cada periodo:

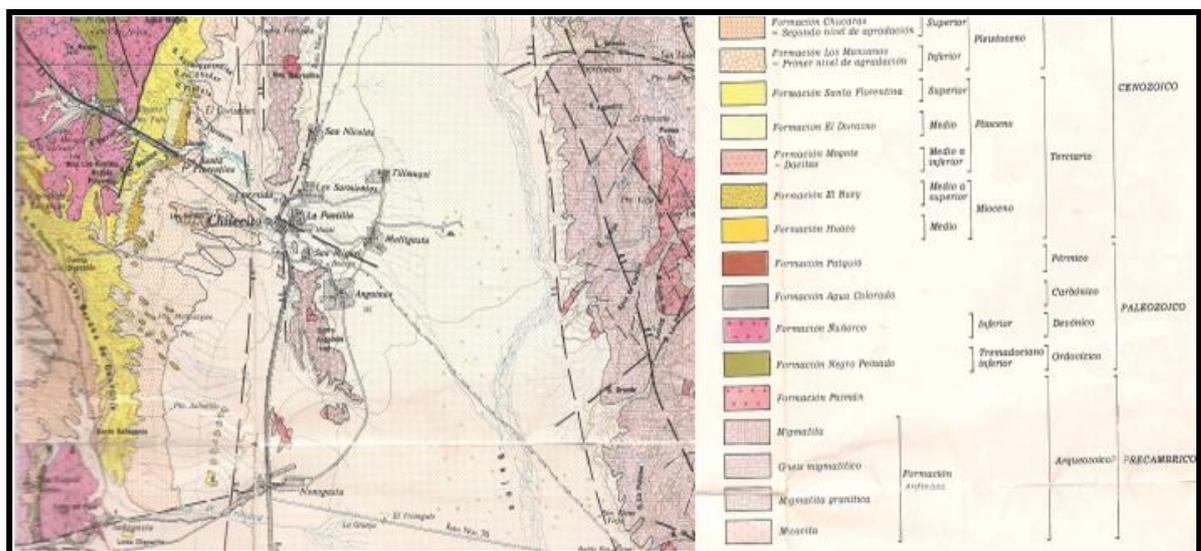


Figura 6.1 Mapa Geológico (ilustrativo), área Chilecito. Hoja Geológica 16 d (De Alba 1979)

1- Precámbrico

Incluye a rocas del ambiente de las Sierras de Velasco y de la cadena Paimán-Chilecito. Estas constituyen un complejo ígneo-metamórfico compuesto por granitos, aplitas y pegmatitas; micacitas graníticas, gneis migmatítico y migmatitas, fuertemente inyectadas por material ígneo, observándose escasos afloramientos de metacuarcitas. El contacto entre granitos y migmatitas es transicional donde se reconocieron las formaciones **Antinaco** compuesta por esquistos, micacitas y migmatitas, cuyos afloramientos constituyen prácticamente toda la Sierra de Velasco; en tanto la Formación **Paimán**, está compuesta por un granito porfídico que constituye el flanco oriental de la sierra de Velasco y parte, aunque reducida, de la Sierra de Paimán-Chilecito.

A) Rocas Formación Antinaco:

1- Micacita

Aparece en reducidos afloramientos en ambas laderas de la sierra de Velasco. La roca oscura con marcada esquistosidad contiene abundante biotita y cuarzo concordante con la esquistosidad.

Otros afloramientos aparecen en distintos lugares del Velasco fundamentalmente en su ladera oriental.

2- Migmatita granítica

Roca de mezcla que aparece en falda oriental de la sierra de Velasco con una longitud aproximada de 20 km, alcanzando un ancho máximo de 4 km a la latitud del bolsón de Huaco.

Hacia el sur de la sierra de Velasco, en los alrededores del puesto Bazán la roca está constituida fundamentalmente por plagioclasa, biotita y ortosa. El cuarzo es poco abundante tiene carácter intersticial y reemplaza a la biotita.

En la cadena **Paimán-Chilecito** predomina netamente la migmatita granítica que, en general es de tono grisáceo, observándose intensa meteorización de los materiales rocosos. Al norte de Nonogasta, en la ladera occidental de la sierra, la roca es

de color gris, de grano grueso; sus componentes esenciales son cuarzo, abundante biotita con alteración clorítica, feldespato potásico y muscovita. Se observa un incremento de vegetación contemporánea, que activa el proceso de meteorización.

Es importante destacar que en diferentes lugares de la ciudad de Chilecito, la roca se encuentra instruida por numerosos filones de cuarzo y feldespato potásico en distintas direcciones. Es notable el filón horizontal, paralelo al camino que une la ciudad con la localidad de la Puntilla.

3- Migmatita

En la sierra de Velasco aflora con una extensión aproximada a los 40 km. en sentido meridional, prevaleciendo los afloramientos hacia el norte donde alcanza los 18 km. La roca contiene abundancia de feldespato potásico de tono rosado, parcialmente alterado y de tamaño variable.

B- Formación Paimán

La constituyen granitos porfídicos que afloran en el flanco oriental de la sierra de Velasco, y parte aunque reducida, de la sierra o cadena Paimán-Chilecito.

También está constituida por granodiorita y granito aplítico, siempre en cuerpos pequeños, asoman esporádicamente en la Formación Antinaco.

En general la roca tiene coloración gris rosada, presenta grandes cristales de feldespato potásico que llegan hasta los 10 cm de longitud y cuarzo y biotita cuyos cristales a veces superan el cm de longitud.

En el borde sur del bolsón de Huaco, en el lugar conocido como el “dique indígena”, el granito porfídico está bastante alterado y sus cristales de feldespato potásico mantienen orientación estructural general norte-sur.

Los afloramientos de roca granítica en la cadena Paimán – Chilecito (formación Antinaco), son de reducidas dimensiones y se distribuyen en toda su extensión. Las

tonalidades son rosadas claro, con textura de grano medio constituidas por cuarzo con inclusiones de circón y rutilo, también feldespato potásico, biotita y muscovita.

Al norte de Nonogasta aparece granito aplítico y granodiorita; el primero es de tono rosado y blanquecino con contenido de muscovita. La segunda de color gris claro es maciza, de grano fino, con cuarzo, feldespato potásico, biotita y plagioclasa ácida.

Edad:

El basamento cristalino de la sierra de Velasco, integrante de las sierras Pampeanas, ha sido atribuido por distintos autores tanto al Precámbrico, como al Paleozoico inferior. Stelzner lo consideró de edad arcaica. Bodenbender, al estudiar los nevados del Famatina y la Sierra Paimán-Chilecito asignó al cámbrico-silúrico las rocas que constituyen la Formación Antinaco y la Formación Paimán. González Bonorino, establece que dichas formaciones serían del Arqueozoico.

2- Ordovícico

A- Formación Negro Peinado

Son rocas con leve metamorfismo regional, formadas a partir de la intrusión granito-diorita aflorando en la falda oriental de los Nevados del Famatina y en dos fajas al este, bordeando la cumbre del Cerro Agua Negra e involucrando sus rocas al Proyecto.

Se caracteriza por la presencia de rocas de granos finos de pizarras y filitas, también esquistos con abundante feldespato y areniscas cuarcíticas, con rumbo general norte-sur, con inclinación variable cercana a la vertical. Todo el contexto litológico se encuentra muy **meteorizado**.

Al norte del río Amarillo, en la quebrada del Agua Negra afloran hornfels y filitas de tonos oscuros. Las mismas, están atravesadas por venas de cuarzo que siguen la esquistosidad. Se observan en la formación intrusiones graníticas.

Al oeste de Santa Florentina entre granitos y depósitos terciarios, afloran filitas completamente trituradas con un espesor que no sobrepasan los 300 metros.

3- Devónico

A-Formación Ñuñorco

La roca predominante es el **granito**, de tonalidad rosada gris clara, con grano que varía de grueso a fino. Está atravesada por diques de aplitas, pórfidos y lamprófidos, que incluyen xenolitos. Esta roca constituye la parte central de macizo del Famatina, sobre todo en su sector oriental a lo largo de más de 50 km de longitud dónde el granito intruye a la formación Negro Peinado.

Al oeste de Santa Florentina, el granito en contacto con la formación Negro Peinado está muy alterado y al norte de Sañogasta, está atravesado por diques. En la Localidad de Miranda en quebrada al sur de la escuela, aflora granito de tonalidad rojiza de grano medio a grueso con abundante cuarzo y feldespatos lo que dio motivo a la explotación minera de este último mineral.

4- Carbónico

A- Formación Agua Colorada

Únicamente aparecen en pequeños afloramientos en la quebrada de Miranda, en la falda sur del cerro Potrero Seco, inmediatamente al oeste y norte del pueblo de Miranda. Está representado por **areniscas amarillas, gris claro, rosado**, de grano fino a medio y lutitas carbonosas portadoras, a veces de delgadas capas de carbón o vestigios carbonosos, están se apoyan discordantemente sobre granito de Formación Ñuñorco, seguramente por falla inversa y sentido este-oeste aflorando este sector en el margen oriental de Famatina en las inmediaciones del Río Miranda.

5- Pérmico

A- Formación Patquía

Este afloramiento es visible en la quebrada del **Río Miranda** y parte norte de la sierra de Sañogasta, dónde sus asomos son reducidos, dispersos y horizontales. Apoyan concordantemente sobre rocas carbónicas, está principalmente constituida por **conglomerados** presentes en base y techo y **areniscas de color rojo** de grano medio a fino.

6- Cenozoico

6.1-Terciario

A-Formación Huaco

Aparece en pocos y pequeños afloramientos en el centro y oriente de la sierra de Velasco en inmediaciones del Bolsón de Huaco. Litológicamente caracterizado por conglomerados con clastos de cuarzo y areniscas rojas. (Mioceno medio).

B-Formación El Buey

Se localiza al **oeste de la localidad de Santa Florentina**, al este de la sierra de Famatina, en sentido norte sur con una longitud aproximada de 16 km. La constituyen la presencia **conglomerados, arcillas** y fundamentalmente **areniscas** de tonalidades pardas y rojizas, con un espesor promedio de 320 m. (Mioceno superior).

C-Formación Mogote

El Plioceno inferior, caracteriza a la Formación Mogote caracterizado por la presencia de **cuerpos ígneos dacíticos y andesíticos**, en pequeños asomos en inmediaciones de Santa Florentina como así también entre las estaciones 5 y 6 (Cablecarril) dónde atraviesa a la formación Negro Peinado.

D-Formación El Durazno

El Plioceno medio domina la presencia de sedimentos conformados por **conglomerados, areniscas** y fundamentalmente **tobas**, que apoyan sobre rocas de la formación El Buey.

E-Formación Santa Florentina

Se trata de sedimentos pobremente consolidados, que afloran en las inmediaciones de Santa Florentina, al oeste de la ciudad de Chilecito. Tiene una gran extensión superando los 30 km. en longitud norte-sur. Litológicamente la forman **conglomerados, areniscas y limo arcillas** que responden al Plioceno superior.

6.2-Cuartario

En general los sedimentos están pobremente consolidados, con amplio desarrollo superficial cubriendo la región deprimida del valle entre las sierras de Famatina y Velasco. Se destacan los **grandes conos aluviales**, como por ejemplo el de la salida de quebrada de Capayán de algo más de 200 km².

A-Formación Los Manzanos

Sedimentos clásticos de transporte fluvial, constituye el primer nivel de agradación por encima de los 1400 ms.n.m. Dichos depósitos, cubren en discordancia angular a la formación Santa Florentina. (Pleistoceno inferior).

B-Formación Chucaras

Responden al segundo nivel de agradación, se distinguen depósitos de conos aluviales, a una altura superior a los 1200 ms.n.m. En la sierra de Famatina tiene rumbo norte – sur, y está representado por rodados de hasta 30 cm de diámetro de granito, filita, pizarra, entre otros.

C-Formación Manzangan

Sedimentos clásticos, de diferente granulometría por encima de los 1000 ms.n.m., corresponden al tercer nivel de agradación. Se extiende ampliamente en **inmediaciones de Santa Florentina**, borde occidental de la sierra de Velasco a la salida de la quebrada de La Rioja, y en la cadena Paimán – Chilecito en la **quebrada de Capayán**.

Los componentes de la formación derivan de las imponentes sierras mencionadas, por ejemplo en la quebrada de Capayán aparecen rodados de la formación Negro Peinado, en la quebrada de La Rioja aparecen rodados de rocas migmáticas.

Por último el material de acarreo, cubre las regiones más deprimidas del valle Antinaco – Los Colorados, Bolsón de Huaco, etc. Los sedimentos están alejados de las sierras, las arenas forman médanos aislados, y los finos como limos y arcillas se pueden localizar en los “bañados” de los Bajos de Santa Elena.

6.1.2.2. Situación Contemporánea

En los Documentos de la **Asociación Geológica Argentina- Dahlquist, J.A., Baldo, E.G. y Alasino, P.H. (2005) Geología de la provincia de La Rioja (Publicación especial N°8)** Buenos Aires, reúne importantes estudios de diferentes especialidades de las Ciencias Geológicas. Destacándose en ellos, los siguientes aspectos geológicos que se relacionan con la región de estudio:

1-Evidencia de **fauna marina** al SO de la ladera oriental del Famatina en la región de la Fm Volcancito y Fm bordo atravesado, en el paleozoico inferior. (Albanesi et al 2005).

2-Es variada la información de los estudios en la Sierra de Famatina, y todo el NOA. Se observan posturas diferentes desde el punto de vista temporal y estratigráfico. **Sucede con la Fm Negro peinado, por ejemplo antiguamente fue ordovícica y en documentos actuales la ubican en tiempos precámbricos.** En Legajos sobre la Fm La Aguadita, Astini, R.A., Dávila, F. M., Collo, G. y Martina F., (2005), plantean la hipótesis no solo para la Fm precitada sino también para la Fm Negro peinado respecto a que “pertenecen a depósitos vinculados con la historia ordovícica de la región y no al Proterozoico”.

3-Trascendiendo al este de la región de estudio, Báez *et al* (2005), caracterizan las diferentes unidades ígneas de la Sierra de Velasco, sugiriendo que dichas rocas ígneas son producto de diferentes pulsos magmáticos desarrollados a través del tiempo.

Los pulsos más antiguos se localizan a occidente (Fm Antinaco y Granitoides del Sur), haciéndose más modernas a oriente (Granito Huaco y Granito San Blas): a) Fm Antinaco, granitoides del ordovícico devónico. b) Granito Huaco, granitos Devónico inferior o menor. c) San Blas, carbonífero inferior.

6.1.2.2.1. Situación General actualizada-Segemar Carta Geológica Sañogasta 2969-24 – Candiani, J.C. et al. (2007)

Si bien se relaciona hacia el norte con la Hoja h296918 Famatina, se observa que en general se han mantenido las nomenclaturas litológicas formacionales, destacándose la siguiente estratigrafía resumida que se relacionan con el Proyecto:

- a- Cámbrico: Fm Achavil, Fm Negro Peinado, Fm Volcancito?
- b- Ordovícico: Fm Volcancito?, Fm Bordo atravesado, Fm Suri, Complejo Magmático Ñuñorco, Complejo Magmático Cerro Toro, Complejo Magmático Paimán. Cornubianitas.
- c- Devónico: Loma Colorada.
- d- Carbonífero: Fm Agua Colorada.
- e- Pérmico: Fm La Cuesta
- f- Triásico: Fm La Veteada
- g- Cenozoico: Fm El Crestón, Durazno, Complejo Magmático El Mogote, Fm Santa Florentina, Depósitos morrénicos, Depósitos Pedemontanos, y Depósitos Aluviales.

6.1.2.2.2. *Área de Trabajo. Geología de la región y aspecto Estructural*

Dominan la región, **rocas muy antiguas al oeste como las formaciones Achavil y Negro Peinado** (Figura 6.2). Las mismas sedimentarias en su origen, fueron levemente metamorfizadas por la acción intrusiva de las formaciones del Complejo Magmático Ñuñorco y Complejo Magmático Cerro Toro. Hay que destacar que la formación Negro Peinado, a latitudes más al norte de 28°50' de latitud, en paragénesis con grandes volúmenes de cuarzo la hacen portadora de metales valiosos.

Como característica distintiva de la región, es la **excesiva meteorización** de las unidades litológicas.

En una interacción mucho más moderna devónico/carbonífero, se manifiesta la formación Loma Colorada por el este de la formación Negro Peinado, dónde el metamorfismo acusado en estas rocas es de bajo grado, tratándose fundamentalmente de filitas satinadas.

En el cuadrante sudeste de la región, ya culminando con las formaciones topográficamente elevadas y de mayor antigüedad, tenemos a las **formaciones Santa Florentina y El Durazno, del pleistoceno? y cenozoico respectivamente.**

Materiales modernos se vinculan con la Cuenca de los ríos Agua Negra/El Cajón, El Oro o Amarillo, y posteriormente Durazno-Los Sarmientos. Se

componen de materiales loessicos y conglomerados en sus márgenes de las respectivas llanuras de inundación, siendo ésta, conformada por bloques cuyos tamaños disminuyen del oeste-noroeste hacia el este-sudeste llegando hacia la ciudad de Chilecito y localidades vecinas donde encontramos arenas y suelos, ya en cercanías del talweg del valle Antinaco-Los Colorados.

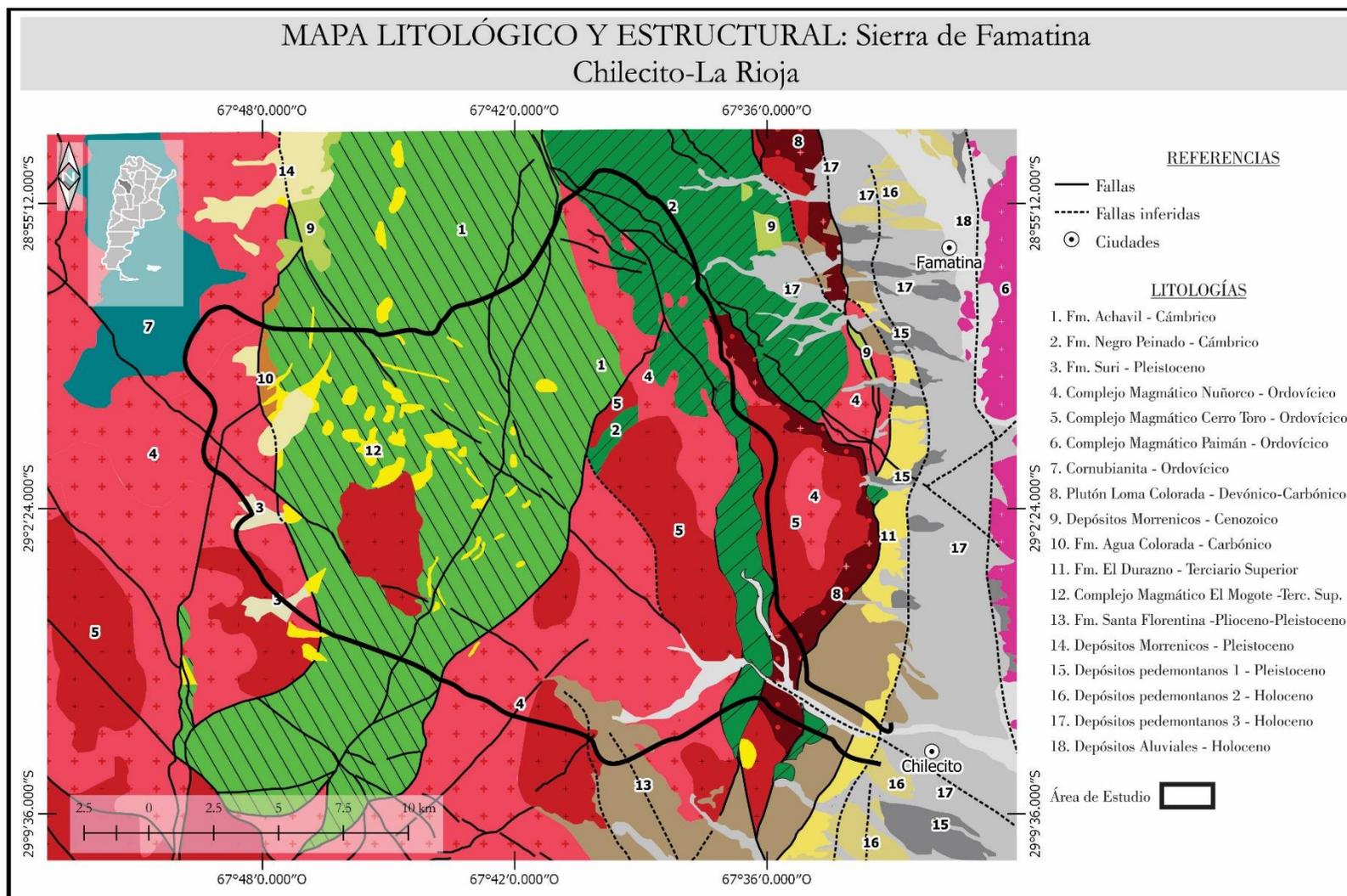


Figura 6.2 Detalle Litogeológico Estructural de la región de estudio

DETALLE LITOLÓGICO

- 1- Fm Achavil. Cámbrico. Materiales psefíticos, psamíticos y pelíticos levemente metamorfizados.
- 2- Fm Negro Peinado. Cámbrico. Filitas verde oscuras satinadas y areniscas metamorfizadas.
- 3- Fm Suri. Pleistoceno. Depósitos Morrénicos modernos.
- 4- Complejo Magmático Ñuñorco. Ordovícico. Granodioritas.
- 5- Complejo Magmático Cerro Toro. Ordovícico. Tonalitas, granodioritas y gabros.
- 6- Complejo Magmático Paimán. Ordovícico. Monzogranitos (granitos con similar porcentaje de cuarzo y feldespato potásico), granodioritas, migmatita granítica. Se observan filones feldespáticos.
- 7- Cornubianitas. Ordovícico.
- 8- Plutón Loma Colorada. Devónico-Carbónico. Monzogranitos equigranular de grano medio.
- 9- Depósitos Morrénicos. Cenozoico. Materiales modernos. Conglomerados.
- 10- Fm Agua Colorada. Carbónico. Areniscas claras. Conglomerados y pelitas escasos.
- 11- Fm El Durazno. Terciario superior. Conglomerados y areniscas rosadas.
- 12- Complejo Magmático El Mogote. Terciario superior. Intrusivos y diques riódacíticos, dacíticos, y andesíticos.
- 13- Fm Santa Florentina. Plioceno-pleistoceno. Conglomerados con matriz limoarenosa.
- 14- Depósitos morrénicos. Pleistoceno. Conglomerados.
- 15- Depósitos pedemontanos 1. Pleistoceno-holoceno. Conglomerados y bloques.
- 16- Depósitos pedemontanos 2. Holoceno. Conglomerados y bloques.
- 17- Depósitos pedemontanos 3. Holoceno. Conglomerados y bloques.
- 18- Depósitos Aluviales. Holoceno. Conglomerados y bloques.

La región de estudio se vincula principalmente con rocas antiguas ígneas y metamórficas de bajo grado fundamentalmente a occidente, luego en el sector centro-este la cruza con rumbo norte-sur la faja de filitas satinadas oscuras, quedando una pequeña proporción a oriente de materiales modernos, resaltados por los límites de la cuenca (Figura 6.3). Un patrón dominante en toda la cuenca considerada es la intensa meteorización de los materiales atestiguado por la fragilidad y oxidación de los materiales presentes.

La riqueza en metales, sus nevados característicos, el proceso cultural e histórico le imprimen a la Sierra de Famatina características particulares.

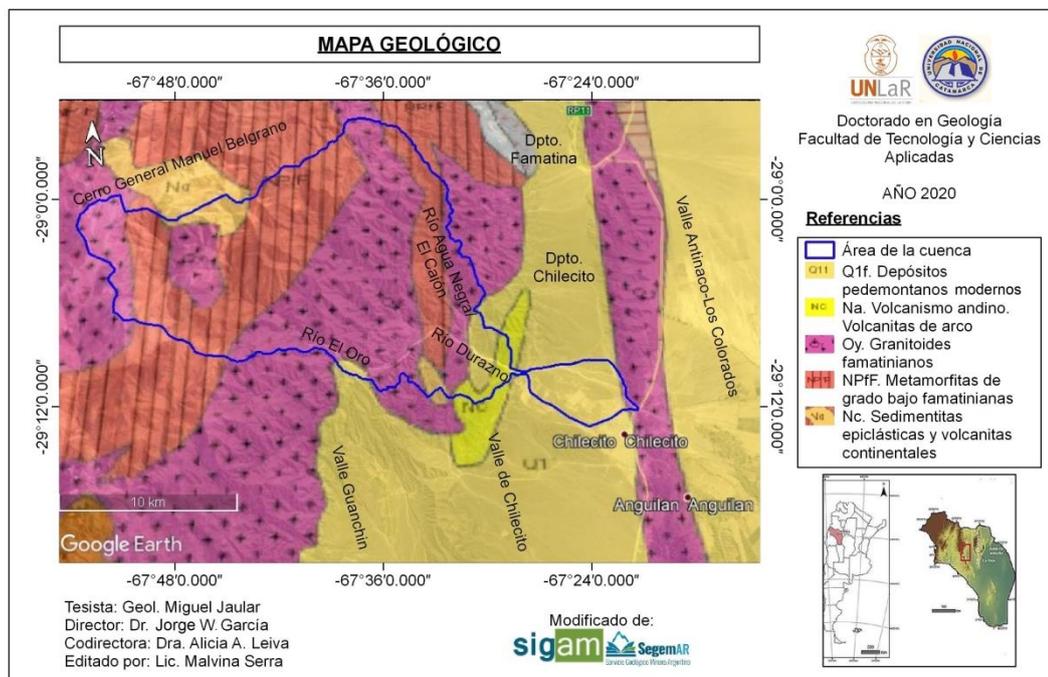


Figura 6.3 Mapa geológico y su vinculación con la Cuenca de estudio

CONTEXTO ESTRUCTURAL

El sistema de Famatina, representa a una provincia geológica con características distintivas dentro del ámbito de las sierras pampeanas noroccidentales. Es una estructura montañosa con algo más de 400 km de longitud.

La entidad es sumamente compleja e interactúa mayoritariamente con las sierras pampeanas por oriente y con precordillera y parte de las sierras pampeanas por

occidente. Se reconocen litologías y antigüedad de los materiales similares a la entidad pampeana, al mismo tiempo reúne características de flora y fauna marina relacionadas con occidente. (Transgresiones marinas)

En la región central del Famatina (involucrando a la zona del Proyecto), de este a oeste la deformación oclóyica queda representada de la siguiente manera- Dávila, F.M. y Astini R.A. (2005): a) Un cinturón plegado, involucrando una discordancia mayor desarrollada entre rocas del Ordovícico Inferior y Medio. b) Una faja volcano sedimentaria registrando metamorfismo de muy bajo grado y alta deformación interna vergentes al este y c) Una faja de cizalla dúctil que afecta a los granitoides del complejo Ñuñorco.

De lo antedicho, se deducen acortamientos ortogonales en sentido mayoritariamente este-oeste, dónde las estructuras principales se disponen de noroeste al sudeste, tendiendo a converger en cercanías de la localidad de Santa Florentina, dónde luego hacia el este en forma sutil se disponen las formaciones contemporáneas con estructuras de rumbo norte-sur.

Como resultado de los esfuerzos tectónicos, la estratigrafía del Famatina es relativamente sencilla, y se puede resumir de la siguiente manera: se compone de un basamento metamórfico proterozoico-cámbrico temprano, seguido por una sucesión sedimentaria del Paleozoico inferior y superior, con desarrollo de un magmatismo volumétricamente importante en el Ordovícico, y una sucesión cenozoica coincidente con las últimas orogenias.

El marco estructural y fundamentalmente la geología de las cuencas, le otorgan al recurso hídrico propiedades generales distintivas. La gran meteorización de metales, sales y silicatos de la región le transfieren a los ríos Amarillo y El Cajón la salinización y alcalinización dentro de los valores óptimos para riego. El río Aguas Negras, tiene la particularidad de atravesar en gran parte de su trayecto la formación negro peinado, cuyos esquistos aloja caliza cristalina al norte de la región de estudio ya en Departamento Famatina (Turner 1971). Esta particularidad le otorga una naturaleza cálcica al fluido. No obstante, estas aguas resultan muy buenas para riego y buenas para consumo humano.

6.1.3. Clima

La Rioja se localiza al noroeste del país, se encuentra dentro de la diagonal árida, por lo tanto el **clima predominante general es árido a semiárido continental**. Como el territorio se conforma en gran porcentaje por relieve serrano, se establece además el **clima de alta montaña**.

Es característico en la región del oeste provincial, el viento Zonda que tiene su influencia entre los meses de abril/mayo a septiembre, con mayor repercusión en agosto. Viento cálido y seco, que modifica momentáneamente la presión atmosférica alterando el ciclo de los vegetales, e incluso a personas con patologías cardíacas o con problemas de presión. El resto del año, los vientos son esporádicos con dirección norte-sur en coincidencia con la disposición del relieve.

Los **parámetros relevantes para las determinaciones climáticas son la Temperatura y las Precipitaciones**, a partir de ellos se pueden deducir el clima de cualquier lugar del mundo. Los climas tienen una correlación con la flora y fauna, es decir con ecosistemas, biomas y el ambiente cumpliendo además un papel fundamental en la edafología.

En la región de estudio si bien las precipitaciones son insuficientes durante el año, se observa una disminución del oeste al este (500 mm a 100 mm) entre la Sierra de Famatina y Velasco respectivamente. De acuerdo a datos de CRAS (Centro regional de Aguas Subterráneas), e información actualizada del servicio meteorológico Nacional, se proyectan las Isoyetas mostradas en la (Figura 6.4).

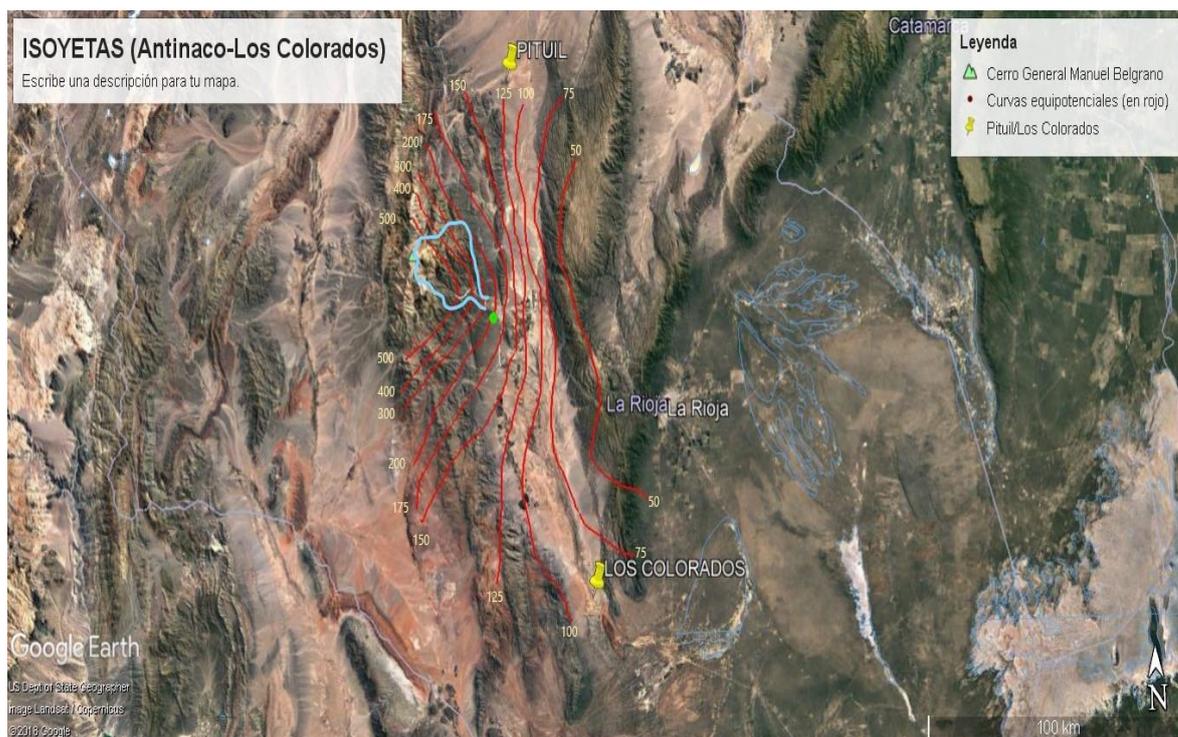


Figura 6.4 Isoyetas. Elaboradas a partir de los Documentos del CRAS (Centro Regional de Aguas Subterráneas) y datos de la Estación meteorológica del aeródromo Anguinán.

Ref: Área de estudio - Chilecito ●

En el IPALaR Delegación Chilecito, se obtuvieron los datos pluviométricos del Campamento de Agua subterránea ($29^{\circ}09'27''S$; $67^{\circ}29'46''O$) del periodo 1990 al 1995 (Tabla 6.1). Se destaca una mayor precipitación en época estival, pero nunca los valores sobrepasan los 250 milímetros anuales respondiendo a las características climáticas de la región.

Tabla de datos pluviómetro Campamento IPALaR- Chilecito

Meses Años	Precipitaciones Mensuales en mm												Totales Anuales en mm
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1990	47,10	74,40	6,80	24,80	0,00	0,00	1,30	0,00	0,20	12,70	63,50	17,40	248,20
1991	101,50	8,60	15,00	17,00	0,50	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20	35,90	190,70
1992	16,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	11,80	0,00	12,00	28,00	77,80
1993	125,00	37,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51,00	213,00
1994	15,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,00	80,00
1995	30,50	11,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	14,00	0,00	40,00	0,00	97,00

Tabla 6.1 Datos pluviométricos IPALaR periodo 1990-1995

Datos del Servicio Meteorológico Nacional del aeródromo Anguinán (Chilecito), establecen diferentes parámetros climatológicos. Si bien todos son importantes, se procede a la selección de los más significativos y de incidencia directa con el clima de la región.

Históricamente para el departamento Chilecito el promedio de las precipitaciones oscilan entre 150 a 170 mm anuales. De acuerdo a los registros del SMN para el periodo 1989-2017 (Tabla 6.2), la precipitación media anual es 151,89 mm.

Del análisis de los datos surge que en el periodo 1989 a 1995 alternan años húmedos (superan la precipitación media anual) con secos (no alcanzan el valor de la precipitación media anual), donde la continuidad de años húmedos (3) es mayor que la de los secos (2). El período 1996 a 2002, corresponde a un ciclo húmedo que supera la media anual (7 años húmedos). El periodo 2003 a 2014 corresponde en general a un ciclo seco (9 años secos y 3 húmedos) donde los valores de precipitación de los años secos son marcadamente inferiores al valor de la precipitación media anual. En concordancia con lo precedente se observa una disminución notoria de las nieves eternas de la Sierra de Famatina a partir del año 2008, atestiguado por las imágenes satelitales. A partir de 2015 los valores de precipitación superan o se acercan a la precipitación media anual.

No obstante, la región de la Sierra de Famatina a la latitud de la ciudad de Chilecito percibe mayores precipitaciones que el sector norte (Departamento Famatina) y sur (Campos de Vichigasta y Departamento Independencia) debido a la mayor altitud de la sierra (Maza S. 2015). Esta situación promueve que las precipitaciones en las altas cumbres sean en forma de nieve determinando condiciones particulares de microclima en la ciudad de Chilecito dónde en época estival, la temperatura es elevada durante el día y desciende notoriamente por la tarde noche.

Tabla de precipitaciones mensuales (Servicio Meteorológico Nacional)

Precipitaciones Mensuales (mm)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Anual
1989	39,1	90,6	16	1,3	3,5	0	0	0	0	0	17,9	25,7	194,1
1990	20,4	38,6	1	8,2	0	0	0	0	4	17,7	58	3	150,9
1991	78	58,2	18,6	5,2	0	5,7	0	1	0	0	0,5	14	181,2
1992	18,7	55	2,8	21,3	0,6	0	2	9,3	8	0	5,4	63	186,1
1993	84,9	44,1	11,5	0	0	0	1,1	0	5,7	1	0	15,8	164,1
1994	33,5	28,6	2,6	0	0	0	2	0	0	0	3	9,5	79,2
1995	28,5	28,4	10,5	0	0	0	0	0	12,1	0	0	0	79,5
1996	37,4	19,3	29,2	0	0	4	0	0	16,6	0,1	1,2	44	151,8
1997	85,1	14,3	21,7	0	31,1	0	0	0	0	0,5	0	26,2	178,9
1998	36,3	42,7	36	9,2	11	0	0	14	0,8	17	13	7,5	187,5
1999	39	28,5	14	9	4	0	7,5	0	0	19	20,9	29,5	171,4
2000	69,5	1,2	17,3	22	0	6	11	0	0,5	23	27,3	4	181,8
2001	46	38,7	50	17,6	15	7	1,2	0	5,6	0	0	62,8	243,9
2002	19,8	20	29,7	15,9	3	0	3,1	0	0	10,5	0,4	87,4	189,8
2003	8	0	38,4	2,3	0	0	0	0	0	0	1	0	49,7
2004	74	17,9	30,9	1,2	7,8	0	0	0	0	0	4	13,8	149,6
2005	1,6	7,4	1,6	19,1	1,2	0	0	0,2	12	0	2,2	23	68,3
2006	47,2	56,4	5	32,5	0,1	0	0	0	0	0	4	30,5	175,7
2007	27	2,5	4,4	6	11	1	1	4	0	0,7	3	9,1	69,7
2008	39,4	56	69,8	0	0	0	0	0	3	10	15	10,9	204,1
2009	30,8	0	18	0	1,7	0	0	0	0	0	0	3,2	53,7
2010	5	40	2	3	5	0	5	0,4	0,2	0	2	27	89,6
2011	8	88	41	12	0	0	5	0	0	4	0	24	182,0
2012	32,8	94,9	0	10,5	0	0	0	0,3	4	0	0	2	144,5
2013	47	7,1	4	0	0	0	0	4,7	0	3	4	21	90,8
2014	35	48	12	10,8	2,2	0	3	0	0	0	0	18	129,0
2015	50	49,5	116,5	0	0	0	10	6	0	13	33,7	20	298,7
2016	80	29	38,3	28	4,9	13	0	0,7	0	3	15	6	217,9
2017	16	43	18	18,2	3	0	0	0	3	7,8	0	32,4	141,4

Tabla 6.2 Registro meteorológico de precipitaciones. Periodo 1989-2017. Servicio meteorológico Nacional (Aeródromo Anguinán Dpto. Chilecito)

De acuerdo a datos del SMN (servicio meteorológico Nacional) (Tabla 6.3), para el periodo 2001-2010 el valor promedio anual de presión atmosférica es de 909,2 hPa, dónde los parámetros de variación son la altitud, latitud y la temperatura entre los más relevantes. En época estival se manifiestan los menores valores. En cuanto a la temperatura, se establece un promedio anual de 18,8 °C manifestándose elevadas temperaturas en verano e inviernos muy fríos. Esta particularidad se debe al fenómeno de continentalidad, característica de las regiones alejadas del mar u océano, determinando que la humedad relativa se mantenga aproximadamente constante.

Tabla de parámetros meteorológicos del Servicio Meteorológico Nacional
periodo 2001-2010

Valores Medios

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
PRESION A NIVEL DE LA ESTACION (hPa)	907,1	907,9	908,7	909,9	911,2	911,3	911,5	911,1	910,9	907,8	906,5	906,6	909,2
Número de años considerados	9	9	9	8	9	9	10	10	10	8	8	8	8
MAXIMO VALOR MEDIO	908,9	909,6	910,3	911,9	915,0	912,9	912,8	914,1	912,7	909,5	907,5	908,0	909,6
Año de ocurrencia	2009	2004	2008	2005	2004	2001	2002	2003	2005	2008	2008	2008	2008
MINIMO VALOR MEDIO	906,1	906,3	906,6	908,6	907,9	909,5	909,4	909,1	909,2	905,7	905,5	905,3	908,5
Año de ocurrencia	2001	2001	2002	2002	2005	2005	2001	2002	2002	2002	2003	2003	2002

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA (°C)	26,1	25,1	22,5	18,0	13,1	10,5	10,2	12,8	16,3	21,5	23,8	25,5	18,8
Número de años considerados	9	9	9	8	9	9	10	10	10	8	8	8	8
MAXIMO VALOR MEDIO	27,3	26,4	23,9	19,0	14,8	13,1	12,6	15,1	18,8	23,2	25,3	26,2	19,6
Año de ocurrencia	2003	2001	2009	2007	2002	2003	2006	2009	2004	2003	2003	2004	2003
MINIMO VALOR MEDIO	24,8	24,1	21,4	16,3	10,5	8,3	8,1	8,7	14,0	19,7	22,7	23,5	18,2
Año de ocurrencia	2007	2004	2001	2005	2004	2002	2010	2007	2005	2005	2004	2002	2007

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO (°C)	19,9	19,2	18,1	14,5	9,9	7,1	6,3	8,3	10,9	15,2	17,4	19,4	13,9
Número de años considerados	9	9	9	8	9	9	10	10	10	8	8	8	8
MAXIMO VALOR MEDIO	23,8	21,4	20,7	16,6	10,9	9,4	9,1	10,7	13,7	18,3	21,5	22,8	15,4
Año de ocurrencia	2008	2008	2008	2008	2005	2005	2006	2005	2007	2007	2005	2005	2005
MINIMO VALOR MEDIO	17,5	17,3	16,6	12,7	6,6	4,5	4,4	6,2	9,3	13,1	15,1	17,2	12,6
Año de ocurrencia	2009	2003	2003	2002	2004	2002	2010	2007	2009	2004	2002	2002	2002

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
HUMEDAD RELATIVA (%)	52,9	54,7	61,8	66,0	65,8	61,9	56,6	53,8	48,8	47,4	47,6	52,2	55,8
Número de años considerados	9	9	9	8	9	9	10	10	10	8	8	8	8
MAXIMO VALOR MEDIO	73,5	70,2	83,5	76,0	80,8	73,1	68,9	69,8	68,9	64,7	67,4	72,4	67,1
Año de ocurrencia	2008	2008	2008	2006	2007	2005	2005	2005	2005	2007	2005	2005	2005
MINIMO VALOR MEDIO	41,1	39,9	46,3	55,1	56,0	51,1	45,7	43,6	32,9	36,8	35,7	40,8	45,3
Año de ocurrencia	2003	2003	2009	2003	2003	2004	2003	2004	2004	2004	2002	2003	2003

Tabla 6.3 Registro meteorológico de presión, temperatura y humedad. Servicio meteorológico Nacional (Aeródromo Anguinán Dpto. Chilecito)

La intensidad del viento y la nubosidad tienen correlación (Tabla 6.4), hay una mayor incidencia de ambos en época estival. En esa época la nubosidad proviene de los vientos del oeste, generando concentración, condensación y precipitaciones orográfica/convectiva que, cuando genera cúmulos nimbus dan lugar a violentas precipitaciones eléctricas en breve tiempo. En invierno prevalece la nubosidad de tipo estratos, más duradera generada por vientos de diferentes direcciones. Durante todo el año prevalecen vientos del cuadrante sur.

Tabla de Nubosidad, dirección e intensidad del viento

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
INTENSIDAD DE VIENTO (km/h)	8,3	7,9	6,6	5,2	4,6	4,8	5,1	6,4	7,4	8,9	9,3	9,4	7,0
Número de años considerados	9	9	9	8	9	9	10	10	10	8	8	8	8
MAXIMO VALOR MEDIO	9,4	9,3	8,1	6,9	5,9	5,8	5,8	8,8	8,5	9,9	11,1	11,1	7,5
Año de ocurrencia	2001	2003	2007	2007	2009	2007	2006	2008	2009	2003	2008	2003	2008
MINIMO VALOR MEDIO	7,4	6,5	5,1	3,9	3,8	4,0	4,4	4,4	5,9	8,0	8,1	7,7	6,3
Año de ocurrencia	2007	2001	2002	2006	2002	2005	2002	2001	2005	2001	2007	2001	2001

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
NUBOSIDAD TOTAL (Octavos)	3,7	3,4	3,5	3,0	3,1	2,7	1,9	1,9	2,1	2,4	2,7	3,2	2,8
Número de años considerados	9	9	9	8	9	9	10	10	10	8	8	8	8
MAXIMO VALOR MEDIO	5,1	4,1	4,7	4,2	4,0	4,5	3,2	2,8	4,0	3,1	3,6	3,7	3,3
Año de ocurrencia	2007	2002	2008	2001	2004	2005	2002	2004	2001	2001	2004	2002	2001
MINIMO VALOR MEDIO	2,6	2,4	2,7	2,0	2,1	1,9	0,9	1,2	1,4	2,0	2,1	2,3	2,6
Año de ocurrencia	2009	2003	2006	2008	2008	2007	2008	2009	2002	2004	2007	2003	2006

VIENTO (km/h)

VELOCIDAD MEDIA POR DIRECCIÓN Y FRECUENCIA DE DIRECCIONES EN ESCALA DE 1000

DIR		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
N	Frecuencia	22	26	8	19	36	67	68	61	48	20	15	13	34
	Velocidad Media	10,3	8,0	5,8	5,3	5,2	6,4	7,9	6,3	7,2	6,2	9,5	11,3	7,2
NE	Frecuencia	8	5	5	5	10	7	14	8	13	8	8	6	8
	Velocidad Media	5,1	3,9	5,1	3,7	7,8	5,3	4,6	11,9	5,6	7,1	6,9	5,9	6,2
E	Frecuencia	11	17	23	8	6	13	3	14	11	7	8	8	11
	Velocidad Media	6,1	4,9	5,0	4,8	5,6	5,9	3,7	5,4	8,4	4,3	7,4	5,8	5,7
SE	Frecuencia	108	114	91	75	60	85	68	75	92	103	106	111	90
	Velocidad Media	7,9	7,1	7,4	6,7	7,0	5,6	7,4	7,8	9,3	9,6	8,1	7,4	7,7
S	Frecuencia	605	572	569	472	446	418	445	480	489	568	636	616	525
	Velocidad Media	9,3	9,2	8,1	7,9	6,9	7,4	7,4	8,2	9,1	10,7	10,5	10,7	8,9
SW	Frecuencia	134	160	140	118	99	73	73	93	145	169	152	170	127
	Velocidad Media	10,1	9,0	7,3	7,7	7,1	6,9	6,7	10,2	9,4	9,9	10,7	10,5	9,0
W	Frecuencia	6	5	13	7	13	13	14	12	8	4	7	8	9
	Velocidad Media	8,9	7,0	4,9	4,0	4,5	5,3	4,6	8,3	12,2	6,8	7,4	8,5	6,5
NW	Frecuencia	7	7	6	14	20	31	33	39	15	4	8	5	16
	Velocidad Media	7,1	5,5	8,5	5,9	4,0	4,5	5,7	5,9	4,9	4,3	6,6	10,2	5,6
Calma	Frecuencia	99	94	146	282	310	294	282	219	180	117	58	64	180

Tabla 6.4 Registro meteorológico de intensidad, dirección del viento y nubosidad. Servicio meteorológico Nacional (Aeródromo Anguinán Dpto. Chilecito)

El sistema de Famatina en general, las bajas precipitaciones y su elevada evaporación e infiltración, configuran una situación endorreica a la cuenca Hídrica. La orografía proporciona mayores precipitaciones en las regiones más altas, y más allá de los 4600 metros generalmente las precipitaciones son en forma de nieve, en cualquier época del año. Si bien no hay registros de precipitación en alta montaña, de acuerdo a imágenes satelitales de la sierra, se destacan grandes nevadas hasta los años 2008/2009, posteriormente es notoria la disminución hasta el presente seguramente influenciado por el calentamiento global. Como factor condicionante de las bajas temperaturas, la vegetación se manifiesta en forma esteparia y hasta los 3000 metros de altitud.

Se destacan precipitaciones del tipo orográficas/convectivas, influenciadas por la Sierra de Famatina, siendo violentas en época estival que da lugar a grandes crecientes o avenidas en toda la región del Departamento Chilecito.

Según la clasificación de Köppen, el clima imperante en la Sierra de Famatina y su pie de monte oriental, se lo puede catalogar del tipo (B W K). Donde B indica una precipitación media anual inferior al límite de sequía (200 mm); W significa características hidrometeorológicas de desierto; K representa una temperatura media anual menor a 18 °C, pero superior a 18 °C en el mes más caluroso que es enero; como variante orográfico superior a 2000 metros el tipo es BSk “clima de estepas frescos en alta montaña”. Para Le Houérou (1999), quien propone una clasificación bioclimática para las zonas áridas y semiáridas de Argentina, la región califica dentro del régimen Tropical, donde el 70% de la precipitación anual ocurren en verano, con un estrés térmico invernal=“Invierno fresco”; se concluye con la calificación de “Clima Tropical Árido con inviernos frescos”.

6.1.4. Vegetación

La vegetación es xerófila, generalmente baja y espinosa típico de regiones semiáridas de bajos aluviales y parte inferior de ladera. Constituyen estratos o niveles de vegetación en función de la altitud del relieve, distinguiéndose varias zonas:

a) Zonas de relieve 2000 a 2500 metros

Vegetación de tipo andino, más bien baja y achaparrada debido al descenso de temperatura y acción del viento, son frecuentes las matas o estepas. En los faldeos montañosos son comunes las cactáceas, que en regiones de rocas aflorantes suele retardar los escurrimientos pluviales.

b) Zona inferior a los 2000 metros

Surgen las primeras jarillas de la especie *Larrea nitida* (jarilla crespá), cactáceas y bromeliáceas. En regiones menos escarpadas aparecen pastizales duros, que en épocas de lluvias se desarrollan también las herbáceas, caracterizados en algunos casos por abundancia de aromáticas (muña, yerba larca, incayuyo, poleo). Dicha vegetación fija el suelo y retarda la erosión pluvial.

c) Zona de partes altas de conos aluviales a los 900 a 1600 metros

Predominan las jarillas entre ellas la jarilla común o *Larrea divaricata*. Siguen presentes las cactáceas siendo numerosas al igual que el tomillo o *Lippia trífida*. Durante época de lluvias se desarrollan gramíneas. En las quebradas profundas se desarrolla el algarrobo, molle, etc. que utilizan la humedad del subálveo.

d) Zona central de conos aluviales

Predomina la jarilla asociadas al retamo o *Bulnesia retamo*, pichana o *Cassia aphyla*, además de leguminosas como brea o *Cercidium pracox*. Existen cactáceas de raíces profundas adaptadas a la porosidad del suelo.

En los cañadones se desarrolla el algarrobo o *Prosopis alba* y *Prosopis nigra* junto a otras freatófitas como el chañar o *Gourleaca spinosa*, atamisqui o *Atamisquea emarginata*.

e) Zona central del valle

Algarrobos asociados a las tuscas o *Acacia lutea*, también jarillas. En regiones salinas predomina jume o *Suaeda divaricata* asociado a la sampa o *Atriplex sampa* y pájaro bobo o *Tessania absithioides*.

6.1.5. Suelo

El suelo, es un recurso natural que se conforma a partir de la interacción de la litosfera, hidrosfera, biosfera y atmósfera. Representa la capa superficial de la corteza terrestre que se origina en la meteorización de las rocas y sedimentos preexistentes, y sobre la que se desarrolla gran parte de la vida animal y vegetal del planeta. Posee constituyentes minerales y orgánicos en estado sólido, líquido y gaseoso, conformando distintos niveles de organización con variaciones espaciales y temporales. Se presenta en la superficie terrestre como un manto continuo interrumpido por otras formaciones naturales. Los procesos que conforman su formación son roca madre, clima, relieve, componentes bióticos, tiempo y factor humano; es decir **S=f (Rm,C,Re,B,T,H)**. De

todos ellos se considera como más importante el **Clima**, por ejemplo a partir de diferentes materiales o cuerpos litológicos sometidos a un mismo clima, nos otorga suelos similares. Ahora, a igual litología sometida a climas diferentes, nos otorga suelos diferentes.

En la región de Chilecito y valles contiguos, prevalecen los suelos pedregosos o esqueléticos, materiales gruesos, correspondiendo la denominación genérica de entisoles. Estos suelos tienen coloración “castaña”, formados a partir de materiales que fueron acumulados por el agua, el viento o la fuerza de gravedad. Se trata de suelos pobremente consolidados, de escasa o nula materia orgánica localizados preferentemente en valles fluviales.

Hacia el este de la ciudad en el talweg del valle, los suelos se tornan arenosos medios a finos con la particularidad de tornarse salitroso, como lo atestigua la escasa vegetación presente (jume). Es importante señalar que en las márgenes de los cursos fluviales más importantes, el material fino por ellos depositados se utiliza para cultivos de los pobladores de la región.

Es importante destacar que el minifundio, revierte la aptitud de los suelos para dar lugar a importantes producciones. La escasa fertilidad de los suelos es compensada por el trabajo duro del hombre, el riego, uso de fertilizantes y agroquímicos, para hacerlos productivos.

6.1.6. Geomorfología

6.1.6.1. *Características morfométricas de la cuenca del Río Durazno*

Las características físicas de una cuenca constituyen un conjunto de elementos que influyen profundamente en el comportamiento hidrológico de dicha zona, tanto a nivel de la exacerbación de los procesos como las respuestas de la cuenca tomada como un sistema. Así pues, el estudio sistemático de los parámetros físicos de las cuencas es de gran utilidad práctica en la ingeniería de la Hidrología, pues con base en ellos se puede lograr una transferencia de información de un sitio a otro, donde exista poca información: bien sea que fallen datos, bien que haya carencia total de información de

registros hidrológicos, si existe cierta semejanza geomorfológica y climática de las zonas en cuestión (Tomado de Niz A. 2018, Geomorfología de Cuencas. Capítulo 4).

Se define una cuenca hidrográfica como un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación se integra en un sistema de drenaje que genera un curso principal de agua, el cual converge a un punto de salida denominado desembocadura; también se define como la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Los límites de la cuenca se establecen por las líneas de cumbres o “divisoras de aguas”, las que se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra ese sistema de drenaje o río, o pertenecen a patrones típicos de drenaje los cuales pueden ocurrir a escalas variables (Howard 1967) (Figura 6.5).

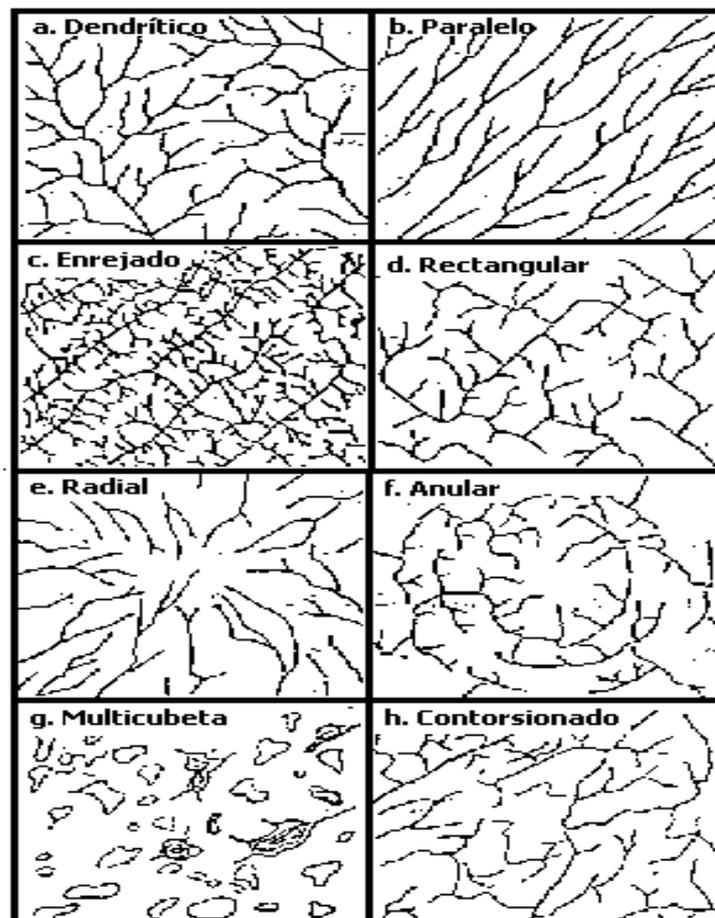


Figura 6.5 Patrones de drenaje típicos pudiendo ocurrir a escalas variables (Howard 1967)

La cuenca también puede ser definida como “un sistema natural, en el cual los flujos hídricos originados por la gravedad, son los flujos de energía responsables de la movilización de la materia y de las modificaciones topográficas y ecológicas correspondientes” (Tomado de Niz A. 2018).

Cabe destacar que el término cuenca hidrográfica se refiere a la dinámica hídrica superficial en tanto que si se incorpora el análisis del agua subterránea, se refiere a cuenca hidrológica.

Cuenca alta: Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas. El agua precipitada adquiere mayor energía y, por ende, mayor capacidad de erosión.

Cuenca media: Donde se unen los cauces que discurren desde las cumbres, por lo general el río principal mantiene un cauce definido. Los procesos de erosión tienen menos energía

Cuenca baja o zonas transicionales: Donde el río desemboca al piedemonte, el cauce principal en general se divide formando cauces denominados distributarios.

En la Figura 6.6 se pueden diferenciar la parte alta, media y baja de la cuenca del Río Durazno.



Figura 6.6 Partes de la cuenca hidrográfica del Río Durazno

Un modelo digital de elevación MDE (o Digital Elevation Model DEM) es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

El modelo digital de elevación de la cuenca, evidencia que el sector correspondiente a la parte alta de la cuenca, está por encima de los 3200 metros sobre el nivel del mar, la parte media entre el límite anterior y los 2000 a 1700 metros sobre el nivel del mar y la parte inferior hasta aproximadamente los 1000 metros sobre el nivel del mar. Las celdas con una acumulación de flujo alta son áreas de flujo concentrado y pueden ser útiles para identificar canales de arroyos, en la cuenca están representados por los ríos El Oro, El Cajón y Aguas Negras. Esta posibilidad se aborda en Identificar redes de transmisión. Las celdas con una acumulación de flujo de 0 son alturas topográficas locales y se pueden utilizar para identificar crestas o límites de cuencas.

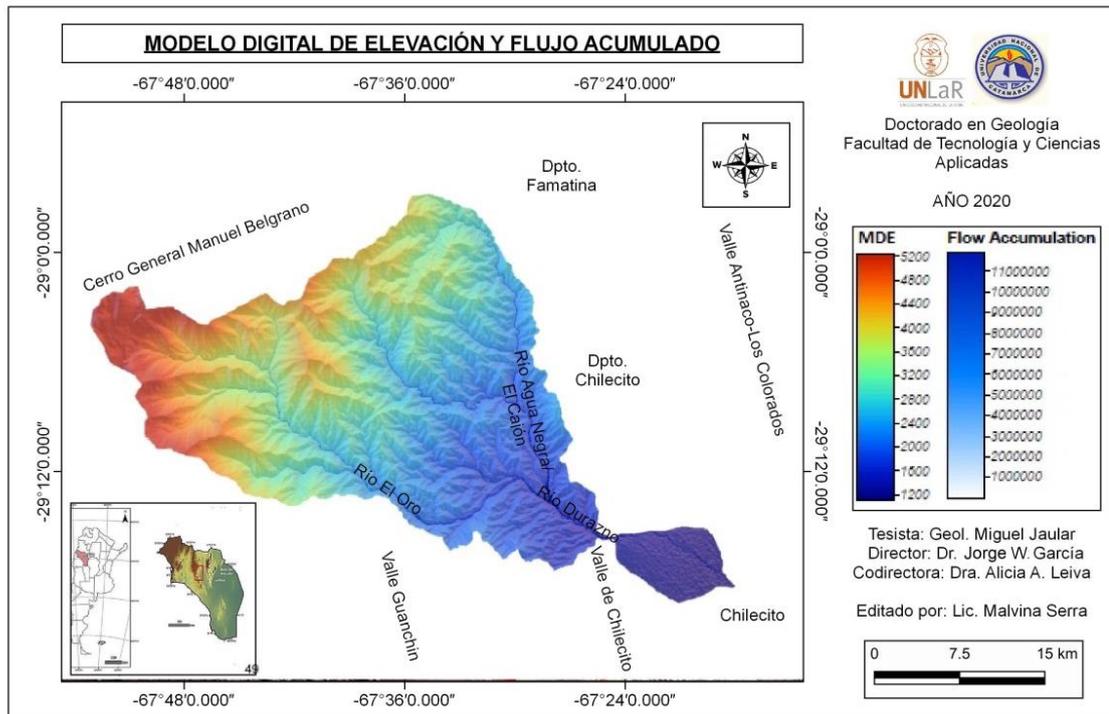


Figura 6.7 Digital Model of Elevation (DEM) de la cuenca imbrífera del río Durazno en base al cual se calculan los parámetros generales de la cuenca

Parámetros generales de la cuenca del Río Durazno

Área de la cuenca (A):

El área de la cuenca es probablemente la característica geomorfológica más importante para el diseño. Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. El área sirve de base para la determinación de otros elementos; por lo general los caudales crecen a medida que aumenta el área de la cuenca (Figura 6.7); el incremento del área de la cuenca actúa como un factor de compensación, de modo que es más común detectar crecientes instantáneas y de respuesta inmediata, en cuencas pequeñas que en las grandes. Estadísticamente se ha demostrado que el factor "área" es el más importante en las relaciones entre escorrentía y las características de una cuenca. El área de la cuenca del Río Durazno es 300 km^2 . Este valor corresponde a una cuenca intermedia-pequeña según la clasificación de Campos A. (1992).

La longitud “L” de la cuenca, está definida como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba, donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca. La longitud de la cuenca es 28.8 km.

El perímetro es 78.6 km. La cota más alta 5688 ms.n.m. y la cota más baja desembocadura o apertura de la cuenca: 1512 ms.n.m.

El ancho se define como, la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L), y se designa por la letra W. De forma que:

$$W = \frac{A}{L}$$

Donde A= 300 km²; L= 28,8 km **W= 10,41 km**; luego el Índice de alargamiento de Horton $I_A = L/W = 28.8/10,41 = 2,76$ “Moderadamente alargada”

El Desnivel altitudinal (DA) es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja (DA= Hmax-Hmin).

$$H_{\max} = 5.688 \text{ m}; H_{\min} = 1.512 \text{ m} \text{ luego } \mathbf{DA = 4.176 \text{ m}}$$

Forma de la cuenca

La forma de una cuenca es determinante al momento de evaluar su comportamiento hidrológico, ya que, aun cuando presenten la misma área, según su forma será la respuesta hidrológica, y por lo tanto los hidrogramas serán diferentes ante una lámina de precipitación de igual intensidad, por eso es que algunos parámetros tratan de cuantificar las características morfológicas por medio de índices o coeficientes.

Los principales parámetros de forma son: Índice de Gravelius (coeficiente de compacidad) y coeficiente de Horton.

Índice de Compacidad o de GRAVELIUS (K_c): Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de

la cuenca. Este parámetro describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.

Este valor, independiente del área estudiada, tiene por definición un valor de 1(unos) para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de K_c nunca serán inferiores a 1. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea K_c , mayor será la concentración de agua. Este coeficiente define la **forma de la cuenca**, respecto a la similitud con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación (FAO, 1985).

Tabla de especificación de Forma de la Cuenca. Rango de K_c

Rango de K_c	Clasificación
1- 1,25	Redonda a oval – redonda
1,25-1,5	oval-redonda a oval – oblonga
1,5-1,75	oval - oblonga a Rectangular - oblonga
> 1,75	Rectangular

Tabla 6.5 Clasificación de formas de cuenca en función de K_c

Para su cálculo se toma, por convención, la relación del área equivalente a la ocupada por un círculo (Figura 6.8), aun cuando en general las cuencas muestran una forma elongada o de pera, porque indica respecto de la capacidad de captación fluvial de la misma.

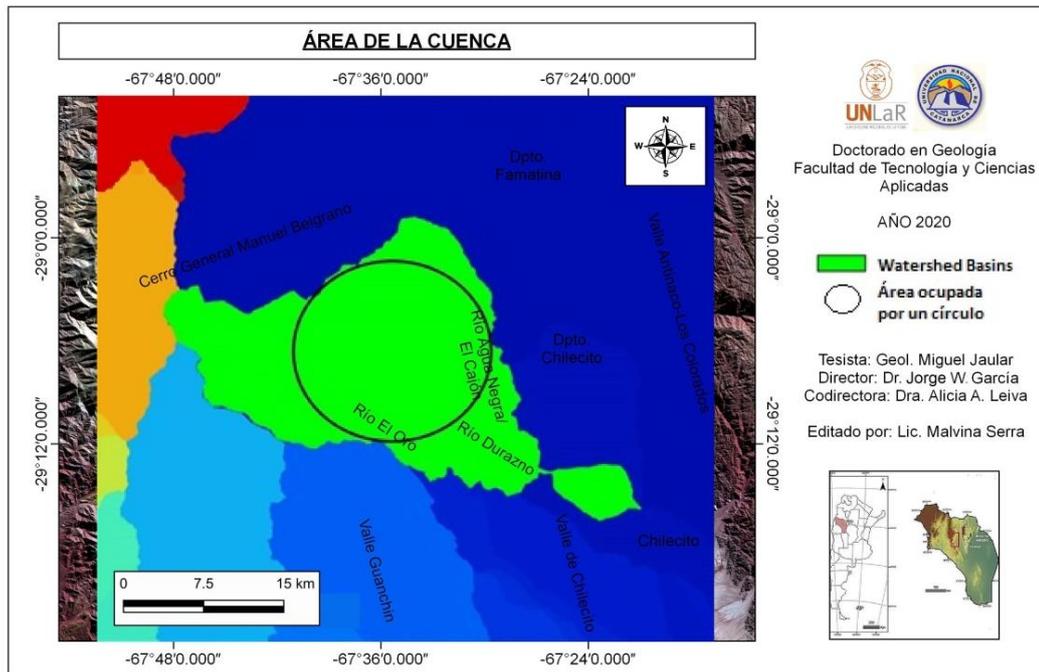


Figura 6.8 Detalle de la cuenca para cálculo de K_c

Su fórmula de cálculo es:

$$K_c = P/P_c = P/2\pi R$$

P =Perímetro de la cuenca; P_c =Perímetro de la circunferencia; R =Radio de la circunferencia.

$$K_c = 1,25$$

Vinculando este valor de K_c con la Figura (Detalle de la cuenca para cálculo de K_c) y la Tabla (Clasificación de formas de cuenca en función de K_c), **la forma de la cuenca es oval-redonda a oval-oblonga. Con una importante capacidad de captación del agua de precipitaciones.**

Factor de forma adimensional de HORTON

Horton ha sugerido un factor adimensional de forma designado como “Rf” que puede deducirse a partir de la ecuación siguiente:

$$Rf = \frac{A}{Lb^2}$$

Dónde: A es el área de la cuenca y Lb es la longitud de la cuenca, medida desde la salida hasta el límite, cerca de la cabecera del cauce principal, a lo largo de una línea recta. Este índice de Horton ha sido usado frecuentemente como indicador de la forma del Hidrograma Unitario Figura 6.7., en función del siguiente rango:

Rango de valores	Forma de la cuenca
<0,22	Muy alargada
0,22-0,30	Alargada
0,30-0,37	Ligeramente alargada
0,37-0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45-0,60	Ligeramente ensanchada
0,60-0,80	Ensanchada
0,80-1,12	Muy ensanchada
>1,20	Rodeando el desagüe

La longitud L de la cuenca viene definida por la longitud de su cauce principal. Como se observa en la figura 6.9, la distancia más larga es de 28,8 km, que sería la longitud del cauce principal de la cuenca (Lb).

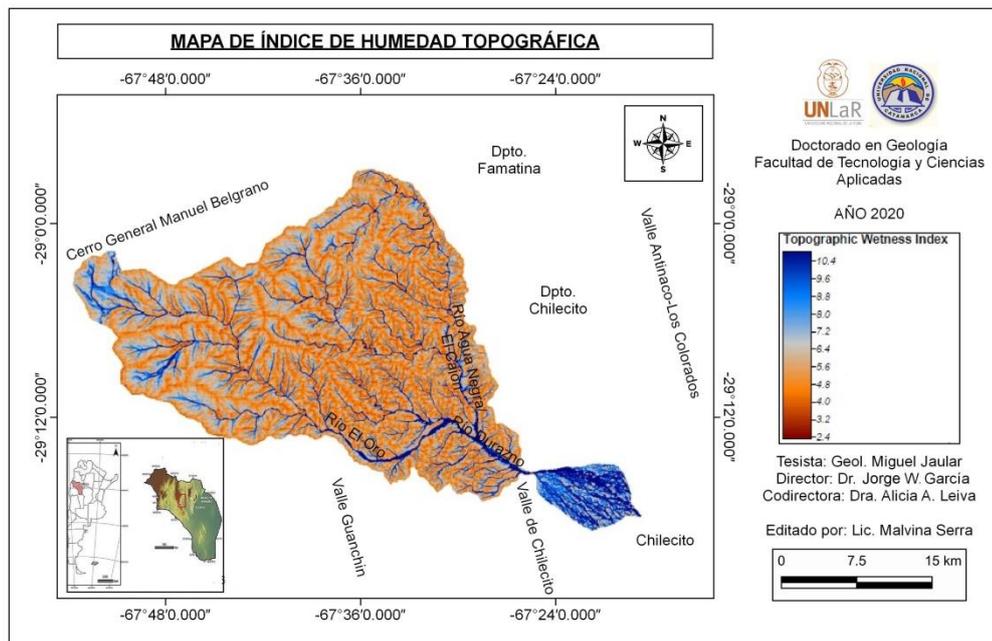


Figura 6.9 Muestra los canales de concentración del fluido y la longitud del cauce principal de la cuenca

Por tanto los datos obtenidos son: $A = 300 \text{ km}^2$; $Lb^2 = 28,8 \text{ km}$

$$Rf = \frac{300}{28,8^2}$$

$$Rf = 0,36$$

Este valor de Rf , especifica una forma de la cuenca como “**Ligeramente alargada**” elongada en dirección noroeste-sudeste.

Del análisis de la Figura 6.9, respecto a las características fisiográficas de la red de drenaje, se observa que domina un **diseño de drenaje subrectangular a angular** con lo cual se establece que hay un marcado control estructural del sistema de drenaje, a la vez que el fracturamiento presente indica una mayor probabilidad de infiltración del

fluido, con la consecuente preservación del recurso para periodos de sequía y aporte a las capas subsuperficiales.

En el piedemonte se produce una densa y uniforme disposición de los distributarios con lo cual se infiere que se trata de una geoforma antropizada con evidencia de glaciplanación superficial del antiguo cono aluvial.

Pendientes dominantes en la cuenca

Las pendientes dominantes en la cuenca se pueden observar en la Figura 6.10, la cual se obtiene a través del DEM raster de la cuenca imbrífera del río Durazno, mostrando la orientación dominante de las pendientes más elevadas, que en la zona se presenta en las laderas que inclinan hacia el sur-sudoeste y en menor proporción al este-sudeste. Lo precedente condiciona el escurrimiento del agua de lugares topográficamente más elevados, hacia los cursos fluviales dominantes de la cuenca.

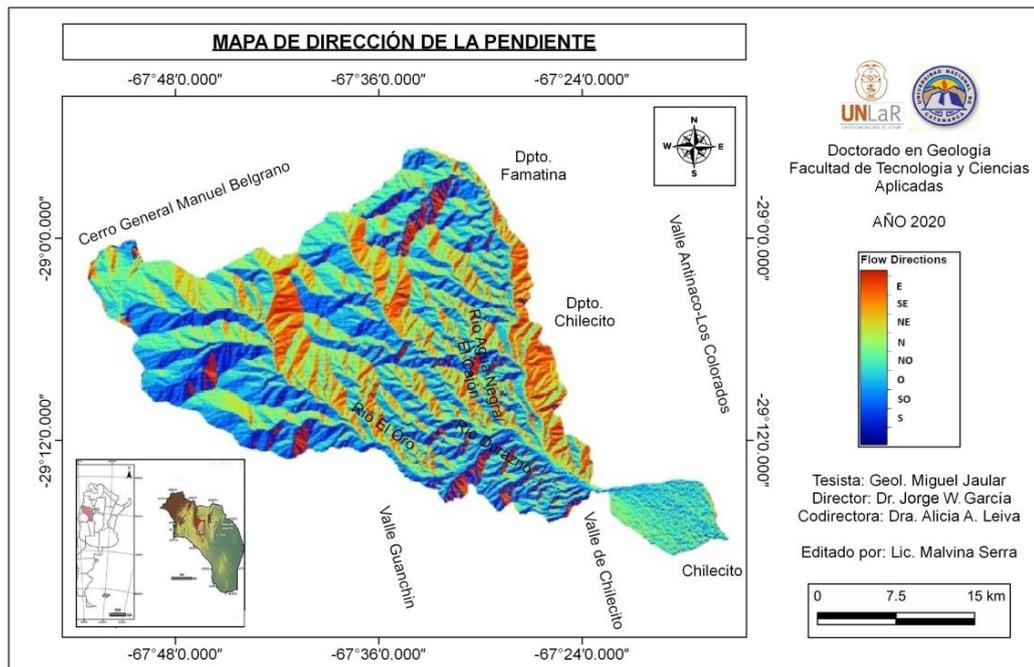


Figura 6.10 Mapa mostrando orientación de las pendientes

Esta predisposición, es un factor que influye en la cantidad de vegetación además de la altitud y, por ende, en la estabilidad de las laderas, dado que es la ladera de secano el sol se desplaza en sentido este a oeste, incidiendo en ella e impidiendo de cierta manera que el suelo en esas laderas conserve la humedad. Condición fundamental para el crecimiento de vegetación y el análisis vinculado a este trabajo de investigación se centra en que los suelos desnudos por encima de los 3000 ms.n.m. fundamentalmente, favorecen la circulación del agua de precipitación por un lado, pero al mismo tiempo, puede potenciar los movimientos gravitacionales y/o deslizamientos de laderas por la disponibilidad de sedimentos desagregados generando endicamientos momentáneos al ocurrir una precipitación torrencial estacional. Se comprueba deslizamiento y caída de bloques **dañando y obstruyendo** la conducción como se atestigua en la región de la toma de Vallecito.

Estas contingencias, influyen en el comportamiento y disponibilidad del recurso hídrico superficial en el piedemonte; también debe ser considerado en la ubicación y mantenimiento de obras civiles (azud, generación de áreas de esparcimiento, urbanización en piedemonte, por ejemplo).

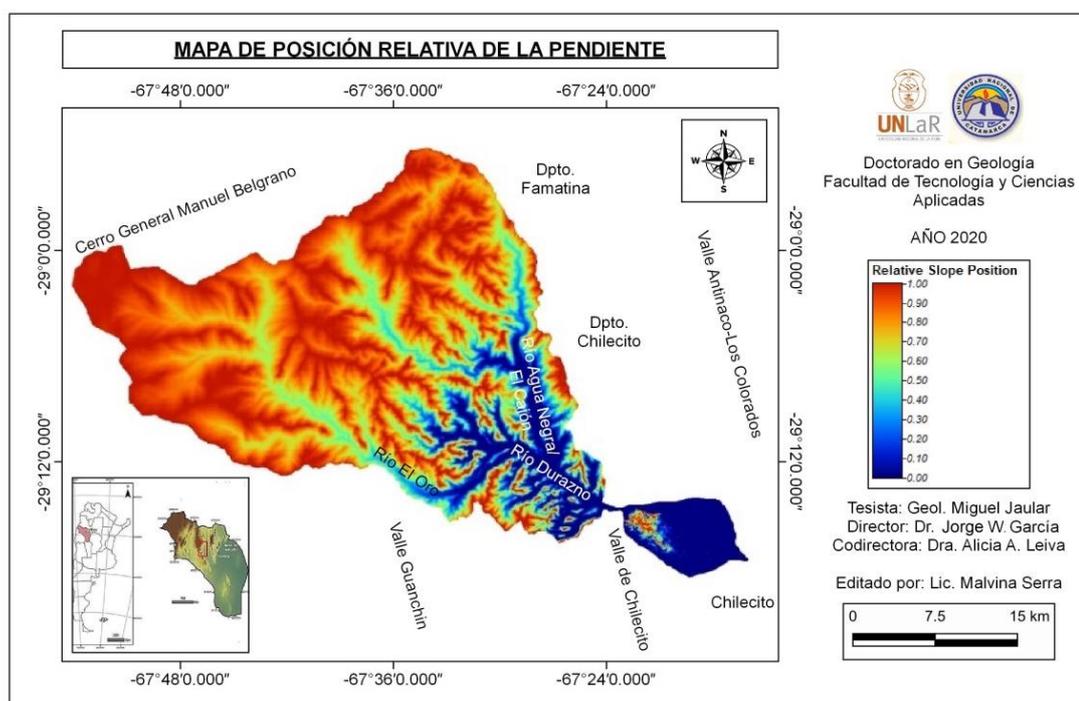


Figura 6.11 Mapa de posición relativa de la pendiente

La figura 6.11, especifica la posición relativa en relación a la pendiente que tiene la ladera, indica que las zonas de color rojo valores cercanos a 1 son zonas con pendientes más elevadas, y con azul las de menor pendiente, con lo que se concluye que, en la zona cumbral, el escurrimiento es más acelerado y la erosión es mayor; en tanto que, en el área de cuenca media-baja, disminuye la energía del cauce y predomina la depositación temporal (es decir, en cada evento de lluvia ese material es retransportado). En función de lo analizado en el ítem “parámetros de la cuenca” en la que la forma de la cuenca se define como **oval-redonda a oval – oblonga**, implica una importante capacidad de captación de la cuenca a la actividad pluvial con importante velocidad de desagüe por el relieve encumbrado del oeste.

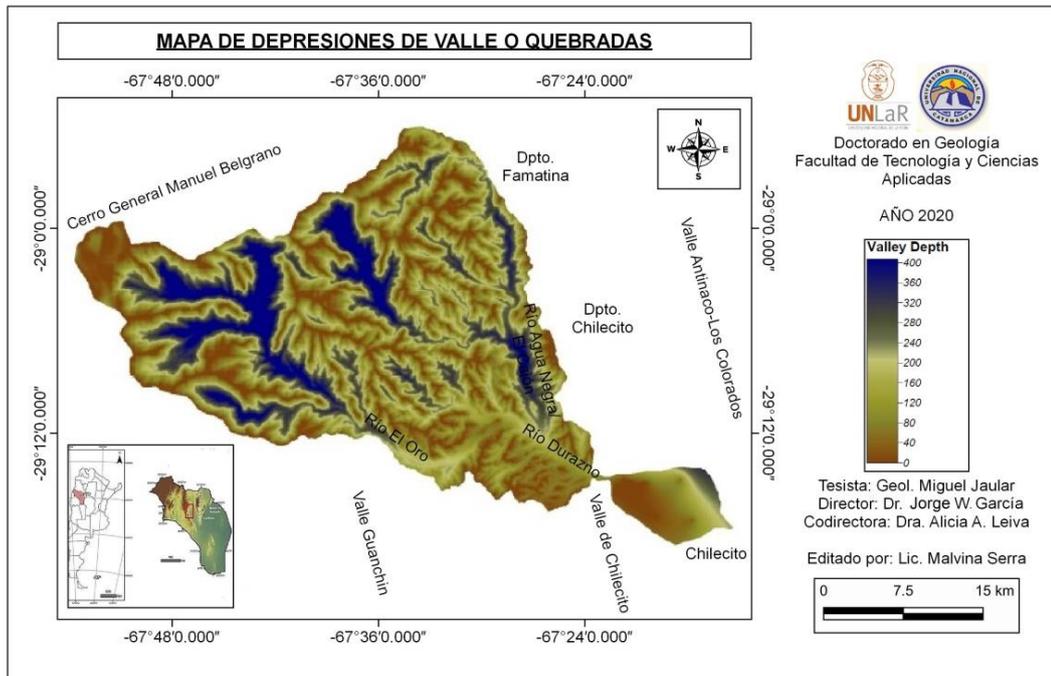


Figura 6.12 Mapa de depresiones o quebradas

La figura 6.12, evidencia la depresión/profundidad de las quebradas. Se verifica que en la región de la cuenca alta es mayor la energía del cauce, favoreciendo la erosión profunda o vertical. En la región sudeste de la cuenta se atenúa este fenómeno erosivo. Las quebradas profundas se encuentran parcialmente cubiertas de bloques y detritos sueltos.

6.1.6.2. Geomorfología regional y local

Existen tres ambientes geomorfológicos bien diferenciados, el de **producción** (erosión), el de **transferencia** (transporte fundamentalmente y depositación) y el de **sedimentación**. Se encuentran parcialmente antropizados para aprovechar los recursos naturales, dar lugar a asentamientos poblacionales, recreación, y fomentación del espacio agrario.

1- Región de Producción

Se analizan, dentro de la región de producción el sector correspondiente a la parte alta de la cuenca, los siguientes tramos:

Tramo **Azud Agua Negra/Azud El Cajón-“Chiquerito”** (Figura 6.13). La región posee diseño de drenaje subrectangular a angular con lo cual se establece que hay un marcado control estructural. En los primeros 1.300 metros de escurrimiento fluvial el control lo realiza una falla con dirección noroeste-sudeste; los 2.800 metros siguientes el flujo de agua tiene una dirección norte-sur primero y luego noroeste-sudeste cuyo control se efectúa por el este por las numerosas quebradas y relieve positivo. Los últimos 1.800 metros el fluido lo hace en línea recta hasta su unión con el río Amarillo.

El trayecto fluvial considerado determina un cauce consecuente con una pendiente media de 5,5% de una longitud de 5,90 km. Tiene una llanura de inundación encajonada, bien definida, se modifica ligeramente en época estival en las eventuales avenidas. La baja sinuosidad la califica como torrente recto ($S=1,07$) con índice de entrelazamiento (braiding) moderado a bajo de $BP=2$ (Rust, 1978).

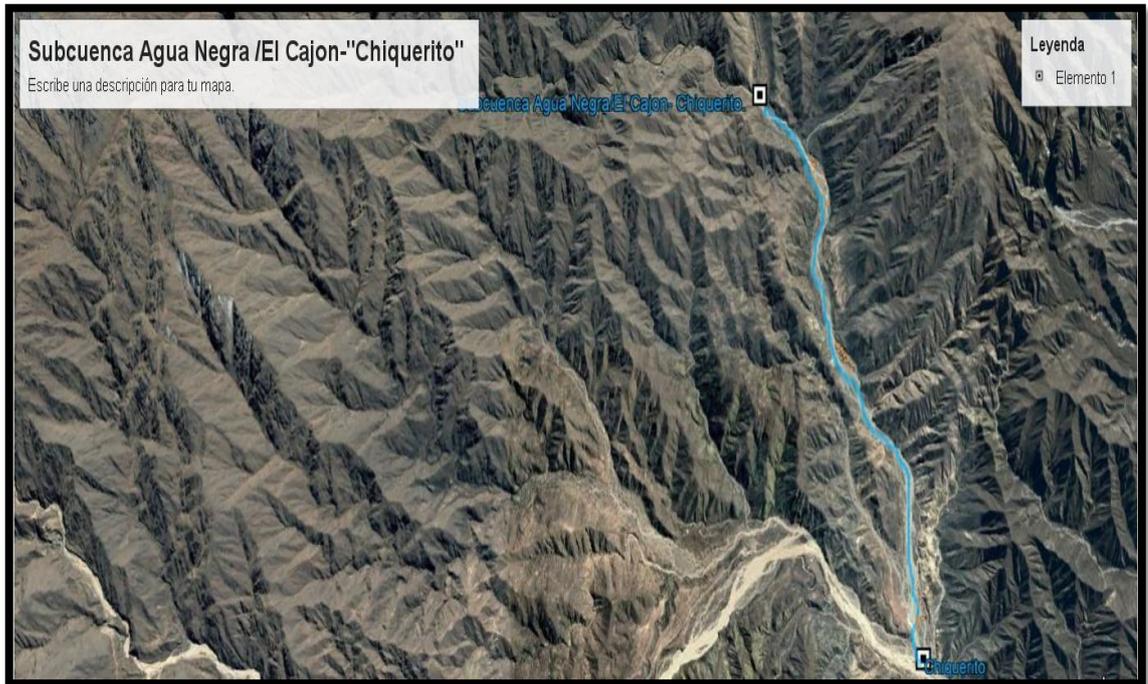


Figura 6.13 Azud Agua Negra/El Cajón-"Chiquerito" ("mesada del Chileno". Conducción dual (superficial y canalizada)

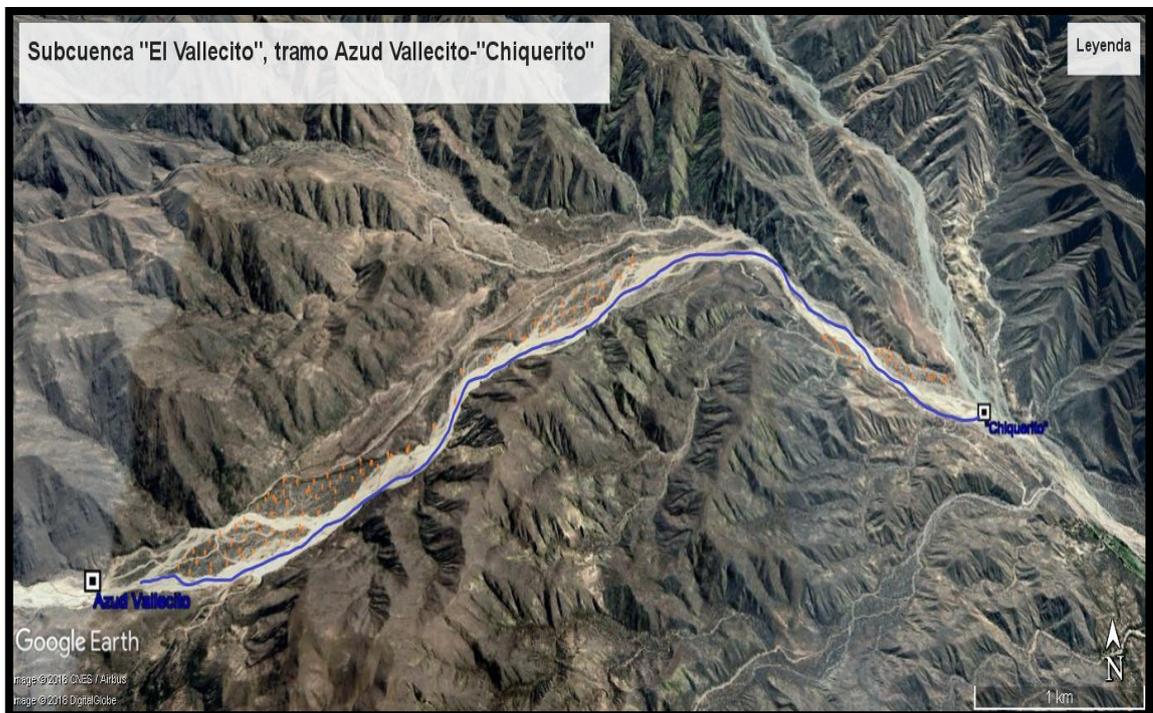


Figura 6.14 Azud Vallecito-"Chiquerito" ("mesada del Chileno". Conducción dual (superficial y canalizada)

Tramo **Azud Vallecito-“Chiquerito”** (Figura 6.14). Con idéntico diseño al anterior pero topográficamente más elevado. El río Amarillo también denominado “El Oro” en la mayor parte de su trayecto su dirección es SO-NE y luego se redirecciona hacia el SE. Este cambio de dirección, responde al control tectónico estructural, que favorece el ascenso del agua del subálveo dando lugar a la captación de las vertientes “El Burro” (Figura 6.15 a-b). Desde estas cámaras de captación hacia el sudeste, 308 metros, sobre margen derecha del río Amarillo se localiza la Escuela rural N°291 Sixto A. Brizuela (“Las Higuieritas” 29°06’8,5”S; 67°36’19,8”O). Dicha Institución Educativa (Figura 6.15 d), actualmente es provista de agua potable en forma intermitente por un puestero localizado 2000 metros aguas arriba, por un conducto (manguera) inapropiado. En función de la cercanía a la Institución, el excedente de agua y la necesidad de contar con el recurso (Figura 6.15 c); se procede al relevamiento topográfico, para verificar la factibilidad de otorgar a futuro el recurso a la escuela rural. Se verifica **un desnivel desde las Cámaras “El Burro” hasta la Escuela de 8,37 metros.**

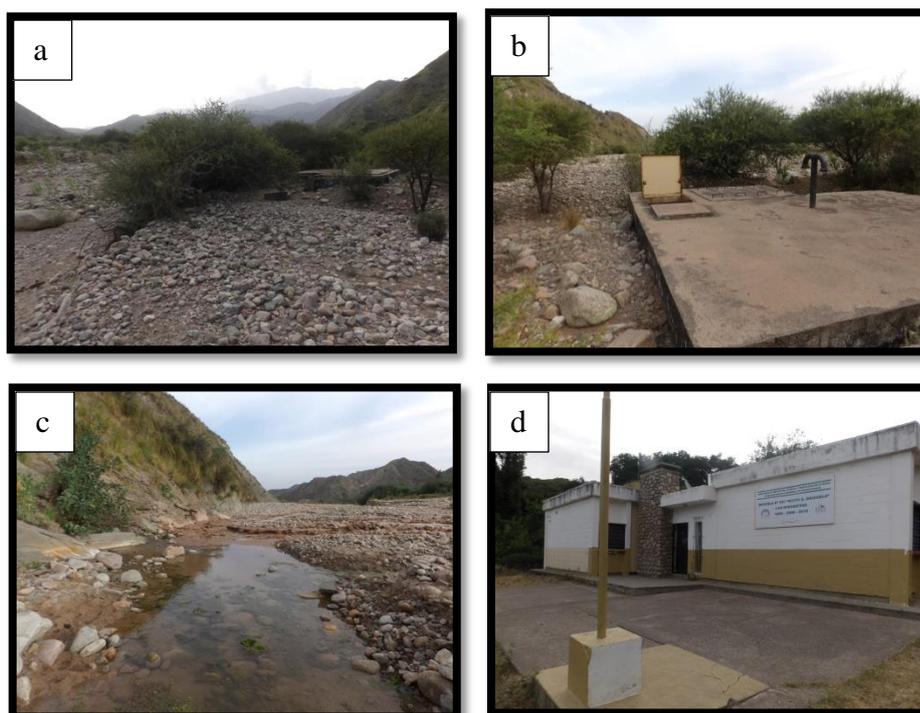


Figura 6.15 a-b. Sistema de Captación “El Burro”. c-Agua de vertiente excedente a escasos metros aguas debajo de cámaras de captación, en margen izquierda del río Amarillo. D-Escuela rural N° 291 Sixto A. Brizuela.

La longitud del tramo Azud Vallecito- “Chiquerito” es de 6,5 km con pendiente promedio de 5,2%. El cauce se considera recto con sinuosidad ($S=1,1$), y durante eventuales avenidas estivales se producen algunos depósitos modificando ligeramente la amplia llanura de Inundación, con formación de algunos nuevos canales. El índice de entrelazamiento (braiding) es moderado ($BP=3$) (Rust, 1978).

En el Azud o Toma Vallecito, es importante destacar el fenómeno físico-geomorfológico de remoción en masa (Rockfall), que provoca la caída repentina de bloques obstruyendo parcialmente la conducción y obras de la toma (Figura 6.16 a-b). Se intenta valorar el desplazamiento en masa a través del tiempo, colocando en el talud guía metálica de 40 metros de longitud de acero inoxidable perpendicular a la pendiente del talud (Figura 6.16 c-d). Lamentablemente a los 8 meses de la instalación, se verifica deterioro en la guía por cortes y desaparición de 4 metros de la misma, quizás debido a la acción de animales de la región o transeúntes desaprensivos. No se pudo corroborar desplazamiento alguno lo observado en imágenes satelitales.

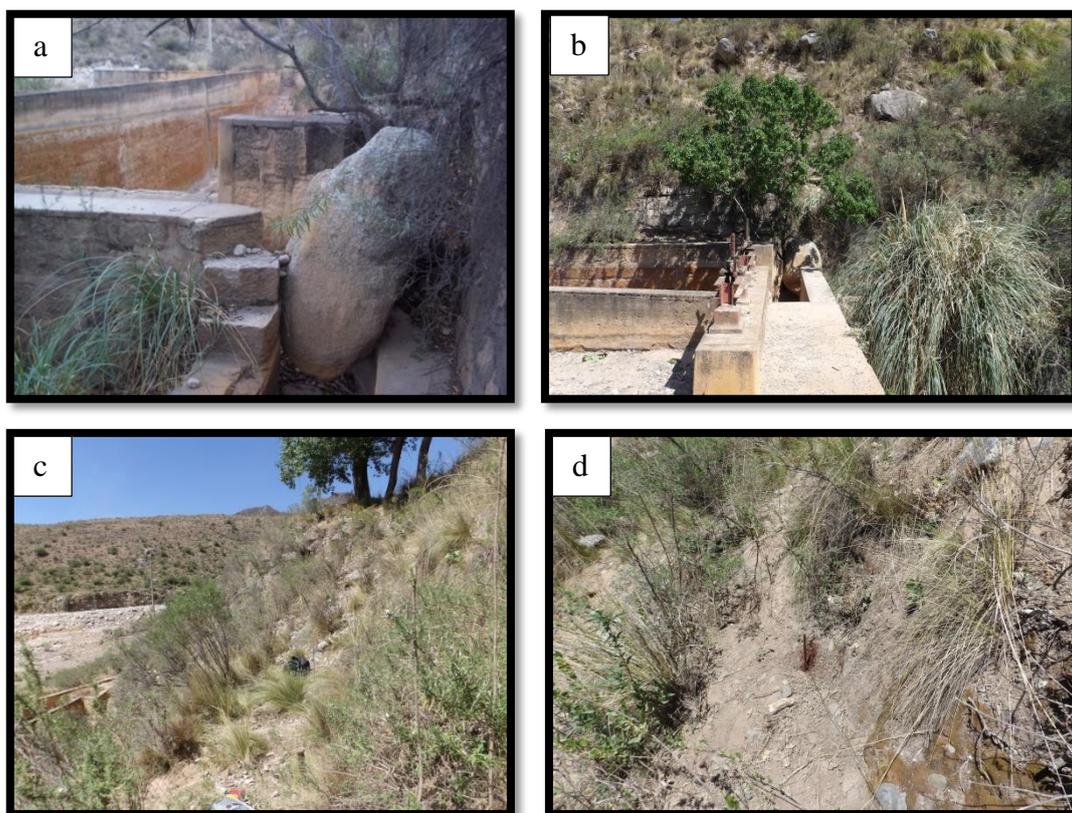


Figura 6.16 Toma Azud El Vallecito. a-b-Obstrucción de la conducción por caída de bloque (Rockfall). c-Materiales y selección de lugar para colocación de guía. d- Ubicación de tramo de guía. Se observa humedad natural del cuerpo.

2- Región de Transferencia

En esta región, corresponde a la parte media a baja de la cuenca, se analiza el tramo **“Chiquerito”- Azud Santa Florentina**.

A partir de aquí, el curso fluvial recibe la denominación de **Río Durazno** (Figura 6.17), tramo fundamental. Hidrológicamente relevante, tanto superficial como subterráneo dando lugar a numerosas vertientes. La longitud del tramo considerado es de 4,16 km con pendiente promedio entre 3,5% a 4%. El cauce se considera recto con sinuosidad ($S=1,09$), y durante eventuales avenidas estivales se producen varios depósitos de materiales determinando 2 o 3 canales. Durante casi todo el año las barras de depósitos se cubren de vegetación. La llanura de inundación es más amplia, haciéndose la erosión más bien lateral, tendiendo a ampliar dicha llanura. El índice de entrelazamiento (braiding) $BP=3,5$ (moderadamente “braided”) (Rust 1978).

Se observa una intensa meteorización de los materiales, y el relieve positivo adquieren las características de lomadas redondeadas, donde la vegetación es más tupida y de mayor tamaño con respecto a altitudes mayores.



Figura 6.17 Zona de transferencia. Convergencia hidrológica. Río Durazno

A escasos 90 metros de la convergencia de los ríos Amarillo con Aguas Negras/ El Cajón, ya sobre el río Durazno ($29^{\circ}06'39,67''S$; $67^{\circ}35'23''O$), se localiza la captación de vertiente con destino al agua potable “El Burro” (Tofo) obra realizada por OSN. (Figura 6.18)

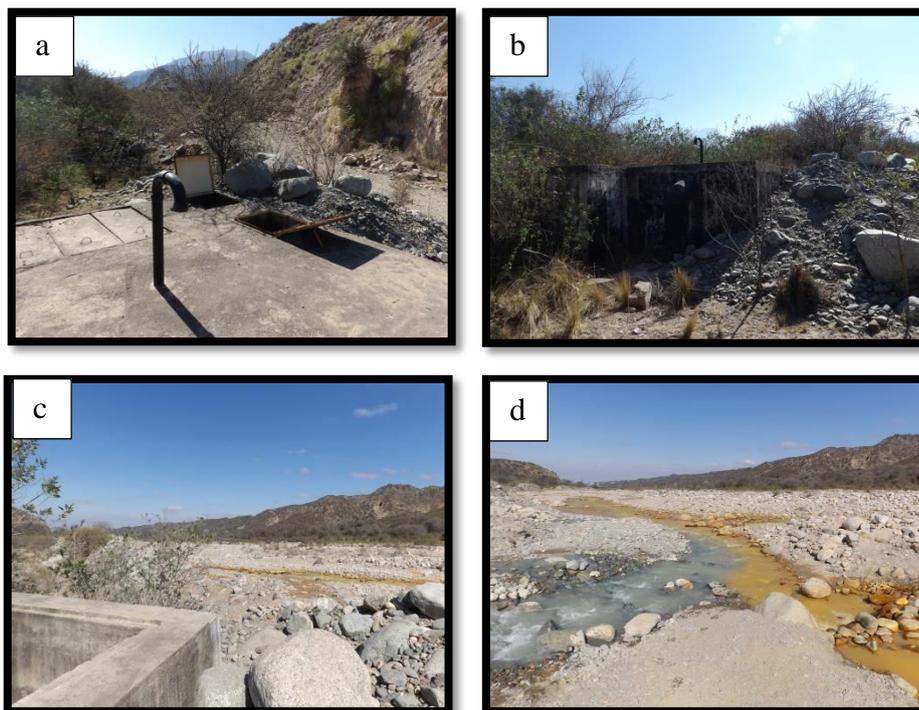


Figura 6.18 Sistema de captación “El Burro” (Tofo). a-Cisterna con aberturas deterioradas y desprovistas de candado. b- Salida del sistema de conducción c-Imagen desde el sistema de captación, hacia el sudeste. d- Unión de ríos Agua Negra/El Cajón con río Amarillo, a 90 metros del sistema de captación

Dicha captación, tiene un caudal más o menos constante de 30 l/s, y proviene prácticamente con exclusividad de la subcuenca o microcuenca que denomino “Sudamérica”, y región de influencia del subálveo del lecho Agua Negra/El Cajón.

La concordancia hidrogeológica en esta región, promueve para el futuro estudios geofísicos exhaustivos para determinar la posibilidad de nuevas obras de captación, como la sugerida (FCC) (Figura 6.19) cercana a la ya existente.

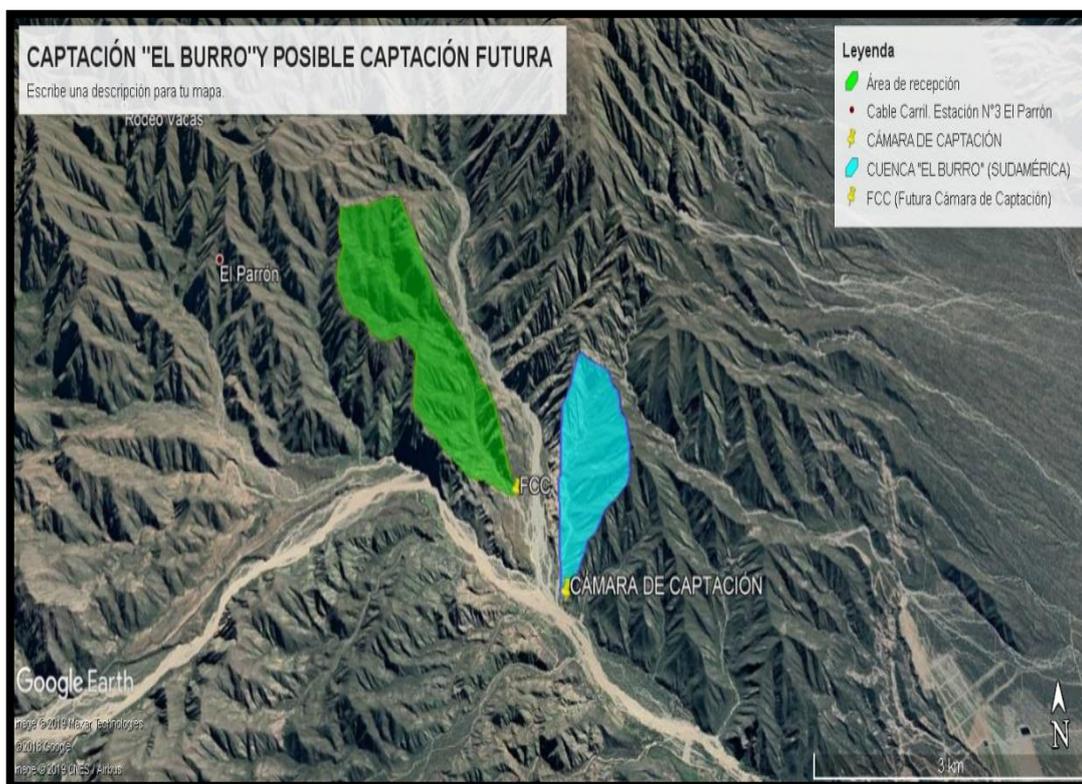


Figura 6.19 Captación “El Burro”-Tofo (Celeste). Posibilidad de futura Captación FCC (Verde)

De acuerdo a estudios geofísicos en cercanías del azud Santa Florentina, el nivel del agua está cercano a la superficie, estimando la misma a una profundidad entre 2 a 7 metros (Tálamo E. 2004). Esta alternativa, permitiría a futuro la instalación de una pantalla impermeable para captar agua del subsuelo y llevarla a superficie, aprovechando las instalaciones contiguas tanto de Aguas Riojanas como la del servicio de Riego.

También sobre el lecho del río Amarillo, se observan vertientes cercanas a la Escuela rural “Las Higueritas” (Figura 6.20 a-b-29°06′08,4”S; 67°36′19,7”O), dónde operan tres cámaras de captación llamadas “El Burro”, representando casi el 50% en volumen del aporte de las vertientes al sistema. Ésta región en su margen izquierda, está representado por un alto topográfico conformado por pizarras y filitas que sirven de pantalla elevando el nivel del agua del subsuelo, atestiguado por numerosas vertientes. Es pertinente pensar que la instalación de una futura pantalla impermeable en el lecho del río, pueda incrementar significativamente el volumen existente. Además se debe considerar urgente, la provisión de agua potable a la escuela rural mencionada, que sufre la falta del recurso.

Al inicio del río Durazno, en su margen derecha alta (Figura 6.20 c-29°06'42,60"S; 67°35'40"O) se observa humedad en el camino y alumbramiento sobre la senda o camino principal, de igual manera frente al Camping "Ochova" (Figura 6.20 d-29°07'44"S; 67°33'53"O), y la localizada al pie de la Cuesta Santa Florentina (Figura 6.20 e-f-29°07'45"S; 67°33'37,7"O) a 319 metros aguas arriba de la toma del azud homónimo. Todas ellas, están atestiguando volúmenes cercanos a la superficie susceptibles a estudios geofísicos complementarios para optimizar el recurso.

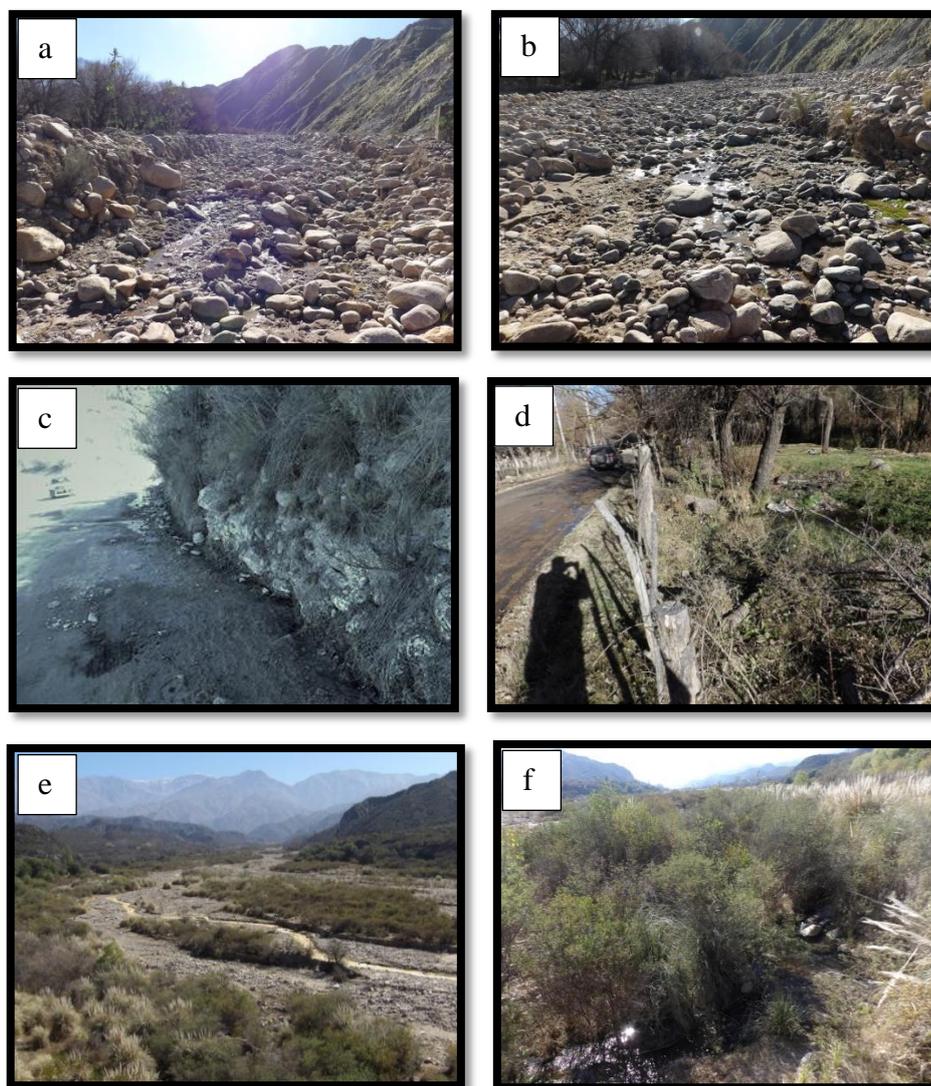


Figura 6.20 Vertientes localizadas. a y b sobre el Río Amarillo en cercanías de Escuela rural Las higueritas. c-d- sobre camino, en intersección de sendas que va a Vallecito y Agua Negra. e-f- Río Durazno en su tramo medio, en la parte inferior de la imagen se localiza alumbramiento de agua, donde se adiciona la que llega del sector del camping de familia González.

Hay que destacar que a modo de protección del camino, propiedades y fincas se construyeron gaviones en la margen derecha del río Durazno que de alguna manera pueden incidir en la erosión/sedimentación de las grandes avenidas estivales. Es decir, se establece el nivel de base local e incluso favorece al fenómeno de avulsión.

En el río Durazno conforme el curso de agua se hace más estable y rectilíneo, se acentúan las barras de gravas y bloques de la llanura de inundación siendo colonizadas por vegetación, hasta la próxima inundación de dicha llanura. Actualmente el Azud o toma Santa Florentina, está deteriorado por lo que el agua se redirecciona hacia la margen derecha del río para su captación (Figura 6.21).

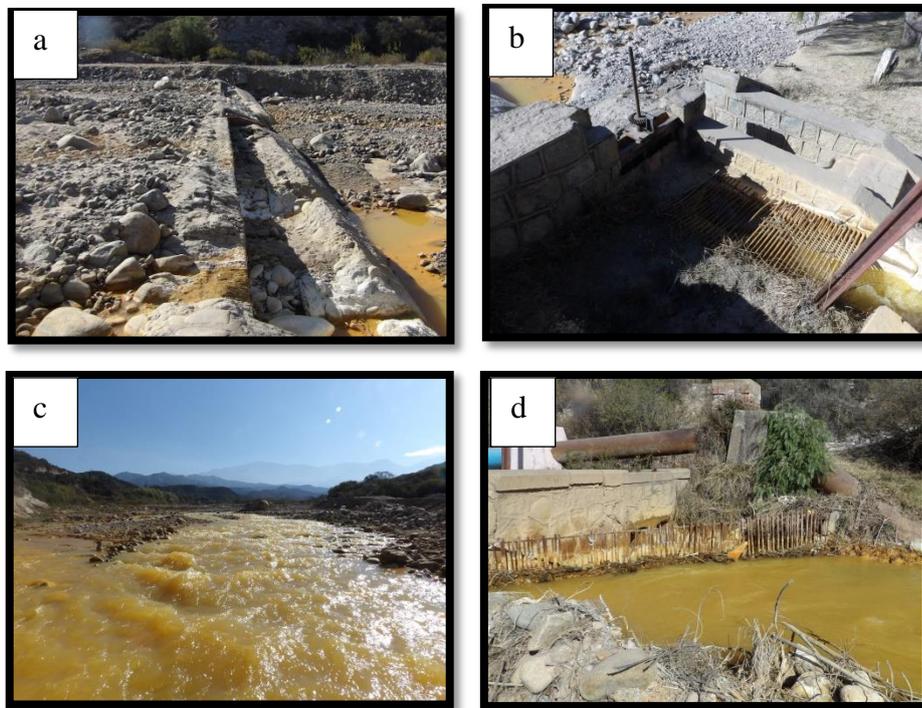


Figura 6.21 a-b- Azud Santa Florentina deteriorado (fines año 2018). c-d- Río Durazno a metros del ingreso a azud y conducción redireccionada por margen derecha respectivamente.

La escasez del recurso hídrico preocupa notoriamente a todos los estamentos implicados. Por ello, los productores minifundistas (Consortio de Agua Chilecito) y el ente o autoridad de Aplicación (IPALaR), consensuan el procedimiento de “juntar las aguas” que para lograr más caudal, consiste en recopilar el fluido para obtener la menor superficie expuesta, para evitar al mínimo la infiltración y evaporación logrando mayor

volumen. Para tal fin, se utilizan maquinarias en los meses de marzo/abril dónde la región ya no está expuesta a las grandes precipitaciones y avenidas.

3- Región de Sedimentación: Tramo Santa Florentina- Chilecito

La región de sedimentación pertenece a la parte final o baja del sistema.

El tramo **Santa Florentina – Chilecito**, corresponde al gran abanico aluvial, donde en el sector medio y distal se asienta la ciudad de Chilecito (Figura 6.22). En otro apartado, ya se especificaron los problemas potenciales de los asentamientos poblacionales hacia el oeste de la ciudad respecto al peligro de inundación, y la falta coordinación con respecto a la certificación previa de inundabilidad, antes de la construcción de nuevos barrios.

Se trata de un tramo topográficamente más bajo con interferencia aluvial nortesur, resultando la Sierra de Paimán un contrafuerte de contención aluvial. Precisamente al norte del río los Sarmientos en cercanías de la Localidad de Santa Florentina, en los últimos 15 años se estableció un emprendimiento agrícola privado con uso de terrenos por más de 70 hectáreas. Dicho establecimiento, puede incidir en la demanda de agua de la cuenca y se debe controlar el impacto ambiental del mismo.



Figura 6.22 Cono aluvial, región de piedemonte y ciudad de Chilecito

El crecimiento demográfico de la ciudad de Chilecito, se establece al centro y sur de la región, donde paulatinamente se construyen viviendas fundamentalmente en ambas márgenes de la Ruta N°14, camino a Santa Florentina.

Hidrológicamente relevante, el río **Los Sarmientos** (antes Durazno) en época de avenidas, el lecho principal y gran parte de la llanura de inundación acarrear todo tipo de materiales, hasta bloques de importantes dimensiones. Solo en el último tercio del cono aluvial (sector distal), se registra una disminución granulométrica en los márgenes de la llanura de inundación (Figura 6.23), pero aún persiste el gran porcentaje de bloques arrastrados por la corriente que inclusive trascienden el campo al sur de la localidad de Los Sarmientos y el norte-nordeste de la localidad de La Puntilla.

Pasando las localidades de Anguinán y Malligasta el curso del río adquiere una dirección sudeste, para integrarse definitivamente al talweg del Valle Antinaco Los Colorados de dirección norte - sur. Allí se observa un contexto predominante de gravas y arenas y materiales salinos atestiguados por la vegetación característica.

La longitud del tramo considerado es de 7,2 km con pendiente promedio de 3,3%, no existiendo diferencia de gradiente prácticamente entre el abanico aluvial y el Río Los Sarmientos.

Lamentablemente al norte de la ciudad sobre margen derecha, se observa gran volumen de escombros depositados y basura en desmedro de la libre circulación del fluido y ambiente respectivamente.

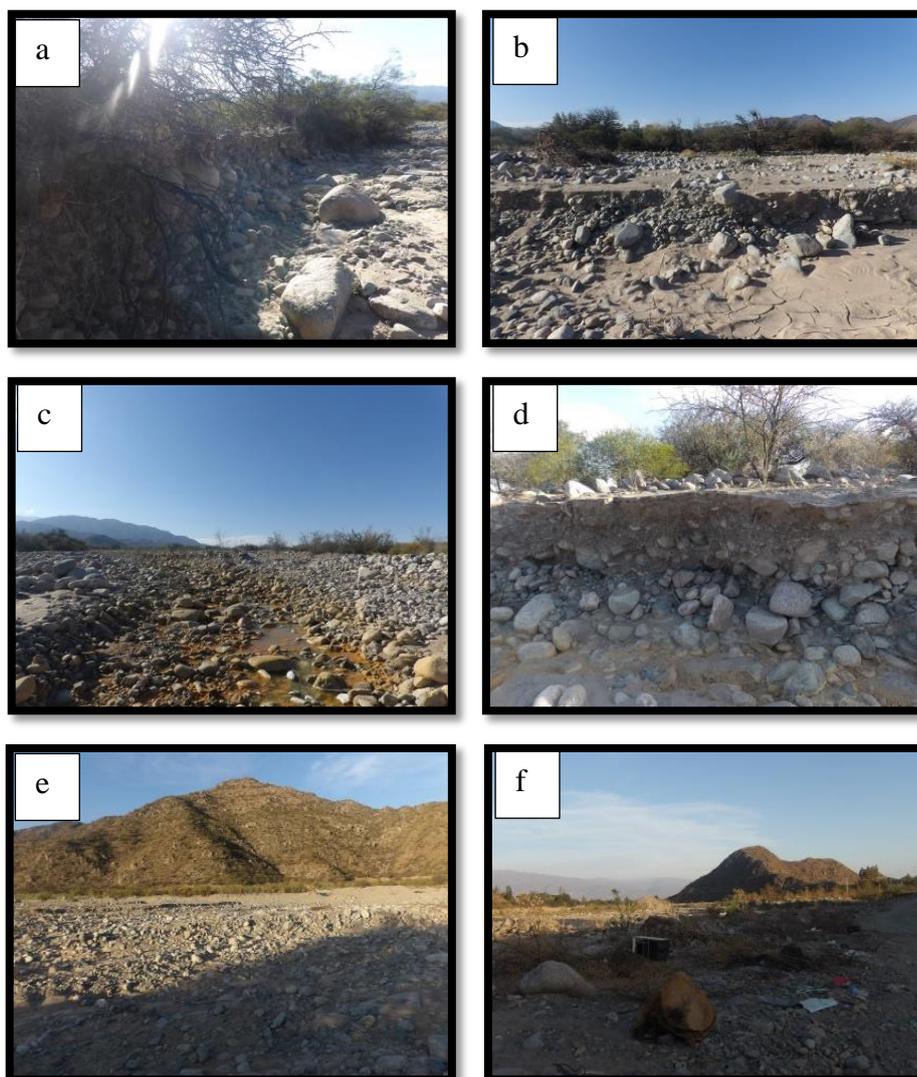


Figura 6.23 a-b- Tramo superior del río los Sarmientos, margen derecha y parte de llanura e inundación. c-d- Tramo medio, lecho principal y margen derecha. e-Tramo inferior, en primer plano llanura de inundación y en parte superior Sierra Paimán. f- Basurales a 400 metros del puente Los Sarmientos, a escasos metros de margen derecha Av. Circunvalación y sector norte de la ciudad de Chilecito.

El cauce se considera recto con sinuosidad ($S=1,1$), determinando barras temporales con vegetación que tienden a erosionarse en las grandes avenidas de enero y febrero. Entonces, se forman durante gran parte del año entre 3 y hasta 4 canales sobre todo al noroeste de la ciudad de Chilecito donde la pendiente es menor y es afectada por escurrimientos del norte en cercanías a la cadena serrana de Paimán. Hay que considerar que durante gran parte del año (10 meses) el agua viene canalizada desde Santa Florentina hasta el derivador del Parque, ya en la ciudad de Chilecito.

La llanura de inundación en general es más amplia, haciéndose la erosión más bien lateral, tendiendo a ampliar dicha llanura. El índice de entrelazamiento (braiding) $BP=3,5$ (moderadamente “braided”-Rust 1978).

La contingencia de avenidas o crecientes estivales y los caudales excedentes que no se utilizan en otoño/invierno, se insumen en la cuenca endorreica Antinaco-los Colorados. En este último caso durante los meses de abril a junio a veces julio, el agua circula con un caudal promedio $Q=1.200 \text{ l/s}=0,1200 \text{ m}^3/\text{s}=4.320.000 \text{ l/h}$. **Es decir, se podría almacenar un caudal trimestral importante en forma anual.**

$$Q=9.331.200 \text{ m}^3/\text{trimestre (eventualmente anual)}$$

Se propone, para aprovechar dicho caudal la construcción a futuro del **Reservorio “San Lorenzo”** ($29^{\circ}07'57,88''\text{S}$; $67^{\circ}29'52''\text{O}$) o vaso contenedor (Figura 6.24); para captar el recurso y administrarlo en época de mayor necesidad o escasez. Dicha obra, podría materializarse al costado noreste del río Los Sarmientos, sobre su margen izquierda. Las condiciones litológicas, son las óptimas por tratarse de materiales graníticos del basamento de la Sierra de Paimán, con cierre el oeste- sudoeste. Se observa además, una superficie de captación pluvial que octuplica la superficie del reservorio propuesto.

Los terrenos o hectáreas involucradas, pertenecen al estado provincial quien además podría evaluar la viabilidad o costo/beneficio sobre la concreción de la obra hidráulica.

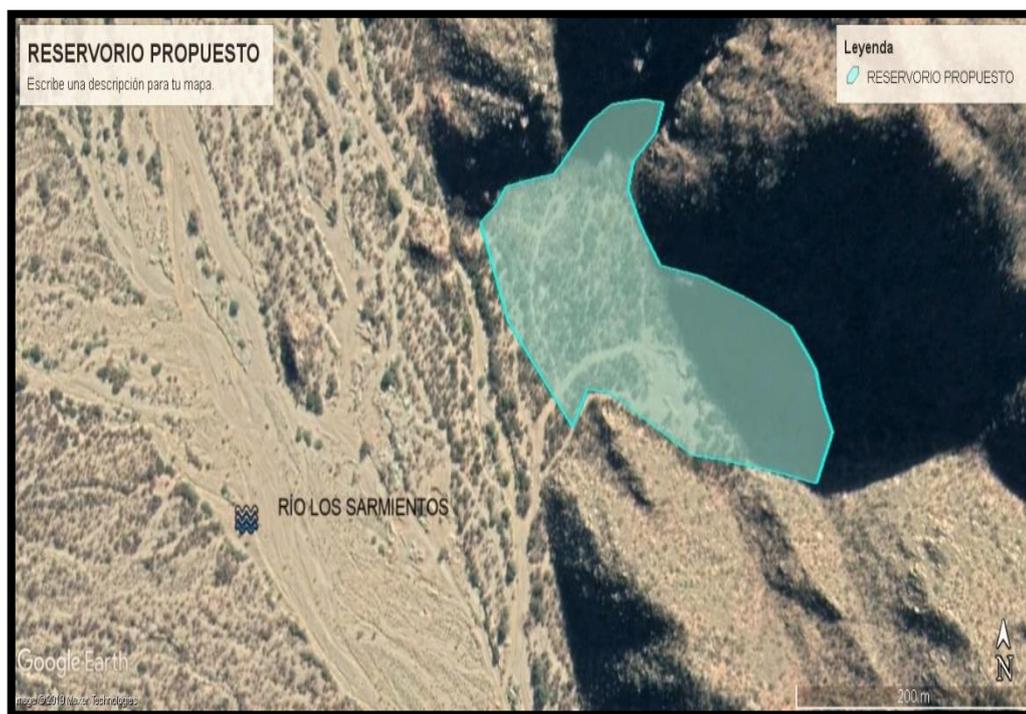


Figura 6.24 Posibilidad de emplazamiento de reservorio.

Se estima una superficie del reservorio de algo más de 4 hectáreas, con posibilidad de ampliación cuyo volumen depende de la altura del cierre perimetral (con 7 u 8 metros) se podría almacenar la tercera parte del caudal trimestral), por supuesto, esta propuesta de prefactibilidad formaría parte complementaria del estudio de ingenieros hidráulicos y civiles para evaluar el costo-beneficio de la obra.

Resumen de los aspectos más relevantes del capítulo

Las condiciones climáticas de la región de estudio, y las tendencias climáticas a nivel global promueven la eficiencia del recurso hídrico. Todos los estamentos del agua deben trabajar mancomunadamente constituyendo un ordenamiento territorial sustentable.

El agua es útil en función de los usos o destinos que se establezcan para la misma. Hidrológicamente, la cuenca de estudio cuenta con parámetros de forma y dimensiones necesarias y suficientes para cubrir los requerimientos mínimos de la población actual.

La geología le otorga a la región de estudio y a la sierra de Famatina particularidades específicas, que motivaron discusiones científicas que aún perduran respecto a las edades y características formacionales y litológicas. No obstante, el aporte científico de vieja data fue enriquecedor y representa el soporte ineludible de las investigaciones contemporáneas. Dichas investigaciones, diferencian notoriamente el sistema de Famatina tanto de las sierras pampeanas como de la precordillera. Concretamente flora y fauna del paleozoico tienen correspondencia con la precordillera vinculadas por medio de las transgresiones en la región, mientras que litológicamente en gran medida los materiales magmáticos de esa época geológica, tienen correlación con las sierras pampeanas.

Es importante destacar la intensa meteorización de los materiales. Este fenómeno, sumado la intensa explotación de metales en tiempos pasados, le otorga al recurso hídrico características físico químicas particulares.

El relieve, clima, y el factor tiempo se conjugan para determinar la geomorfología donde el recurso hídrico en verano ante la eventual actividad pluvial excesiva, se torna peligroso. En invierno el agua se acumula en forma de nieve, y los escurrimientos superficiales, quizás no tan necesarios por la época del año trascienden los límites de la región de estudio, para formar parte del reservorio subterráneo ya en el valle Antinaco-Los Colorados.

CAPÍTULO 7: HIDROLOGÍA

CAPÍTULO 7 HIDROLOGÍA

El colector principal del valle Antinaco-Los Colorados es el río Bajos de Santa Elena de carácter temporario, con recorrido norte-sur drenando en el talweg de dicho valle, cerca de la falda occidental de la sierra del Velasco, trascendiendo por el este al presente proyecto.

En un contexto general el drenaje de la falda oriental de la Sierra de Famatina, es el responsable del abastecimiento de agua a la región que si bien exceden los límites del Proyecto tiene influencia en el mismo. Está constituido por cuatro colectoras principales y sus afluentes que desaparecen en la región de Bajos de Santa Elena, siendo estos: Río Seco (puerta de Capayán) como límite norte, Río el Oro, Durazno y sistema Agua Negra/El Cajón al oeste de Santa Florentina (región del Proyecto), Río Pismanta (Guanchín) pasando por Sañogasta y Nonogasta y Río Miranda como límite oeste y sudoeste respectivamente.

Respeto a la red de drenaje que enmarca al proyecto, se desataca en la región de producción o cabecera las redes de diseño subrectangular a angular con lo cual se establece que hay un marcado control estructural, dónde en puntos estratégicos de la cuenca media y baja, se establecieron diferentes tomas o azudes con una antigüedad superior a los cien años.

Al noroeste se localiza el azud Agua Negra y El Cajón que reúne a dichos ríos homónimos de diferentes caudales y características químicas. Al oeste-sudoeste, el azud de El Vallecito recibe al río El oro o Amarillo con la química particular de la mina del Oro. Dichos sistemas confluyen en la “Mesada del Chileno” o “Chiquerito” (Coordenadas: 29°06'33”S; 67°35'34”O), donde nace el río **Durazno**. Sobre los ríos precedentes, en el capítulo pertinente se establecen características, localización y figuras ilustrativas de los mismos. En el presente capítulo, se presentan los aspectos cualitativos y cuantitativos.

Desde los azudes mencionados hasta la ciudad de Chilecito, el sistema está canalizado y tapado para evitar infiltración y evaporación en verano fundamentalmente.

En época estival donde las precipitaciones son torrenciales, ocurren grandes avenidas o crecientes por lo que se anula dicha conducción momentáneamente para evitar embancamientos u obstrucción de los conductos.

Dicho sistema, incide notablemente en la recarga al acuífero principal e incrementan los caudales superficiales y del subálveo para abastecer la demanda de riego agrícola y consumo de la población. Dentro de este marco se destaca el **río Durazno**, más al este llamado río *Los Sarmientos* ya en latitud de la ciudad de Chilecito.

7.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS DE LOS RÍOS DEL SISTEMA.

El IPALaR en el año 2006, en época estival realizó determinaciones físico-químicas de las diferentes fuentes que constituyen el río Durazno (Los Sarmientos) en puntos estratégicos de la cuenca, recurso destinado para riego del minifundio, concesionado a CONSUAGUA.

Tablas IPALaR año 2006

a) Río El Oro (o Amarillo)

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		
Nº DE IDENTIFICACIÓN	11	TIPO DE FUENTE: RÍO
NOMBRE DE LA FUENTE: RÍO EL ORO- EN CAPTACIÓN		
COORDENADAS GEOGRÁFICAS: S29 07 18,97 W67 38 42,97		ALTITUD APROX. M.s.n.m.: 1993
ÁREA DE TRABAJO: Cuenca del río Los Sarmientos	DEPARTAMENTO: CHILECITO	PROVINCIA: LA RIOJA

DATOS DE CAMPO		
FECHA TOMA DE MUESTRA	HORA DE MUESTREO:	CAUDAL l/seg
25-11-06	12:35	244,00
ASPECTO: Turbia	COLOR: Amarillento	MUESTREADOR: Ing. Ferrés

DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICAS IN SITU					
Parámetro	Unidades	Valor determinado	Parámetro	Unidades	Valor determinado
Temperatura del aire	°C	25,2	Temperatura del agua	°C	22,0
Conductividad Eléctrica a 25 °C	uS/cm	1540	pH	Unidades de pH	3,25
Oxígeno disuelto	Mg/l	6,04			

DATOS DE LABORATORIO					
FECHA INICIO DE ANÁLISIS 28-11-06		FECHA FINAL ANÁLISIS 15-12-06		N° ANÁLISIS 38639	
PROPIEDADES FÍSICAS Y DE AGREGACIÓN					
Parámetro	Unidades	Valor determinado	Parámetro	Unidades	Valor determinado
Conduct. Eléct. a 25 °C	uS/cm	1540	Alcalinidad Total	mg/l CaCO ₃	0
pH	Unidades de pH	3,00	Dureza Total	Mg/l CaCO ₃	203
Sólidos disueltos	Mg/l	1260	Dureza de no carbonatos	Mg/l CaCO ₃	203
Turbidez	NTU	510	Acidez total a pH 7,00	Mg/l de H ⁺	15,00

IONES PRINCIPALES					
Parámetro	Unidades	Valor determinado	Parámetro	Unidades	Valor determinado
Calcio (Ca ⁺⁺)	Mg/l	56,0	Carbonato (CO ₃ ⁻)	Mg/l	0,0
Magnesio (Mg ⁺⁺)	Mg/l	15,00	Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	Mg/l	0,0
Sodio (Na ⁺)	Mg/l	30,0	Sulfato (SO ₄ ⁼)	Mg/l	836,0
Potasio (K ⁺)	Mg/l	4,2	Cloruro (Cl ⁻)	Mg/l	253,0

CONSTITUYENTES INORGÁNICOS MENORES NO METÁLICOS					
Parámetro	Unidades	Valor determinado	Parámetro	Unidades	Valor determinado
Nitrato (NO ₃ ⁻)	Mg/l	0,4	Boro (B)	Mg/l	0,17
Nitrito (NO ₂ ⁻)	Mg/l	No determinado	Fluoruro (F ⁻)	Mg/l	0,6

METALES TRAZAS DISUELTOS					
Parámetro	Mg/l	LD-LQ (mg/l)	Parámetro	Mg/l	LD-LQ (mg/l)
Hierro Total (Fe)	6,370	0,010-0,030	Cromo Total (Cr)	No detectado	0,002-0,005
Manganeso Total (Mn)	5,470	0,0003-0,001	Cobalto (Co)	No detectado	0,010-0,040
Aluminio (Al)	36,700	0,020-0,050	Plomo (Pb)	No detectado	0,05-0,150
Arsénico (As)	0,070	0,001-0,003	Níquel (Ni)	No detectado	0,002-0,008
Cadmio (Cd)	No detectado	0,001-0,004	Selenio (Se)	No detectado	0,002-0,006
Cinc (Zn)	12,110	0,002-0,006	Molibdeno (Mo)	No detectado	0,0006-0,002
Cobre (Cu)	2,379	0,020-0,060	Vanadio (V)	No detectado	0,001-0,004

Técnicas de análisis según el Standards Methods APHA-AWWA-WPCF-20th Edition

Tabla 7.1 Identificación de muestreo Río El Oro

b) **Río Agua Negra**

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		
Nº DE IDENTIFICACIÓN	13	TIPO DE FUENTE: RÍO
NOMBRE DE LA FUENTE: RÍO AGUA NEGRA EN CAPTACIÓN, ANTES DE LA UNIÓN CON EL RÍO CAJÓN		
COORDENADAS GEOGRÁFICAS: S29 03 53,72 W67 36 36,71	ALTITUD APROX. M.s.n.m.: 1896	
ÁREA DE TRABAJO: Cuenca del río Los Sarmientos	DEPARTAMENTO: CHILECITO	PROVINCIA: LA RIOJA

DATOS DE CAMPO		
FECHA TOMA DE MUESTRA	25-11-06	HORA DE MUESTREO: 15:30
CAUDAL	l/seg	62,00
ASPECTO:	Clara	COLOR: Incolora
MUESTREADOR: Ing. Ferrés		

DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICAS IN SITU					
Parámetro	Unidades	Valor determinado	Parámetro	Unidades	Valor determinado
Temperatura del aire	°C	26,5	Temperatura del agua	°C	22,6
Conductividad Eléctrica a 25 °C	uS/cm	257	pH	Unidades de pH	6,7
Oxígeno disuelto	Mg/l	9,57			

DATOS DE LABORATORIO					
FECHA INICIO DE ANÁLISIS		28-11-06	FECHA FINAL ANÁLISIS		15-12-06
					Nº ANÁLISIS 38641
PROPIEDADES FÍSICAS Y DE AGREGACIÓN					
Parámetro	Unidades	Valor determinado	Parámetro	Unidades	Valor determinado
Conduct. Eléct. a 25 °C	uS/cm	296	Alcalinidad Total	mg/l CaCO3	117
pH	Unidades de pH	6,80	Dureza Total	Mg/l CaCO3	94
Sólidos disueltos	Mg/l	169	Dureza de no carbonatos	Mg/l CaCO3	0
Turbidez	NTU	2,6	Acidez total a pH 7,00	Mg/l de H+	0,00

IONES PRINCIPALES					
Parámetro	Unidades	Valor determinado	Parámetro	Unidades	Valor determinado
Calcio (Ca++)	Mg/l	28,0	Carbonato (CO3-)	Mg/l	0,0
Magnesio (Mg++)	Mg/l	5,8	Bicarbonato (HCO3-)	Mg/l	142,0
Sodio (Na+)	Mg/l	25,0	Sulfato (SO4=)	Mg/l	29,0
Potasio (K+)	Mg/l	2,1	Cloruro (Cl-)	Mg/l	6,3

CONSTITUYENTES INORGÁNICOS MENORES NO METÁLICOS					
Parámetro	Unidades	Valor determinado	Parámetro	Unidades	Valor determinado
Nitrato (NO ₃ -)	Mg/l	No detectado	Boro (B)	Mg/l	No detectado
Nitrito (NO ₂ -)	Mg/l	0,003	Fluoruro (F-)	Mg/l	0,5

METALES TRAZAS DISUELTOS					
Parámetro	Mg/l	LD-LQ (mg/l)	Parámetro	Mg/l	LD-LQ (mg/l)
Hierro Total (Fe)	No detectado	0,010-0,030	Cromo Total (Cr)	No detectado	0,002-0,005
Manganeso Total (Mn)	No detectado	0,0003-0,001	Cobalto (Co)	No detectado	0,010-0,040
Aluminio (Al)	No detectado	0,020-0,050	Plomo (Pb)	No detectado	0,05-0,150
Arsénico (As)	No detectado	0,001-0,003	Níquel (Ni)	No detectado	0,002-0,008
Cadmio (Cd)	No detectado	0,001-0,004	Selenio (Se)	No detectado	0,002-0,006
Cinc (Zn)	No detectado	0,002-0,006	Molibdeno (Mo)	No detectado	0,0006-0,002
Cobre (Cu)	No detectado	0,020-0,060	Vanadio (V)	No detectado	0,001-0,004

Técnicas de análisis según el Standards Methods APHA-AWWA-WPCF-20th Edition

Tabla 7.2 Identificación de muestreo Río Agua Negra

c) Río El Cajón

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		
Nº DE IDENTIFICACIÓN	12	TIPO DE FUENTE: RÍO
NOMBRE DE LA FUENTE: RÍO EL CAJÓN - EN CAPTACIÓN- ANTES DE LA UNIÓN CON EL AGUA NEGRA		
COORDENADAS GEOGRÁFICAS: S29 03 55,19 W67 36 38,34	ALTITUD APROX. M.s.n.m.: 1896	
ÁREA DE TRABAJO: Cuenca del río Los Sarmientos	DEPARTAMENTO: CHILECITO	PROVINCIA: LA RIOJA

DATOS DE CAMPO		
FECHA TOMA DE MUESTRA	HORA DE MUESTREO:	CAUDAL l/seg
26-11-06	13:00	88,00
ASPECTO: Turbia	COLOR: Blanquecino	MUESTREADOR: Ing. Ferrés

DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICAS IN SITU					
Parámetro	Unidades	Valor determinado	Parámetro	Unidades	Valor determinado
Temperatura del aire	°C	27,0	Temperatura del agua	°C	25,7
Conductividad Eléctrica a 25 °C	uS/cm	635	pH	Unidades de pH	4,22
Oxígeno disuelto	Mg/l	9,13			

DATOS DE LABORATORIO					
FECHA INICIO DE ANÁLISIS 28-11-06		FECHA FINAL ANÁLISIS 15-12-06		N° ANÁLISIS 38640	
PROPIEDADES FÍSICAS Y DE AGREGACIÓN					
Parámetro	Unidades	Valor determinado	Parámetro	Unidades	Valor determinado
Conduct. Eléct. a 25 °C	uS/cm	667	Alcalinidad Total	mg/l CaCO3	0
pH	Unidades de pH	4,20	Dureza Total	Mg/l CaCO3	113
Sólidos disueltos	Mg/l	622	Dureza de no carbonatos	Mg/l CaCO3	113
Turbidez	NTU	24,0	Acidez total a pH 7,00	Mg/l de H+	3,40

IONES PRINCIPALES					
Parámetro	Unidades	Valor determinado	Parámetro	Unidades	Valor determinado
Calcio (Ca++)	Mg/l	37,0	Carbonato (CO3-)	Mg/l	0,0
Magnesio (Mg++)	Mg/l	5,0	Bicarbonato (HCO3-)	Mg/l	0,0
Sodio (Na+)	Mg/l	40,0	Sulfato (SO4=)	Mg/l	352,0
Potasio (K+)	Mg/l	5,2	Cloruro (Cl-)	Mg/l	61,0

CONSTITUYENTES INORGÁNICOS MENORES NO METÁLICOS					
Parámetro	Unidades	Valor determinado	Parámetro	Unidades	Valor determinado
Nitrato (NO3-)	Mg/l	0,4	Boro (B)	Mg/l	0,08
Nitrito (NO2-)	Mg/l	No detectado	Fluoruro (F-)	Mg/l	0,5

METALES TRAZAS DISUELTOS					
Parámetro	Mg/l	LD-LQ (mg/l)	Parámetro	Mg/l	LD-LQ (mg/l)
Hierro Total (Fe)	0,980	0,010-0,030	Cromo Total (Cr)	No detectado	0,002-0,005
Manganeso Total (Mn)	1,324	0,0003-0,001	Cobalto (Co)	No detectado	0,010-0,040
Aluminio (Al)	13,000	0,020-0,050	Plomo (Pb)	No detectado	0,05-0,150
Arsénico (As)	0,070	0,001-0,003	Níquel (Ni)	No detectado	0,002-0,008
Cadmio (Cd)	No detectado	0,001-0,004	Selenio (Se)	No detectado	0,002-0,006
Cinc (Zn)	1,974	0,002-0,005	Molibdeno (Mo)	No detectado	0,0006-0,002
Cobre (Cu)	1,768	0,020-0,060	Vanadio (V)	No detectado	0,001-0,004

Técnicas de análisis según el Standards Methods APHA-AWWA-WPCF-20th Edition

Tabla 7.3 Identificación de muestreo Río El Cajón

La interacción de los ríos precedentes, determinan las cualidades físico-química del río Durazno/Los Sarmientos fuente de abastecimiento directo al minifundio (1300 hectáreas).

Se desprende de los estos análisis precedentes, que el río Amarillo contiene una cantidad elevada de sales disueltas, fundamentalmente CaSO_4 . Se deduce un alto poder conductivo de las mismas y agresividad por su pH ácido.

Similares características presenta el río El Cajón con respecto al río Amarillo. El agua es menos conductiva químicamente y las sales predominantes son NaSO_4 y CaSO_4 , con un pH más elevado, pero siempre ácido.

El río Agua Negra presenta características químicas distintivas con respecto a los ríos precedentes. Su pH neutro, su aspecto claro y su escasa conductividad química donde prevalecen los bicarbonatos cálcicos, le otorgan buenas aptitudes no solo para riego sino también para consumo humano.

Todos los cursos fluviales precedentes, serán contrastados en el presente informe para corroborar su aptitud según el destino final de las mismas.

7.2. ANÁLISIS DEL SISTEMA FLUVIAL Y RESERVORIOS DE AGUAS INVOLUCRADOS EN EL RIEGO DEL MINIFUNDIO.

En el año 2014 se realizan muestreos en los mismos puntos de coordenadas utilizados por IPALaR, para magnificar la variable independiente. Se adiciona muestreo a la salida de los estanques o reservorios de Malligasta, Anguinán y Tilimuqui (Tabla 7.4), ya que la decantación de finos puede inducir a cambios químicos del agua justo antes del ingreso a finca. Es necesario señalar que anualmente se extraen de los reservorios mencionados, lodo acumulado por decantación. Los análisis respectivos fueron realizados en Laboratorios de UNDeC.

Tabla análisis físico químico destinada a riego. Laboratorio de Alta Complejidad UNdeC

Muestras	Lugar	pH	Conduct.	Dureza	Ca mEq	Mg mEq		Cloruros mEq	Bicarb. mEq	Sulfatos mEq		Na (mEq)	K	Ca + Mg	RAS	Clasificación
1,00	RIO AGUA NEGRA	5,80	210,00	169,6	1,908	1,484	3,39	0,51	2,4	0,85	3,76	0,37	0,09	1,696	0,28	C1S1
2,00	SALIDA ESTANQUE MALLGASTA	4,37	599,00	381,6	3,180	4,452	7,63	1,02	1,44	7,27	9,73	2,09	0,18	3,816	1,07	C2S1
3,00	SALIDA ESTANQUE ANGUINAN	4,40	613,00	371	3,604	3,816	7,42	1,53	0,96	6,61	9,10	1,68	0,18	3,71	0,87	C2S1
4,00	SALIDA ESTANQUE TILMUQUI	4,30	600,00	392,2	4,028	3,816	7,84	0,76	0,96	7,77	9,90	1,66	0,20	3,922	0,84	C2S1
5,00	RIO EL CAJÓN	4,48	434,00	296,8	1,696	4,24	5,94	1,02	0,96	5,01	6,99	1,06	0,13	2,968	0,61	C2S1
6,00	RIO AMARILLO OESTE TOMA VALLECITO	3,38	863,00	583,0	5,300	6,36	11,66	1,53	0,48	11,55	13,56	1,90	0,11	5,83	0,79	C3S1
7,00	RIO DURAZNO (UNION DE RIOS)	3,27	599,00	318,0	4,240	2,12	6,36	1,27	0,72	6,97	8,96	2,60	0,12	3,18	1,46	C2S1

Tabla 7.4 Análisis físico químico del agua destinada a riego

En la figura 7.1 se observa que las mayorías de las aguas están dentro de la clasificación de Sulfatadas y/o Cloruradas Cálcidas (muestras 2,3,4,5,6,7), observándose una mayor participación de los cationes Ca y Mg en detrimento del Na+K. Lo antedicho puede deberse a la gran meteorización reinante siendo más resistentes a ella los productos derivados de la secuencia félsica (SiO_2 y K). Se deduce una participación mayoritaria de materiales salinos y óxidos disueltos. Además, se produce una intervención de aniones SO_4 y Cl en desmedro del CO_3 , observando además que el catión Ca experimenta una disminución de un 50% a la salida de los reservorios, atribuido en parte, a la precipitación o decantación fundamentalmente de óxidos e hidróxidos de calcio.

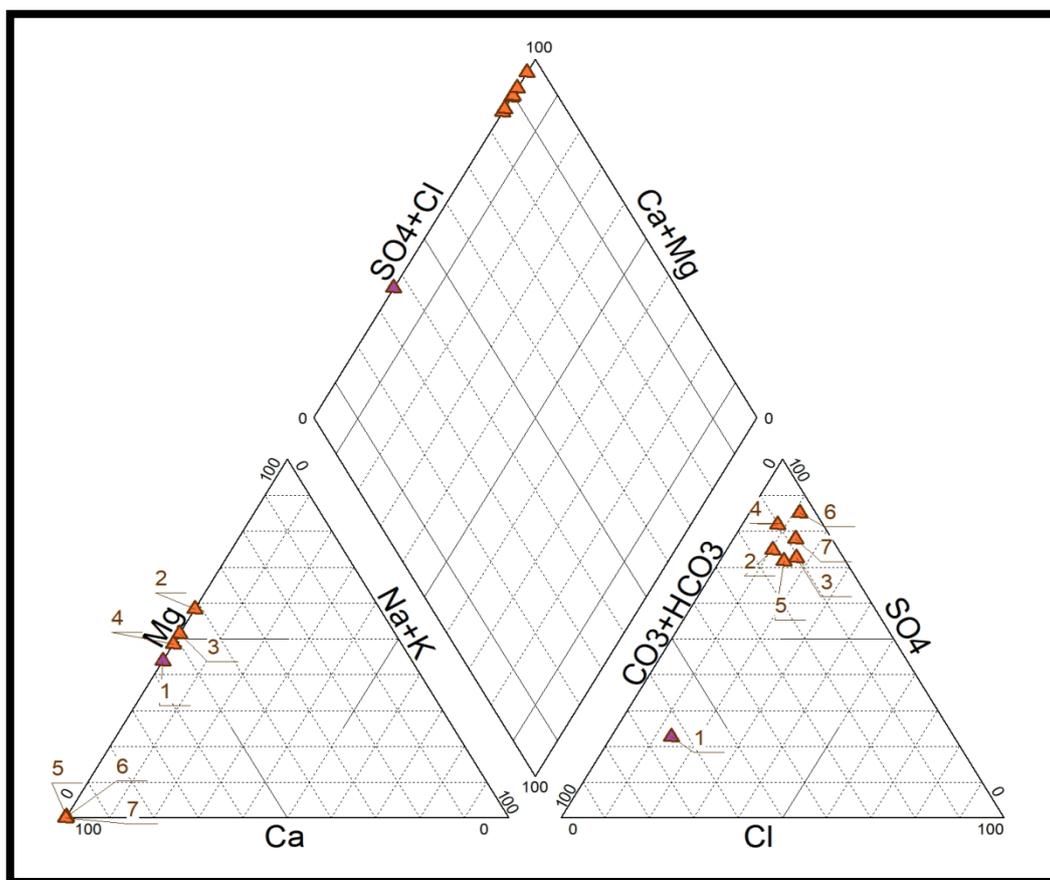


Figura 7.1 Diagrama de Piper del agua destinada a riego

En general, la consideración de los complejos con Ca y Mg es de importancia para considerar una dureza residual más baja que puede alcanzarse en un proceso de ablandamiento de agua con NaCO_3 entre otras opciones, de acuerdo a las necesidades de riego del minifundio en los Distritos más grandes Malligasta y Anguinán.

Una de las muestras está clasificada tipo bicarbonatada cálcica (muestra1), que corresponde a la muestra del río Agua Negra, la cual es agua más bien superficial y producto de la recarga meteórica, donde su volumen deriva del trayecto mayoritariamente norte-sur sobre litología no tan alterada a una altitud que no sobrepasa los 2.500 ms.n.m.

De acuerdo a los valores de RAS (Tabla 7.4), todas las aguas tienen escaso poder de sodificación, siendo el río Durazno el de concentración más elevada pero dentro de los valores tolerables para riego.

La figura 7.2 muestra el análisis de las aguas de acuerdo a las Normas Riverside, en función de la conductividad y del índice RAS (índice que relaciona la concentración de Na con la de Ca y Mg), la C (salinidad) y la S (sodio).

Se observa que la muestra 1 presenta una clasificación C1S1, de baja salinidad y sodio. Puede usarse para la mayor parte de los cultivos sin riesgo. Las muestras 2,3,4,5 y 7 de C2S1 tiene una salinidad media y baja en sodio, válida para plantas no sensibles y con moderado lavado del suelo. Por último, la muestra 6, C3S1, agua de salinidad elevada y baja en sodio, se sugiere usar para riego en suelos de buen drenaje, sólo apto para cultivos tolerantes y con seguimiento de salinidad del suelo.

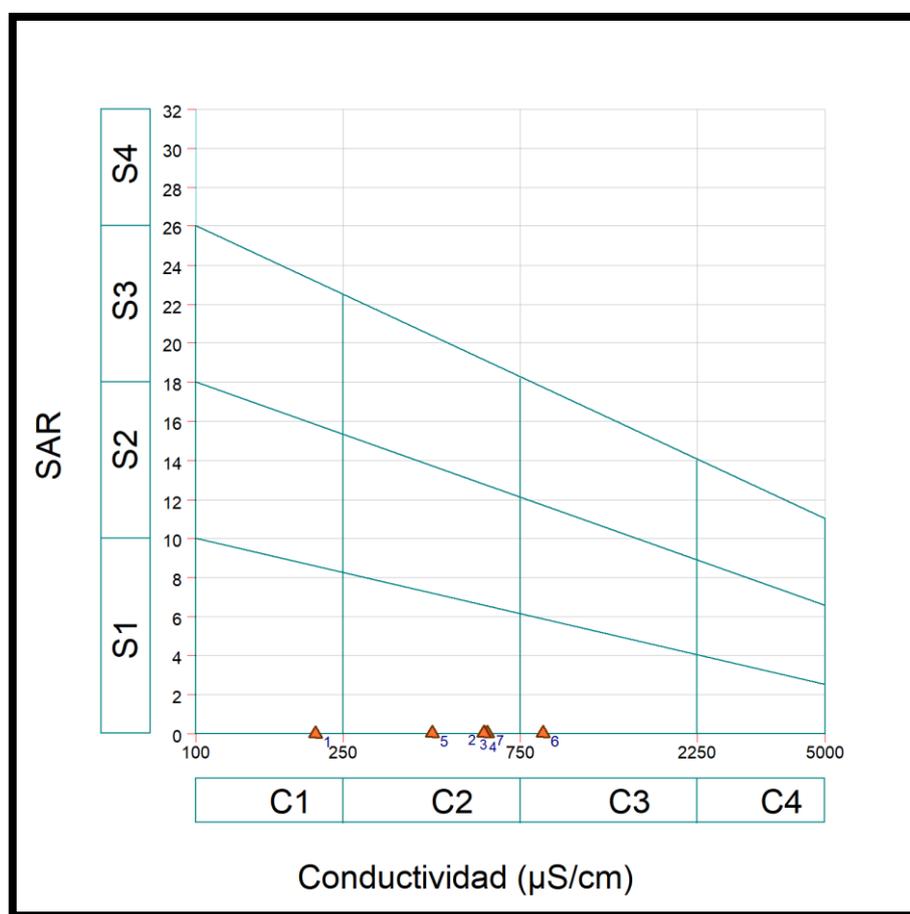


Figura 7.2 Clasificación de aguas de riego de acuerdo a las Normas de Riverside. Diagrama para clasificar las aguas de riego según el U.S. Salinity Laboratory Staff (1954)

En resumen, en función de las normas *Riverside*, el río Durazno, al ser el colector del sistema y de mayor representatividad presenta la siguiente categoría:

- **Peligro de salinización medio.**
- **Peligro de alcalinización bajo.**

Por otro lado, *la modalidad de irrigación* para las 1300 hectáreas se efectúa preferentemente por manto, donde solo el 3% lo hace por sistema presurizado que otorga mayor eficiencia a la producción.

Teniendo en cuenta que la conducción secundaria (margen izquierda y derecha) recorra el norte y centro de la ciudad de Chilecito respectivamente es un problema. Dicha conducción, no está totalmente tapada y las losetas de 2,40 m x 0,50 m que la cubren sufren deterioro (Figura 7.3) y muchas veces no son reemplazadas a tiempo. **Esta situación, produce que la gente en forma desaprensiva arroje a la conducción todo tipo de material como basura, aceites, animales muertos, líquidos domiciliarios etc., alterando la naturaleza del recurso.**

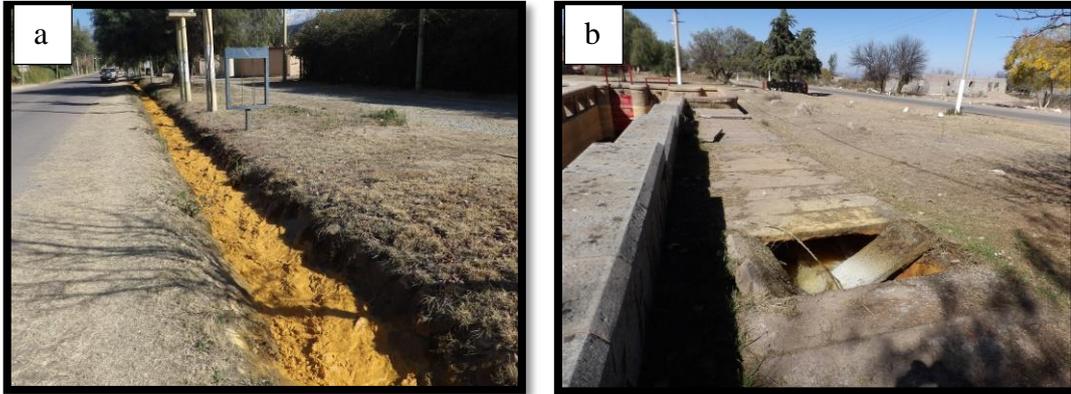


Figura 7.3 a- Canal a cielo abierto en la localidad de Los Sarmientos. **b-** Rotura de loseta en canal primario, al costado Ruta 14.

Los estanques o reservorios, se utilizan para recolectar agua durante la noche y distribuirla a las 08:00 hs del día siguiente, anualmente requieren limpieza pues decantan los finos disueltos aportados por el río Durazno entre 0,50 a 0,70 metros, restringiendo su volumen e higiene, donde desde el punto de vista ético ambiental es deficiente (Figura 7.4).

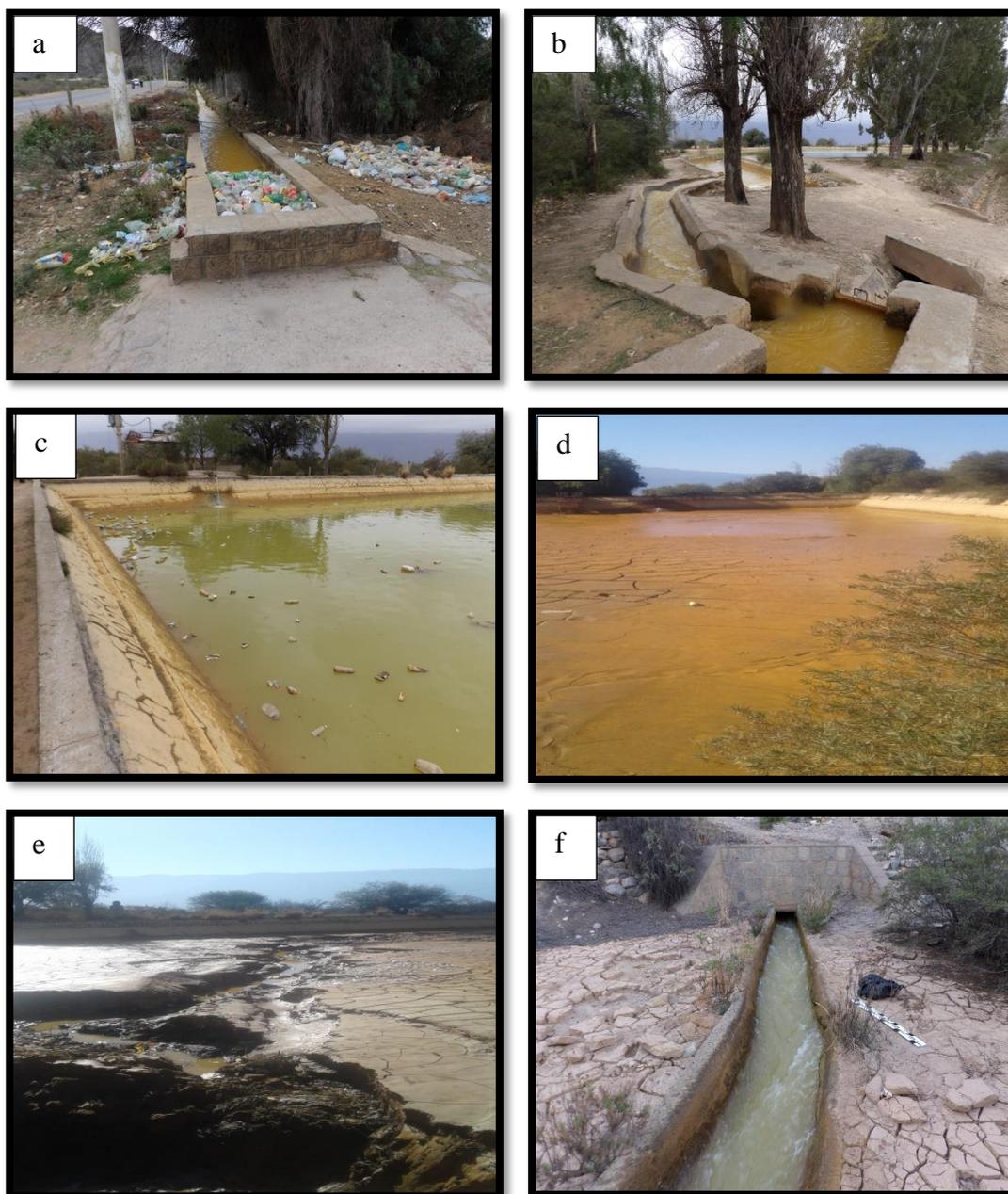


Figura 7.4 Estanque Anguinán. a-Acumulación de basura en parilla 30 metros antes del ingreso. b-Entrada al reservorio. c-Reservorio con basura. Parte superior Pozo CRAS N°241 para incrementar volumen. d-e- Asentamiento de lodo. f- Salida del caudal para su distribución.

De todas formas, “El agua sirve o es óptima según el uso que va a tener la misma” (C Schulz, 1918). Efectivamente para riego, y bajo ciertas precauciones el fluido es el apropiado para irrigar el minifundio.

7.3. CAUDALES DE LOS RÍOS

Las Sierras del Famatina y de Paimán constituyen las unidades fisiográficas de montañas que dominan la región, con una orientación general norte-sur y una longitud aproximada de 400 km y 82 km, respectivamente. La región investigada presenta un rango de alturas entre 5.688 ms.n.m. y 1512 ms.n.m e incluso más con respecto a Chilecito y la zona de los minifundios. Al este de estas sierras, se encuentra el valle de Antinaco–Los Colorados que representa la zona de recarga de los escurrimientos hídricos del faldeo oriental del Famatina, en un sistema endorreico semiárido con el desarrollo de importantes abanicos aluviales. El **nivel de base local** de los escurrimientos hídricos de la región, lo constituye en gran medida, los conos aluviales modernos, el cordón del Paimán, el talweg del río Grande, de recorrido norte-sur y la región de los bajos de “Santa Elena”.

Al norte de la región de estudio, drena el río Famatina recorriendo el oeste de la ciudad homónima (28°55′10”S; 67°31′12”O) de norte a sur, y luego por la quebrada de Capayán tiene su apertura en el gran cono aluvial ya en el valle Antinaco-Los Colorados, al norte de los emprendimientos productivos en la región límite de los Dptos. Famatina/Chilecito.

Hacia el sur, involucrando al Proyecto (Figura 7.5) tenemos los ríos Aguas Negras/El Cajón y del Oro o Amarillo se unen para formar el río **Durazno**, hasta la localidad de Santa Florentina. A partir de allí, ingresa al Valle Chilecito con el nombre de Los Sarmientos atravesando la ciudad de Chilecito, y alimentan el abanico aluvial de Anguinán al este de la sierra de Paimán.

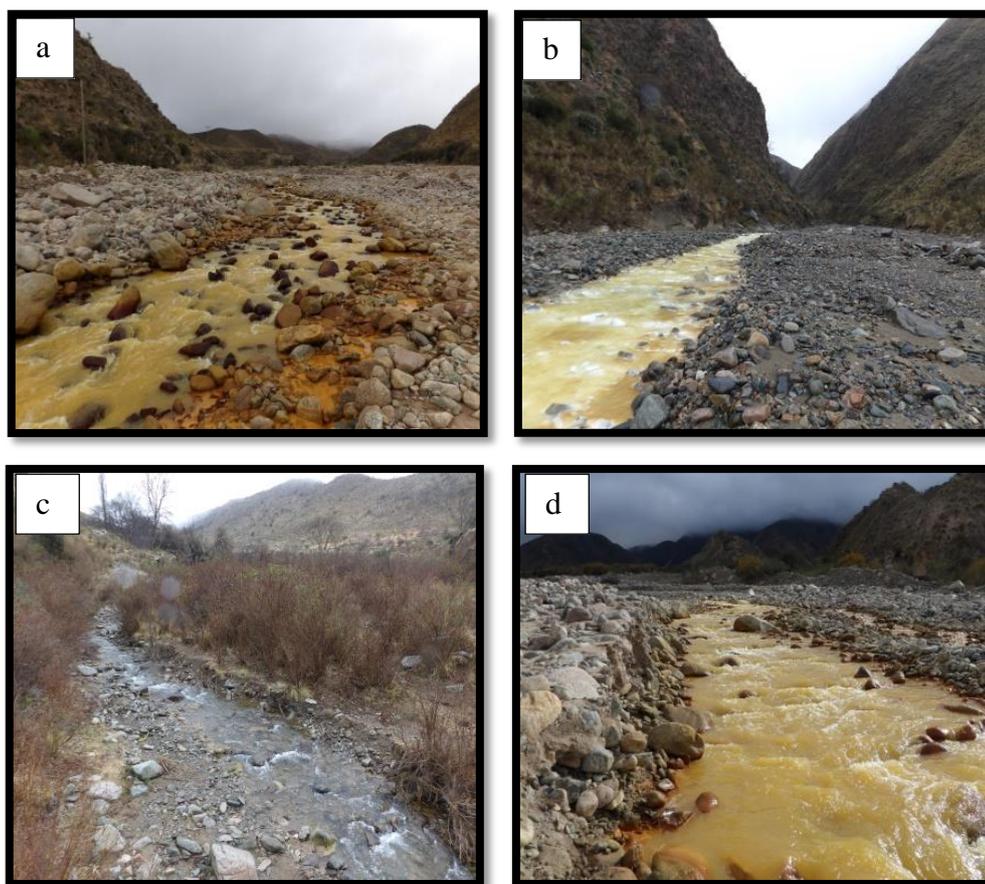


Figura 7.5 a- Río El Oro (Amarillo). Imagen hacia el oeste, 200 m del Azud Vallecito. b- Río El Cajón. Imagen hacia el oeste, 300 m del Azud El Cajón. c) Río Agua Negra. Imagen al norte al ingreso al Azud. d) Río Durazno, tramo superior.

En el marco de la privatización de empresas del estado en la década de 1990, la ex Agua y Energía Eléctrica de la Nación pasa a depender de la provincia de La Rioja para ser administrada por Recursos Hídricos, luego Secretaría del Agua y actualmente IPALaR.

En el presente trabajo se realiza un correlato de aforos entre datos históricos y los actuales, tomando como referencia periodos representativos de los escurrimientos como así también de la disponibilidad y selección de información antigua.

Datos de Agua y Energía Eléctrica, Sociedad del Estado en trabajos de “Estadística Hidrológica” hasta el año 1986 propone los siguientes valores de caudales para el Río Durazno (Tabla 7.5 y 7.6).

Generalmente los puntos de muestreos de los aforos son los mismos. Ya que la obra de arte se acondiciona para ese fin, además sirve como referencia efectiva al comparar resultados sin afectar la variable independiente. El registro de las mediciones, como se referencia en el título de la siguiente tabla se localiza en el partidor “El Parque”.

Tablas Caudales Medios Mensuales m³/s. Lat 29°09'; Long 67°30' 1170 ms.n.m.

AÑO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
40-41	0.436	0.325	0.434	0.570	0.680	0.691	0.771	0.720	0.631	0.561	0.521	0.459
41-42	0.422	0.377	0.320	0.347	0.581	0.657	0.428	0.456	0.423	0.370	0.348	0.345
42-43	0.323	0.323	1.513	0.827	0.560	1.579	0.774	0.890	0.689	0.527	0.487	0.418

Tabla 7.5 Caudales del río Durazno periodo 1940-1943. Datos Agua y Energía Eléctrica de la Nación.

Promedio anual año 40-41 $Q=0.566 \text{ m}^3/\text{s}$ -----Derrame anual 17.8 hm^3

Promedio anual año 41-42 $Q=0.421 \text{ m}^3/\text{s}$ -----Derrame anual 13.3 hm^3

Promedio anual año 42-43 $Q=0.735 \text{ m}^3/\text{s}$ -----Derrame anual 23.2 hm^3

Los últimos cinco intervalos anuales registrados son los siguientes:

AÑO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
77-78	0.455	0.349	0.481	1.770	3.022	3.363	0.890	0.849	0.887	0.884	0.792	0.707
78-79	0.638	0.587	0.498	0.746	3.806	7.303	0.815	0.874	0.852	2.091	1.586	1.130
79-80	0.970	0.860	0.739	0.866	1.121	5.185	0.943	0.982	0.983	1.468	0.973	0.968
80-81	0.850	0.710	0.655	0.463	1.559	3.657	5.950	0.865	0.929	1.684	0.872	0.949
81-82	0.987	0.750	0.580	0.535	3.085	S/D	4.328	1.062	1.007	S/D	0.719	0.692

Tabla 7.6 Caudales del río Durazno periodo 1977-1982. Datos Agua y Energía Eléctrica de la Nación.

Si bien en el informe de tabla precedente faltan datos se consigna un derrame promedio anual de 37,4 hm³, bastante mayor el valor en comparación con años anteriores expresados en Tabla 7.5 de la década del 40.

La acumulación de agua de deshielo, las precipitaciones y el aporte de aguas subterráneas proveen de caudales permanentes a los ríos de alta montaña, que tienden a aumentar el caudal cuenca abajo atestiguado por efluencia en gran parte del trayecto del río Durazno hasta la localidad de Santa Florentina. Numerosas vertientes o alumbramientos se corroboran en dicho trayecto, mientras que, en la zona de Santa florentina hacia Chilecito, se comportan como ríos influentes.

En la localidad de Santa Florentina las aguas son utilizadas para pequeños emprendimientos agrícola/ganadero y recreativa, en este sentido la característica fluvial efluente promueve la captación relativamente fácil del recurso. En menor medida se utiliza el curso del río Durazno cuya canalización atraviesa la mayoría de los emprendimientos mencionados.

En síntesis, en la década del 70, las precipitaciones y aporte de agua al sistema de la Sierra de Famatina fueron excesivas, teniendo en cuenta que el Módulo primario o Canal Matriz solo tiene capacidad para 1000 l/s, seguramente en gran parte de los años se debió derivar el excedente de agua hacia el río. Precisamente esa década coincide con la prosperidad del minifundio.

Mucho más atrás en el tiempo, los primeros años de la década del 40, tienen mejor correlato con situación contemporánea del nuevo siglo. En el Capítulo 3 Tabla 3.3, se plantean los valores de caudal del río Durazno (canal Matriz) hasta el año 2007. En la última década, se corrobora en IPALaR caudales similares con tendencia leve a disminución.

De acuerdo a los datos obtenidos, se comprueba un derrame anual del río Durazno de 15,5 hectómetros cúbicos anuales.

Volumen=15,5 Hm³/año

7.4. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO (DOMICILIARIO O DOMÉSTICO)

El 70% del país tiene características climáticas áridas a semiáridas. Solo dos regiones el noreste y sudoeste cuentan con disponibilidad suficiente de agua para poder deducir el vital elemento para consumo humano. Por ello resulta imprescindible la explotación del recurso subterráneo, cubriendo en el país las necesidades de abastecimiento en un porcentaje importante. En la mayoría de los casos, el agua subterránea tiene mayor aptitud bacteriológica que la superficial por estar protegida en el subsuelo.

El saneamiento ambiental es una cuenta pendiente en el país. El servicio de cloacas solo se cumple en un 50%, mientras que el abastecimiento de agua de red si es importante y se cumple en un 83% (Auge M., 2008).

Para la provincia de La Rioja, se cuenta con servicio de cloacas en un 48% mientras que el abastecimiento de agua de red alcanza al 95%. En el Departamento Chilecito solo la ciudad cabecera cuenta con servicio de cloacas, el resto de localidades no cuenta con dicho servicio. En este sentido, colindando con el proyecto, es apremiante la situación de la localidad de Sañogasta, localidad distante a 25 km al sudoeste de la ciudad de Chilecito, dónde el nivel freático muy próximo a la superficie (5 a 7 metros) interactúa con los pozos ciegos de la región, siendo factible la contaminación de nitritos y nitratos fundamentalmente como así también de agroquímicos del sector productivo. Algunos barrios consumen agua potable de perforaciones con el peligro potencial que ello significa.

En proyecto FiCyT 2012 (UNdeC), se especifican los resultados no solo de lo antedicho sino también de otras localidades implicadas en el actual proyecto bajo el título “Valoración del agua subterránea en puntos estratégicos poblados del Departamento Chilecito y su aptitud para consumo humano y riego”.

El Departamento Chilecito en censo de 2010 contaba con 49.432 habitantes. Teniendo en cuenta el crecimiento demográfico, la proyección de incremento anual (16%) y aplicando interés compuesto, se proyecta una población para 2019.

$P_f = 49432 (1+0,016)^9 = 57.023 \text{ habitantes para el año 2019}$
--

$$P_f = P_i (1 + \text{incremento anual})^n$$

P_f = Población final estimada

P_i =población inicial o de un determinado año

n =Intervalo o número de años considerados a estimar

Operando análogamente, la Ciudad cabecera de Chilecito cuenta en el año 2019 con **33.983 habitantes**, dónde solo 13.600 son clientes activos (viviendas) o pagan el servicio domiciliario.

Datos proporcionados por *Aguas Riojanas* (2018), establece un aporte del acueducto de 600 m³/h en épocas de abundantes precipitaciones, con un mínimo de 100 m³/h para época de déficit de precipitaciones. Los cálculos se efectúan sobre la base de una dotación máxima. En época estival es cuando se utiliza mayor cantidad de agua, es la estación en dónde se ponen en marcha las perforaciones para garantizar la demanda domiciliaria.

Un problema cultural, es el hecho de la falta de conciencia de la población para preservar el recurso en calidad y cantidad. Los derroches de agua se deben fundamentalmente a recreación (parques y piletas de lona), lavado de automóviles con manguera, lavado de veredas, etc., de cada 100 litros se derrochan 40, es decir un 40%.

En verano cada persona consume entre 600 a 680 litros diarios (dato proporcionado por el Delegado de Aguas Riojanas-Chilecito), para una familia tipo o por vivienda el consumo es de 2,6 a 2,7m³/día, lo que totaliza 80 m³/mensual (Tabla 7.7). En invierno es la época de menor consumo, resultando las otras estaciones con valores intermedios.

Tabla de erogación de agua Potable de consumo anual en la ciudad de Chilecito

<u>Verano</u>	<u>Otoño</u>	<u>Invierno</u>	<u>Primavera</u>	Total Anual/fam tipo	13.600 Clientes
80m ³ /viv./mes	60m ³ /viv./ mes	50m ³ /viv./ mes	70m ³ /viv./mes	-----	-----
240m ³ /viv/trim	180m ³ /viv/trim	150m ³ /viv/trim	210m ³ /viv/trim	780m ³ /viv/año	10.608.000 m³/año

Tabla 7.7 Volumen de agua potable anual que se consume en la Ciudad de Chilecito. Se tiene en cuenta un aporte superficial del recurso al acueducto de 600 m³/h. Queda contemplado además los derroches.

De la tabla precedente, se desprende un consumo anual de agua potable de 10.608.000 m³ para la Ciudad de Chilecito produciéndose un mayor consumo y derroche del recurso en época estival. Dicho volumen es garantizado por el aporte de las diferentes perforaciones afectadas al servicio.

En verano el aporte de perforaciones a la red de agua potable es esencial, (Tabla 7.8). La falta de conciencia, promueve un excesivo mal uso del recurso destinando el mismo para recreación, riego de parques privados y municipales, lavado de veredas, autos, carpeta asfáltica, derroches domiciliarios; entre los más frecuentes.

El detalle del aporte de las perforaciones afectadas a la red en verano, es el siguiente:

Tabla de volumen de agua aportado por las perforaciones en época estival

Pozo	Caudal (m³/h)	Tiempo funcionamiento teórico	Caudal (m³/día)	Caudal (m³/mes)
Pozo 11 -Rotonda	140	24 horas	3.360	104.160
12 de Octubre	130	24 horas	3.120	96.720
Obrador	130	24 horas	3.120	96.720
Santa Rita (Las Torres)	140	24 horas	3.360	104.160
San Nicolás	100	24 horas	2.400	74.400
Fermín Morales	140	24 horas	3.360	104.160
Municipal 12	130	Según demanda	520 (4 hs)	16.120

Pozo	Caudal (m ³ /h)	Tiempo funcionamiento teórico	Caudal (m ³ /día)	Caudal (m ³ /mes)
Remedios de Escalada	60	12 horas	720	22.320
Anguinán	130	24 horas	3120	96.720
TOTAL MENSUAL = 715.480 m³				
TOTAL ÉPOCA DE VERANO= 2.146.440 m³ (TRIMESTRAL)				

Tabla 7.8 Aporte de agua en verano de las perforaciones afectadas a la red de agua potable.

En invierno, las bajas temperaturas aplaca a la población habiendo menor lavado de automóviles, e incluso la higienización es menor sobre todo en lugares carenciados, trasladándose el ahorro hídrico al consumo de mayor energía eléctrica y gas. Por ello, se estima un consumo por habitante entre 350 a 400 litros diarios.

El detalle del consumo en invierno, es un 43% menor que en verano considerando el mismo ingreso del acueducto (600 m³/h), haciendo funcionar las perforaciones en función de las necesidades (Tabla 7.9).

Tabla de volumen de agua aportado por las perforaciones en época de invierno

Pozo	Caudal (m ³ /h)	Tiempo funcionamiento teórico	Caudal (m ³ /día)	Caudal (m ³ /mes)
Eposlar-Rotonda	140	24 horas	3.360	104.160
12 de Octubre	Detenido			
Obrador	Detenido			
Santa Rita (Las Torres)	Detenido			
San Nicolás	Detenido			
Fermín Morales	140	24 horas	3.360	104.160
Municipal 12	Detenido			
Remedios Escalada	Detenido			
Anguinán	130	24 horas	3120	96.720
TOTAL MENSUAL = 305.040 m³				
TOTAL ÉPOCA DE INVIERNO= 915.120 m³ (TRIMESTRAL)				

Tabla 7.9 Aporte en invierno de las perforaciones afectadas a la red de agua potable.

7.5. APTITUD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO (DOMICILIARIO O DOMESTICO)

En el año 2014, realizo la toma de muestras bajo las normas o protocolos vigentes, y seleccionando puntos estratégicos de los aportes más significativos para lograr la mayor representatividad posible de la región. (Datos Laboratorio de Alta Complejidad UNdeC) (Tabla 7.10).

7.6. DETERMINACIÓN FÍSICO QUÍMICA

Tabla de muestreo seleccionado, y resultados del agua de consumo humano.

Muestras		pH	Conductividad	Dureza	mg		mg			mg			Nitratos	Nitritos	Arsénico (µg/L)	Cromo	Cloro Libre	Cloro Total	Hierro	Fluoruros	Amonio	
					Ca	Mg	Na	k	Cloruros	bicarbonato	Sulfatos											
1,00	POZO LAS TORRES CIRCUNVALACION	7,30	685,00	371,00	80,56	41,25	121,81	54,00	5,00	45,21	146,42	81,29	272,92	5,45	0,02	1,43	0,03	0,00	0,00	0,06	1,52	0,22
2,00	POZO 12 DE OCTUBRE	7,31	613,00	392,20	76,32	48,98	125,30	54,00	5,00	27,13	131,78	71,29	230,19	4,91	0,03	11,43	0,05	0,10	0,10	0,38	1,37	0,17
3,00	POZO MUNICIPAL Nº12	7,41	461,00	286,20	67,84	28,36	96,20	23,50	4,00	27,13	102,50	55,29	184,91	6,34	0,01	14,29	0,04	0,00	0,00	0,08	1,57	0,28
4,00	POZO Nº 2 OCAMPO (ANGUINAN)	7,21	968,00	482,30	129,32	38,67	167,99	60,00	7,00	18,08	278,21	102,29	398,58	23,40	0,02	21,43	0,02	0,01	0,00	0,14	1,62	0,39
5,00	SANTA FLORENTINA (SIN TRATAR)	6,81	640,00	307,40	76,32	28,36	104,68	33,00	4,00	27,13	117,14	70,86	215,12	1,78	0,00	1,43	0,02	0,01	0,00	0,09	1,64	0,33
6,00	SANTA FLORENTINA (CON TRATAMIENTO)	7,20	462,00	233,20	67,84	15,47	83,31	30,00	4,00	45,21	117,14	66,86	229,21	1,39	0,20	14,29	0,02	0,02	0,40	0,03	1,47	0,28
		6,5-8,5		400 mg/l						<350		<400		<45	<0,10	<100 µg	<50 µg		<0,20	<0,20	<1,50	<0,2
														0,01 mg/l		0,05 mg/l				(Fe) máx.:		

Tabla 7.10 Aptitud físico química del agua para consumo humano

Contemplando las normas de CAA (Código Alimentario Argentino), de la determinación precedente se concluye que, salvo el pozo 12 de Octubre el resto poseen valores de *amonio* superiores a los valores permitidos. El **amonio** es un producto de desecho producido principalmente por las bacterias intestinales durante la digestión de las proteínas donde es convertido a urea y glutamina, pudiendo comprometer la salud humana. Además el amonio puede oxidarse y dar lugar a la formación de nitritos y nitratos, que entre otras cosas afecta a los menores promoviendo lo que se conoce como “**niños azules**”, por la falta correcta de la oxigenación de la sangre. (C Schultz 1918). Comparativamente la muestra del pozo Anguinán, al pertenecer a una región productiva presenta elevado registro de nitratos debido al retorno de riego en dicha región. Este fenómeno puede suscitarse en la Localidad de Sañogasta (distante 25 km al sudoeste de la ciudad de Chilecito) donde el nivel piezométrico se encuentra entre 6 a 8 metros, y la localidad no cuenta con saneamiento ambiental (cloacas).

Valores de **fluoruros en exceso** se registran en el agua de los **pozos Municipal, Anguinán y el agua del acueducto sin tratamiento**. En el acueducto con tratamiento, se detecta un exceso de *cloro total como así también de nitritos*.

El agua del pozo de Anguinán, es el único que posee valores en **exceso de dureza**, ratificado por nuevo análisis (Informe N°65 -Laboratorio de alta complejidad UNdeC) en el año 2016 registrando un valor de 585,75 mg/l CaCO₃ (máximo permitido 400 ppm). En el Diagrama Schöeller-Barkalof la magnitud de esta sal y el exceso significativo del ion calcio (Figura 7.6) se pone de manifiesto. Dicha situación permite establecer la evolución del agua del acuífero que, en esa región, el nivel piezométrico más cerca de la superficie por aproximarse al talweg del valle, es menos agresivo desde el punto de vista químico (menor cantidad de O₂ y CO₂ en la región de aireación del acuífero) pero existe una mayor acumulación e intercambio de sales debido a la mayor insolación de la región.

También para el año 2016, se consignan datos adicionales del agua de los pozos: Fermín Morales, Rotonda Circunvalación y 12 de Octubre (Barrio El Parque), para los parámetros Turbiedad, sólidos disueltos totales, pH, conductividad eléctrica, cationes, aniones y dureza, todos dentro de los valores permitidos de referencia de CAA. (Informe N°68-Laboratorio de Alta Complejidad UNdeC).

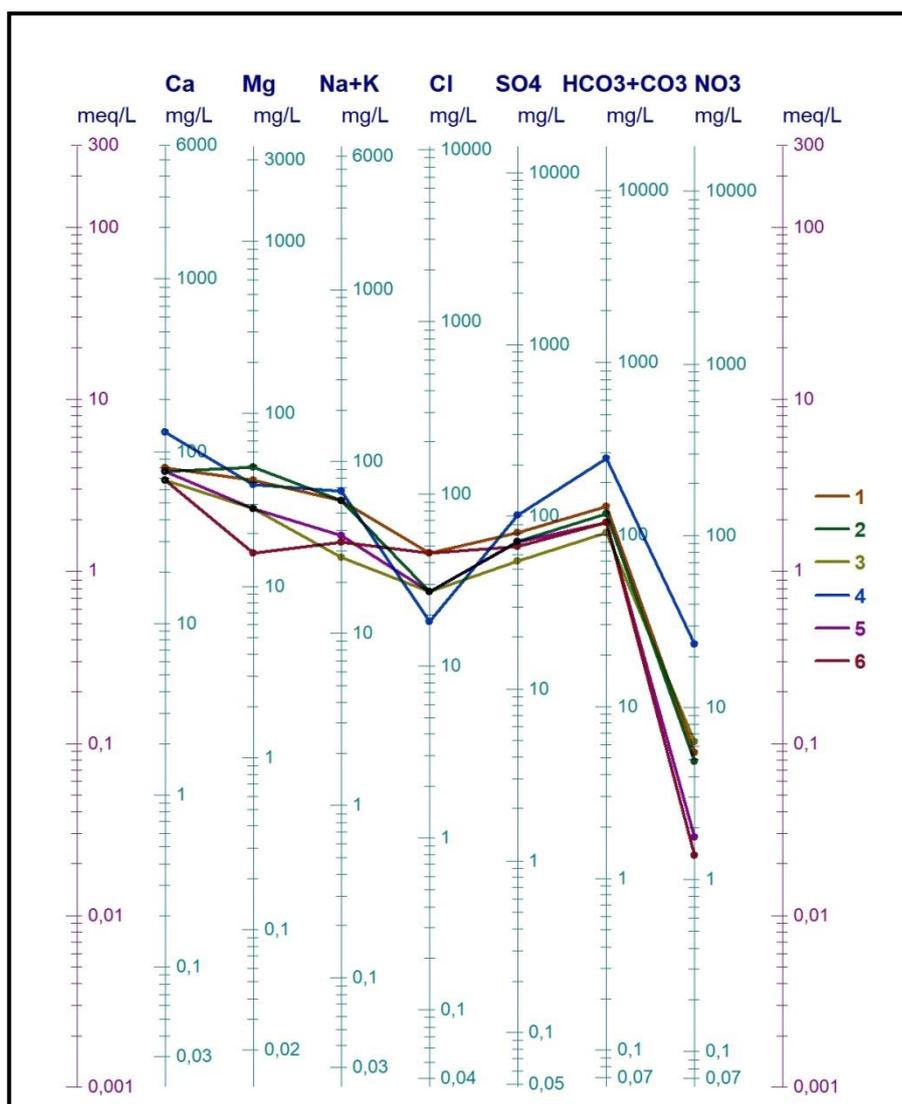


Figura 7.6 Diagrama de Schöeller- Barkalof

La caracterización de las aguas en función de los cationes y aniones principales, (Figura 7.7) por medio del diagrama Piper, la mayoría están dentro de la clasificación de Sulfatadas y/o Cloruradas Cálcidas con excepción a las aguas del Pozo Ocampo o Anguinán 2 por su dureza y frecuencia del catión Ca, le corresponde la clasificación de Bicarbonatada Cálcida.

No obstante, El diagrama propuesto por Stiff (Figura 7.7) (Davis y De Wiest, 1966) para la caracterización de aguas, permite apreciar rápidamente los valores de las relaciones iónicas con respecto a la unidad y a las variaciones de las relaciones entre

cationes o entre aniones. La figura muestra el diagrama tipo que se obtiene al graficar la composición química del agua, donde se puede indicar que todas las muestras representan a un agua bicarbonatada cálcica, en detrimento de la Sulfatada y/o Clorurada Cálcica. Indica que son aguas de mezcla producidas por la combinación, o interacción en mayor o menor grado, sobre todo en época estival donde ocurren importantes precipitaciones pasando al subsuelo sobreexplotado por el funcionamiento de la totalidad de las perforaciones para incorporar a la red.

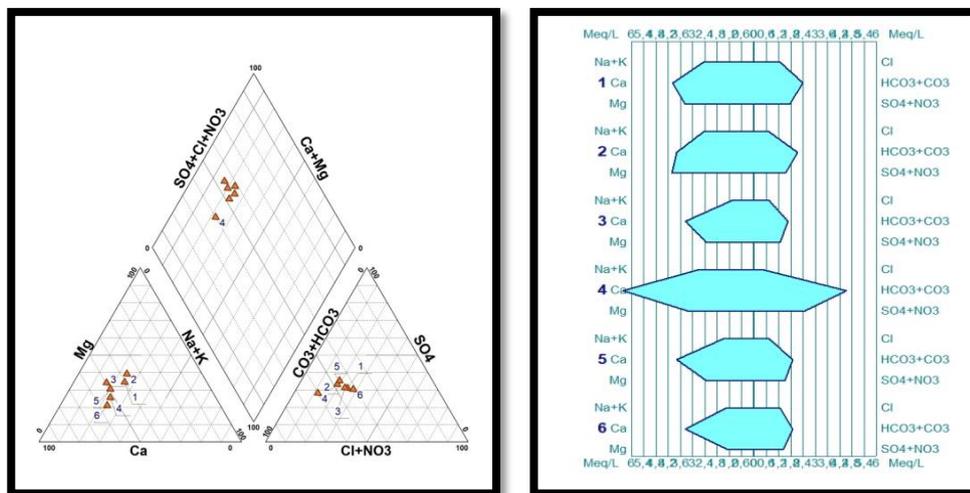


Figura 7.7 Diagrama de Piper y Stiff, mostrando prevalencia de aguas Sulfatadas y/o Cloruradas Cálcicas con excepción del pozo Ocampo Anguinán 2 (Bicarbonatada Cálcica) y caracterización de principales aniones y cationes respectivamente

También para el año 2016, se consignan datos adicionales del agua de los pozos: Fermín Morales, Rotonda Circunvalación, para los parámetros Turbiedad, sólidos disueltos totales, pH, conductividad eléctrica, cationes, aniones y dureza, todos dentro de los valores permitidos de referencia de CAA. (Informe N°68-Laboratorio de Alta Complejidad UNdeC). Los resultados se acreditan en Apéndice del proyecto.

7.7. RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

En el año 2016, se seleccionan las perforaciones Rotonda Circunvalación y Fermín Morales para determinar su aptitud para consumo humano. Los análisis se efectuaron en LAC UNDeC Informe N°68 (Se acredita en Apéndice su utilización) arrojando los siguientes resultados:

Bacterias aeróbicas mesófilas, bacterias coliformes totales, Coliformes Termotolerantes, Escherichia Coli, Pseudomona Aeruginosa, dentro de los valores normales o permitidos según referencia de CAA. (Informe N°68-Laboratorio de Alta Complejidad UNDeC-2016).

Con anterioridad, en análisis químico microbiológico de agosto de 2014 se comprueba la **presencia de la Bacteria Pseudomona Aeruginosa** en el agua potable de la Localidad de **Anguinán en la perforación homónima**. Lo antedicho, forma parte de investigaciones del agua efectuadas en la región de Chilecito dando lugar a informe y/o divulgación científica en las provincias de San Juan y Mendoza.

Se realiza la transferencia de los resultados del agua a los responsables de la administración del recurso, procediendo de inmediato a la **colocación de alambrado perimetral de la perforación Anguinán 2, reposición de cañerías y suspensión provisoria del servicio de consumo humano, entre las medidas precautorias.**

CONCLUSIÓN SOBRE LA APTITUD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

El recurso es finito, escaso e imprescindible para la vida. Se requiere educar a la población sobre la importancia que tiene el agua, de lo oneroso que es su disponibilidad/mantenimiento, y el poco valor que damos a los recursos naturales. Es muy importante la responsabilidad de quienes administran el recurso, en un sistema político y administrativo a veces endeble en dónde no siempre prevalece el control, la idoneidad, ética y empatía.

La aptitud del agua para consumo humano debe cumplir con los requerimientos mínimos que la ley exige. El recurso, debe controlarse en forma anual recayendo la responsabilidad al organismo de aplicación (IPALaR), quien debe exigir al concesionario (Aguas Riojanas Sapem) la frecuencia y el resultado óptimo del recurso alimenticio.

Como se estableció precedentemente, el amonio y el flúor están afectando la calidad físico química del agua de las perforaciones y acueducto en planta de agua potable.

Desde el punto de vista bacteriológico, en general las aguas incorporadas a la red son buenas. Con excepción del suministro de la perforación Ocampo Anguinán N°2, que con la presencia de bacterias nocivas señaladas y su elevada dureza debe controlarse.

Como antecedente del perjuicio de la misma bacteria (pseudomona Aeruginosa), se destaca la Perforación de Nonogasta “Estación Terminal” (15 km al sur de Chilecito fuera de proyecto), quedando fuera de servicio para consumo domiciliario. Lo antedicho se sustentó por Proyecto FiCyT 2012 M Jaular, presentada además al Delegado Regional IPALaR, para que obre en consecuencia, quien cotejó los resultados con nuevos informes químicos de la Administración Central para corroboración de los resultados.

Hay que destacar que, en las localidades periféricas a la ciudad de Chilecito, el control bacteriológico puede ser perturbado por mala infraestructura edilicia y por fallas humanas. Los controles deben ser sistemáticos y la responsabilidad de administración acorde a las circunstancias.

**CAPÍTULO 8: IMPLICANCIAS DE LA
GEODINÁMICA INTERNA Y EXTERNA
EN EL RECURSO HÍDRICO**

CAPÍTULO 8 : IMPLICANCIAS DE LA GEODINÁMICA INTERNA Y EXTERNA EN EL RECURSO HÍDRICO

La geodinámica externa contempla la acción de los agentes que operan en la superficie terrestre: viento, aguas continentales, mares, océanos, hielos, glaciares etc.; fenómenos éstos que van originando una lenta destrucción y modelación del paisaje terrestre, dando lugar en el tiempo a la formación tanto de materiales sueltos, modernos, como así también a rocas sedimentarias. En todo el planeta desde su conformación, operaron fuerzas internas y externas, es decir fuerzas constructivas y destructivas respectivamente dando lugar a la conformación de los diferentes relieves en primera instancia, y su posterior esculpido o modelado final. En definitiva, los procesos Naturales funcionan como sistemas dónde busca el permanente equilibrio de sus partes, con dificultades o no, para lograr sus objetivos.

En el Departamento Chilecito, y por ende en la región de estudio, existe un contexto ígneo antiguo constructivo como la Sierra de Paimán y gran parte de la Sierra de Famatina (ambas del paleozoico inferior), responsables (junto al aporte de la Sierra de Velasco hacia el este) de los grandes depósitos cenozoicos tanto del Valle Chilecito (al oeste del Paimán) como la depresión central del valle Antinaco Los Colorados (al este del Paimán). Por lo tanto, se conforman dos conos aluviales relevantes, el de Chilecito (trayecto Santa Florentina – Chilecito) y el de Los Sarmientos (Figura 8.1). Ambos, tienen una disposición este-oeste, perpendicular a los sistemas montañosos que le dieron origen. Es importante destacar, que no existe límite hidrogeológico porque los mismos se integran al amplio Valle Antinaco-Los Colorados que tiene una elongación norte-sur y la interferencia subterránea también es norte-sur.

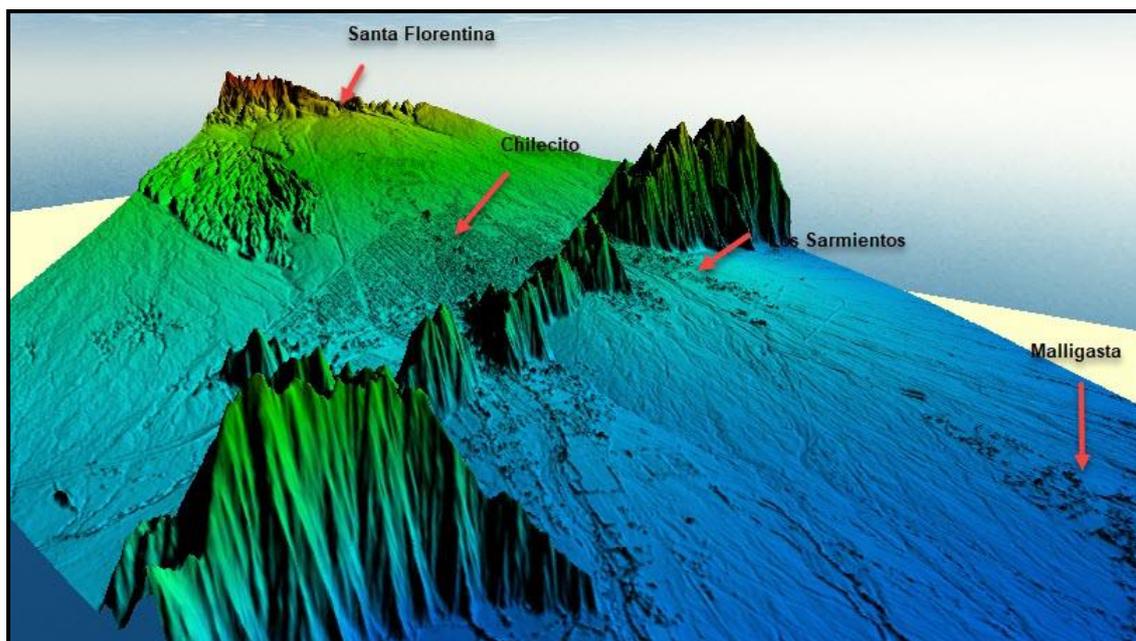


Figura 8.1 Imagen este-oeste. Valle de Chilecito y región central del valle Antinaco-Los Colorados, al occidente y oriente respectivamente. Las localidades se establecen en conos aluviales modernos, y la Sierra de Paimán (primer plano) constituye un nivel de base local.

Dicha situación estructural precitada, promueve una gran disconformidad erosiva, en gran parte “no conformidad” (contacto Ígneo/sedimentario) dando lugar a un basamento subyacente antiguo y secuencia sedimentaria suprayacente moderna con interés hidrogeológico cuyos estudios y consideraciones relevantes pasamos a discutir.

8.1. GEOFÍSICA

Teniendo en cuenta la geología, geomorfología, actividad hidrológica, imágenes satelitales; se procedió a analizar los aspectos geoelectricos de la región en función de los antecedentes disponibles.

8.1.1. Consideraciones generales del Valle Antinaco-Los Colorados hasta la latitud de Chilecito

El valle Antinaco-Los Colorados interactúa fundamentalmente con la región norte y noreste del proyecto, conformando características hidrogeológicas propias a la región, cuyos detalles e información relevante para su planteo se especifica de la siguiente forma (Figura 8.2).



Figura 8.2 Detalle Geoelectrico y su relación con la región de estudio. Obras e infraestructura inherente a la actividad hidrogeológica

En trabajos del CRAS (Centro Regional de Agua Subterránea 1973/74), se efectuó la valoración del Valle Antinaco-Los Colorados en su extensión norte-sur, donde las consideraciones geoelectricas se seleccionaron estratégicamente en direcciones este-oeste. Dicha valoración, fue sustentada por la información adicional de los perfilajes eléctricos de las perforaciones realizadas en esa época (no más de 100, actualmente hay 960 perforaciones en todo el valle pero solo funcionan entre el 55 a 60%), y el aporte logrado a partir de la investigación de M. Sosic detallado en boletín 123 del año 1971.

Cabe destacar el correlato efectivo entre los estudios geoelectricos (SEV) de aquella época con los resultados de la Perforación Antinaco, aún en producción y de buen rendimiento.

A título de ejemplo, en la latitud de la localidad de Antinaco (noreste del Proyecto) se encuentra la perforación homónima desde donde se extiende perfil B-B' (CRAS-Lámina 18 en Apéndice). En dicha sección, se establece el límite entre la zona seca y zona saturada determinado en terrenos cuyas resistividades van entre 100 a 300 ohm m, que se localiza alrededor de los 30 a 40 metros bajo la superficie. Se verifica dicha situación, en la medición de nivel de la perforación precitada. No obstante, hacia el oeste de la localidad y del perfil los niveles piezométricos tienden a profundizarse de acuerdo a corroboración de perforaciones contemporáneas, llegando a constatar el nivel estático a 142 metros (28°49'49"S; 67°23'56,2"O).

Se debe tener en cuenta que la perforación mencionada y otras que abastecen al minifundio de Chilecito (Malligasta CRAS 240 y CRAS 241 entre otras), tienen una antigüedad entre 50 a 55 años, realizadas en el gobierno de Guillermo Iribarren. Como ejemplo de lo antedicho, los caños camisa de las perforaciones precitadas son caños perforados que cumplen la función de rejillas, dentro de antepozos profundos.

En perfil D-D' (CRAS-Lámina 20), al este de la sierra de Paimán llegando hasta Malligasta, lamentablemente los trabajos geoelectricos se ven afectados por interferencia de cañerías enterradas de las localidades de Los Sarmientos y alrededores. Se determinó en los sondeos 26 y 27 a muy baja profundidad (7 a 10 metros), registros de resistividad muy bajos correspondiendo a depósitos salinos y materiales de granulometría de la fracción limos y arcillas.

La zona saturada se localiza en el recorrido este-oeste del perfil, donde el registro es de 60 ohmios m en primera instancia, luego en lugares donde la resistividad es de 50 ohmios m y por último en el punto 32 con valores de resistividad mayor a 100 ohm m.

En resumen, la región norte del valle Antinaco-Los Colorados (región de Capayán), con interferencia al presente Proyecto, puedo señalar que los depósitos del cuaternario (bloques cantos, gravas y arenas) constituyen los mejores reservorios de

agua. Inmediatamente subyace el terciario de materiales más finos como limos y arcillas relacionados con metamorfitas, de escaso o nulo interés hidrológico. Se puede considerar un nivel piezométrico planar con leve pendiente hacia el oeste. En el talweg del valles (región de Tilimuqui) el nivel piezométrico se localiza entre 97 a 100 metros de profundidad. Hacia el oeste, pasando Malligasta oeste más precisamente en el reservorio o estanque homónimo, el nivel se profundiza hasta los 138 a 141 metros atestiguado por las perforaciones existentes. Como la pendiente crece hacia el oeste, el nivel piezométrico se hace cada vez más profundo en esa dirección hasta la región de Los Sarmientos, en cercanías de la Sierra de Paimán.

8.1.2. Valoración del Cono aluvial Los Sarmientos (Localidades San Nicolás-Los Sarmientos-Tilimuqui-Malligasta)

La empresa Mercoaguas Servicios Hidrogeológicos y Ambientales, en el año 2014 realizó un estudio geoelectrico en la Localidad de San Nicolás a 4,6 km al norte de la Ciudad de Chilecito.

Dicha localidad se asienta sobre el cono aluvial de Los Sarmientos recibiendo por el norte, la interferencia geomorfológica e hidrogeológica del gran cono aluvial de Capayán.

La Empresa mencionada, realiza 9 SEV, en el predio de San Nicolás. La consideración oeste-este está representado por el corte geoelectrico AB que contiene la información de los SEV 1, 2, 7, 3 y 8 respectivamente, que se toma como referencia. (Figura 8.3).



Figura 8.3 San Nicolás. Corte Geoelectrico A-B oeste-este (SEV 1-2-7-3-8) (Reformulado de Mercoaguas Servicios Hidrogeológicos y ambientales)

De acuerdo al corte mencionado, se puede establecer los siguientes niveles subterráneos:

- a- Horizonte no saturado, desde la superficie hasta 76, 75, 71, 74 y 71 metros respectivamente. Esta zona se compone de granulometría media a gruesa, en estado seco y con valores e resistividad elevados y variable, entre 26 y 3700 Ohm m.
- b- Horizonte de interés, se desarrolla entre los valores citados precedentemente hasta 206, 205, 220, 206 y 234 metros respectivamente. Con valores eléctricos variables pero bajos, que se interpreta como gravas y arenas saturadas en agua.
- c- Tercer nivel, conformado por materiales conductivos que se desarrollan en principio, por debajo del relleno cuaternario. Este nivel se presenta a partir de los 206, 205, 220, 206 y 234 metros respectivamente en los sondeos SEV 1, 2, 7, 3 y 8. Estarían conformados por la alternancia de niveles arcillosos y arenosos, detectadas en perforaciones profundas piloto. Son rocas de muy baja permeabilidad, con bajas producciones, por lo que carecen de interés hidrogeológico.

Resumiendo, en base a la geoelectrica realizada, no se pudo definir la presencia en subsuelo de las rocas graníticas que conforman la Sierra de Paimán, pero se pudo determinar que la zona presenta un importante espesor cuaternario con un mínimo de 130m en los SEV1 y 2 y un máximo de 167m en el SEV 5 (600 metros al norte del corte A-B). En todos los sondeos se pudo definir un basamento hidrogeológico definido por rocas conductivas, con una resistividad promedio de 20 Ohm m, que se interpretan como rocas terciarias de baja permeabilidad, con bajos caudales de producción.

Hay que tener en cuenta en un futuro, la influencia hidrológica y geomorfológica que tiene el gran cono aluvial de Capayán por el norte, sobre el cono aluvial Los Sarmientos. Solo existen perforaciones en el sector noreste de la región en la zona de neoproducción, ya en Departamento Famatina y alejados del cono aluvial Los Sarmientos, donde se podría correlacionar datos del subsuelo con los conos aluviales mencionados.

No obstante, en función de los niveles piezométricos, la altitud topográfica y características litológicas, puede deducirse un escurrimiento del agua subterránea en dirección norte-sur a noroeste-sudeste (San Nicolás a Malligasta aproximadamente).

8.1.3. Cono Aluvial de Chilecito y Río Durazno

La ciudad de Chilecito, cuenta con un importante crecimiento demográfico en el nuevo siglo. Como se planteó en capítulos precedentes, los nuevos barrios se establecieron hacia el oeste de la ciudad, (Altos de Chilecito) en ambas márgenes de la ruta provincial N°14 que une la ciudad con la Localidad de Santa Florentina. Por supuesto trascendiendo la antigua Defensa Aluvional norte-sur, que protege a la ciudad de los escurrimientos fluviales del oeste. Dicha situación, promueve peligros de inundación en la región que ya fue comentada en este trabajo, haciendo mención al trabajo “Riesgo Aluvional”-Mapa de riesgo de la ciudad de Chilecito (Montero Hagen, *et al* 2010).

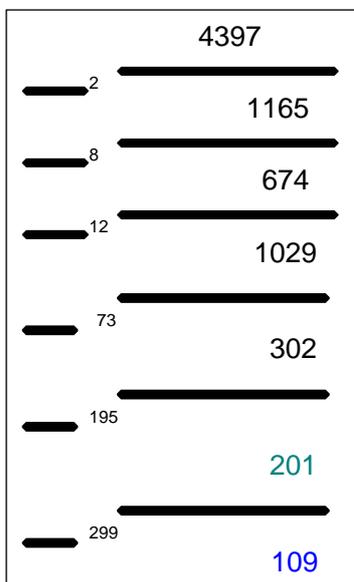
En esa región la Empresa Conhidro s.r.l. en el año 2009, realiza la prospección geoelectrica en Altos de Chilecito, con el objeto de establecer la factibilidad de

incrementar el caudal de abastecimiento de agua potable, a los nuevos barrios establecidos en la región (Figura 8.4).



Figura 8.4 Geoelectrica Altos de Chilecito. Reformulación de los trabajos de Conhidro (2009). Se adiciona la perforación 12 de Octubre, actualmente en funcionamiento al noroeste de la ciudad de Chilecito. En rojo Pozo 11 que a escasos 400 al oeste no se concluye pozo emprendido por Geogrup. También en rojo se consigna (entre sev 1 y sev 2) el fracaso de los trabajos del pozo denominado “Cementerio Parque”.

La interpretación del modelo físico-matemático obtenido mediante la prospección geofísica, se realizó teniendo en cuenta el ambiente geológico de la comarca. Los resultados de la investigación geoelectrica y la interpretación del modelo de cada sondeo eléctrico vertical, se resume a continuación:

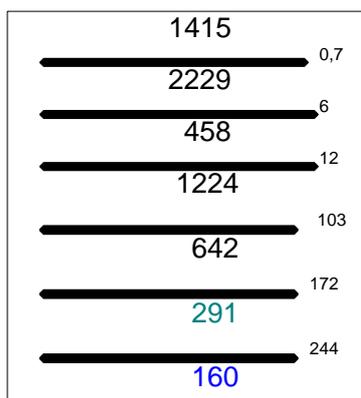


SEV 01 - Coordenadas: 29° 8' 9,2" – 67° 32' 18,4"
(Camino a La Isla)

El corte geoelectrico presenta una sucesión de siete electrocapas. Las cuatro primeras, con valores que van desde altos a muy altos de resistividad, corresponden a intercalaciones de sedimentos aluviales modernos (bloques,

gravas y arenas). A partir de los 73 y hasta los 195 metros de profundidad se observa una disminución de la resistividad (302 Ohm.m) que se interpreta como materiales gruesos secos pero con mayor participación de finos (arenas finas, limos y arcillas). Posteriormente se observa nuevamente una disminución de la resistividad (201 Ohm.m) lo que puede ser interpretado como los mismos materiales de la capa anterior pero saturados o bien la presencia de facies secas con mayor contenido de materiales finos (limos y arcillas). Por último a una profundidad de 299 metros se interpreta un nivel resistivo (109 Ohm.m) atribuido a la presencia de gravas y arenas saturadas, con intercalaciones de materiales limoarcillosos.

SEV 02 - Coordenadas: 29° 8' 31,6" – 67° 31' 41,9" (B° Altos de Chilecito)

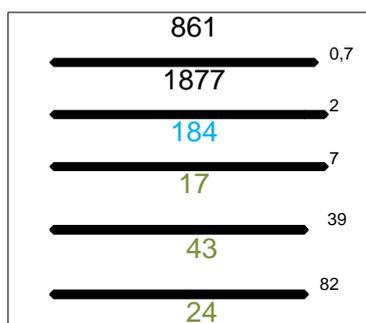


El corte geoelectrico presenta una sucesión de siete electrocapas. Las cuatro primeras, con valores que van desde altos a muy altos de resistividad, corresponden a intercalaciones de sedimentos aluviales modernos (bloques, gravas y arenas). A partir de los 103 y hasta los 172 metros de profundidad se observa una disminución de la resistividad (642 Ohm m) que se interpreta como materiales gruesos secos pero con mayor participación de finos (arenas finas, limos y arcillas). Posteriormente se observa nuevamente una disminución de la resistividad (291 Ohm.m) lo que puede ser interpretado como los mismos materiales de la capa anterior pero saturados o bien la presencia de facies secas con mayor contenido de materiales finos (limos y arcillas). Por último a una profundidad de 244 metros se interpreta un nivel resistivo (160 Ohm.m) atribuido a la presencia de gravas y arenas saturadas, con intercalaciones de materiales limoarcillosos.

SEV 03 - Coordenadas: 29° 9' 16,7" – 67° 30' 50,8"

Realizado a unos 840 m al NO del Pozo 11, tuvo una serie de dificultades de registro, propias de haberse realizado en un sector muy urbanizado, con tendidos eléctricos y ductos enterrados que le imprimen al sondeo un alto grado de incertidumbre.

SEV 04 - Coordenadas: 29° 7' 38,6" – 67° 34' 4,1" (450 m al NO del Camping)



El corte geoelectrico presenta una sucesión de seis electrocapas. Las dos primeras, con valores que van desde muy altos a altos de resistividad, corresponden a intercalaciones de sedimentos aluviales modernos secos (gravas, arenas y limos arcillosos). A partir de los 2 metros de profundidad se observa una disminución de la resistividad (184 Ohm.m) que se interpreta como los mismos materiales de la capa anterior pero saturado. Posteriormente, se observa una disminución de la resistividad en tres capas (17, 43 y 24 Ohm.m), que podrían representar a diferentes facies de la Formación Santa Florentina saturada.

Lamentablemente, son pocos los antecedentes de perforaciones en el cono aluvial. De todas formas el modelo geoelectrico planteado es concordante con la información del subsuelo disponible hasta el momento. Las obras de perforación que no pudieron completar su trabajo, son la de "Cementerio Parque" (localizada entre sev 1 y sev2 – Figura 8.4) y la perforación a 400 metros al oeste de Pozo 11 denominado Geogrup.

Existen algunos antecedentes de perforaciones que, sumado a los datos proporcionados por la geofísica realizada, indicarían la presencia de una **zona saturada profunda en la región de los SEV 1 y 2** (Figura 8.5), a niveles tales que habría que evaluar la conveniencia de extraer agua subterránea mediante perforaciones. Resulta

mucho más seguro y menos costoso, realizar obras de captación en el álveo de los ríos de la quebrada de Santa Florentina donde el agua está próxima a la superficie **SEV4** (tipo drenes), que explotan el recurso subterráneo sin costos energéticos a partir del río Durazno.

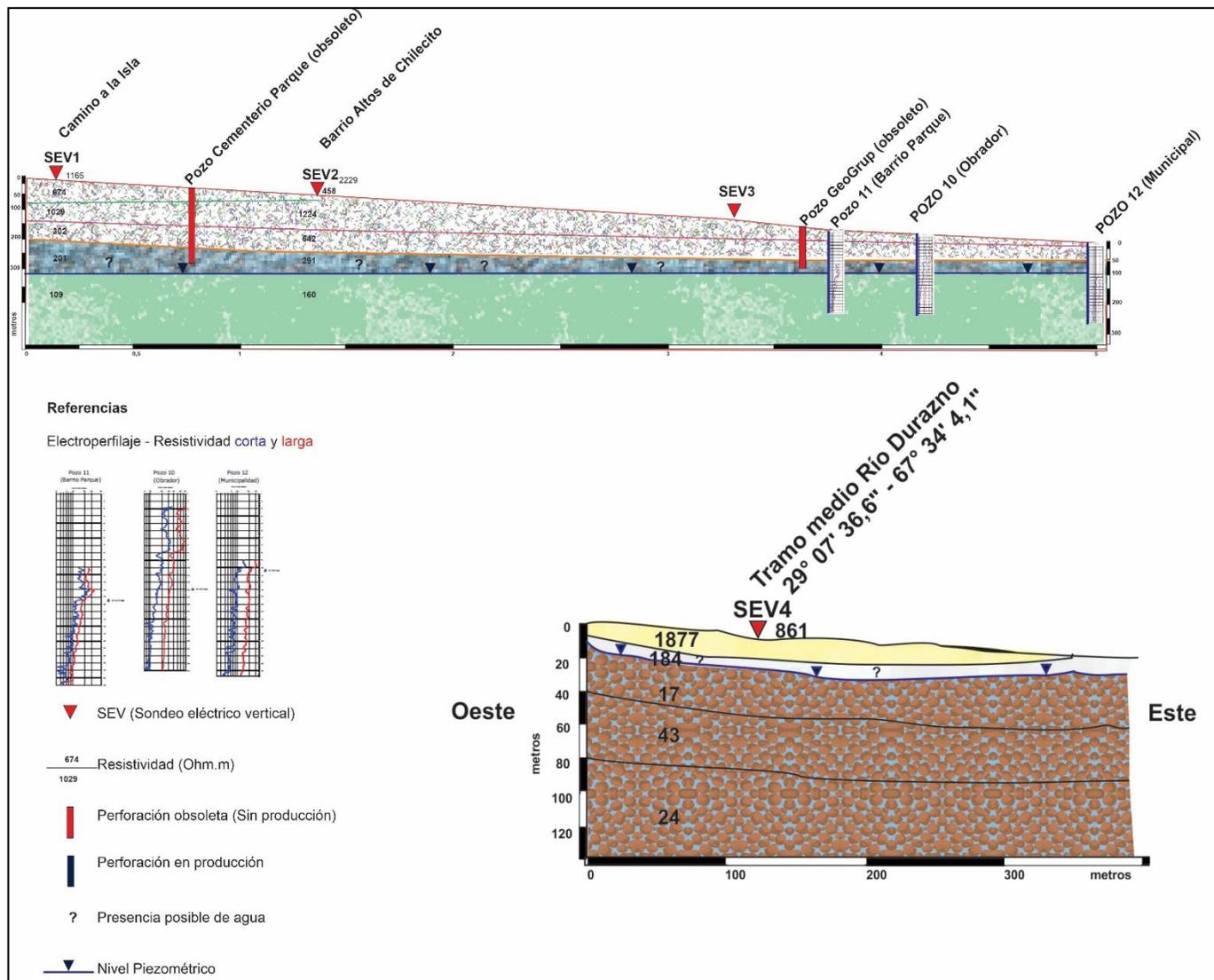


Figura 8.5 Hidrogeología y detalle geoelectrico de la región de estudio

ANTECEDENTES DE PERFORACIONES. TRAMO CHILECITO
SANTA FLORENTINA

Existen 4 perforaciones en la zona alta de la ciudad de Chilecito, tres de las cuales fueron realizadas en el año 2004 en un plan de obras llevado a cabo por la empresa **Aguas de la Rioja S.A.** El Cuarto antecedente está representado por una perforación realizada en el predio del Cementerio parque ubicado sobre la ruta a Santa Florentina. Según datos IPALaR se habrían explorado 260 metros, encontrando un nivel de agua a los 180 metros, que era rápidamente agotado ante un bombeo. Se abandonó dicha obra por esta cuestión. Además de las 4 perforaciones valoradas, se agrega datos hidráulicos de la perforación más occidental de la ciudad en funcionamiento, que es la de “12 de Octubre” que actualmente, abastece el sector norte de la ciudad (Tabla 8.1).

Tabla con características hidráulicas al oeste de la ciudad de Chilecito

Pozo	Cota msnm	Empresa/año	Profund. (metros)	NE	Caudal m ³ /h	Q Esp.
Pozo 10 (Obrador)	1158	CRAPSA/04	240	130,5	129	21,3
Pozo 11	1174	LOPEZ/04	260	145,7	125,5	19,6
Pozo 12 (Municipal)	1132	GEOGROUP/04	245	105,3	224	44,9
Cem Pque	1299	LOPEZ/03	?	180		?
12 De Octubre	1179	LOPEZ/14	244	150	140	20,4

Tabla 8.1 Datos hidráulicos de pozos involucrados en la región (Conhidro/2009), se agrega Pozo 12 de Octubre.

Si se observa la cota topográfica de los pozos 10, 11 y 12, contemplando los niveles estáticos obtenidos en cada pozo, se observa un comportamiento “planar” de la superficie piezométrica regional. Esto es, que el nivel estático en cada pozo se profundiza en los metros que la topografía aumenta de un punto a otro al alejarnos hacia el oeste de la ciudad. Si esta condición hidrogeológica se mantiene en zonas más altas, se podría proyectar un nivel estático teórico de **270 metros** en el pozo construido en el cementerio parque, explicando así el fracaso de dicha obra. Precisamente en el

Cementerio Parque, se verifica el mayor espesor volumétrico sedimentario del cono aluvial (Informe CRAS, 1973).

INTERPRETACIÓN

En concordancia con el modelo geoelectrico obtenido, se interpreta una región saturada muy profunda.

El escalón estructural en la localidad de Santa Florentina, las características de los materiales terciarios del subálveo, sumado a la interpretación del SEV4, otorgan el contexto propicio, para generar una zona saturada más superficial, con niveles piezométricos más altos, aunque podrían también estar asociados a rendimientos específicos muy bajos, por estar prácticamente en la zona de recarga del complejo acuífero existente y por tratarse de la convergencia hidrogeológica del río Durazno.

Lamentablemente, el **SEV 3** realizado a unos 840 m al NO del Pozo 11, tuvo una serie de dificultades de registro, propias de haberse realizado en un sector muy urbanizado, con tendidos eléctricos y ductos enterrados que le imprimen al sondeo un alto grado de incertidumbre.

En función de los planteos precedentes, se pueden formular algunas consideraciones relevantes:

- Geoelectricamente las electrocapas indican la presencia de materiales gruesos (gravas y arenas) con escasa presencia de materiales finos como limos y arcillas.
- Esta secuencia aluvial se encontraría saturada a profundidades variables entre los 299 y los 244 metros para los SEV 1 y 2 respectivamente, siendo esta interpretación coherente con los niveles estáticos obtenidos de algunos pozos cercanos.
- Existe una dualidad interpretativa que permite valorar niveles de saturación no tan profundos (195 y 172 metros para los SEV 1 y 2 respectivamente). A esta última interpretación la debilita el pozo perforado en el Cementerio Parque, que prácticamente se considera estéril.

- El SEV 4 realizado a 450 metros al NO del Camping de la quebrada (Río Durazno), muestra el potencial hidrogeológico existente a profundidades no mayores a 10 metros, asociado a los depósitos fluviales del río Durazno.

- A partir del registro de captación de agua subterránea proveniente del álveo del río mencionado, se obtienen caudales superiores a los 90 m³/h. Es utilizado actualmente por Aguas Riojanas sapem.

- Estando demostrado el potencial hidrogeológico del subálveo de los ríos en la zona, resulta recomendable la captación de los mismos y la conducción gravitatoria del agua hacia los nuevos loteos construidos en la zona alta de la ciudad de Chilecito.

- Como opción alternativa, y asumiendo la posibilidad de encontrar una zona saturada muy profunda, con los costos de perforación y bombeo que esto implica, se recomienda realizar una perforación exploratoria de 380 metros +/- el 20% en la posición del SEV 2. Habría que evaluar el costo/beneficio en el momento, antes de emprender los trabajos.

8.2. HIDROGEOLOGÍA

8.2.1. Introducción

El valle Antinaco-los Colorados, es uno de los más productivos del noroeste Argentino. Los productos elaborados vitivinícolas y actualmente olivícolas son los principales con trascendencia nacional e internacional.

Una gran difusión de estudios hídricos se estableció en la década del 70 y 80, bien sustentada no solo en la región sino en todo el país, por el programa de la ex Agua y Energía de la Nación. Lamentablemente, en la década del 90 con la privatización de Empresas del estado, dicho programa (lo concerniente a la provincia de La Rioja) pasó a depender de la Secretaría de Recursos Hídricos provincial, donde el recurso no fue ni es controlado fehacientemente.

Tanto la ciudad de Chilecito como sus Distritos, requieren del agua superficial y subterránea para consumo doméstico y riego de los cultivos. El recurso es cada vez más

escaso por lo que se recurre al agua del subsuelo para cubrir necesidades. En Tilimuqui se registró un descenso del nivel freático de 1,40m, casi 0,5m por año (E. Tálamo, 2017). En Vichigasta, IPALaR suspendió la realización de nuevas perforaciones en el año 2016. Dicha situación puede inducir a salinización del acuífero.

En la región de estudio, se recolectó información hidroquímica que se estableció en capítulo precedente. Comparando los años 2005 y 2015 (E. Miguel, J. González Ribot 2016) para la región del cono aluvial Los Sarmientos, establecen registros sin variación de conductividad en perforaciones, con valores que van desde 1000 uS.cm a 1300 uS.cm. Observando que el incremento de conductividad se manifiesta hacia el sudeste en Bajos de Santa Elena dónde manifiestan mayores índices de salinidad.

A partir de datos hidráulicos de las perforaciones involucradas en el proyecto, se construye plano de Isopiezas (Figura 8.6) a partir de la selección de las perforaciones 12 de Octubre, Municipal 12, y Fermín Morales respectivamente (Tabla 8.2). Tal procedimiento debería constatarse bianualmente, en la misma época del año, para ratificar la hidrodinámica subterránea y el control del acuífero.

Tabla de Perforaciones afectadas a la red de Agua Potable

a- Pozo “12 de Octubre” (Aguas Riojanas)				
Altitud	Coordenadas		Nivel Piezométrico	Caudal (m³/h)
1179 msnm	S 29°09'16,1”	O 67°30'38,0”	NE= 178m	Q= 140
b- Pozo “Aguas Riojanas A” (Rotonda)- (Pozo 11)				
1175 msnm	S 29°09'23,28”	O 67°30'36,62”	NE= 145,7m	Q=160
c- Pozo “Las Torres” - Aguas Riojanas (Circunvalación)				
1173 msnm	S 29°09'51,1”	O 67°30'31,3”	NE=167m	Q= 204
d- Pozo “Obrador” (Pozo 10 Santa Rita)				
1170 msnm	S 29°09'33,1”	O 67°30'25,1”	NE=130,5m	Q= 190

e- Pozo Municipal N°12				
1153 msnm	S 29°09'41,8"	O 67°29'58,4"	NE= 105 m	Q=162
f- Pozo San Nicolás				
1143 msnm	S 29°09'24,55"	O 67°30'02"	NE= 145m	Q= 128.6
g- Pozo Estanque Anguinán				
1017 msnm	S 29°11'13,62"	O 67°28'17,39"	NE= 131m	Q=151
h- Pozo N°2 "Ocampo"– Anguinán (CRAS 232)				
989 msnm	S 29°11'35,96"	O 67°27'44,88"	NE= 129 m	Q=138
i- Pozo Fermín Morales				
1139 msnm	S 29°09'18,8"	O 67°29'54,4"	NE= 142m	Q=132
j- Pozo Parque de la Ciudad				
1155 msnm	S 29°09'18,4"	O 67°30'11,7"	NE= ? Se pondrá en funcionam. en 2020	Q=?
k- Pozo N°2 - Malligasta (CRAS 241)				
1014 msnm	S 29°09'41,2"	O 67°27'27,2"	NE= 137m	Q= 140.6
l- Pozo N°2 "Ocampo"– Anguinán (CRAS 232)				
989 msnm	S 29°11'35,96"	O 67°27'44,88"	NE= 129 m	Q=138
m- Pozo Provincia (Tilimuqui)				
984 msnm	S 29°08'54,70"	O 67°26'29,63"	NE= 94m	Q=132

Tabla 8.2 Localización y datos hidráulicos de Perforaciones afectadas a la red de Agua Potable. Las perforaciones Malligasta (CRAS 241), Estanque Anguinán y Tilimuqui respectivamente comparten el fluido para irrigación.

Lamentablemente, cuando se planificaron las perforaciones en la región norte, en cercanías del actual y moderno parque de la ciudad se ejecutaron obras muy próximas entre sí. Por ejemplo la Perforación San Nicolás se establece a 317 metros al sudeste del reciente Pozo “Parque de la Ciudad” y a 277 metros al sudoeste del Pozo “Fermín Morales”. Esto sin duda afecta el rendimiento productivo, sobre todo en época estival dónde se utilizan simultáneamente.

La medición de niveles dentro del programa de monitoreo, debería realizarse anualmente en el valle Antinaco-Los Colorados para ratificar o rectificar el flujo subterráneo, cotejando o integrando valores con los del valle de Chilecito. Además es beneficioso para la valoración de los acuíferos y el control y estado de las perforaciones y Empresas privadas que operan en el valle. El banco de datos y su seguimiento, es imprescindible para dar sustento técnico a nuevas investigaciones y desarrollo de la región.

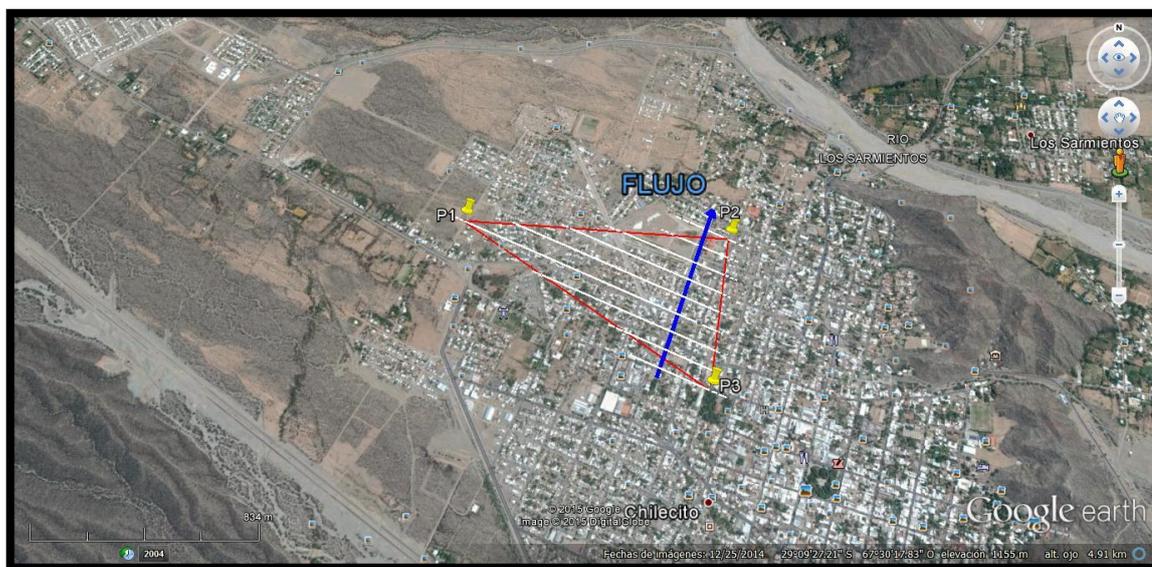


Figura 8.6 Isopiezas en la región norte de la ciudad de Chilecito.

La hidrodinámica de la región central del Valle Antinaco-los Colorados, en cercanías o incluyendo al cono aluvial Los Sarmientos, tiene dirección norte-sur a noroeste-sudeste. Lo anterior se sustenta, teniendo en cuenta la valoración geofísica planteada para la localidad de San Nicolás, estudios del CRAS (1973-1974) y del

trabajo “Evolución hidrodinámica e hidroquímica del acuífero...” (R.E. Miguel y J.V. González Ribot 2016).

8.2.2. Discusión sobre el comportamiento del acuífero

Dentro del amplio Valle Antinaco-los Colorados, elongado norte-sur, la región de estudio está acotada este-oeste con sus 300 km², compuesta por las regiones de captación, producción y sedimentación respectivamente con comunicación al cono aluvial los Sarmientos.

En la latitud ciudad de Chilecito, los conos aluviales en consideración, tuvieron su desarrollo a partir de una fosa tectónica generada por el ascenso del basamento cristalino antiguo que dio lugar al relleno aluvial terciario y cuaternario, siendo la Sierra de Paimán el pilar tectónico que discrimina la región central del Valle Antinaco-los Colorados al oriente, del Valle de Chilecito al occidente.

De acuerdo a la Geología, geofísica e información de perforaciones, para el Valle Chilecito (Latitud Ciudad de Chilecito- Localidad Santa Florentina), se deduce que el desarrollo del aluvial cuaternario, contiene al acuífero libre susceptible a explotación. Este gran cono aluvial, tiene su mayor espesor en la parte central sobrepasando los 400 metros, dónde el nivel freático, aproximadamente planar se desplaza lentamente hacia el este (Figura 8.7), profundizándose de este a oeste por la pendiente topográfica, detectando el nivel freático a los 244 metros al oeste del barrio Sagrada Familia (29°08'31,6"S; 67°31'41,9"O). En general, como ya se estableció, el agua es de buena calidad o aptitud para consumo humano como para irrigación. La capacidad productiva de pozos en la región (occidente y centro de Chilecito) varían entre 15.000 y 35.000 l/h/m.

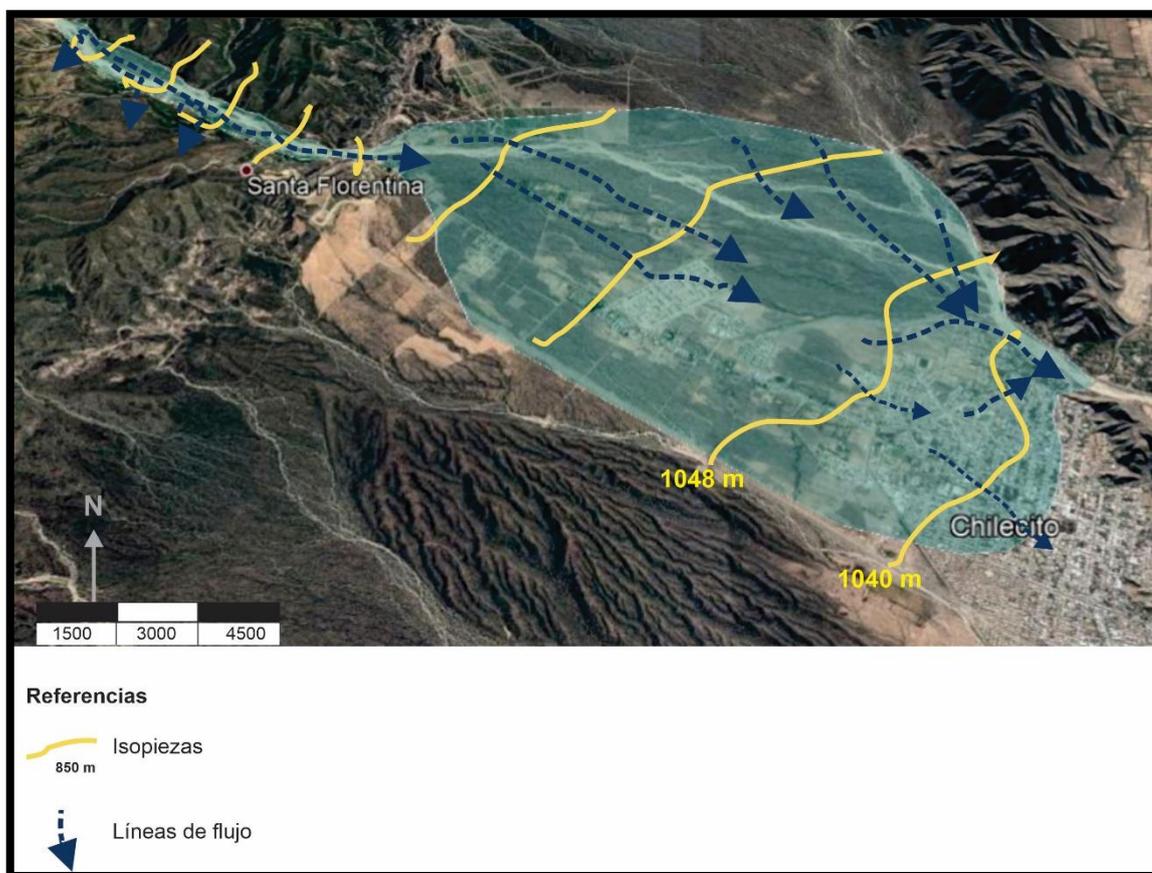


Figura 8.7 Isopiezas al oeste de la ciudad de Chilecito. Comportamiento del acuífero desde el río Durazno hasta la ciudad

En la región de “producción hidrológica” (Río Durazno), el agua subterránea está cerca de la superficie. Desde los 2 a los 7 metros se establece la saturación óptima, luego desde los 7 a los 70 metros aproximadamente existe una saturación “secundaria”, de menor calidad química y relacionada a la formación Santa Florentina. Precisamente desde la quebrada Santa Florentina, aguas arriba o hacia el oeste, si bien el agua es de buena calidad, se desarrolla sobre o en la formación terciaria, que le imprimen ciertas características salobres en profundidad (Formación Durazno), mejorando las condiciones en niveles superiores.

En la región del cono aluvial los Sarmientos y adyacencias (Figura 8.8), tiene un comportamiento similar al del Valle de Chilecito. La pendiente topográfica decrece hacia el este o sudeste (3 a 4%). El acuífero libre es lo que prevalece en la región del proyecto, dentro del cono aluvial con un espesor que se incrementa al este-sudeste

superando los 500 metros, dónde se pone en contacto con el terciario en profundidad y el basamento ígneo respectivamente. La región del acuífero al oeste (oriente de la Sierra Paimán), se localiza desde los 70 a los 220 metros de profundidad. A mayor profundidad, se encuentra el basamento terciario, de granulometría más fina e improductiva. Desde allí, hacia el este- sudeste, en Malligasta el acuífero se coteja con los niveles de los Pozos CRAS 240 y CRAS 241 (Reservorio de Malligasta), establecidos a los 137 metros. Al este de Malligasta (fuera de Proyecto), el acuífero se hace semiconfinado en la región del talweg del valle, dónde las resistividades son muy bajas por las sales presentes que tienen su influencia dentro del acuífero.

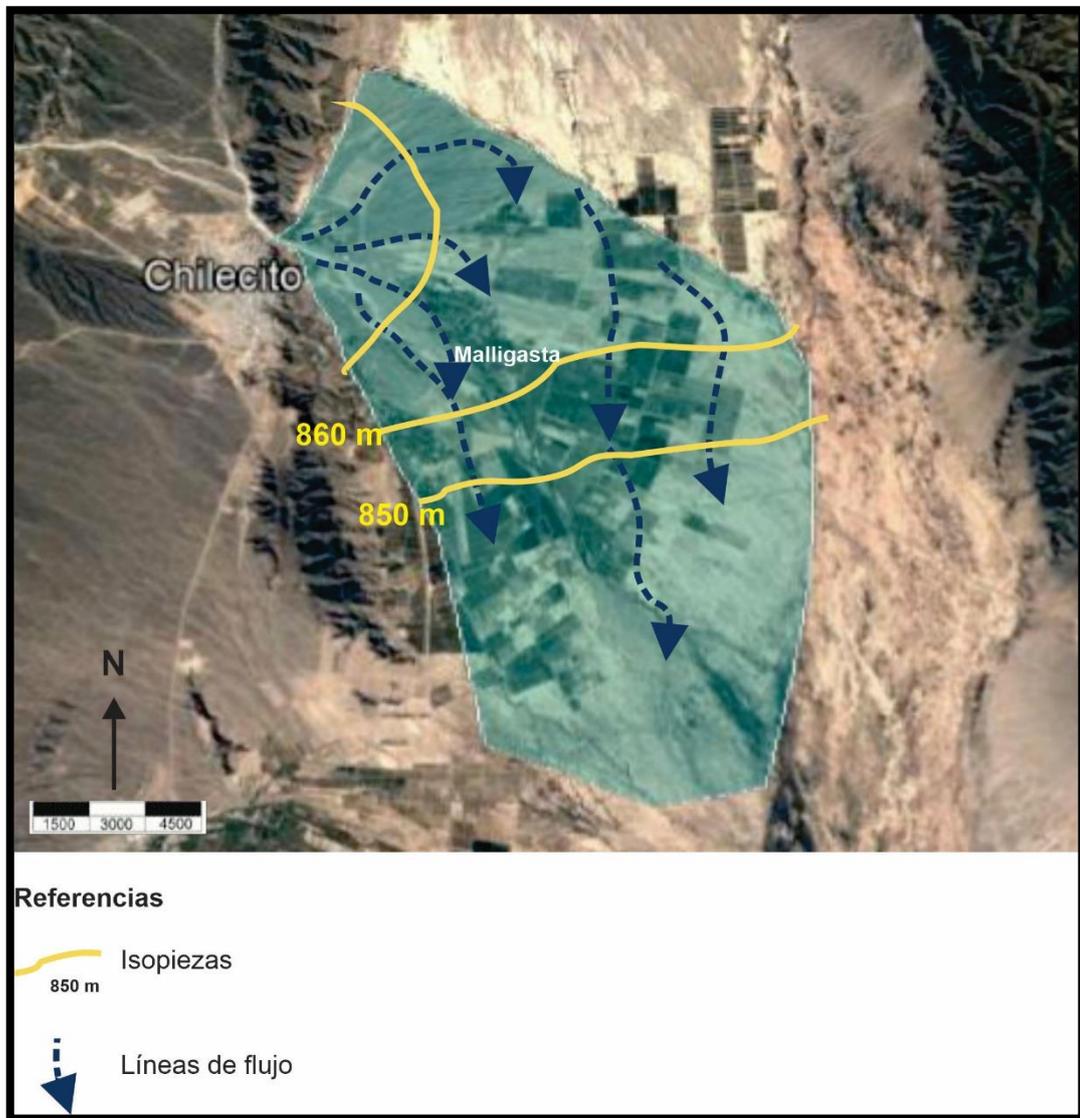


Figura 8.8 Isopiezas al este de la ciudad de Chilecito. Comportamiento del acuífero hasta el talweg del valle Antinaco-Los Colorados

8.2.3. Recarga

La determinación de la recarga de cualquier acuífero, no es tarea simple. La región de estudio corresponde a un área intermontana donde el agua meteórica incide en los materiales de distinta permeabilidad. En los materiales del basamento, la antigüedad de las rocas y las condiciones climáticas, promueven una intensa meteorización que sumado a la gran densidad de diaclasas y fallas, le otorgan a las rocas primitivas una permeabilidad secundaria a tener en cuenta. En otras palabras si bien el agua subterránea puede ingresar a la cuenca con relativa facilidad, puede egresar también a cuencas vecinas.

Las aguas del Basamento tienden a almacenarse puntualmente, cuando el volumen del agua excede al volumen rocoso, el agua tiene su apertura a la superficie como vertiente que van a alimentar al agua del subálveo de las quebradas o a los rellenos aluviales.

Las quebradas, constituyen fuentes de alimentación al acuífero comunicando sistemas distantes. Por las mismas, circulan grandes volúmenes de agua superficial en época estival, cuando las grandes precipitaciones constituyen grandes avenidas o crecientes. En la región, en sentido oeste-este, el Río los Sarmientos tiene apertura desde el valle Chilecito hacia la región central del Valle Antinaco-los Colorados donde se insume totalmente en “Bajos de Santa Elena,” en sentido norte-sur, o en cercanía de la Localidad de Nonogasta, respondiendo al sistema endorreico.

En las altas cumbres de la Sierra de Famatina, en latitud de Chilecito, las altas cumbres las precipitaciones son de nieve, no existiendo registros nivológicos. Valorando imágenes satelitales, verifico para el nuevo siglo una disminución de las “nieves eternas”, en coincidencia con el calentamiento global. El agua de deshielo, tiene su contribución, sobre todo en verano incidiendo en los caudales de la cuenca que da origen al río Durazno.

El agua de los asentamientos poblacionales, tiene una contribución de recarga, que estimo en un 4 a 5 % de la recarga total.

El agua de irrigación de las 1.300 hectáreas tiene su aporte, fundamentalmente en las regiones de San Nicolás, Los Sarmientos, Tilimuqui, Malligasta, Anguinán y San Miguel.

En concordancia con estimación de recarga pluvial (Sosic M. 1964) para el valle Antinaco-los Colorados, procedo a estimar groseramente la recarga de precipitación de la región de estudio. Considerando la superficie de 300 km^2 , con precipitaciones de 176 mm promedio de los últimos cinco años y considerando que sobre esa superficie, se insume un 10%, se obtiene:

- a- $0,0528 \text{ km}^3$ (Volumen de agua establecidos en 300 km^2 de la cuenca)
- b- $0,00528 \text{ km}^3$ (10%) Agua que se insume
- c- $0,00528 \text{ km}^3 = 5,28 \text{ Hm}^3 = 5.280.000 \text{ m}^3$ (Volumen anual de recarga pluvial en la cuenca de estudio)

Se considera que la postura o mecanismo de cálculo de Sosic, aplicado en este proyecto es conservadora pero nunca se infiltra más del 30% de lo precipitado. En la región de estudio, el volumen subterráneo es deducido a partir de la infiltración, al retorno del agua de riego, a la contribución e influencia demográfica y a la **contribución intangible de cuencas hidrogeológicas vecinas.**

8.2.4. Descarga

Se puede distinguir dos tipos de descargas, la natural y la artificial. La primera se efectúa a través de vertientes o alumbramientos y por las freatofitas. La segunda tiene que ver con la acción del hombre usando Perforaciones u obras de captación.

a- Vertientes

Las vertientes se localizan fundamentalmente sobre el río Durazno. Las captaciones “El Burro” en cercanías de la escuela “Las Higuieritas”, sobre el río Amarillo, es fundamental por su volumen. En margen izquierda del río durazno se encuentra “El Burro/Tofo”, y en tramo medio e inferior del mismo sobre margen derecha, recolectadas y aprovechadas por Aguas Riojanas. Salvo aquella vertiente que

nace y muere dentro de un predio particular (Ley Código 4295/83), le corresponde al propietario.

b- Freatófitas

El algarrobo se destaca por su gran consumo de agua, y se localiza en terrenos óptimos o más propicios que el resto de la región, pero en partes bajas, en este caso en zona distal del cono aluvial Los Sarmientos.

Otra de las freatofitas, es el Jume, que se establece en regiones bajas del valle, cerca del acuífero, en regiones de sedimentos de granulometría fina y del tipo salino.

En la región de las quebradas, se establece el Visco, que junto al Tala, consumen importantes volúmenes de agua del subálveo.

La influencia de las freatófitas no es relevante su consumo de agua en la región de estudio, más aun teniendo en cuenta que sobre los 3.000 ms.n.m. la vegetación por las condiciones climáticas está ausente.

c- Descarga Artificial

En la región, hay 22 perforaciones que a un promedio de 140 m³/h, totalizan un caudal Q=3.080 m³/h, promediando un uso diario de 6 horas obtenemos la siguiente descarga anual.

$$Q=18.480 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q=554.400 \text{ m}^3/\text{mes}$$

Q=6.652.800 m³/año, es la Descarga al año de las Perforaciones afectadas al minifundio que administra CONSUAGUA (Consortio de Usuarios de agua Chilecito), más las que utiliza Aguas Riojanas para incorporar a la red. Si bien es un volumen importante, hay que tener en cuenta que el agua retorna nuevamente al acuífero en forma significativa.

8.2.5. Balance Hídrico tentativo

De manera grosera, se puede establecer un balance hídrico tentativo. Si bien la cuenca tiene una superficie finita, 300 km², existe interferencia de recarga /descarga tanto en la ladera oriental del Famatina como el norte del valle Chilecito, como así también una importante componente norte-sur de la influencia o acción de los escurrimientos del centro del valle Antinaco-los Colorados.

Para una valoración más eficiente se incorporan conceptos y palabras claves, de acuerdo a recopilación de los Dres. Carlos Schulz y Rodolfo García en el marco del Plan Nacional Federal de Aguas Subterráneas (septiembre 2018):

En un balance hídrico simplificado la precipitación representa la entrada al sistema, escurriendo libremente por la superficie bajo la influencia de la gravedad. Cuando la recarga supera a la descarga, existe incremento de volumen subterráneo.

$$I - E \pm \Delta S = 0$$

I=Ingresos

E= Egresos

ΔS =Variación de agua almacenada

El agua que escurre a su vez puede seguir los siguientes caminos:

1. Parte es evaporada desde la superficie del curso **fluvial**, lagos y embalses.

2. Otra parte puede quedar retenida como **nieve o hielo** en lagos o embalses. Esta parte se conoce con el nombre de **Escorrimento Superficial Diferido**. En el proyecto es notorio en la en la región del Cerro General Belgrano, en la divisoria de aguas de esta cuenca los cuerpos o mantos de hielo que generan aportes, obviamente en época estival con mayor significación.

3. Finalmente una parte es el **Escorrimento Superficial Rápido** que sigue su camino a un nivel de base local y, finalmente, al mar. En el caso del río Durazno/Los Sarmientos, desciende por la pendiente de 3,5 a 4% correspondiendo al sistema endorreico.

El agua que se infiltra no obstante, se **evapora** en su recorrido e interactúa con la vegetación cuyas raíces incorporan agua que en su mayor parte la **transpiran**. También el agua que se infiltra circula por la zona no saturada y puede retornar a la superficie antes de llegar a la superficie freática, se conocen como **Escurrimiento Subsuperficial o Hipodérmico**. Es lo que ocurre con los diferentes alumbramientos sobre el río Durazno.

Teniendo en cuenta una infiltración eficaz de $5,28 \text{ hm}^3=5.280.000 \text{ m}^3$, adicionamos la incidencia probable e intangible de cuencas hidrogeológicas vecinas, más el retorno domiciliario y de perforaciones involucradas lo que hace un total de $4 \text{ hm}^3/\text{año}=4.000.000 \text{ m}^3/\text{año}$, se deduce lo siguiente:

a- Total de Recarga: $9,28 \text{ hm}^3/\text{año}=9.280.000 \text{ m}^3/\text{año}$

Ahora bien, las perforaciones involucradas, erogan un caudal $Q=6.652.800 \text{ m}^3/\text{año}=6,65 \text{ hm}^3/\text{año}$. Las vertientes y freatófitas descargan $900 \text{ l/h}=648.000 \text{ m}^3/\text{mes}=7.776.000 \text{ m}^3/\text{año}=7,77 \text{ hm}^3/\text{año}$.

b- Total de Descarga: $14,42 \text{ hm}^3/\text{año}=14.420.000 \text{ m}^3/\text{año}$

El Balance, $a-b= -5,14 \text{ hm}^3/\text{año}= -5.140.000 \text{ m}^3/\text{año}$, marcando un déficit de agua anual del subsuelo para los 300 Km^2 , teniendo en cuenta las contingencias presentes de la cuenca de estudio.

Se considera un balance tentativo, teniendo en cuenta la falta de datos hidráulicos concretos de la hidrogeología de cuencas vecinas, que permitan un cálculo más exhaustivo. Además es probable que la condición conservadora de Sosis, establezca un condicionante de volúmenes mayores.

CAPÍTULO 9: RESULTADOS ALCANZADOS Y CONCLUSIONES

CAPÍTULO 9 : RESULTADOS ALCANZADOS Y CONCLUSIONES

9.1. AGUA POTABLE CANTIDAD

Teniendo en cuenta la población de la ciudad de Chilecito, 33.983 habitantes con 13.600 a 14.000 clientes, el consumo o **demanda** de agua asciende a **10.608.000 m³/año**.

El aporte de las perforaciones afectadas a la red, es diferente según la época del año (Tabla 9.1). En verano es dónde se requiere mayor asistencia del servicio, superando por más del doble a la necesidad del invierno. Mientras que en otoño y primavera, la necesidad es intermedia entre las estaciones precitadas.

Tabla Volumen de agua anual

Estación	Volumen (m ³)	Porcentaje (%)
Verano	2.146.400	20,2
Invierno	915.120	8,62
Primavera	1.200.000	11,3
Otoño	1.720.000	16,2
Año	5.981.520	Total 56,38%

Tabla 9.1 Volúmenes de agua y porcentajes de uso de Perforaciones por estación del año

9.1.1. Aporte del Acueducto (Planta de Agua Potable)

El ingreso de agua a la Planta de tratamiento, depende de las condiciones climáticas, fundamentalmente de las precipitaciones. Tomando como referencia un valor alto del promedio de ingreso de agua a Planta, 529 m³/h (varía entre un mínimo de 100 y un máximo de 600 m³/h).

Se obtiene lo siguiente:

Un volumen de 304.704 m³ por mes y 4.634.040 m³ anual=43,68 %

En función de la Demanda de agua para consumo domiciliario, el aporte de las Perforaciones al sistema es del 55 a 60%, mientras que el aporte del Acueducto es del 40 a 45%.

La ciudad de Chilecito crece demográficamente con rapidez, es decir cada vez habrá mayor demanda de agua. Por otro lado el funcionamiento y por ende el costo de energía de las Perforaciones en uso debería restringirse. Para ello se requieren obras hídricas, aguas arriba de la planta de tratamiento para incrementar el caudal.

La Cultura de los pueblos no se cambia, por ello el derroche, mal uso, recreación, etc., deben controlarse y/o penalizar las conductas inapropiadas con el recurso.

9.2. AGUA POTABLE CALIDAD

El agua es indispensable para la vida, podemos permanecer varios días sin comer, pero no tantos sin consumir agua. No existe conciencia en la población, del costo del agua y lo dificultoso que es su disponibilidad para uso domiciliario.

9.2.1. Resultados Físico-químico del agua de perforaciones

En función del muestreo realizado en año 2014 (Laboratorio-UNdeC), obtenemos el siguiente detalle:

- a- **Amonio:** Salvo la muestra de la perforación 12 de Octubre, el resto resultó con valores por encima de los permitidos por el CAA (Código Alimentario Argentino). El amonio y amoníaco, pueden comprometer la salud humana. Pueden oxidarse, y ser aún más peligrosos en las formas nitritos y nitratos.
- b- **Fluoruros en exceso:** Se detectó excedentes en las perforaciones Municipal N°12, Anguinán (N°2 “Ocampo”) y acueducto Santa Florentina sin tratamiento.

La cantidad excesiva de flúor habitualmente se produce debido al consumo de agua subterránea naturalmente rica en flúor o cultivos que absorben el agua de riego que contiene esta sustancia. Una exposición prolongada, puede causar **fluorosis esquelética paralizante, que se asocia con la osteoesclerosis** (endurecimiento anormal de los huesos), la calcificación de los tendones y ligamentos, y deformidades de los huesos.

- c- **Dureza:** En la muestra de la perforación **Anguinán**, se registra exceso de este parámetro. Estos valores se ratifican, en análisis (Laboratorio-UNdeC) del año 2016.
- d- **Resultados adicionales LAC-UNdeC año 2016:** Datos adicionales en las perforaciones Fermín Morales, Rotonda Circunvalación y 12 de Octubre; los diferentes parámetros físico-químicos, arrojaron resultados dentro de los valores permitidos de referencia del CAA (Informe N°68-Laboratorio-UNdeC).

9.2.2. Resultados Microbiológicos

a- Presencia de Bacteria

En el año 2014, se detecta en Perforación Anguinán, la presencia de bacteria **pseudomona aeruginosa**. Dicho organismo en el agua puede ocasionar **neumonías, bronquitis o sinusitis**, en personas con las defensas bajas. Se informa la situación por escrito a los responsables de Aguas Riojanas para su conocimiento y fines que correspondan. Para el año 2015, como medida precautoria se suspende el suministro de agua, hay reposición de cañerías nuevas (parte superior), y se construye la protección perimetral de la perforación.

b- Habiendo tomado muestras de las perforaciones Fermín Morales y Rotonda Circunvalación se valoraron los siguientes parámetros:

Bacterias aeróbicas mesófilas, bacterias Coliformes totales, Coliformes termotolerables, Escherichia Coli, Pseudomona Aeruginosa.

Los resultados obtenidos, están dentro de los valores permitidos según referencia de CAA (Informe N°68 –Laboratorio-UNdeC. Año 2016).

El saneamiento Ambiental (cloacas), no guarda correlación con el porcentaje de domicilios conectados o afectados a la red de agua potable en la provincia de La Rioja (M Auge, 2004), 48 a 95% respectivamente. Otra particularidad es el hecho de que los **centros urbanos, cuentan con saneamiento, mientras que el sector rural carece del mismo**. Esto ocurre en el Departamento Chilecito, donde todas las localidades que rodean la ciudad, **no cuentan con el servicio**. Un caso típico, es lo que ocurre en la localidad de Sañogasta, donde el nivel freático está a 6 o 7 metros de profundidad, interactuando el mismo con los pozos negros o ciegos de las viviendas de la región. Varios barrios consumen agua potable a partir de perforaciones, con sistemas de cloración más bien inapropiados o dependientes de la disponibilidad del bactericida. (También, aún existen viviendas que consumen agua de aljibe). Esto puede dar lugar a que **nitritos y nitratos** ingresen a la red por medio de las perforaciones de B° Chucuma, B° El Pozo y B° Chacarita. Los posibles inconvenientes gastrointestinales y problemas respiratorios lo sufren primero los niños. Dicha situación, **se pone en conocimiento al Intendente electo para que obre en consecuencia (Nota noviembre de 2019)**.

El problema precitado, se puede acrecentar por falta de control a los requerimientos mínimos como por ejemplo la cloración en tiempo y forma, que a veces y por diferentes cuestiones administrativas o de operación, no se cumplen fehacientemente.

Las condiciones edilicias y de infraestructura del agua potable, deben tener la capacidad para generar buenos resultados: que el recurso llegue a la población como la **Ley ordena, en calidad y cantidad óptima**.

Los controles físico-químico y microbiológico, deberán hacerse anualmente o cuando la autoridad de Aplicación lo ordene, verificando y dando a conocer los resultados de los mismos.

9.3. AGUA PARA RIEGO CANTIDAD

Se toma como referencia, los escurrimientos históricos establecidos por Agua y Energía eléctrica de la Nación del siglo pasado (A y EE Nación) en el siglo pasado, en comparación con datos actuales.

En Tabla 7.5, se consignó un máximo de derrame o escurrimiento del río Durazno de 23,2 Hm³/año (periodo 1942/43), mientras que existió un mínimo de 13,3 Hm³/año (periodo 1941/42).

Algo más contemporáneo, los valores de A y EE Nación (Tabla 7.6) habiendo tomado los últimos cinco años (periodo 1977/82) se estableció un derrame o escurrimiento promedio de 37,4 Hm³/año, bastante superior a la década de 1940.

En la actualidad, en los últimos cinco años los aforos determinados en el Partidor “El Parque”, donde finaliza la conducción o módulo primario, es de 15,5 Hm³/año promedio=15.500.000 m³/año.

El volumen de escurrimiento del río Durazno, depende de las condiciones climáticas de la ladera oriental de la sierra de Famatina, a la latitud de la ciudad de Chilecito. Las precipitaciones, el agua de deshielo, y el agua de subsuelo se congregan en la cuenca del río Durazno constituyendo un recurso sustentable para la región.

En comparación con la década de fines de 1970 y comienzo de la década 1980, actualmente los valores han disminuido y tienen cierto correlato con la década del 40. Las obras de captación y Azudes establecidos aguas arriba, siguen cumpliendo un papel fundamental pues evitan la infiltración y evaporación del recurso.

Si bien el recurso cubre las necesidades mínimas para irrigar las 1300 hectáreas empadronadas de CONSUAGUA, en época estival se presentan inconvenientes de abastecimiento, dando lugar a una frecuencia de riego más espaciada en el tiempo.

Otro factor a favor de la distribución en tiempo y forma, es el hecho del achicamiento del minifundio en los últimos ocho años por diferentes motivos, siendo el fundamental el económico, pasando las fincas a la venta para viviendas como ocurre en las localidades de Los Sarmientos y Anguinán fundamentalmente.

El calentamiento global a futuro, puede incidir en la disminución volumétrica del recurso; por ello el costo/beneficio de las actividades minifundistas y el riego, deben ser eficientes para lograr buenos resultados que aliente al productor.

9.4. AGUA DE RIEGO CALIDAD

En el año 2006, IPALaR realiza un muestreo de aguas para evaluar la calidad química del agua con la que se irriga el minifundio de la ciudad de Chilecito. Los resultados relevantes son los siguientes:

Río Amarillo o “El Oro”: Conductividad muy elevada 1540 uS.cm, pH ácido=3,25, mientras que los iones principales mayoritarios en volumen son $\text{SO}_4=836$ mg/l, $\text{Cl}=253$ mg/l y en menor proporción pero presentes el calcio y sodio. En cuanto a metales trazas, que excede a todas las muestras se detectó Zn 12 mg/l.

Río Agua Negra: Bicarbonato $\text{CO}_3\text{H}=142$ mg/l, algo elevado, de pH=6,7 próximo a la neutralidad. También presentes en baja proporción calcio y sodio.

Río Cajón: Conductividad elevada 635 uS.cm, pH ácido=4,22, algo elevado es la presencia de $\text{SO}_4=352$ mg/l y $\text{Cl}=61$ mg/l, hay presencia no significativa pero más elevada que las consideraciones precedentes, de calcio y sodio.

La convergencia de estos ríos va a determinar la aptitud del Rio Durazno. El cotejo individual de los ríos mencionados, resulta relevante para tener presente los valores en el momento de obras para mejorar la conducción o cantidad del agua. En este sentido El agua Negra, además de las bondades que posee para riego, es codiciada por la aptitud alimenticia.

En el año 2014, se procede a realizar muestreo controlando la variable independiente, y los resultados son los siguientes:

Se corrobora la buena aptitud del Agua Negra, con pH prácticamente neutral. Se verifica aptitud del agua a la salida de los diferentes reservorios, que es el fluido que va directamente a los predios a irrigar, detectándose pH que ronda en 4,40 para los diferentes reservorios.

La conductividad del río Amarillo o “El Oro” es de 836 uS.cm sigue siendo elevada, pero no tanto como lo señalado en análisis IPALaR (2006), de todas formas incide sobre el río Durazno que es de 599 uS.cm, al ingreso de los diferentes estanques o reservorios.

El río Durazno es el más representativo, tiene un poder de sodificación (RAS) dentro de los valores tolerables para riego. El cotejo de las normas *Riverside*, para calificar su aptitud para riego, es la siguiente:

***Peligro de salinización medio**

***Peligro de alcalinización bajo**

El agua que se distribuye para irrigación es óptima. Los estanques o reservorios ayudan a eliminar los finos y parte de la química, que decantan, anualmente se extrae entre 0,40 a 0,7 metros de espesor de lodo del fondo de los mismos.

En otros términos, los estanques funcionan eficientemente como “filtros” de los sedimentos finos, permitiendo agua menos turbias, restringiendo su posible capacidad impermeabilizante primitiva, a los suelos a irrigar.

La actividad antrópica, la falta de conciencia de la población, las conducciones a cielo abierto o en malas condiciones; son elementos que contribuyen al deterioro ambiental arrojando basura, efluentes domiciliarios, aceites y sus derivados, animales muertos, etc., protegidos lamentablemente por la falta de control del recurso, que merece una mayor valoración.

Ni siquiera la pérdida de vidas humanas en la conducción del recurso, permitió revertir sustancialmente el control, la toma de conciencia y decisiones, para restituir la coherencia y obrar en consecuencia.

CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta la población de la ciudad de Chilecito, 33.983 habitantes con 13.600 a 14.000 clientes, el consumo o demanda de agua para uso domiciliario asciende a 10.608.000 m³/año.

- El aporte anual de las perforaciones afectadas a la red es de 5.981.520 m³ y representa el 56,38 %. En verano es dónde se requiere mayor asistencia del servicio el aporte de perforaciones es de 2.146.400 m³ (20,2 %), superando por más del doble a la necesidad del invierno 915.120 m³ (8,62%). Mientras que, en otoño y primavera, la necesidad es intermedia entre las estaciones precitadas.

- El ingreso de agua a la planta de tratamiento por aporte del Acueducto proveniente de captaciones en la subcuenca del Río Durazno, destinada a consumo domiciliario, se estima en 4.634.040 m³ anual, representando alrededor del 43,68%.

- En función de la Demanda de agua para consumo domiciliario, el aporte de las Perforaciones al sistema es del 55 a 60%, mientras que el aporte del Acueducto es del 40 a 45%. Por el momento el sistema absorbe la demanda, no obstante hacen falta obras para poder abastecer a la creciente población de la región.

- Los resultados Físico-químicos del agua de perforaciones evidencian la presencia de Amonio, con valores por encima de los permitidos por el CAA (Código Alimentario Argentino), salvo la perforación 12 de Octubre. Parámetro a tener en cuenta para su tratamiento.

- En algunas perforaciones, Fluoruros en exceso, en perforaciones y acueducto Santa Florentina sin tratamiento. También la dureza excede el valor normal en Pozo N°2 Anguinán.

- Los Resultados Microbiológicos de los últimos muestreos de perforaciones, están dentro de los valores permitidos según referencia de CAA (Informe N°68 –Laboratorio-UNdeC. Año 2016).

- La ciudad de Chilecito crece demográficamente con rapidez, es decir cada vez habrá mayor demanda de agua. Por otro lado, el funcionamiento y por ende el

costo de energía de las Perforaciones en uso debería restringirse. Para ello se requieren obras hídricas, aguas arriba de la planta de tratamiento para incrementar el caudal.

- La Cultura de los pueblos no se cambia, por ello el derroche, mal uso, recreación, etc., deben controlarse y/o penalizar las conductas inapropiadas con el recurso.

- El volumen de escurrimiento del río Durazno, depende de las condiciones climáticas de la subcuenca del río Durazno, en la ladera oriental de la sierra de Famatina. En comparación con la década de fines de 1970 y comienzo de la década 1980, los valores han disminuido y tienen cierto correlato con la década del 40.

- Las obras de captación y Azudes establecidos aguas arriba, siguen cumpliendo un papel fundamental pues evitan la infiltración y evaporación del recurso.

- En los últimos cinco años los aforos determinados en el Partidor “El Parque”, donde finaliza la conducción o módulo primario, es de 15,5 Hm³/año promedio=15.500.000 m³/año.

- Si bien el recurso cubre las necesidades mínimas para irrigar las 1300 hectáreas empadronadas de CONSUAGUA, en época estival se presentan inconvenientes de abastecimiento, dando lugar a una frecuencia de riego más espaciada en el tiempo.

- Río Amarillo o “El Oro” presenta conductividad muy elevada 1540 uS.cm, pH ácido=3,25, mientras que los iones principales mayoritarios en volumen son SO₄=836 mg/l, Cl=253 mg/l y en menor proporción, pero presentes el calcio y sodio. En cuanto a metales trazas, que excede a todas las muestras se detectó Zn 12 mg/l.

- Río Agua Negra: Bicarbonato CO₃H=142 mg/l, algo elevado, de pH=6,7 próximo a la neutralidad. También presentes en baja proporción calcio y sodio. Además de las bondades que posee para riego, es codiciada por la aptitud alimenticia.

- Río Cajón: Conductividad elevada 635 uS.cm, pH ácido=4,22, algo elevado es la presencia de SO₄=352 mg/l y Cl=61 mg/l, hay presencia no significativa pero más elevada que las consideraciones precedentes, de calcio y sodio.

- El río Durazno tiene un poder de sodificación (RAS) dentro de los valores tolerables para riego. El cotejo de las normas Riverside, para calificar su aptitud para riego, es Peligro de salinización medio y Peligro de alcalinización bajo.
- El agua que se distribuye para irrigación es óptima. Los estanques o reservorios ayudan a eliminar los finos y parte de la química, que decantan, anualmente se extrae entre 0,40 a 0,7 metros de espesor de lodo del fondo de los mismos.
- Cono aluvial Los Sarmientos (Localidades San Nicolás-Los Sarmientos-Tilimuqui-Malligasta). En base a la geoelectrónica realizada, no se pudo definir la presencia en subsuelo de las rocas graníticas que conforman la Sierra de Paimán, pero se pudo determinar que la zona presenta un importante espesor cuaternario con un mínimo de 130m y un máximo de 167m. Se pudo definir un basamento hidrogeológico definido por rocas conductivas, que se interpretan como rocas terciarias de baja permeabilidad, con bajos caudales de producción. En función de los niveles piezométricos, la altitud topográfica y características litológicas, puede deducirse un escurrimiento del agua subterránea en dirección norte-sur a noroeste-sudeste (San Nicolás a Malligasta aproximadamente).
- Cono Aluvial de Chilecito y Río Durazno. Existen algunos antecedentes de perforaciones que, sumado a los datos proporcionados por la geofísica realizada, indicarían la presencia de una zona saturada profunda (En B° Altos de Chilecito), a niveles tales que habría que evaluar la conveniencia de extraer agua subterránea mediante perforaciones. Resulta mucho más seguro y menos costoso, realizar obras de captación en el álveo de los ríos de la quebrada de Santa Florentina (tipo drenes) que explotan el recurso subterráneo sin costos energéticos.
- Entre Chilecito y Santa Florentina, se observa un comportamiento “planar” de la superficie piezométrica regional, lo que en zonas más altas, se podría proyectar un nivel estático teórico a gran profundidad, por ejemplo de 270 metros en el pozo construido en el cementerio parque. Lo antedicho, se fundamenta en que la pendiente crece hacia el oeste.

- A partir del registro de captación de agua subterránea proveniente del álveo del río Durazno, se obtienen caudales superiores a los 90 m³/h. Es utilizado actualmente por Aguas Riojanas sapem.
- Estando demostrado el potencial hidrogeológico del subálveo de los ríos en la zona, resulta recomendable la captación de los mismos y la conducción gravitatoria del agua hacia los nuevos loteos construidos en la zona alta de la ciudad de Chilecito.
- La hidrodinámica de la región central del Valle Antinaco-los Colorados, en cercanías o incluyendo al cono aluvial Los Sarmientos, tiene dirección norte-sur a noroeste-sudeste.
- Para el Valle Chilecito (Latitud Ciudad de Chilecito- Localidad Santa Florentina), se deduce que el desarrollo del aluvial cuaternario, contiene al acuífero libre susceptible a explotación. Este gran cono aluvial, tiene su mayor espesor en la parte central sobrepasando los 400 metros, donde el nivel freático, aproximadamente planar, se profundiza de este a oeste por la pendiente topográfica. En general, el agua es de buena calidad o aptitud para consumo humano como para irrigación. La capacidad productiva de pozos en la región (occidente y centro de Chilecito) varían entre 15.000 y 35.000 l/h/m.
- En la región de “producción hidrológica” (Río Durazno), el agua subterránea está cerca de la superficie. Desde los 2 a los 7 metros se establece la saturación óptima, luego desde los 7 a los 70 metros aproximadamente existe una saturación “secundaria”, de menor calidad química y relacionada a la formación Santa Florentina. Precisamente desde la quebrada Santa Florentina, aguas arriba o hacia el oeste, si bien el agua es de buena calidad, se desarrolla sobre o en la formación terciaria, que le imprimen ciertas características salobres en profundidad (Formación Durazno), mejorando las condiciones en niveles superiores.
- En la región del cono aluvial los Sarmientos y adyacencias, tiene un comportamiento similar al del Valle de Chilecito. La pendiente topográfica decrece hacia el este o sudeste (3 a 4%). El acuífero libre es lo que prevalece en la región del proyecto, dentro del cono aluvial con un espesor que se incrementa al este-sudeste

superando los 500 metros, dónde se pone en contacto con el terciario en profundidad y el basamento ígneo respectivamente. La región del acuífero al oeste (oriente de la Sierra Paimán), se localiza desde los 70 a los 220 metros de profundidad. A mayor profundidad, se encuentra el basamento terciario, de granulometría más fina e improductiva. Desde allí, hacia el este- sudeste, en Malligasta el acuífero se coteja con los niveles de los Pozos CRAS 240 y CRAS 241 (Reservorio de Malligasta), establecidos a los 137 metros. Al este de Malligasta (fuera de Proyecto), el acuífero se hace semiconfinado en la región del talweg del valle, dónde las resistividades son muy bajas por las sales presentes que tienen su influencia dentro del acuífero.

- La recarga del acuífero, en un área intermontana dónde el agua meteórica incide en los materiales de distinta permeabilidad, que por intensa meteorización, sumado a la gran densidad de diaclasas y fallas, le otorgan a las rocas primitivas una permeabilidad secundaria a tener en cuenta, dando lugar a vertientes, que van a alimentar al agua del subálveo de las quebradas o a los rellenos aluviales. En concordancia con estimación de recarga pluvial (Sosic M. 1964) para el valle Antinacolos Colorados, se estima en $0,00528 \text{ km}^3 = 5,28 \text{ Hm}^3 = 5.280.000 \text{ m}^3$ el volumen anual de recarga pluvial en la cuenca de estudio.

- La primera descarga natural se efectúa a través de vertientes o alumbramientos y por las freatofitas. Las captaciones “El Burro” en cercanías de la escuela “Las Higuieritas”, sobre el río Amarillo, es fundamental por su volumen. En margen izquierda del río durazno se encuentra “El Burro/Tofo”, y en tramo medio e inferior del mismo sobre margen derecha, recolectadas y aprovechadas por Aguas Riojanas.

- La descarga artificial tiene que ver con la acción del hombre usando Perforaciones u obras de captación. En la región, hay 22 perforaciones que a un promedio de $140 \text{ m}^3/\text{h}$, totalizan un caudal $Q=3.080 \text{ m}^3/\text{h}$, promediando un uso diario de 6 horas obtenemos una descarga anual de $Q=6.652.800 \text{ m}^3/\text{año}$.

- El valor del Balance Hídrico tentativo es de $-5,14 \text{ hm}^3/\text{año} = -5.140.000 \text{ m}^3/\text{año}$, estableciendo un déficit de agua anual del subsuelo para los 300 Km^2 .

CAPÍTULO 10: RECOMENDACIONES FINALES

CAPÍTULO 10 : RECOMENDACIONES FINALES

- 1- El agua como alimento es imprescindible para la vida. El recurso con que hoy cuenta el mundo en todas sus formas, es la misma que cuando se formó el planeta, por ello debemos preservarla para cubrir eficientemente las necesidades básicas del hombre.

El acelerado incremento demográfico de la ciudad de Chilecito, preocupa a las autoridades de Aguas Riojanas Sapem, para poder cumplir no solo en el presente sino también a futuro con el suministro del recurso.

Teniendo en cuenta la aptitud del Agua Negra, se justifica un minucioso estudio geofísico aguas arriba del Azud homónimo, para confirmar volumen del subsuelo y llevarlo a superficie mediante pantalla impermeable o drenes.

- 2- La captación “El Burro-Tofo”, requiere monitoreo y mantenimiento para mejorar su aptitud. Además hay que otorgar seguridad a la infraestructura de dicha cámara, ya que las tapas o compuertas están sin bisagras, oxidadas y sin protección de candados, donde cualquier transeúnte tiene acceso a las mismas.

En forma contigua a dicha captación, propongo la posibilidad de nueva captación de agua en la región que denomino “Sudamérica”, ya que cuenta con las mismas características hidrológicas de la captación precitada, sin perjuicio de esta.

- 3- De suma importancia o trascendental, la realización de pantalla impermeable en el Azud Santa Florentina al finalizar el río Durazno. El agua del subálveo está entre 2 a 7 metros, con posibilidad de mayor profundidad, y de volumen suficiente para duplicar el actual suministro. Idéntica iniciativa se puede tomar en la región “El Burro”, en cercanías de la escuela rural Sixto A. Brizuela.
- 4- La realización de perforaciones para incrementar caudal a la red, en el piedemonte o cono aluvial Chilecito, no es recomendable. El nivel freático aproximadamente planar, se establece cada vez a mayor profundidad a medida que nos dirigimos hacia el oeste. Habría que cotejar el

costo/beneficio para una obra de tal envergadura, con malos antecedentes existentes de empresas que no lograron su cometido por no llegar a una profundidad conveniente.

- 5- En la región del cono aluvial Los Sarmientos con influencia en las localidades de Anguinán y Malligasta, el nivel freático más próximo a la superficie podría justificar la realización de perforaciones, previa selección estratégica de las obras, respeto por las distancias de las perforaciones y el costo/beneficio sea el esperado. IPALaR debe controlar exhaustivamente lo antedicho y penalizar a las perforaciones realizadas sin la autorización previa de la Autoridad de Aplicación. Lamentablemente esto último no siempre se cumple, perdiendo el registro de obras y por supuesto, datos importantes del acuífero.
- 6- Existe la posibilidad de incrementar el caudal de irrigación, recolectando el excedente de agua del río Durazno en los meses donde no es imprescindible el riego, para suministrarlo en época de mayor demanda, o emergencia hídrica. El volumen de agua que excede la capacidad del Canal o módulo primario, se envía al río. He observado que en los meses de abril a junio (en ocasiones hasta julio), ese excedente de agua circula oeste-este en el valle de Chilecito, para luego lograr el recorrido norte-sur en el Valle Antinaco-Los Colorados donde se insume, respondiendo a la cuenca endorreica. El caudal que escurre, promedio es de $Q=1.200 \text{ l/s} = 4.320 \text{ m}^3/\text{h}$, luego se deduce una reserva anual de:

$$\text{Volumen} = 9.331.200 \text{ m}^3/\text{trimestre/año}$$

Dicha obra, podría materializarse (Figura 6.24) al costado noreste del río Los Sarmientos, sobre su margen izquierda, a 1.000 metros al norte de la ciudad de Chilecito. La misma, constaría de una superficie de 4 hectáreas, con posibilidad de ampliación, y una posición estratégica que no representa peligro alguno para la población.

- 7- Si bien el Código Ley de Aguas de la provincia de La Rioja N°4295/83, establece que en caso de emergencia hídrica la prioridad es para el suministro potable, debería reglamentarse para otorgar una mayor precisión y seguridad del uso del recurso.
- 8- Se debe implementar en Delegación IPALaR Chilecito, la Policía del Agua para controlar el recurso fundamentalmente en la faz Legal.
- 9- El Delegado de IPALaR Chilecito y/o el presidente o gerente de CONSUAGUA Chilecito, deben retomar diariamente el aforo de caudal del Módulo o Canal primario del sistema.
- 10- El minifundio riega fundamentalmente a manto, por gravedad. Solo contados productores (menos 5%) lo hacen por el sistema presurizado que es más eficiente y de mayor rendimiento. Además el riego por goteo, es el indicado para el agua/suelo relativamente salino. También permite mantener a las raíces cerca de la capacidad de campo. Se debe fomentar este procedimiento.
- 11- En la región de estudio, y en el resto del valle Antinaco-Los Colorados se debe retornar los controles del agua superficial y subterránea.
Es el estado, el que debe elaborar y poner en marcha el Plan Hidrológico en la región o provincia. Tiene por objetivos, proteger la salud, mejorar el medioambiente, y alcanzar un grado de protección de personas y bienes frente a avenidas y sequías prolongadas.
No existe actualmente el monitoreo del acuífero del valle Antinaco-los Colorados. Es decir no se procede a la toma de niveles, y demás controles inherentes al acuífero. Estimo que las perforaciones en el valle superaron el millar, donde solo funcionan el 60%. El posible descenso del nivel freático, puede conducir a la salinización del acuífero.
- 12- Si bien la estación meteorológica Anguinán, dependiente del servicio meteorológico Nacional funciona fehacientemente, la autoridad de aplicación debe contar con datos meteorológicos propios en todo el valle. Existen casillas meteorológicas computadorizadas en algunos lugares del valle como Tilimuqui, Nonogasta, Famatina, Sañogasta, cuyos datos lo manejan instituciones que no forman parte e IPALaR, por lo tanto son de dudosa procedencia y aptitud.

Se advierte que las instituciones a nivel Departamental y Provincial trabajan separadas con poca o nula interacción, como si el recurso o el ambiente no es un problema de todos.

Se requiere idoneidad, compromiso, empatía y fondos, para trabajar mancomunadamente y llevar a buen puerto una Gestión del Agua concreta, dentro de un marco de Ordenamiento Territorial, para que el recurso sea sustentable.

- 13- El agua potable, se deduce a partir de perforaciones (56%), con respecto al ingreso del agua al acueducto (vertientes) (44%). Esta tendencia se debería revertir, es decir el agua que ingresa al acueducto debe ser mayor a la producida por perforaciones. Por un lado los costos de energía para llevar agua a la superficie en la región del río Durazno, es menor que el de las perforaciones. Además la sustitución de obras de perforación implica una preservación del medioambiente y del acuífero de la región.
- 14- El agua de consumo humano debe controlarse anualmente físico-químico y fundamentalmente bacteriológicamente. Es responsabilidad del estado proveer el vital elemento en calidad y cantidad óptima, como lo establece el Código Ley N°4295/83.

El control de los **fluoruros** debe ser exhaustivo para mitigar el exceso en Pozos Municipal, Anguinán, Las Torres, y Acueducto. Dicho producto está incidiendo en el *hipotiroidismo*, enfermedad recurrente en el Departamento Chilecito. Se debe hacer un seguimiento anual en las perforaciones mencionadas.

En nuevas solicitudes físico-químico, se debe incorporar el Yodo. La falta de este producto, produce un agrandamiento de la tiroides para poder captarlo, afección que incide en el hipotiroidismo. La falta de yodo, es propio de ciudades mediterráneas como Chilecito, es decir alejadas del mar donde prevalece este producto. (El sobrenombre de “**cotudo**” al Chilecoteño, sobre todo al ciudadano de **Anguinán** (parcelas) proviene de la enfermedad del Bocio, estudiado por el extinto de amplia trayectoria en la región, Dr. Mario Desio de la Vega).

- 15- El exceso de **amonio**, localizado en casi todas las perforaciones de Tabla 7.10, debe tenerse muy en cuenta, ya que dicho componente puede con relativa facilidad oxidar a las formas nitritos y nitratos, siendo este último muy perjudicial sobre todo a los menores de edad, dando lugar a “**niños azules**”, por el mal funcionamiento del sistema urinario y respiratorio fundamentalmente.
- 16- En todas las perforaciones de la región, en lo posible se debe cumplir con la protección perimetral (En la perforación Anguinán N°2 como en la mayoría de la región, no se cumple la protección perimetral de “los 50 días”, que contempla un área de protección bacteriológica mínima de 100 metros aguas arriba de la perforación). De acuerdo a los resultados se constató la bacteria **Pseudomona Aeruginosa** que causa lesiones en la córnea, neumonía y sinusitis, sobre todo a personas de escasos recursos o con las defensas muy bajas.
- 17- Durante las posibles obras de perforación en el tramo Chilecito-Santa Florentina, teniendo presente la complejidad geológica del subsuelo se deberá implementar un estricto control geológico realizando un muestreo cada metro y/o cada cambio litológico. Así mismo se deberán realizar electroperfilajes que contemplen mínimamente registro de potencial espontáneo, resistividad puntual, resistividad normal corta y normal larga.
- 18- Habiendo estimado un balance hídrico grosero negativo de $-5,14 \text{ hm}^3/\text{año}$ para los 300 km^2 de superficie, hay que tomar las medidas necesarias de control de monitoreo de perforaciones (corroboración de niveles), y cotejar con estudios geofísicos pertinentes, para controlar el nivel piezométrico verificando el normal desarrollo del acuífero.
- 19- Los estanques o reservorios constituyen verdaderos “basureros”, donde gran parte de los pobladores en forma desaprensiva, arrojan todo tipo de productos a los conductos que finalizan en ellos. Representan focos de infección, que algunos pobladores incluso utilizan como recreación en época estival. Colaboran negativamente con el recurso y el medioambiente, otorgando una imagen deplorable. Si bien la función de recolección de agua, para su posterior distribución y la decantación la cumplen, deben controlarse

y fijar o delimitar nuevas áreas de servidumbre, para aminorar el perjuicio ambiental.

- 20- Con respecto a los **canales secundarios** que atraviesan la ciudad, se debe prescindir de ellos. Es oneroso su mantenimiento, constituyen el transporte de sustancias nocivas que los pobladores arrojan y alteran la cualidad del recurso. Además, el peligro que representa para la población registrándose muertes de niños que cayeron al mismo.

Se sugiere la presurización del **Conducto Primario** a la altura del tramo medio del río los Sarmientos, y de allí concretar la difusión, hacia los estanques o predios empadronados, eliminando los trayectos de canales existentes en la ciudad. Por supuesto, esto es una decisión a tomar por el estado provincial.

- 21- En el azud El Vallecito, se pone de manifiesto el proceso de remoción en masa (Mass Wasting), fenómeno geomorfológico de desprendimiento de ladera. Tal situación, se observa claramente en imágenes satelitales donde parece tener un comportamiento dual. En invierno con las bajas temperaturas, el cuerpo aumenta de volumen, con tendencia al proceso de soliflucción (movimiento lento y húmedo), y en verano, la sequedad superficial promueve la caída repentina de bloques, fenómeno rockfall (rápido, repentino, en contexto seco).

Habiendo observado el fenómeno, en febrero del año 2016 se procede a medir el deslizamiento colocando una guía de alambre galvanizado de 30 metros de longitud, perpendicular al deslizamiento o pendiente del cuerpo en el sector distal del mismo, en forma rectilínea e identificadas las estacas con color. Lamentablemente, en marzo del año 2017, se comprueba la eliminación de la guía (robo o daño) por la acción de algún transeúnte ocasional, o animales de la región como cabras u ovejas de los puestos, por lo que se pospone la iniciativa.

Se propone, tratar de remover los bloques ante posible caída de los mismos, que puedan dañar las instalaciones del sistema, como la que ya ocurrió, obstruyendo parcialmente la obra.

- 22- Se debe buscar el mecanismo de protección de los incendios forestales. El perjuicio a la infraestructura del agua y del bioma pueden ser irreparables pudiendo incluso dañar también el Monumento Nacional: el Cable Carril Chilecito- La Mejicana.
- 23- Con respecto al peligro de inundación o posible desastre natural hídrico, para el valle de Chilecito, se divide en dos aspectos con su correspondiente vulnerabilidad.
- 1- En el cono aluvial Chilecito-Santa Florentina, el peligro hídrico fluvial y pluvial comenzó al permitir la instalación de viviendas, luego barrios, al oeste de la “Defensa aluvial” de la ciudad señalados en capítulo 4 (Figura 4.8). El acelerado crecimiento demográfico en esa región, en muchos casos sobre los paleo cauces, genera nivel de base local, alterando el proceso natural de los cursos fluviales. Es necesario consensuar con diferentes profesionales hidráulicos, para tomar los recaudos sobre un eficiente desagüe pluvial, y/o muro de contención o gavión aguas arriba, que funcione como protección. Ya se estableció en Mapa de riesgo de la ciudad de Chilecito (Montero Hagen L *et al* 2010), las diferentes regiones de peligro hídrico, determinando la mayor o menor vulnerabilidad de la región.
 - 2- En la región urbana de la ciudad, cada vez se incrementa la superficie impermeabilizante. Los desagües inapropiados o inexistentes, en su mayoría, son ineficientes a la hora de transportar el agua pluvial en época estival. Las calles de norte a sur, Bartolomé Mitre, Caverro, Santa Rosa e Illia, todas con pendiente oeste-este, son verdaderas colectoras evacuadoras del agua en el momento de las precipitaciones. La ciudad se torna intransitable, y requiere un nuevo diseño pluvial para proteger a sus habitantes, y a su infraestructura. Se propone hacia el oeste de la ciudad, un desagüe captado, controlado en una amplia superficie conectada en el subsuelo por drenes o cañería adecuada para aminorar el volumen de agua que circula por las arterias mencionadas, minimizando los problemas.

- 3- Se debe tomar conciencia y tomar las medidas precautorias, del avance de la erosión del río Los Sarmientos que amenaza a la Localidad de San Lorenzo, al norte de la ciudad de Chilecito.
- 24- Debe contemplarse la posible contaminación, a partir de los hornos de fundición de la estación del Cable Carril N°2. Dicho predio se encuentra a 300 metros de la planta de Agua Potable Chilecito (Aguas Riojanas), y a escasos 20 o 30 metros de algunas viviendas de la localidad de Santa Florentina.
- Si bien el nivel freático es profundo, hay que tener en cuenta la tipificación de la escombrera, los productos involucrados, el estado de la zona de aireación y/o saturación del acuífero, y el factor tiempo. Al respecto, se debe tener presente tal situación y cotejar los resultados a futuro de investigaciones al respecto, como por ejemplo, la del Lic. Bahamonde Alvarado S. que está investigando dicha región dentro de la temática de su maestría.
- 25- A modo de ilustración, se presenta la simulación digital de inundación del Valle Chilecito.



Escanear código QR para visualizar animación

En ella, se representa con bastante aproximación el aumento volumétrico de agua en función de las cotas existentes, y la evacuación por las depresiones principales: quebrada de los Sarmientos, y sector este de la ciudad de Chilecito.

BIBLIOGRAFÍA

A y E Eléctrica de la Nación. 1983. Estadística hidrológica. Río Durazno en Chilecito/ El Parque. Caudal medio mensual. La Rioja. Argentina.

Abraham C., y Dib Ashur P. 2014. Estudio Geoeléctrico San Nicolás Departamento Chilecito Provincia de La Rioja. Mercoaguas – Servicios hidrogeológicos y ambientales. Salta- Argentina.

Alba E. 1979. Descripción Geológica de la Hoja 16d, Chilecito – Provincia de La Rioja Carta Geológico – Económica de la República Argentina. Escala 1:200.000. Servicio Geológico Nacional. Buenos Aires.

Astini, R.A., 1999. El Ordovícico del Sistema de Famatina. En: González Bonorino, G., Omarini, R. y Viramonte, J (Eds.) Geología del Noroeste Argentino, Relatorio del XIV Congreso Geológico Argentino. Tomo I: 152- 158. Salta.

Astini, R.A. y Dávila, F.M., 1999. Event-layer sedimentation in a Cambrian-Ordovician mixed platform (Volcancito Formation), Famatina System, Western Argentina. II Congreso Latinoamericano de Sedimentología y VIII Reunión Argentina de Sedimentología, Resúmenes: 38-39. Mar del Plata.

Astini, R. A. 2003. The Ordovician proto Andean basins. En: Benedetto, J.L. (ed.): Ordovician fossils of Argentina, p. 1-74. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.

Astini, R.A., Dávila, F.M., 2004. Ordovician retroarc foreland and Ocolytic thrust belt development on the western Gondwana margin as response to the Precordillera terrane accretion. *Tectonics* 23: TC4008, doi:10.1029/2003TC001620.

Astini, R.A., Dávila, F. M., Collo, G. y Martina F. 2005. Geología de la Provincia de La Rioja. Buenos Aires. Argentina.

Auge M. 2008. Agua Potable y Saneamiento en Argentina. Buenos Aires. Argentina.

Auge M. 2005. Perforaciones Hidrogeológicas. Municipalidad del Pilar. Buenos Aires. Argentina.

Báez, M., Bellos, L., Grosse, P., y Sardi, F. 2005. Geología de la Provincia de La Rioja. Caracterización petrológica de la sierra de Velasco. Buenos Aires. Argentina.

Campos, A. 1992. Procesos del Ciclo Hidrológico 2 ed., México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, pp. 33-34.

Candani, J.C., Astini, R.A., Dávila, F., Collo, G., Ezpeleta, M., Alasino, P., Dahlquist J., Carrizo R. 2011. Hojas geológicas 2969-18 Famatina y 2969-24 Sañogasta, 1:100.000. Boletín 379. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Buenos Aires.

Código de Agua. 1983. Decreto Ley N°4.295. Provincia de La Rioja. Argentina.

Código Alimentario Argentino. 2019. argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario. Ley 18.284. Capítulo XII. Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificada. Argentina.

Consuagua Chilecito 2002. Propuesta estudio y diseño “Captación de agua en la quebrada de Santa Florentina”. Chilecito. La Rioja. Argentina.

CRAS 1970 al 1974 . Centro Regional de Aguas Subterráneas. Valle Antinaco los Colorados. Chilecito. La Rioja. Argentina.

Chade Vergara P.O., Jaular M. *et al.* 2011. Generación de Energía Eléctrica a partir de Microturbinas de eje vertical mediante el aprovechamiento del Caudal de Canales de Riego en el Departamento Chilecito. Chilecito- La Rioja. Argentina.

Dahlquist J.A., Baldo E.G., Alasino P.H. 2005. Geología de la Provincia de La Rioja. Buenos Aires. Argentina.

Dávila, F.M. y Astini R.A. 2005. Geología de la Provincia de La Rioja. Geología Estructural. Buenos Aires. Argentina.

Davis, R., Welty, A., Borrego, J., Morales, J., Pendon J., Ryan. 2000. Río Tinto estuary (Spain): 5000 years the pollution. *Env. Geology*, V. 39 (10), p. 1107-1116.

De Alba, E., 1979. El Sistema de Famatina. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias, Vol. 1: 349-395. Córdoba.

Dib Ashur, P., Abraham, C. 2014. Estudio Geoeléctrico San Nicolás Departamento Chilecito Provincia de La Rioja. Mercoaguas – Servicios hidrogeológicos y ambientales. Salta- Argentina.

Drever, J.I., 1997. The Geochemistry of Natural Waters. Surface and Groundwater Environments, 3rd. Upper Saddle River, p. 436.

Fernández-Turiel, J., López-Soler, A., Llorens, J., Querol, X., Aceñolaza, P., Durand, F., López, J., Medina, M., Rossi, J., Toselli, A., Saavedra, J. 1995. Environmental monitoring using surface water, river sediments and vegetation: a case study in the Famatina range, La Rioja, NW Argentina. Environment International, Vol. 21, No 6, p 807-820.

Hein, F.J. y Walker, R.G. 1977. Bar evolution and development of stratification in the gravelly, braided, Kicking Horse River, British Columbia. Canadian Journal of Earth Science 14: 562–570.

Inconas s.a. 1998. Presurización de la red de riego en Chilecito y obras complementarias. Libro 5 de los términos de referencia – 3er informe de avance. Chilecito. La Rioja. Argentina.

Jaular, M.A. 2004. Estudio de Prefactibilidad Técnica de pantalla impermeable en el azud El Vallecito. Departamento Chilecito. La Rioja. Argentina

Jaular, M.A. 2012. Valoración del agua subterránea en puntos estratégicos poblados del Departamento Chilecito y su aptitud para Consumo humano y Riego. FiCyT- Convocatoria Científica. Carácter: Director. Universidad Nacional de Chilecito. La Rioja Argentina.

Jaular, M.A. 2013. Algunos problemas puntuales en el Valle Antinaco-Los Colorados del Recurso Hídrico. Consumo humano y Ordenamiento Territorial. Congreso Internacional sobre Riesgos de Desastres y Desarrollo Territorial Sostenible.

Libro de resúmenes y trabajos completos. Ed Científica Universitaria de la Universidad Nacional de Catamarca. ISBN 978-987-661-128-2. Catamarca. Argentina.

Jaular, M.A. 2014. Valoración del agua subterránea en puntos estratégicos poblados del Departamento Chilecito y su aptitud para consumo Humano y Riego. Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Libro ISBN 978-987-33-5605-6. San Juan. Argentina.

Jaular, M.A. 2016. Peligros de Contaminación del agua para Consumo humano en la ciudad de Chilecito. 11º Encuentro del “International Center For Earth Sciences” E-ICES 11.Malargüe. Mendoza. Argentina.

Jaular, M.A. 2016. Caracterización y contaminación del agua para consumo humano en el Dpto. Chilecito-La Rioja. IX Congreso Argentino de Hidrogeología-Catamarca. Argentina.

Jaular, M.A. 2019. Water Pollution Hazards for Human Consumption in the City of Chilecito. (Mese 20190908-2). ISSN 2333-2581. Brooklyn. New York. USA.

Konzewitsch, N. 1967. Informe Hídrico. “Reconocimiento Hidrogeológico en valle del río Amarillo, aguas arriba del dique El Vallecito.- Depto. Chilecito. Provincia de La Rioja”. Argentina.

Kraft G. 1929. Obras Sanitarias de la Nación.. “Recopilación de Leyes, Decretos y Resoluciones del Directorio, relativos a las Provincias y territorios Nacionales”. Buenos Aires. Argentina. Impresiones Generales.

1. R. de la C. – Tarifa de agua para construcción. Pág. 212 12/06/1912
2. R. del D. – Valuaciones en distritos de provincias. Pág. 236 23/08/1916
3. Ley 10998 – Saneamiento del territorio de la República. Pág. 289 21/10/1919
4. R. del D. – Vigencia del reglamento aprobado para las obras de agua y cloacas. Pág. 317 07/07/1920
5. Chilecito – Decreto – Provisión de agua, aprobación del proyecto. Pág. 131 09/11/1906
6. Chilecito - Ley 5568 – Provisión de agua. Pág. 167 15/09/1908

7. Chilecito - Decreto – Provisión de agua, modificación del proyecto y ejecución de las obras. Pág. 191 24/09/1909
8. Chilecito - Decreto – Tarifa de agua. Pág. 204 06/09/1910. Anguinán y Malligasta. Ampliación de la provisión de agua e instalación de una usina, aprobación del proyecto. Pág. 446 28/12/1921

Le Houérou, H.N., Martínez Carretero, E., Guevara, J.C., Berra, A.B., Estevez O.R. y Stasi, C.R. 2006. The true desert of the central-west Argentina Bioclimatology, Geomorphology and vegetation.

Lewis, K.B. 1971. Slumping on a continental slope inclined at 1° – 4° . *Sedimentology* 16: 97–110.

Marcos, O. R. y Zanettini, J. C. 1982. Geología y exploración del Proyecto Nevados del Famatina. Servicio Geológico, Secretaría de Minería de la Nación, Informe Inédito, 325 p. Buenos Aires.

Matthews, J. A., Winkler, S., Wilson, P., Tomkins, M. D., Dortch, J. M., Mourne, R. 11 W., Hill, J. L., Owen, G. and Vater, A.E. 2015. Small rock-slope failures conditioned by Holocene permafrost degradation: a new approach and conceptual model based on Schmidt-hammer exposure-age dating, Jotunheimen, southern Norway.

Maza, S.N. 2015. Estudio de Unidades asociadas a paleo-drenaje ácido en la región central de Famatina y su comparación con el actual drenaje ácido de minas. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

Miguel, R.E., González Ribot J.V. 2016. Evolución Hidrodinámica e Hidroquímica del Sistema Acuífero explotado en las colonias Agrícolas de Tilimuqui, Malligasta y Anguinán, Departamento Chilecito. La Rioja. Argentina.

Montero Hagen, L. y otros. 2010. Mapa de riesgo de la ciudad de Chilecito. La Rioja. Argentina.

Montgomery, D.R., Collins, B.D., Abbe, T.B., Buffington, J.M., (2003). Geomorphic effects of wood in rivers. S.Gregory, K.L., Boyer, A. *The Ecology and*

Management of Wood in World Rivers American Fisheries Society Symposium vol. 37, American Fisheries Society, Bethesda, MA.1–10

Murgida, A. M. y otros; Jaular M. 2013. 1er Congreso Internacional sobre Riesgos de Desastres y desarrollo territorial sostenible - CiRiDe : Libro de resúmenes y trabajos completos. isbn 978-987-661-128-2. Editorial Científica Universitaria de la Universidad Nacional de Catamarca. Argentina.

Niz, A.E., Oviedo, J., Savio, C., Savio, M. 2018. “Estudio diagnóstico sobre potencialidades de riesgo hídrico en Concepción y San Pablo – Dpto. Capayán”. Informe técnico- científico elaborado para Dirección provincial de Hidrología y evaluación de los Recursos Hídricos- Subsecretaría de recursos Hídricos provincia de Catamarca.

Penna, I.M.; Hermanns, R.L.; González, M.P. 2012. Endicamientos naturales en las nacientes del arroyo Lileo (Provincia del Neuquén, Argentina). Revista de la Asociación Geológica Argentina 69 (3): 372–381.

Schulz C.J. y García R.F. 2014. Geohidrología Ambiental. El Agua Subterránea. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Argentina.

Schulz C.J. y García R.F. 2014. Hidrodinámica. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Argentina.

Schulz C.J. y García R.F. 2014. Relación Agua, Suelo y Aire. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Argentina.

Schulz C.J. y García R.F. 2018. Balance Hídrico y Recarga de acuíferos. Universidad nacional de La Pampa. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Argentina.

Schulz C.J. y García R.F. 2018. Contaminación y calidad del agua, vulnerabilidad de acuíferos. Universidad nacional de La Pampa. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Argentina.

Schulz C.J. y García R.F. 2018. Geohidrología Ambiental. Universidad nacional de La Pampa. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Argentina.

Schulz C.J. y García R.F. 2018. Planificación, Gestión y Protección de los Recursos Hídricos. Universidad Nacional de La Pampa. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Argentina.

Schulz C.J. 2019. Gestión, Legislación, Protección y Normativa de calidad de Aguas. Evaluación de la Demanda. Universidad Nacional de Catamarca. San Fernando del Valle de Catamarca. Argentina.

Schulz C.J. 2019. Gestión, Legislación, Protección y Normativa de calidad de Aguas. Contenidos Básicos del Derecho de Agua. Universidad Nacional de Catamarca. San Fernando del Valle de Catamarca. Argentina.

Sosic M.1971. Descripción Hidrogeológica del Valle Antinaco los Colorados. Boletín 123. Buenos Aires. Argentina.

Tálamo E. 2009. Conhidro s.r.l.. Prospección Geoeléctrica Altos de Chilecito. Ciudad de Chilecito. La Rioja. Argentina.

Torres, C.A.; Gianni, R.; Salvioli, G.; Ferrés, C.A. 2007. Estudio hidrogeológico preliminar de la cuenca subterránea adyacente al faldeo oriental del norte de la Sierra de Famatina. Informe Técnico, IT-255. Administración Provincial del Agua – Instituto Nacional del Agua, Acta complementaria N° 19, p.

Torres, N.A. 2000. Organización de Usuarios de Agua de Riego en el Departamento Chilecito” Universidad Nacional de Chilecito. La Rioja. Argentina.

Tarback, E.J., Iutgens, F.K. 2005. Ciencias de la Tierra. Pearson Educación S.A. Madrid. España.

Turner, J.C.M., 1964. Descripción geológica de la Hoja 15c, Vinchina (provincias de Catamarca y La Rioja). Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 100, 81 pag. Buenos Aires. Argentina.

Turner, J. C. 1971. Descripción geológica de la Hoja 15d. Famatina. Secretaria de Minería, Boletín 126.

WHO, 2004. Guidelines for Drinking-Water Quality, 3 rd ed. World Health Organization. Geneva, 2004.

Zech, J., Zech, R., Kubik, P., Veit, H. 2009. Glacier and climate reconstruction at Tres Lagunas, NW Argentina, based on ^{10}Be surface exposure dating and lake sediment analyses. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 284 (2009) 180–190.

Apéndice

Análisis físico-químicos de agua de los ríos El Cajón, Amarillo y Aguas Negras.. Año 2006. IPALaR.

Análisis físico-químicos de agua superficial. Año 2014 (Invierno). Laboratorio Universidad Nacional de Chilecito.

Análisis físico-químicos de agua subterránea. Año 2014 (Invierno). Laboratorio Universidad Nacional de Chilecito.

Análisis físico-químicos de agua para consumo humano. Año 2016 (verano). Informe N°68 (LAC UNDeC). Tres muestras

Análisis microbiológico para consumo humano. Año 2016. Informe N°68 (LAC-UNDeC). Dos muestras

Análisis físico-químicos de agua para consumo humano, Anguinán Pozo 2. Año 2016 (verano). Informe N°65 (LAC UNDeC). Tres muestras

Análisis físico-químicos-bacteriológicos adicionales. Sañogasta y Nonogasta. Año 2016.

Análisis microbiológico de agua para consumo humano. Pozo Circunvalación y Fermín Morales. Año 2016 (verano). Informe N°68 (LAC UNDeC). Dos muestras

Censo de perforaciones. Valle Antinaco-los Colorados. Monitoreo. Medición de niveles. Caudal. Ensayo de bombeo. Georreferenciación. 1994 a actualidad.

Construcción de mapas de isopiezas. Ciudad de Chilecito. Año 2016.

Construcción de Isoyetas del valle Antinaco-los Colorados a partir de documento de la ex Agua y Energía de la nación.

Datos meteorológicos 1991-2000. Aeródromo Anguinán. Chilecito. La Rioja Argentina.

Datos meteorológicos 2001-2010. Aeródromo Anguinán. Chilecito. La Rioja Argentina.

Datos de lluvias del pluviómetro instalado en el Campamento de Agua Subterránea-Ipalar. Delegación Chilecito. Elaboración de datos estadísticos de los años 1990 al 1995.

Estación Meteorológica Anguinán Departamento Chilecito. Precipitaciones Periodo 1989- 2017.

Elaboración de mapa o bosquejo de ubicación de SEV y perforaciones, a partir de trabajos geoelectricos de Conhidro s.r.l. Altos de Chilecito. La Rioja.

Elaboración de mapa o bosquejo de ubicación de SEV, perforaciones, y límite de abanico aluvial, a partir de trabajos geoelectricos de Mercoaguas –Servicios Hidrogeológicos y Ambientales. San Nicolás. Departamento Chilecito. La Rioja.

Figuras e Ilustración de trabajo realizado en toma o azud “El Vallecito”. Remoción en masa y caída de bloques en la región (Rockfall).

Georreferenciación. Datos hidráulicos y fotos de la totalidad de las Perforaciones afectadas al agua Potable y Riego de Chilecito.

Ley Código de Aguas 4295/83. Aplicación fundamentalmente en el control y relevamiento superficial y subterráneo.

Mapa de Riesgo de la ciudad de Chilecito (2010). Elaborado por Docentes de la Universidad de Chilecito y profesionales de la Municipalidad de Chilecito. Apoyo o referencia de gran cantidad de Certificaciones de Inundabilidad de elaboración propia, en cercanías del río los Sarmientos para dar lugar a asentamientos poblacionales. Chilecito.

Nota (27/11/2019) presentada al Intendente del Departamento Chilecito. Solicitud de Saneamiento Ambiental (cloacas), ante el peligro potencial de contaminación del acuífero.

Perfil elaborado a partir de Lámina CRAS 18.

Perfil elaborado a partir de Lámina CRAS 20.

Relevamiento Topográfico y fotos, región “El Burro”. Posibilidad de transportar agua potable de cámaras de captación y/o vertientes existentes, a la Escuela rural N°291 Sixto A. Brizuela. Labor realizada en llanura de inundación y riberas del río Amarillo o “El Oro”.

Video y fotos de remoción de agua-lodo de estanque Malligasta en su momento de limpieza.

Video y fotos de aguas del Río Durazno cargados con lodos por endicamientos aguas arriba.

Video en el momento de avenidas o crecientes del río Durazno-Los Sarmientos en toda su llanura de inundación.

Video animado obtenido de Global Mapper sobre proceso de inundabilidad del valle Chilecito mostrando cotas y sierras principales.

Lugares importantes, toponimia y localización absoluta

“Bajos de Santa Elena”. Región al este del proyecto en el talweg del valle Antinaco-Los Colorados.

“Cadena Paimán Chilecito”. Sierra que con una longitud cercana a 30 km y una altitud máxima de 1900 ms.n.m. separa la ciudad cabecera de Chilecito al oeste, de los Distritos del Minifundio o sector productivo al este.

Cámara de captación “El burro”. Denominación lugareña (29°05'58,73”S; 67°36'25,17”O).

Cámara de captación “El burro/Tofo”. Denominación lugareña (29°06'40,88”S; 67°35'23,36”O).

“Chiquerito” o Mesada del chileno. Denominación lugareña donde se crían o criaban cerdos. Región cercana a la unión de los ríos Agua Negra/El Cajón-Amarillo (29°06'30,12”S; 67°35'34,58”O).

“Escuela rural las higuéritas”. Escuela N°291 Sixto A. Brizuela (29°06'8,5”S; 67°36'19,8”O). Nombre atribuido a la gran cantidad de higueras existentes en cercanías de la institución.

“La Mejicana”. Cerro General Belgrano 6094 ms.n.m. (29°00'52”S; 67°49'33,90”O).

Reservorio “San Lorenzo”. Nombre destinado en este proyecto a la propuesta de baso contenedor o reservorio de agua en la localidad homónima (29°07'57,88”S; 67°29'52”O).

Río Durazno. Sector clave del proyecto, su nombre tiene que ver con el color particular anaranjado. Se inicia en la convergencia de los ríos Agua Negra/El Cajón con el río Amarillo u Oro (29°06'37,10”S; 67°35'32,09”O). Tiene una longitud de 4.288 metros hasta su recorrido final en la localidad de Santa Florentina.

Santa Florentina. Localidad en el Departamento Chilecito, provincia de La Rioja, Argentina. Se accede por la RP 14, a 7 km al oeste de la ciudad de Chilecito (29°46,94'S; 67°33'21,82'O).

“Sudamérica”. Denominación para este proyecto de región con características hidrológicas similares a región de captación “El burro/Tofo”. (29°0,6'10,61"S; 67°35'44,18"O).

Toma o azud agua Negra. Recepción del fluido homónimo (29°03'53,8"S; 67°36'37"O).

Toma o azud “El Cajón”. Denominación lugareña por la quebrada estrecha homónima (29°03'55"S; 67°36'37,62"O).

Toma o azud El Vallecito (29°07'19,63"S; 67°38'43,86"O).

Toma o azud Santa Florentina (29°07'42,23"S; 67°33'26,08"O).

Índice Remisivo

A

actividad antrópica, 44, 181
 acuífero, 161, 163, 166, 167, 169, 171, 189, 190, 191, 195
 agua subterránea, 34, 110, 136, 154, 157, 162, 167, 177, 198, 199, 204
Aguas Riojanas, 22, 39, 44, 45, 49, 53, 54, 110, 137, 146, 162, 163, 170, 171, 177, 188, 195
 amonio
 amoníaco, 142, 146, 176, 192
 aptitud bacteriológica, 136
 autoridad de Aplicación, 112, 178
 Autoridad de Aplicación, 48, 189
 avenidas estivales, 52, 106, 107, 112
 Azud
 Toma Vallecito, 24, 40, 103, 105, 106, 107, 133, 188
Azud Vallecito, 105, 106, 133

B

Bacterias aeróbicas, 145, 177
 bacterias coliformes, 145
 bacteriológico, 146
 balance hídrico, 172, 192
 basamento cristalino, 71, 166

C

cadena Paimán-Chilecito, 17, 69, 70
 calentamiento global, 35, 87, 169, 180
 caudal, 22, 28, 35, 36, 39, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 54, 109, 116, 117, 131, 135, 155, 171, 173, 176, 188, 189, 190
certificación de no inundabilidad, 53
 Código Alimentario Argentino, 142, 176, 197
 cono aluvial, 18, 44, 52, 54, 114, 132, 152, 154, 157, 161, 163, 165, 166, 167, 171, 188, 189, 194
 Consorcios de Agua, 22, 39, 53
 CONSUAGUA, 22, 39, 121, 171, 179, 190
 continentalidad, 30, 49, 85
 crecientes o avenidas, 44, 87
crecimiento demográfico, 51, 114, 136, 154, 194

cursos pluviales

fluviales, 52

D

datos pluviométricos, 83

defensa, 51

Demanda de agua, 176

Descarga, 170, 171, 173

descargas, 170

deterioro ambiental

medioambiente, 181

E

El Burro, 105, 108, 110, 170, 188, 205

El Oro o Amarillo, 28, 30, 76

Escherichia Coli, 145, 177

estanques o reservorios, 32, 35, 48, 181, 192

ex Agua y Energía, 33, 46, 133, 162, 204

F

falla inversa, 72

flúor, 146, 177

formación Negro Peinado, 72, 73, 74, 76

I

imágenes satelitales, 52, 87, 149, 169, 193

infiltración, 30, 42, 50, 87, 112, 179

IPALaR, 35, 39, 53, 83, 112, 121, 126, 133, 146, 160, 163, 180, 181, 189, 190

irrigación, 22, 30, 50, 51, 164, 166, 170, 181, 189

irrigar, 22, 36, 39, 45, 48, 49, 179, 180, 181

L

Ley Código de Aguas 4295/83, **205**

LI

llanura de inundación, 42, 103, 107, 112, 114, 116, 205

M

Mapa de riesgo de la ciudad de Chilecito, 52, 154, 194, 200
 margen derecha, 31, 32, 45, 105, 111, 112, 170
 margen izquierda, 31, 32, 45, 47, 52, 116, 130, 170, 189
 minifundio, 2, 18, 22, 32, 34, 35, 39, 50, 51, 53, 121, 126, 135, 151, 171, 179, 180, 190
módulo primario, 35, 47, 179, 189
molinete hidrométrico, 35

N

nitratos
 nitratos, 136, 142, 176, 178, 192
 nitritos
 nitratos, 136, 142, 176, 178, 192
nivel de base, 52, 112, 132, 194
 nubosidad, 86, 87

O

Ordenamiento Territorial, 44, 53, 191, 198

P

pantallas impermeables, 54
 Partidor "El Parque", 32, 179
 perfilajes eléctricos, 150
 piedemonte, 51, 52, 188
Precipitaciones, 14, 82, 204
 presión atmosférica, 82, 85
 presurización, 53, 193
pseudomona aeruginosa, 177
 Pseudomona Aeruginosa, 145, 177

R

recarga, 132, 161, 169, 170, 172
Recurso Hídrico, 21, 39, 198
 recursos naturales, 44, 53, 103, 145
 remoción en masa, 106, 193
Río Agua Negra, 41, 123, 133, 180
río Durazno, 21, 28, 30, 35, 39, 45, 49, 51, 52, 53, 67, 108, 111, 112, 121, 126, 129, 130, 132, 134, 135, 169, 170,
 179, 181, 188, 189, 191, 205

Río El Cajón, 40, 124, 133

Río El Oro, 121, 133

ríos Agua Negra, 28, 76

S

saneamiento ambiental, 136, 142

saneamiento Ambiental, 178

servidumbre de paso, 51

sistema de Famatina, 80, 87

Sudamérica, 109, 188

T

Temperatura, 82

Toma o Azud, 17, 41

V

Valle Antinaco-Los Colorados, 15, 17, 148, 150, 189, 198

Velasco

Famatina, 15, 18, 49, 67, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 82, 120, 148, 197

vertientes, 28, 44, 45, 50, 54, 105, 107, 110, 135, 170, 173, 191, 205

viento, 82, 86, 87, 88, 148