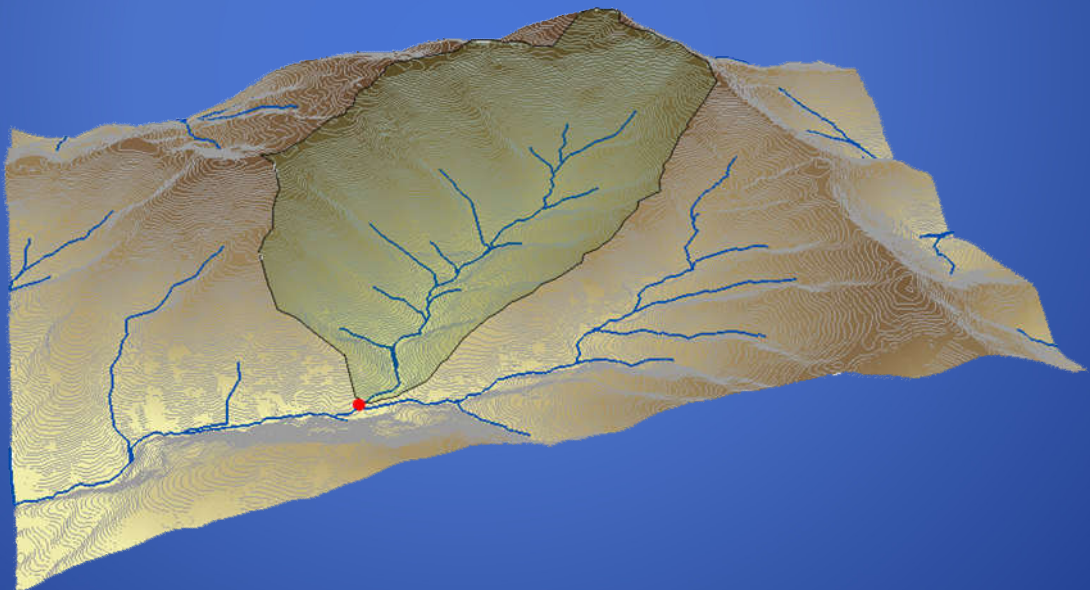




UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
Facultad Regional Tucumán  
Escuela de Posgrado  
Rivadavia 1050

TESIS DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

*ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA AMBIENTAL DE LA  
RECARGA DE ACUÍFEROS POR LA VARIACIÓN DE LA  
DEMANDA DE AGUA SUPERFICIAL EN LA CUENCA  
MEDIA DEL RÍO LULES*



*Autor: Ing. Ricardo B.B. Paz Belloni*

*Director: Jorge W. García*

*Co-Director: Mg. Ing. Oscar Graieb*

- 2016 -

## ÍNDICE GENERAL

---

<b>PROLOGO</b> .....	pág.1
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	pág.5
<b>RESUMEN</b> .....	pág.7
<b>ABSTRACT</b> .....	pág.8
<b>Capítulo I: INTRODUCCIÓN</b>	
Motivos del estudio.....	pág.9
<b>Capítulo II: ANTECEDENTES</b>	
La evaluación ambiental y el manejo de cuencas hidrográficas.....	pág.11
<b>Capítulo III: HIPÓTESIS Y OBJETIVOS</b>	
Hipótesis.....	pág.15
Objetivo General.....	pág.15
Objetivos Específicos.....	pág.15
<b>Capítulo IV: METODOLOGÍA</b>	
Tipo y Diseño de Investigación.....	pág.17
Unidad de análisis.....	pág.18
Diagrama de Flujos.....	pág.19

## **Capítulo V: MARCO CONCEPTUAL**

La Cuenca Hidrológica.....	pág.21
Importancia del estudio de una Cuenca Hidrográfica.....	pág.23
Origen y situación del Agua Subterránea.....	pág.24
La Porosidad y Estructura del Suelo.....	pág.24
Interacción entre los Sistemas de Agua Superficial y Subterránea.....	pág.26
Porque es importante estimar la reposición del acuífero.....	pág.28
Tipos de Agua.....	pág.30
Efecto de la Captación de Aguas Superficiales.....	pág.35
Alteraciones por las actuaciones humanas en los ecosistemas fluviales.....	pág.36

## **Capítulo VI: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO**

Introducción.....	pág.41
Ubicación Geográfica y Límites.....	pág.42
Límites.....	pág.43
Clima.....	pág.44
Fisiografía.....	pág.44
Hidrografía.....	pág.45
Marco Geológico.....	pág.48
Geomorfología.....	pág.56

## **Capítulo VII: CÁLCULOS HIDROGEOLÓGICOS**

Introducción.....	pág.63
Balance Hídrico.....	pág.64
Precipitación.....	pág.64
Evapotranspiración.....	pág.72
Escurrimiento.....	pág.92
Infiltración.....	pág.100
Resultado General del Balance Hídrico.....	pág.102
Estudio, Análisis y Cálculos del Hidrograma anual del Río Lules.....	pág.104
Resultados de componentes.....	pág.111

## **Capítulo VIII: DEMANDA DE AGUA SUPERFICIAL**

El Sistema de riego del Río Lules.....	pág.115
Superficie bajo cultivo.....	pág.118
Demanda de agua superficial.....	pág.118
Gráficos del hidrograma anual y demanda de agua superficial del río.....	pág.119
Hidrogramas superpuestos.....	pág.121
Resultados.....	pág.122
Proyecto de obra hidráulica.....	pág.126



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## **Capítulo IX: MEDICIONES ESTUDIOS Y OBSERVACIONES DE CAMPAÑA**

La Infiltración y la conductividad hidráulica.....	pág.127
Muestreo de Suelo y análisis Granulométricos.....	pag.133
Prospección Geofísica.....	pág.137
Estudio Biológico.....	pág.147
Muestreo puntual de agua superficial.....	pág.151
Medición del caudal de estiaje del Río Lules.....	pág.161

## **Capítulo X: POZOS PERFORADOS EN LA CUENCA**

Elaboración del Mapa con la ubicación de los pozos.....	pág.167
Elaboración del Mapa Piezométrico.....	pág.172
Planilla de datos procesados.....	pág.176

## **Capítulo XI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Efectos Ambientales.....	pág.177
Recomendaciones.....	pág.179

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	pág.181
<b>ANEXOS</b> .....	pág.189
Tablas Hidrometeorológicas.....	pág.191
Tablas de Derrame anual deRíos.....	pág.197
Tablas de Precipitaciones.....	pág.201
Tablas de Evapotranspiraciones.....	pág.205
Tablas de datos Meteorológicos.....	pág.209
Gráficos de Temperaturas.....	pág.213
Gráficos de Balances Hídricos por Estaciones.....	pág.221
Mediciones de Infiltración.....	pág.231
Análisis Granulométricos de Suelo.....	pág.243
Informe de Estudio Biológico.....	pág.255
Informe de análisis de agua.....	pág.263

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura N° 1 – La Cuenca hidrográfica.....	pág.21
Figura N° 2 –Secciones de una cuenca hidrográfica.....	pág.22
Figura N° 3 –Acuífero efluente – Acuífero afluyente.....	pág.27
Figura N° 4 –El agua en el subsuelo.....	pág.30
Figura N° 5 –Tipos de agua.....	pág.31
Figura N° 6 –Distribución de agua en el subsuelo.....	pág.32
Figura N° 7 –Zona de nivel freático.....	pág.33
Figura N° 8 –Movimiento de agua en el subsuelo.....	pág.34
Figura N° 9 –Alteraciones de los ecosistemas fluviales.....	pág.37
Figura N°10 –Ejemplares de caña Castilla (Arundo donax).....	pág.38
Figura N°11 – Ubicación de la cuenca del río Lules.....	pág.42
Figura N°12 – Hidrografía de la cuenca del río Lules.....	pág.47
Figura N°13 –Cuadro estratigráfico de Choromoro y Sierras del Este.....	pág.49
Figura N°14 – Mapa Geológico con la cuenca del río Lules.....	pág.54
Figura N° 15 – Mapa Geológico de detalle –cuenca de río Lules.....	pág.55
Figura N° 16 – Mapa Geomorfológico de la cuenca del río Lules.....	pág.56
Figura N°17 – Mapa de Isohietas de altura media de lámina de agua.....	pág.68
Figura N°18 – Mapa de Isohietas de altura mínima de lámina de agua.....	pág.69
Figura N°19 – Mapa de Isohietas de altura máxima de lámina de agua.....	pág.70
Figura N° 20 – Ubicación relativa de la cuenca media del río Lules.....	pág.71
Figura N°21 – Balance hídrico Estación meteorológica San Pablo.....	pág.83

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

Figura N°22 – Gráfica del análisis del hidrograma.....	pág.85
Figura N° 23 – Mapa de Isopletas altura media de lámina de agua evaporada.....	pág.89
Figura N° 24 – Mapa de Isopletas altura mínima de lámina de agua evaporada.....	pág.90
Figura N° 25 – Mapa de Isopletas altura máxima de agua evaporada.....	pág.91
Figura N° 26 – Sectores de la cuenca del río Lules y sus áreas.....	pág.94
Figura N° 27 – Gráfico de relación de Áreas vs. Caudales.....	pág.97
Figura N° 28 – Gráfico del hidrograma anual del río Lules.....	pág.98
Figura N° 29 – Gráfico del hidrograma de coeficientes de caudales.....	pág.106
Figura N° 30 – Gráfico de área total y sus partes.....	pág.111
Figura N° 31 – Hidrograma anual y sus componentes.....	pág.112
Figura N° 32 – Gráfico de la demanda anual de agua superficial.....	pág.119
Figura N° 33 – Hidrograma anual del río Lules.....	pág.119
Figura N° 34 – Hidrogramas superpuestos.....	pág.121
Figura N° 35 – Tasa de infiltración - Muestra 1.....	pág.132
Figura N° 36 – Curva acumulativa e histograma de frecuencias.....	pág.134
Figura N° 37 – Curvas de Breddin.....	pág.135
Figura N° 38 – Esquema de un sondeo SEV.....	pág.139
Figura N° 39 – Corte Geoeléctrico 1.....	pág.141
Figura N° 40– Corte Geoeléctrico 2.....	pág.141
Figura N° 41 – Corte Geoeléctrico 3.....	pág.142
Figura N° 42 – Corte Geoeléctrico 4.....	pág.142
Figura N° 43 – Zona de muestreos.....	pág.151

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

Figura N° 44 –Gráfico del levantamiento topográfico de la sección del río Lules.....	pág.161
Figura N° 45 –Gráfico de la demarcación del tramo elegido.....	pág.162
Figura N° 46–Representación gráfica de las secciones calculadas.....	pág.163
Figura N° 47 –Mapa de ubicación de pozos en la cuenca.....	pág.168
Figura N° 48 –Mapa de Isopiezas.....	pág.173
Figura N° 49 – Mapa vectorial.....	pág.174
Figura N° 50 – Visualización 3D del acuífero.....	pág.175
Figura N° 51 –Temperaturas medias mensuales Est. Potrero de Las Tablas.....	pág.215
Figura N° 52 –Temperaturas media mensuales Est. Villa Nougües.....	pág.216
Figura N° 53 –Temperatura medias mensuales Est. La Quebrada.....	pág.217
Figura N° 54 –Temperaturas medias mensuales Est. San Pablo.....	pág.218
Figura N° 55 –Temperaturas medias mensuales Est. Lules.....	pág.219
Figura N° 56 –Balance hídrico Est. Potrero de Las Tablas.....	pág.223
Figura N° 57 –Balance hídrico Est. Villa Nougües.....	pág.224
Figura N° 58–Balance hídrico Est. La Quebrada.....	pág.225
Figura N° 59 –Balance hídrico Est. Lules.....	pág.226
Figura N° 60–Balance hídrico Est. La Reducción.....	pág.227
Figura N° 61 – Balance hídrico Est. Manuel García Fernández.....	pág.228
Figura N° 62 –Balance hídrico Est. Bella Vista.....	pág.229
Figura N° 63 –Gráfica de Infiltración Muestra 2.....	pág.234
Figura N° 64 - Gráfica de Infiltración Muestra 3.....	pág.235
Figura N° 65 – Gráfica de Infiltración Muestra 4.....	pág.236

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

Figura N° 66 – Gráfica de Infiltración Muestra 5.....	pág.237
Figura N° 67 – Gráfica de Infiltración Muestra 6.....	pág.238
Figura N° 68 –Gráfica de Infiltración Muestra 7.....	pág.239
Figura N° 69– Curva acumulativa e histograma de frecuencias Muestra 1.....	pág.247
Figura N° 70 – Curva acumulativa e histograma de frecuencias Muestra 2.....	pág.248
Figura N° 71 – Curva acumulativa e histograma de frecuencias Muestra 3.....	pág.249
Figura N° 72 –Curva acumulativa e histograma de frecuencias Muestra 4.....	pág.250
Figura N° 73 –Curva acumulativa e histograma de frecuencias Muestra 5.....	pág.251
Figura N° 74 –Curvas de Breddin.....	pág.253
Figura N° 75 – Insectas encontradas en los muestreos del río Lules.....	pág.261

### **ÍNDICE DE TABLAS**

Cuadro V.4 – Diagrama de Flujos – Metodología de Trabajo.....	pág.19
Tabla N° 1 – Estaciones meteorológicas.....	pág.65
Tabla N° 2 – Isohietas y sus áreas.....	pág.68
Tabla N° 3 – Cálculo de Isohietas mínimas.....	pág.69
Tabla N° 4 – Cálculo de Isohietas máximas.....	pág.70
Tabla N° 5 – Evapotranspiración potencial por Estación.....	pág.81
Tabla N° 6 –Evapotranspiración real por Estación.....	pág.82
Tabla N° 7 – Latitud y temperaturas medias mensuales.....	pág.83
Tabla N° 8 – Cálculo de Isopleas medias.....	pág.89
Tabla N° 9 – Cálculo de Isopleas mínimas.....	pág.90
Tabla N°10 -Cálculo de Isopleas máximas.....	pág.91
Tabla N° 11 – Estaciones de Aforos de Tucumán A y EE.....	pág.95
Tabla N° 12 – Valores registrados de Est de Aforo A AyEE.....	pág.96
Tabla N° 13 – Superficies de cuencas por ríos.....	pág.96
Tabla N° 14 – Balance Hídrico para la cuenca media.....	pág.102
Tabla N° 15 – Caudales medios mensuales.....	pág.104
Tabla N°16 – Valores de Q y K.....	pág.105
Tabla N° 17 – Superficies por cultivos en hectáreas.....	pág.118
Tabla N° 18 – Demanda de agua superficial para riego e industria.....	pág.118
Tabla N° 19 – Datos de infiltración – Muestra 1.....	pág.131
Tabla N° 20 – Clases de Breddin y su correspondiente valor de K.....	pág.135
Tabla N° 21 – Determinaciones de permeabilidad por muestras.....	pág.136
Tabla N° 22 –Resistividades medidas y los probables materiales del subsuelo.....	pág.144
Tabla N° 23 – Valores de las concentraciones de los parámetros químicos.....	pág.157
Tabla N° 24 – Valores comparados entre ambos análisis.....	pág.158
Tabla N° 25 –Datos procesados de las perforaciones.....	pág.176

### **ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS**

Foto N° 1 – Azud nivelador sobre el Río Lules.....	pág.115
Foto N° 2 –Compuertas de la Toma 2.....	pág.116
Foto N° 3 – Desarenador.....	pág.116
Foto N° 4 – Situación del río Lules en agosto de 2016.....	pág.122
Foto N° 5 – Cauce seco en su mayor parte.....	pág.123
Foto N° 6 –Residuos volcados dentro del lecho.....	pág.124
Foto N° 7 –Quema de basurales en el cauce.....	pág.124
Foto N° 8 – Descarga de desechos en el lecho del río.....	pág.125
Foto N° 9 – Vaciado de basura en la margen derecha.....	pág.125
Foto N° 10 – Vista de río aguas arriba del Puente.....	pág.125
Foto N° 11 – Vista debajo del Puente.....	pág.125
Foto N° 12 – Infiltrómetro de doble cilindro utilizado.....	pág.129
Foto N° 13 –Cruceta de impacto.....	pág.129
Foto N° 14 – Equipo Geometer de medición.....	pág.138
Foto N° 15 – Registro de datos.....	pág.138
Foto N° 16 – Observación de las mediciones.....	pág.140
Foto N° 17 –Grandes bloques.....	pág.144
Foto N° 18 –Gravas y arenas.....	pág.144
Foto N° 19 –Basamento metamórfico.....	pág.145
Foto N° 20 – Rodados de metamorfitas.....	pág.145
Foto N° 21 – Gravas y arenas saturadas.....	pág.145
Foto N° 22 – Gravas y rodados secos.....	pág.145
Foto N° 23 –Muestreo Biológico aguas arriba.....	pág.147
Foto N° 24 –Muestreo biológico aguas abajo.....	pág.147
Foto N° 25 –Volcado de basura dentro del cauce.....	pág.149
Foto N° 26 –Vaciado de residuos en la margen derecha del río.....	pág.149
Foto N° 27 –Toma de muestras de agua 1.....	pág.154



Foto N° 28 –Toma de muestras de agua 2.....	pág.154
Foto N° 29 –Envase de vidrio oscuro con embudo.....	pág.155
Foto N° 30 –Zona de muestreo aguas arriba.....	pág.155
Foto N° 31 –Dispositivo toma muestras.....	pág.156
Foto N° 32 –Embudo utilizado para llenado de envases.....	pág.156
Foto N° 33 –GPS Etrex HCx.....	pág.157
Foto N° 34 –Frascos de litro para muestras.....	pág.157
Foto N° 35 –Vaciado de residuos en el cauce.....	pág.159
Foto N° 36 – Levantamiento altimétrico.....	pág.163
Foto N° 37 –Cronometrado inicial.....	pág.164
Foto N° 38 – Cronometrado final.....	pág.165
Foto N° 39 –Flotador lastrado utilizado.....	pág.165
Foto N° 40 –Caña Castilla (Arundo donax).....	pág.178
Foto N° 41 –Infiltrómetro midiendo.....	pág.233
Foto N° 42 –Tamices graduados.....	pág.245
Foto N° 43 – Tamizado de muestras .....	pág.246
Foto N° 44 – Tamices graduados utilizados en granulometría.....	pág.223

### **ÍNDICE DE IMÁGENES SATELITALES**

Imagen 1 – Obras del sistema de riego sobre el río Lules.....	pág.115
Imagen 2 – Plantaciones de citrus en la cuenca.....	pág.117
Imagen 3 – Cultivos en la cuenca media del río.....	pág.117
Imagen 4 – Zona de emplazamiento proyectada para la presa Potrero de Las Tablas.....	pág.126
Imagen 5 – Zona de sondeos geofísicos cuenca media del río Lules.....	pág.143
Imagen 6 – Zona 1 de muestreo de agua.....	pág.153
Imagen 7 – Zona 2 de muestreo aguas abajo del Puente.....	pág.153
Imagen 8 – Distancia entre muestreos.....	pág.154
Imagen 9 –Ubicación de los pozos perforados en la cuenca.....	pág.169

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

**Imagen 10 –Puntos de muestreos de infiltración.....pág.241**

---

## **PROLOGO**

La gestión de cuencas hidrográficas ha evolucionado pasando por diversas etapas de desarrollo. En las primeras, formaba parte de la silvicultura y de la hidrología. La participación de la población no se tenía en cuenta y se trataba de un asunto que competía a las dependencias forestales del gobierno. En la segunda etapa en la que se relacionó con la gestión de los recursos naturales se incluyeron actividades que contemplaban el beneficio económico y actualmente se dirige la atención a los beneficiarios.

En todo el mundo, los cambios ambientales, socioeconómicos y políticos representan un desafío para los cimientos en que se ha fundamentado la gestión de cuencas de los últimos 20 años. El manejo de cuencas atraviesa un período de experimentación en el cual todavía coexisten y se mezclan las viejas prácticas con las nuevas. La nueva generación de programas de gestión de cuencas que se están elaborando tiene un nuevo enfoque y una nueva estrategia. En la formulación de los planes de manejo de cuencas hidrográficas, se deberían tener en cuenta tanto los atributos de la tierra y los recursos hídricos como los factores socioeconómicos que repercuten en el desarrollo de los seres humanos en esa zona en general, y las prácticas de uso de la tierra en particular. Asimismo, debería contemplarse un apoyo operacional permanente. Sin un control social adecuado del uso de los recursos mundiales de tierras y agua, el desarrollo tecnológico excesivo puede conducir, a largo plazo, al subdesarrollo regional o nacional. Es más, debe haber conciencia del sistema total de suelos y agua, tanto río arriba como río abajo, y de los beneficios interrelacionados que se pueden obtener mediante la aplicación inteligente de la tecnología moderna.

La gestión integrada de las cuencas hidrográficas del decenio de 1980 fue precursora del desarrollo rural sostenible, según se impulsó en la Cumbre de Río, en 1992. Ambos enfoques comparten una perspectiva sistémica de las interacciones biofísicas y sociales, interés en los efectos del cambio que se producen en el lugar y fuera de éste, a corto y a largo plazo, y la convicción fundamental de que una gestión social adecuada puede optimizar el funcionamiento de los ecosistemas humanos. Ambas tienen como objetivo generar beneficios para la población y el medio ambiente. Este paradigma indica que es difícil distinguir entre el manejo integrado de las cuencas y el desarrollo sostenible en ellas. La pobreza y las estrategias de vida no sostenibles, muchas veces contribuyen a la degradación de la cuenca hidrográfica, y la planificación requiere tener en cuenta los numerosos nexos que hay entre la pobreza y el manejo de cuenca. Existe el riesgo de que un compromiso excesivo con los medios de vida sostenibles y la reducción de la pobreza haga pasar a segundo plano el propósito ambiental de los programas de gestión de la cuenca hidrográfica. Si bien el ambientalismo también ha adquirido impulso, han surgido cuestiones de compensación entre los intereses de los medios de vida y los problemas del medio ambiente, especialmente en las intervenciones dirigidas a **reducir la pobreza y promover la seguridad alimentaria. Los objetivos centrados en el agua y aquellos centrados en las personas no siempre son compatibles**, y puede ser necesario afrontarlos en forma diferente. La relación entre los programas de gestión integrada de cuencas y los procesos de desarrollo sostenible entraña un dilema fundamental: • *¿Deberían los programas de gestión de cuencas hidrográficas incorporar objetivos de desarrollo sostenible y, por lo tanto, el compromiso de proporcionar beneficios y servicios que no se relacionan directamente con la gestión de los recursos naturales?* O bien • *¿deberían estar incorporados en procesos más amplios de desarrollo sostenible, asegurando que el desarrollo sostenible tenga en cuenta las cuestiones de las tierras y el agua?* La primera opción se puede denominar manejo integrado de cuencas “a través de programas”.

Predomina en muchos países en desarrollo donde, debido a la falta de atención suficiente al sector rural, los programas de manejo integrado de cuencas muchas veces incluyen actividades de desarrollo socioeconómico como elementos complementarios de las intervenciones de gestión de los recursos naturales. La gestión **“incorporada”** de las cuencas hidrográficas, por otra parte, se concentra en aquellos aspectos de los medios de vida sostenibles que están directamente asociados a los activos del capital natural, por ejemplo, fortaleciendo la capacidad de los participantes locales para la gestión de las tierras agrícolas y los recursos asociados **en forma tal que se promuevan la estabilidad ambiental y la seguridad alimentaria y del agua.**

Otros elementos del desarrollo sostenible –como la diversificación de los medios de vida fuera de la finca, la instrucción, la salud, etc.– son menos pertinentes para los programas de manejo de cuencas hidrográficas. Los activos de capital natural, como la tierra y el agua, son un nexo evidente entre el manejo de la cuenca y los medios de vida. **Sin embargo, los programas de gestión de cuencas que sólo se concentran en los recursos naturales producen pocas repercusiones en los medios de vida y la pobreza.** Es difícil que las personas que no tienen tierras, son analfabetas y están enfermas puedan utilizar los recursos naturales en forma sostenible. **La colaboración entre programas de gestión de cuencas y otras instituciones dedicadas a asuntos de los medios de vida, reducción de la pobreza, reforma agraria, instrucción y salud, permite tratar con más facilidad y eficacia las cuestiones ambientales y socioeconómicas.** Hasta ahora, la gestión incorporada de cuencas se ha llevado a cabo en países ricos, donde hay infraestructura, servicios de bienestar social y subvenciones públicas, e interés general en la conservación del medio ambiente. Por ejemplo, las intervenciones de gestión de cuencas en zonas montañosas despobladas de Europa occidental están articuladas con el desarrollo socioeconómico a través de actividades que fortalecen las capacidades locales de gestión forestal, de tierras y del agua.

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

Estas intervenciones también promueven opciones de medios de vida orientados a la conservación –como el turismo, la agricultura orgánica, la producción de especialidades locales de alimentos y artesanías– a través del enlace entre las intervenciones de gestión de cuencas con incentivos vigentes del sector público para la conservación de los recursos naturales y otros sistemas de subvenciones. Con algunas excepciones, la gestión de cuencas hidrográficas todavía no se ha difundido en los países en desarrollo y los países en transición, que tienden a carecer de un sector público eficaz en las zonas rurales, así como de subsidios e incentivos. Sin embargo, en los últimos 10 años, las iniciativas de lucha contra la pobreza y en apoyo a los medios de vida sostenibles, la descentralización administrativa y la colaboración entre los sectores público y privado, así como la ampliación del mercado de servicios ambientales, han comenzado a ofrecer a los programas de gestión de cuencas, nuevas oportunidades de asociación con los procesos locales de desarrollo en algunas zonas de África, Asia y América Latina.

Finalmente es pertinente señalar, que la **investigación científica** para el conocimiento de los procesos de funcionamiento de la cuenca hidrográfica y sus interrelaciones con el entorno, tanto físico como económico-social, es imprescindible a los fines de lograr una **gestión participativa e integrada** de forma tal, que se promuevan; **la estabilidad ambiental; la seguridad alimentaria y del agua.** (K. King, FAO – 2007)

---

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme siempre el aliento de vida, y expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado para lograr la realización de esta tesis.

A mis Amados padres Ricardo y Marina, que aunque ya partieron, me formaron como persona y me enseñaron el valor del conocimiento.

A mi esposa Luisa y a mis hijos Marina, Laura, María José, Luciana, Ricardo, Sabrina y Pablo, han sido la base de mi formación, cada uno de ustedes han aportado grandes cosas a mi vida, y me han ayudado en la gran tarea de encarar a la sociedad. Les agradezco por todo, en especial por ser los principales benefactores del desarrollo de mi tesis.

Al Dr.Geol. Jorge Walter García, mi director de tesis del magister, por su inestimable colaboración en la guía y desarrollo de ésta tesis, por ser una inspiración para todo estudiante de la maestría, y un amigo sincero, no solo por su aporte científico de la hidrogeología, sino también con las mediciones y determinaciones de campaña.

Al Ing. Mg. Oscar Graieb, mi Co-director de tesis, que siempre estuvo disponible para transmitirme sus conocimientos y consejos en el campo de las ciencias, logrando así despejar mis dudas.

A la Escuela de Posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán y a la Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo de la Universidad Nacional de Tucumán en cuyo Convenio Marco mediante Acta Acuerdo de fecha 12/10/2011, fue realizada esta Tesis de Maestría.

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

Al Dr. Hugo Rafael Fernández – Vicedecano de la Facultad de Ciencia Naturales de la UNT, por su colaboración en el campo de la permeabilidad de la superficie ecotono.

Al Geólogo Carlos D’Urso, por su constante aliento y colaboración con programas geoestadísticos para la ejecución de representaciones hidrológicas, en los trabajos de gabinete.

A la Dra. Bióloga Marcela Peralta, investigadora del Instituto de Invertebrados de la Fundación Miguel Lillo, por su aporte científico y análisis de muestras biológicas tomadas en la cuenca media del río Lules.

A La Bióloga Ana Palacios de la Dirección de Flora Fauna Silvestre y Suelos perteneciente a la Secretaría de Asuntos Agrarios y Alimentos de la Provincia de Tucumán, por su colaboración con bibliografía referente a los estudios de la Cuenca del Río Lules.

Al Ing. en Sist. Ramón Llanos por su colaboración en la elaboración de las planillas de cálculos de promedios de datos hidrológicos.

Al Geólogo Nicolás Ramos por su colaboración en una salida a campaña.

A la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), por su valiosa colaboración brindada a través de la Ing. Lorena Soule, de la Sección Agrometeorología, con los datos meteorológicos de la Estaciones, sin cuya información no hubiese sido posible realizar los cálculos de balance hídrico.



## ❖ RESUMEN

La investigación realizada en éste trabajo comprende la **Cuenca media del Río Lules**, que se localiza en el sector centro Oeste de la provincia de Tucumán, cuyo centro poblado más importante es la ciudad de San Isidro de Lules, sobre ruta provincial N° 301 a 22 km de San Miguel de Tucumán. Cuenta con una población de 31.106 habitantes (Censo 2010), con producción agrícola e industrial instalada en la zona, cuya demanda de agua superficial para ambos casos es del orden de 68 Hm<sup>3</sup>/año, requerimiento éste que supera ampliamente la capacidad de extracción de agua que soporta el río Lules, en razón de no encontrarse **dimensionado adecuadamente el manejo del curso hídrico**, a escala de cuenca.

La situación imperante planteada precedentemente, **altera el Régimen Hidrológico Natural del Río Lules**, generando **efectos directos y negativos** sobre el bienestar social., debido a la degradación de los ecosistemas fluviales existentes en el cauce, a raíz de la sobreexplotación del recurso hídrico, lo que tiene como consecuencia, entre otros efectos, la pérdida de la capacidad de autodepuración de las aguas en el río, el cambio de la morfología del cauce, el aumento de la carga contaminante, agravada por la descarga de residuos urbanos en el mismo.

Con los resultados de este estudio, se procura contribuir a un manejo sustentable del recurso, que permita conciliar la demanda de agua por parte de la producción, con la conservación de los ecosistemas fluviales, en virtud de que éstos últimos brindan servicios y beneficios ambientales a la sociedad.

❖ **ABSTRACT**

The research carried out in this work comprises the middle basin of the Lules River, which is located in the central west sector of the province of Tucumán, whose most important populated center is the city of San Isidro de Lules, on provincial route N ° 301 to 22 Km from San Miguel de Tucumán. It has a population of 31,106 inhabitants (Census 2010), with agricultural and industrial production installed in the area, whose surface water demand for both cases is of the order of 68 Hm<sup>3</sup> / year, a requirement that greatly exceeds the water extraction capacity Which supports the Lules River, due to the fact that the management of the watercourse is not adequately dimensioned at the basin scale.

The prevailing situation described above, alters the Natural Hydrological Regime of the Lules River, generating direct and negative effects on social welfare, due to the degradation of existing river ecosystems in the channel, due to the overexploitation of the water resource, which Has as a consequence, among other effects, the loss of the self-cleaning capacity of the waters in the river, the change in the morphology of the channel, the increase of the pollutant load, aggravated by the discharge of urban waste in it.

With the results of this study, we try to contribute to a sustainable management of the resource, which allows to reconcile the demand of water by the production, with the conservation of the fluvial ecosystems, since these last provide services and environmental benefits to the society.

## **Capítulo I: INTRODUCCIÓN**

### **I.1.- Motivos del Estudio**

El presente trabajo se realiza con el fin de contribuir al conocimiento hidrogeológico de la cuenca del río Lules, la que posee un área densamente poblada en el Departamento homónimo, y para optar por el título de Magister en Ingeniería Ambiental, en la Facultad Regional Tucumán de la Universidad Tecnológica Nacional.

El área de estudio comprende la cuenca media del río Lules que se localiza en el sector centro –oeste de la provincia de Tucumán. El centro poblado más importante es la ciudad de San Isidro de Lules ubicada sobre Ruta Provincial N° 301 a 22 km al suroeste de la ciudad de San Miguel de Tucumán, alrededor de la cual se desarrolla una importante actividad agro-industrial que se abastece esencialmente del recurso hídrico superficial y subterráneo.

En el sector el abastecimiento de agua para riego e industrial, se realiza exclusivamente de dos tomas de agua superficial, ubicadas sobre la cuenca media del río Lules y el agua potable se abastece mediante perforaciones distribuidas en diversos sectores de la cuenca.

Es tal la importancia de los recursos hídricos en la zona que existen estudios de extensión regional para explotarlos de modo intensivo, al respecto se puede citar el ***Proyecto de la Presa de Embalse Potrero de Las Tablas (PROINSA 2001)***, a los fines de cubrir fundamentalmente, el abastecimiento de agua potable para las poblaciones de Lules, La Reducción, San Pablo, El Manantial, Yerba Buena y el área SE-SO de la capital Provincial.

Luego para mantener y/o recuperar estos sistemas se hace imprescindible contar con estudios de detalle que, con una visión integral de los recursos, considerando principalmente la incidencia de la demanda social, y con estrategias a nivel de unidad hidrográfica, que permitan planificar la conservación y aprovechamiento del agua subterránea del sector tomando en cuenta las interrelaciones existentes con los ecosistemas que componen la complejidad de la cuenca.

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

Las zonas de recarga ofrecen recursos y valores muy apreciados, sin embargo su uso y conservación generan conflictos. A raíz de esto se produce la pérdida de la capacidad de almacenamiento y estabilización de los cauces y manantiales de los que se sirven las poblaciones asentadas en las mismas.

El conocimiento adecuado de todos estos procesos, que componen este vital recurso, especialmente en lo referente a las *interrelaciones entre agua superficial y subterránea*, permitirá ejecutar una planificación integrada de las actividades agrícolas e industriales que tenga en cuenta los procesos del ciclo hidrológico y orientar el desarrollo de la población con un criterio de sustentabilidad del recurso.

---

## **Capítulo II: ANTECEDENTES**

### **La evaluación ambiental y el manejo de cuencas hidrográficas**

En los últimos años, las deliberaciones internacionales sobre la reducción de la pobreza y el desarrollo sostenible han suscitado un alto nivel de apoyo político al manejo de las cuencas hidrográficas como asunto de interés mundial. En la Asamblea General de la OEA, en junio de 2007, por ejemplo, se aprobaron dos importantes resoluciones que resaltan la relevancia del manejo de los recursos hídricos en términos de salud, derechos humanos y desarrollo sostenible. En particular, la Asamblea General aprobó la resolución 2347, en la que se prevé una Reunión Interamericana sobre los Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales relacionados con la Disponibilidad y el Acceso al Agua Potable, que se celebraría en el primer trimestre de 2008. Aunque esa preocupación ante las prácticas inadecuadas de gestión que aumentan la presión sobre los recursos hídricos es encomiable y marca un avance positivo hacia la elaboración de un criterio más adecuado de gestión de tales recursos, es fundamental señalar que ese alto nivel de apoyo político rara vez se ha traducido en una inversión suficiente para avanzar efectivamente en el manejo del agua. En la Evaluación de Ecosistemas del Milenio, se concluye que, a nivel mundial, **el 60% de los sistemas ecológicos se están deteriorando** y están siendo usados en forma insostenible, en tanto dos ecosistemas en particular –la pesca y el agua dulce- han sido agotados mucho más allá de los niveles requeridos para mantener la demanda actual. Además, en dicha evaluación se subraya que, pese al mayor apoyo político, entre el 5% y el 25% de los usos actuales del agua **superan las reservas accesibles a largo plazo** y ahora exigen el empleo de transferencias técnicas y/o el uso excesivo de las reservas freáticas para llevar agua potable a las poblaciones que habitan zonas problemáticas.

Desde el punto de vista económico, **las cuencas hidrográficas ofrecen** a la sociedad una **diversa gama de bienes y servicios comercializados**, como el agua potable, y **no comercializados**, como la función de protección contra tempestades que cumplen los manglares o las funciones de filtración del agua que cumplen las marismas.

(2) Aunque varios estudios, como el de la Comisión Económica de las Naciones Unidas, para la Unión Europea, señalan que la degradación de los servicios de las cuencas representan una pérdida de activos de capital, existen vacíos sustanciales a nivel de políticas y metodologías en cuanto a la cuantificación económica de los costos de las inversiones relacionadas con el agua y de los **costos directos e indirectos del deterioro de las cuencas hidrográficas**, así como de los múltiples beneficios de apoyar a **un manejo integrado de los recursos hídricos**. En pocas palabras, no existe un marco unificado mediante el cual los encargados de la formulación de políticas puedan efectivamente acceder a la información y las prácticas óptimas elaboradas por los estudiosos e investigadores de la **economía ambiental** en relación con la evaluación de los recursos hídricos.

De manera que en este documento de antecedentes se examinan algunas de las oportunidades y dificultades vinculadas a la realización de un análisis económico de costo-beneficio de las prácticas de manejo del agua, como parte del proceso de elaboración de opciones de política. Es de esperar que el presente trabajo fomente un debate sobre el tema al analizarse la agenda de la próxima reunión interamericana sobre el agua, y que se recurra cada vez más a una evaluación económica y un análisis de costo-beneficio cuando los encargados de formular las políticas procuren mejorar los criterios actuales de manejo de los recursos hídricos.

Según un estudio reciente de Nature Conservancy y USAID, la gran mayoría de las prácticas de gestión que se emplean hoy en el hemisferio occidental **no captan cabalmente el valor económico total de los sistemas de cuencas hidrográficas**. Como sucede en otras esferas de la evaluación ambiental y en los procedimientos conexos de contabilidad ambiental, la gran dificultad sigue siendo **cuantificar los servicios “no comercializados”** (3). Por ejemplo, las **funciones hidrológicas naturales**, las prácticas agrícolas sostenibles en las regiones cercanas a las nacientes, como la **conservación de suelos** y la protección conexas de las zonas ubicadas corriente abajo contra las inundaciones y la sedimentación, todo ello contribuye al valor económico que las personas obtienen de las cuencas que habitan. Sin embargo, como estas funciones del ecosistema no son cuantificadas ni objeto de comercio, habitualmente quedan al margen de los precios de mercado (4).

Como existe la percepción de que es muy difícil medir el valor económico de estas funciones de los ecosistemas, la no fijación de precios o la **subvaloración del precio de los servicios ambientales** de las cuencas, perpetúa un **círculo vicioso en el que el deterioro ambiental nunca es considerado en toda su dimensión** como componente de los precios del mercado. En efecto, actualmente se da prioridad a corrientes de inversión para otras iniciativas y, cuando se formulan e implementan a nivel de política los proyectos de manejo de cuencas hidrográficas, no se consideran debidamente muchos de los bienes y servicios más valiosos generados por estos sistemas (5).

En tal sentido, se propone preparar para las Américas, en los próximos meses, un informe del tipo Stern sobre los costos y beneficios económicos del manejo de cuencas hidrográficas, de modo de ayudar al avance en materia de política. Es con esta idea que en el presente trabajo se resaltan los beneficios de emplear técnicas de valoración económica como instrumento para una intersección efectiva y para facilitar la formulación de políticas de manejo del agua más firmes, que tengan en cuenta cabalmente el valor económico total de los bienes y servicios generados por las cuencas hidrográficas. Tras comenzar con un breve panorama general de la valoración económica como fundamento del análisis, el presente trabajo subraya finalmente que las **técnicas de valoración de las cuencas hidrográficas** representan un primer paso vital mediante el cual los encargados de formular las políticas pueden transmitir en términos monetarios la necesidad de incrementar la inversión en la **protección de los recursos hídricos naturales** y justificar la aprobación de políticas tales como el **pago por servicios ambientales** a efectos de acercarse a una gestión óptima de los bienes y servicios de las cuencas hidrográficas en beneficio de la sociedad civil y de las economías nacionales.

(1) (Jeffrey Goldberg – 2007)

(2) (Gleick -1993, Naiman et al.- 1995, Postel y Carpenter -1997)

(3) (Karin M. Krchnak, - 2007)

(4) (Michael Richards - 1997).

(5) (Lingappan Venkatachalam- 2007).

---

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*



### **Capítulo III: HIPOTESIS Y OBJETIVOS**

#### **-Hipótesis:**

*Con la demanda actual del agua superficial, en la cuenca media del Río Lules, no es posible mantener el caudal mínimo para la conservación del ecosistema fluvial.*

#### **-Objetivo General**

Cuantificar la recarga de agua subterránea y determinar el **flujo base** que permita definir la incidencia sobre los ecosistemas fluviales en la cuenca media del Río Lules.

#### **-Objetivos específicos**

- Determinar el Balance Hídrico en la cuenca media del Río Lules.
- Estimar el volumen de recarga de acuíferos del sector.
- Establecer el flujo base del curso hídrico.
- Cuantificar la demanda de agua superficial.
- Elaboración del Hidrograma anual del Río Lules
- Monitoreo de ambientes acuáticos y ribereños.

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## **Capítulo IV: METODOLOGÍA**

### **- Tipo y Diseño de Investigación**

Esta investigación se plantea para ser aplicada en la cuenca media del Río Lules, y es de tipo explicativa basándose, en la identificación de las relaciones entre variables que surgen al determinar la recarga de los acuíferos en función de la extracción de agua superficial del cauce hídrico. El estudio define **la interrelación existente entre las aguas de escurrimiento superficial y las subterráneas**. Para ello se diseña un procedimiento científico basado en la aplicación de metodologías hidrogeológicas que parten de datos proporcionados por las Estaciones meteorológicas y de Aforos ubicadas en la zona de estudio, las mismas son: **Precipitaciones medias anuales; Temperaturas medias; Caudales medios anuales y mediciones de Infiltración, Mediciones Geoeléctricas, análisis de suelo y la observación de Indicadores ambientales**, dentro de la cuenca del curso fluvial. Para ello se aplican los métodos de **Balance Hídrico** con sus correspondientes cálculos:

- Evapotranspiración real (**Método de Turc**).
- Evapotranspiración potencial (**Método de Thornthwaite**).
- Altura **media, mínima y máxima** de **Lámina de Agua** Precipitada (**métodos de la Media Aritmética e Isohietas**).
- Altura media, mínima y máxima de Lámina de Agua Evaporada (**Método de la Isopletas**).
- Cálculo del **Balance Hídrico** para cada estación meteorológica.
- Determinación de la incidencia porcentual de cada uno de los parámetros (*Precipitación; Evapotranspiración; Escurrimiento e Infiltración*) en el Balance Hídrico Anual de la Cuenca del Río Lules.
- Elaboración del **Hidrograma anual** del Río Lules.
- Separación de componentes (método de Linsley y de las dos líneas rectas)
- Determinación de la **Recarga de Acuíferos**.

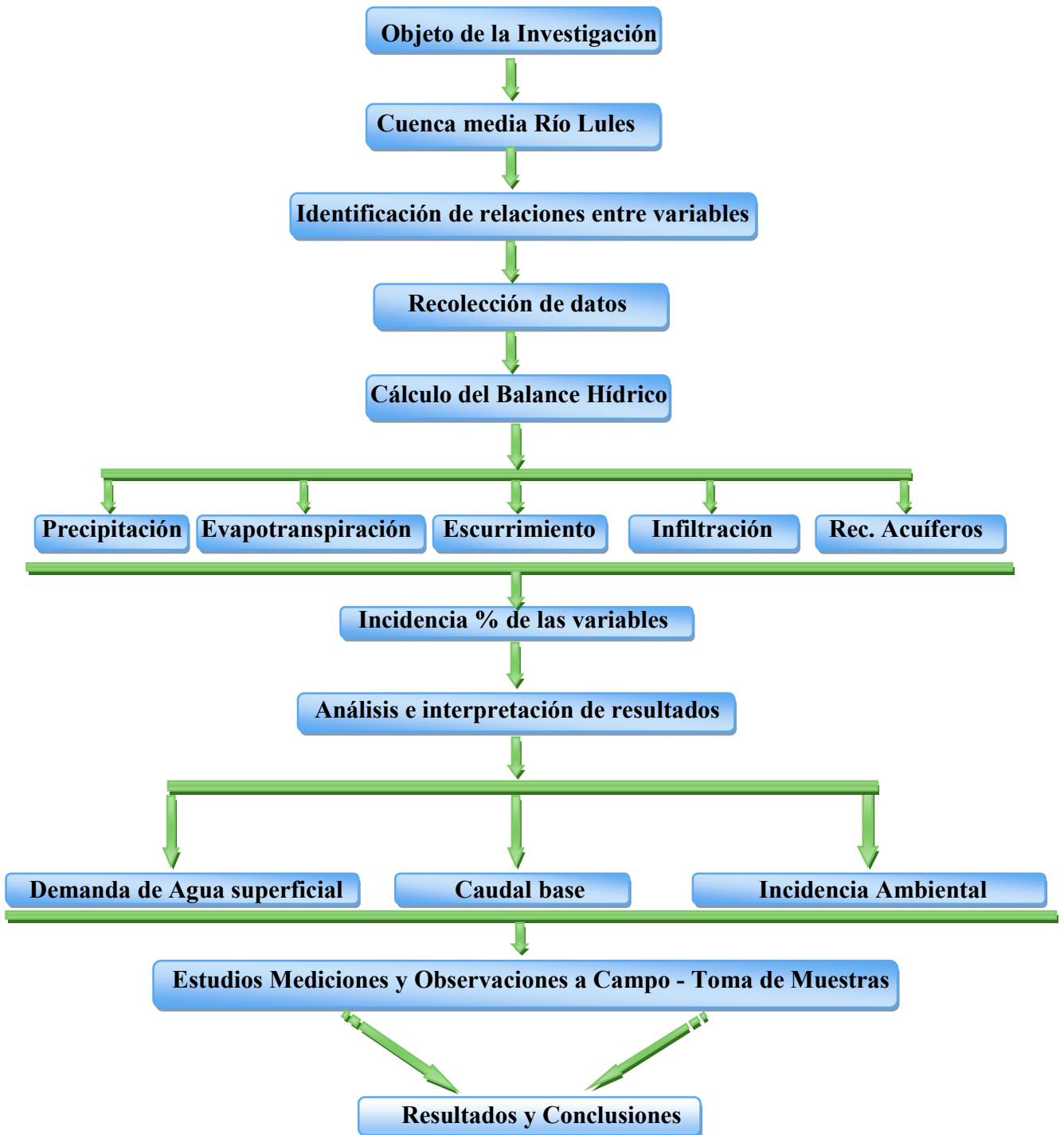
*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

- Análisis de la demanda Superficial de Agua destinada a usos de: **Riego Agrícola; Industrial y Consumo Humano.**
- Estimación del **Caudal base.**
- **Mediciones y Observaciones a Campo** (Infiltración método del Doble Anillo; Perfiles Geoeléctricos; Muestreo de Suelos; Observación de Indicadores ambientales).
- Análisis de **muestras de suelo** en Laboratorio.
- Incidencia Ambiental.
- Resultados y Conclusiones.

#### IV.2 Unidad de análisis

- La **cuenca media** de Río Lules.
  - **Tamaño de la muestra: 161.8 Km<sup>2</sup>**
-

## DIAGRAMA DE FLUJOS

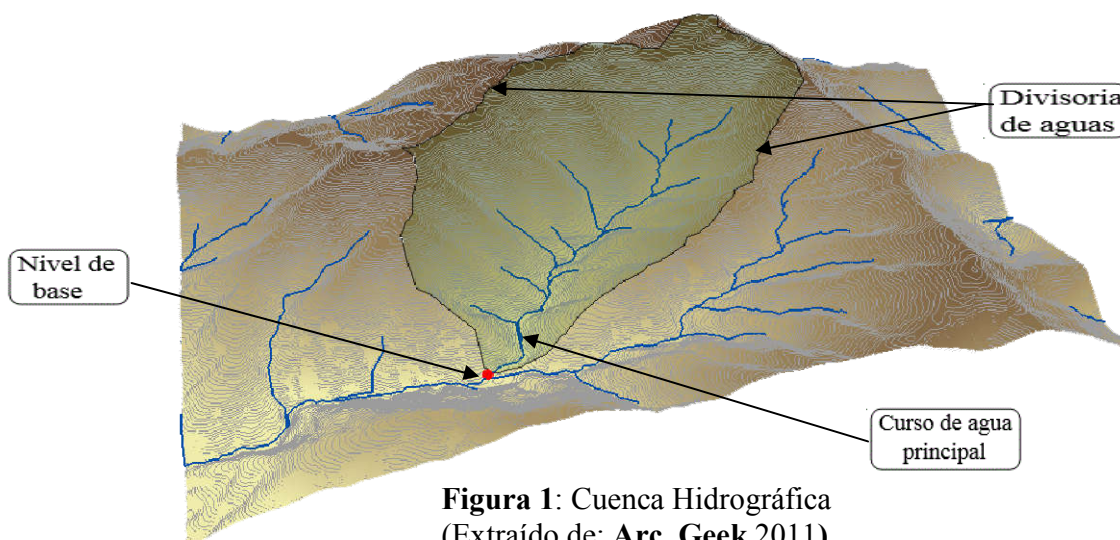


*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## Capítulo V: MARCO CONCEPTUAL

### -La Cuenca Hidrológica

Partiendo de una definición básica, una cuenca es el territorio que aporta agua al río que contiene, se encuentra definida por la **línea de cumbres** llamada **divisoria de aguas** o sea, es el área total que desagua en forma directa o indirecta en un río o nivel de base. Completando el concepto, una cuenca es un **área natural** en la que el agua proveniente de la precipitación pluvial forma un curso principal de agua, hasta que llega al mar, lago u otro río. La cuenca es una unidad hidrográfica, conformada por el conjunto de sistemas de curso de aguas y delimitada por las cumbres, o el relieve que la comprende, siendo sus límites la “divisoria de aguas”. (Figura 1)



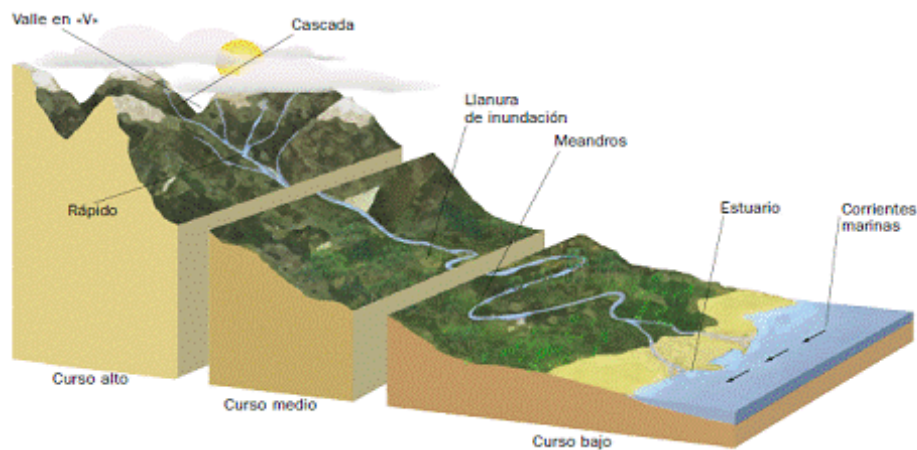
**Figura 1:** Cuenca Hidrográfica  
(Extraído de: Arc. Geek 2011)

La cuenca es un sistema dinámico con **componentes físicos** tales como el *agua, el aire, el suelo, subsuelo, el clima y los minerales*; **biológicos** como *la flora y fauna*; **antropogénicos** como *los socioeconómicos, culturales e institucionales*. Todos estos componentes están **interrelacionados y en un determinado equilibrio**, de manera que al afectar uno de ellos, se produce un desbalance en el sistema que de acuerdo a la capacidad de carga del mismo, tiende a recuperarse nuevamente o a producir una nueva condición pero deteriorada. (Dardón J. et al. 2006).

Además, la cuenca, presenta innumerables cambios en el tiempo, en donde los de origen antropogénico **reflejan la cultura de la sociedad que la habita**. Por lo que, una cuenca hidrográfica es una unidad natural adecuada para la coordinación de procesos de **manejo diseñados para asegurar el desarrollo sustentable**. (Dourojeanni, 2002).

Para efectos prácticos, una cuenca hidrográfica puede ser dividida en las siguientes secciones:

- **Curso alto**, que corresponde con las áreas montañosas limitadas en su parte superior por las líneas divisorias de aguas.
- **Curso medio**, que comprende las zonas de pie de monte y valles bajos, donde el río principal mantiene un cauce definido.
- **Curso bajo o zonas transicionales** como los estuarios o humedales, donde el curso de agua diviga o desaparece como tal. (Figura 2)



**Figura 2:** Secciones de una cuenca  
(Extraído de: **Pizarro J.S.** 2010)



## **- Importancia del Estudio de una Cuenca Hidrográfica**

El mundo es un sistema ecológico único, en donde el sistema hídrico o ciclo del agua tiene entre sus funciones el mantenimiento del clima global y para ello, la calidad de los subsistemas de cuencas y su cobertura vegetal resultan en una sumatoria vital para mantener estable dicho ciclo. Actualmente, las pocas cuencas en las que no habitan los seres humanos, ni están incorporadas a la producción, son reservorios de naturaleza y biodiversidad que deberían estudiarse, manejarse y conservarse, puesto que día a día con su transformación, se extinguen especies que la humanidad aún no ha conocido y se pone en riesgo a la propia especie humana.

Las relaciones naturales, espaciales y de asentamientos humanos de las cuencas son muy variadas, por lo que cada una de ellas presenta su propia particularidad. **En cada cuenca** donde se localizan asentamientos humanos debería **evaluarse su capacidad de carga en relación a la densidad demográfica y su reproducción**, considerando que una cuenca cuenta con una capacidad finita de recursos físicos y biológicos. Luego la relación de estos recursos, con el **volumen de la demanda de agua** para las necesidades humanas, debe mantener un equilibrio a fin de no sobrepasar la **capacidad de carga** admisible que posee el recurso hídrico. Este se expresa como **un umbral** en el que la base natural y los recursos pueden **reciclarse, regenerarse y reproducirse**. Una vez abatida dicha capacidad, el deterioro se torna irreversible.

Por lo expresado, las cuencas idealmente deben de mantenerse en un **umbral positivo** y para ello las sociedades que las habitan deben buscar constantemente el balance hacia márgenes positivos mayores sin que ello necesariamente implique, restricciones en la **satisfacción de necesidades económicas, sociales y culturales**. También en términos ideales, cada cuenca debe alcanzar **su propia sustentabilidad y no incorporar artificialmente recursos naturales provenientes de otras cuencas.** (Hidrología Scribd Consultada 2016)

### **- Origen y situación del agua subterránea**

La mayoría del agua subterránea se origina como **agua meteórica** que cae de precipitaciones en forma de lluvia o nieve. Una parte retorna a la atmósfera por evaporación, transpiración de las plantas, otra se escurre superficialmente y otra parte del agua precipitada se infiltra en el terreno. Al principio ciertas cantidades de agua de precipitación que cae en el suelo seco se retienen fijamente como una película en la superficie y en los microporos de las partículas del suelo. En un paso intermedio, las películas de agua cubren las partículas solidadas pero el aire está todavía presente en las zonas porosas del suelo. Esta zona es llamada **zona no saturada o de aireación**, y el agua presente es agua gravitacional.

A profundidades menores y en presencia de volumen de agua adecuada, se rellenan todos los huecos para producir una **zona de saturación**, el nivel superior es la **mesa del agua o nivel freático** (nivel del acuífero). El agua presente en las zonas de saturación se denomina **agua subterránea**.

**-La porosidad y estructura del suelo** determina el *tipo de acuífero y la circulación de las aguas subterráneas*. El agua subterránea puede circular y almacenarse en el conjunto del estrato geológico: este es el caso de *suelos porosos como arenosos, de piedra y aluvión*. Puede circular y almacenarse en fisuras o fallas de las rocas compactas que no son en ellas mismas permeables, como la mayoría de rocas volcánicas y metamórficas. El agua corre a través de la roca y circula en fisuras localizadas y dispersas. Las rocas compactas de grandes fisuras o cavernas son típicamente calizas.

Cuando el suelo se encuentra saturado, el agua se elimina por infiltración siguiendo la fuerza de gravedad, hasta que alcanza un estrato del subsuelo que es poco permeable.

Los espacios porosos de profundidad se saturan, conformando el agua subterránea. Las **entradas de agua** al sistema son las **precipitaciones, riego, infiltración de cuerpos superficiales de agua y percolación lateral**. Las **salidas** de agua de los acuíferos son por **evapotranspiración, percolación lateral, descargas en superficie y extracciones por acción del hombre** (Vilela, 1970; Chilton y Seiler, 2006).

Mientras infiltra en profundidad, el agua excedente de la zona no saturada (agua gravitacional), incorpora sales solubles disponibles (entre estas los compuestos nitrogenados), que le confieren características químicas al agua subterránea. Además, **ante los contaminantes, la zona no saturada actúa como filtro protector del agua subterránea** (Aller et al., 1987; Foster et al., 2002; Auge, 2004).

El agua en el acuífero libre presenta **dos direcciones de movimiento: vertical y horizontal** (Vilela, 1970).

El **movimiento vertical** hace referencia a los cambios en el nivel freático por efecto de **las recargas** (precipitaciones, riego, infiltración de cuerpos superficiales de agua y percolación lateral), **descargas** (evapotranspiración, percolación lateral, descargas en superficie y extracciones por acción del hombre), cambios en la presión atmosférica y temperatura.

El **movimiento horizontal** o lateral, hace referencia al movimiento del agua en el medio poroso, a favor de un gradiente mayor hacia uno menor. Este movimiento, en medios porosos, se explica a través de la **Ley de Darcy**, que establece que la velocidad de flujo, varía directamente en relación a la conductividad hidráulica o permeabilidad específica de los materiales acuíferos, y a la pendiente del gradiente hidráulico (Vilela, 1970; Chilton y Seiler, 2006) (Ecuación 1).

**Ecuación 1**  $v = -k \times i$

Donde:

**v:** velocidad del flujo

**k:** conductividad hidráulica o permeabilidad efectiva en unidades de distancia/unidades de tiempo

**i:** gradiente hidráulico o pendiente de la superficie freática.

El signo negativo de la **Ecuación 1** indica que el agua fluye hacia los niveles más bajos de la superficie freática. La conductividad hidráulica, resulta de la interacción de cada tipo de material con el fluido, por lo que cada matriz de acuífero, presenta una conductividad hidráulica específica.

### **-Interacción entre los Sistemas de Agua Superficial y Subterránea**

La interacción del agua superficial con el agua subterránea puede analizarse a nivel regional o local (**Winter**, 1998 y **Varela** et al., 1999).

***A nivel regional***, como ejemplo característico del área de estudio, se puede considerar un abanico aluvial, que es una acumulación aluvial formada a partir del cambio de pendiente en el terreno. La dirección del flujo horizontal del agua superficial y subterránea, va desde las zonas más altas de recarga (pedemonte) hacia las bajas de descarga (llanura). (**Vilela Cesar R**, 1970)

**Zona de recarga:** es el ***área apical del cono***, de mayor altitud respecto al resto, se encuentra próxima a las sierras. ***Los sedimentos son gruesos***. Se caracterizan por no presentar capas confinantes, por lo que el agua infiltrada, alimenta a todo el sistema acuífero. La superficie freática se encuentra profunda. El origen del agua de recarga es diverso, puede ser de precipitaciones, infiltración de cauces superficiales o riego de cultivos.

**Zona de conducción:** es a partir de la presencia de una capa de baja permeabilidad que otorga propiedades de confinamiento o semiconfinamiento. En esta zona, los **acuíferos** se diferencian en ***libres, semiconfinados o confinados***. El agua del acuífero libre proviene de recarga fresca y de la percolación lateral de zonas más altas. El aporte de agua y solutos al acuífero semiconfinado depende del grado de permeabilidad de la capa confinante y el potencial hidráulico respecto al acuífero libre. Puede presentar surgencia.

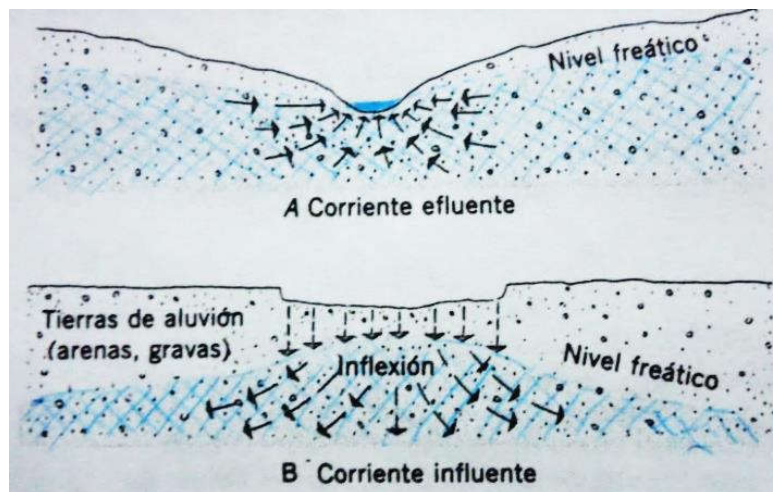
**Zona de descarga:** se presenta en la ***zona distal del cono***. No se presenta capa confinante. La percolación lateral es menor, debido a la baja permeabilidad de los materiales finos, hay aporte constante de agua y la pendiente del terreno es muy baja, por ello el nivel freático asciende por sobre la superficie del terreno, descargando sobre un cuerpo superficial de agua o formando humedales.

En general, la escala regional involucra a todos los sistemas acuíferos: libre, semiconfinado y confinado. (**García J. W.** - 2005).

**A nivel local**, considerando cortes transversales a los cauces superficiales, en cualquiera de los tres ambientes anteriores, y siempre que el medio sea lo suficientemente permeable, se pueden presentar algunas de las siguientes interacciones (**Winter Thomas C. et al., 1998**). (Figura 3)

La superficie freática se encuentra a **mayor cota** que el nivel del agua del cuerpo superficial, entonces el acuífero libre se comporta como **efluente** (**Figura 3A**). Ej: cuenca inferior del arroyo Tapalquén, provincia de Buenos Aires (**Varela et al., 1999**).

**El nivel de agua** del cuerpo superficial es **superior al del acuífero libre** y en ese caso el agua subterránea es **influyente** del cauce (**Figura 3 B**). Ej: cuenca del río Murray, banco de arcilla, Australia (**Lamontagne et al., 2002**); cuenca del arroyo El Gato, La Plata, provincia de Buenos Aires (**Deluchi et al., 2005**).



**Figura 3:** A) Acuífero efluente; B) Acuífero influyente o afluente  
(Extraído de **Winter Thomas C. et al., 1998**)

Las características de interacción local de afluencia y efluencia, pueden presentarse constantes en un mismo cauce, o variar espacial y/o estacionalmente (**Vilela Cesar R.- 1970**; **Burt et al., 2002**; **Lamontagne et al., 2002**; **Díaz y Ruiz de Galarreta, 2010**). Esta variabilidad depende de las propiedades, de la forma del terreno, de la configuración geológica y de la configuración climática. Para comprender correctamente el funcionamiento del sistema, se debe establecer claramente estas relaciones, y definir las propiedades que lo condicionan.

En general en la interacción entre el curso superficial con el sistema acuífero, intervienen no sólo el agua, sino también los solutos disueltos en la misma y las propiedades bioquímicas.

Diagnosticar la **relación entre el agua superficial con un acuífero subyacente** es un componente esencial de la caracterización de sistemas de agua subterránea.

Las tasas de recarga varían con la **derivación o el control del caudal del río, modificaciones en la irrigación con agua superficial, cambios en la vegetación natural o tipo de cultivos** en las zonas de recarga, etc.

Finalmente algunas observaciones genéricas sobre los procesos de recarga de los acuíferos:

**Las áreas con aridez creciente** tienen una tasa más baja y menos frecuente de flujo descendente hacia el manto freático y, por lo general, la recarga por precipitación directa se vuelve progresivamente menos importante que la recarga indirecta por escurrimiento superficial y las estimaciones del componente directo de recarga por precipitación casi siempre resultan más confiables que las del componente indirecto de recarga por escurrimiento.

**- ¿Por qué es importante estimar la reposición de un acuífero?**

El conocimiento de las tasas contemporáneas de recarga de los acuíferos **es fundamental** para la **sustentabilidad del aprovechamiento de los recursos de agua subterránea**. Además, es **esencial para la gestión integrada de los recursos hídricos** comprender los mecanismos de recarga de los acuíferos y su interacción con el uso del suelo.

El agua subterránea es un recurso natural **muy valioso** porque es un componente esencial del Ciclo Hidrológico. La contribución de agua de los acuíferos al flujo de los ríos es responsable de que el **río siga teniendo caudal cuando no hay precipitaciones**. El agua subterránea **cumple una función ambiental en la naturaleza** por su contribución a los caudales de ríos, manantiales, lagos, humedales y estuarios, tiene un papel importante en muchos procesos geológicos, y es un solvente activo por lo que el flujo subterráneo actúa como vehículo en el transporte de contaminantes o en el control de la intrusión de aguas salinas. (**Custodio 2001, Younger 2007**).

Las aguas subterráneas se pueden valorar, aprovechar y controlar como cualquier recurso natural y su conocimiento no presenta dificultades superiores a las de las superficiales, aunque son distintos los principios y las técnicas, y existen modelos de flujo subterráneo y transporte de contaminantes de libre disponibilidad que se utilizan rutinariamente para analizar el comportamiento de los acuíferos y sus relaciones con otros componentes del ciclo hidrológico, ríos, lagos, atmósfera y zona no saturada. (Sorooshian 1993).

### **Ocurrencia, Distribución y movimiento del agua en el Subsuelo**

El agua del subsuelo se distribuye en **dos grandes zonas**, la **no saturada** y la **saturada** (Figura 4)

La zona no saturada del subsuelo es la más superficial, los poros contienen tanto aire como agua, y es de importancia en la geoquímica del agua de la zona saturada. La zona saturada, se conforma principalmente por el agua subterránea, y se caracteriza por presentar todos los poros de la formación geológica saturados de agua (Vilela, 1970; Custodio y Llamas, 1983).

El sistema conformado por la formación geológica y el agua que satura los poros (agua subterránea) se denomina acuífero (Foster et al., 2006; Chilton y Seiler, 2006).

Estos acuíferos pueden clasificarse como **libres**, **semiconfinados** o **confinados** (Figura 4).

El acuífero libre o freático, se caracteriza por estar sometido solamente a la **presión de la atmósfera**, sin ninguna capa superior de baja permeabilidad (Vilela, 1970; Custodio y Llamas, 1983). Al carecer de esta capa, presenta una alta vulnerabilidad a la contaminación (Aller et al., 1987; Foster et al., 2002; Auge, 2004). A nivel local, es el acuífero que podría presentar mayor interacción con el agua superficial (Winter et al., 1998). Los acuíferos semiconfinados o confinados se desarrollan entre dos capas de baja permeabilidad, superior (**acuicludos o acuitardos**) e inferior (**acuífugos**). La capa inferior consiste en el basamento de todo el sistema acuífero. Las características de la capa superior, son las que establecen el grado de confinamiento. Un acuífero confinado no tendría conexión hidráulica con el agua libre, **salvo a escala regional** o en **pozos de bombeo**, sin embargo, dada la dificultad que en la naturaleza se presente este caso de confinamiento, se prefiere el concepto de semiconfinado (Auge, 2004).

En este tipo de acuífero, la recarga, se realiza donde la capa superior de baja permeabilidad presenta poca entidad y el potencial hidráulico es favorable. La descarga natural de este acuífero, se da en zonas donde no se presenta la capa superior de baja permeabilidad y la presión diferencial, respecto a la zona de recarga, permite la surgencia. Para evaluar la vulnerabilidad de este acuífero, se consideran las propiedades de la capa superior y la dirección del potencial hidráulico (Vilela, 1970; Auge, 2004).



**Figura 4:** El agua en el subsuelo

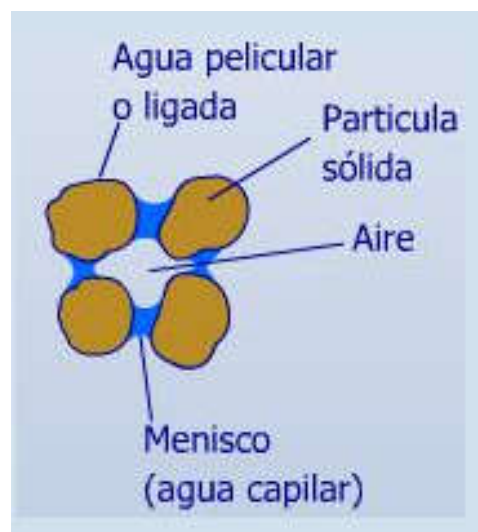
(Elaborado sobre la base del trabajo de Videla 1970 y Chilton y Seiler, 2006).

### **-Tipos de Agua**

Cuando el agua circula por los poros puede quedar retenida en ellos por efecto de la atracción de las partículas sólidas que lo componen puesto que el agua **tiene un carácter polar**, la fuerza de retención será mayor cuanto más cerca estén las moléculas de agua de dichas partículas, así existe un agua fuertemente unida (**agua ligada**) que forma una película alrededor de ellas. Esta agua no es absorbible por las plantas. La película puede ser tanto más gruesa como carga tenga la partícula. Si dos partículas **están suficientemente cerca sus películas de agua pueden atraerse** y formar un menisco o puente entre ellas.



Las moléculas **más alejadas** están retenidas con menos fuerza de modo que **podrán ser absorbidas por las raíces de las plantas** (fuerza de succión) o pueden perderse por gravedad si ésta fuerza es mayor que la de retención (**agua gravitacional**). El agua que queda retenida venciendo a la fuerza de gravedad se denomina **agua capilar** porque se sitúa en los poros capilares (de menor tamaño), parte de la cual será absorbible. (Figura 5)



**Figura 5:** Tipos de agua  
(Extraído de: U C M, 2015)

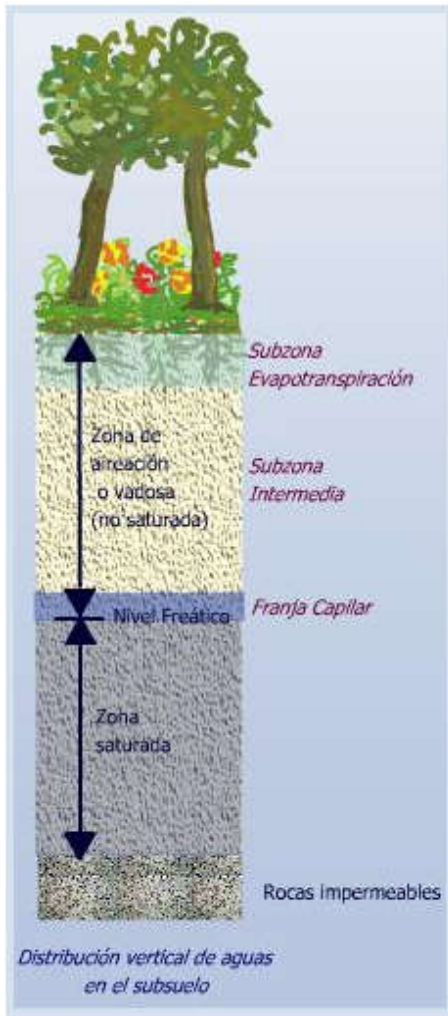
En el perfil del suelo se distinguen **dos zonas**:

**Zona no saturada** (de aireación o vadosa)

Que se extiende desde la superficie del terreno hasta el nivel freático. Los poros no están saturados, es decir, están ocupados tanto por **agua** como por **aire** en función de las condiciones, y el agua retenida, que puede ser agua de hidratación, de adhesión o capilar, se encuentra a una presión menor que la atmosférica. El agua no retenida se moverá gracias a la gravedad (**agua gravitacional** o gravífica), y seguirá descendiendo (percolación), y ocupando eventualmente los poros, grietas, y fisuras de los materiales hasta alcanzar algún nivel inferior que sea impermeable o esté saturado. (Figura 6)

### Zona saturada

Se extiende desde el nivel freático hasta las rocas impermeables. Los poros se encuentran totalmente llenos de agua y constituyen el acuífero subterráneo, donde el agua circula por efecto del gradiente hidráulico.



Ahora bien, dentro de la zona no saturada se distinguen tres subzonas: Una superficial de Evapotranspiración, otra de Intermedia y la Franja capilar.

**a) Subzona superficial:** caracterizada porque una parte de las aguas infiltradas quedará retenida y adherida por fuerzas capilares al terreno, formando la humedad del suelo. El agua aquí contenida puede evaporarse volviendo a la atmósfera, o ser absorbida por los vegetales a través de sus raíces, quienes también la evaporarán por transpiración: a esta zona del suelo comprendida entre la superficie y el límite inferior de las raíces de los vegetales, denominada subzona de **evapotranspiración**, y tiene un espesor variable desde algunos centímetros hasta varios metros, en función de la cantidad y el tipo de vegetación propios de la región.

**b) Subzona intermedia:** en la que el agua se mueve por gravedad hacia las zonas inferiores (percolación). Tiene un espesor muy variable, desde algunos cientos de metros en el caso de zonas desérticas, a llegar incluso a no existir en el caso de niveles freáticos muy cercanos a la superficie.

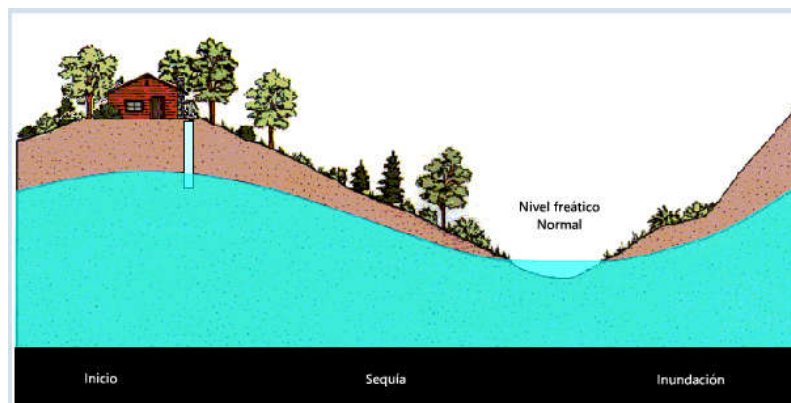
**Figura 6–** Distribución de las aguas en el subsuelo Consultada en 2015) (Extraído de: **Universidad Complutense de Madrid**

c) **Franja capilar**, en contacto con la zona saturada. Esta franja se caracteriza porque los estrechos conductos y oquedades situados entre los materiales, se mantienen ocupados por agua sujeta a fuerzas capilares, que asciende desde la zona saturada inferior a una altura tanto mayor cuanto mayor sean estas fuerzas. Aunque esta zona está saturada de agua, al igual que la zona de saturación que la sigue, hay una diferencia fundamental entre ambas: el agua de la franja capilar al estar sometida a fuerzas capilares no fluye en general, mientras que la de la zona **saturada** sí lo hace **al ser agua gravífica**.

### **El nivel Freático**

Es el nivel a partir del cual los materiales se encuentran totalmente saturados de agua, su profundidad es variable en función de las condiciones climáticas:

Después de precipitaciones abundantes, es decir en épocas de recarga subirá, acercándose cada vez más a la superficie o incluso situándose por encima de ella, lo que dará lugar a zonas encharcadas o pantanosas. Por el contrario en épocas secas, o como consecuencia de extracciones abusivas, el nivel bajará progresivamente lo que se traducirá en desecación de humedades, fuentes, descenso de niveles de ríos y pozos, etc.



**Figura 7.** Zona de nivel freático-  
(Extraído de: UCM –Consultada 2015)

Mientras que las superficies de un lago o un río son superficies planas horizontales, no ocurre lo mismo con el nivel freático. (Figura 7). Este no se dispone en forma de superficie plana, sino que reproduce toscamente la superficie topográfica del terreno, de manera que se encuentra a

mayor altura en las zonas elevadas y desciende en las deprimidas. Esta disposición se debe al hecho de que el agua subterránea se desplaza en general muy lentamente a través de los poros de las rocas, por lo que las aguas que se infiltran en las sucesivas precipitaciones tienden a acumularse en las zonas elevadas, ya que tardarán mucho tiempo en alcanzar las zonas bajas de descarga.

Desde la superficie del terreno no es posible detectar la situación del nivel freático, salvo en los casos en los que corte o esté por encima de dicha superficie (zonas pantanosas, lagos, etc.). Sin embargo, se puede conocer de manera bastante aproximada a qué profundidad se encuentra, que coincidirá con la altura del agua de los pozos que existan en la zona, siempre que estén perforados en **acuíferos libres**, ya que los pozos son perforaciones en el subsuelo hasta alcanzar este nivel. (De hecho, etimológicamente nivel freático significa nivel de los pozos, ya que freatos=pozo, en griego) (Figura 8 a y 8 b).



Figura 8 a



Figura 8 b

(Extraído de: **Universidad Complutense de Madrid**- movimiento de las aguas en el subsuelo).

En la zona saturada el límite superior viene marcado por el **nivel freático**, y el inferior por los materiales impermeables a partir de los cuales se ha acumulado el agua. Se caracteriza porque los poros, grietas y fisuras de las rocas están completamente ocupados por agua, que se encuentra a una presión variable: igual a la atmosférica en el nivel freático, y progresivamente mayor a medida que se profundiza.

Las aguas de esta zona son las que se consideran **verdaderas aguas subterráneas**. Han llegado aquí a partir de la infiltración de las aguas de lluvia, o de las aguas superficiales (deshielo, ríos, lagos). Una vez en esta zona y dependiendo de las condiciones, su flujo natural las llevará de nuevo a la superficie dando lugar a manantiales y fuentes, alimentando ríos, lagos

y zonas húmedas, o descargando directamente en el mar. También si las condiciones lo permiten, pueden ser captadas en cantidades significativas para el consumo humano. **(Universidad Complutense de Madrid- (Consultada en 2015).**

#### **- Efecto de la Captación de Aguas Superficiales**

La explotación de aguas superficiales altera el balance hídrico y, al igual que la explotación de aguas subterráneas, **puede producir numerosos efectos ambientales**, entre los cuales deben tenerse en cuenta especialmente los efectos recíprocos entre la disponibilidad y el uso de las **aguas superficiales y subterráneas**. Otros factores a tener en cuenta en la explotación de aguas superficiales son los siguientes:

- La **extracción de un mayor volumen de agua** de los cauces superficiales (**ríos**) tiende a reducir el volumen de agua disponible en muchas regiones, especialmente en **épocas de estiaje (caudal de base)**. Al mismo tiempo, **reduce la capacidad de autodepuración** de las aguas y la **tasa de infiltración en el suelo**.
- Cuando una **demanda creciente de agua** va acompañada de una reducción del volumen y de la calidad de las aguas superficiales disponibles (corrientes o estáticas), puede ser necesario conducir agua de zonas apartadas a la zona afectada o explotar reservas subterráneas de mayor o menor rendimiento. En situaciones extremas, habrá que contar con altos costos para satisfacer incluso la demanda básica de la población.
- La extracción de aguas superficiales aumenta por los mismos motivos que la extracción de aguas subterráneas, cuando la demanda de agua supera la capacidad de reposición de los acuíferos se produce el descenso de los niveles piezométricos de los pozos de la cuenca, generando fenómenos de subsidencia en los alrededores de la perforación. Por otra parte muchos países carecen de una red adecuada de estaciones de medición (pluviómetros y limnímetros) en las cuencas lo cual les impide determinar continuamente el caudal, las reservas y el volumen de extracción de las aguas superficiales, agravado en parte, por carecer de personal calificado que se encargue de analizar los datos de medición y de vigilar el uso de las aguas superficiales en los distintos sectores elaborar balances hídricos (de aguas subterráneas y superficiales) y planes de gestión del recurso. **(Civil Geeks.com. 2011).**

## **-Alteraciones en los ecosistemas fluviales**

### ***Por sobre- extracción de agua***

En épocas de **estiaje**, especialmente, cualquier **reducción significativa** del caudal de agua puede alterar completamente los **procesos ecológicos de las aguas y de las orillas**, llegando a degradar e incluso a **destruir biotopos de gran valor paisajístico y ecológico**. Además, puede verse alterada **la estabilidad ecológica** del lugar, con su diversidad equilibrada de especies vegetales y animales. Cabe anotar, sin embargo, que estos efectos sólo se producen cuando el **volumen de extracción es considerable** en relación con el caudal total de las aguas; es decir, cuando ya no está garantizado el abastecimiento mínimo del ecosistema.

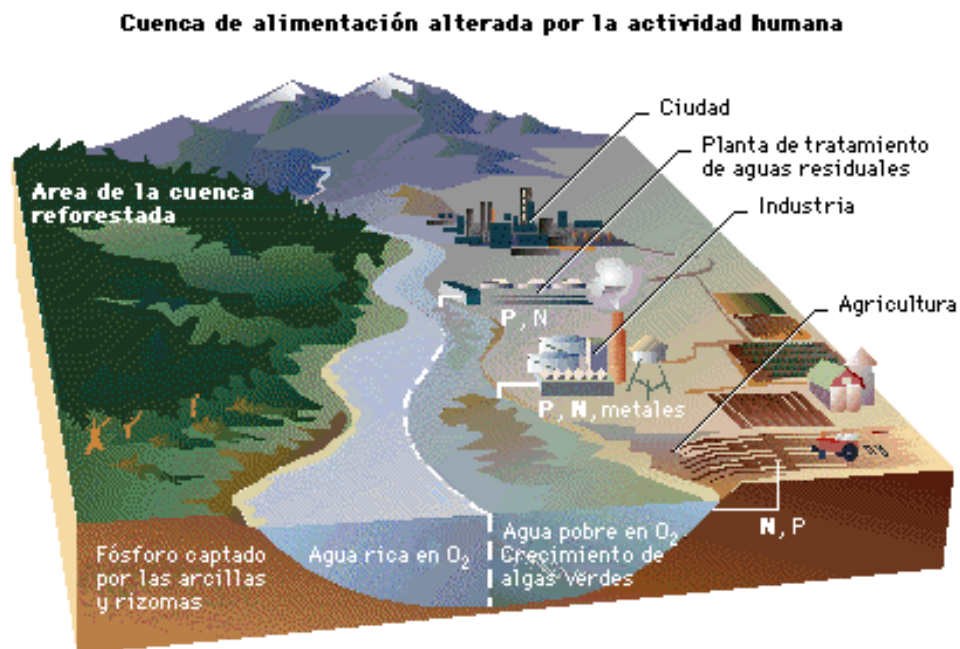
Los ecosistemas fluviales están fuertemente alterados como consecuencia de la actividad humana, esto sucede cuando se extraen grandes volúmenes para satisfacer diversas necesidades, principalmente **la agricultura de regadío** que consume, en la mayoría de los casos, considerables cantidades de agua.

Los ríos proporcionan anualmente los volúmenes de agua para la recarga anual a los acuíferos. **El reto está en abastecer las necesidades humanas de agua sin producir las graves alteraciones de los ecosistemas acuáticos de nuestro país.**

No solo la extracción de agua para abastecimiento y actividades económicas produce cambios en los ecosistemas fluviales. Otras acciones del hombre también contribuyen a que esta degradación haya llegado a extremos prácticamente irreversibles. Así, por ejemplo, encontramos ríos donde los únicos caudales que transportan son las aguas residuales que recogen en las ciudades o industrias; o ríos canalizados que han dejado de ser ecosistemas vivos.

### **Las alteraciones de los ecosistemas fluviales se pueden agrupar en:**

- **Modificación del régimen de caudales.**
- **Reducción de la calidad de las aguas.**
- **Alteración de la morfología fluvial.**
- **Intervenciones en la cuenca vertiente, es decir, los usos del suelo y el territorio.**
- **Cambios en la composición de la comunidad de seres vivos. (Figura 9)**



**Figura 9:** Alteraciones de los ecosistemas fluviales (Extraído de **Fundación Nueva Cultura del Agua**, 2012).

### Alteraciones por Obras Hidráulicas

Los ríos que han sido modificados por construcciones hidráulicas que regulan sus caudales y estos son desviados hacia las zonas de aprovechamiento, alterando la cantidad de agua que fluye por ellos. Además de **la modificación del régimen de caudales** estas obras también han alterado la morfología de los ríos.

Existen otras obras que se han ejecutado en sus cauces que han modificado la estructura morfológica, impidiendo en muchos casos la conectividad de los cauces con las llanuras de inundación o **modificando los hábitats naturales** de los pobladores de los ríos. Los obstáculos que encontramos en los ríos, para almacenar o elevar el nivel de agua, o para defensa de las poblaciones ribereñas, impiden el tránsito de especies y materiales y fragmentan hábitat y poblaciones.



Otras obras que se hacen directamente en los cauces o sus riberas, como la extracción de áridos, también imponen fuertes modificaciones tanto en la forma del cauce, como en el tipo y cantidad de sedimentos que llegan a los ríos.

Respecto a la calidad de las aguas, el problema se origina porque nuestros ríos han sido utilizados como **colectores de los residuos urbanos e industriales**, alterando la composición química de las aguas e incrementando la carga contaminante hasta dificultar la vida en muchos tramos.

El deterioro que observamos en la estructura y funcionamiento de nuestros ríos puede deberse también a actuaciones en áreas de su cuenca alejadas del propio cauce. Estos problemas pueden originarse por **cambios en los usos del suelo**, construcciones en las llanuras de inundación, o la invasión de las riberas por agricultura, ganadería y plantaciones arbóreas. En muchas ocasiones esto es debido a que no está bien definido o no se respeta el dominio público hidráulico.

### **Por Especies Invasoras**

Otro grupo importante de perturbaciones en nuestros ríos viene ocasionado por las **especies invasoras** que contribuyen a los cambios en el funcionamiento de los ecosistemas fluviales. Las alteraciones morfológicas de los ríos resultan en **transformaciones de los hábitat fluviales** desde sistemas donde el agua fluye con rapidez a sistemas donde el agua se detiene o estanca, lo que favorece la invasión y dominio de estas especies perjudiciales, mejor adaptadas a las condiciones alteradas. (Ejemplo: la caña exótica **Arundo donax** que se encuentra en la mayoría de nuestros ríos). (Figura 10).



**Figura 10.** Ejemplares Caña Catilla (Arundo donax)  
(Extraído de: Plantas de México 2013)



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

### ***En síntesis***

Todos los tipos de alteraciones señaladas, degradan los ecosistemas fluviales generando la pérdida de muchos **servicios y beneficios ambientales** que éstos nos prestan de manera natural, tales como: mecanismos de regulación como ser, la capacidad para regular las avenidas de agua, las sequías o la erosión, la capacidad de cuencas y acuíferos de funcionar como **“almacenes naturales de agua”**; funciones relacionadas con el control de la contaminación difusa, o **la contribución a la fertilidad de los suelos de las vegas**. Todos eran resultados de la acción de los ecosistemas asociados al agua **cuando funcionaban de forma óptima. (Fundación Nueva Cultura del Agua ,2012)**

---

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## **Capítulo VI: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO**

### **-Introducción**

Las múltiples actividades que se desarrollan en el territorio (agricultura, ganadería, explotación forestal, minería, urbanización, industria), afectan de diversas formas sus recursos hídricos. Teniendo en cuenta que el movimiento de las aguas no reconoce fronteras político-administrativas sino leyes físicas, las cuencas hidrográficas constituyen la unidad territorial más apta para la planificación y gestión coordinada de los recursos hídricos.

El manejo de las cuencas implica la incorporación de la variable ambiental en el planeamiento regional, significa estudiar el efecto de las acciones fundamentalmente antrópicas sobre las condiciones de vida y el trabajo de los diferentes actores sociales, sobre el funcionamiento de las empresas rurales y sobre las problemáticas tecnológicas al uso de los recursos naturales. Es necesario relacionar el ambiente con la población, las técnicas, los recursos naturales y el producto. (**Dourojeanni – 2000**).

La gestión de una cuenca está orientada a determinar el cómo hacer, a vincular sistemáticamente los criterios naturales, tecnológicos y socioeconómicos, para darle una dimensión temporo-espacial a las decisiones que mejor contribuyan a definir estrategias y políticas de la región (**Montico 2002**).

Dentro de este contexto, la cuenca de Río Lules constituye una de las principales unidades fluviales de la provincia de Tucumán, no solo por la superficie que abarca sino especialmente por ser una fuente importante para el desarrollo de la población. Desde sus nacientes, en las Cumbres Calchaquíes, hasta su desembocadura en el Río Salí, cubre una amplia variedad de características físicas, biológicas y humanas.

La diversidad de las condiciones físicas de la cuenca del Río Lules y la complejidad de sus interrelaciones, requiere de un conocimiento específico de los elementos del medio.

## - Ubicación geográfica

La cuenca del Río Lules se localiza en el sector centro-oeste de la provincia de Tucumán, entre las coordenadas 26° 37' y 26° 61' de latitud sur y 65°13' y 65° 46' de longitud oeste.

La zona pertenece a la cuenca endorreica Salí-Dulce y comprende una **superficie total de 958 Km<sup>2</sup>**. Las mayores alturas se encuentran en las Cumbres Calchaquíes y corresponden a las nacientes de los ríos y arroyos. (Figura 11)



**Figura 11:** Ubicación de la cuenca del Río Lules (Extraído de: **Guido E.** 2011).

Se encuentra dentro de dos unidades fisiográficas cuales son: Sierras Pampeanas, con las unidades orográficas de las Cumbres Calchaquíes y Sierras Centrales, al Oeste y Llanura principal, al Oriente.

Pertenciente a la Provincia Geológica de las Sierras Pampeanas Septentrionales, la geología está constituida por un basamento cristalino de edad neoproterozoica – ordovícica integrado por rocas metamórficas e intrusiones Ígneas.

Le continúan en discordancia sedimentitas cretácicas y terciarias y sedimentos cuaternarios que ocupan los fondos de las quebradas y sectores más bajos.

La geomorfología está representada por la región montañosa del oeste, la llanura aluvial, al este y el piedemonte entre ambas regiones. En la montaña se desarrollan relieves glaciarios y erosivos en rocas del basamento y sedimentitas.

En el piedemonte, se destacan niveles pedemontanos (cubiertos o parcialmente erosionados), lomadas pedemontanas y el abanico aluvial del Río Lules. Finalmente en la llanura principal, se encuentra la planicie aluvial donde predominan procesos de acumulación fluvial y eólica. Las terrazas fluviales se desarrollan tanto, en el piedemonte como en la llanura aluvial.

El centro poblado más importante es la ciudad de San Isidro de Lules, cabecera del departamento Lules, ubicada sobre el eje de la ruta Provincial N° 301 a 22 km al suroeste de la ciudad de San Miguel de Tucumán. La misma ruta comunica al sur con las localidades de La Reducción y Famailla y, siguiendo por la ruta nacional N° 38, se accede a Monteros, Concepción y Aguilares. Desde La Reducción se empalma hacia el oeste con la ruta Provincial N°341 y se accede a las localidades de Potrero de Las Tablas, El Duraznillo, El Nogalito y el Siambón. Desde el Este se accede a través de la ruta Provincial N° 321, que une San Isidro de Lules con la localidad de García Fernández.

#### **-Límites**

Los límites de la alta cuenca se establecieron por las divisorias de aguas, mientras que el sector noreste y este de la cuenca baja, fuertemente antropizado y con una **red de drenaje alterada** por **colectores artificiales**, se definió como límite norte el canal de desagüe de Yerba Buena incluyendo las nacientes del arroyo Manantial. A partir del mismo, el límite este y sudeste, quedó definido por la margen izquierda del citado arroyo hasta su desembocadura en el Río Lules y desde allí hasta la confluencia en el Río Salí. La cuenca así definida abarca parte de cinco departamentos de Tucumán (Lules, Tafi Viejo, Yerba Buena, Tafi del Valle y Leales), lo que hace una de las **unidades hidrográficas de mayor intervención** interdepartamental de la Provincia.

## - **Clima**

El mesoclima de la cuenca es húmedo y perhúmedo cálido. La temperatura media anual oscila entre 18°C y 20°C, siendo la temperatura media del mes más cálido (enero), de 25°C y la del mes más frío (julio), de 12°C. Los registros máximos pueden superar los 40°C en las zonas llanas.

El régimen de precipitaciones es de tipo monzónico, con lluvias concentradas en el período verano-otoño y de escasas precipitaciones en invierno-primavera. La precipitación media anual es de 1200 mm. Durante el verano las intensas tormentas provocan crecidas súbitas y peligrosas de los ríos.

Los vientos no son constantes, pero soplan predominantemente de dirección sur, sureste y norte. Las masas de aire sur y sureste son portadoras de humedad desde el anticiclón del Atlántico Sur y descargan las lluvias sobre la ladera oriental de la sierra de San Javier.

La cuenca del Río Lules se encuentra, según la clasificación de Köppen (**Torres Bruchmann, 1975**) dentro de dos zonas climáticas: Cwkb, correspondiente al clima del faldeo montañoso y valles intermontanos y Cwka, clima de la llanura central tucumana.

El tipo Cwkb es un clima templado, con veranos húmedos e inviernos secos y el tipo Cwka, es un clima templado cálido con veranos cálidos y húmedos e inviernos templados y secos.

## - **Fisiografía**

El área se encuentra enmarcada dentro de dos unidades fisiográficas (**Alderete, 1998**): las Sierras Pampeanas con unidades orográficas de Cumbres Calchaquies y Sierras Centrales al Oeste, y la Llanura Principal o Tucumana, al Este.

La unidad montañosa, de rumbo submeridiano, es la que produce los efectos ambientales más significativo en cuanto a la configuración del paisaje, por su relación directa con la red hidrológica, las variaciones térmicas e hídricas y una acción directa sobre la cobertura vegetal.

La llanura tucumana es la región más rica desde el punto de vista agrícola y en donde se localizan los principales asentamientos poblacionales.

Las Cumbres Calchaquíes, con alturas que sobrepasan los 3.500 msnm, se localizan al oeste y noroeste de la cuenca y forman la divisoria de aguas entre el Valle Calchaquí, al occidente y las aguas que fluyen hacia el Río Lules, al oriente.

Las Sierras Centrarles están conformadas por un conjunto de serranías intermedias e independizadas, cuya cota máxima no excede los 3.200 msnm y se localizan al este de las Cumbres Calchaquíes. Las principales entidades orográficas son las cumbres de Raco, cumbres del Siambón, cumbres del Periquillo, filo de Mala - Mala, cerro Alto de la Mina y al sur cumbres de Tafí. Al este se distinguen las serranías de Yerba Huasi, San Javier y el Taficillo.

#### **- Hidrografía**

La cuenca del Río Lules pertenece a la cuenca endorreica Salí-Dulce, principal sistema fluvial de la provincia de Tucumán, Abarca una superficie de **958 km<sup>2</sup>** (PROSAP, 2006). Mapa Hidrográfico (Figura 11)

En las Cumbres Calchaquíes se encuentran las nacientes de los ríos y arroyos que conforman la totalidad de la cuenca. Los altos valores de pendientes configuran cursos fluviales de tipo torrencial, siendo la mayoría de ellos de régimen temporario.

La densa red de drenaje tiene una dirección predominante de escurrimiento NO-SE y algunos cursos fluviales, SO-NE. Presentan un diseño dendrítico y subdendrítico, con control estructural.

Los cursos que corren en el fondo de los valles poseen un diseño anastomosado, con ancho variable de la llanura de inundación en función de la disposición de las laderas. Hacia la baja cuenca, los ríos varían a un diseño meandriforme en respuesta a la escasa pendiente de la zona.

En el extremo noroeste nace el Río de las Minas que recibe luego el nombre de Río Liquimayo.

Desde la margen derecha recibe el aporte del Río de la Hoyada y de la margen izquierda del Río Sauco. Este río discurre aguas abajo juntándose con el Río de la Ramadita por margen derecha y el río San Miguel por la margen izquierda.

Una vez unidos estos cursos fluviales, forman el Río Garabatal que luego recibe los aportes provenientes de la ladera occidental del cerro Cabra Horco.

En el extremo sur de la cuenca alta nace el Río de la Ciénaga, que colecta las aguas de las quebradas de la ladera oriental del cerro Pabellón y del sur de las cumbres de Tafi. Este río se une al Río Mala - Mala, formándose luego el Río Anfama hasta llegar al punto de confluencia con el Río Garabatal. Allí pasa a llamarse Río de Las Juntas que recorre un tramo de interfluvio y recibe el aporte del Río Siambón por margen izquierda para formar el Río Grande. Desde esta confluencia recorre aguas abajo con este nombre recibiendo en su recorrido el aporte del Río Duraznillo y La Quebrada por margen derecha y el San Javier por la margen izquierda, conformando el llamado Río Lules.

Con el nombre de Río Lules, recibe, pocos metros más abajo, al **Río Potrero de Las Tablas** y **arroyo Membrillo**, desde la margen derecha. El río Lules, luego atraviesa la estrecha quebrada homónima y desemboca en el abanico aluvial del piedemonte. En esta zona y desde la vertiente oriental de la sierra de San Javier, la cuenca recibe el aporte de una serie de arroyos de dirección noroeste-sudeste, de régimen transitorio y de carácter torrencial, entre los que se destacan los arroyos Polonio y San Pablo.

El Río Lules recibe posteriormente en su margen izquierda, al arroyo Manantial en las cercanías de la localidad de García Fernández, para desembocar, finalmente, en la margen derecha del Río Salí. (Figura 12).





## **- Marco Geológico**

### Introducción

En base a información geológica antecedente de los trabajos de **Galindo, G.** (1982), **Aceñolaza, F.; Toselli, A. y Bossi, G.** (1984); **Toselli, et. al.**; en **Gianfrancisco et al** (1998) y **López, J.P.; et al** en **Moyano et al** (2014), se pueden resumir las siguientes características geológicas del área de estudio.

En el área de estudio los cordones montañosos corresponden a las Cumbres Calchaquíes y Sierras de San Javier, que están constituidos por rocas metamórficas que generaron a partir de sedimentos marinos pelítico-arenosos, que fueron depositados, deformados y metamorfizados durante los ciclos Pampeanos y Famatinianos comprendidos entre el Precámbrico Superior-Devónico Medio (**Aceñolaza y Toselli, 1981**)

Le sigue en discordancia, la cubierta sedimentaria más antigua constituida por brechas y conglomerados, areniscas, tobas, tufitas y arcilitas rojas del Subgrupo Pirgua (F. La Yesera/F. El Cadillal/F. Yerba Huasi), de edad Cretácica inferior a media, relación que se puede observar en los márgenes del río Los Sosa y en Los Altos de Yerba Huasi, al sur de la Sierra de San Javier. (**Reyes y Salfity, 1973; Bossi, G. (1982) Mon y Suayter, 1973; Fernández R. y Fernández Haro, 1982**). Materiales geológicos que **Danielli, C. (1956)** había asignado al terciario.

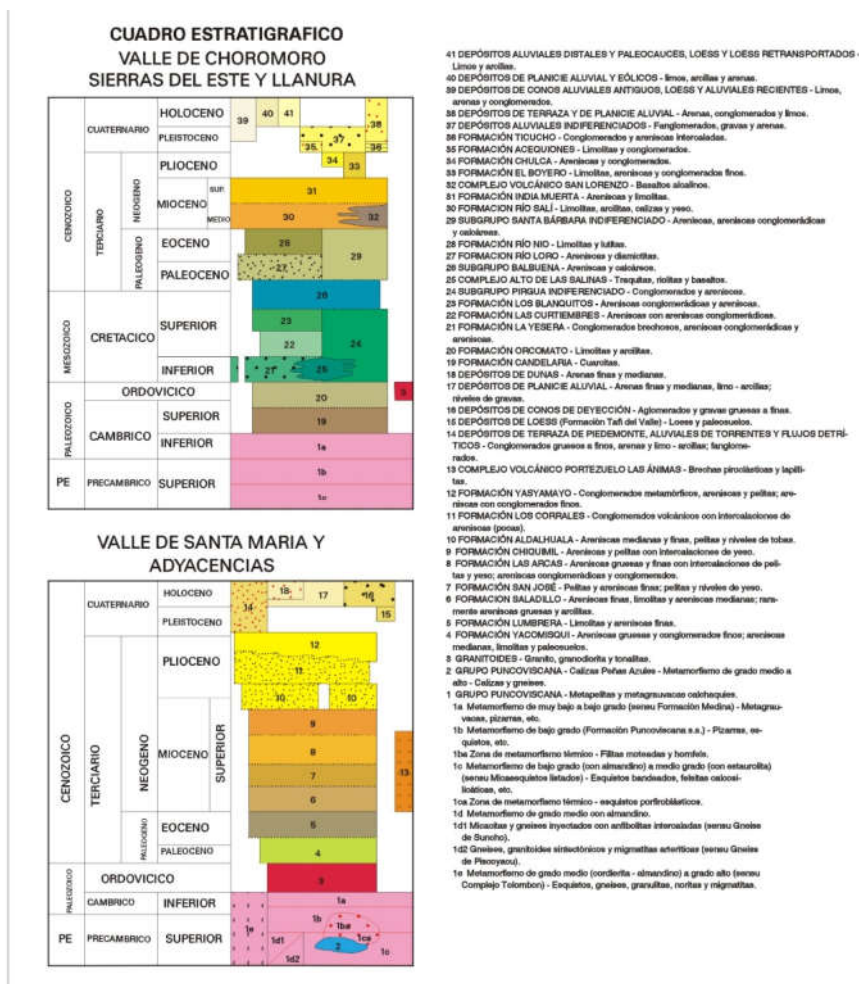
Luego se depositaron también en discordancia, las secuencias terciarias, arcilitas, margas verdes con yeso y calizas, correspondientes a la Formación Río Salí (**Bossi, G. 1982**), de edad Mioceno medio. Los sedimentos de esta unidad se encuentran buzando inclinadas al Este, en las lomadas paralelas a la Sierras de San Javier y Cumbres Calchaquíes.

Finalmente se encuentra el cuaternario que está representado por materiales fluviales y fluvio-eólicos, con niveles aterrizados antiguos y modernos, que se encuentra ampliamente distribuidos desde el piedemonte serrano hacia la llanura tucumana (**Galindo, G.; 1984**).

## ESTRATIGRAFIA

PRECAMBRICO SUPERIOR-PALEOZOICO INFERIOR: Basamento Ígneo- Metamórfico- Formación Puncoviscana (**Turner, 1960-1972**)/F. Medina (**Mon, 1976**)/F. San Javier (**Toselli A. et al 1975**).

Numerosos investigadores estudiaron y sistematizaron la geología del basamento de esta región; entre ellos debemos mencionar a **Turner (1969)**, **Ruiz Huidobro (1966)**, **González Bonorino (1950a, 1950b, 1951a, 1951b)**, **Camino (1972 y 1979)**, **Aceñolaza y Toselli (1981 y 1990)**, informaciones que se reeditaron en los trabajos editados por **Toselli et. al., en Gianfrancisco et al (1998)** y **López, J.P., et. al.; en Moyano et al (2014)**. (Figura 13).



**Figura 13:** cuadro estratigráfico Valle de Choromoro, Sierras del Este y Llanura  
 Extraído de Carta Geológica de la República Argentina. (SEGEMAR)

Las Cumbres Calchaquíes fueron descritas litológicamente por **Ruiz Huidobro** (1966 y 1972), quien identifica esquistos cuarzo-micáceos bandeados como la roca dominante de la zona, y que **Stelzner** (1923) denominó esquistos listados. La asociación mineral típica es cuarzo-biotita-muscovita-clorita-oligoclasa acida (granate), que indica metamorfismo de bajo grado (facies de esquistos verdes). Esta condición metamórfica fue alcanzada durante el ciclo Famatiniano (**Aceñolaza y Toselli**, 1981). Localidades típicas para este tipo litológico son la mayor parte del camino desde Acherel hasta Tafí del Valle (**Aceñolaza, F.; Toselli, A. y Bossi, G.** (1984); **Toselli, et. al.**; en **Gianfrancisco et al** (1998) y **López, J.P. et al**; en **Moyano et al** (2014).

En determinados sectores de las Cumbres, puede observarse un cambio en la fábrica de la roca metamórfica con la aparición de venas y diques aplíticos y pegmatíticos, o de formas intrusivas tabulares o lenticulares, que modifican notablemente la roca original, dando lugar a lo que se conoce como migmatitas de inyección (**Aceñolaza, F.; Toselli, A. y Bossi, G.** (1984); **Toselli, et al.**; en **Gianfrancisco et al** (1998) y **López, J.P. et al.**; en **Moyano et al** (2014)).

En las Cumbres Calchaquíes, **Ruiz Huidobro** (1966) describe que los cuerpos intrusivos graníticos se presentan en general, como cuerpos alargados y de poco espesor, concordantes con la estructura del complejo metamórfico. Son comúnmente de composición granítica, pero se encuentran variaciones a granodioritas, como la que aflora en la confluencia del río Los Chorros con el río Caspinchango (**Aceñolaza, F.; Toselli, A. y Bossi, G.** (1984); **Toselli, et. al.**; en **Gianfrancisco et al** (1998) y **López, J.P.:** en **Moyano et al** (2014)).

En las Sierras de San Javier se observa afloramientos de pizarras y filitas gris verdosas de bajo grado metamórfico, facies de esquistos verdes reconocidas como Formación Puncoviscana/Formación Medina (**Aceñolaza, F.** 1973; **Mon**, 1976), **Aceñolaza, F.; Toselli, A. y Bossi, G.** (1984); **Toselli, et. al.**; en **Gianfrancisco et al** (1998) y **López, J. P. et. al.**; en **Moyano et al** (2014).

MEZOZOICO: Cretácico-Subgrupo Pirgua **Reyes y Salfity** (1973).

**Vilela** (1951) denominó Estratos Pirgua a la unidad aflorante en el cerro homónimo, al este de Alemania. Posteriormente **Ruiz Huidobro** (1955) la denominó Formación Pirgua. Finalmente **Reyes y Salfity** (1973) propusieron la categoría de Subgrupo Pirgua, en el cual es posible distinguir tres unidades formacionales bien diferenciadas. Son correlacionables a los materiales brechosos que **Bossi** (1982) denominó Formación El Cadillal en el Valle de Choromoro (**Galindo, G.**; 1982; **Bossi, G. y Moyano, S. en Moyano et al** (2014).

Los afloramientos en el área de estudio están restringidos a la zona del paraje conocido como Piedra Colorada, entre los kilómetros 19 y 21 de la ruta provincial 307, sobre ambos márgenes del río Los Sosa y en la zona de Potrero de las Tablas, San Javier (**Aceñolaza, F.; Toselli, A. y Bossi, G.** (1984); **Gianfrancisco et al** (1998) y **Moyano et al** (2014)).

El Subgrupo Pirgua está integrado por tres formaciones:

Formación La Yesera (**Reyes y Salfity**, 1973) / Formación El Cadillal (**Bossi**, 1982), constituida por conglomerados brechosos polimicticos, con predominio de clastos del basamento metamórfico y una matriz areno-limosa ferruginosa. Su espesor es variable, en Potrero de las Tablas es de unos 6 metros, mientras que en el río Los Sosa llegan a decenas de metros. En la zona de El Cadillal contiene también vulcanitas del Cretácico inferior que fueron denominados Complejo Alto de las Salinas por **Bossi y Wampler** (1969) (**Galindo, G.**; 1982).

Formación Las Curtiembres (**Reyes y Salfity**, 1973), mayoritariamente arcilítica con intercalaciones de areniscas de grano mediano a grueso. Es la menos extensa del Subgrupo.

Formación Los Blanquitos (**Reyes y Salfity**, 1973), le sucede concordantemente a la entidad anterior, o en hiato a la Formación La Yesera, eventualmente por discordancia angular sobre el basamento. Constituida por areniscas gruesas conglomerádicas intercaladas con niveles conglomerádicos, es algo compactada, color rosado con tonalidades rojizas a blanquecinas, con una cementación carbonática muy localmente concentrada (**Galindo, G.**; 1982).

El ambiente depositacional es interpretado como un pie de monte, correspondiente a la parte proximal de conos aluviales (**Reyes y Salfity**, 1973).

Los afloramientos que aparecen sobre las márgenes del río Los Sosa tienen espesores de 130 metros aproximadamente (**Galindo, G.**; 1982).

En los Altos de Yerba Huasi, al sur del área de estudio, afloran bancos compactos de arcilita y limolita rojizas con valores medidos de rumbo e inclinación iguales a Rb 243° N, I 25° S. Las coordenadas del afloramiento medido son S 26° 55' 34,3", W 65° 23' 34,2" (**Galindo, G.**; 1982).

El Subgrupo Pirgua fue asignado al Cretácico por **Bonaparte y Bossi** (1967) por el hallazgo de un dinosaurio sauropedo referido con la reservas al género *Antartosaurus* (**Galindo, G.**; 1982).

CENOZOICO-NEOGENO- Mioceno: Formación Río Salí (**Bossi, G.** 1982)

Esta formación fue definida por **Ruiz Huidobro** (1960) en la quebrada de Canizares. Posteriormente fue redefinida por **Bossi** (1969) al sur del valle de Choromoro, en donde incluyó una secuencia de margas y calizas con restos de peces en la sección basal.

Los afloramientos de esta unidad se encuentran en las inmediaciones de los ríos Zerda y Caspinchango, al norte del ingenio Santa Lucia, en la parte sudoeste del área de estudio.

En el valle de Choromoro esta unidad está dividida en tres miembros: a) El Miembro Salinas López, compuesto por limolitas, arcilitas margosas, lutitas bituminosas con restos de peces, calizas oolíticas y estromatolíticas y yeso en forma de venas; b) Miembro El Aliviadero, formado por limolitas rojas laminadas alternando con limolitas verdes y c) Miembro Tapia, constituido por limolitas de color pardo rojizo y verde claro, con tobas blancas y areniscas en capas delgadas (**Bossi, 1969**).

En los afloramientos cercanos al área de trabajo, la unidad está constituida por areniscas pardas rojizas, de grano fino, feldespático y friable. Presentan una estratificación que buza hacia el este y correspondería a los miembros medio y superior anteriormente nombrados. Se encuentra apoyada sobre el basamento ígneo-metamórfico y cubierta por depósitos cuaternarios.

En la Formación Río Salí no se han encontrado fósiles diagnósticos de edad. En el valle de Choromoro, esta unidad se apoya sobre la Formación Río Loro, con fósiles de mamíferos del Paleoceno-Eoceno inferior, y se encuentra subyacente a la Formación India Muerta, en la cual se

encontraron fósiles de edad miocena superior (**Bossi, G.**; 1969). Por lo tanto estos serían los límites temporales para esta unidad.

CUATERNARIO: Pleistoceno-Holoceno.

**Stappenbeck** (1921) denomina a los sedimentos cuaternarios como “depósitos recientes” o “depósitos de conos de deyección” a los depósitos que se extienden desde el pie de monte de Cumbres Calchaquíes y Sierra del Aconquija hacia la llanura tucumana. **Danieli y Porto** (1972) identificaron varios niveles de depósitos cuaternarios. Posteriormente **Bonaparte y Bobovnikov** (1974) denominan Formación Tucumán a la secuencia sedimentaria portadora de mamíferos pleistocenos, que se desarrolla al este del sistema montañoso tucumano, por debajo del suelo vegetal.

La Formación Tucumán está compuesta por sedimentos generalmente finos, con intercalaciones de arenas gruesas y gravas a distintas profundidades. Estos sedimentos se encuentran distribuidos ampliamente en el área del pie de monte y la llanura. Comprenden diversos depósitos, niveles aterrazados antiguos, niveles aterrazados modernos y niveles de conos aluviales además de rellenos de cauces actuales.

Los niveles aterrazados antiguos están formados por fanglomerados limos arcillosos, arenas y gravas. Se adosan a la sierra cubriendo las sedimentitas terciarias y se distribuyen desde los 1.200 m.s.n.m. hasta la cota de 500 m.s.n.m.

Los niveles aterrazados modernos son depósitos de abanicos aluviales de composición predominantemente gravo-arenosa, con intercalaciones limo arcillosas y se ubican en el piedemonte; mientras que los materiales de relleno de cauce como grava, arena, limo y arcilla, se depositan en los valles de los ríos principales.

En base a información obtenida de mapas geológicos, perfiles y perforaciones para la provisión de agua, observaciones de campo y siguiendo un criterio geomorfológico, se definen cuatro secuencias de esta edad, que se detallan a continuación:

Q3: corresponde a sedimentos aterrazados de tipo limo-arenoso con presencia de clastos redondeados a sub-redondeados de rocas del basamento. Estos sedimentos en parte se conectan directamente con el basamento y en parte con el material terciario.



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

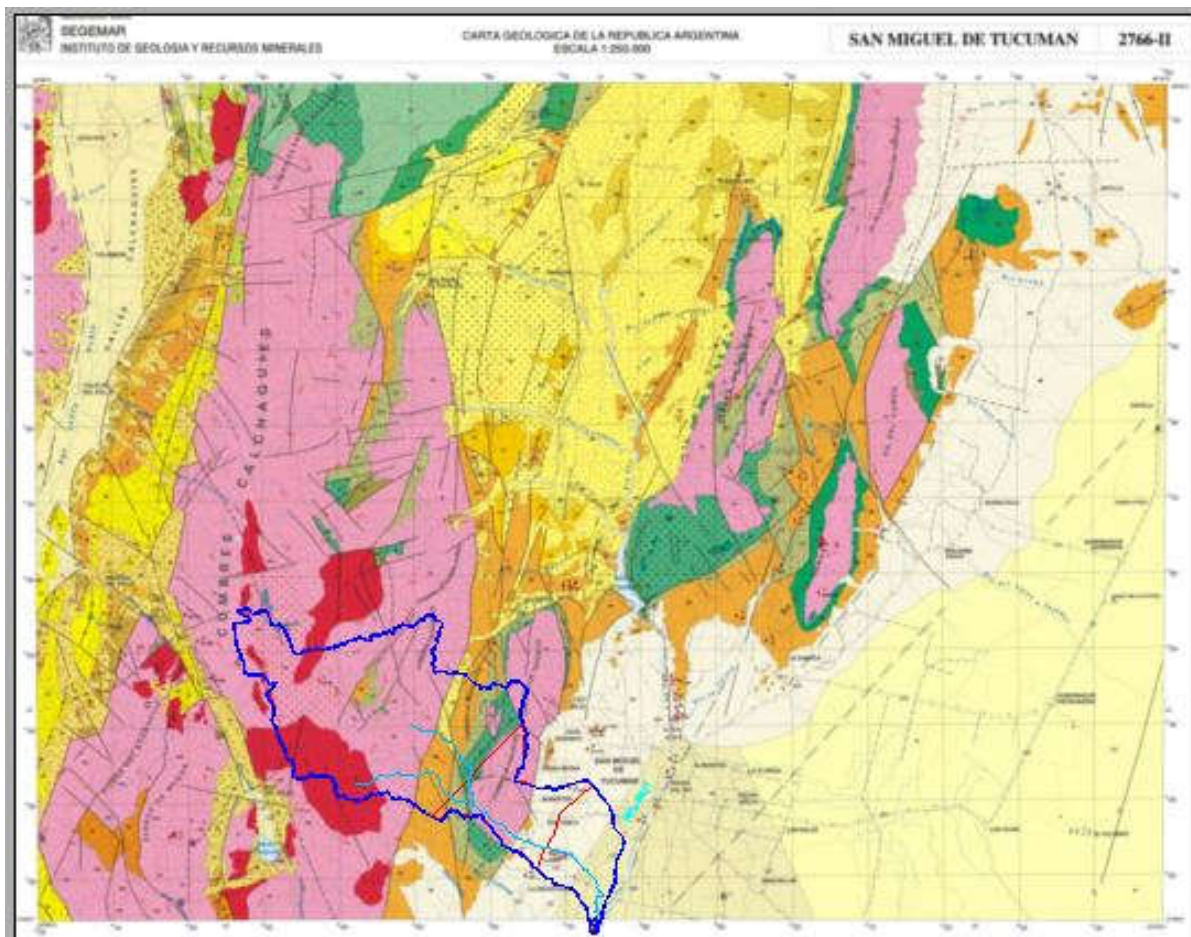
Q2: Incluye la formación cuaternaria compuesta por gravas, arenas, limos y arcillas que rellenan la depresión del este y se extienden entre los niveles pedemontanos y el Río Salí.

Q1: comprende los depósitos de pie de monte y de la planicie que forman las áreas de inundación, paleocauces, albardones y bancos de gravas y arenas parcialmente colonizadas por vegetación.

Q0: esta unidad corresponde al aluvión de los cauces actuales que drenan el área, los cuales producen una selección del material, quedando el material más grueso en la zona montañosa y pie de monte, y el material más fino como arena-fina, limo y arcilla en la llanura aluvial.

En terrenos de estos materiales geológicos se han desarrollado las mediciones de campo, con sondeos eléctricos verticales (SEV), muestreo en pozos barrenados, ensayos de infiltración, entre otras, dada su importancia fundamental para la temática tratada en este estudio.

#### MAPA GEOLÓGICO (Figura 14 y 15)

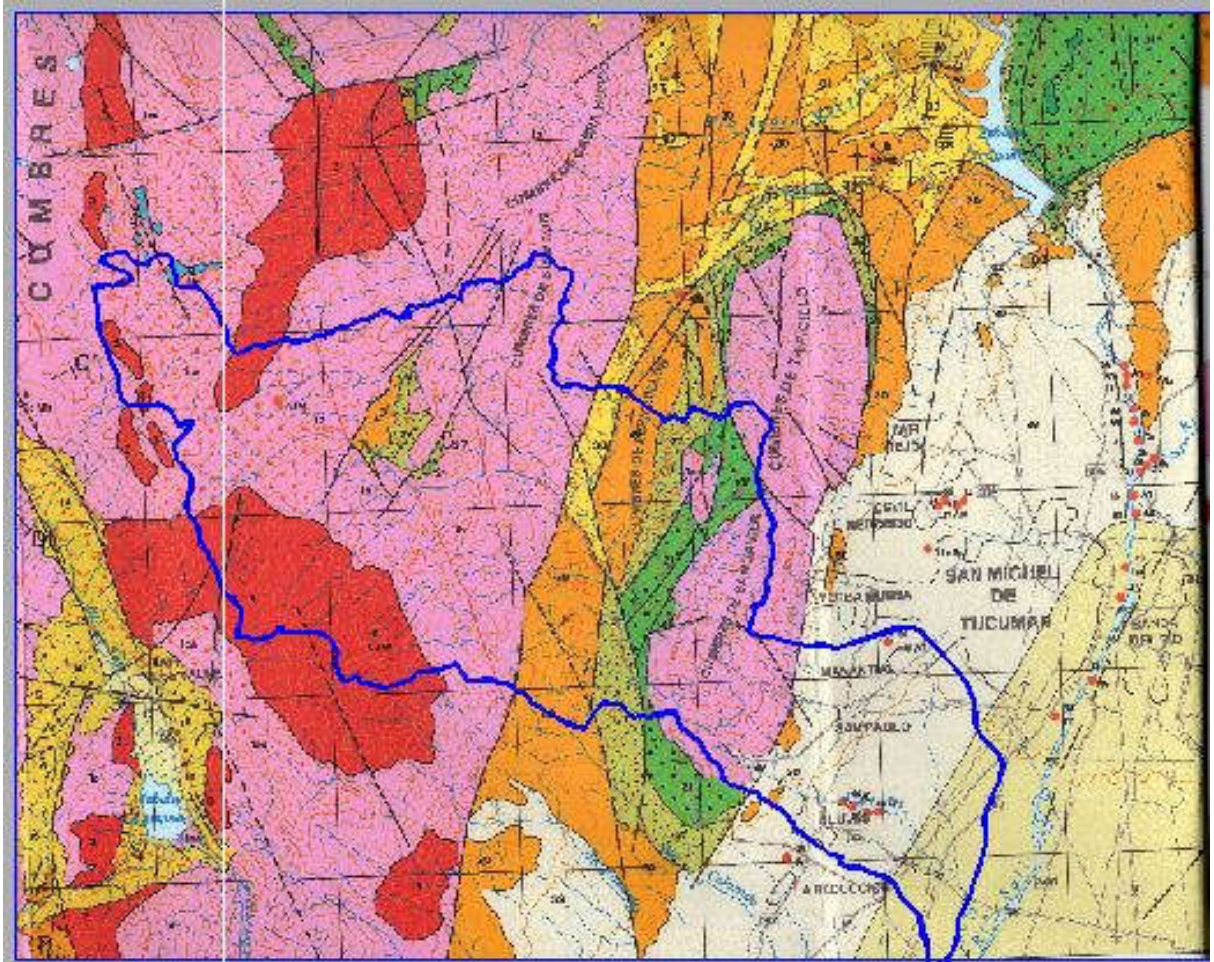


**Figura 14:** Mapa Geológico con ubicación de la cuenca del Río Lules (extraído de la Carta Geológica R.A. San Miguel de Tucumán. Hoja 2766-II. **SEGEMAR**, 2000)



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

### MAPA GEOLOGICO (Ampliado)



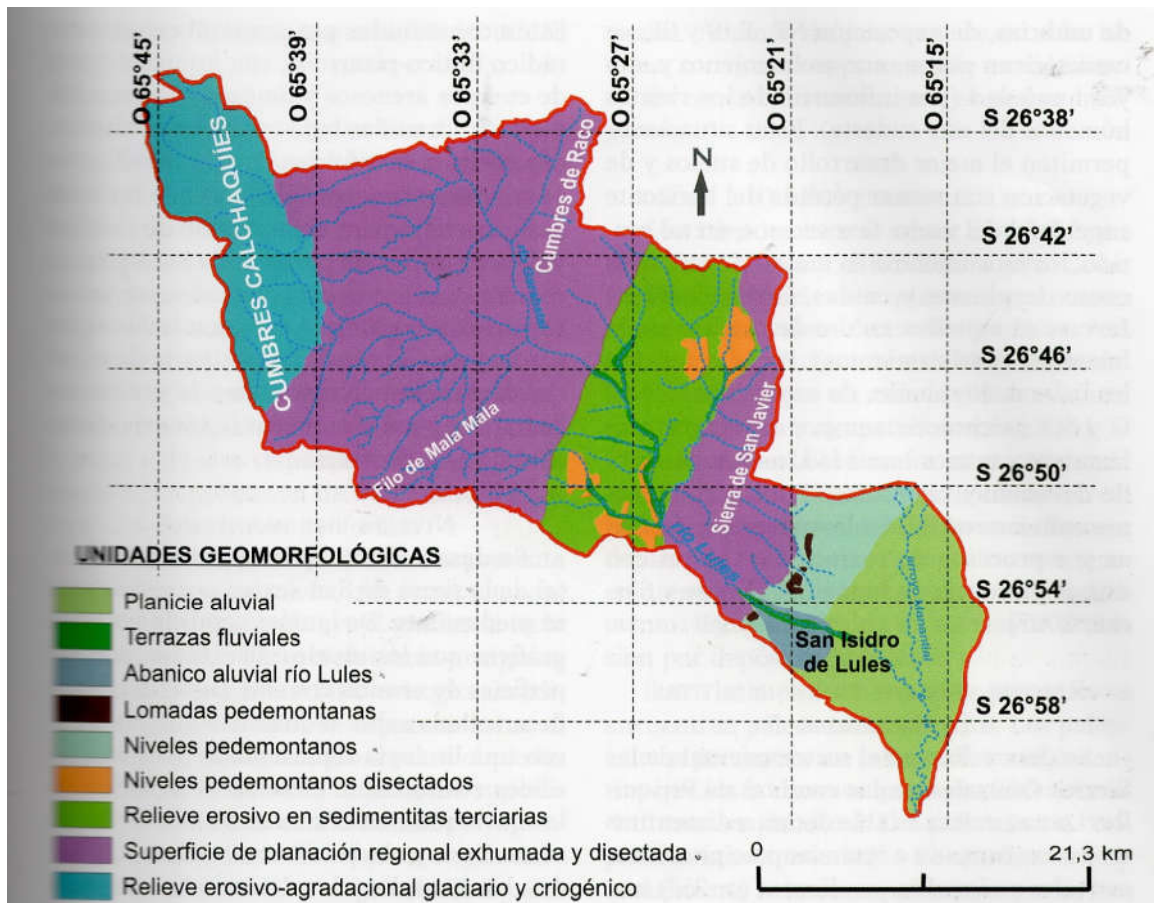
**Figura 15:** Mapa Geológico de la Cuenca del Río Salí en detalle. (SEGEMAR 2000)

## - Geomorfología

La geomorfología de la cuenca del Río Lules está representada por la región montañosa del Oeste, la llanura aluvial al Este y el piedemonte entre ambas regiones. Mientras el sector montañoso se caracteriza por procesos de erosión, remoción en masa y abrasión glacial, en el piedemonte y llanura aluvial predominan procesos de acumulación fluvial y eólica.

El mapa geomorfológico (Fig. 16), es una modificación del elaborado en **Fernández et al.** (2008) y muestra las unidades geomorfológicas de la cuenca.

### MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO LULES



**Figura 16.** Mapa Geomorfológico de la cuenca del Río Lules. Tomado de **Fernández et al.** (2008)

- *Relieve Erosivo – Agradacional Glaciar y Criogénico*

Se desarrolla en las mayores alturas de las Cumbres Calchaquíes, especialmente localizado en la zona de Huaca Huasi y áreas vecinas. La morfología glacial aparece representada por superficies cumbrales aplanadas, posiblemente remanentes de una primitiva peneplanicie lo que sumado a la mayor altitud y eventualmente, a la exposición a los vientos húmedos del oeste, facilitaron el desarrollo de un pequeño casquete Glaciar (Sayago et al., 1998). Además del valle glaciar semi-circular principal, se observan depósitos morrénicos, lagunas postglaciares y relictos de típicos glaciares de valle (valle de la Mina) al que se le suman circos bien desarrollados en la mayoría de las cumbres de mayor altitud.

- *Superficie de Planación Regional Exhumada y Disectada*

Es la unidad de mayor extensión areal del sector occidental de la cuenca. Incluye las Cumbres Calchaquíes, filo de Mala-Mala, cumbres del Siambón, cumbres de Raco y sierra de San Javier, entre otras. Según **Fernández** et al. (2008), corresponde a una superficie de Planación regional, labrada en metamorfitas y plutonitas de edad precámbrica-paleozoica inferior afectada por intensos procesos de meteorización durante largos períodos de estabilidad geológica y bajo condiciones bioclimáticas subtropicales a las que se le habría sumado el proceso fluvial. Esta superficie con posterioridad se habría fallado y movilizado durante los diferentes pulsos de la Orogenia Andina, hasta adquirir su actual configuración. Los procesos que predominan son de meteorización física (crioclastismo) y de la remoción en masa como soliflucción, reptación de suelos, flujos densos y deslizamientos, con procesos de erosión fluvial en los fondos de valles y quebradas.

Se caracteriza por presentar elevados gradientes, laderas empinadas y cortas que influyen en la dinámica geomorfológica y en los usos del suelo de la región. Se reconocen dos tipos de relieve: las superficies cumbrales y las laderas.

- a) *Superficies cumbrales*: son las divisorias de aguas de las unidades orográficas. Presentan un relieve plano y suavemente ondulado, con un gradiente de 1 a 3°. Se consideran como una superficie pre – orogénica, cubierta por material limo – arcilloso y generalmente por pastizales de altura. Se encuentran interrumpidas por elevaciones aisladas en forma de crestas, producto de la disección del sustrato terciario, también alterado por valles fluviales, indicando el predominio

de la denudación en la evolución morfogenética. Su génesis está influenciada por la litología y la tectónica. Esta forma se habría desarrollado sobre el basamento a través de fenómenos morfogenéticos tales como disgregación mecánica y arroyada mantiforme (**Sayago et al.**, 1998).

b) *Laderas*: se caracterizan por ser cortas y abruptas (30 - 40°), cubiertas de una vegetación espesa, suelos pocos evolucionados y atravesados por una densa red hídrica. En la génesis de las laderas, tienen principal influencia la tectónica y el clima. La primera se manifiesta por las fallas inversas de alto ángulo, que originaron el desarrollo de valles de fallas, por los cuales discurren los cursos temporarios, favorecidos por la mayor alteración las áreas de fractura.

La exposición de las laderas determina diferencias sustanciales en las condiciones de temperatura y humedad, fisonomías vegetales, suelos, uso de las tierras y tipos e intensidad de los procesos de erosión. La laderas de umbrías, de exposición NE, E, S y SE, se caracterizan por menor asoleamiento y mayor humedad (por influencia de los vientos húmedos del este – sudeste). Estas situaciones permiten el mejor desarrollo de los suelos y vegetación con menor pérdida del horizonte superficial del suelo. Son escasos, en tal sentido, los movimientos en masa en seco, tales como desplomes y caídas, sin embargo se favorecen aquellos en donde predomina la humedad (deslizamientos). Por el contrario las laderas de solanas, de exposición N, NO, O, y SO, se caracterizan por un mayor asoleamiento, menor humedad, menor desarrollo del suelo y vegetación. Por sus condiciones, son susceptibles a la meteorización física y a procesos de remoción en masa con escasa presencia de humedad. (**Guido y Sesma**, 2007).

- *Relieve Erosivo en Sedimentitas Terciarias*

Se desarrollan en el sector oriental de las Sierras Centrales, en las cumbres del Periquillo. La naturaleza friable de las sedimentitas terciarias, sumado a intensas precipitaciones estivales y elevadas pendientes (> 35°) han configurado un relieve quebrado, con importantes gradientes y marcada inestabilidad de las mismas (**Fernández et al.**, 2008). Las laderas se presentan cubiertas por material clástico y tienen un escaso horizonte pedogenético. Predominan procesos de erosión hídrica y de remoción en masa lo que queda evidenciado por la presencia de abundantes nichos de deslizamientos y reptación de suelos. La erosión fluvial ha originado valles en “V” y una red de drenaje de alta densidad, con un diseño pinnado. Se observan también cárcavas, algunas profundas, que transportan volúmenes importantes de detritos durante la estación de las lluvias.



- *Niveles Pedemontanos Disectados*

Son superficies aplanadas adosadas a los cordones montañosos de las cumbres del Periquillo y ladera occidental de la sierra de San Javier. Se encuentra ampliamente en los valles de Potrero de Las Tablas y La Sala. Están constituidos por materiales cenoglomerádico filítico-pizarroso, con intercalaciones de cuerpos arenosos y limosos en transición vertical, formados bajo condiciones climáticas áridas a semiáridas. Poseen pendientes relativamente suaves (2–8°), siendo las áreas preferenciales para el desarrollo de cultivos y de actividades de pastoreo de hacienda. Se presentan intensamente afectados por procesos de erosión hídrica (erosión laminar, en surcos y en cárcavas). La existencia de material fácilmente erosionable y la escasa cobertura vegetal, favorecen la intensa disectación de esta geoforma. (Guido, et al.2002)

- *Niveles Pedemontanos*

Se desarrollan al pie de la ladera oriental de la Sierra de San Javier, ocupando todo su piedemonte. De iguales condiciones topográficas que los niveles Disectados, son superficies de erosión con una cubierta clástica desarrollada sobre sedimentos cuaternarios, con única litología representada por limos loésicos (Guido et al., 2002). A la salida de las quebradas, en el contacto entre el bloque montañoso y el piedemonte, se han originado abanicos aluviales de variadas extensiones y se encuentran surcados por los ríos y arroyos con dirección de escurrimiento NO-SE. Por la superposición de diferentes pulsos de aluvionamiento es común la presencia de abanicos aluviales coalescentes. Las características topográficas y sedimentológicas, favorecen el desarrollo de extensos campos de cultivos que están siendo reemplazados por un intenso proceso de urbanización (barrios privados).

- *Lomadas Pedemontanas*

Se encuentran al pie de la ladera oriental de la sierra de San Javier, pudiéndose encontrar adosadas o separadas de la misma. Están compuestas por limolitas rojas con intercalaciones de areniscas y bancos de yeso, cubiertos por sedimentos limosos. Las lomadas pedemontanas ubicadas cerca de la localidad de San Pablo, se encuentran separadas del cordón montañoso. Se presentan alongadas en sentido aproximado norte – sur, pendientes moderadas y también disectadas por corrientes temporarias (Guido et al., 2002).

- *Abanico Aluvial del Río Lules*

Se desarrolla a la salida de la quebrada del Río Lules, en el piedemonte oriental de la sierra de San Javier. Constituye una geoforma pedemontana caracterizada por ser una superficie ligeramente convexa con ángulos inferiores a los 5° en los sectores más bajos y de hasta 8°, en el ápice. Su origen está relacionado con la disminución brusca de la energía de transporte del Río Lules, lo cual obliga a depositar el material de arrastre. La población de San Isidro de Lules se asienta en esta geoforma.

El abanico aluvial del Río Lules presenta un diseño anastomosado, que torna a meandriforme cuando disminuye el gradiente en la llanura aluvial. Los niveles más antiguos, constituidos por materiales cenoglomerádicos y fanglomerádicos se esparcen sobre el piedemonte, sobrepasando a veces el mismo hasta alcanzar la llanura. La superficie de los abanicos está cubierta por material loésico de variado espesor, originando suelos aptos para la actividad agrícola. Respecto de la granulometría, el cambio de pendiente produce una selección que determina que los clastos menores se encuentren en la zona distal, alejada de la zona serrana. Esta paleoforma fluvial se originó durante los periodos más húmedos del Holoceno a partir de flujos de alta energía, baja fluidez y régimen irregular, surgiendo la influencia de lluvias de gran intensidad y corta duración. (**Guido E**, 2011).

- *Terrazas Fluviales*

Corresponden a antiguos episodios de erosión – sedimentación de los cursos fluviales a los cuales se encuentran ligadas genética y topográficamente. Son superficies de forma plana, escasa pendiente (1 a 5°), cubiertas por limos y loess a partir de los cuales hubo un desarrollo pedogenético. Poseen una fuerte presión antrópica representada por campos de cultivos y asentamientos humanos, los que las convierte en las unidades de mayor riesgo de inundación y aluvionamiento estacional. Además de procesos de erosión hídrica, son comunes procesos de erosión lateral del cauce alternadamente en ambas márgenes. (**Guido E**, 2011).

- *Planicie Aluvial*

Se extiende entre el sector distal del piedemonte al oeste y el Río Salí al este. Constituye una planicie de explayamiento conformada por los pulsos de crecientes de los cursos de agua que discurren desde la serranía.

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

Se caracteriza por un relieve plano a suavemente ondulado, con pendientes inferiores al 1% en el sector de la llanura intermedia (occidental) y un relieve chato a cóncavo con pendientes menores al 0.5% en la llanura deprimida (oriental). Topográficamente se encuentra a altitudes inferiores a los 400 msnm. Está constituida en su mayor extensión por los depósitos holocénicos. Entre las mesoformas más importantes se encuentran los paleocauces u bordos. Los paleocauces presentan un relieve cóncavo, mientras que los bordos son pequeñas elevaciones d forma longitudinal. Los paleocauces ocupan las zonas más bajas del piedemonte y actualmente se encuentran intensamente antropizados. Tanto los paleocauces como los bordos tienen una dirección predominante NO-SE a N-S que condiciona el comportamiento hidrológico de la zona en donde se desarrollan. **(Guido E.: 2011).**

---

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*



## **Capítulo VII: CÁLCULOS HIDROGEOLÓGICOS**

### **- Introducción**

Por definición **“hidrogeología”** es la rama de la **“hidrología”** “que se encarga del estudio del almacenamiento, circulación y distribución de las aguas subterráneas en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre. (**Custodio y Llamas-1983**).

La Hidrogeología es una materia interdisciplinaria, que se encarga de estudio de la fase subsuperficial del ciclo hidrológico mediante la observación, el análisis y la formulación de métodos y leyes de diversas disciplinas, climatología, geología, geomorfología, geología estructural, geofísica, geoquímica, hidráulica, etc.

El estudio hidrogeológico de la cuenca media del río Lules, consistió en primera instancia, en la recopilación de los antecedentes climáticos principales de la zona; precipitaciones y temperaturas medias mensuales y caudales de escurrimientos fluviales, con el fin de resolver el balance hídrico de la cuenca, y lograr estimar el volumen de recarga de los acuíferos del sector.

La estructura investigativa del presente estudio gira básicamente en el desarrollo de los siguientes temas: Cartografía básica, Climatología, Geología, Geomorfología, Geofísica (Geoeléctrica) e Hidrogeología, que resumen las conclusiones globales del estudio.

## **- Balance Hídrico**

**Thornthwaite (1948)** introdujo el término para establecer las relaciones existentes entre las variables del ciclo hidrológico, quien considera que en períodos suficientemente largos, como en el caso de los lapsos geológicos, el ciclo hidrológico funciona como un **sistema cerrado** es decir que las entradas que serían los aportes de agua al sistema, son iguales a las salidas o pérdidas donde la variación del almacenaje es nula o no representativa.

Las entradas al sistema que es la **cuenca**, son las precipitaciones (**P**) y las salidas corresponden a la evapotranspiración (**ER**), el escurrimiento (**R**), y la infiltración (**I**). Teniendo en cuenta estas variables, se deduce que las tres primeras son parámetros que se pueden determinar o estimar, contando con datos de estaciones climatológicas e hidrológicas, no así la infiltración que es una variable compleja para determinarla, cuyo valor no es extrapolable a toda la cuenca, en razón de la variabilidad tanto edafológica como litológica del suelo que posee el área de la cuenca que se trata.

Como la **infiltración** es un parámetro fundamental para determinar la recarga de los acuíferos, se calcula sobre la base de los parámetros complementarios (**P**, **ET** y **R**) que integran la ecuación del Balance del Ciclo Hidrológico, que se aplica.

$$\mathbf{P - Er - R - I = 0 \text{ de donde } \Rightarrow \mathbf{I = P - Er - R}}$$

## **-Precipitación**

A los fines del cálculo se estimará la precipitación media en la cuenca, determinando la **altura de la lámina de agua**, que significa *el nivel que alcanzaría el agua si precipitase uniformemente en toda el área de la cuenca durante un determinado tiempo, permaneciendo sin escurrir ni evaporar ni infiltrarse*. Para ello realizamos el producto de la altura de lámina de agua por la superficie de la cuenca, obteniéndose de esta forma, el volumen medio de agua precipitada en toda el área que se considera en la cuenca.

$$\mathbf{V [Hm^3] = P [Hm] \times A [Hm^2]}$$

### **Cálculo de la Altura de Lámina Precipitada**

Los tres métodos para calcular la altura de la lámina de agua, son: **Método de la Media Aritmética**, Método **de las Isohietas** y **Método de los Polígonos de Thiessen**, de éstos el más sencillo de calcular es el primero, pero de poca confiabilidad. Los otros dos son más elaborados como el de las isohietas que es apropiado para aplicar en este caso, no así el tercero (polígonos de Thiessen), como es el caso que se investiga, por tratarse de zona montañosa.

#### **- Método de la Media Aritmética**

El mismo consiste en hacer la sumatoria de las precipitaciones medias anuales de las estaciones meteorológicas de la cuenca y a éste valor dividirlo por el número de estaciones. Obteniéndose de esta forma, un valor (media aritmética), que no tiene en cuenta la variabilidad de las precipitaciones con la topografía, no obstante incrementando la densidad de estaciones meteorológicas (número de Est. /Km<sup>2</sup>) se logra aumentar su confiabilidad.

Estaciones Meteorológicas (Tabla 1)

<b>N° Ord.</b>	<b>Estación</b>	<b>Precipitación[mm]</b>
1	Lules	1091.8
2	San Pablo	1114.7
3	La Quebrada	1211.2
4	Villa Nougües	1454.0
5	Potrero de Las Tablas	1637.0
6	El Nogalito	1053.4
7	Bella Vista	934.0
8	Manuel García Fernández	1062.0
9	San Felipe	845.0
10	La Reducción	1261.9

**Tabla N° 1.** Estaciones meteorológicas y sus precipitaciones medias anuales.

$$P = \frac{1091.8 + 1114.7 + 1211.2 + 1454 + 1637 + 1053.4 + 934 + 1062 + 845 + 1261.9}{10} =$$

$$= \frac{11665 \text{ mm}}{10} \Rightarrow P = 1166.5 \text{ mm}$$

$A = 16.317 \text{ Hm}^2$  luego el  $\Rightarrow V = 0.011665 \text{ Hm} \times 16317 \text{ Hm}^2 = 190.34 \text{ Hm}^3$

**$V = 190.34 \text{ Hm}^3$**

- Método de las Isohietas

Es el método más preciso, pues **permite la consideración de los efectos orográficos** en el cálculo de la lluvia media sobre la cuenca. Se basa en el trazado de **curvas de igual precipitación** de la misma forma que se hace para estimar las curvas de nivel de un levantamiento topográfico. Se obtienen a partir de los **datos de las estaciones meteorológicas**. Sobre la base de los valores de precipitación en cada estación dentro de la cuenca, se construyeron las isohietas, por interpolación, o sea las líneas de igual precipitación:

1.- Se interpolaron los valores de las precipitaciones de las estaciones contiguas con una **equidistancia de 100 mm** a los fines de formar fajas que cubran toda el área de estudio de la cuenca. Teniendo en cuenta la topografía de la zona mediante la superposición con las curvas de nivel determinadas en la Hoja 2766 – II IGN (Instituto Geográfico Nacional), escala 1:250.000 (**SEGEMAR 2000**) y datos de precipitaciones medias proporcionados por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (**EEAOC** Consultada en 2014), de la Provincia de Tucumán y Base de Datos Hidrológica Integrada (**BDHI** Consultada en 2015), Sistema Nacional de Información Hídrica de la Subsecretaría de Recursos Hídricos.

2.- Mediante el programa “**Surfer 8**”, se interpolaron las curvas isohietas para luego importarlas al Autocad Land 2008, donde mediante previo asignación de la escala se procedió a determinar las áreas de cada una de las fajas establecidas dentro de la cuenca.

3.- Se realizó el cálculo de los volúmenes parciales correspondientes, multiplicando las áreas obtenidas de cada faja, por el valor de la semisuma de las isohietas que las definen.

4.- Con los volúmenes parciales obtenidos en el proceso anterior, se efectuó la sumatoria de los mismos, para obtener el **volumen total** de agua precipitada en toda la zona de la cuenca en estudio.

5.- Posteriormente se procedió a dividir el volumen total en el área de la cuenca que se trata, para obtener la altura de la lámina de agua precipitada.

El proceso arribó a los siguientes resultados:

El área de la cuenca media del Río Lules, es de **16.180 Hm<sup>2</sup>** con una precipitación de **208.04 Hm<sup>3</sup>** de agua por año medio, representa una lámina media uniforme de **1290 mm**

$$\text{Lámina} = \frac{\text{Volumen [Hm}^3\text{]}}{\text{Área [Hm}^2\text{]}} = \frac{208.766 \text{ Hm}^3}{16180 \text{ Hm}^2} = 0.0129027194 \text{ Hm} \Rightarrow \approx 1290 \text{ mm}$$

**Lámina<sub>m</sub> = 1290 mm** (Ver fig. 17)

Las variaciones cíclicas de la lámina de agua precipitada se calcularon sobre la base de datos de precipitaciones máximas (**año 2008**), y las mínimas (**año 2013**).

En **ciclos secos** precipitan **116 Hm<sup>3</sup>** de agua por año, que transformado a lamina mínima de agua equivale a **717mm** que precipitan en la cuenca media del río Lules (Ver figura 18).

En los **ciclos húmedos** precipitan **327.3 Hm<sup>3</sup>** de agua por año, representando una lámina máxima de **2022.8 mm** (figura 19).

**CÁLCULO DE LA ALTURA MEDIA DE LÁMINA DE AGUA PRECIPITADA  
 (Método las Isohietas)**

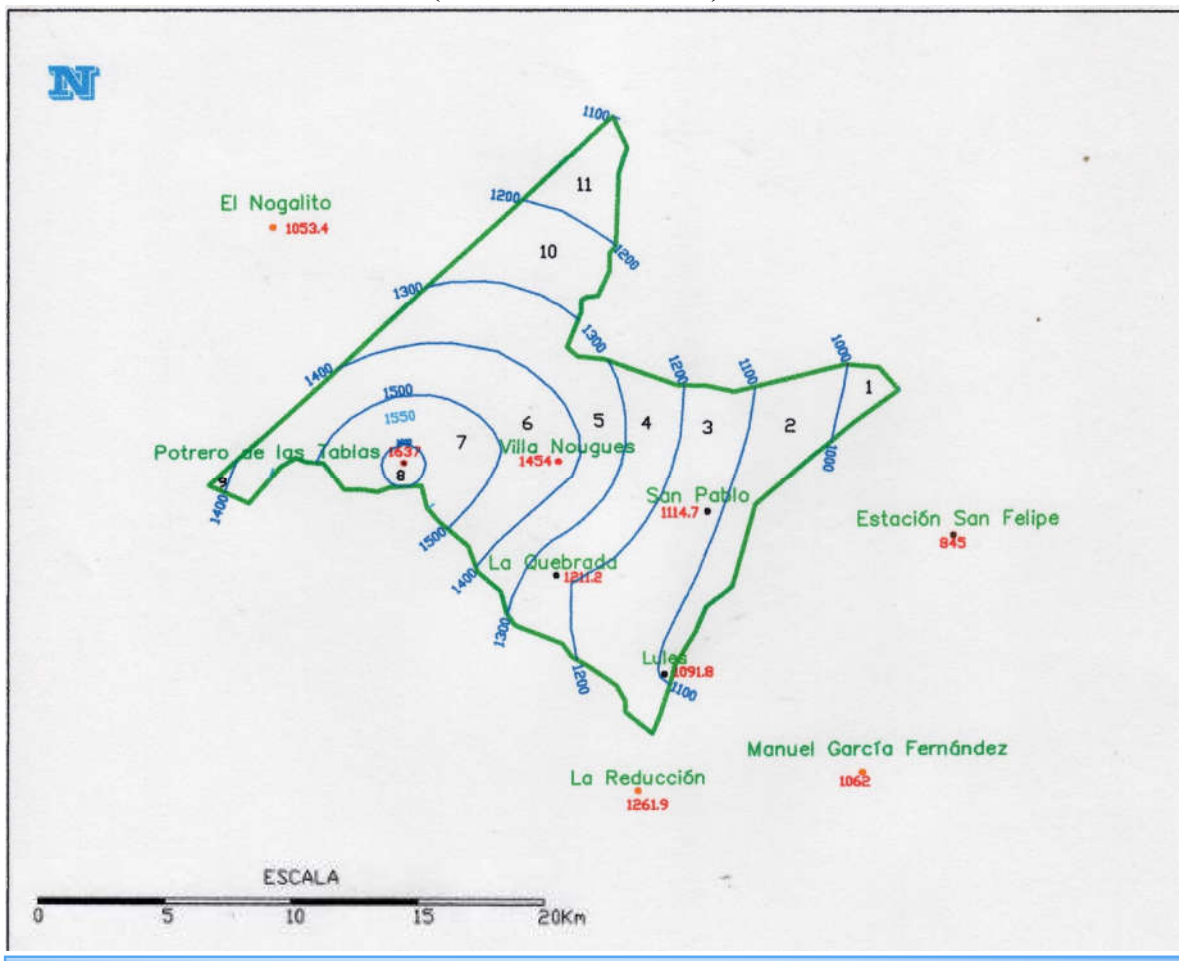


Figura 17. Mapa de Isohietas de altura media de lámina de agua precipitada

**MEDICIONES PARA EL CÁLCULO**

ORDEN N°	ISOHIETAS [mm]	ÁREA [Hm <sup>2</sup> ]	VOLUMEN [Hm <sup>3</sup> ]
1	975	270.33	2.636
2	1050	1657.62	17.405
3	1150	2905.45	33.413
4	1250	1821.98	22.775
5	1350	2732.51	36.889
6	1450	3095.91	44.891
7	1550	1546.78	23.975
8	1600	162.10	2.594
9	1350	33.26	0.449
10	1250	1267.86	15.848
11	1150	686.20	7.891
Total		16180 Hm <sup>2</sup>	208.766 Hm <sup>3</sup>

**Resultados**

$$P = \frac{V \text{ [Hm}^3\text{]}}{A \text{ [Hm}^2\text{]}} = \frac{208.8}{16180}$$

**P = 0.0129027194 = 1290 mm**

Tabla 2. Isohietas y sus áreas

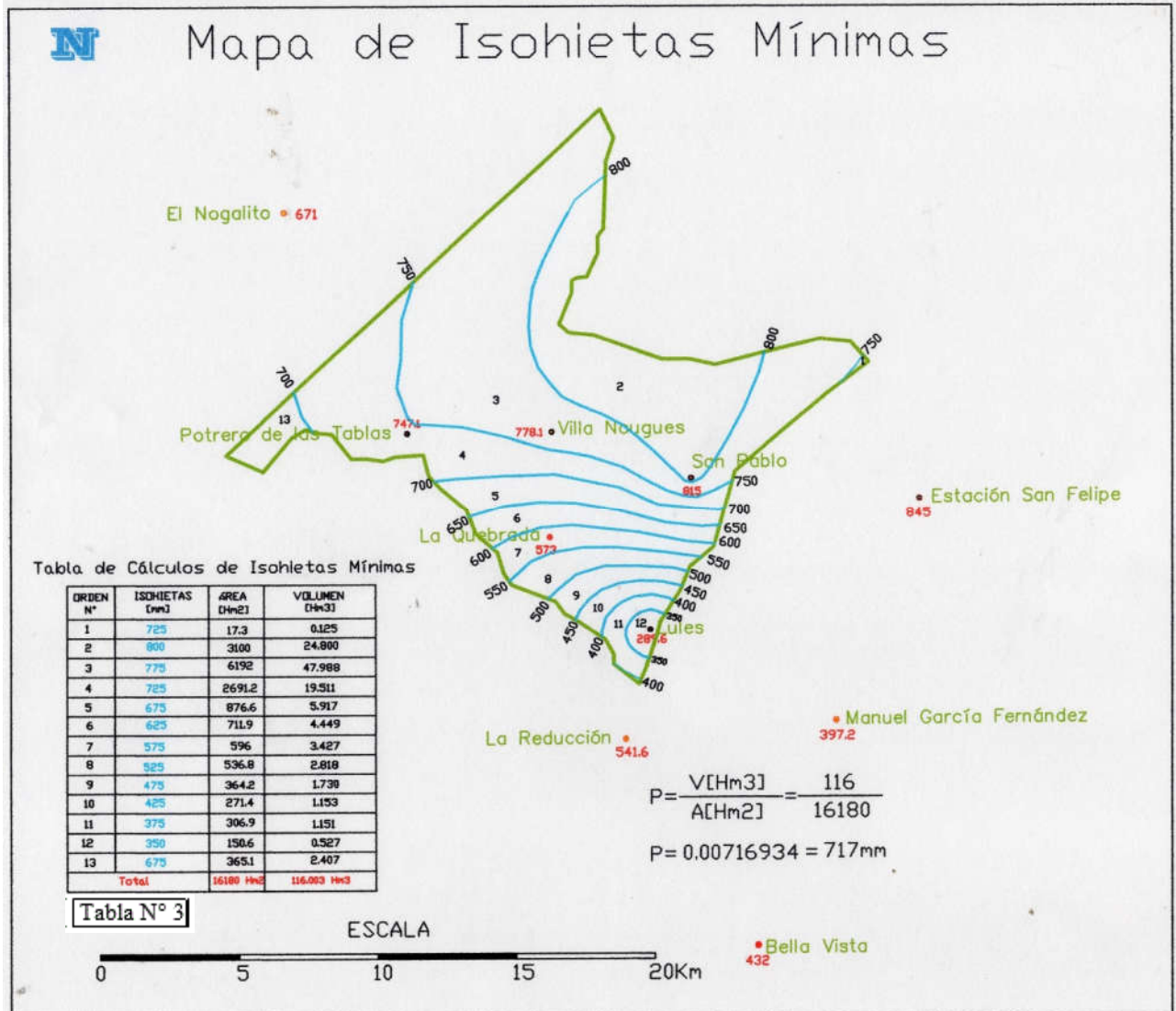


Figura 18. Mapa de Isohietas de altura mínima de lámina de agua precipitada



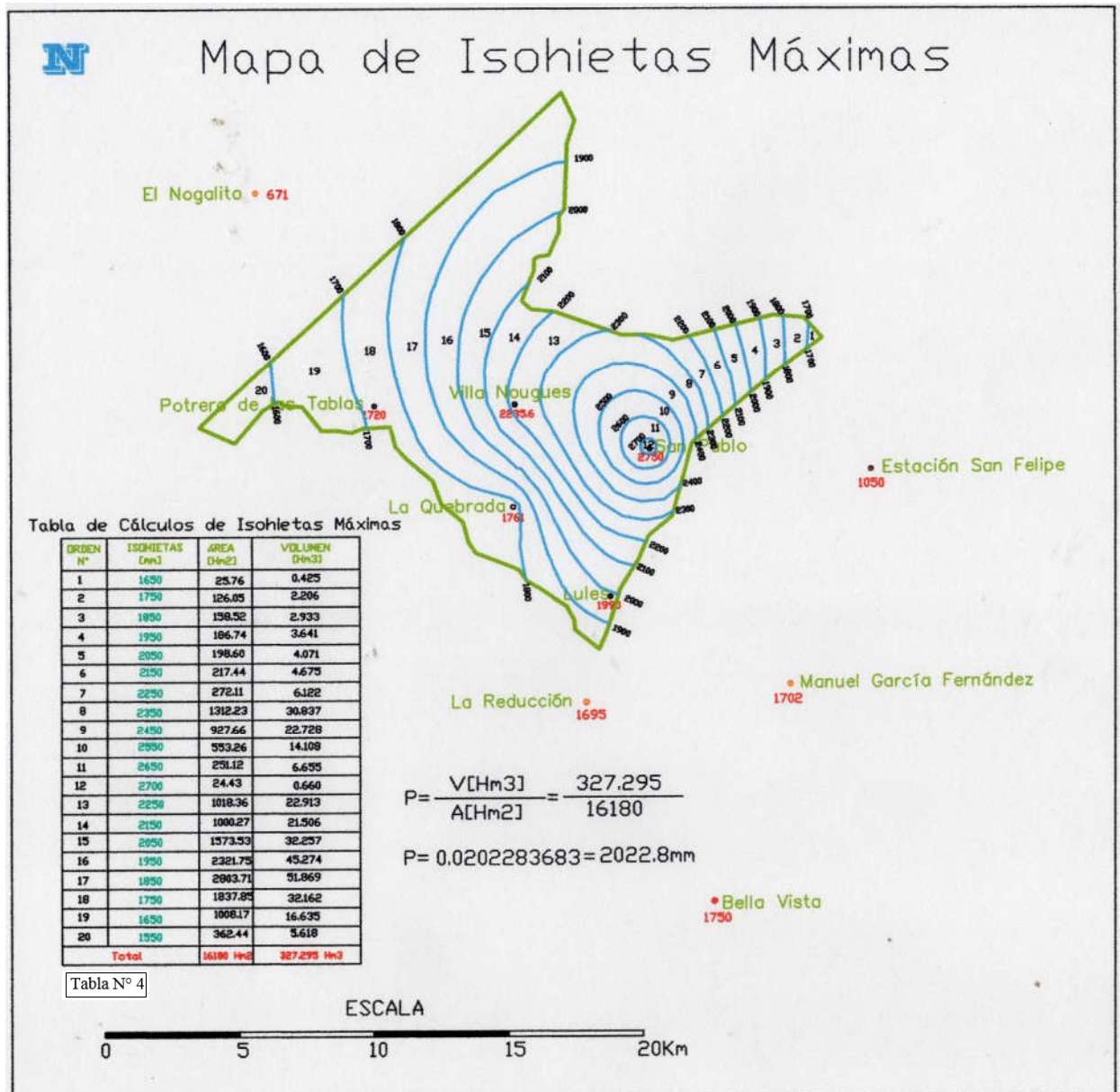


Figura 19. Mapa de Isohietas de altura máxima de agua precipitada



Mapa Hidrológico de la Cuenca del Río Lules (Figura 20)

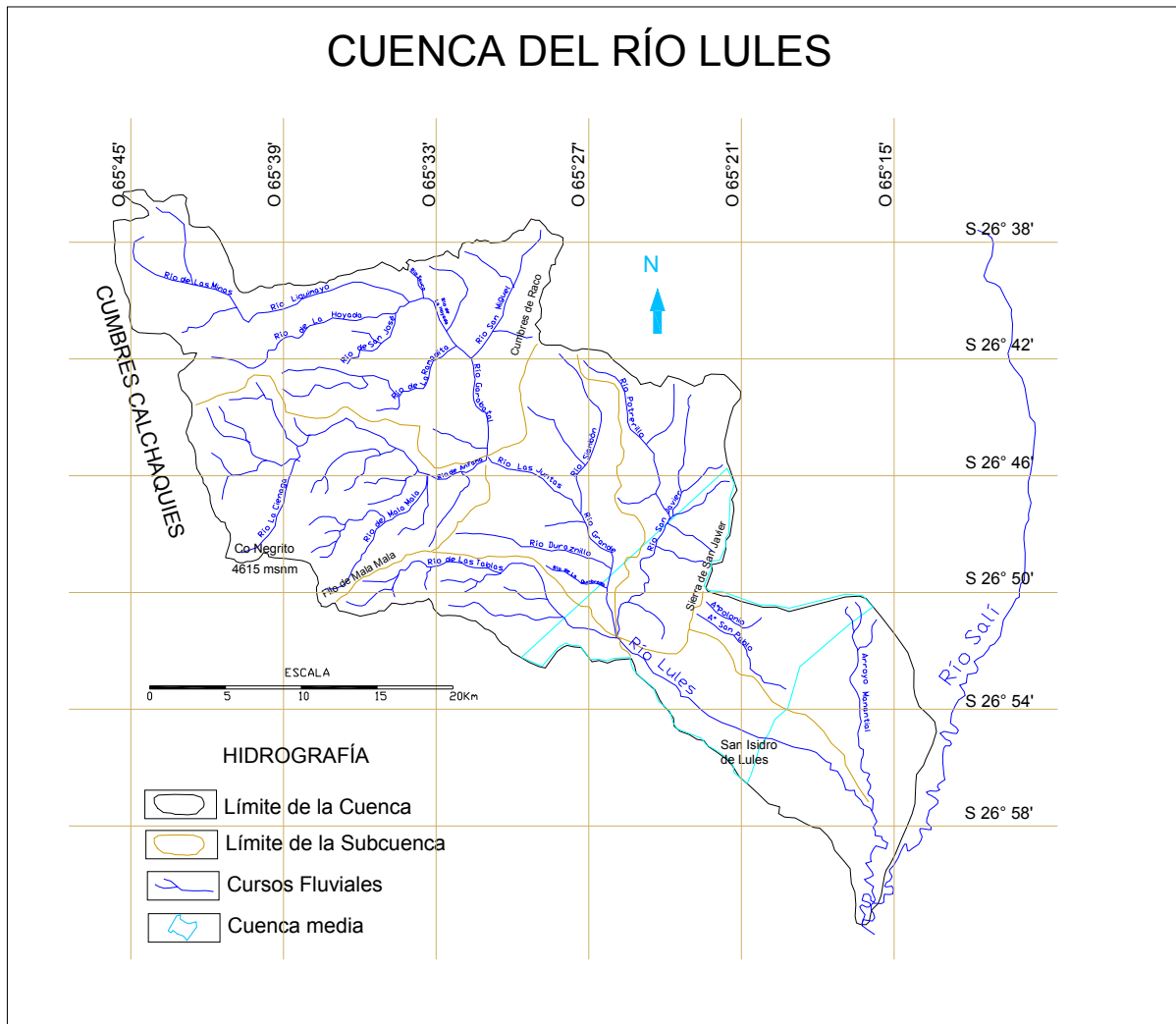


Figura 20: Ubicación relativa de la cuenca media. (Mapa elaborado con AutoCAD 2014)

## **-Evapotranspiración**

Se denomina evapotranspiración *al conjunto de pérdidas físicas (evaporación) y biológicas (transpiración de las plantas) del suelo en vapor de agua*. Se expresa en *mm* por *unidad de tiempo*. Depende de factores de orden climático (*radiación solar, humedad del aire, viento*), relativo a las plantas (*cubierta vegetal*) y edáficos (*tipo de suelo, estado de humedad del suelo*), por lo que es conveniente distinguir entre *evapotranspiración efectiva* (*cantidad de agua realmente transferida a la atmosfera*) y *evapotranspiración potencial* (*cantidad máxima, teórica, de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación y constantemente abastecido de agua*), es decir a *Capacidad de Campo*. En relación con las precipitaciones recogidas, la **ETP** se usa como indicador de humedad o aridez climática. Es difícil que en la práctica se den todas las condiciones para que tenga lugar la ETP, pero es un método que se estableció a partir de las medidas realizadas en latitudes medias, donde dan buenos resultados por su similitud con la realidad.

La determinación directa de *la evaporación* es muy difícil de lograr, dado la compleja interacción de factores que intervienen en el proceso. Luego para estimarla se hace necesario determinar el *“poder evaporante de la atmosfera”* mediante la utilización de evaporímetros que miden la cantidad de agua que se evapora de una superficie de agua libre (**tanque tipo A o B, balanza de Wild**) o de una superficie porosa (**evaporímetro Piche o esfera de Levingstone**), por unidad de tiempo, sin tener en cuenta las variables edafológicas ni la vegetación.

En la medición de *la evapotranspiración* se realiza mediante **lisímetros**. Consiste en un recipiente enterrado y cerrado lateralmente, de modo que el agua drenada por gravedad (la que se hubiera infiltrado hasta el acuífero), es recogida por un drenaje. En su construcción hay que ser muy cuidadoso de restituir el suelo que se excavó en unas condiciones lo más similares posible a las que se encontraba. Próximo a él debe contarse con un pluviómetro.

### Cálculo de la Evapotranspiración

Numerosas fórmulas nos permiten evaluar la ETP con una aproximación suficiente para muchos estudios hidrológicos. Normalmente con estas fórmulas se calcula la ETP mes a mes para datos medios de una serie de años. Después, con **la ETP mensual** y las **Precipitaciones mensuales**, se realiza el balance mes a mes del agua en el suelo con lo que se obtiene la **ETP**, **el déficit = (ETP - ETR)** y **los excedentes** (agua que no puede ser retenida en el suelo y **escapa a la escorrentía superficial o subterránea**), para cada mes del año. Los valores de **ET** se expresan en **[mm]**, lo mismo que la precipitación y la evaporación. En este caso se aplicaran dos de los métodos empíricos más aceptados en hidrología.

Cuales son: La **Fórmula de Turc** (1961) *para calcular la evapotranspiración real* y la **Fórmula de Thornthwaite** (op.cit.), *para la evapotranspiración potencial*, las que de no ser muy precisas, a los fines de resolver el balance hidrológico, presentan un error compatible con la confiabilidad del método. Reúnen la condición de que se apoyan en variable sencillas tales como **la precipitación** y **la temperatura**, valores éstos, que se pueden obtener de las estaciones climatológicas.

#### .- Fórmula de Turc

***Definida como la cantidad total de agua que evaporan las superficies libres y transpiran las plantas de un lugar determinado en condiciones normales o reales.***

También se puede calcular mediante el método de balance hídrico, conociendo la precipitación [**P**], la evapotranspiración potencial [**Ep**] y la capacidad de campo [**CC**] del suelo del lugar, la que se define como, *el contenido de agua que tiene un suelo, después que se saturó y drenó libremente por espacio de 24 a 72 horas (cuando más pesado el suelo, más demora en llegar a la CC).*

En un suelo saturado todos los poros están ocupados por agua. En un suelo a Capacidad de Campo (CC), los **macroporos** perdieron el agua y están llenos de aire, y los **microporos** están llenos de agua, la que es retenida contra la fuerza de la gravedad. Este es el límite máximo de agua utilizable por las plantas, y **representa el máximo nivel de confort hídrico para los cultivos.**

En razón de que para calcular la evapotranspiración real por el método del balance hídrico, es necesario conocer el valor de la evapotranspiración potencial [**Ep**], esta metodología, se explica a continuación de la fórmula de Thornthwaite.

Posteriormente se vuelcan los valores de evapotranspiración real [**Er**] sobre un mapa de la cuenca y se trazan las isopletas, que permitirá calcular la altura de la lámina de agua evaporada.

La fórmula de Turc expresa:

$$E_r = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (P/L)}}$$

Dónde: **Er** = Evapotranspiración real [mm]

**P** = Precipitación [mm]

**L** = Poder evaporante del atmosfera = **300 + 25 T + 0.05 T**

**T** = Temperatura media anual [°C]

---

Luego para las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Lules tenemos:

### Estación Lules

Precipitación media anual = 1091.8 mm

Temperatura media anual = 19.0 °C

$$L = 300 + 25T + 0.05T^2 = 300 + 25 \times 19 + 0.05 \times 19^2 = 775.9$$

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (P/L)}} = \frac{1091.8}{\sqrt{0.9 + (1091.8 / 775.9)}}$$

$$Er = 718.8 \text{ mm / año}$$

---

### Estación San Pablo

Precipitación media anual = 1114.7 mm

Temperatura media anual = 19.2 °C

$$L = 300 + 25 \times 19.2 + 0.05 \times 19.2^2 = 780.96$$

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (P/L)}} = \frac{1114.7}{\sqrt{0.9 + (1114.7 / 780.9)}}$$

$$Er = 730.7 \text{ mm / año}$$

---

### **Estación La Quebrada**

Precipitación media anual = 1211.2 mm

Temperatura media anual = 18.5 °C

$$L = 300 + 25 \times 18.5 + 0.05 \times 18.5 = 763.4$$

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (P/L)}} = \frac{1211.2}{\sqrt{0.9 + (1211.2/763.4)}}$$

$$Er = 768.1 \text{ mm / año}$$

---

### **Estación Villa Nougües**

Precipitación media anual = 1454.0 mm

Temperatura media anual = 15.2 °C

$$L = 300 + 25 \times 15.2 + 0.05 \times 15.2 = 680.8$$

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (P/L)}} = \frac{1454}{\sqrt{0.9 + (1454/680.8)}}$$

$$Er = 834.51 \text{ mm / año}$$

---

### **Estación Potrero de Las Tablas**

Precipitación media anual = 1637.0 mm

Temperatura media anual = 16.6 °C

$$L = 300 + 25 \times 16.6 + 0.05 \times 16.6 = 715.83$$

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (P/L)}} = \frac{1637}{\sqrt{0.9 + (1637/715.8)}}$$

$$Er = 916.9 \text{ mm / año}$$

---

### **Estación El Nogalito**

Precipitación media anual = 1053.4 mm

Temperatura media anual = 16.8 °C

$$L = 300 + 25 \times 16.8 + 0.05 \times 16.8 = 720.8$$

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (P/L)}} = \frac{1053.4}{\sqrt{0.9 + (1053.4/720.8)}}$$

$$Er = 685.5 \text{ mm / año}$$

### **Estación Bella Vista**

Precipitación media anual = 934.0 mm

Temperatura media anual = 19.9 °C

$$L = 300 + 25 \times 19.9 + 0.05 \times 19.9 = 798.5$$

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (P/L)}} = \frac{934}{\sqrt{0.9 + (934/798.5)}}$$

$$Er = 649.2 \text{ mm / año}$$

---

### **Estación Manual García Fernández**

Precipitación media anual = 1062.0 mm

Temperatura media anual = 19.9 °C

$$L = 300 + 25 \times 19.9 + 0.05 \times 19.9 = 798.5$$

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (P/L)}} = \frac{1062}{\sqrt{0.9 + (1062/798.5)}}$$

$$Er = 711.2 \text{ mm / año}$$

---



### **Estación San Felipe**

Precipitación media anual = 845.0 mm

Temperatura media anual = 19.7 °C

$$L = 300 + 25 \times 19.7 + 0.05 \times 19.7 = 793.5$$

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (P/L)}} = \frac{845}{\sqrt{0.9 + (845/793.5)}}$$

$$Er = 602.8 \text{ mm / año}$$

---

### **Estación La Reducción**

Precipitación media anual = 1261.9 mm

Temperatura media anual = 19.8 °C

$$L = 300 + 25 \times 19.8 + 0.05 \times 19.8 = 796$$

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (P/L)}} = \frac{1261.9}{\sqrt{0.9 + (1261.9/796)}}$$

$$Er = 800.4 \text{ mm / año}$$

---

**- Fórmula de Thornthwaite**

Esta fórmula se utiliza para calcular la **evapotranspiración potencial [Ep]**, que es la cantidad de agua que evaporaría el suelo y transpirarían las plantas, en condiciones óptimas de humedad, es decir con el suelo en **capacidad de campo**. Como la evapotranspiración depende principalmente de la energía radiante del sol, que incide sobre la superficie evaporante, Thornthwaite, determino que el parámetro que es más representativo a la evapotranspiración, es la temperatura en función de su valor.

Mediante datos experimentales de evapotranspiración con un evaporímetro de su construcción, y cálculos teóricos, logro elaborar una fórmula general que se ajusta a un mes tipo de 30 días de 12 horas de heliofanía, comprobando una relación directa entre el logaritmo de la temperatura media mensual y el logaritmo de la evapotranspiración de una zona determinada.

La fórmula de Thornthwaite expresa:

$$E_p = \left| \frac{10 t^a}{I} \right|$$

Dónde: **Ep** = Evapotranspiración potencial [mm]  
**t** = Temperatura media mensual [°C]  
**I** = Índice calórico anual [= a° 12 i]  
**i** = Índice calórico mensual.

$$I = \left| \frac{t}{5} \right|^{1.514}, \text{ y } a \text{ se obtiene en función de } I \text{ según la fórmula}$$

$$a = a I^3 + b I^2 + g I + d$$

Donde:

$$a = 675 \times 10^{-9}; b = 771 \times 10^{-7}; g = 1.792 \times 10^{-5}; d = 49.239 \times 10^{-5}$$

A los efectos de facilitar los cálculos Thornthwaite, elaboró tres tablas y un ábaco, que se aplican seguidamente, con datos de **temperaturas medias mensuales** y la latitud de las estaciones meteorológicas de la cuenca media del río Lules.

- a) La **Tabla N° 15** (Ver anexo), sirve para calcular los 12 índices calóricos [i] con los datos de las temperaturas medias mensuales.
- b) Si las temperaturas media mensuales son superiores a  $t > 26.5\text{ °C}$ , se utiliza la **Tabla N° 16** (Ver anexo), para calcular la evapotranspiración potencial sin corregir [**Ep<sub>sc</sub>**].
- c) Si las temperaturas media mensuales del lugar, son inferiores a  $t < 26.5\text{ °C}$ , se utiliza el **nomograma de Thornthwaite**, para calcular la evapotranspiración potencial sin corregir [**Ep<sub>sc</sub>**] (Ver Anexo).
- d) Para obtener la evapotranspiración potencial [**Ep**], corregida, se multiplica la evapotranspiración potencial sin corregir [**Ep<sub>sc</sub>**] por el factor de iluminación [**Fi**] que depende de la **Latitud** y del **mes** del año, que se obtiene de la Tabla N° 28 (en Anexo).

A los efectos de agilizar los cálculos correspondientes se aplica la planilla de cálculo (**Excel–Dr. Geol. Jorge W. García 2005**), que permite determinar los balances hídricos de las estaciones meteorológicas que se encuentran en la cuenca y se detallan a continuación: (Tabla5).

Evapotranspiración potencial

<b>Estación Meteorológica</b>	<b>Ep [mm]</b>
San Pablo	1014.5
Lules	1033.0
La Quebrada	977.9
Villa Nougües	699.8
Potrero de Las Tablas	831.8
La Reducción	1097.9
Manuel García Fernández	1105.1
Bella Vista	1105.1

**Tabla N° 5.** Evapotranspiración potencial por Estación

### **Método del Balance Hídrico**

Con valores así obtenidos de evapotranspiración potencial (**Ep**) para cada estación y las precipitaciones (**P**) medias mensuales, se calcularon las evapotranspiraciones reales (**Er**) resolviendo así los balances hídricos de las estaciones meteorológicas consideradas, para obtener las disponibilidades de agua en diferentes sectores de la cuenca. (Tabla 6)

#### Evapotranspiración real

<b>Estación Meteorológica</b>	<b>Er [mm]</b>
San Pablo	856.8
Lules	854.7
La Quebrada	854.6
Villa Nougües	664.1
Potrero de Las Tablas	368.1
La Reducción	894.9
Manuel García Fernández	839.6
Bella Vista	814.6

**Tabla N° 6.** Evapotranspiración real por Estación

A continuación se detalla el análisis de uno de los gráficos del balance hídrico de la Estación Meteorológica San Pablo: (Figura 21)

### Balance Hídrico Estación Meteorológica San Pablo

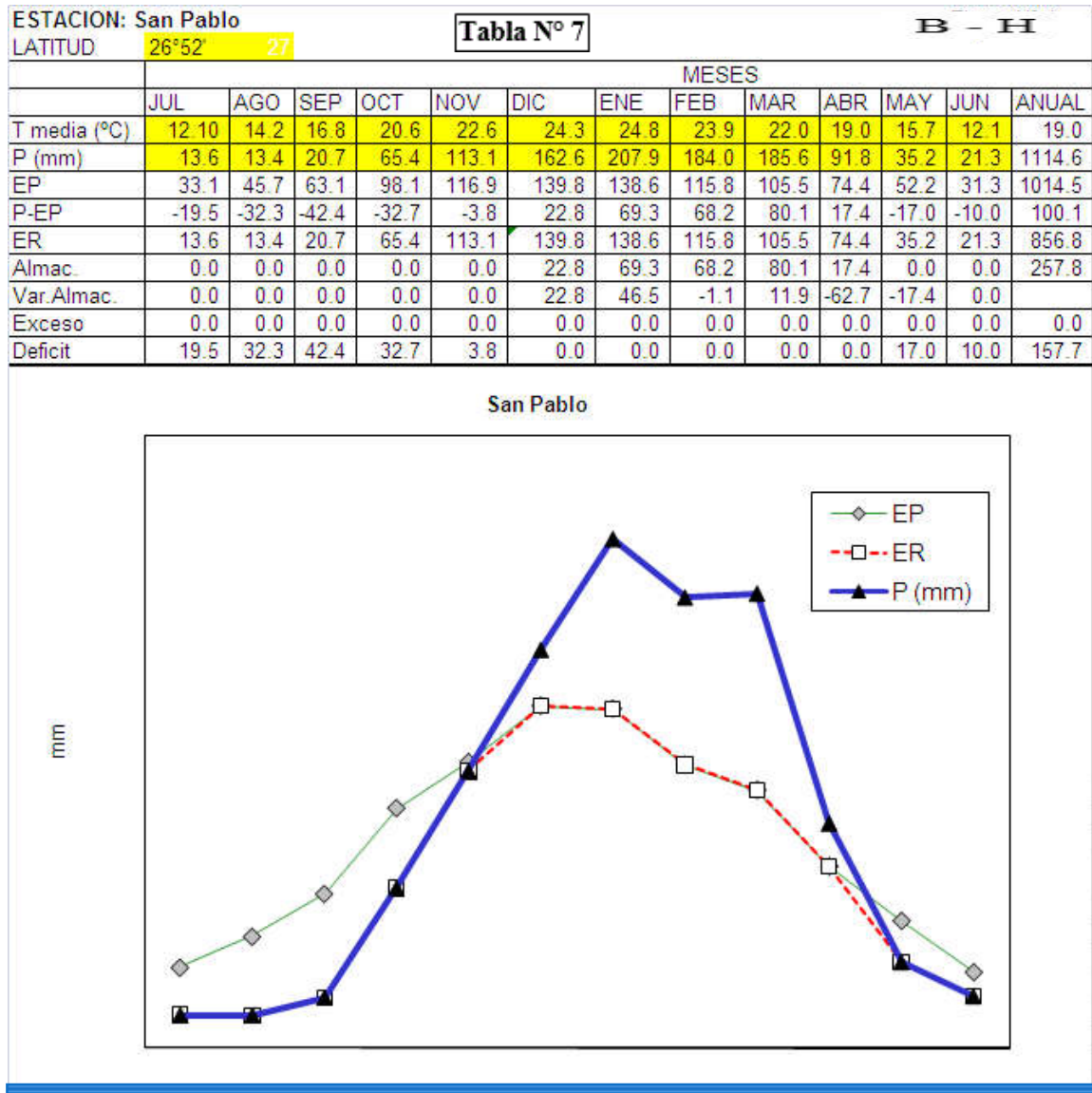


Figura 21. Estación Meteorológica San Pablo - Balance Hídrico

**Análisis del cálculo del balance hídrico** de la Estación meteorológica **San Pablo** expresados en el gráfico de la **Figura N° 19**:

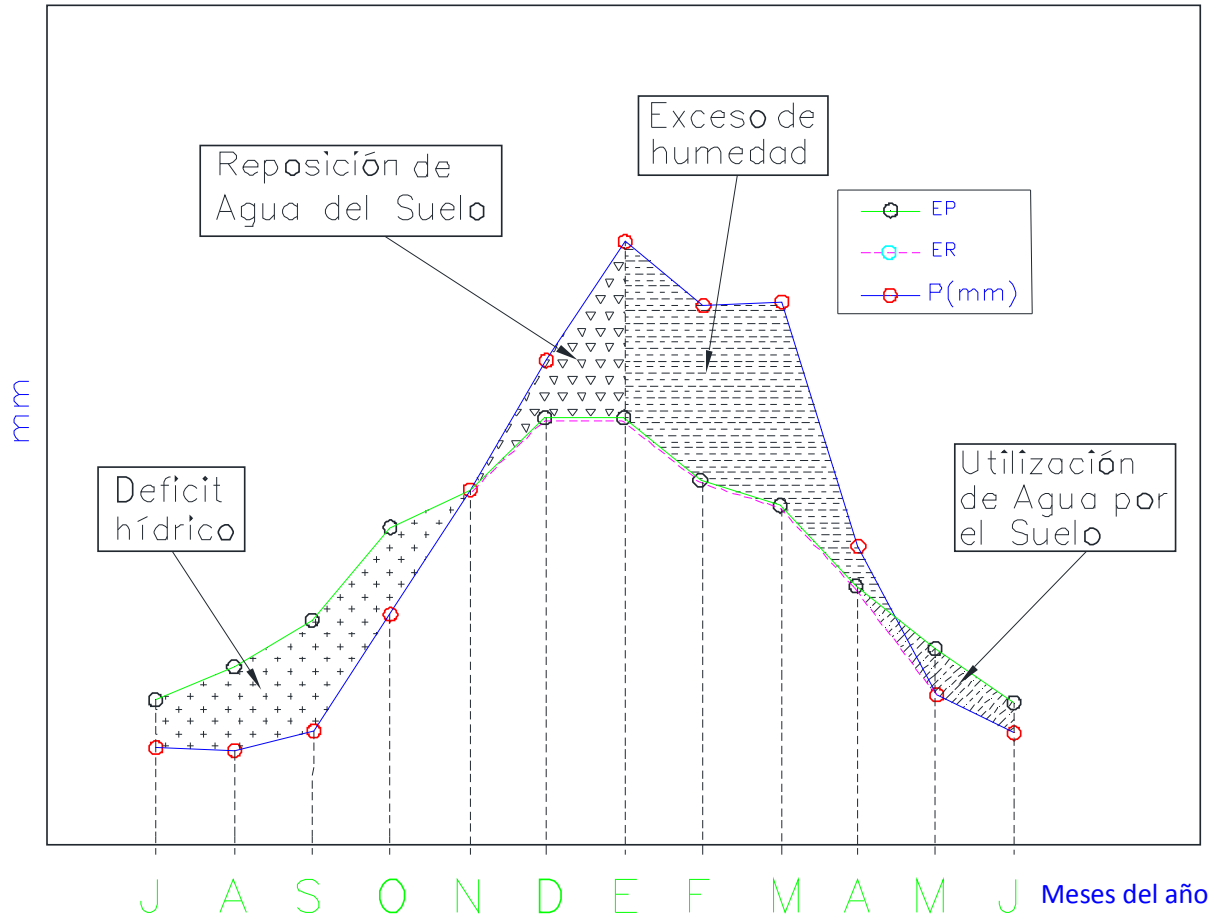
La información que se extrae del gráfico generado por los resultados obtenidos en el cálculo del balance hídrico, son:

- a) Se observa que la curva de Evapotranspiración potencial es superior a la de Precipitación, esto se refleja en la planilla de cálculos con valores negativos durante los meses de **julio a noviembre**, es decir  $(P-ETP) < 0$ . Se infiere entonces, que durante este período existe un **Déficit hídrico** que se determina por los valores de los módulos mensuales registrados durante esos meses.
- b) A partir del mes de **noviembre** la precipitación se incrementa con valores mayores a los de la evapotranspiración potencial, es decir  $(P - ETP) > 0$ , hasta alcanzar el pico máximo en el mes de **enero** con el valor de **207.9 mm**, período durante el cual se produce la **Reposición de agua del suelo**. Se observa también que desde **noviembre** a hasta **abril** la **ETP es igual a la ETR** lo que indica que en este tramo no hay déficit hídrico.
- c) El sector de la curva que va desde **enero** hasta el punto donde se cruza la precipitación (**P**) con la evapotranspiración potencial **ETP**, define el **exceso de humedad**, a cuya finalización da comienzo la **Utilización de agua por el suelo**. En este punto la **ETP** comienza a tener mayores valores que la **Precipitación**.
- d) El **Almacenaje de agua útil** viene dado por el mes con mayor valor en el módulo de  $(P - ETP)$ , precedido por varios meses con el mismo signo, en este caso corresponde al valor de  $(P - ETP) = 80.1 \text{ mm}$  es decir que **A = capacidad de campo (CC)**. Por otra parte en todos aquellos meses donde los valores de  $(P - ETP) < 0$  implica que el **A = 0** como puede observarse en la planilla de cálculos adjunta.

Estos cálculos con sus correspondientes resultados y gráficos se realizaron para cada una de las Estaciones meteorológicas que ubican en la Cuenca (en Anexo).

**RESULTADO GRAFICO DEL ANÁLISIS (Figura 22)**

San Pablo



**Figura 22.** Gráfico del Análisis del Hidrograma

## **Cálculo de la Altura de la Lámina de Agua Evaporada**

- Método de la Media Aritmética

Este método como ya se vio con la precipitación, consiste en hacer la sumatoria de las evapotranspiraciones reales medias anuales de las estaciones meteorológicas de la cuenca media del río Lules, y dividir las por el número de estaciones. Con lo que se obtiene un valor (media aritmética), que no tiene en cuenta la variabilidad de las evapotranspiraciones con la topografía y cuya confiabilidad aumenta con el incremento de la densidad de estaciones meteorológicas (número de estaciones / km<sup>2</sup>), y con la disminución de las pendientes.

Estaciones Meteorológicas:

**San Pablo** (730.7 mm) – **Lules** (718.8 mm) – **La Quebrada** (768.1 mm) – **Villa Nougües** (834.5 mm) – **Potrero de Las Tablas** (916.9 mm) – **El Nogalito** (685.5 mm) – **Bella Vista** (649.2 mm) – **Manuel García Fernández** (711.2 mm) – **San Felipe** (602.8 mm) – **La Reducción** (800.4 mm)

$$P = \frac{730.7 + 718.8 + 768.1 + 834.5 + 916.9 + 685.5 + 649.2 + 711.2 + 602.8 + 800.4}{10} =$$

$$\frac{7418.1}{10} = 741.81 \text{ mm} \Rightarrow 0.0074181 \text{ Hm}; \text{ Como } A = 16180 \text{ Hm}^2$$

$$\text{Entonces: } V = 0.0074181 \text{ Hm} \times 16180 \text{ Hm}^2 = 120.024 \text{ Hm}^3$$

$$V = 120 \text{ Hm}^3$$



### Método de las Isopletras

El método consiste en graficar sobre un mapa la isopletras, que son líneas que unen puntos de igual evapotranspiración, calculados con datos de las estaciones meteorológicas de la cuenca. Estas líneas se elaboraron sobre la base de los datos de las coordenadas de cada una de las estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca y los correspondientes valores de evapotranspiración calculados, mediante el siguiente proceso:

- 1.- Se calculó la interpolación y extrapolación de los valores de evapotranspiración de estaciones contiguas, con una equidistancia de 50 mm que formaron las fajas distribuidas en la superficie de la cuenca. (Cálculo mediante el programa Surfer 8).
- 2.- Las curvas isopletras obtenidas en el paso anterior se exportaron al programa Autocad Land 2008, donde fueron escaladas y georreferenciadas en el mapa, procediendo a medir las áreas de cada una de las fajas determinadas con sus correspondientes valores medios de evapotranspiración.
- 3.- Los valores obtenidos se multiplicaron entre las áreas de cada faja y la semisuma de las isopletras que las contienen, para obtener los volúmenes de agua evapotranspiradas parciales.
- 4.- Se realizó la sumatoria de los volúmenes parciales de cada faja obteniéndose el volumen total de agua evapotranspirada en la cuenca media que se investiga.
- 5.- Finalmente se procedió a dividir el volumen total en el área de la cuenca para obtener la altura de la lámina de agua evaporada.

Los datos de las coordenadas geográficas, precipitación y temperaturas como en el caso de las isohietas, fueron proporcionados por la EEAOC Provincial; BDHI Nacional; DRH Provincial; Carta Topográfica República Argentina – Hoja 2766-II del IGN a escala 1:250.000-San Miguel de Tucumán. (SEGEMAR 2000)

## Resultados obtenidos

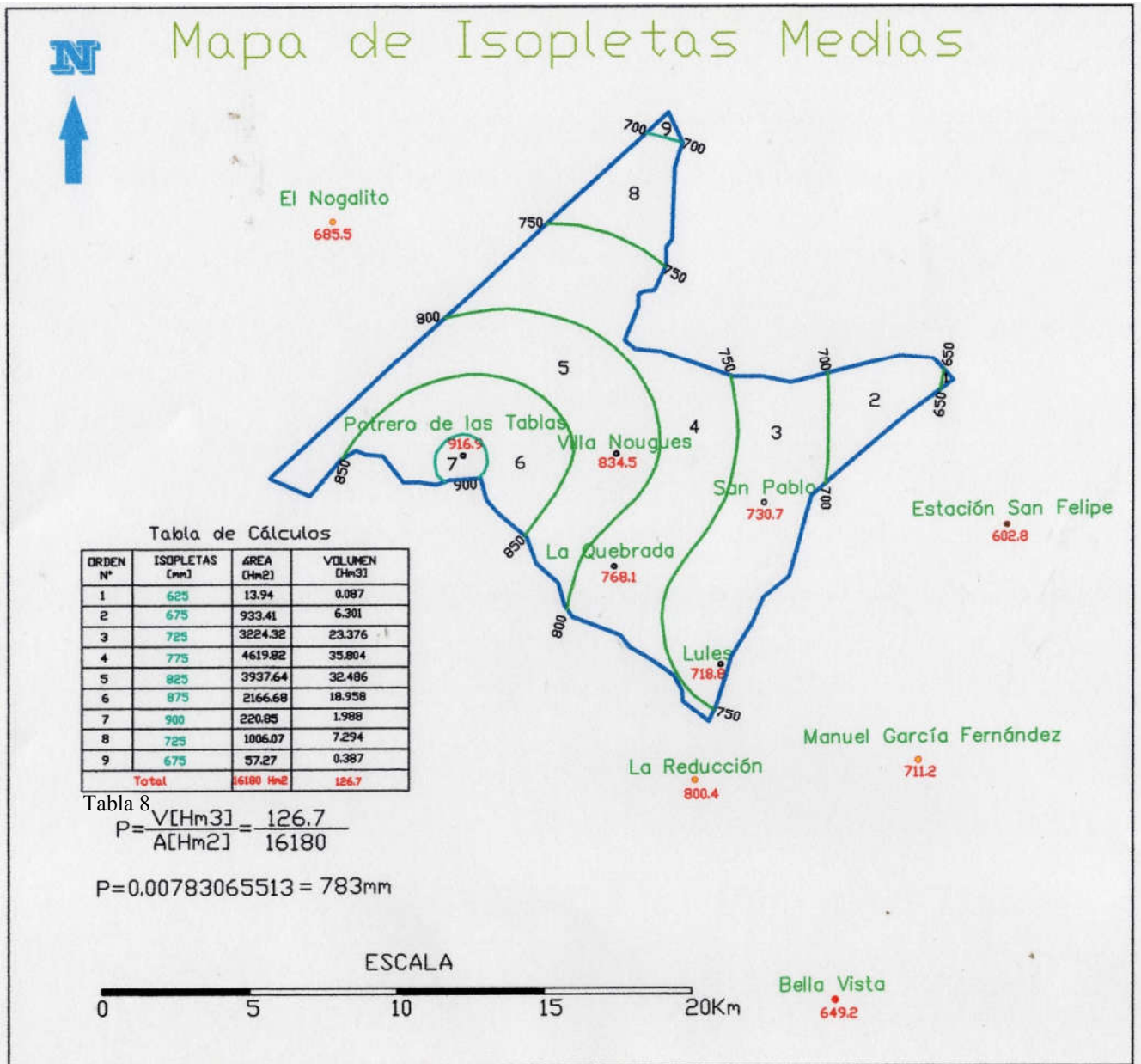
Los resultados indican que en la cuenca media del río Lules, con una superficie de **16.180 Hm<sup>2</sup>**, se evaporan **126.7 Hm<sup>3</sup>** de agua por año medio, lo que representa una **lámina media** de agua uniforme de **783 mm** (Figura 23 – Tabla 8)

También se utilizaron datos de evapotranspiraciones mínimas (año 2013) y máximas (año 2008), para calcular las variaciones cíclicas de la lámina de agua evaporada.

Durante los ciclos secos, se evaporan **83.3 Hm<sup>3</sup>** de agua por año, lo que representa una lámina mínima de agua uniforme de **514.5 mm** (Figura N° 24 – Tabla 9).

Durante los ciclos húmedos, se evaporan **168.6 Hm<sup>3</sup>** de agua por año, lo que representa una lámina máxima de agua uniforme de **1042 mm** (Figura 25 – Tabla 10).

**CALCULO DE LA ALTURA MEDIA DE LÁMINA DE AGUA EVAPORADA**



**Figura 23:** Mapa de Isopletras de altura media de lámina de agua evaporada

Isopletras mínimas

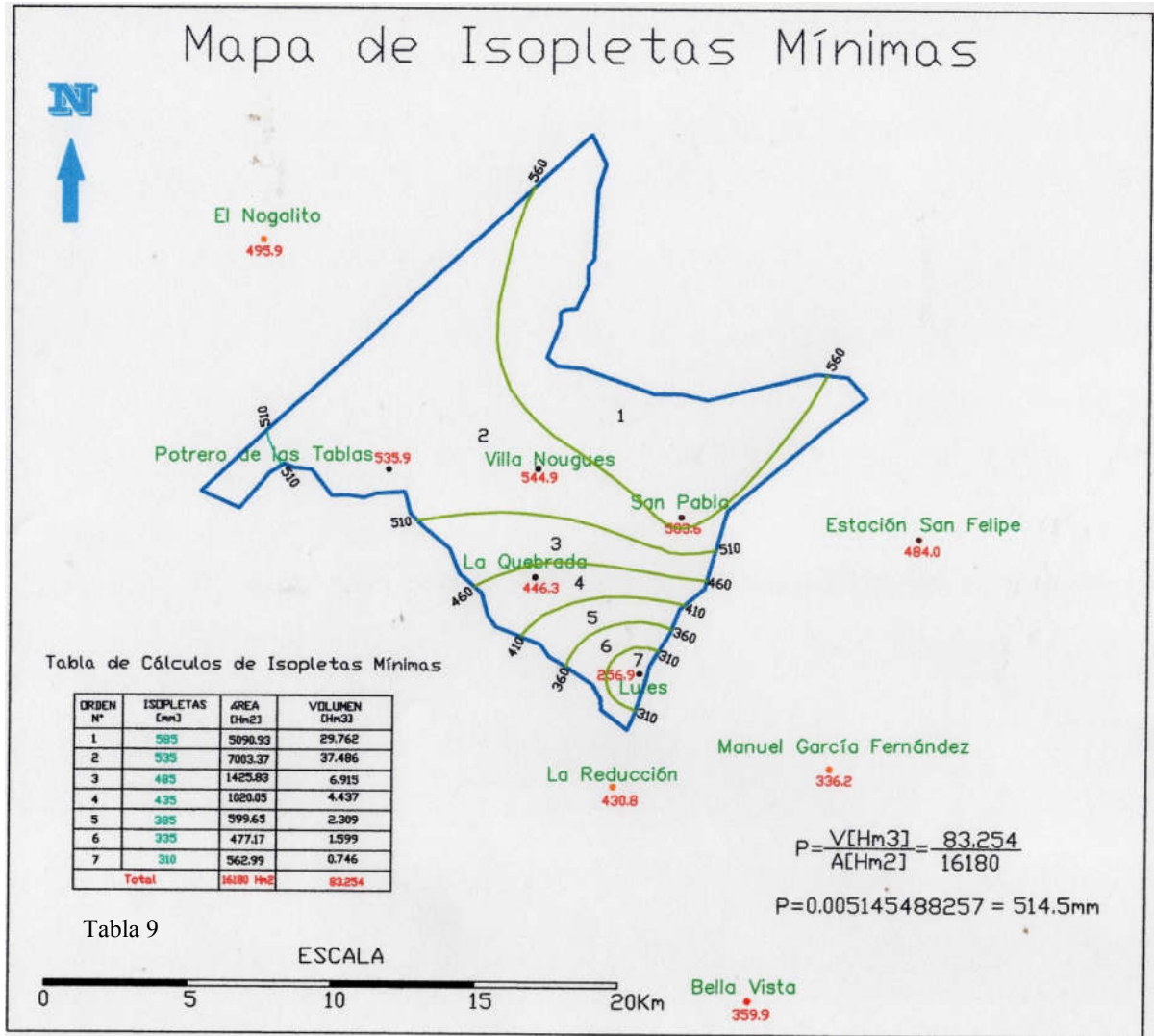
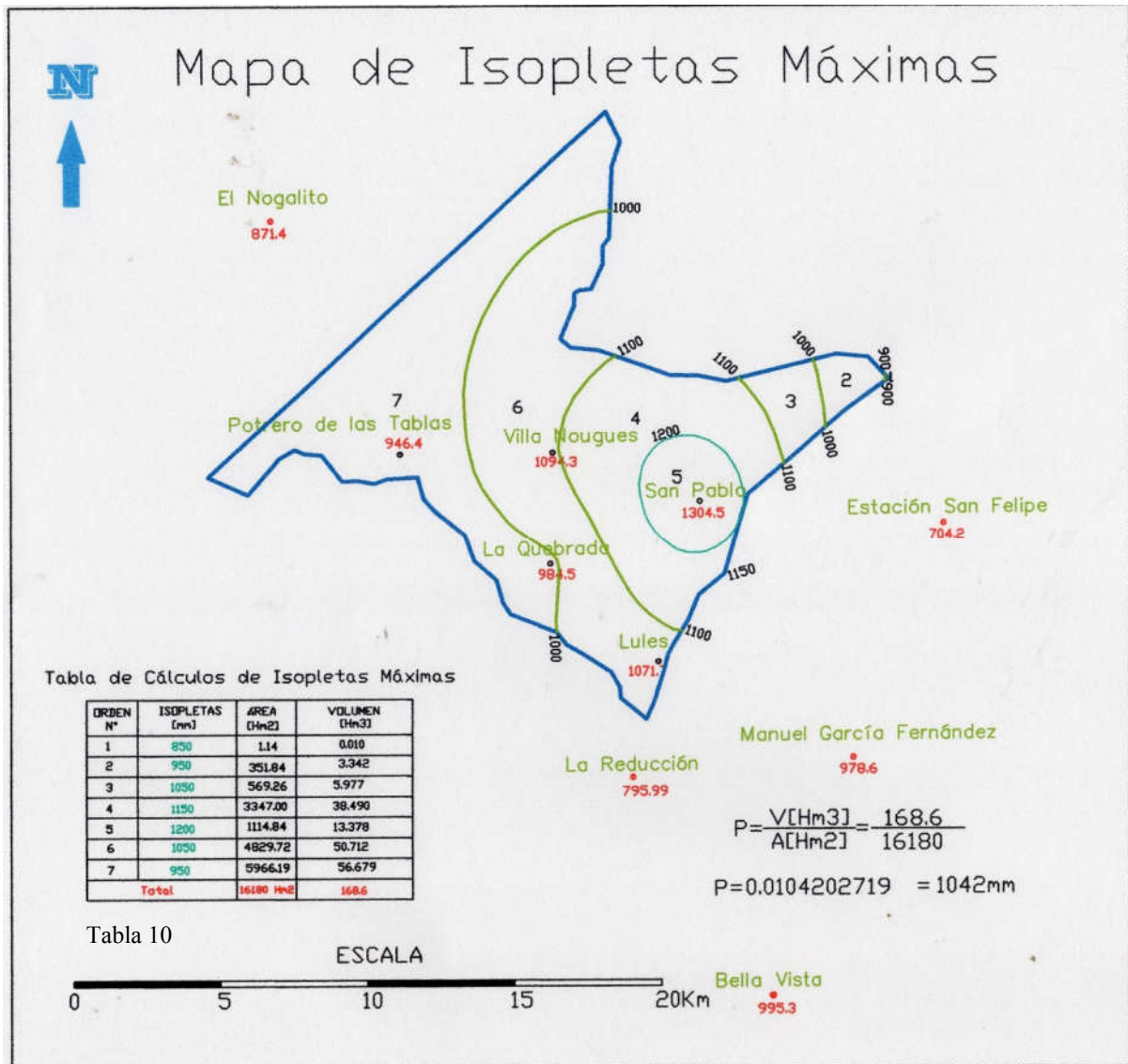


Figura 24. Mapa de Isopletras de altura mínima de lámina de agua evaporada



**Figura 25.** Mapa de Isopletas de altura máxima de agua evaporada

## **-Escurrimiento**

Es la parte de agua del ciclo hidrológico, que luego de precipitar sobre la superficie terrestre fluye por la pendiente topográfica, primariamente laminar hasta que luego se va concentrando en cauces que van adquiriendo importancia a medida que se unen a un mayor número de ellos entre sí, para finalmente descargar en el nivel de base.

La medición del escurrimiento se realiza en estaciones meteorológicas o aforadoras que se ubican en los cauces de cierta importancia, en los que se planea construir alguna obra de ingeniería tales como: presas de embalse; diques; represas; canales de riego y navegación, etc.

La frecuencia de medición con que deben realizarse las lecturas tiene que ser diaria y por largos períodos (10 a 20 años), a fin de que las mismas sean confiables. Las estaciones hidrológicas se ubican a la salida del colector principal de la cuenca.

En caso de no contar con estas instalaciones, se pueden realizar mediciones distribuidas en diversos sectores de la cuenca extrapolando valores lo suficientemente confiables, para resolver el balance hidrológico.

### VARIABLES INTERVINIENTES

Las variables que intervienen en la medición del caudal o gasto de un curso hídrico, son: **área de la sección transversal del cauce** y la **velocidad del agua** en el mismo.

En razón de que la sección de un río no se mantiene estable, sino que varía con la dinámica fluvial, aumentando por efectos erosivos durante las crecientes y disminuyendo por acumulación de sedimentos durante el estiaje, se debe medir periódicamente cada vez que se determina la velocidad de la corriente. Es por ello que se mide regularmente el ancho del río y la profundidad, en varias secciones, en función de la importancia de la corriente a efectos de tener un valor promedio confiable.

La velocidad de la corriente se determina por diversos métodos como ser:

- En cursos de agua pequeños, se pueden usar flotadores naturales o artificiales, para medir el tiempo que tardan los mismos en recorrer una longitud conocida de río ( $V=e/t$ ). Luego al valor de velocidad obtenido se lo multiplica por un factor de corrección ( $< 1$ ), que depende de la naturaleza del flotador y del grado de flotabilidad que éste tiene.
- Si la corriente fluvial es importante, se debe utilizar molinete hidrométrico y/o correntómetro que permiten medir velocidades a diferentes profundidades del cauce y mediante la aplicación de fórmulas sencillas, se obtiene la velocidad promedio de la corriente. El principio de funcionamiento de estos instrumentos consiste en medir las revoluciones por minuto de una hélice y las transforman en impulsos eléctricos que son registrados en un contador. Posteriormente, aplicando una fórmula de calibración sencilla, se calcula la velocidad lineal de la corriente.
- Mediante los registros realizados en estas estaciones hidrológicas, durante largos ciclos de mediciones continuas, en períodos de crecientes y estiajes excepcionales, es posible construir una curva que relaciona la altura del río con el área de la cuenca. De tal modo que para dicha sección, conociendo la altura o profundidad del agua, se puede obtener de la gráfica el área o sección.
- De igual modo se puede construir la curva de gasto, que relaciona la altura con el caudal del flujo de manera que con solo medir la altura de la gráfica se obtiene el caudal.
- En el cálculo del balance hídrico de la cuenca, se debe contar con mediciones de **gasto medio anual** a la salida o desembocadura del colector principal de la cuenca.



La cuenca del río Lules, y dentro del sector de estudio, cuenta con una estación de aforo en la localidad de Potrero de Las Tablas, con mediciones de más de 90 años (1914-2013), registrados en la Base de Datos Hidrológica Integrada de la Subsecretaría de Recursos Hídricos - Sistema Nacional de Información Hídrica. Con los datos de aforos suministrados por este sistema, correspondientes al de la estación **Potrero de Las Tablas**, (*Caudal Medio Mensual; Caudal Medio Diario Mínimo y Caudal Medio Diario Máximo*), se calcularon los módulos de escurrimientos Medio, Mínimo y Máximo anuales.

Sectores de la Cuenca y sus Áreas (Figura 26).

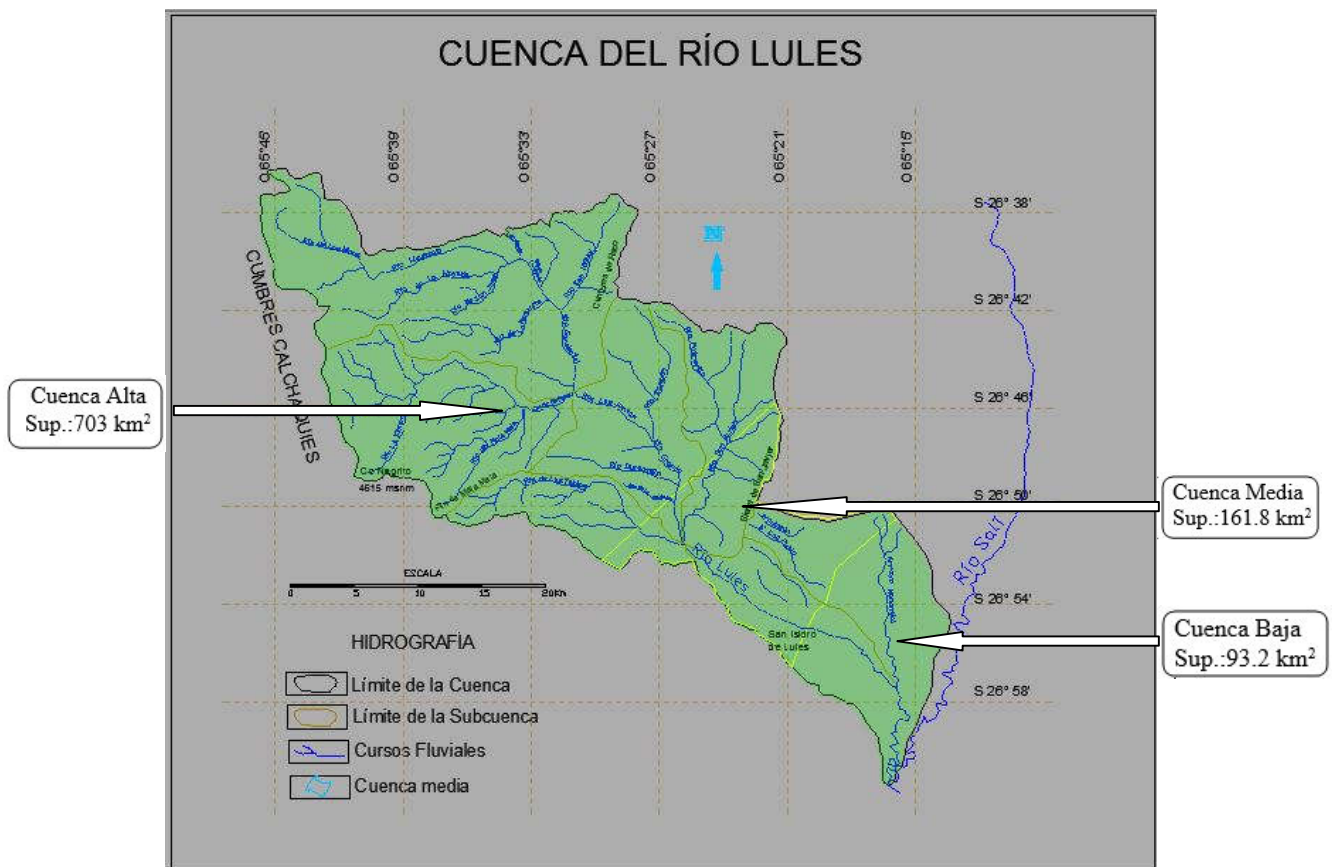


Fig. 26: Sectores y sus Áreas de la cuenca del Río Lules



Para el cálculo del balance hídrico de la cuenca se debe contar con mediciones de gasto medio anual a la salida o desembocadura del cauce principal de la cuenca.

Para la cuenca del Río Lules se cuenta con una estación aforadora ubicada en el lugar denominado Potrero de Las Tablas, y se localiza en el sector Noroeste de la cuenca media del río mencionado, razón por la cual se incorporan a este aforo, los caudales que aporta la cuenca media, aguas debajo de dicha estación. Los aforos registrados son los siguientes: (Tablas 8 y 9)

<b>Tabla A.3.1.1 Estaciones de Aforo de Tucumán - A. y E.E.</b>					
<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altura</b>	<b>Descripciones</b>
<b>TUA-001</b>	Río Angostura/El Nogalar	27° 00'	65° 40'	1800	1947/48 - 1950/51
<b>TUA-002</b>	Río Angostura/Tafí del Valle	26° 55'	65° 41'	1820	1943/44 - 1976/77
<b>TUA-003</b>	Río Calera/El Sunchal	26° 37'	65° 04'	*	1947/48 - 1950/51 y 1952/53 - 1979/80
<b>TUA-004</b>	Río Cochuna/Los Hornitos	27° 20'	65° 55'	1000	1942/43 - 1943/44 y 1945/46 - 1950/51 y 1952/53 - 1979/80
<b>TUA-005</b>	Río Las Cañas/Las Hachas	27° 21'	65° 51'	600	1943/44 - 1968/69
<b>TUA-006</b>	Río Las Cañas/Potrero del Clavillo	27° 24'	65° 59'	1300	1943/44 - 1979/80
<b>TUA-007</b>	Río Los Sosa/Km 19-Ruta 307	27° 06'	65° 36'	1500	1953/54 - 1974/75 y 1976/77 - 1979/80
<b>TUA-008</b>	Río Lules/Usina Hidroeléctrica Potrero de Las Tablas	*	65° 21'	950	1914/15 - 1927/28 y 1935/36 - 1966/67 y 1972/73 - 1974/75 y 1976/77 - 1979/80
<b>TUA-009</b>	Río Marapa/Escaba	27° 40'	65° 46'	565	1938/39 - 1948/49
<b>TUA-010</b>	Río Reales/Casa de Piedra	27° 05'	65° 46'	*	1951/52 - 1961/62
<b>TUA-011</b>	Río Salí/El Cadillal	26° 37'	65° 11'	545	1913/14 - 1961/62
<b>TUA-012</b>	Río Salí/San Vicente	26° 31'	65° 1'	580	1960/61 - 1978/79
<b>TUA-013</b>	Río Solco/Las Higueras	27° 18'	65° 42'	460	1942/43 - 1979/80
<b>TUA-014</b>	Río El Tala/El Brete	26° 03'	65° 22'	845	1941/42 - 1961/62
<b>TUA-015</b>	Río Vipos/Toma de Obras Sanitarias	26° 28'	65° 22'	800	1937/38 - 1941/42 y 1951/52 - 1952/53 y 1954/55 - 1967/68
<b>TUA-016</b>	Río Membrillo/Las Higueras	27° 18'	65° 42'	450	1948/49 - 1950/51 y 1952/53 - 1962/63 y 1967/68 - 1971/72 y 1977/78 - 1979/80
<b>TUA-017</b>	Río Singuil/Escaba	27° 40'	65° 46'	*	1938/39 - 1956/57

**Tabla N° 8.** Estaciones de Aforo

(Fuente: **Estadística Hidrológicas – AyEE**)

Estaciones	Unidades	TUA-001	TUA-002	TUA-003	TUA-004	TUA-005	TUA-006	TUA-007	TUA-008	TUA-009	TUA-010	TUA-011	TUA-012	TUA-013	TUA-014	TUA-015	TUA-016	TUA-017
Años Promediados	años	2	33	11	28	26	37	25	51	11	6	48	18	29	21	11	16	19
Derrame Anual	Hm <sup>3</sup>	46,3	41	17	126	167	101	140	176	185	83,4	463	363	163	187	107	30,6	54,9
Escurrimiento en Cuenca	mm	2,096	2,597	1,172	25,8	4,805	3,216	7,152	9,312	6,506	SD	3,119	3,09	36,9	9,247	6,776	24,2	SD
Superficie de la Cuenca	Km <sup>2</sup>	700	500	460	155	1100	1000	620	600	900	SD	4700	3720	140	640	500	40	SD
Caudal Especifico	l/s/Km <sup>2</sup>	66.2	82	37	815	152	101	226	294	205	SD	98,4	97,5	1164	292	214	765	SD
Caudal Medio Anual	m <sup>3</sup> /s	1,467	1,299	0,539	4,004	5,285	3,216	4,817	5,587	5,856	2,643	14,7	11,5	5,163	5,918	3,388	0,969	1,74

**Tabla N° 9**

SD: sin datos

(Fuente: **Estadística Hidrológicas – AyEE**)

En esta planillas de aforos de la Ex Empresa Estatal Agua y Energía Eléctrica de la Nación (AyEE), que para la estación de aforo de **Potrero de Las Tablas** toma un período de **66 años**, determina un Derrame Anual de **176 Hm<sup>3</sup>** considerando una superficie de cuenca de **600 Km<sup>2</sup>**. Luego, como el área total de la cuenca es de **958 km<sup>2</sup>**, y al no contarse con estaciones de aforo aguas debajo de la estación mencionada, se estimó el escurrimiento de la superficie faltante de la cuenca media, mediante la construcción de un gráfico de relación de Áreas vs. Caudales, tomando cauces hídricos próximos y al Sur del cauce del río Lules, que presentan características hidrológicas similares. Los ríos considerados se detallan a continuación:

Estos datos permitieron elaborar la curva área acumulada vs. caudal anual, a partir de las cuencas de 6 ríos (Tabla 10), a los fines de estimar el caudal total de salida de la cuenca del río Lules en el puente de la Ruta Provincial N° 301. (Fig. N° 27)

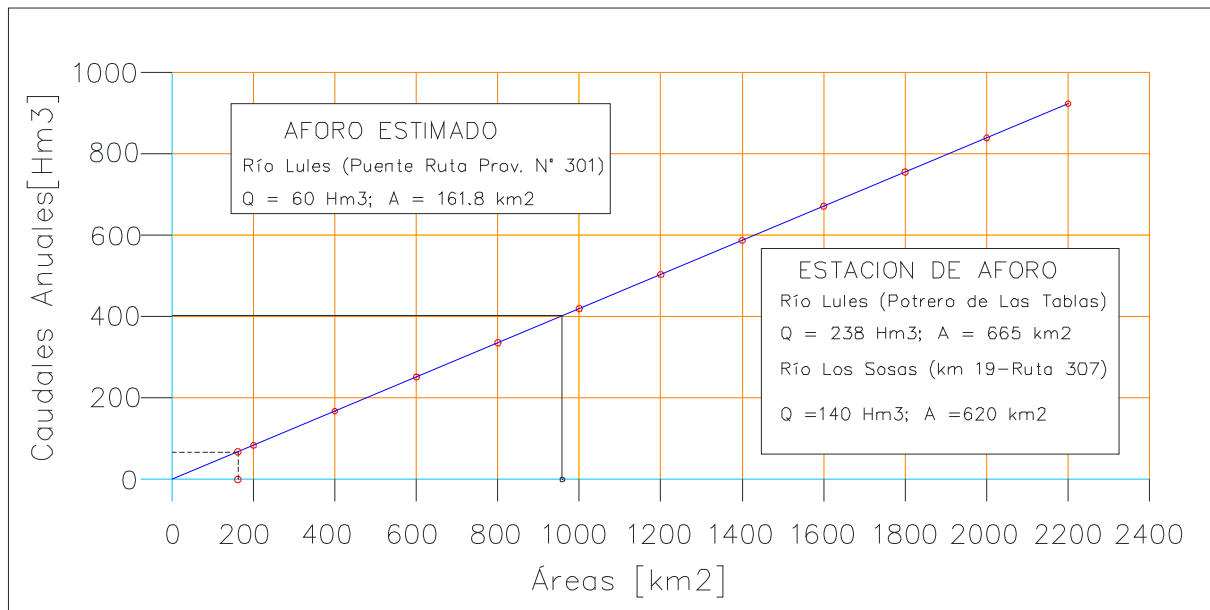
**PLANILLA DE RÍOS PARA ELABORAR LA CURVA ÁREA ACUMULADA /CAUDAL ANUAL**

N°	Cauce Hídrico	Estación de Aforo	Latitud	Longitud	Sup. Cuenca [Km2]	Derrame Anual [Hm3]	Años Promediados
1	Río Lules	Potrero de Las Tablas	26° 51'	65° 26'	600	176	51
2	Río Los Sosas	Km 19 Ruta 307	27° 06'	65° 36'	620	140	25
3	Río Pueblo Viejo	Toma superior	27° 08'	65° 40'	497	225,1	4
4	Río Solco	La Higuera	27° 18'	65° 42'	140	163	29
5	Río Membrillo	La Higuera	27° 18'	65° 42'	40	30,6	16
6	Río Cochuna	Los Hornitos	27° 20'	65° 55'	155	126	28

**Tabla N°: 10 -**

## Relación de Áreas Vs. Caudales Anuales

Se toman 6 Cuencas de Ríos de Características Hidrológicas Similares



**Figura 27.** Gráfico de relación de áreas vs. Caudales

### Resultados obtenidos

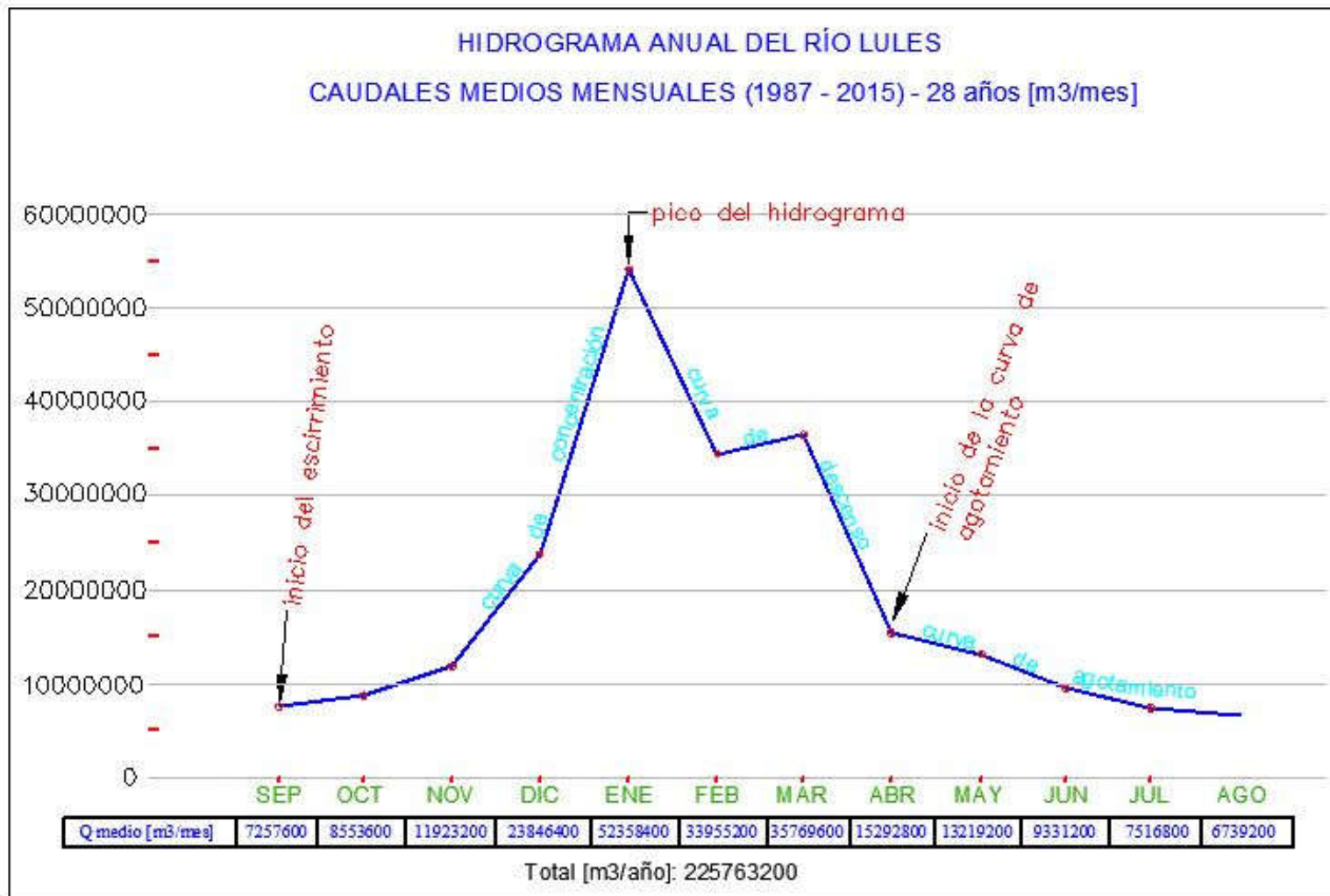
Los resultados obtenidos indican que en la cuenca Alta y Media del río Lules, con un área **826 km<sup>2</sup>**, se escurren **299 Hm<sup>3</sup>** de agua por año medio, lo que representa una lámina media de agua uniforme de **362 mm**

También se utilizaron datos de escurrimientos **mínimos** (año 2013) y **máximos** (2008), para calcular las variaciones cíclicas de la lámina de agua escurrida.

Durante los ciclos secos, se escurren **124 Hm<sup>3</sup>** de agua por año, lo que representa una lámina mínima de agua uniforme de **150 mm**.

Durante los ciclos húmedos, se escurren **545 Hm<sup>3</sup>** de agua por año, lo que representa una lámina media de agua uniforme de **660 mm**.

A continuación con los caudales medios mensuales se elabora el hidrograma anual del río Lules (Figura 28)



**Figura 28.** Grafica del Hidrograma anual del río Lules

## Interpretación del Hidrograma

El hidrograma corresponde a los **caudales medios mensuales** durante un período de **28 años**, los que se expresan en **m<sup>3</sup>/mes**. La gráfica representa el régimen del Río Lules, donde se puede ver la variación estacional del caudal en función del tiempo [meses del año].

Considerando el hidrograma (**Ver Figura 25**), se observan los siguientes detalles:

- El punto donde se **inicia el escurrimiento**, esto es cuando la condición de saturación en la zona de la superficie de la cuenca es tal que cualquier evento de precipitación propiciará el escurrimiento directo, esta situación se produce durante el mes de **septiembre**.
- La **curva de concentración** o rama ascendente, es la parte del hidrograma que presenta una fuerte pendiente positiva, uniendo el punto asociado al gasto ascendente con el segmento correspondiente a la cresta o pico del escurrimiento, éste se produce durante los meses de **septiembre a enero**.
- La **cresta o pico**, éste valor máximo del escurrimiento lo alcanza en los meses de **enero**, a partir del cual se une con la rama descendente o curva de recesión.
- Se observa que la **rama descendente** se inicia inmediatamente después del gasto pico hasta gran parte del mes de **febrero**, para luego entrar en una meseta con leve pendiente positiva hasta el mes de **marzo**, posteriormente se produce un franco descenso hasta alcanzar el punto donde se produce un cambio notorio de la pendiente del hidrograma, esto es durante los meses de **marzo - abril**, indicando el comienzo de la curva de agotamiento cuya pendiente es mucho menor que la de la curva de recesión.
- La **curva de agotamiento** se produce durante los meses de **abril - agosto**, y es el resultado de aportes de otros sistemas con otras características, y que son notorios después del escurrimiento directo. Estos aportes tienen origen en el medio poroso de las riveras aguas arriba de la sección donde se llevan a cabo los aforos, en la Estación Potrero de Las Tablas. Cuando los niveles o tirantes en el río aumentan, las riberas, en algunas partes captan agua en cantidades importantes a través de infiltraciones en las barrancas de las mismas, las cuales se liberan una vez que los niveles descienden nuevamente. La curva de recesión tiende a estabilizarse a un valor casi constante, con oscilaciones relativamente pequeñas; esto ocurre en **época de estiaje**, en los meses de mayo hasta agosto hasta repetir nuevamente el ciclo.

### **-Infiltración**

Se define como infiltración al ***proceso por el cual parte del agua precipitada penetra en los sedimentos y en las rocas aflorantes por efecto de la gravedad, embebiendo y saturando los espacios de los poros, hasta alcanzar el nivel freático o un horizonte impermeable.***

Una vez alcanzado el nivel impermeable o el de saturación, el agua infiltrada puede fluir por la pendiente o por efecto de la presión.

Esta migración puede ser corta como en el caso de acuíferos libres que descargan en cauces (ríos efluentes), o en manantiales formando parte de ciclos hidrológicos actuales, o muy larga en el caso de grandes cuencas sedimentarias con acuíferos cautivos pertenecientes a ciclos hidrológicos pasados (cretácicos-terciarios).

Desde el punto de vista de la ***hidrología superficial***, es un volumen de agua que se pierde para el escurrimiento de los ríos, mientras que desde el punto de vista ***hidrogeológico*** es un volumen de agua que se gana para la recarga de los acuíferos.

Debido a ello, para el **ingeniero ambiental**, es importante poder cuantificar el volumen de agua que se infiltra en una cuenca por año, a los fines de estimar el **caudal base**, que fluye durante los períodos invernales en el proceso del ciclo hidrológico del agua.

Este estudio es fundamental por cuanto permite determinar si existen alteraciones en la recarga de los acuíferos como consecuencia de excesiva demanda de agua superficial (usos: riego, industrial, potable etc.), o de la sobre explotación de acuíferos por el bombeo de perforaciones. La incidencia de estas alteraciones recae; sobre los ecosistemas fluviales de ribera (flora y fauna), que se ven afectados en algunos casos hasta su desaparición, ***con el agravante de invasiones de especies adaptadas a los cambios producidos***, y con problemas por ***aumento de concentración de contaminantes.***

### Factores intervinientes

La infiltración depende de muchos factores, entre ellos los más importantes son: ***La porosidad y la permeabilidad*** de los materiales aflorantes (***litología y estructuras***), el tipo de cobertura superior (***tipo de suelo y vegetación***), de ***la pendiente topográfica, intensidad y variabilidad de las precipitaciones***, etc.

La infiltración se mide mediante técnicas sencillas, como el **método del “doble anillo”** que consta de dos cilindros concéntricos metálicos que se hincan en el suelo a investigar. En el área o sección entre los aros se vierte un volumen de agua y se mide el tiempo que demora en infiltrarse.

Otro método consiste en realizar pozos de 2” ó 3” de Ø de poca profundidad 0.30 a 0.50 m, llenar con agua y medir el tiempo que tarda en infiltrarse un volumen dado. En los dos casos las variables son las áreas o secciones a través de la cual se infiltra el agua y el volumen de agua utilizada durante la determinación.

Los valores de infiltración de un suelo o de un afloramiento dado, no pueden ser extrapolados a otros sectores de la cuenca, debido a la amplia variabilidad de los factores que la condicionan (variación edafológica y litológica), de modo que para obtener un valor confiable es necesario realizar numerosas mediciones y en los diferentes ambientes de la cuenca.

#### Cálculo de la Infiltración

En cuencas grandes con variado tipo de suelos y litologías, estos métodos son poco prácticos, por lo que para cuantificar la infiltración se utiliza la fórmula del ciclo hidrológico de la cuenca, que se expresa:

$$P - Er - R - I = 0; \text{ o sea que: } I = P - Er - R$$

#### Resultados

Los resultados obtenidos indican que en la cuenca media y alta del río Lules, el balance en un año medio es igual a:

$$P = 1062.5 \text{ Hm}^3$$

$$Er = 647.2 \text{ Hm}^3$$

$$R = 299 \text{ Hm}^3$$

Luego:

$$I = 1062.5 \text{ Hm}^3 - 647.2 \text{ Hm}^3 - 299 \text{ Hm}^3 \Rightarrow I = 115.8 \text{ Hm}^3$$

Lo que representa el **11% de la cantidad de agua precipitada.**

### **-Resultados Generales del Balance Hídrico**

Seguidamente se resumen en la Tabla N° 11 los resultados obtenidos por el método del balance hídrico para la cuenca media y alta del río Lules.

<b>Año</b>	<b>Precipitación [Hm<sup>3</sup>]</b>	<b>Evapotranspiración [Hm<sup>3</sup>]</b>	<b>Escurrimiento [Hm<sup>3</sup>]</b>	<b>Infiltración [Hm<sup>3</sup>]</b>	<b>% Disponible</b>
<b>Medio</b>	<b>1062</b>	<b>647</b>	<b>299</b>	<b>116</b>	<b>11</b>
<b>Seco</b>	<b>592</b>	<b>425</b>	<b>124</b>	<b>43</b>	<b>7</b>
<b>Húmedo</b>	<b>1672</b>	<b>861</b>	<b>545</b>	<b>266</b>	<b>16</b>

<b>Año</b>	<b>Precipitación [mm]</b>	<b>Evapotranspiración [mm]</b>	<b>Escurrimiento [mm]</b>	<b>Infiltración [mm]</b>	<b>% Disponible</b>
<b>Medio</b>	<b>1286</b>	<b>783</b>	<b>362</b>	<b>140</b>	<b>11</b>
<b>Seco</b>	<b>717</b>	<b>514</b>	<b>150</b>	<b>52</b>	<b>7</b>
<b>Húmedo</b>	<b>2024</b>	<b>1042</b>	<b>660</b>	<b>322</b>	<b>16</b>

**Tabla N° 11** –Balances Hídricos para la Cuenca media y alta del Río Lules

#### Interpretación de Resultados

Analizando estos resultados se aprecia que durante los **años “secos”**, la variable más relevante es **la evapotranspiración** que retorna a la atmosfera el **72 % del agua disponible**. No obstante queda agua disponible para que se infiltre en la cuenca 52 mm al año aproximadamente, que representan el **7 % de la precipitación media anual**.

Durante los **años “húmedos”** la variable más importante, también es la **evapotranspiración** que elimina el **51 % del agua disponible**. A pesar de ello, debido a las elevadas precipitaciones, queda agua disponible para que se infiltre en la cuenca, **322 mm al año** aproximadamente, que representan el **16 %** de la precipitación media anual.

Si analizamos los resultados de los años “medios”, son dos las variables que adquieren importancia, ellas son **el escurrimiento y la evapotranspiración** que eliminan el **28 % y el 61 %** respectivamente del agua disponible. Aun así queda agua disponible para que se infiltren en la cuenca, 140 mm al año aproximadamente, que representan el **11 %** de la precipitación media anual.

Comparando los resultados se concluye, que en los años secos llueve mucha menos agua que en los años húmedos (diferencia de algo **más de 1000 mm**), es por ello que en estos períodos, no hay suficiente agua disponible para la recarga de los acuíferos y debido a que los suelos están secos, gran parte del año, la precipitación infiltra (**7 %**) y escurre solo el **21 %**.



Además durante los años húmedos, las lluvias se concentran en la primavera y el verano cuando los suelos están saturados gran parte del tiempo, provocando un aumento del escurrimiento (**33 %**), con la infiltración a **16%**, ésta última circunstancia, en razón del incremento considerable de la evapotranspiración por la cobertura vegetal existente en la cuenca.

En virtud de lo analizado se concluye que aun cuando las diferencias entre las precipitaciones de los años húmedos y secos, son muy amplias, del orden de los 1000 mm anuales, la incidencia que tienen en la cantidad de agua disponible para la infiltración anual, es relativa, debido a la elevada porosidad de los suelos sobre todo en la zona elevada de la cuenca, donde se producen las mayores precipitaciones y a las condiciones de campo que presentan los suelos en cada período considerado.

Así cuando *menos llueve*, la cobertura superior del terreno tiene mayor capacidad para recibir y almacenar volúmenes de agua que precipite (52 mm), mientras que cuando *más llueve* dicha cobertura se satura y no puede recibir y almacenar más agua que supere los **322 mm** anuales.

La diferencia entre los dos períodos de **270 mm** significa un volumen de **223 Hm<sup>3</sup> anuales**, por lo que se concluye que en un año seco, el agua disponible para la recarga efectiva de los acuíferos, sería sensiblemente menor.

---

## **-Estudio, Análisis y Cálculos del Hidrograma anual del Río Lules**

### Cálculo del Módulo Absoluto [M]

Caudales medios mensuales (1987 - 2015) - 28 años [m<sup>3</sup>/s] (Tabla 12)

Meses	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Σ Total
<b>Q medio [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>2,8</b>	<b>3,3</b>	<b>4,6</b>	<b>9,2</b>	<b>20,2</b>	<b>13,1</b>	<b>13,8</b>	<b>5,9</b>	<b>5,1</b>	<b>3,6</b>	<b>2,9</b>	<b>2,6</b>	<b>87,1</b>

**Tabla N° 12** - Caudales medios mensuales

Concepto

Se define como la cantidad de agua evacuada por el río a lo largo de un período de tiempo, al menos 30 años. El caudal medio anual se expresa en metros cúbicos por segundo.

$$M = \sum \text{Caudales medios mensuales} / 12 = [\text{m}^3/\text{seg}]$$

Cálculo del Módulo Absoluto (sobre la base de datos en **Tabla N° 10**), para el río Lules es:

$$M = \sum (2.8 + 3.3 + 4.6 + 9.2 + 20.2 + 13.1 + 13.8 + 5.9 + 5.1 + 3.6 + 2.9 + 2.6) = 87.1 / 12 \Rightarrow$$

$$M = 87.1 / 12 = 7.26 \text{ m}^3 / \text{seg} \Rightarrow$$

$$M = 7.26 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Expresa el **caudal medio anual** en [m<sup>3</sup>/seg].

## Cálculo del Coeficiente de Caudal (K)

### Concepto

Coeficiente de Caudal **K**, que es la relación entre el caudal medio mensual y el caudal medio anual (Módulo Absoluto - **M**). Es fundamental para realizar el **Hidrograma** y representaciones gráficas de las **variaciones del caudal del río**.

$$K = \text{Caudal medio mensual} / \text{Caudal medio anual (M)}$$

Cabe consignar que los valores obtenidos determinan las crecidas y las bajantes de las aguas, en correspondencia con los resultados del hidrograma: (Tabla 13).

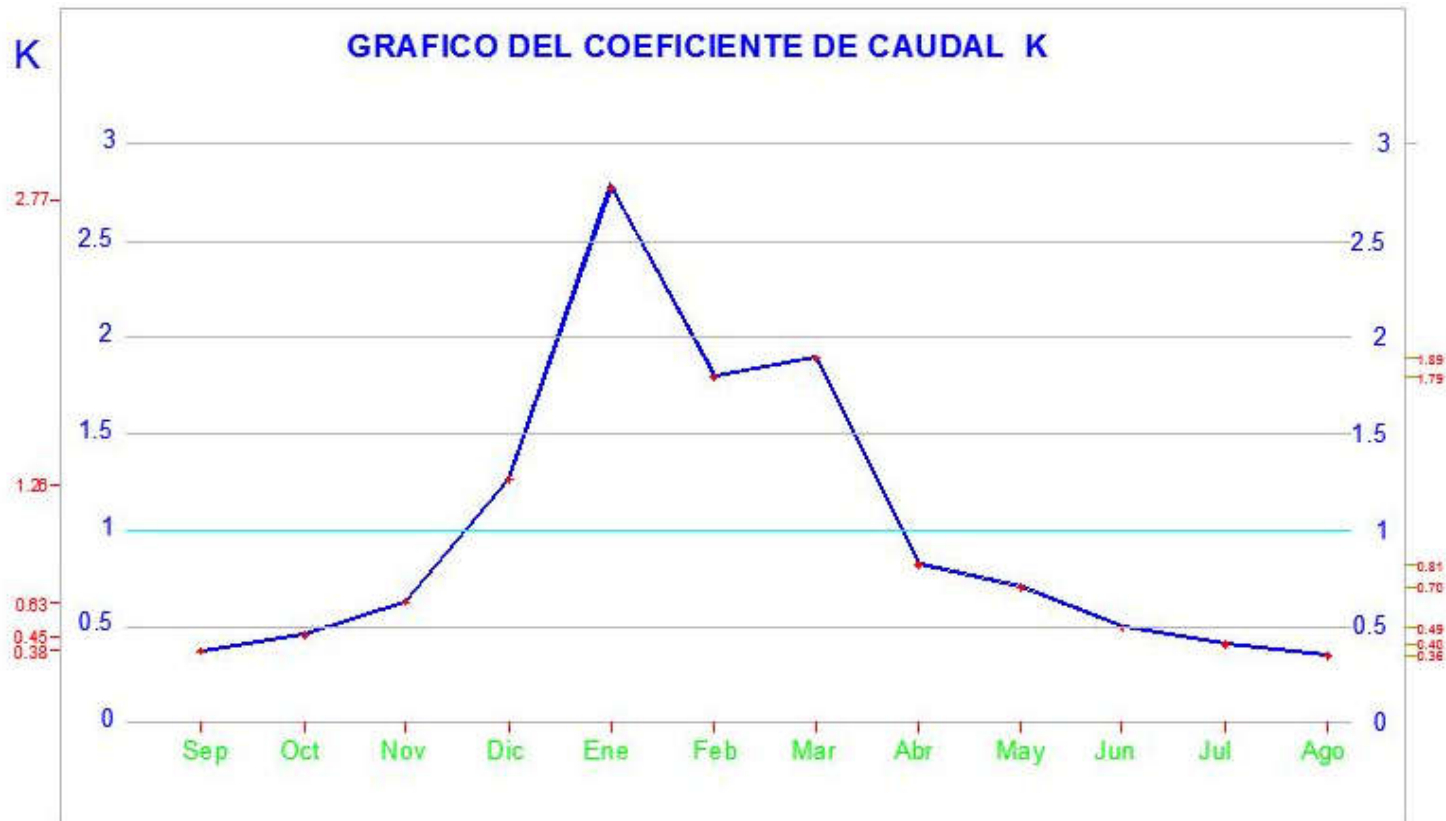
Valores  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Valor} > 1 \Rightarrow \text{Aguas altas} \\ \text{Valor} = 1 \Rightarrow \text{Sin variación de caudal} \\ \text{Valor} < 1 \Rightarrow \text{Aguas bajas} \end{array} \right.$

Meses	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Q medio mensual [m3/seg]	2.8	3.3	4.6	9.2	20.2	13.1	13.8	5.9	5.1	3.6	2.9	2.6
Coeficiente De Caudal (K)	0.38	0.45	0.63	1.26	2.77	1.79	1.89	0.81	0.70	0.49	0.40	0.36

Tabla N° 13 – Valores obtenidos del cálculo

### HIDROGRAMA DE COEFICIENTE DE CAUDAL Y SUS VARIACIONES

(Sobre datos del cálculo – Tabla N° 13 se obtiene la gráfica 29)



Meses	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Coefic. de Caudal K	0.38	0.45	0.63	1.26	2.77	1.79	1.89	0.81	0.70	0.49	0.40	0.36

Figura N° 29. Gráfico del hidrograma de coeficientes de caudales

## **Análisis de la gráfica de coeficientes de caudales K**

Como se observa en la gráfica (**Figura N° 7**), los valores obtenidos se pueden dividir en **dos zonas** a saber:

- a) **Zona Superior**, ubicada por encima de la **línea con valor 1**, y representa las aguas altas, es decir con tirante elevado.
- b) **Zona Inferior**, ubicada por debajo de la **línea con valor 1**, que representa las aguas bajas, es decir con tirantes menores.

Dentro de cada una de estas zonas existen **dos sectores**, que se producen en la rama ascendente de la curva (sector izquierdo), y la rama descendente (sector derecho), tomando como punto de referencia un eje vertical que pasa por el valor pico de la gráfica.

Tenemos entonces:

### **Zona Superior**

**Primer Sector**: Valores **mayores que 1**, (**rama ascendente**), comprendido desde mediados de **noviembre hasta el mes de enero**, aproximadamente, hasta alcanzar el valor pico máximo, son aguas altas, es decir con tirantes elevados y en franco **crecimiento**, acontece desde mediados de la primavera hasta parte del verano.

**Segundo Sector**: Valores **mayores que 1**, (**rama descendente**), se corresponde con la curva de descenso de la gráfica, y comprende desde mediados de **enero hasta mediados de marzo**, aproximadamente, los tirantes de agua en esta época del año son altos pero en **decrecimiento**, produciéndose esta situación, durante parte del verano y del otoño.

### **Zona Inferior**

**Primer Sector**: Valores **menores que 1**, comprendidos desde mediados de **septiembre hasta mediados de noviembre**, aproximadamente, son **aguas bajas con aumento de tirante** esto se corresponde con la curva ascendente de la gráfica y ocurre durante la época de primavera.

Segundo Sector: Valores **menores que 1**, comprendido desde **mediados de marzo hasta agosto**, inclusive, durante el estiaje, las **aguas se encuentran en franco descenso del caudal**, ocurriendo en parte del otoño del invierno.

En la gráfica de la (figura N° 7), se representa con la línea en color **cian**, el valor **1**, que significa sin variación de caudal.

### **Cálculo de Módulo Relativo (Mr)**

Sé define cómo Caudal Relativo o Módulo Relativo (**Mr**), a la relación expresada en **litros por segundo por kilómetro cuadrado**, entre el **caudal medio anual (M)** y la **extensión de la cuenca del río en km<sup>2</sup>**.

$$\text{Mr} = 1000 \times M / \text{Superficie de la cuenca del río} = \text{l/s/km}^2$$

$$\text{Mr} = 1000 \times 7.26 \text{ m}^3/\text{seg} / 664.7 \text{ km}^2 = 10.92 \text{ l} / \text{km}^2$$

Luego el modulo relativo es:

$$\text{Mr} = 10.92 \text{ l/s} / \text{km}^2$$

Este valor obtenido nos da la cantidad de agua expresada en **litros/seg por km<sup>2</sup> de cuenca**.

### **Cálculo del Caudal base**

Es el valor casi constante al cual tiende la curva de recesión. Generalmente asociado al aporte de agua subterránea; siempre que la cuenca no haya sido alterada en su funcionamiento hidrológico por alguna obra de control, ya que en ese caso el flujo base tendrá su origen en la operación de los sistemas hidráulicos existentes.

En hidrología, es muy útil ubicar el punto de *inicio de la curva de agotamiento* a fin de determinar el **caudal base** y el **escurrimiento directo**.

Un método para ubicar el punto de inicio de la curva de agotamiento es

**Método de Linsley** que consiste en determinar el *tiempo transcurrido entre la punta del hidrograma y el instante en que se acaba la escorrentía superficial*, es determinando el tiempo  $N$  días después del *Pico*. Para obtener el valor de  $N$  se utiliza la expresión:

$$N = 0.827 A^{0.2}$$

Dónde:

$N$  = tiempo, en días

$A$  = área de recepción de la cuenca, en  $\text{Km}^2$

Luego tendremos: Área de recepción de la cuenca es:  $664.7 \text{ Km}^2 \Rightarrow A = 664.7 \text{ Km}^2$

$$N = 0.827 \times 664.7^{0.2} = 3.03 \text{ meses} \Rightarrow N \approx 90 \text{ días (Ver Figura N° 9)}$$

### **Separación de componentes** (Tutoriales 2015)

Consiste en distinguir qué parte del caudal es debido a la **escorrentía básica** y qué parte a **escorrentía directa** (o bien: escorrentía superficial y a escorrentía subterránea), es decir establecer la precipitación efectiva sobre la cuenca que se convertirá en escorrentía superficial directa.

La separación de las componentes del hidrograma es importante y necesaria para el estudio hidrológico de la cuenca hidrográfica que se investiga.

Existen una serie de métodos de separación de componentes, en este caso se aplica:

El Método de Las Dos Líneas rectas por su practicidad y buena aproximación.

El mismo consiste en prolongar la curva de agotamiento, anterior al comienzo de la creciente en estudio (punto **A**), y prolongarla hasta cortar la vertical trazada en la abscisa correspondiente al **caudal pico** (Punto **B**), del hidrograma. El punto de intersección se unirá mediante una línea recta al punto (**C**), que se determinó precedentemente (valor de  $N$ ), de inicio de la curva de agotamiento, definiendo de esta forma **dos áreas** (Ver Figura N° 29)

- Área total bajo el hidrograma,  $\int_p^t Q dt$  es el **volumen total escurrido**.
- Área bajo el hidrograma y arriba de la *línea de separación entre gasto base y gasto directo*,  $\int_p^t (Q - Q_b) dt$  es el **volumen de escurrimiento directo**.

Este procedimiento que se utiliza para cuantificar el área total y parcial de cada zona en el hidrograma, se realizó mediante programa AutoCAD Land 2014, y se calcularon los porcentuales referidos al volumen total de  $m^3$  escurridos en el año, arrojando los siguientes resultados:

(Figura N° 30)

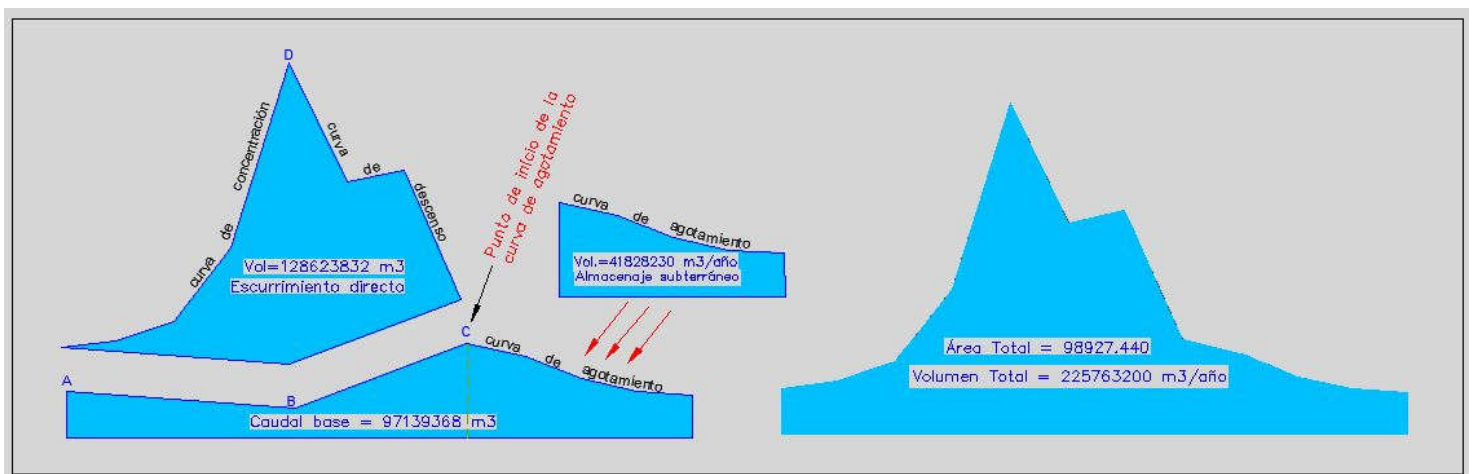
**Volumen Total Escurrido = 225763200 [m<sup>3</sup>/año]**

**Volumen de Escurrimiento Directo = 128623832 [m<sup>3</sup>/año]**

**Volumen de Escurrimiento Base = 97139368 [m<sup>3</sup>/año]**



## GRAFICO DE LAS ÁREAS CALCULADAS EXTRAIDAS DEL HIDROGRAMA



**Figura N° 30.** Gráfico de Área total del hidrograma y sus partes.

### -Resultados

#### Área Total debajo del Hidrograma:

El volumen de **Escorrimento directo** = 128623832 m<sup>3</sup>/año representa **57 %** del **Total escurrido**.

El volumen Total de **Caudal base** = 97139368 m<sup>3</sup>/año representa un **43 %** del **Total escurrido**.

El volumen de agua almac desde punto C = 41828230 m<sup>3</sup>/año representa **43%** del **Caudal base**

A continuación se presenta el hidrograma anual del Río Lules con la separación de componentes: (Figura 31)

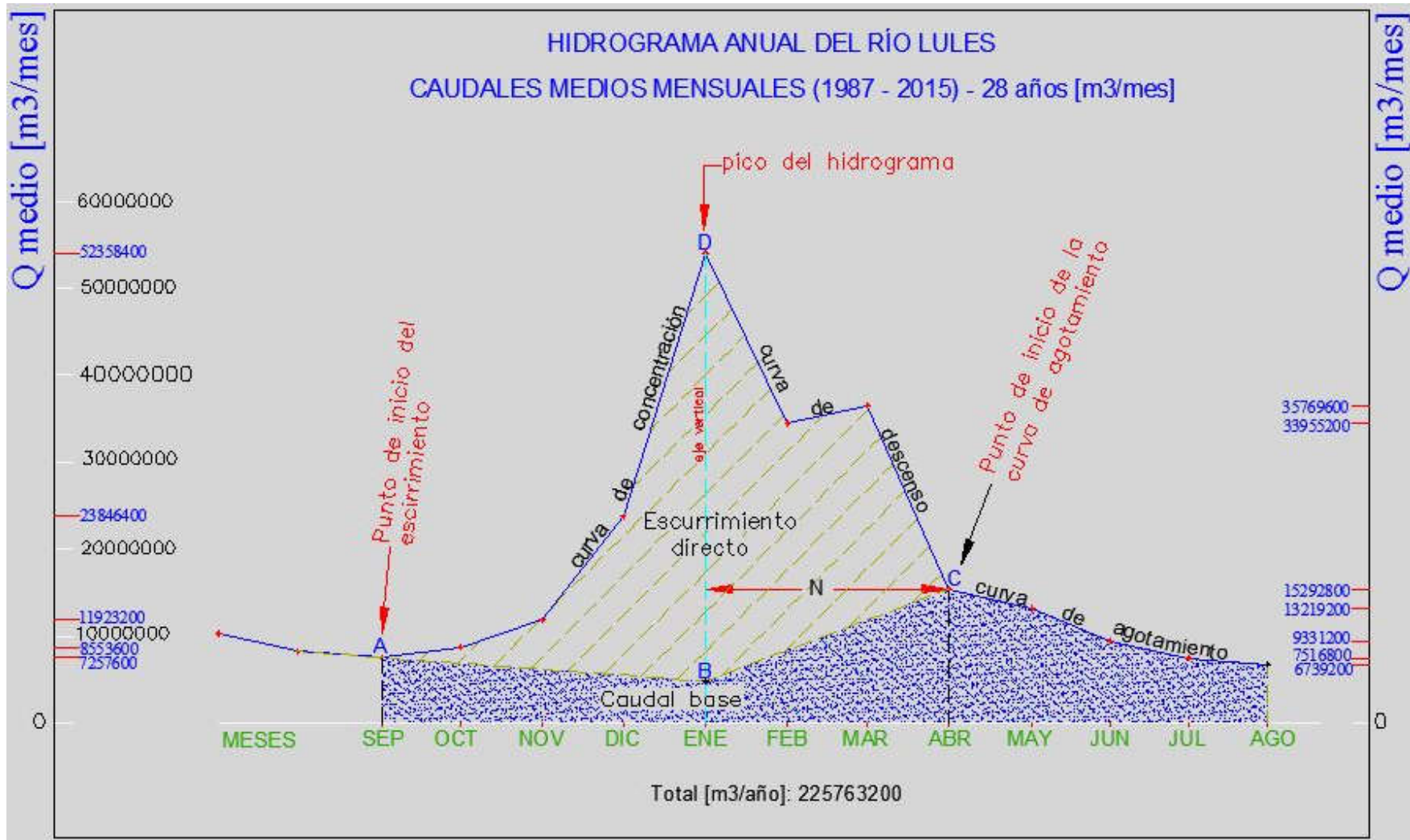


Figura N° 31. Hidrograma anual y componentes

## Análisis del Hidrograma

En principio se observa que la forma del hidrograma, es el reflejo de las precipitaciones que han generado esta escorrentía directa, en el distinguimos el punto marcado como **C**, separa la **curva de descenso** de la **curva de agotamiento**, y corresponde al momento en que toda la **escorrentía directa** provocada por esas precipitaciones ya ha pasado. El agua aforada a partir de ese momento es **escorrentía básica**, es decir corresponde a **escorrentía subterránea**. Podemos inferir, que la aportación de la escorrentía básica al caudal en el tramo **A-B** del diagrama, continúa disminuyendo con el tiempo, aunque en superficie la escorrentía superficial, este aumentando (al acuífero aún no le ha llegado el efecto de la precipitación), hasta alcanzar el extremo en el punto **B**, a partir del cual comienza a aumentar la escorrentía básica; por la infiltración lo que explica la elevación de la línea de separación hasta el punto **C**.

Se puede notar que la nueva curva de agotamiento comienza en un punto más alto (punto **C**), que el punto **A**, en que se encontraba el agotamiento antes de la crecida. Esto se debe a que parte de las precipitaciones que se infiltraron, están ahora alimentando el cauce.

Se observa también en la gráfica, que el escurrimiento directo proviene de la precipitación, y aporta un componente del gasto total mucho mayor que el que genera el escurrimiento base.

La **Curva de agotamiento** es la parte del hidrograma en la que el caudal procede solamente de **escorrentía básica**. Esta se encuentra reflejada por la siguiente ecuación:

$$Q_t = Q_0 \times e^{-\alpha t}$$

Dónde:  $Q_0$  = Caudal en el instante inicial  $t_0$

$Q_t$  = Caudal en el instante  $t$

$t$  = Tiempo que ha transcurrido desde  $t_0$

$e$  = número  $e$  (2.718...)

$\alpha$  = constante, que depende del cuerpo de material poroso que estamos considerando.

En razón de que la cuenca se comporta como un embalse (retiene agua cuando sobra, entrega cuando falta), es conveniente evaluar el volumen de ese **embalse subterráneo** constituido por **todos los acuíferos de la cuenca**.

Como se sabe, el **área comprendida bajo el hidrograma es el volumen de agua** que ha pasado por el punto de aforo (punto **C**), en el intervalo de tiempo comprendido, entre éste punto y **bajo la curva de agotamiento**, expresado en el hidrograma, dicha área debe ser **planimetrada**.

Este proceso también se logró con la utilización del programa Autocad Land, obteniéndose el siguiente resultado:

**Volumen de agua almacenada bajo la curva de agotamiento = 48950927 [m<sup>3</sup> /año]**

Este volumen de Agua **almacenado en los acuíferos**, representa el **50%** del **caudal base**, en el instante inicial (punto **C** donde comienza la curva de agotamiento), es el que **alimenta el río durante el estiaje** y decrece conforme a la curva de agotamiento definida por la ecuación de la misma señalada precedentemente (**esto es considerando la parte de la curva que incluye el mes de septiembre**).

---

## Capítulo VIII: DEMANDA DE AGUA SUPERFICIAL

### - El sistema de riego en el río Lules

El Río Lules, posee **dos Tomas** denominadas **1** y **2**, ubicadas dentro de la cuenca media del río Lules, aguas abajo de la confluencia de la Estación meteorológica Potrero de Las Tablas. La **Toma 1** es de tipo libre y la **Toma 2** es una toma con **azud nivelador** compuesto por obras de **desarenador y canal aductor**. (Imagen 1 y Foto 1,2 y 3).



**Imagen N° 1.** Obras del sistema de riego sobre el río Lules



**Foto 1:** Azud Nivelador sobre el Río Lules para derivar a Toma 2  
(Extraída de: La cuenca del Río Lules2011-El sistema de riego)



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*



**Foto 2:** Compuertas de la Toma 2 (Extraída de PROSAP –Desarrollo de área Agrícola)



**Foto 3:** Desarenador de la Toma 2 (Extraída de PROSAP –Desarrollo de área Agrícola)



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

Cultivos en la cuenca del río Lules (Imagen 2 y 3)



**Imagen 2.** Plantaciones de citrus en la cuenca del río Lules (2016)



**Imagen 3.** Cultivos en la cuenca media del río Lules (2016)

**- Superficies bajo cultivos**

A continuación se muestran las superficies que se encuentran afectadas a los cultivos, en sus situaciones actuales y futuras y los caudales de demandas de agua en los Tablas 14 y 15.

Descripción	ACTUAL			FUTURA		
	Toma 1	Toma 2	Total	Toma 1	Toma 2	Total
<b>Cultivos</b>						
Caña	750	1750	2500	1200	2521	3721
Citrus	850	500	1350	1090	910	2000
Frutilla	200	400	600	350	550	900
Hortícola 1	50	50	100	50	50	100
Hortícola 2	50	50	100	50	50	100
Invernáculos	0	30	30	0	40	40
<b>Totales</b>	<b>1900</b>	<b>2780</b>	<b>4680</b>	<b>2740</b>	<b>4121</b>	<b>6861</b>

**Tabla 14:** Superficie por cultivo en Hectáreas para dos situaciones (**actual y futura**), por toma.

**- Demanda de Agua Superficial**

Designación	ENE	FBR	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Toma 1</b>	805	829	386	121	279	264	289	1069	1331	939	543	603
<b>Toma 2</b>	1448	1496	694	87	236	252	294	1451	1820	1391	783	1015
<b>Industria</b>	400	400	400	400	400	1000	1000	1000	1000	1000	400	400
<b>Total</b>	<b>2653</b>	<b>2725</b>	<b>1480</b>	<b>608</b>	<b>915</b>	<b>1516</b>	<b>1583</b>	<b>3520</b>	<b>4152</b>	<b>3330</b>	<b>1726</b>	<b>2018</b>

**Tabla 15-** Demanda de riego e industria de las Tomas 1 y 2 (**situación actual**) en litros /segundo)

Datos Bibliográficos extraídos de: **Comba A., Gerbasoni G.J. Gil Deza J.** 2011 “La Cuenca del Río Lules” una aproximación multidisciplinaria a su complejidad – Hidroeconomía del Embalse de la presa Potrero de Las Tablas, Tucumán – Argentina. (Tabla 17 y 18)



### - Gráficas de Hidrograma anual del Río Lules y de la Demanda de agua Superficial

La superficie actual afectada a riego es de **4680 Ha**, en los diversos cultivos señalados en la el **Tabla 18**.

Los gráficos correspondientes a la demanda anual de agua e hidrograma (Figuras 32 y33)



**Figura 32:** Demanda de Agua Superficial del Río Lules



**Figura 33:** Hidrograma anual del Río Lules

### Análisis de ambas gráficas

Si comparamos la gráfica de la demanda anual de agua superficial en el río Lules, con el hidrograma del mismo, podemos inferir que a partir del **mes de abril** comienza a incrementarse la extracción de agua destinada a usos de riego e industria, alcanzando su pico máximo en el **mes de septiembre**, esto es coincidente con el mes en que se inicia la curva de agotamiento, como se observa en el hidrograma, es decir que la extracción de agua se produce justamente durante la época de estiaje que es cuando más requieren de riego los cultivos y comienza la zafra azucarera en la provincia.

Sobre la base de los datos señalados en **Tabla 19**, y teniendo en consideración que a partir del mes de abril, es cuando cesan las precipitaciones, se calcula el caudal de agua que se requiere durante los meses de **abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre**, éste último, donde se produce el *pico de la demanda de agua* para riego e industria. El valor de esta demanda es de **31.866.048 m<sup>3</sup>** en los 6 meses, es decir del orden de **31.9 Hm<sup>3</sup>/6 meses**.

Por otra parte los resultados obtenidos mediante el análisis y cálculo del hidrograma del río Lules, son:

El volumen de **Escorrentamiento directo=128623832 m<sup>3</sup>/año** representa **57 %** del *Total escurrido*.

El volumen Total de **Caudal base = 97139368 m<sup>3</sup>/año** representa un **43 %** del *Total escurrido*.

Este último valor es de valiosa importancia para analizar y determinar, en función de la demanda de agua superficial, si efectivamente se cumple la **hipótesis** planteada.

El volumen de agua almacenado debajo de la curva de agotamiento, durante la época de estiaje (sin precipitaciones), es de **48950927 m<sup>3</sup>** (6 meses), y representa aproximadamente, **50%** del *Caudal base*. Luego el resultado final se obtiene de la comparación entre la disponibilidad de agua almacenada y la demanda de agua superficial. (Figura 31).

Hidrogramas superpuestos (Figura 34)

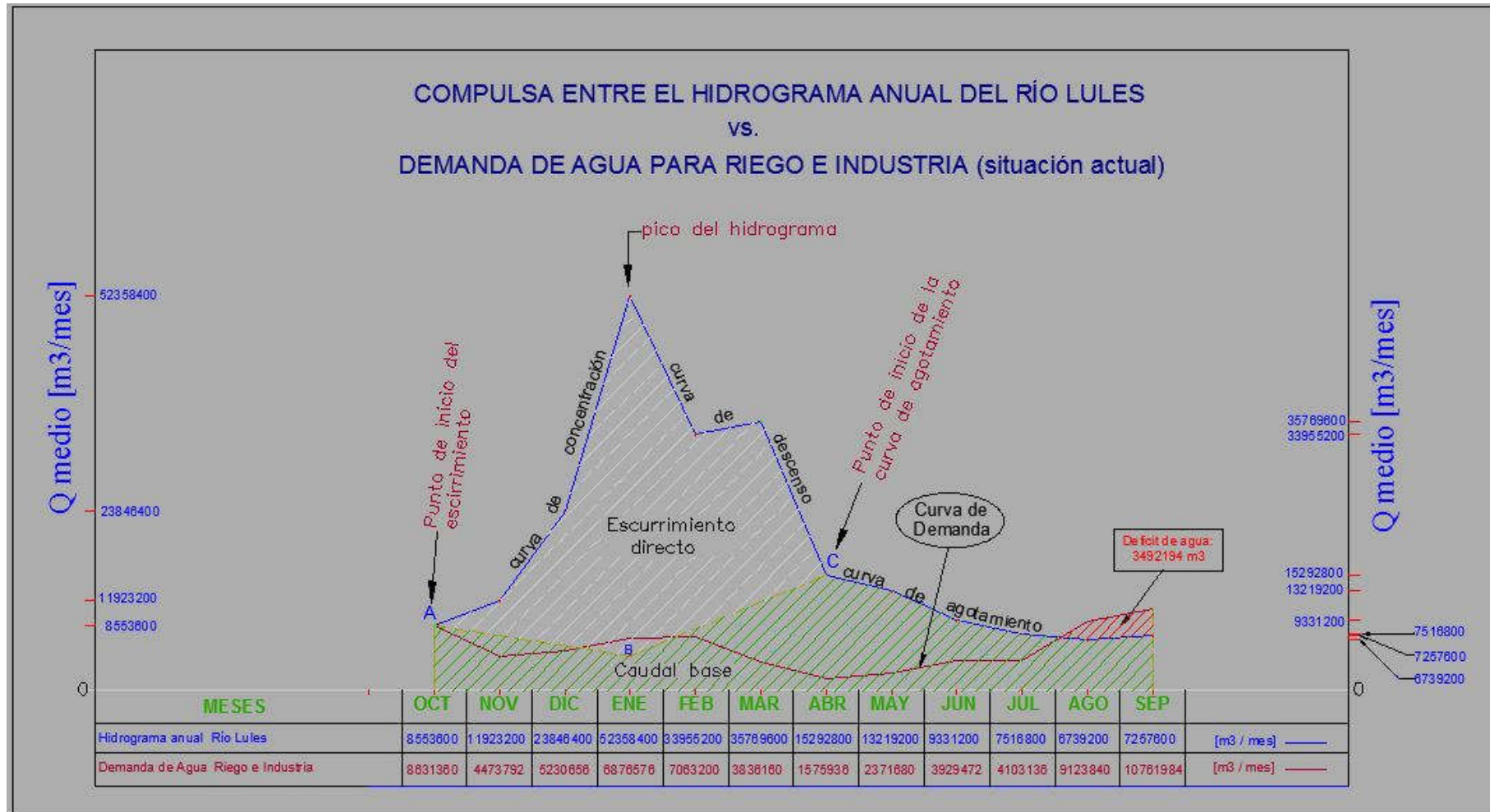


Figura 34: Hidrograma resultante

## **-Resultados**

Volumen de agua almacenada en los acuíferos: **97.1 Hm<sup>3</sup>/año**

Volumen de agua almacenado debajo de la curva de agotamiento: **48.9 Hm<sup>3</sup>/6 meses**

Demanda superficial de agua: **31.9 Hm<sup>3</sup>/6 meses**

En función del análisis de la gráfica se infiere la situación siguiente:

- La curva de demanda se encuentra mayormente, dentro de la zona del caudal base.
- La **curva de demanda** intercepta a la **curva de agotamiento** aproximadamente a mediados del mes de agosto, **sobrepasando los volúmenes de ésta última y generando un déficit de agua para riego, del orden de los 3492194 m<sup>3</sup>**, en los meses de **agosto y de septiembre** donde, como se aprecia se produce el pico de demanda. (ver figura 37)
- Se observa, en esta época del año, que el cauce del río conduce escaso o nulo caudal aguas abajo del puente, que se desplaza preferentemente por la margen izquierda de río (por razones topográficas), dejando la mayor parte del mismo sin agua durante los meses de agosto y septiembre. ( fotos 4 y 5)



**Foto 4.** Situación del Río Lules en agosto de 2016  
(Tomada durante los estudios de campaña)



**Foto 5.** Se observa el cauce aguas abajo del puente en su mayor parte seco.  
(Tomada durante los estudios de campaña)

- La carencia de agua en gran parte del cauce hídrico, durante este período, determina la falta del subálveo, afectando la permanencia de la micro fauna que vive y se desarrolla en los ambientes del hiporreico, y con ello reduciendo la posibilidad de autodepuración de las aguas y la tasa de infiltración. Esta situación se ve agravada por los vertidos de residuos como envases plásticos, neumáticos y desechos orgánicos que se descargan dentro del lecho del río, en la margen derecha, como también la quema de basurales. (Fotos 6, 7, 8 y 9).
- La extracción de agua superficial mediante la obra de derivación, destinada a riego e industria, como se señala anteriormente es de **3.9 Hm<sup>3</sup>** en el período de los meses comprendidos entre abril y septiembre, durante el estiaje, (época de zafra azucarera), y la **situación crítica** se produce en los dos últimos meses (**agosto y septiembre**), donde la demanda de agua tiene su pico máximo y sobrepasa a los valores de reserva de los acuíferos (fig.34-curva de agotamiento de la recarga), ocasionando el faltante de agua para cubrir la demanda, lo que produce la situación registrada en la cuenca baja del río Lules.( fotos 10 a 11)



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*



**Foto 6.** Residuos volcados dentro del lecho (margen derecha).  
(Tomada durante los estudios de campaña)



**Foto 7.** Quema de basurales en el cauce.  
(Tomada durante los estudios de campaña)

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*



**Foto 8.** Descargas de desechos en el río

**Foto 9:** Basura en la ribera derecha del cause

(Tomas durante los estudios de campaña 15/08/ 2016)

(Fecha de Tomas: en campaña 10/09/2015)



**Foto 10.** Vista Oeste: desde la R.P.N°301

**Foto 11.** Vista altura del puente sobre R.P.301

La alteración del balance hídrico que se genera por esta situación, ocasiona un **desequilibrio ambiental** que incide sobre otras regiones, especialmente en este período, afectando y la estabilidad de los ecosistemas de las riberas del río y los niveles piezométricos de los pozos perforados

Por otra parte existe el proyecto para construir una presa de embalse, aguas arriba de las obras de captación actuales (**PROINSA 2001**), que se detalla a continuación:



### - Proyecto de obra hidráulica

El proyecto contempla construir la Presa Potrero de Las Tablas, la que se ubicará sobre la garganta del Río Lules a unos 200 m aguas abajo, de la confluencia con los ríos Membrillo y Las Tablas (Imagen 4).



**Imagen 4.** Zona de ubicación de la futura presa Potrero de Las Tablas

La Futura **Presa Potrero de Las Tablas** contará con una capacidad de embalse de **52.8 Hm<sup>3</sup>**, la cual generará un lago con un espejo de 313 Ha, permitiendo regular las descargas del Río Lules derivando un caudal medio de **5.20 m<sup>3</sup>/s**.

La motivación principal para justificar la realización de esta obra es el abastecimiento de agua potable para: Lules, La Reducción, San Pablo, El Manantial, Yerba Buena y el área SE-SO de la Capital Provincial. Los restantes usos y beneficios son de menor significación comparativa: riego, agua industrial, atenuación de crecidas, turismo y generación hidroeléctrica.

El proyecto prevé beneficiar a 350.000 habitantes aproximadamente. (A. Comba, G.J. Gerbasoni y J.Gil Deza – 2011)



## **Capítulo IX: MEDICIONES ESTUDIOS Y OBSERVACIONES DE CAMPAÑA**

### **- La Infiltración y la conductividad hidráulica**

#### *Concepto*

**La infiltración** ocurre cuando aguas procedentes de las precipitaciones o de almacenes superficiales (deshielo, ríos, lagos), inicia un movimiento descendente adentrándose en el subsuelo, pudiendo alcanzar diferentes profundidades en función de las condiciones.

En términos generales el valor de la infiltración no es constante, sino que, en los primeros momentos de las precipitaciones suele ser más alto, y disminuye con rapidez hasta alcanzar un valor constante más bajo que el inicial, valor éste que define la **conductividad hidráulica**. Este descenso está motivado por diferentes factores:

- La progresiva saturación de los poros.
- La compactación, sobre todo en el caso de que el suelo esté desprovisto de vegetación.
- Cierre o disminución de tamaño de las grietas de los suelos, cuando estos están formados por arcillas que aumentan de tamaño al hidratarse.

La cantidad de agua que puede infiltrarse en un terreno, y la velocidad a la que puede hacerlo dependen de una serie de factores:

- ***La duración y la intensidad de las precipitaciones.***

Las precipitaciones suaves, aunque sean prolongadas en el tiempo, favorecen la infiltración, sobre todo si no superan la capacidad de infiltración de un suelo.

Las precipitaciones muy intensas o torrenciales la dificultan. Estas precipitaciones violentas superan con frecuencia la capacidad de infiltración de los suelos, por lo que el agua no infiltrada tenderá a moverse superficialmente, pasando a formar parte de la escorrentía superficial. El agua, para infiltrarse, debe desplazar el aire que esté ocupando los poros y grietas; si las precipitaciones son muy intensas **se forma una zona saturada superficial que dificulta inicialmente la salida de ese aire** y por lo tanto la entrada de agua.

La humedad previa que posea el suelo determina la infiltración, es más intensa en los suelos secos, y será menor en el caso de suelos que ya estén humedecidos por precipitaciones anteriores.

- **La pendiente del terreno:** a mayor pendiente menor volumen de aguas infiltradas, cuando el relieve es abrupto la pendiente aumenta la velocidad, y las aguas tienden a descender superficialmente hacia las zonas bajas. En los relieves suaves, las aguas de precipitación se remansan y permanecen más tiempo en contacto con los poros y fisuras de los materiales superficiales, lo que favorece la infiltración.
- **La vegetación,** que siempre favorece la infiltración, aunque en mayor o menor medida en función de la abundancia o el tipo de plantas. La cubierta vegetal protege al suelo de la compactación que provoca el impacto directo de las gotas de lluvia, al detener y/o amortiguar la velocidad con la que caen (interceptación). Se reduce entonces la violencia de las precipitaciones, se frena su recorrido superficial y el agua permanecerá más tiempo en superficie aumentando las posibilidades de ser infiltrada. Las raíces de los vegetales al crecer y desarrollarse abren nuevos conductos, y mantienen abiertos los que ya ocupan, lo que hace que los suelos posean un menor grado de compactación y la infiltración sea por tanto más eficaz. La materia orgánica que aporta al suelo la cubierta vegetal (humus), mejora la estructura del suelo puesto que favorece la agregación de los coloides inorgánicos (arcillas y óxidos), los poros tendrán entonces un mayor tamaño, lo que aumentará la permeabilidad y por tanto la infiltración. Si las gotas de lluvia impactan sobre un suelo desprovisto de vegetación, la superficie del terreno se compacta y se remueven, separan y dispersan los agregados superficiales, desplazándose pequeñas partículas que se introducen en las grietas y fisuras superficiales. Esto hace que estas oquedades queden obturadas en mayor o menor grado, reduciéndose su tamaño y por tanto la capacidad de infiltración. Factores relacionados con la naturaleza de los materiales, como la granulometría, textura, consistencia, etc. que determinan la porosidad y permeabilidad de los mismos.

### Equipo de medición utilizado

- Juego de cilindros infiltrómetro de acero inoxidable de 3mm de espesor, de 20cm y 40cm de diámetro, para el cilindro interior y exterior respectivamente y unos 40cm de altura. (Foto 12 y 13).
- Cruceta para introducir lo cilindros en el suelo.
- Escala graduada con flotante.
- Gps con cronómetro.
- Ganchos metálicos para extracción de cilindros.
- Hoja de registro.
- Maza
- Bidones



Foto N°12: Infiltrómetro de doble cilindro



Foto N°13: Cruceta de impacto

### **Aplicación del Método del doble cilindro infiltrómetro o Método de Munz**

Este método consiste en dos cilindros, se mantiene un registro de los niveles en el cilindro interior. Los cambios de niveles en este indican de agua infiltrada. El agua que infiltraba al cilindro exterior a la misma velocidad que el interior, asegura que el agua en el cilindro interior infiltre verticalmente.

Estos cilindros tienen las ventajas que son muy portátiles y requieren poca agua para su funcionamiento. Tienen una desventaja de que el área de infiltración es pequeña y a veces no es representativo del terreno en general. Esto puede requerir muchas pruebas en un terreno para llegar a un valor confiable para infiltración representativa. Otras desventajas son que a veces es difícil de instalación de éstos en terrenos pedregosos, y que la instalación tiene que ser sumamente cuidadosa para asegurar que no se disturba el suelo dentro del cilindro. Causando cambios en características de infiltración o infiltraciones a través de las paredes del cilindro.

#### Instalación

Se seleccionó el sitio para la instalación asegurando que esté libre de fisuras, piedras, materia orgánica. Evitando sitios donde hay mucho pisoteo de animales o maquinaria

Se aseguró que el suelo escogido sea representativo del área bajo consideraciones o de variabilidad que se requiere medir

Se Coloca el cilindro interior introduciendo el mismo en el terreno con la cruceta y la masa, cuidando que el cilindro quede nivelado, para ello se hizo que el nivel de llenado, coincida con la marca de nivel interior de ambos anillos quedando éstos verticalmente en el terreno. La profundidad de entrada al suelo debe ser de por lo menos 5 cm. La buena instalación del cilindro interior es mucho más crítica que el de cilindro exterior.

#### Operaciones y Funcionamiento

Llenar el cilindro exterior con agua a la profundidad demarcada 10 cm. y mantener un nivel durante la prueba. La profundidad de este no es crítica pero siempre debe haber agua en este cilindro durante la prueba.

Con el plástico o tela en el fondo del cilindro interior, para protección contra el golpe del agua, se lleva el cilindro a una profundidad equivalente al externo (marca), lo más rápido posible quitar del cilindro interior el plástico o tela. Hacer la medición inicial rápidamente después de echar agua en el cilindro para minimizar el error de infiltración durante el tiempo inicial. El cilindro debe estar marcado para que las mediciones siguientes siempre se hagan desde el mismo nivel. Registrar la medida y el tiempo correspondiente. Hacer mediciones siguientes a intervalos periódicos y registrar los datos. Los intervalos iniciales pueden ser de 1, 2, 5 a 10 minutos al comenzar la prueba y luego de la primera hora se puede alargar estos intervalos cada 30 – 60 minutos. Se mantiene el nivel de agua de 7 – 12 cm. durante la prueba entera. Cuando se agrega agua se asegura que el nivel se registre antes y después de llenar. Por diferencias en niveles se puede calcular el total de agua infiltrada a cualquier tiempo. (Bouwer, H. 1961)

### Mediciones de Infiltración y Conductividad hidráulica

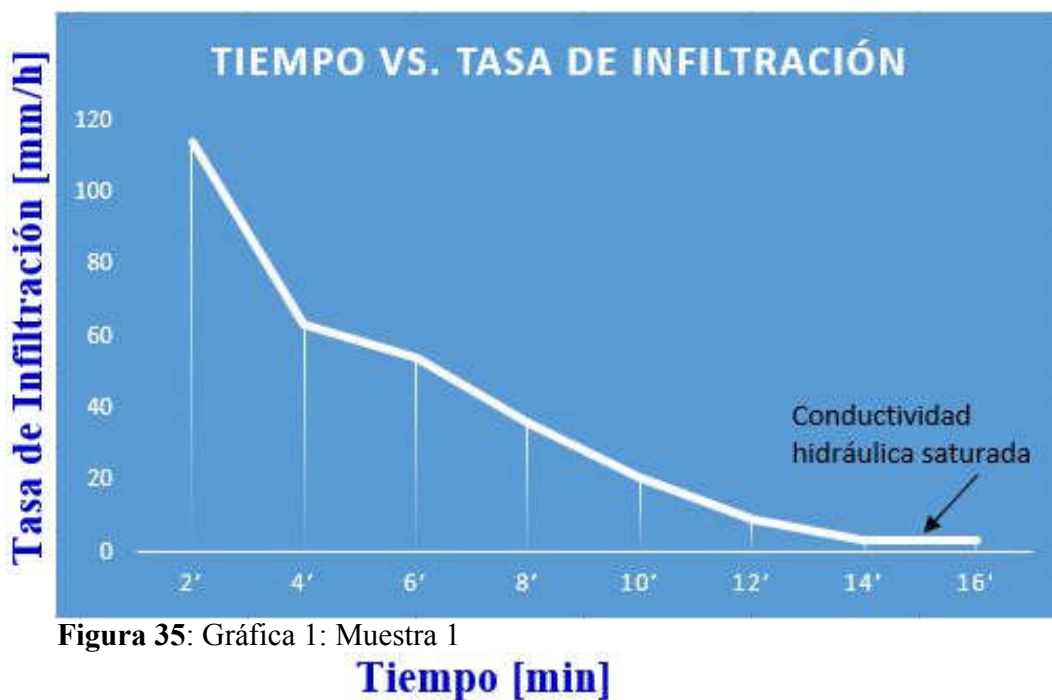
Los resultados obtenidos corresponden a siete muestreos, que fueron realizados en los puntos distribuidos dentro de la cuenca media, de los cuales el primero se muestra seguidamente, las restantes determinaciones se encuentran en el anexo. Al respecto cabe consignar que estas mediciones se efectuaron a los fines de tener una aproximación de los valores de Tasa de Infiltración en la zona con cobertura vegetal. (Tabla 16)

**Muestra 1:** Ubicada sobre margen derecha del río Lules – alt. Azud Toma 2

<b>Fecha:</b> 27/01/2015		<b>Hora inicio:</b> 8.34		<b>Ubicación:</b> $\varphi = 26^{\circ} 53' 36.6''$ $\lambda = 65^{\circ} 22' 49''$			
(1) Lectura	(2) Tiempo Acumulado (min)	(3) Altura de agua(cm)		(4) Diferencia Alturas(cm) infiltrados	(5) Diferencia de tiempos(min)	I Acumulada (mm)	Tasa I (cm/h) (4/5)x60
		Lectura	Lectura ajustada				
1	0'		-	-	0'	-	-
2	2'	3.8	-	3.8	2'	38	114
3	4'	5.9	-	2.1	2'	21	63
4	6'	7.7	-	1.8	2'	18	54
5	8'	8.9	-	1.2	2'	12	36
6	10'	9.6	-	0.7	2'	7	21
7	12'	9.9	-	0.3	2'	2	9
8	14'	10.0	-	0.1	2'	1	3
9	16'	10.1	-	0.1	2'	1	3
						100	

**Tabla 16:** Datos procesados.

Representación gráfica (Figura 35)



Interpretación

Se observa en la gráfica que la curva de la **Tasa de Infiltración**, decrece rápidamente en los primeros 10', para luego tender a estabilizarse conforme pasa el tiempo llegando al valor constante que corresponde a la conductividad hidráulica saturada.

(Las restantes gráficas de las muestras en Anexo)

## **- Muestreo de Suelo y Análisis granulométricos**

El objetivo de este análisis es determinar la textura y propiedades físicas del suelo que dependerán del tamaño de ellas, permitiendo conocer los **valores cuantitativos de la distribución de tamaños de partículas en el suelo** (Grafica 36), y **correlacionar con la permeabilidad del mismo**. El análisis granulométrico representa el dato más valioso para interpretar la génesis y las propiedades de los suelos.

### Determinación de la permeabilidad

A fin de obtener con bastante aproximación los valores de permeabilidad del suelo, se utilizó la metodología propuesta por Breddin (**Custodio y Llamas, 1976**).

De la superposición de las diferentes curvas acumulativas, con la curva patrón de Breddin, permite determinar la permeabilidad de los sedimentos, que oscila entre 4 a 18 m/día

Los valores más bajos de permeabilidad se encuentran, en general, en la parte superior del perfil debido a la presencia de materiales más finos.

Seguidamente se presenta el gráfico con las curvas de Breddin (Gráfico 37), determinadas para cada una de las muestras de suelo que se tamizaron en el laboratorio.

Una vez definidas las clases de Breddin, para cada muestra tamizada de suelo, se debe interpolar entre los valores de las clases en que se encuentran (Tabla 20), y luego se **estiman los valores de permeabilidad** de cada una de ellas.

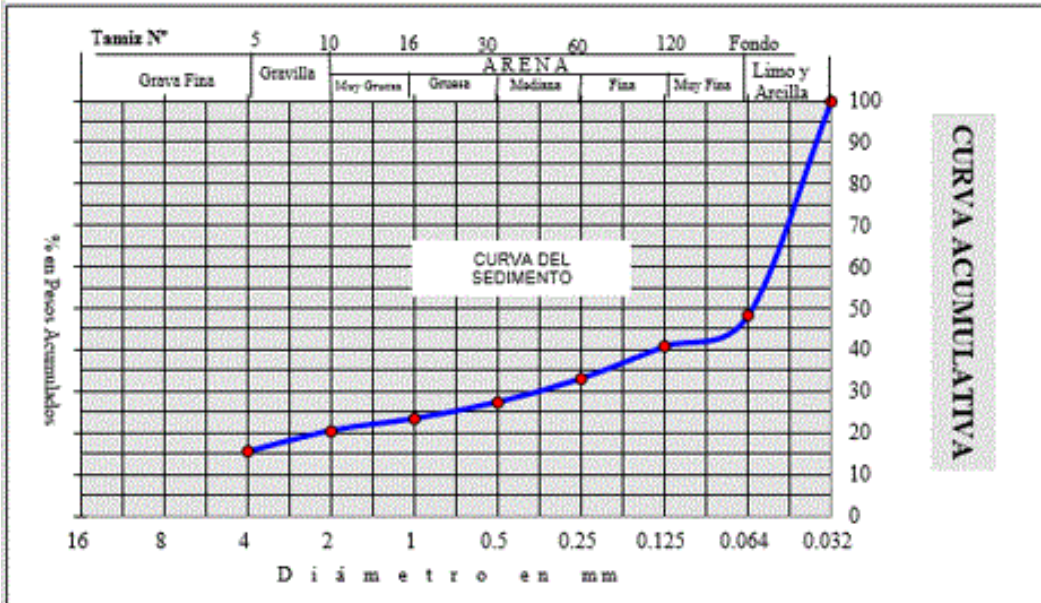
“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.

**ANALISIS GRANULOMETRICOS**

Procedencia : Rio Lules - Muestra 1

Barreno coordenadas:  $\varphi = 26^{\circ}53'50.7''$   $\lambda = 65^{\circ}22'37.4''$

Profundidad: 0-30 cm.



Coefficiente de Uniformidad de la Arena: **3,2**

Tamaño Efectivo de la Arena: **0,039**

Comentarios: Arcillas y limos con grava fina y arena fina, color castaño, homogénea.

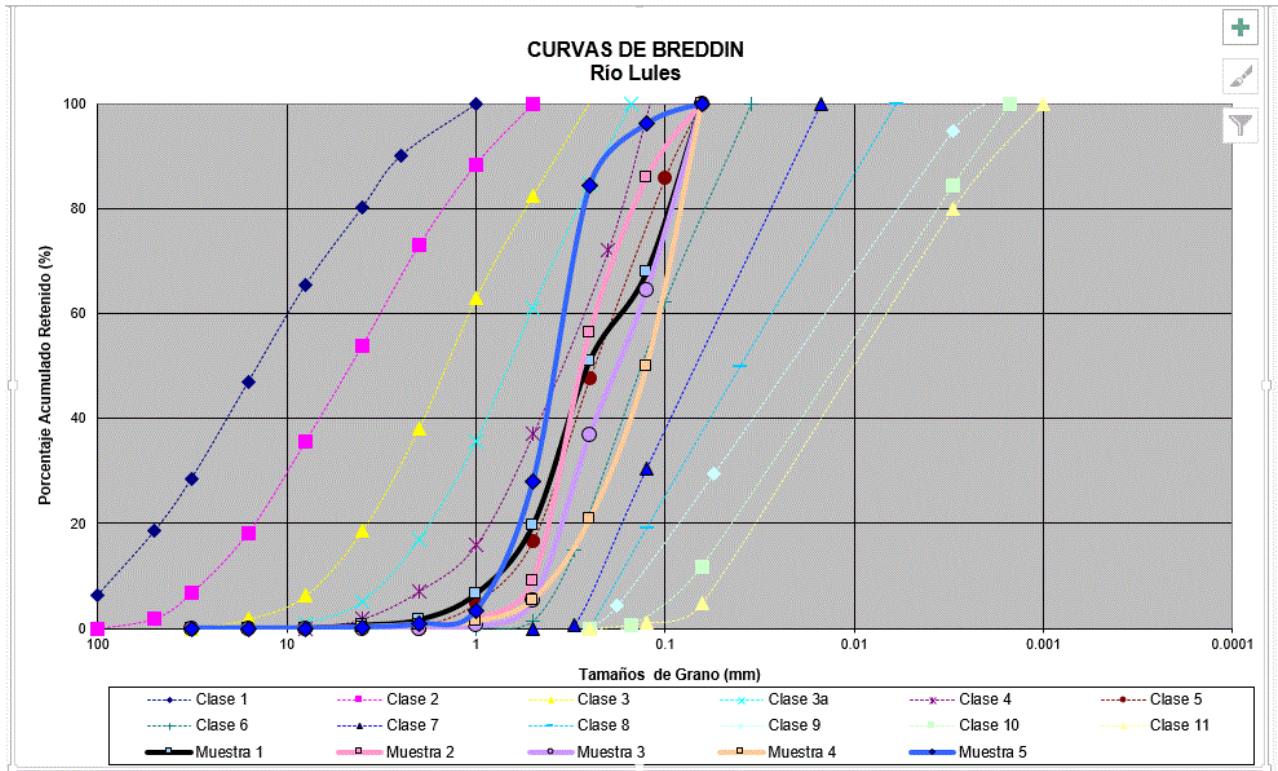


**Observaciones:** En el histograma de frecuencias se pueden ver que entre los valores de 0.032 y 0.064 corresponden al 50 % en peso los limos y arcillas, el resto está compuesto en menor grado, por arenas finas, gruesas y gravillas.

Gráfica 36: Curva acumulativa e histograma de frecuencias – Muestra 1



Curvas de Breddin



**Gráfico 37:** Representación de las curvas de Breddin para las **5 muestras** (Procesado mediante programa Excel–Dr. Geol. Jorge W. García 2005).

Clase	1	2	3	3a	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k (m/d)	2600	600	86	65	43	8	4,3	1,7	0,8	0,06	0,008	<0,008	<0,008

**Tabla N° 20:** Clases de Breddin y sus correspondientes valores de K [m/d]

Resultados Obtenidos (Tabla 21)

Los resultados arrojan los siguientes valores estimados:

<b>N° de Muestra</b>	<b>Clase</b>	<b>Tamaño del grano [mm]</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Permeabilidad K [m/d]</b>
<b>M<sub>1</sub></b>	4 - 6	0.125 a 0.064	Limo y Arcilla con arena fina	8
<b>M<sub>2</sub></b>	5	0.5 a 0.125	Arena: mediana y fina	10
<b>M<sub>3</sub></b>	5 - 6	0.5 a 0.064	Arena: mediana, fina y muy fina	6
<b>M<sub>4</sub></b>	5 - 6	0.25 a 0.125	Arena: fina y muy fina	4
<b>M<sub>5</sub></b>	4 - 5	0.5 a 0.064	Arena: mediana fina y muy fina	18

**Tabla N° 21:** Determinaciones de permeabilidad por muestras.

(Estudio detallado en Anexo).

---

## **- Prospección Geofísica**

La prospección geofísica es una herramienta importante en la exploración de las aguas subterráneas en una zona determinada, son métodos indirectos que resultan ser precisos para determinar paquetes sedimentarios presentes en el subsuelo; obtención de las profundidades y espesores de cada paquete y la profundidad del sustrato inferior.

### Objetivos.

Los objetivos planteados para el presente estudio fueron los siguientes:

- Determinación de los paquetes sedimentarios presentes en el subsuelo.
- Obtención de las profundidades y espesores de cada paquete.
- Obtención de la profundidad del sustrato inferior.

### Instrumental.

La investigación geoelectrica se llevó a cabo mediante el empleo de un equipo digital de alta precisión, marca GEOMETER, modelo MPX-400, año 2015. (Fotos 14 y 15 y 16)

El equipo está constituido por un módulo transmisor que envía corriente constante (**I**) entre los siguientes valores: 8,0; 33,4; 70; 140; 270 y 500 mA y un módulo receptor que mide diferencia de potencial (**SP**) de hasta 0,001 mV, con perillas de ajuste a cero para el potencial natural.

Sendos módulos poseen un display de cristal líquido que permite visualizar la corriente (**I**) que penetra en el terreno en mili-Ampere en el primero y la diferencia de potencial (**AV**) en milivoltios en el segundo.

Además se utilizaron como accesorios:

Electrodos construidos de acero inoxidable para envío de corriente y lectura de potencial.  
Carreteles para cables unipolares de 1 mm de sección y 200 m de longitud.



**Foto 14:** Equipo Geometer MPX 400 –Operando



**Foto 15:** Registro de datos

### Metodología.

La prospección eléctrica se llevó a cabo mediante el método de resistividad por corriente continua, empleando el **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)** en número de (4) cuatro, ubicados según croquis adjunto, los que se dispusieron de manera de estudiar el predio de referencia.

El método SEV consiste en introducir una corriente eléctrica controlada por 2 electrodos (A y B) a partir de la línea de alimentación (creando un campo eléctrico artificial) y determinar la diferencia de potencial originada por ese campo eléctrico, entre los electrodos M y N -  $\Delta V$  (líneas de recepción).

Esa diferencia de potencial, depende de parámetros conocidos como la intensidad de corriente (I) y las separaciones AMNB, y fundamentalmente de una propiedad física de las distintas formaciones atravesadas por la corriente eléctrica, que es la RESISTIVIDAD ELECTRICA ( $\rho$ ) siendo su relación con los parámetros anteriores la siguiente:

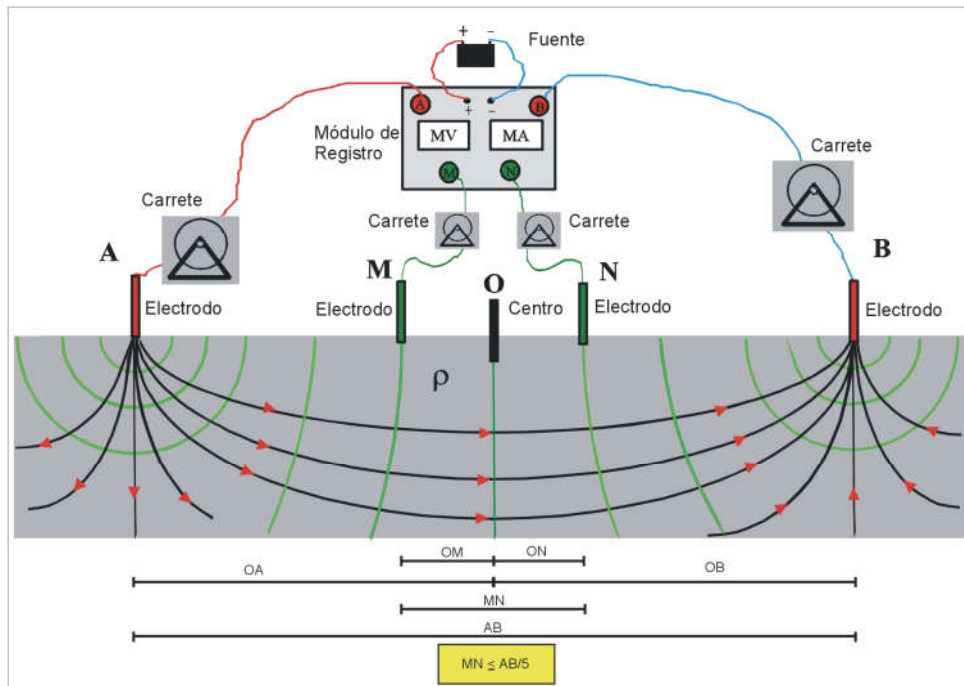
$$\rho = K \frac{\Delta V}{I}$$

Dónde:

**K** es la constante geométrica que depende de la posición de los electrodos A; M; N y B (Fig. 38)

**$\Delta V$** : es la diferencia de potencial medida por el instrumento en mV.

**I**: La corriente eléctrica introducida en el terreno en mA.



**Figura 38:** Esquema de un dispositivo de medición de SEV.

Se empleó la configuración lineal simétrica de SCHLUMBERGER con las siguientes separaciones de la línea de alimentación  $AB/2$  en metros: 1; 2, 4; 7; 10; 20; 40; 60; 80; 100; 150 y 200.

Para la línea de toma de potencial se trabajó con las siguientes separaciones de 0,5; 3 y 10 m entre los electrodos MN.

Esta separación inter-electrónica permitió obtener una adecuada densidad de puntos para asegurar la representación de la curvas SEV en papel bilogarítmico, ubicando en abscisas distancias de  $AB/2$  (m) y en ordenadas, valores de resistividad aparente ( $\Omega.m$ ).

La información suministrada por los SEV se procesó de manera cualitativa y cuantitativa. La interpretación cualitativa identificó los tipos de curvas SEV, adquiriendo nociones aproximadas del comportamiento del subsuelo.



Para la interpretación cuantitativa se utilizaron:

- 1- Programas de hojas de cálculo (Excel) para curvas de campo de geoelectrica.
- 2- Programa de computación IPI2Win para la interpretación de curvas de campo de geoelectrica para el dispositivo Schlumberger.



**Foto 16:** Observación de las mediciones.

## Resultados

La interpretación cuantitativa de las curvas **SEV** brinda como resultado el corte eléctrico en cada punto investigado realizado sobre la base de las salidas computacionales que se adjuntan (Figuras 39, 40,41 y 42).

En ellas aparecen:

- 1- La curva de resistividad aparente de campo indicada en círculos y líneas negras.
- 2- La curva teórica computada de acuerdo al modelo eléctrico de mejor ajuste, en líneas rojas.
- 3- Los valores del semiespaciado ( $AB/2$ ) en metros en el eje de las x.
- 4- Los valores de la resistividad de campo y teóricos.
- 5- El corte eléctrico con los espesores en metros (h) de cada capa y su resistividad eléctrica verdadera ( $Rho$ ), numérica y gráfica en forma bilogarítmica, en líneas azules.

Gráficas de los sondeos:

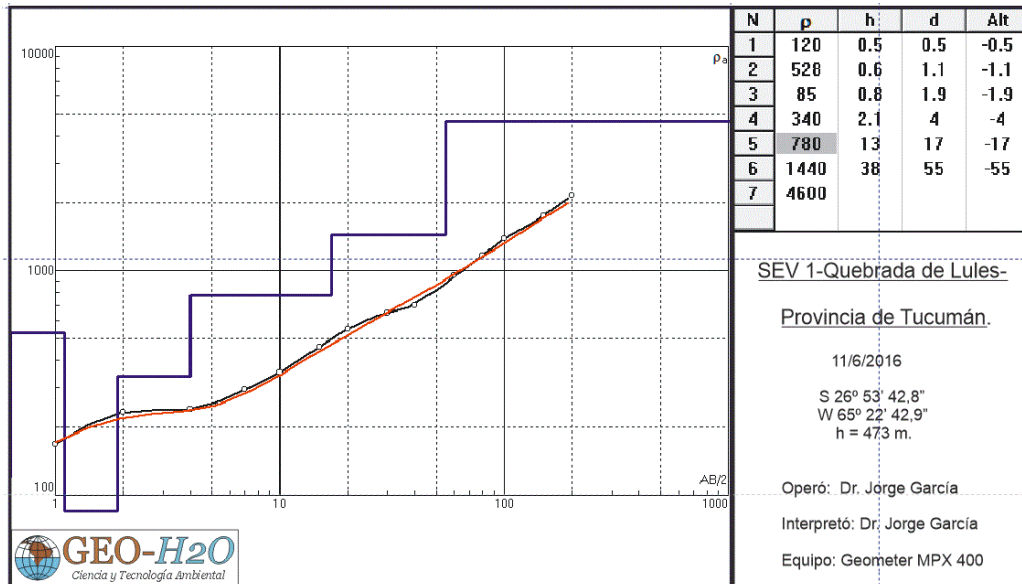


Figura 39: Corte Geoeléctrico 1

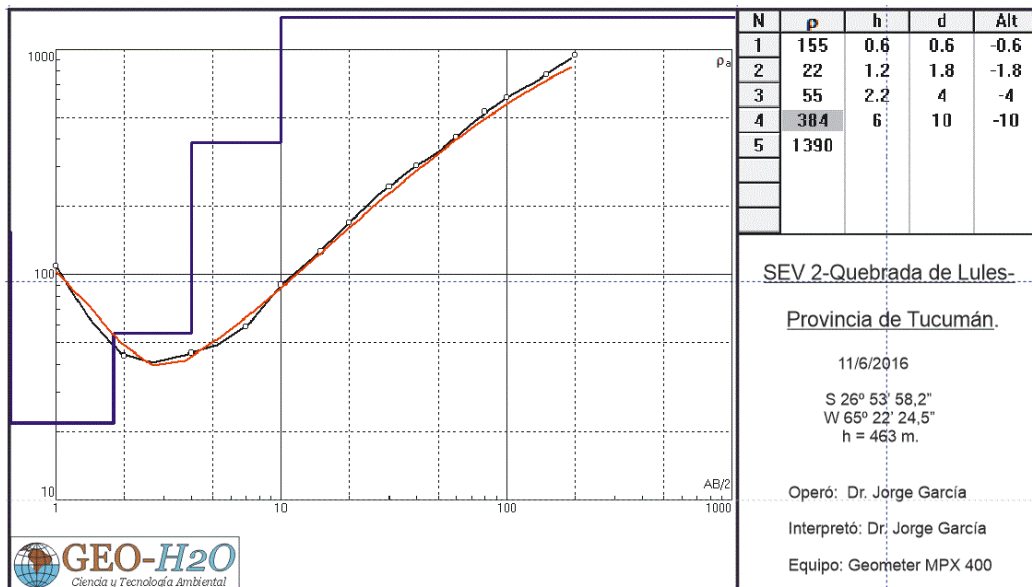


Figura 40: Corte Geoeléctrico 2

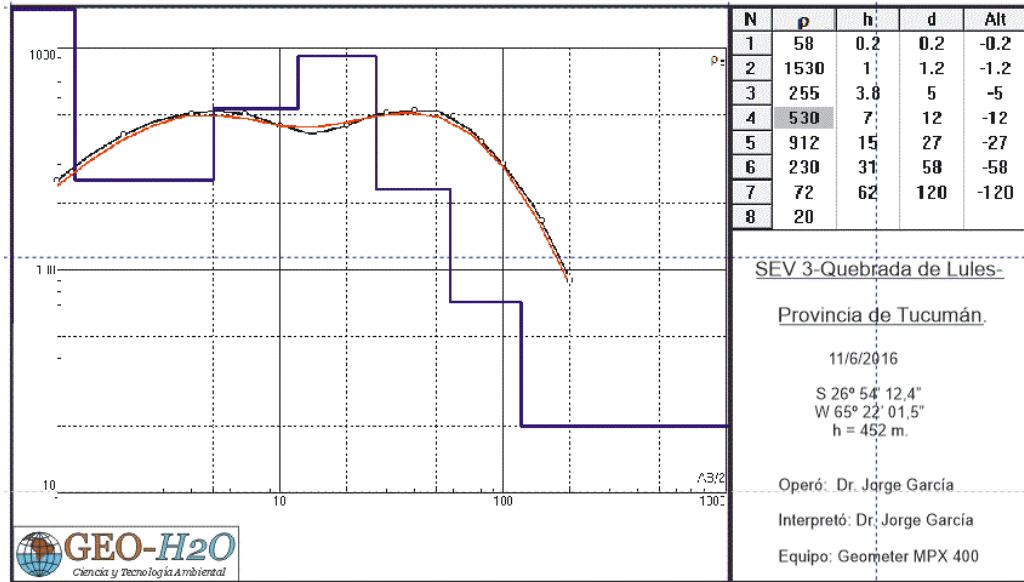


Figura 41: Corte Geoeléctrico 3

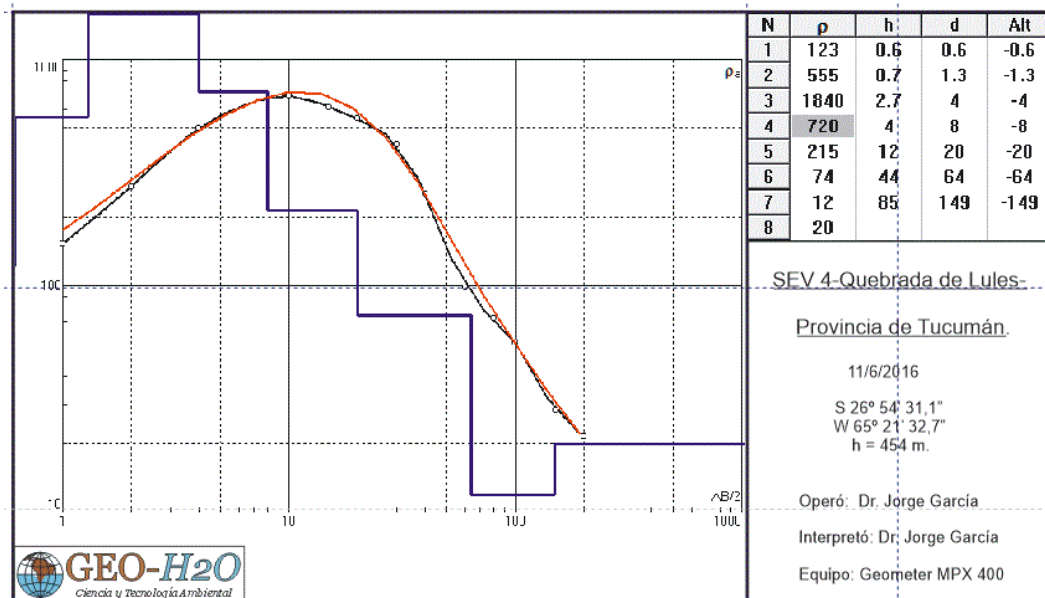
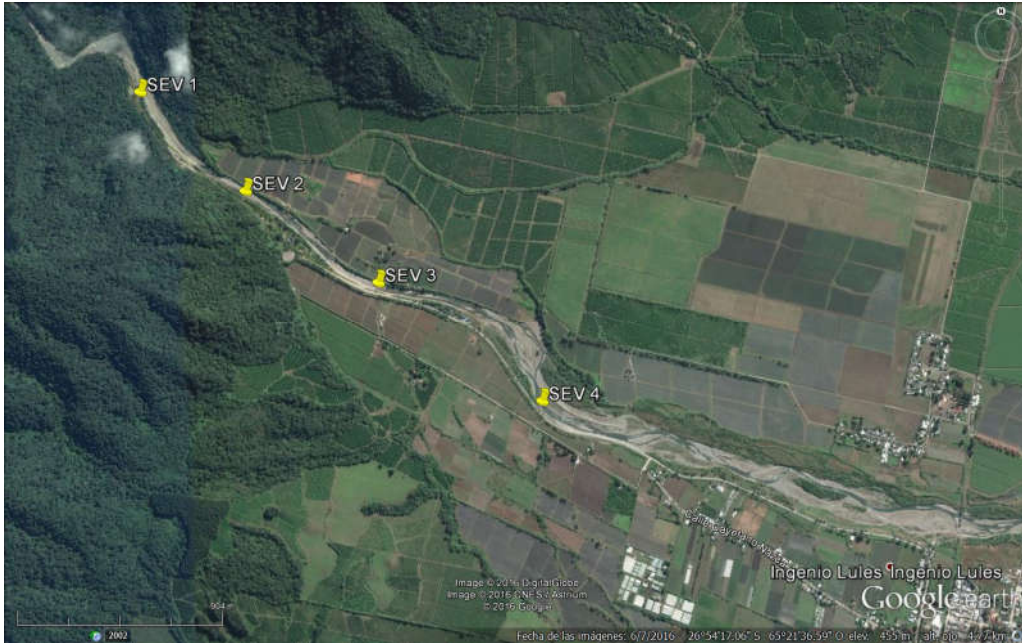


Figura 42: Corte Geoeléctrico 4

A continuación la ubicación de los sondeos (Imagen 5)



Imagen con la ubicación geográfica de los sondeos



**Imagen 5:** SEV: 1-2-3 y 4 – Cuenca media del Río Lules

Las resistividades de las rocas más comunes

Los materiales que componen la corteza terrestre son en general aislantes o malos conductores, ya que sólo se comportan como conductores los metales y algunas de sus sales. Esto significa que las rocas poseen en general resistividades muy elevadas. El agua pura también tiene resistividad muy alta, pero la presencia de sales disueltas la convierte en un conductor electrolítico, la mayor parte de las rocas que componen la porción más superficial de la corteza, están meteorizadas en mayor o menor medida y poseen fisuras o poros, en los que en general se encuentra un cierto contenido de humedad. El agua contenida en los poros generalmente posee sales disueltas, que contribuyen a aumentar la capacidad de conducir la corriente eléctrica. Por esta razón la resistividad de las rocas consolidadas y no consolidadas depende de su constitución mineralógica, de su porosidad, del grado de saturación y del tipo de líquido que rellena los poros. El agua destilada posee una resistividad que alcanza los **3.000  $\Omega \cdot m$** , mientras que el agua marina puede tener **0,03  $\Omega \cdot m$** .

Valores de resistividades obtenidos: (Tabla 22)

**Cuadro de comparativo entre las resistividades medidas y los probables materiales del subsuelo:** (Fotos 17 a 22)

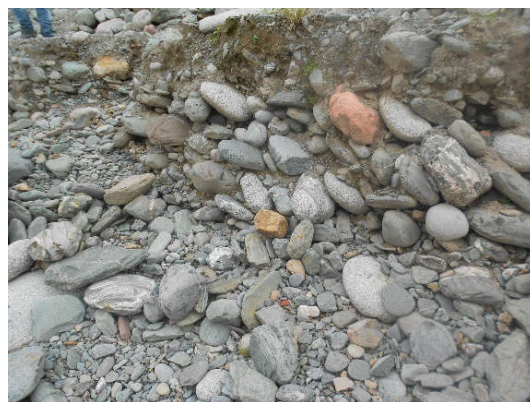
<b>Corte Geoeléctrico</b>	<b>Rho (Ohm .m)</b>	<b>Materiales de la corteza</b>
Corte 1	50 a 100 100 a 300 300 a 500 700-800 1.000 a 5.000	Limos-arenosos Arenas y gravas Rodados y gravas saturados Rocas sedimentarias (Terciario) Rocas metamórficas (Basamento)
Corte 2	20-100 100-300 300-400 1.000 a 2.000	Limos-arcillosos a arenosos Arenas y gravas Rodados y gravas saturados Rocas metamórficas (Basamento)
Corte 3	20 a 50 50 a 100 100-300 500 a 900 900-1.500	Limos-arcillosos Limos-arenosos Gravas y arenas saturadas Bloques grandes saturados Bloques grandes secos
Corte 4	10 a 20 20 a 100 100-300 500 a 800 900-2.000	Limos-arcillosos (sedimentos terciarios?) Limos-arenosos Gravas y arenas saturadas Bloques grandes saturados Bloques grandes secos

**Tabla N° 22:** resistividades medidas y los probables materiales del subsuelo

**Registros Fotográficos de los materiales geológicos encontrados en el área de trabajo**  
(Tomados durante la Campaña)



**Foto 17:** Grandes bloques



**Foto 18:** Gravas y arenas



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*



**Foto 19:** Basamento metamórfico



**Foto 20:** Rodados de metamorfitas



**Foto 21:** Gravas y arenas saturadas



**Foto 22:** Gravas y rodados secos

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## **- Estudio Biológico**

El presente estudio se realizó con la intervención de profesionales de la Facultad de Ciencias Naturales y Fundación Miguel Lillo de la Universidad Nacional de Tucumán, quienes efectuaron el muestreo y los análisis correspondientes en dos zonas del curso medio del Río Lules, a saber: Un muestreo aguas arriba de la obra hidráulica de derivación (Azud nivelador), y la otra se hizo aguas abajo del puente sobre el río Lules que se encuentra en Ruta Prov. N° 301.

El objetivo de este trabajo fue a los fines de conocer el estado actual de los ecosistemas de fluviales del río Lules, determinar la existencia de alteraciones en los macroinvertebrados integrantes de la comunidad bentónica ripario, y la estabilidad de estos ecosistemas. A tal fin se realizaron muestreos de **Bentos** (diversos organismos que viven en el fondo del río), y en el **hiporreico** (esto es conjunto de los sedimentos saturados en agua, situados debajo y en sus laterales del lecho fluvial), que contienen cierta cantidad de agua superficial).

Los muestreos de Bentos se realizaron con dispositivo **Surber**, que consiste en dos marcos metálicos de 30 x 30 cm, (**900cm<sup>2</sup>**) formando un ángulo de **90°** uno horizontal y el otro vertical, en éste último se encuentra fijada una red cónica de Ø 300µm de malla.

En los muestreos de **hiporreico**, el método empleado consiste en escavar un pozo en la ribera del río hasta alcanzar el **nivel de agua intersticial**, cuando ésta inunda la perforación, se procede a extraer el agua y filtrarla con una red de Ø100µm (técnica de **Karaman-Chappuis** 1942). (Fotos 23 y 24)



**Foto 23:** Muestreo aguas arriba



**Foto 24:** Muestreo aguas abajo

### **Síntesis de los muestreos y resultados de obtenidos**

**En el 1° Muestreo:** Sobre el Río Lules, aguas arriba del Azud. Se tomaron 2 muestras de la comunidad bentónica con red Surber en fondo pedregoso y una muestra de comunidad hiporreica a una distancia de 49 m sobre la playa de inundación del río y con 45 cm de desnivel entre el pozo del hiporreico y el canal principal del río.

**En el 2° Muestreo:** Sobre Río Lules, a 340 m y a aguas abajo del puente sobre Ruta Prov. N° 301, a 6.4 km de separación del primer muestreo. **Se tomaron 2 muestras de la comunidad bentónica con red Surber** en fondo pedregoso y **una muestra de comunidad hiporreica** en una isla en el medio del cauce principal del río y separada 40 cm del cauce. En este caso los sedimentos de las márgenes no permitieron la filtración de agua desde los espacios intersticiales.

#### **Resultados:**

En las comunidades bentónicas del tramo del Río Lules estudiado (antes y después de la toma), la diversidad de taxones es similar, con alta predominancia de estadios inmaduros de Insecta. A pesar de que la diversidad es semejante, **existen claras diferencias en la abundancia relativa** de los diferentes grupos.

En el 1° Muestreo: (tramo aguas arriba de la toma), el grupo con mayor número de individuos (**mayor abundancia**), es el de los *insectos Ephemeroptera*. Éstos insectos, al igual que *Trichoptera* y *Plecoptera* son **organismos intolerantes a la contaminación** por lo cual su número disminuye en aguas contaminadas. **En esta característica se basa el índice de calidad de agua superficial EPT (Klemm et al., 1990).**

En el 2° Muestreo: (aguas abajo de la toma), la comunidad de **macroinvertebrados bentónicos** muestra una **muy marcada abundancia** de las larvas de insectos *Chironomidae (de color rojo)* y los **oligoquetos**, lo que estaría relacionado con la **anoxia por el deterioro ambiental del ecosistema ripario**. En las inmediaciones al sitio de muestreo se observan además, **fuentes puntuales de volcado de todo tipo de residuos que evidentemente aumentan el aporte de materia orgánica al río**. Los oligoquetos son organismos muy comunes en ambientes con alta cantidad de materia orgánica, principal componente de su dieta.



## Conclusión

Sobre la base de los resultados obtenidos en este estudio biológico realizado en el río Lules, se infiere que en la zona del segundo muestreo **existe una alteración producida en los ecosistemas fluviales**. Si bien este estudio comprendió el muestreo puntual de la fauna en un corto tramo del río (6.4 km), aun así se puede detectar las claras diferencias en la abundancia relativa de los diferentes grupos de taxones, entre los dos muestreos. Ello indica, en función del estudio realizado, que la zona aguas abajo (muestreo 2), se encuentra en un estado de **anoxia por deterioro ambiental**. Esta situación es consecuencia principalmente, **por el escaso volumen de agua** circulante durante los meses de agosto y septiembre, que afecta el proceso de autodepuración de las aguas del río, y a su vez se ve agravada por el vaciado de residuos urbanos dentro del cauce, y en la margen derecha del mismo. (Fotos 25 y 26 de campaña 31/08/2016)



**Foto 25** volcado de basura dentro del cauce **Foto 26** Vaciado de residuos urbanos-margen derecha

Todos estos factores conjugados, potencian la degradación de los ecosistemas fluviales que naturalmente se encuentran en el río Lules, degradación ésta, que tiene efectos directos y negativos sobre el bienestar social, debido a que dejan de prestar los servicios y beneficios ambientales que en condiciones ecológicas equilibradas estos producen.

Finalmente se expresa, en razón del bajo caudal registrado durante el estiaje, que, sumado a los factores mencionados precedentemente, producen el aumento de la carga contaminante de curso hídrico. (informe biológico en anexo)

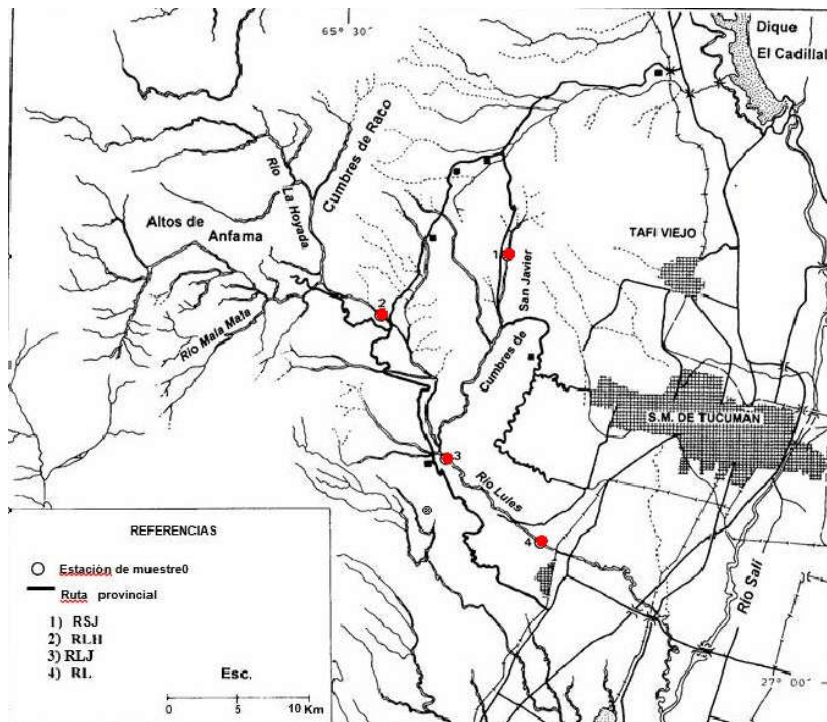
*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*



## - Muestreo puntual de agua superficial

Antecedentes de estudios efectuados en la zona

Como referencia se registra un estudio desarrollado en el período comprendido entre **mayo de 1998** hasta **abril de 1999**, por el equipo de profesionales integrado por: **H.R. Fernández; F. Romero; M.B. Vece; V. Manzo; C. Nieto** y **M. Orce**, que realizaron seis muestreos bimestrales, tomando en cada uno de ellos muestras de **zoobentos** y **agua**, dentro de la cuenca del Río Lules. Para tal fin se seleccionaron cuatro zonas de muestreos (Figura 43), ubicadas a una distancia promedio de **10 km** entre sí, identificándolas como: Río San Javier (**RSJ**), Río de La Hoyada (**RLH**), ambas ubicadas sobre afluentes que confluyen, junto con el Río Potrero de Las Tablas, para formar el Río Las Juntas (**RLJ**) donde se ubicó la tercera estación y finalmente en el colector principal en el cual cambia el nombre a Río Lules (**RL**), donde se ubicó la 4ª estación.



**Figura 43:** Zonas de muestreos (extraído de H.R.Fernández et. al. 1998)

Se toman los resultados que se obtuvieron de este estudio en el bimestre de agosto – septiembre de 1998 del muestreo de agua, definido como estación 4<sup>ta</sup>, en dicho estudio, donde los análisis de nitratos y fosfatos arrojaron los siguientes valores:

**Nitratos ⇒ 5.21 mg/l en el mes de agosto y 1.04 mg/l en septiembre**

**Fosfatos ⇒ no detectado en agosto y de 0.02 mg/l en septiembre**

Cabe consignar que esta zona, corresponde a la Estación denominada del Río Lules (RL) en 1998 (Fig. 43), es coincidente con la ubicación de las determinaciones realizadas en el presente estudio (agosto 2016).

---

#### Muestreo de agua agosto 2016

Se realiza este muestreo al solo efecto de tener el conocimiento si en el curso hídrico, dentro del tramo comprendido entre los dos puntos de muestreos elegidos, se encuentran algunos de los tipos de sustancias que estén vinculadas el estado de anoxia registrado mediante el estudio biológico realizado previamente en la zona. Por lo que se determinó realizar muestreos de agua en dos sectores de la cuenca media, a los fines de verificar la existencia y concentraciones de tres parámetros químicos, que se seleccionan en función de los siguientes criterios:

Los compuestos de nitratos y fosfatos ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{=}$ ), por ser nutrientes y principales componentes de la dieta de **macroinvertebrados indicadores de deterioro ambiental** en el curso fluvial, tales como las especies de **Chironomidae** y **oligoquetos** detectadas en el muestreo biológico. Al respecto cabe consignar que en este estudio no se considera determinar la procedencia de estos dos componentes por no ser el objetivo de investigación en esta Tesis.

El restante parámetro ( $\text{SO}_4^-$ ), se toma en razón de que los sondeos Geoeléctricos efectuados en la cuenca media del Río Lules, detectan rocas sedimentarias perteneciente a la Formación Terciaria que contienen yeso ( $\text{CaSO}_4$ ), en el subsuelo (Prospección Geofísica pág. 139), y se lo analiza a los fines de determinar su concentración en ambos muestreos, para verificar si existen incrementos significativos, en el tramo de estudio, que pudiesen tener incidencia con los bajos caudales registrados, en el período de estiaje del río Lules.

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

Las Tomas de muestras se efectuaron en dos zonas:

- La primera, aguas arriba del Azud nivelador en el centro del curso fluvial. (Imagen 6)
- La segunda, a 340 m aguas abajo del Puente sobre el río Lules y Ruta prov. 301. (Imagen 7)
- La distancia existente entre ambos muestreos, resulto en 6.4 km. (Imagen 8)



**Imagen 6:** 1° Punto de muestreo aguas arriba del Azud nivelador



**Imagen 7:** 2° Punto de muestreo a 340 m aguas abajo del Puente.



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

Los puntos de muestreo fueron georreferenciados en las dos zonas señaladas:

- Zona 1: Coordenadas:  $\varphi = 26^{\circ} 53'35.6''$  S;  $\lambda = 65^{\circ} 22'54.5''$  O – (Punto A)
- Zona 2: Coordenadas:  $\varphi = 26^{\circ} 54'53.5''$  S;  $\lambda = 65^{\circ}19'36.23''$  O – (Punto B)

Ambos ubicados dentro de la cuenca media del Río Lules



**Imagen 8:** Distancia entre muestreos A –B: 6.4 km



**Foto 27 y 28:** Toma de muestras con jabalina y bote de vidrio aguas abajo del Puente

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*



**Foto 29:** envase oscuro y embudo para llenado.



**Foto 30:** Zona del 1° Muestreo aguas arriba del azud



### Material de Campo utilizado

- GPS con cronómetro (Foto 33)
- Envases de vidrio oscuro rotulados de 1 litro con tapa esmerilada (Foto 34)
- Marcador indeleble
- Cintas y rótulos
- Embudo plástico (Foto 32)
- Toma muestras de vidrio con jabalina (Foto 31).

### Operaciones de Campaña (15/08/2016) (Fotos 27, 28,29 y 30)

- Georreferenciación de la zona de muestreo.
- Se enjuagó dos veces el frasco toma muestras y los envases, con agua del río.
- Se llenaron, taparon e identificaron cada muestra con su nombre, ubicación, fuente analizada, profundidad del muestreo (20 cm debajo del tirante de agua) y fecha de toma. (INTA 2011. Protocolo de muestreo).
- Las muestras se acondicionaron para ser trasladadas en vehículo, y fueron conservadas en refrigerador. Al tercer día se llevaron al laboratorio de la Facultad de Ciencias Exactas – Catedra de Química - UNT, para sus correspondientes análisis. (Planilla de Laboratorio con los resultados, en Anexo).



**Foto 31:** dispositivo para toma muestras



**Foto 32:** embudo utilizado



Foto 33: GPS Etrex HCx



Foto 34: frascos de 1 litro, util., en las muestras

Resultados obtenidos en Laboratorio de Análisis (Tabla 23).

Muestras	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
1.- Aguas arriba del Azud (cuenca media)	< 0.5 mg/l	0.121mg/l	84mg/l
2.- Aguas abajo del Puente (cuenca baja)	<b>3.5mg/l</b>	<b>0.632mg/l</b>	<b>95mg/l</b>

**Tabla N° 23:** Valores determinados de las concentraciones de cada parámetro.

Interpretación objetiva de los resultados

*Valores de Nitratos*

Este parámetro se ve incrementado en el 2° muestreo (aguas abajo), unas **seis veces** respecto al valor registrado en el primer muestreo: aumentando desde **0.5 mg/l** ⇒ **3.5 mg/l**, con un aumento porcentual entre el 10% y el 70%.

*Valores de Fosfatos*

Los valores de fosfatos se incrementan en el 2° muestreo unas **cinco veces** respecto del primero: aumentando desde **0.121 mg/l** ⇒ **0.632 mg/l**, con un incremento porcentual del 16 % al 84%.

### *Valores de Sulfatos*

En los sulfatos no se detecta un incremento significativo, respecto del valor registrado aguas arriba cuyos valores variaron entre de **84 mg/l** a **95 mg/l** del orden del 47% al 53%, en este caso no se considera su inclusión en el análisis de incidencia por tratarse de valores normales para el tramo estudiado.

Las concentraciones de Nitratos y Fosfatos y los bajos caudales de río, a causa de la excesiva demanda de agua superficial, produce el aumento de la concentración de estos componentes en el agua que pueden incidir en:

- Favorecer la abundancia de las larvas e insectos como indicadores de anoxia por deterioro ambiental, que se registró oportunamente, mediante el estudio biológico.
- Estimular el crecimiento de las algas, que a su vez consumen el oxígeno disuelto y de mantenerse en el tiempo, este estado, puede inducir a una condición eutrófica, con aumento de la biomasa y empobrecimiento de la diversidad. (**Triplenlace.2012**.Eutrofización: causas y efectos).

En resumen, los resultados obtenidos de estos análisis, si bien son puntuales, no obstante verifican una correlación con los resultados del estudio biológico efectuado en el mes de agosto.

A modo de comparar los valores de nitratos y fosfatos obtenidos en el antecedente señalado precedentemente (agosto 1998), en la misma zona, con los resultados obtenidos en el muestreo actual (agosto 2016), se elabora el cuadro comparativo con las concentraciones determinadas en ambos casos. (Tabla 24).

<b>Parámetros Químicos</b>	<b>Análisis agosto 1998 Estación (RL)</b>	<b>Análisis agosto 2016 Zona del 2° Muestreo</b>	<b>Diferencias</b>
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	5.21 mg/l	3.5 mg/l	- 1.71 mg/l
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	No detectado	0.632 mg/l	+ 0.632 mg/l

**Tabla 24:** Valores comparativos entre ambas determinaciones (espacio temporal 18 años)

Se consigna que la Estación Río Lules **(RL) 1998** y la zona del **2° Muestreo 2016**, corresponden a la misma ubicación geográfica de los estudios.



En función de las comparaciones señaladas (Tabla 24), se debe tener en cuenta que las variaciones registradas sobre todo en las concentraciones de nitratos (**5.21 mg/l** en 1998 y **3.5 mg/l** en 2016), en el lapso de 18 años, pueden deberse a diversos factores entre los que se considera mencionar los cambios en el uso del suelo, desmontes que se efectuaban en la zona en esa época, incremento de materia orgánica en el cauce por restos vegetales y principalmente producidas por las actividades antrópicas en áreas de la cuenca media. Es decir pueden ser muchas las causas que originaron los cambios que determinaron el actual estado de situación de la cuenca.



**Foto 35:** Vaciado de residuos dentro del cauce del río Lules

Concluyendo, lo concreto es que hoy se detectan contenidos de nitratos y fosfatos que si bien no presentan las altas concentraciones registradas en 1998, éstas se ven potenciadas por los bajos caudales circulantes durante la época de estiaje, agravado por el vaciado de todo tipo de residuos urbanos dentro del cauce (Foto 35), como se registró durante las operaciones de muestreo de agua que se realizaron (15/08/2016). Esta situación favorece el desarrollo de organismos que son indicadores de anoxia (Chironomidae y oligoquetos) detectados en el estudio biológico (pág. 145), y la proliferación de algas.

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

### **- Medición del caudal en Estiaje - Río Lules**

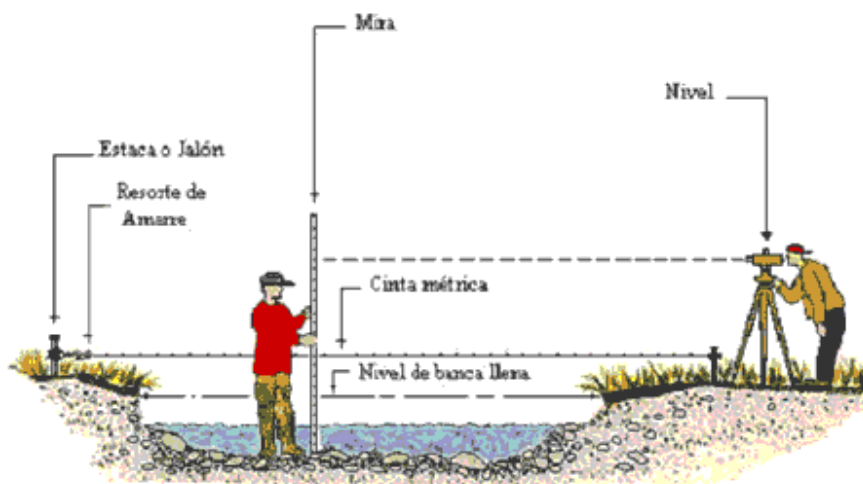
Con fecha **31/08/2016** se efectuó la medición del caudal, en la **zona de inicio de la cuenca baja del río Lules** (a 340 m aguas abajo del Puente sobre R301), esta operación se realizó para determinar el valor aproximado, del caudal de agua circulante por el cauce en esa fecha. Con el valor obtenido del aforo, se logró verificar la similitud con los caudales obtenidos en el hidrograma medio anual del río Lules, para la misma época.

La metodología aplicada en este caso, fue mediante el **flotador lastrado** según se detalla seguidamente:

#### **Aforo con flotador lastrado**

Este método es uno de los más sencillos de realizar, para realizar estimaciones, por lo tanto, su uso queda limitado a situaciones donde no se exija mayor precisión, como la aproximación requerida para este caso. Con este método se determinó la **velocidad media** de la sección líquida, para ser multiplicada por el área transversal del cauce y determinar **el caudal**, según la ecuación de continuidad.

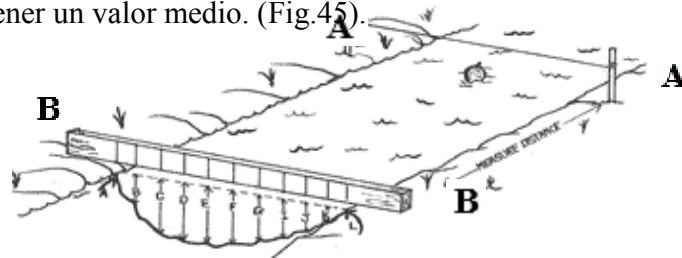
$$Q = \text{velocidad [m/s]} \times \text{área [m}^2] \Rightarrow Q \text{ [m}^3\text{/s]}$$



**Figura 44:** Graficado del Levantamiento Topográfico de la sección transversal del río

## Operaciones de Campaña

1. Se eligió un tramo de la corriente lo más recto y uniforme posible, de longitud  $L= 25 \text{ m}$ ; señalizándolo al inicio (AA), y al final (BB) (Fig.45), mediante jalones, y se procedió a determinar la sección transversal del cauce en los dos extremos, mediante la **nivelación geométrica**, (Figura 44), con nivel óptico, tomando lecturas cada metro para tener una buena representación del lecho. Este perfil transversal, se representó posteriormente, mediante Autocad Land y se calcularon las áreas en las secciones **AA** y **BB**, promediando ambas para obtener un valor medio. (Fig.45).



**Figura 45:** Gráfica ilustrativa de la demarcación del tramo elegido.

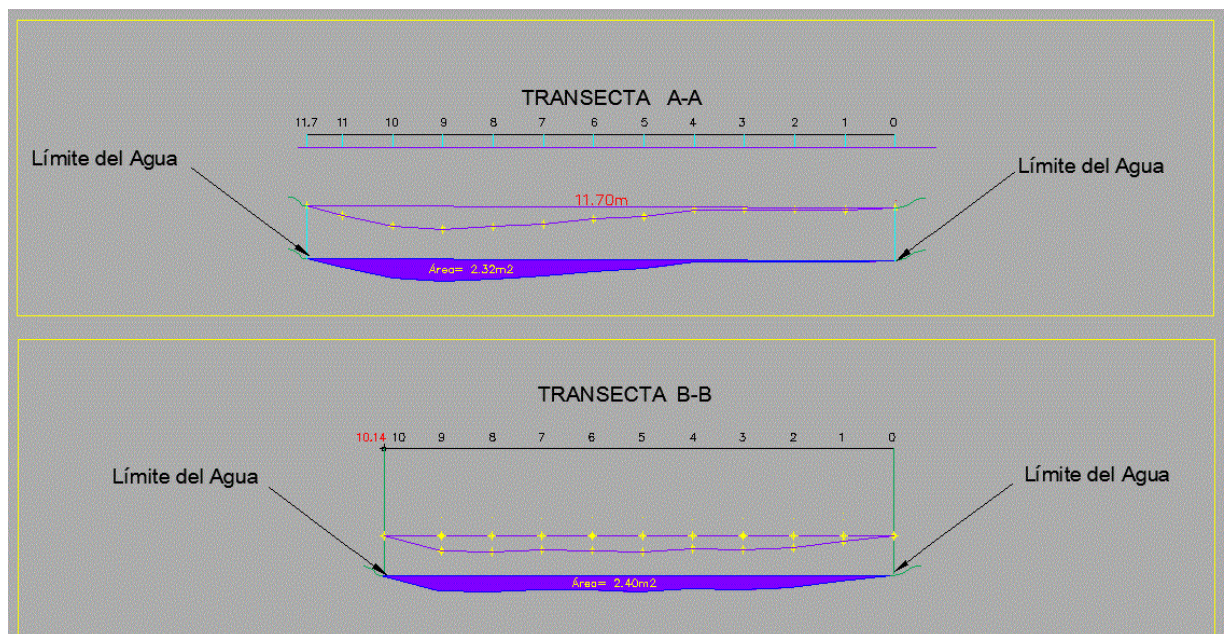
2. Se procedió a lanzar el flotador lastrado (Fig. 39), unos 15 m aguas arriba de la señalización inicial (a fin de estabilizar la velocidad), comenzando la **medición cronométrica** cuando se registra el paso del flotador por la **primera marca**, el otro operador se encuentra en el segunda marca aguas abajo, **donde señala el arribo del flotador** a este segundo punto, para cerrar la medición del cronómetro. (Foto 37 y 38)
3. La operación de cronometrado del tiempo, que transcurre el flotador en recorrer el tramo (AA a BB), se lo repite unas 5 a 6 veces (descartando aquellos valores que discrepen con errores groseros) y luego se promedian los valores de tiempos obtenidos.
4. Con estas medidas de **tiempo** y **distancia**, se calculará la **velocidad del agua**. Las mediciones de tiempo cronometradas fueron: 21.75s – 21.47s – 21.70s – 20.39s, se descartó una medición de 26.31s por no ser representativa.
5. **Corrección por el factor fricción.** Debido a que el lecho de la corriente crea fricción contra el movimiento del agua, la parte inferior de la corriente tiende a moverse un poco más lenta que la parte superior. Esto significa que el caudal “real” es un poco menor, que el calculado, por lo que se aplica un coeficiente de fricción de 0.83).





**Foto 36:** Levantamiento altimétrico transversal del cauce – aguas abajo

El perfil topográfico del cauce en las dos transectas, se midió con **nivel óptico**, (Foto 36) levantando los puntos a lo largo de todo el perímetro mojado con distanciamiento, entre puntos de 1 m, para lograr una mejor representación transversal, del lecho. (Figura 46)



**Figura 46:** Representación gráfica de valores topográficos levantados en el cauce.

## Operaciones de Gabinete

Con las mediciones de campaña realizadas, se procedió a calcular los siguientes parámetros **para obtener el caudal del río:**

- Se representaron en AutoCAD ambas secciones transversales efectuadas con el levantamiento topográfico, calculando sus respectivas áreas que luego se promediaron entre sí, obteniéndose el valor medio de: **Área = 2.36 m<sup>2</sup>**.
- El **tiempo medio** cronometrado fue de: **21.33s** en los 25 m de longitud del tramo elegido **L = 25m**  $\Rightarrow$  la velocidad del agua en la sección transversal es:  **$V = L/t \Rightarrow 25 / 21.33 = 1.17$  m/s**  $\Rightarrow$  **V = 1.17 m/s**.
- El caudal es:  **$Q = V \times A \Rightarrow V = 1.17 \text{ m/s} \times 2.36 \text{ m}^2 = 2.8 \text{ m}^3/\text{s}$**  Valor del caudal circulante sin corregir es:  **$Q = 2.8 \text{ m}^3/\text{s}$** , a este valor se aplica el factor de corrección 0.83, por fricción de fondo:  **$2.8[\text{m}^3/\text{s}] \times 0.83 = 2.3 \text{ m}^3/\text{s}$**

## Resultados obtenidos

El **caudal circulante en la fecha 31/08/2016** es de: **Q = 2.3 m<sup>3</sup> /s**

El **valor del caudal resultante**, es **coherente**, con los valores obtenidos en el hidrograma anual del Río Lules en los meses críticos de agosto y septiembre.



**Foto 37:** Cronometrado inicial



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*



**Foto 38:** Cronometrado final



**Foto 39:** Flotador lastrado utilizado



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## **Capítulo X: POZOS PERFORADOS EN LA CUENCA**

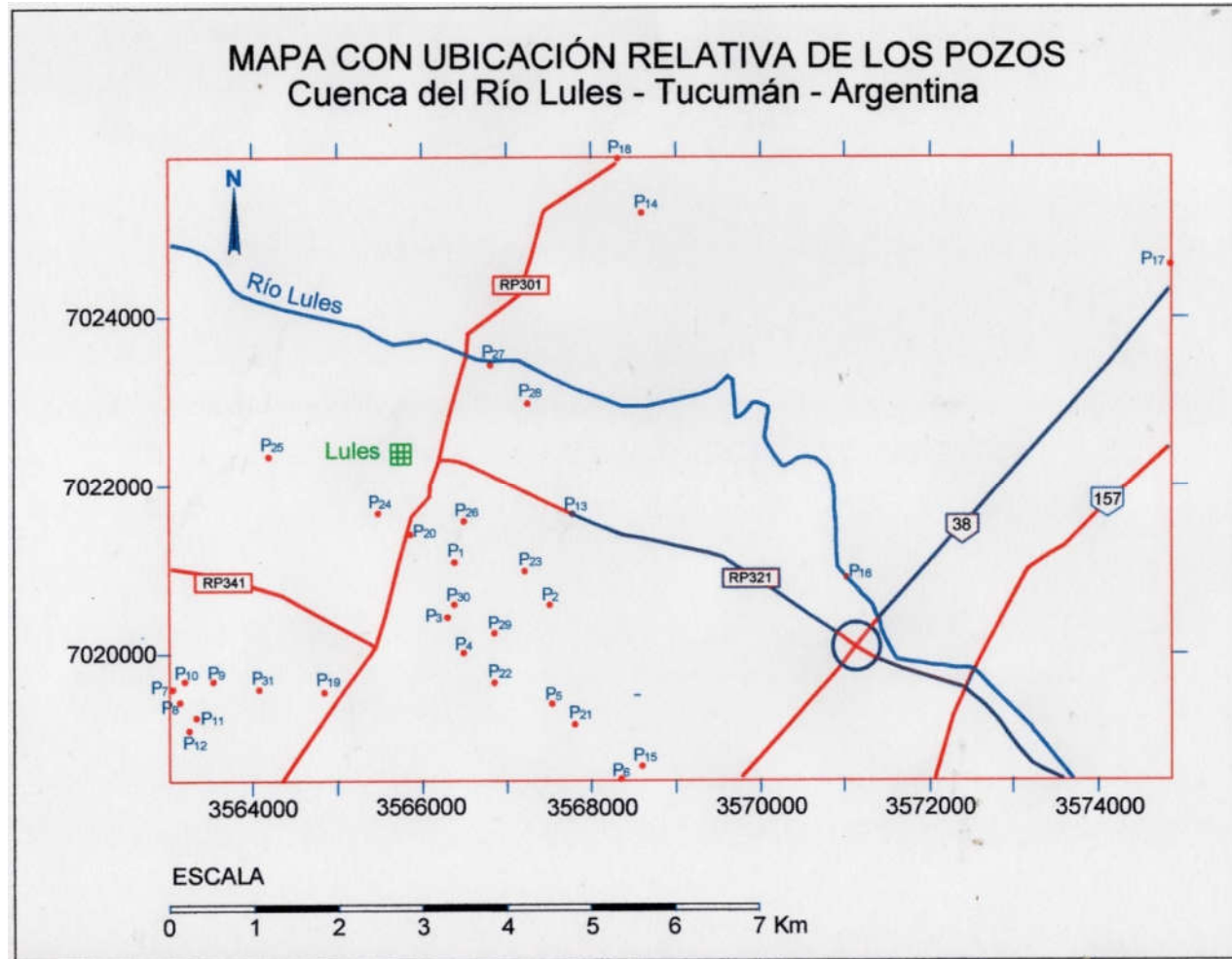
Para la elaboración de este trabajo se tomó la información de pozos:(Galindo G. 1994)

### **-Elaboración de mapa con ubicación de Pozos**

Con la cartografía disponible, que contaba con las coordenadas de las perforaciones, y los niveles estáticos de cada perforación, se elaboró mediante la aplicación del programa Autocad Land, el mapa, siguiendo los siguientes pasos:

- a) Transformación de coordenadas Geográficas (esféricas), a coordenadas Gauss Krüger (planas), para una mejor aproximación. (Tabla 25)
- b) Importación de imágenes Google Earth escaladas al AutoCAD, a los fines de tener una ubicación relativa de los pozos respecto a las Rutas y los hechos existentes.
- c) Numeración de las perforaciones para su identificación.
- d) Elaboración de la planilla de coordenadas en los dos sistemas con su correspondiente información referente a: Localidad donde se ubican cada uno de los pozos, cotas del Terreno y el Nivel estático de cada pozo referidos a msnm.
- e) Planilla de campo para realizar las mediciones Geoeléctricas en el muestreo.
- f) Volcamiento de las coordenadas en el Google Earth, como apoyo para la localización de las perforaciones.
- g) A los fines de tener una referencia de las perforaciones en la cuenca y a título ilustrativo, para la elaboración del mapa de piezométrico, solo se toman 31 pozos del total de los 69 existentes.

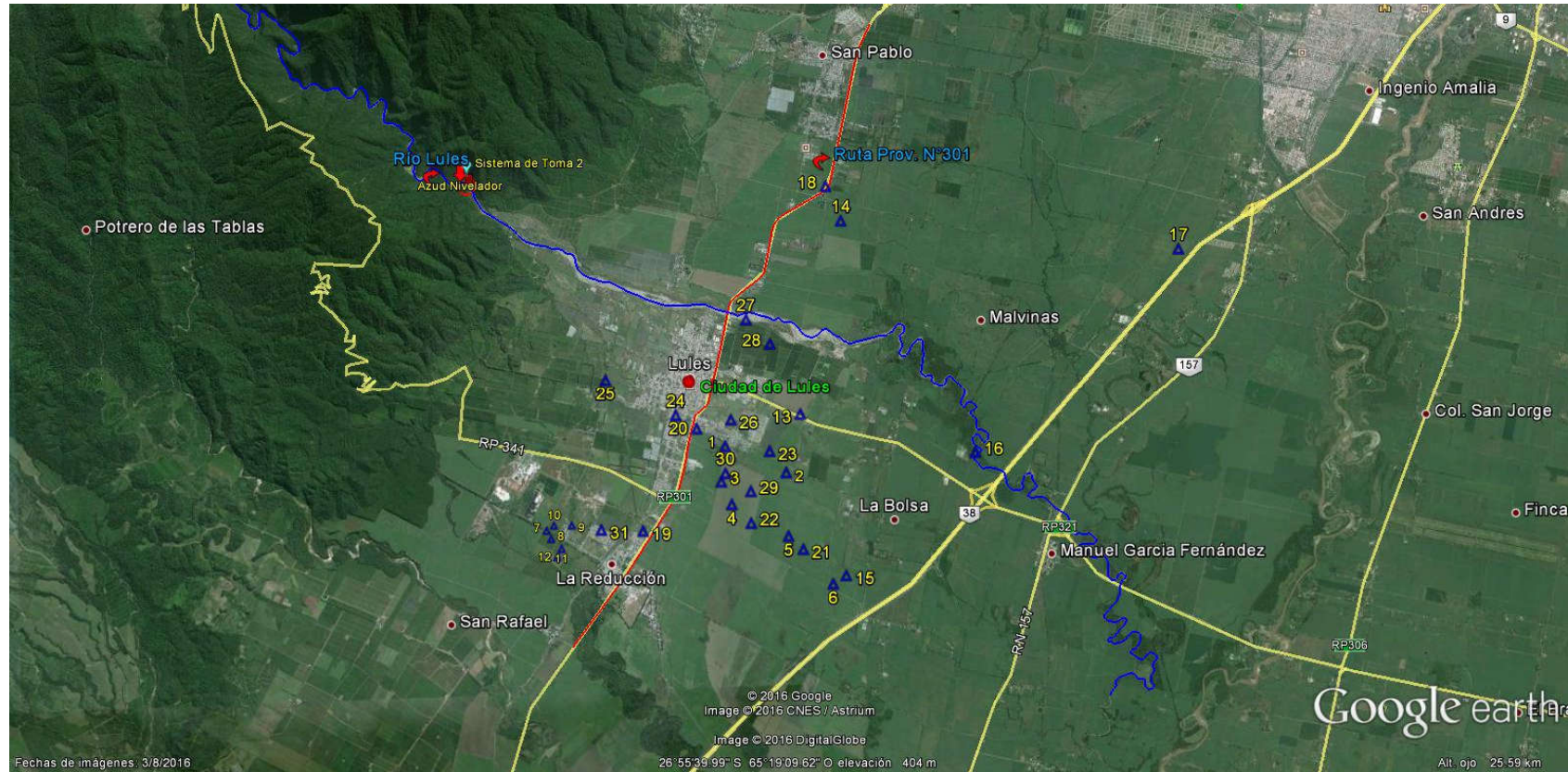
El Mapa resultante con los 31 pozos georreferenciados, a escala. (Figura 47 e Imagen 9)



**Figura 47.** Mapa de ubicación de pozos (elaborado con Autocad Land 2014)

## IMAGEN SATELITAL CON LA UBICACIÓN DE LOS POZOS PERFORADOS EN LA CUENCA

Zona de la Cuenca baja del río Lules – Dpto. Lules – Provincia de Tucumán



**Imagen 9.** Ubicación de Pozos

## Cálculo del Mapa de Isopiezas

### Concepto

Se define **nivel piezométrico** como la altura de la superficie libre de agua sobre el **nivel** del mar, en los **acuíferos** libres. En los confinados, es la altura que alcanzaría el agua en el interior de un sondeo hasta equilibrarse con la presión atmosférica.

### Superficies Piezométricas

Se define como el ***lugar geométrico de los puntos que señalan la altura piezométrica de cada una de las porciones de un acuífero*** referidas a una determinada profundidad. Se las representa mediante líneas de igual altura piezométrica, llamadas **líneas isopiezas**.

En los acuíferos libres, la superficie piezométrica coincide, a grandes rasgos, con la superficie freática, es decir, con el límite de saturación. En los acuíferos confinados la superficie piezométrica es más elevada que el techo de los mismos. En los acuíferos permeables por fisuración y/o karstificación y, en general, en acuíferos muy heterogéneos, puede ser una superficie discontinua.

### Fundamentos del método

El fundamento del método es interpolar valores entre puntos cercanos y trazar líneas que unan puntos de igual piezometría. En cada línea isopieza debe figurar su valor.

El sentido del flujo del agua, es desde líneas de mayor altura piezométrica hacia líneas de menor altura piezométrica, en la dirección de la máxima pendiente, es decir, perpendicularmente a las mismas. Así, es posible, dibujar flechas que indican el sentido del flujo.

El estudio de las superficies piezométricas permite obtener información básica sobre el movimiento y comportamiento del agua subterránea, como es el caso de la dirección del flujo del agua subterránea, la ubicación de zonas de recarga y descarga del acuífero, la existencia de heterogeneidades hidráulicas tales como cambios de permeabilidad dentro de una misma formación litológica o cambios de acuífero, la existencia de niveles acuíferos libres y confinados superpuestos o adyacentes, la existencia de flujos verticales o laterales entre formaciones distintas, etc.

## Medidas de nivel piezométrico

Las medidas piezométricas pueden ser: **Instantáneas**; **Continuas no registradas** y **Continuas registradas**

Las medidas piezométricas **instantáneas** se realizan mediante la denominada "**sonda de nivel**" que se basan en la observación de la profundidad del agua mediante el cierre de un circuito eléctrico cuando un elemento detector establece contacto con el agua. **Constan de electrodo, cable eléctrico y detector.**

Otro tipo de **sonda** es **por flotador**. Consiste en un cable metálico en cuyo extremo se coloca un flotador que, al contacto con la superficie del agua provoca pérdida de tensión en el cable y el accionamiento de un sistema de frenado. Presenta serios inconvenientes de uso.

Las medidas **continuas no registradas** se llevan a cabo mediante "limnímetros" que se instalan en los pozos de observación. Constan de un **sistema de flotador y contrapeso** que debe estar bien calibrado para las oscilaciones previstas del nivel. Da buen resultado para profundidades no muy elevadas.

Las medidas **continuas registradas** se llevan a cabo mediante "limnígrafos" que, además de medir continuamente el nivel mediante flotador y contrapeso, poseen un sistema de registro gráfico en un papel enrollado a **un cilindro** que gira uniformemente accionado por un mecanismo de relojería. El giro completo del tambor suele ser semanal pero puede adecuarse a otras necesidades (diario, mensual o trimestral).

La máxima sofisticación de estos instrumentos se obtiene mediante un registrador que almacena los datos en un disquete que permite el tratamiento informativo de los registros. Incluso, es posible utilizar una emisora que envía los datos a tiempo real hasta el centro receptor.

### **-Elaboración del mapa piezométrico**

Los datos se refieren a una fecha dada. La equidistancia depende de la precisión y la densidad de las medidas, de los valores del gradiente hidráulico, de la escala del mapa y de la precisión de la nivelación. En general, es del orden del **metro (0.5, 1 ó 2 m.)** para los mapas 1:10.000 y 1:25.000; y de **5 ó 10 metros** para los 1:50.000 y 1:100.000.

Para la elaboración del presente mapa piezométrico, se utilizó información procedente de los archivos de la Dirección Provincial del Agua, Ex Dirección Provincial de Obras Sanitarias y empresas privadas. (**Galindo G.** 1994) (Tabla 25).

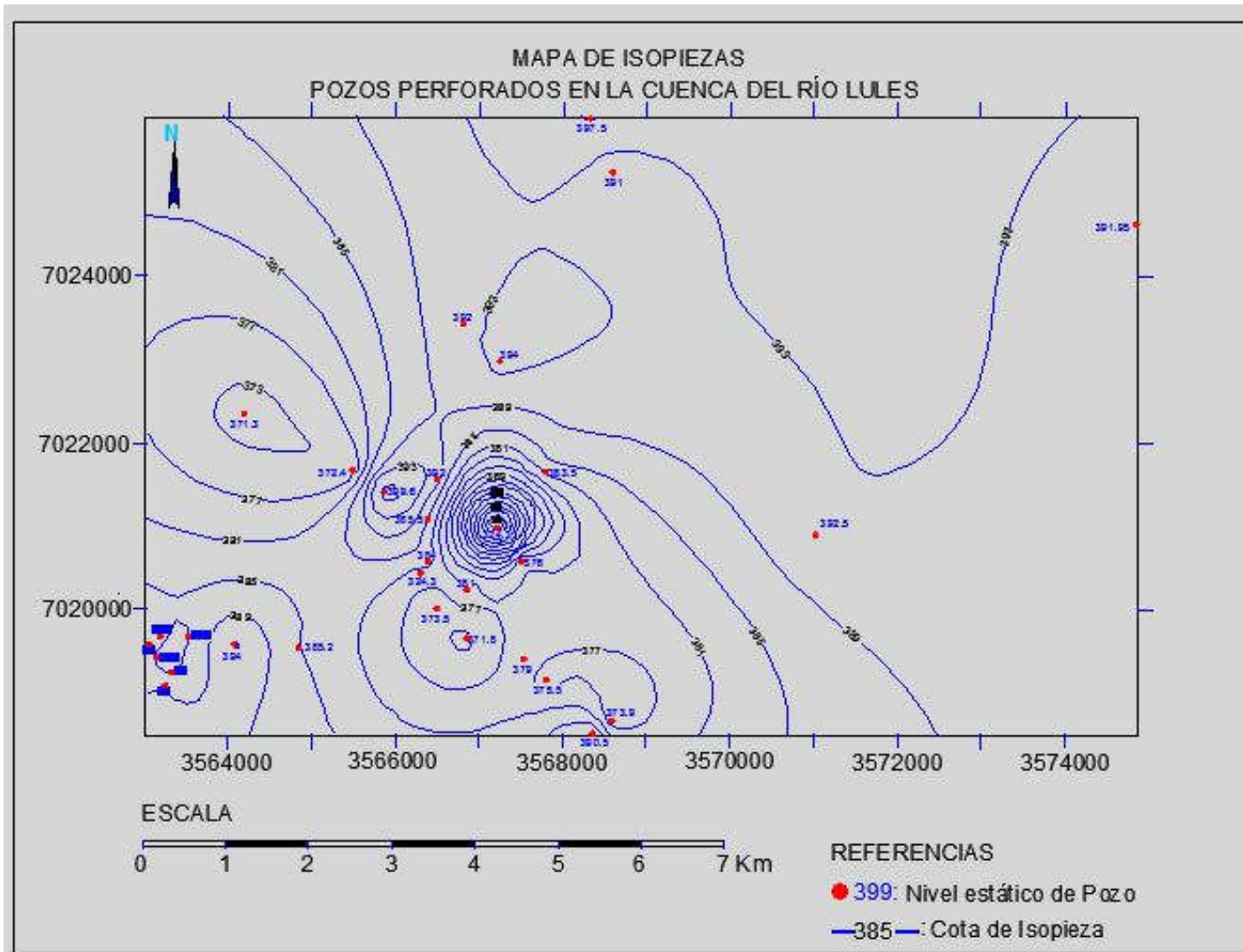
#### Trazado de las curvas Isopiezas

El tratamiento se realizó por medio de ordenador aplicando el **programa geoestadístico Surfer 8**, donde se vuelcan las coordenadas Gauss Krüger, de cada perforación y sus correspondientes niveles **estáticos**, éste interpola los valores ingresados para generar las curvas de nivel piezométrico o **Isopiezas**, que representa la altura piezométrica de cada una de las porciones del acuífero referidas al nivel del mar. El Mapa resultante de este proceso se observa (Figura 48).

De igual manera se procedió a elaborar el **Mapa de representación vectorial**, que nos permite ver la dirección y sentido del movimiento del agua en el acuífero representado (Figura 49).

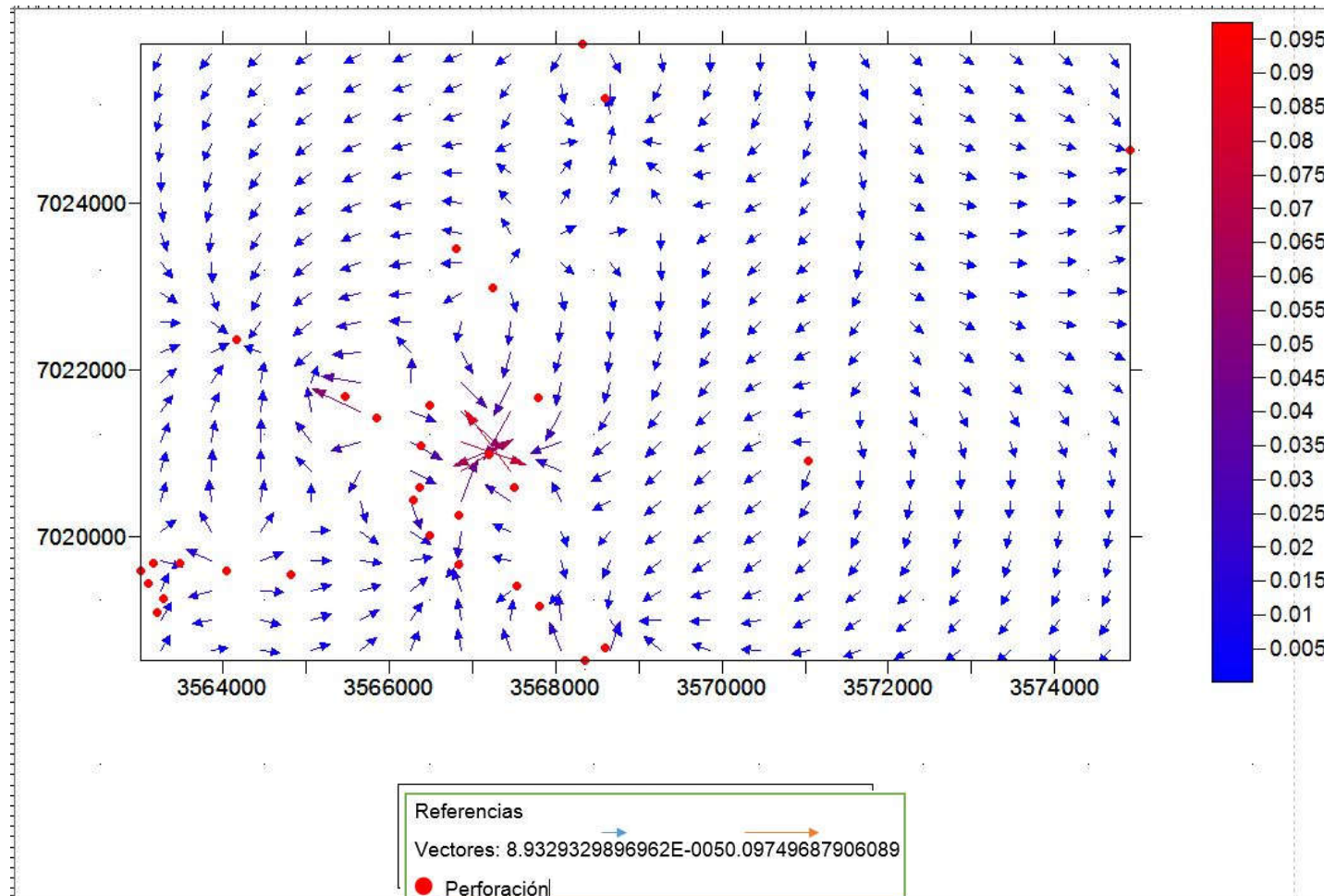
Finalmente se elabora el **Mapa 3D** del acuífero, mediante la incorporación de las cotas del terreno referidas también al nivel del mar, esto permite visualizar la superficie topográfica en 3D y su posición relativa con el acuífero. (Figura 50).





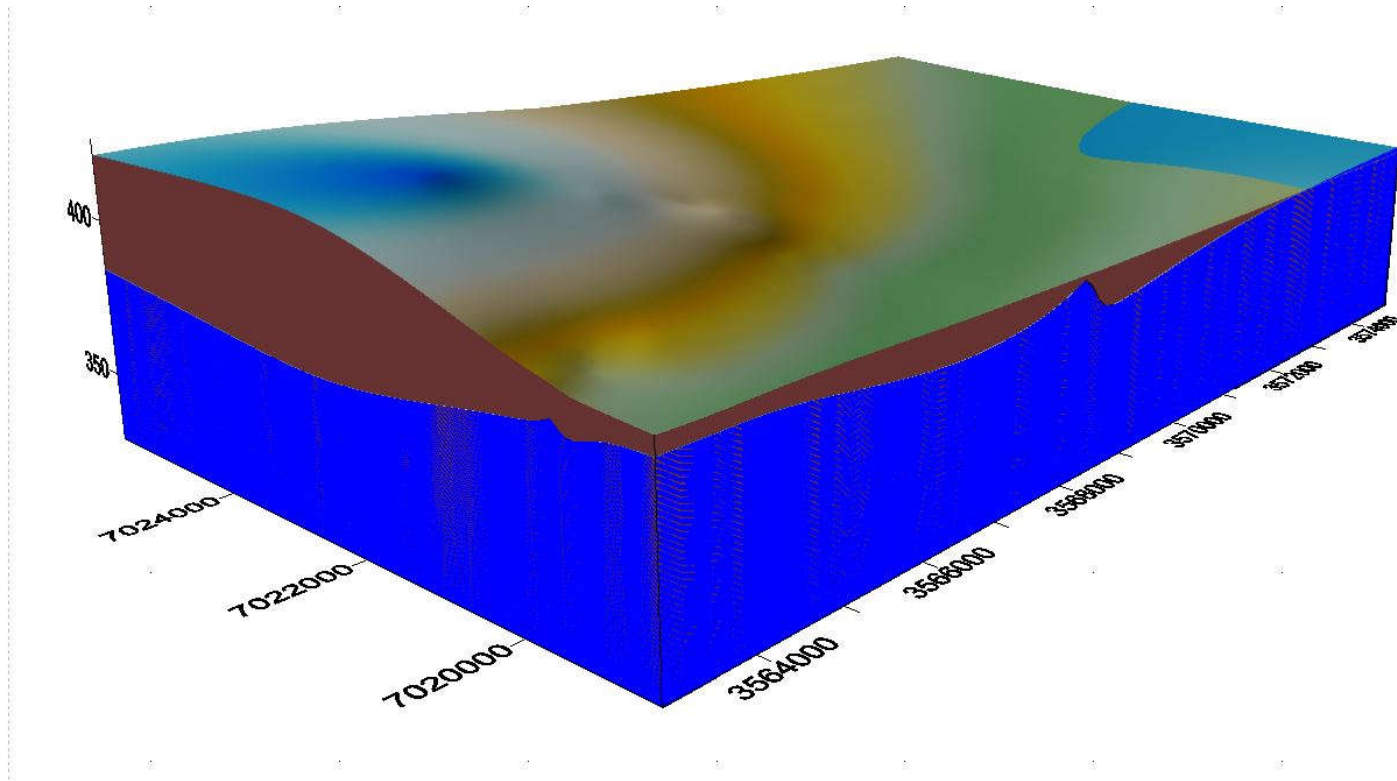
**Figura 48.** Mapa de Isopiezias

### VECTORES DE DIRECCIÓN Y SENTIDO DEL MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUBSUELO



**Figura 49.** Mapa vectorial

**VISTA 3D DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO Y DEL ACUÍFERO**



**Figura 50.** Visualización de los niveles del Terreno respecto a los del acuífero.



**-Planilla de Datos procesados (Tabla 25)**

Nº Orden	Ubicación	ξ	λ	X	Y	Terr. [msnm]	Ne [m]	Ne [msnm]
1	Camino a la Quebrada - Pozo Nº 2 Dipos	26°56'14.64	65° 19' 53.76"	7.021.096,2978	3.566.379,5588	408	22,5	385,5
2	Club Almirante Brown	26°56'30.84"	65° 19' 12.72"	7.020.591,6308	3.567.509,0565	399	23	376
3	Estación Ferrocarril de Lules	26°56'35.88"	65° 19' 56.64"	7.020.442,9559	3.566.296,6564	401	22,5	378,5
4	Centro Materno Infantil - Pozo Nº 3 de Dipos	26° 56' 49.56"	65° 19' 49.73"	7.020.020,8809	3.566.485,0441	397	23,5	373,5
5	Ex Ingenio Mercedes	26° 57' 09"	65° 19' 11.64"	7.019.416,9130	3.567.532,5311	394	15	379
6	El Ceibal - Esc. Gral Savio	26° 57' 37.98"	65° 18' 41.80"	7.018.520,4564	3.568.350,7657	391	0,5	390,5
7	Papel del Tucumán	26° 57' 04"	65° 21' 54.97"	7.019.594,2423	3.563.028,0981	399	9	390
8	Papel del Tucumán	26° 57' 09"	65° 21' 51.98"	7.019.439,9295	3.563.109,7997	397	12,6	384,4
9	Papel del Tucumán	26° 57' 0.97"	65° 21' 37.98"	7.019.685,1428	3.563.497,2174	397	12,7	384,3
10	Papel del Tucumán	26° 57' 0.97"	65° 21' 49.97"	7.019.686,8114	3.563.166,4860	399	13,1	385,9
11	Papel del Tucumán	26° 57' 14.98"	65° 21' 45"	7.019.254,8975	3.563.301,4034	396	12	384
12	Papel del Tucumán	26° 57' 19.98"	65° 21' 47.99"	7.019.101,4148	3.563.218,1551	396	7	389
13	Planta de Gas	26° 55' 55.74"	65° 19' 2.75"	7.021.670,5194	3.567.789,9209	403	19,5	383,5
14	San Pablo	26° 53' 58.85"	65° 18' 33.98"	7.025.264,0525	3.568.603,2729	406	15	391
15	Ing. Fronterita Ex Ing. Mercedes	26° 57' 32.98"	65° 18' 32.98"	7.018.673,0284	3.568.594,8767	391	17,1	373,9
16	Esc. Nac. Nº 130 - La Bolsa	26° 56' 19.86"	65° 17' 4.85"	7.020.910,1352	3.571.038,4121	393	0,5	392,5
17	San Felipe	26° 54' 18"	65° 14' 45.85"	7.024.638,7106	3.574.895,3601	395	3,05	391,95
18	San Pablo	26° 53' 37.86"	65° 18' 43.99"	7.025.911,6202	3.568.330,5414	407	9,5	397,5
19	La Reducción - Bº Pap. Del Tuc. (153 Viviendas)	26° 57' 4.97"	65° 20' 49.85"	7.019.555,2382	3.564.824,1977	399	13,8	385,2
20	La Reducción - Ing. Fronterita	26° 56' 3.88"	65° 20' 12.88"	7.021.430,2640	3.565.853,8287	411	11,4	399,6
21	Ex Ingenio Mercedes - Ing. Fronterita	26° 57' 16.99"	65° 19' 1.74"	7.019.169,5097	3.567.804,2795	393	17,5	375,5
22	La Reducción - Sobre R - 380	26° 57' 0.97"	65° 19' 36.73"	7.019.667,7793	3.566.841,7768	395	23,2	371,8
23	Mercado Municipal	26° 56' 17.88"	65° 19' 23.74"	7.020.992,1672	3.567.207,1924	402	77,7	324,3
24	Camino a la Quebrada - Pozo Nº 6 de Dipos	26° 55' 55.74"	65° 20' 26.88"	7.021.682,8294	3.565.468,9042	416	43,6	372,4
25	Camino a la Quebrada - Pozo Nº 7 de Dipos	26° 55' 33.74"	65° 21' 13.97"	7.022.366,6839	3.564.173,2252	426	54,7	371,3
26	Hosteria Complejo Mutual de lo Camioneros	26° 55' 58.73"	65° 19' 49.73"	7.021.585,4151	3.566.493,3274	407	15	392
27	Vivero SEDA SRL	26° 54' 58"	65° 19' 38.75"	7.023.453,0584	3.566.806,1827	412	20	392
28	Agroservicio SA	26° 55' 12.76"	65° 19' 22.73"	7.022.996,3937	3.567.245,7820	409	15	394
29	Principe Gas	26° 56' 41.86"	65° 19' 36.73"	7.020.255,9810	3.566.844,9086	399	18	381
30	Lopez Guillermo	26° 56' 30.88"	65° 19' 53.76"	7.020.596,4349	3.566.376,9168	404	20	384
31	Aº Calimayo - Arq. Catuara	26° 57' 04"	65° 21' 18"	7.019.589,0804	3.564.047,8689	400	6	394

**Tabla 25.** Datos de las perforaciones (Elaborada con datos extraídos de: Galindo G. 1994)

## **Capítulo XI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **-Efectos Ambientales**

Se pone en evidencia, en virtud de ésta investigación, que existe actualmente un **desequilibrio ambiental**, generado por la alteración del régimen hídrico natural de río Lules, debido a que los requerimientos de la demanda de agua actual, (durante el estiaje), **supera considerablemente** la reserva total de agua, subterránea almacenada en los acuíferos del río.

La explotación actual de aguas superficiales en el Río Lules, en el período de estiaje, está produciendo numerosos efectos ambientales, causados a raíz de la significativa disminución de los volúmenes de agua, entre los que se pueden señalar los siguientes:

- Reducción de la **tasa de infiltración en el suelo**, y con ello la disminución del volumen de **agua almacenada** en los acuíferos.
- Descenso de los niveles piezométricos de los pozos que se encuentran distribuidos en la cuenca (69 Perforaciones), con riesgo de producir fenómenos de subsidencia. El descenso de los niveles estáticos de los acuíferos confinados de los pozos, a raíz de la baja infiltración, debido a la excesiva extracción de agua superficial, hace que surjan problemas ambientales en razón que los propietarios de los pozos se ven obligados a descender las bombas a mayor profundidad generado fenómenos de drenaje de los acuíferos libres hacia las zonas deprimidas lo que produce la falta de aguas en los sectores afectados. Al respecto ya existen antecedentes de pozos donde se profundizaron los mismos para lograr bajar las electrobombas sumergibles.
- Durante el estiaje, se observó que se encuentran sensiblemente alterados los **procesos ecológicos de las aguas** y en las riberas, por la degradación de los ciclos de vida de organismos acuáticos al verse afectados sus hábitats naturales. Lo que está haciendo que éstos, dejen de brindar los beneficios y servicios y ambientales que prestan a la sociedad, como ser el proceso de **autodepuración de las aguas**, con la consiguiente pérdida de su calidad y la de los humedales de la cuenca baja que cumplen la función de abastecimiento de manantiales, la **atenuación de las avenidas** y la **regulación de la temperatura** y nivel de las aguas.

- La reducción excesiva del caudal hídrico, durante los meses de agosto y septiembre, hace que el río deje de bañar con sus aguas, una amplia zona del cauce, lo que ocasiona la ausencia de la corriente subálvea en estos sectores, y con ello la **desaparición del hiporreico**, (como se comprobó durante la campaña), que es el lugar donde se desarrollan los ecosistemas acuáticos (ecotonos), que constituyen zonas de **atenuación natural de contaminantes** por biodegradación, sorción y mezcla (**Danielopol et. al. 2004**).
- En lo referente a la calidad de las aguas, la reducción significativa de su volumen, se ve agravada por la **descarga de residuos urbanos**, dentro del cauce como se verifica en los registros fotográficos (Fotos 25, 26 y 35), alterando su composición química e **incrementando la carga contaminante** en la cuenca baja del cauce.
- Otro grupo importante de perturbaciones que se están generando en el río Lules, y que también provocan la degradación de los ecosistemas fluviales, es por las **especies invasoras**, como la caña Castilla (*Arundo donax*) (Foto 39), estas especies, producen alteraciones morfológicas en la corriente hídrica que resultan en transformaciones de los **hábitats acuáticos** y contribuyen a los cambios en el funcionamiento de los ecosistemas fluviales, lo que está favoreciendo la invasión y dominio de estas especies perjudiciales, mejor adaptadas, como en este caso, a las **condiciones alteradas**.



**Foto 39.** Se observa dentro del lecho del cauce la especie Arundo donax.

#### - Recomendaciones

La degradación de los ecosistemas, debido a la sobreexplotación de sus recursos, aunque sirve a un propósito económico de corto plazo, en el mediano y largo plazo tiene efectos directos y negativos sobre el bienestar social. El ecosistema, mientras no se degrada, representa una fuente de riqueza y biodiversidad, beneficiosa para la sociedad y de allí la importancia de conservarlo en buenas condiciones. (FAO 2002).

A partir de los resultados obtenidos de esta investigación y ante el estado de situación en que se encuentra la **cuenca del río Lules**, por los requerimientos de agua superficial que tiene en la actualidad, se deriva, que sus reservas hídricas están totalmente comprometidas para el riego de plantaciones, en razón de que la demanda de agua supera las **reservas subterráneas almacenada en los acuíferos**, generando los **desequilibrios ambientales** señalados precedentemente. No se encuentra dimensionado adecuadamente el **manejo a escala de cuencas** teniendo en cuenta la **capacidad máxima de extracción** de agua que soporta el río, preservando el mismo, **en las condiciones ambientales deseadas** lo que implica mantener el funcionamiento, composición y estructura del **ecosistema fluvial**. Para este objetivo y teniendo en cuenta que cada cuenca tiene sus características particulares que le dan su propia distinción, y con el objeto de revertir en el tiempo, la situación actual, es aconsejable enfocarse en los siguientes aspectos:

- a) Tener en cuenta cual es el **volumen total de agua almacenada en los acuíferos** durante el período de estiaje.
- b) Es necesario definir los caudales mínimos requeridos para la **conservación de los ecosistemas** fluviales que brindan sus servicios y beneficios ambientales manteniendo su capacidad de resiliencia.
- c) Es conveniente calcular la **disponibilidad de agua** en función de los dos parámetros anteriores (**a** y **b**). (Capacidad máxima de extracción).
- d) Planificar la demanda de agua (Riego, Industria, Potable etc.), considerando la **capacidad máxima extractiva** que permite la cuenca.



Se debe observar que es fundamental conocer el funcionamiento de la cuenca con un enfoque holístico, donde se conjuguen todas las variables intervinientes y sus interrelaciones. (**King et al. 2003**), Para ello será necesario afrontar el desafío que significa conciliar los requerimientos de agua por parte de los ecosistemas acuáticos, con la demanda de agua por parte de la sociedad (**Global Water Partnership. 2000**), a los fines de lograr un aprovechamiento sostenible en el tiempo del recurso. Esto permitirá establecer cuál es la capacidad máxima posible de extracción del recurso, sin afectar la estabilidad y sustentabilidad de la cuenca, haciendo que ésta se mantenga en un estado saludable.

Finalmente cabe mencionar que se proyecta ampliar la actual superficie de cultivos de **4680 Ha** a **6861 Ha** en el futuro (**A. Comba, G.J. Gerbasoni y J.Gil Deza – 2011**), mediante el proyecto para construcción de la presa de embalse que se ubicaría en la localidad de Potrero de Las Tablas, con el fin de acrecentar las reservas de agua disponible, por lo que para la toma de decisiones, será determinante, tener en consideración los aspectos mencionados precedentemente.

---

## BIBLIOGRAFIA

- Aceñolaza, F. 1973.** Sobre la presencia de *Oldhamia* sp. En la Formación Puncoviscana de Cuesta Muñano; provincia de Salta, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 28(1):56-60. Buenos Aires.
- Aceñolaza, F. G. and Durand, FR. 1973.** Trazas fósiles del basamento cristalino del noroeste argentino. *Boletín de la Asociación Geológica de Córdoba*, 2: 45-55.
- Aceñolaza, F.G. y Toselli, A.J., 1981-** Geología del Noroeste Argentino. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Publicación N° 1.287. San Miguel de Tucumán.
- Aceñolaza F.; Toselli, A. y Bossi, G. 1984-** Geología de la Provincia de Tucumán. Public. Espec. de Grad., en Ciencias Geológicas de Tucumán. Cap. (XV): 133-142.
- Agua y Energía Eléctrica del Estado.** Anuario hidrológico Fac, Ciencias. Naturales e IML.
- Alderete M. 1998.** Unidades Fisiográficas Pp. 29-40 en: Gianfrancisco M. Puchulo M.; Durango J. & Aceñolaza G. (Eds). *Geología de Tucumán*. 2<sup>da</sup> Edición. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. Tucumán.
- Aller, Linda. Bennett, Truman. Lehr, Jay H.; Petty, Rebecca J. y Hackett Glen. 1987.** DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Oklahoma: Environmental Protection Agency. EPA/600/2-87/035.
- Arc.Geek2011.** <http://acolita.com//delimitar-automaticamente-micro-cuenca-hidrográfica-especifica-en-arcgis/>
- Auge, Miguel. 2004.** Hidrogeología Ambiental I. [en línea]. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas, [citado Febrero 23, 2011].
- Base de Datos Hidrológica Integrada-(consultada en 2015) (BDHI)-** Subsecretaria de Recursos Hídricos Nacional. (Consultada en 2015). Disponible en: <http://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/>
- Bonaparte J.F. y Bobonikov J. 1974.** Algunos fósiles pleistocenos de la provincia de Tucumán y su significado bioestratigráfico. *Acta Geológica Lilloana* 12,11:171-183.
- Bonaparte, J. y Bossi, G. 1967.** Sobre la presencia de fósiles en la Formación Pirgua del Grupo Salta y su significado cronológico. *Acta Geológica Lilloana* IX: 25-44.
- Bossi G.E. 1969.** Geología y estratigrafía del sector Sur del Valle de Choromoro. *Acta Geológica Lilloana*. 10(2): 17-64.
- Bossi, G. E. y Wampler, M., 1969.** Edad del Complejo Alto de las Salinas y Formación El Cadillal según el método K-Ar. *Acta Geológica Lilloana*, 10: 141-160.
- Bossi, G. E., Palma, R. 1982.** Reconsideración de la estratigrafía del Valle de Santa María, Provincia de Catamarca, Argentina. *Actas Congreso Latinoamericano de Geología* 1: 155-172. Buenos Aires.
- Bossi, G.E. y Moyano, S. 2014.** El Mesozoico de la Provincia de Tucumán. En Moyano et. al.; 2014.

- Burt, T. P.; Pinay, G.; Matheson, F. E.; Haycock, N.; Butturini, A.; Clement, J. C.; Danielescu, S.; Dowrick, D. J.; Hefting, M. M.; Hillbricht-Ilkowska, A. y Maitre V. 2002.** Table fluctuations in the riparian zone: comparative results from a pan-European experiment. *Journal of Hydrology*, 265, p 129-148.
- Caminos, R. 1972.** Sierras Pampeanas de Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. En Leanza A F edit. *Geología Regional Argentina* 41-49.
- Caminos, R. 1979.** Sierras Pampeanas Noroccidentales, Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. Academia Nacional de Ciencias. 2º Simposio de Geología Regional Argentina. *Actas* 1: 225-292. Córdoba.
- Chappuis 1942.** . Einee neue Methode zur Unterschung der Grundwasser-fauna. *Acta Acientiarum Mathematicarum*, 6: 3-7.
- Chilton, J. y Seiler, K.-P. 2006.** Groundwater occurrence and hydrogeological environments. Schmoll, Oliver; Howard, Guy; Chilton, John y Chorus, Ingrid (editores). Protecting groundwater for health: Managing the quality of drinking water sources. [en línea]. 1ª ed. Londres-Seattle: World Health Organization-IWA Publishing. [Citado febrero 22, 2011]. Disponible en: [http://www.who.int/entity/water\\_sanitation\\_health/publication/PGW\\_section\\_2](http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/publication/PGW_section_2).
- CivilGeeks.com.2011-**Ingeniería en construcción - Efectos de la Captación de Aguas Superficiales. <http://civilgeeks.com/2011/12/24/efecto-de-la-captacion-de-aguas-superficiales/>
- Comba, A. Gerbasoni G.J. y Gil Deza J. – 2011** Hidroeconomía del embalse de la presa Potrero de las Tablas –Tucumán Argentina. La Cuenca del Río Lules).
- Custodio, E. 2001.** Effects of groundwater development on the environment. *Bol. Gelog.Minero, Madrid*, 111(6): 107-120.
- Custodio, E. y Llamas M. R. 1983.** Hidrología subterránea. 3ª ed. Barcelona: Omega.
- Custodio, E. y Llamas, M.R. (1976).**- "Hidrología subterránea". Ed. Omega, 2 vol.
- Danieli C. 1956.** Las tobas y sedimentos tobáceos del Alto de Yerba Huasi, Dpto. Famaila provincia de Tucumán. *Acta Geológica Lilloana* 1: 145-184.
- Danielopol, D. L., Gilbert, J., Griebler, C., Gunatilaka, A., Hahn, H. J., Messana, G., Notenboom, J. and Sket, B. 2004.** Incorporating ecological perspective in European groundwater management policy. *Environmental Conservation*, 31 (3). Pp. 185-189
- Dardón j, Morales C. 2006.** ¿Por qué tanta destrucción? Amenazas naturales y estructurales. Pág.25-26.
- Deluchi, M.; Kruse, E.; Laurencena, P.; Carol, E. y Rojo A. 2005.** Variaciones de los niveles freáticos y su relación con el agua superficial en La Plata (Provincia de Buenos Aires). Blarasin, Mónica; Cabrera, Adriana y Matteoda, Edel (compiladores). II Seminario hispano latinoamericano sobre temas actuales de la hidrología subterránea. *Relación Aguas superficiales – aguas subterráneas (actas)*, p 77- 84.
- Díaz, Adriana A. y Ruiz de Galarreta, Alejandro. 2010.** Relación hidrodinámica entre el arroyo Langueyú y el medio subterráneo (Paraje De la Canal, Tandil). Varni, Marcelo; Entraigas, Ilda y Vives, Luis (editores). I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras (actas), p 193-200.

**Dourojeanni A.; Andrei J.; Chávez G.2002.** - Gestión del Agua a nivel de Cuencas.- División de Recursos Naturales e Infraestructura – Santiago de Chile agosto 2002- Naciones Unidas-CEPAL

**Dourojeanni, A. 2000**-Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Naciones Unidas. CEPAL.- Serie Manuales 1. Santiago de Chile.

**Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres** – Consulta: **2014**-Sección Agrometeorología Información en tiempo real y datos históricos de las principales variables meteorológicas en la provincia de Tucumán y Estaciones meteorológicas- Datos meteorológicos [www.eeaoc.org.ar/agromet/](http://www.eeaoc.org.ar/agromet/)

**FAO 2002.** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación- Despilfarro y mal uso del agua. Roma 2002.

**Fernández H.R. et. al. 1998-1999.** Evaluación de tres índices bióticos en un río subtropical de montaña. (Tucumán. Argentina).

**Fernández D. & M. Hidalgo. 2008.** Mapeo geoquímico ambiental de la cuenca del río Lules mediante el uso de muestras de sedimentos de corriente. V Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos. CD-ROM.

**Fernández R. I. y Fernández Haro R. 1982.**La Formación Yerba Huasi (Nov. Nom.), en la Provincia de Tucumán, República Argentina. Rev. Inst. Geol. Min. N°6 (115-125) Universidad Nacional de Jujuy. (NNJu), Jujuy – República Argentina.

**Foster, Stephen; Hirata, Ricardo; Gomes, Daniel; D’Elia, Monica y Paris, Marta. 2002.** Protección de la calidad del agua subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Washington DC: Banco Mundial. ISBN:84-8476-146-0.

**Foster, Stephen; Tuinhof, Albert; Kemper, Karin; Garduño, Hector y Nanni Marcella. 2002-2006.**Caracterización de sistemas de agua subterránea. Conceptos clave e ideas erróneas frecuentes. GW MATE. Gestión sustentable del agua subterránea. Conceptos y herramientas. [En línea]. Banco Mundial, 2002-2006. [citado Marzo 22, 2011]. Serie de notas informativas, Nota 2. Disponible en:<http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/46021221210186362590/>

**Fundación Nueva Cultura del Agua – 2012.** Alteración producida por actuaciones humanas en los ecosistemas fluviales. Disponible en:<http://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/agua-y-ecosistemas/el-rio-como-ecosistema/alteraciones-producidas-por-las-actuaciones-humanas-en-los-ecosistemas-fluviales>

**Galindo 1984 -1995** Título 1: Geología e hidrogeología del río Lules, Dpto. Lules provincia de Tucumán. T 2: Hidrogeología de la cuenca del río Lules provincia de Tucumán.

**Galindo, G. 1983.** Hidrogeología del cono aluvial del Río Lules, Dpto. Lules, Provincia de Tucumán. Fac. de Cs. Naturales e IML- UNT. Inédito.

**Galindo G. 1994.** Características de Perforación. Tesis Doctoral: Hidrogeología de la Cuenca del Río Lules.

**Galindo G. 1994.** Temperaturas medias mensuales de las Estaciones meteorológicas distribuidas en la cuenca del Río Lules. Tesis Doctoral: Hidrogeología de la Cuenca del Río Lules.

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

**García J.W. 2005.** Hidrogeología de la cuenca del Río Gastona, Departamento Chicligasta, Provincia de Tucumán. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales e I.M.L.- UNT 495pp. San Miguel de Tucumán. (Inédita).

**Global Water Partnership. 2000.** Proceso que promueve el desarrollo y manejo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados en una cuenca, con la intención de maximizar el bienestar económico y social de manera equitativa y sin comprometer la sustentabilidad de ecosistemas vitales (Global Water Partnership, 2000).

**González Bonorino, F. 1950a.** Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. Revista de la Asociación Geológica Argentina 5: 81-110.

**González Bonorino, F. 1950b.** Descripción geológica de la Hoja 13e, Villa Alberdi, provincia de Tucumán. Dirección Nacional de Minería. Boletín 74. Buenos Aires.

**González Bonorino, F. 1951a.** Granitos y migmatitas de la falda occidental de la sierra del Aconquija. Revista de la Asociación Geológica Argentina 6: 137-186.

**González Bonorino, F. 1951b.** Descripción geológica de la Hoja 12e, Aconquija Catamarca – Tucumán. Dirección Nacional de Minería, Boletín 75. Buenos Aires.

**Gianfrancisco, M.; Puchulu, M. E.; Durango de Cabrera, J.; Aceñolaza, G. F. (Eds.) 1998.** Geología de Tucumán. Public. Espec. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.

**Guido E, 2011.** Caracterización del medio físico de la cuenca del Río Lules, una aproximación multidisciplinaria a su complejidad.

**Guido E.; P. Sesma; M.E. Puchulo & S. Sabaté. 2002.** Geomorfología. Plan Director para la sistematización de las quebradas del flanco oriental de las Sierra de San Javier y actualización del Sistema de desagües. S.E.O.P., Tucumán.

**Guido y Sesma 2007.** Influencia de la orientación de las laderas (Solanas y umbrías), en la generación d procesos erosivos (Cumbres Calchaquíes, Tucumán). II Foro Latinoamericano de Montañas. Libre de Resúmenes. Pág. 16-18. Tilcara, Jujuy.

**Hidrología.** (Consultada en **2016**) Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/315224304/Hidrología>

[ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/metodos-de-separacion-de-componentes-de-un-hidrograma/](http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/metodos-de-separacion-de-componentes-de-un-hidrograma/)

**INTA 2011.** Protocolo de muestreo transporte y conservación de muestras. Disponible en: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-protocolo\\_de\\_muestreo\\_de\\_aguas\\_inta.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-protocolo_de_muestreo_de_aguas_inta.pdf)

**Jeffrey Goldberg, 2007** Organización de los Estados Americanos Departamento de Desarrollo Sostenible Nota Informativa de Antecedentes para el VI Dialogo Interamericano sobre la Gestión de Agua Ciudad de Guatemala, Guatemala.

**Gleick 1993; Naiman et.al. 1995; Postel y Carpenter 1997.** Organización de Estados Americanos – Departamento de Desarrollo Sostenible - Valoración económica de las cuencas hidrográficas - Una herramienta para el mejoramiento de la gestión de los recursos hídricos.

**K. King, FAO – 2007,** “Un nuevo enfoque de gestión de cuencas hidrográficas Capítulo 3 - pág. 45 a 53).

**Karin M. Krchnak, 2007.** Watershed Valuation as a Tool for Biodiversity Conservation, TNC & USAID.

- King J, Brown C & Sabet H. 2003.** Ascenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers. *River Research and Applications*, 19: 619-639
- Klemm, D. J., P. A. Lewis, F. Fulk y J. M. Lazorchak. 1990.** Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. EPA/600/4-90/030. U. S. Environmental Protection Agency. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Cincinnati, Ohio 45268.
- La Cuenca del Río Lules. 2011.** Una Aproximación Multidisciplinaria a su Complejidad – Facultad de Ciencias Naturales e IML - Universidad Nacional de Tucumán.
- Lamontagne, Sébastien; Leaney, Fred y Herczeg Andrew. 2002.** Streamwater – groundwater interaction: The river Murray at Hattah- Kulkyn Park, Victoria: Summary of results. CSIRO Land and Water, Informe técnico 27.
- Lingappan Venkatachalam, 2007.** Economic Valuation of Watershed Services of Commons: Marginal Opportunity Cost Approach within the Environmental Accounting Framework. Pág 1
- Lopez, J. P.; Piñán Llamas, A.; Bellos, L.; Mansilla, N. 2014-** Petrología y Deformación Proterozoica Superior-Paleozoica Inferior del Basamento Metamórfico de la Provincia de Tucumán. En Moyano, S. et.al. Public. Col. de Graduados en Cs. Geol. De Tucumán. 421p.
- Michael Richards, 1997.** The Potential for Economic Valuation of Watershed Protection in Mountainous Areas: A Case Study from Bolivia, *Mountain Research and Development*, Vol.17No.
- Montico, S. 2002.** Manejo integrado de cuencas hidrográficas rurales: Base para el ordenamiento territorial. Facultad de Ciencias Agrarias. U. N. de Rosario de Santa Fe.
- Mon, R. y Suayter, L. 1973.** Geología de la Sierra de San Javier, Provincia de Tucumán. *Acta Geológica Lilloana* XII, 10: 155-168. Tucumán.
- Mon, R. 1976.** La Tectónica del Borde Oriental de los Andes en las provincias de Salta, Tucumán y Catamarca, Argentina. *Revista Asociación Geológica Argentina*. XXXI (2): 65-72. Buenos Aires.
- Moyano, S.; Puchulu, M. E.; Fernández, D.; Aceñolaza, G.; Vides, M. E.; Nieva, S. (Eds.) 2014.** Geología de Tucumán. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán p. 457.
- Nueva Cultura del Agua 2012.** Disponible en: [http://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/agua-y-ecosistemas/el-rio-como-ecosistema/alteraciones-producidas-por-lasactuaciones-](http://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/agua-y-ecosistemas/el-rio-como-ecosistema/alteraciones-producidas-por-lasactuaciones)
- Orghidan, T. 1959.** Ein neuer Lebensraum des unterirdischen Wassers: Der hyporheische Biotol. *Ach. F. Hydrobiol.* 55 (3): 392-414., [pdf](#). ISBN 92 4 1546689.
- Pizarro J.S. 2010.** El Modelado del Relieve Terrestre. Disponible en; <http://www.simonpizarro>
- Plantas de México 2013.** Disponible en: <http://plantasdemexico.blogspot.com.ar/2013/04/cana-de-cristo-arundo-donax.html>
- PROINSA 2001** Proyectos de Ingeniería S.A. Aprovechamiento Integral del Río Lules. Provincia de Tucumán – República Argentina.
- PROSAP 2006** (Programa de Servicios Agrícolas Provinciales). *Modelo de Gestión Integrada de la cuenca dl río Lules. Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia de Tucumán.* Tucumán.



- Reyes F.C. y Salfity J.A. 1973.** Consideraciones sobre la estratigrafía del Cretácico (Subgrupo Pirgua), del Noroeste Argentino. 3:355-385- Carlos Paz –Córdoba.[Rh-base.php](#)
- Romero, F., H. R. Fernández, V. Manzo, C. Molineri, M. Correa y C. Nieto. 2011** Estudio Integral de la cuenca del río Lules (Tucumán): Aspectos biológicos, 111-135. En: H. R. Fernández y H. Barber (Eds.). LA CUENCA DEL RÍO LULES). Edunt, Tucumán.
- Ruiz Huidobro, O. J., 1955.** Tectónica de las hojas Cochinoca y Salta. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 10 (1): 7-43.
- Ruiz Huidobro O. 1960.** Descripción Geológica de la Hoja 8e, Chicoana, Provincia de Salta. Boletín de la Dirección Nacional de Geología y Minería. 89:1-46, Buenos Aires.
- Ruiz Huidobro O.J. 1960.** El Horizonte Calcáreo Dolomítico en la provincia de Tucumán. Acta Geológica Lilloana. 3:147-171.
- Ruiz Huidobro, O. J. 1966.** Contribución a la geología a la Cumbres Calchaquies y Sierra del Aconquija (Tucumán-Catamarca). Acta Geológica Lilloana, 8: 215-247. Tucumán.
- Stappembek, R. 1921.** Estudios geológicos e hidrológicos de la región subandina de Salta y Tucumán. Anales Ministerio Agric. De la Nación Sec. Geol. Min. Y Miner. Bol. XIV: 5.
- Stelzner, A. 1923.** Contribución a la Geología de la República Argentina en la parte limítrofe de los Andes Chilenos, entre los 32 y 33° Sur. Actas Acad. Nac. De Ciencias. Córdoba VIII (1 y 2): 1-218.
- Sayago J.; M. Collantes & M. Toledo.1998.** Geomorfología Pp. 241-258, en Gianfrancisco M.; Puchulu M.E.; Durango de Cabrera J. y Aceñolaza G.F. (Eds). Geología de Tucumán, Publicación especial del Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán: 241-258, Tucumán.
- SEGEMAR 2000.** Servicio Geológico Minero Argentino - Hoja Geológica 2766-II- San Miguel de Tucumán- Provincias de Tucumán, Catamarca, Salta y Santiago del Estero.-
- Sorooshian, S. 1993.** Editorial. Water Resources Research, Vol. 29, NO. 1, pp 1-3
- Thorntwaite, C. (1948) – An Approach Toward a Rational Classification of Climate.** En Torres Bruchmann, E. (1978).
- Torres Bruchmann E. ,1975.** Las Heladas en la Provincia de Tucumán. Publicación Miscelánea N° 58. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes. Tucumán.
- Toselli A.J., Godeas M. y Rossi J. 1975.** Contribución al conocimiento petrográfico del basamento esquistoso de la Sierra de San Javier, Tucumán, Revista de la Asociación de Mineralogía, Petrología y Sedimentología 6(3-4):103-133.
- Toselli, A., Rossi de Toselli J. e Indri, D, 1984.** Capítulo V El Basamento Igneo-Metamórfico en las Sierras Pampeanas. Pág. 36 a 41. En Aceñolaza et. al. Geología de Tucumán.
- Toselli, A. J. y Rossi, J. 1998.** El basamento metamórfico-igneo de las Sierras Pampeanas de la Provincia de Tucumán. En: Gianfrancisco, M., Puchulu, M. E., Durango de Cabrera, J. y Aceñolaza, G. (eds.) Geología de Tucumán. Publ. Especial del Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán 47-56.
- Triplenlace.2012.**Eutrofización: causas y efectos. Disponible en: <http://triplenlace.com/2012/>
- Turner J.C.M. 1960.** Estratigrafía de las Sierras de Santa Victoria y adyacentes. Academia Nacional de Ciencias. Boletín 41(2):163-196. Córdoba.
- Turner 1970.** The Andes of Northwestern Argentina. Geol. Rdsch CIX: 1028-1063. Stuttgart.



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

**Turner, J.C.M. 1972.** Cordillera Oriental. En A.F. Leanza (Ed.) Geología Regional Argentina. Publicación Especial Academia Nacional de Ciencias. Córdoba 117-142.

**Turc I. 1961.** [http://www.miliarium.com/Proyectos/EstudiosHidrogeologicos/Anejos/Metodos\\_Determinacion\\_Evapotranspiracion/Metodos\\_Empiricos/MetodosEmpiricos2.asp#Turc](http://www.miliarium.com/Proyectos/EstudiosHidrogeologicos/Anejos/Metodos_Determinacion_Evapotranspiracion/Metodos_Empiricos/MetodosEmpiricos2.asp#Turc)

**Tutoriales 2015-** Métodos de separación de componentes Ing. Civil Disponible en: <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/metodos-de-separacion-de-componentes-de-un-hidrograma/>

**UCM 2015.** Universidad Complutense de Madrid- (Consultada en: 2015). Facultad de Educación - Dpto. Didáctica de las Ciencias Experimentales – Distribución de las aguas en el subsuelo.

**Varela, L; Deluchi, M. Laurencena, P. y Kruse, E. 1999.** Particularidades del flujo subterráneo en la región inferior del arroyo Tapalquén (Provincia de Buenos Aires). Tineo, Alfredo (editor). Hidrología Subterránea. II Congreso Argentino de Hidrogeología. IV Seminario hispano argentino sobre temas actuales de la hidrología subterránea (actas). Serie de Correlación Geológica N° 13, p 491- 498.

**Vilela, Cesar Reinaldo.1970.** Hidrogeología. Tucumán: Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán. Opera Lilloana XVIII.

**Winter, Thomas C.; Harvey, Judson W.; Franke, O. Lehn y Alley, William M. 1998.** Groundwater and surface water a single resource. U.S. Geological Service Circular 1139.

**Younger, P.L. 2007.** *Groundwater in the environment, an introduction.* Blackwell Publ. Oxford: 1–317.

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## ANEXOS

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## **TABLAS HIDROMETEOROLÓGICAS**

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

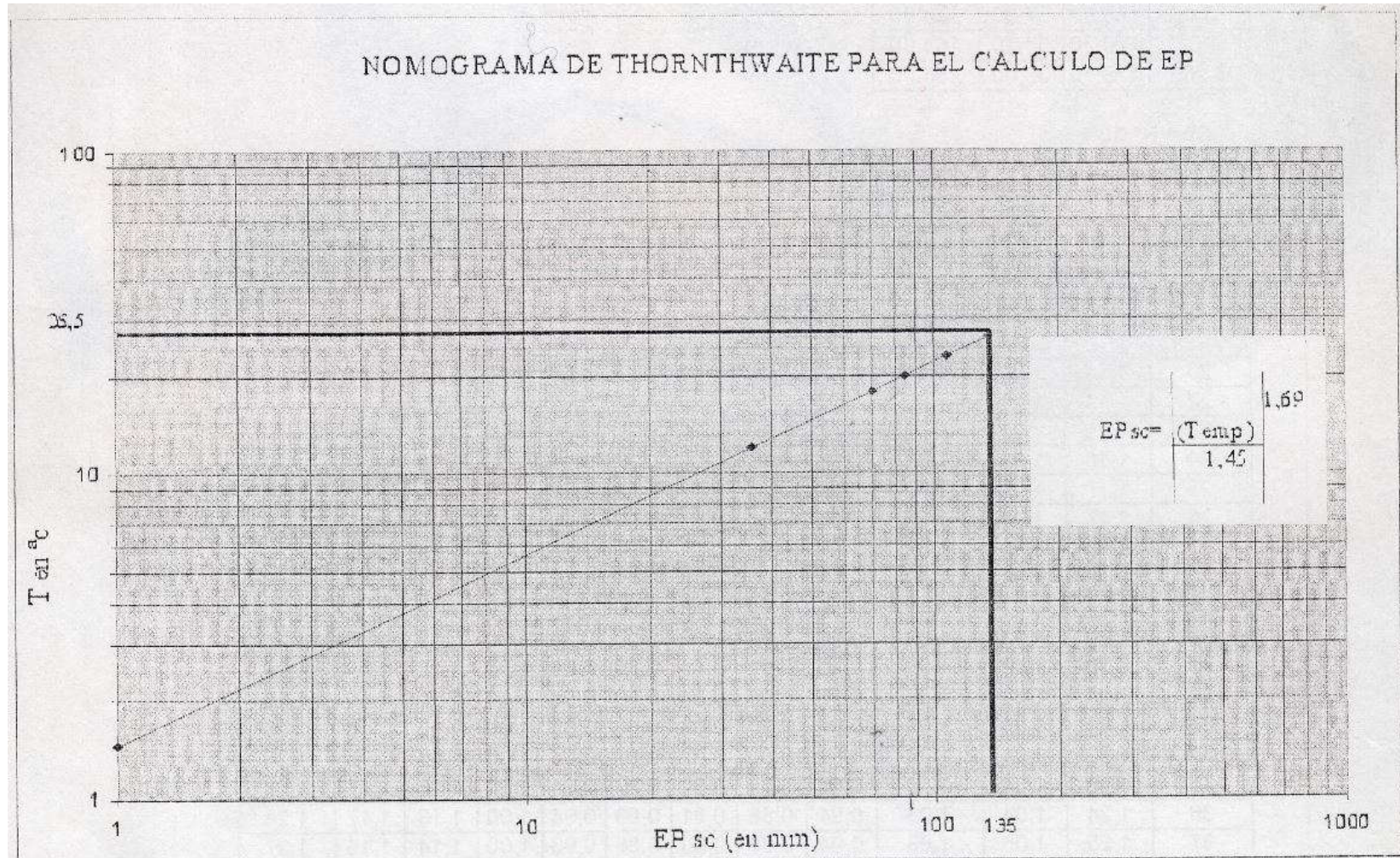
*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

Evapotranspiración Potencial Mensual sin ajustar  
-para temperaturas superiores a 26.5°C

T °C	P (mm)	T °C	P (mm)
26,50	135,00	32,50	175,30
27,00	139,50	33,00	177,20
27,50	143,70	33,50	179,00
28,00	147,80	34,00	180,50
28,50	151,70	34,50	181,80
29,00	155,40	35,00	182,90
29,50	158,90	35,50	183,70
30,00	162,10	36,00	184,30
30,50	165,20	36,50	184,70
31,00	168,00	37,00	184,90
31,50	170,70	37,50	185,00
32,00	173,10	38,00	185,00

**Tabla 26.** Índices calóricos de Thornthwaite (Extraído de **García J.W.** 2005)





**Tabla 27.** Nomograma de Thornthwaite – Evapotranspiración Potencial s/ corregir (Extraído de **García J.W.** 2005)



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

Duración media del resplandor solar posible en el Hemisferio Sur, expresado en unidades de 30 días de 12 horas cada uno (Fi)

Latitud	En	Feb	Mar	Ab	May	Jun	Jul	Ag	Set	Oct	Nov	Dic
5	1,06	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1,00	1,08	1,09	1,15
22	1,14	1,00	1,05	0,97	0,95	0,90	0,94	0,99	1,00	1,09	1,10	1,16
23	1,15	1,00	1,05	0,97	0,95	0,89	0,94	0,98	1,00	1,09	1,10	1,17
24	1,16	1,01	1,05	0,96	0,94	0,89	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,17
25	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
26	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,87	0,92	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
27	1,18	1,02	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,97	1,00	1,11	1,12	1,19
28	1,19	1,02	1,06	0,95	0,93	0,86	0,91	0,97	1,00	1,11	1,13	1,19
29	1,19	1,03	1,06	0,95	0,92	0,86	0,90	0,96	1,00	1,12	1,13	1,20
30	1,20	1,03	1,06	0,95	0,92	0,85	0,90	0,96	1,00	1,12	1,14	1,21
31	1,20	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,96	1,00	1,12	1,14	1,22
32	1,21	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,95	1,00	1,12	1,15	1,23
33	1,22	1,04	1,06	0,94	0,90	0,83	0,88	0,95	1,00	1,13	1,16	1,23
34	1,22	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,16	1,24
35	1,23	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,17	1,25
36	1,24	1,04	1,06	0,94	0,88	0,81	0,86	0,94	1,00	1,13	1,17	1,26
37	1,25	1,05	1,06	0,94	0,88	0,80	0,86	0,93	1,00	1,14	1,18	1,27
38	1,25	1,05	1,07	0,93	0,87	0,80	0,85	0,93	1,00	1,14	1,19	1,27
39	1,26	1,06	1,07	0,93	0,86	0,79	0,84	0,92	1,00	1,15	1,19	1,28
40	1,27	1,06	1,07	0,93	0,86	0,78	0,84	0,92	1,00	1,15	1,20	1,29
41	1,28	1,06	1,07	0,93	0,85	0,77	0,83	0,92	1,00	1,15	1,21	1,30
42	1,28	1,07	1,07	0,92	0,85	0,76	0,82	0,92	1,00	1,16	1,22	1,31
43	1,29	1,07	1,07	0,92	0,84	0,75	0,81	0,91	1,00	1,16	1,22	1,32
44	1,30	1,08	1,07	0,92	0,83	0,74	0,81	0,91	0,99	1,17	1,23	1,33
45	1,31	1,09	1,07	0,92	0,82	0,73	0,80	0,90	0,99	1,17	1,24	1,34

**Tabla 28.** Factor de iluminación – Evapotranspiración Potencial Corregida  
(Extraído de **García J.W.** 2005)

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## **TABLA DE DERRAME ANUAL DE RÍOS: ÁREAS Y ESTACIONES DE AFOROS**

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

<b>N° Ord.</b>	<b>Nombre del Río</b>	<b>Derrame anual [Hm<sup>3</sup>]</b>	<b>Área de la Cuenca [Km<sup>2</sup>]</b>	<b>Estación de Aforo</b>
<b>1</b>	Río Famailla	<b>41.1</b>	<b>160</b>	<b>Sauce Huascho</b>
<b>2</b>	Río Los Sosas	<b>140</b>	<b>620</b>	<b>Km 19 Ruta 307</b>
<b>3</b>	Río Pueblo Viejo	<b>225.11</b>	<b>497</b>	<b>Toma superior</b>
<b>4</b>	Río Solco	<b>163</b>	<b>140</b>	<b>La Higuera</b>
<b>5</b>	Río Membrillo	<b>30.6</b>	<b>40</b>	<b>La Higuera</b>
<b>6</b>	Río Cochuna	<b>126</b>	<b>155</b>	<b>Los Hornitos</b>
<b>7</b>	Río Las Cañas	<b>167</b>	<b>1100</b>	<b>Las Hachas</b>
<b>8</b>	Río Las Cañas 2	<b>101</b>	<b>1000</b>	<b>Potrero del Clavillo</b>
<b>9</b>	Río Gastona	<b>337.8</b>	<b>885</b>	<b>En Dique El Molino</b>
<b>10</b>	Río Matazambi	<b>19.7</b>	<b>60</b>	<b>En Puente de Ruta 38</b>

**Tabla 29.** Registro de Caudales, Áreas y Estaciones de Aforos de Causes ubicados al Sur del Río Lules

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## **TABLAS DE PRECIPITACIONES MEDIAS, MÍNIMAS Y MÁXIMAS ANUALES**

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.

Estación Meteorológica	Latitud	Longitud	Precipitaciones Medias Anuales		Prec. M Anual	Temp.	msnm
			X	Y			
San Pablo	26° 52' 00"	65° 18' 00"	3567246,38	7028352,5	1114,7	19,2	415
Lules	26° 56' 00"	65° 21' 00"	3565801,05	7022868,13	1091,8	19	416
La Quebrada	26° 53' 00"	65° 22' 00"	3562166,18	7026204,58	1211,2	18,5	631
Villa Nougues	26° 51' 00"	65° 23' 00"	3562241,88	7030015,51	1454	15,2	1408
Potrero de Las Tablas	26° 51' 00"	65° 26' 00"	3557041,61	7029964,92	1637	16,6	695
El Nogalito	26° 47' 00"	65° 28' 00"	3552649,46	7037925,09	1053,4	16,8	1050
Bella Vista	27° 01' 00"	65° 18' 00"	3569676,9	7011506,37	934	19,9	367
Manuael García Fernández	26° 57' 00"	65° 16' 00"	3572462,74	7019593,66	1062	19,9	350
San Felipe	26° 52' 00"	65° 14' 00"	3575508,06	7027595,17	845	19,7	400
La Reducción	26° 57' 00"	65° 21' 00"	3564924,92	7018934,55	1261,9	19,8	403

**Tabla 30.** Precipitación Media Anual por Estaciones.

(Elaborada con datos de **BDHI** – Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación)

Estaciones Meteorológicas	Precipitaciones Mínimas		Prec. Mínimas	Año 2013
San Pablo			815	
Lules			289,6	
La Quebrada			573	
Villa Nougues			778,1	
Potrero de Las Tablas			747,1	
El Nogalito			671	
Bella Vista			432	
Manuael García Fernández			397,2	
San Felipe			630	
La Reducción			541,6	
Estaciones Meteorológicas	Precipitaciones Máximas		Prec. Máximas	Año 2008
San Pablo			2750	
Lules			1990	
La Quebrada			1761	
Villa Nougues			2235,6	
Potrero de Las Tablas			1720	
El Nogalito			1507	
Bella Vista			1750	
Manuael García Fernández			1702	
San Felipe			1050	
La Reducción			1695	

**Tabla 31.** Precipitación Mínima y Máxima anual por Estaciones

(Elaborada con datos de **BDHI** – Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación)

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

**TABLAS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIAS,  
MÍNIMAS Y MÁXIMAS ANUALES**

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.

		<b>Evapotranspiración Media Anual</b>			
				<b>Er [mm]</b>	<b>Temp. °C</b>
San Pablo				730,7	19
Lules				718,8	19,2
La Quebrada				768,1	18,6
Villa Nougues				834,5	15,3
Potrero de Las Tablas				916,9	16,9
El Nogalito				685,5	16,8
Bella Vista				649,2	19,9
Manuael García Fernández				711,2	20
San Felipe				602,8	19,7
La Reducción				800,4	19,8

**Tabla 32.** Evapotranspiración media anual por Estación

		<b>Evapotranspiración Mínima Anual</b>			
				<b>Er [mm]</b>	<b>Temp. °C</b>
San Pablo				583,6	19
Lules				256,9	19,2
La Quebrada				446,3	18,6
Villa Nougues				544,9	15,3
Potrero de Las Tablas				535,9	16,9
El Nogalito				495,9	16,8
Bella Vista				359,9	19,9
Manuael García Fernández				336,2	20
San Felipe				484	19,7
La Reducción				430,8	19,8
		<b>Evapotranspiración Máxima Anual</b>			
				<b>Er [mm]</b>	<b>Temp. °C</b>
San Pablo				1304,5	19
Lules				1071,7	19,2
La Quebrada				984,5	18,6
Villa Nougues				1094,3	15,3
Potrero de Las Tablas				946,4	16,9
El Nogalito				871,4	16,8
Bella Vista				995,3	19,9
Manuael García Fernández				978,6	20
San Felipe				704,2	19,7
La Reducción				973,8	19,8

**Tabla 33.** Evapotranspiración Mínima y Máxima anual por Estaciones



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## **TABLAS DE DATOS METEOROLÓGICOS**

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

Informe Meteorológico		Sección Agrometeorología												
Interesado: ING. RICARDO PAZ BELLONI														
<b>LOCALIDAD: SAN PABLO</b>														
	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>TOT.ANUAL</b>
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (mm)	PROMEDIO(1916-92)	207,3	184,0	185,6	91,8	35,2	21,3	13,6	13,4	20,7	65,4	113,1	162,6	1114,7
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	PROMEDIO(1961-90)	24,8	23,9	22,0	19,0	15,7	12,1	12,1	14,2	16,8	20,6	22,8	24,3	19,0
<b>LOCALIDAD: LULES</b>														
	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>TOT.ANUAL</b>
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (mm)	PROMEDIO(1916-92)	214,3	184,4	182,8	83,8	34,5	18,2	12,6	12,6	16,0	61,6	112,4	156,7	1091,8
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	PROMEDIO(1961-90)	25,1	24,1	22,2	19,2	15,9	12,2	12,2	14,3	17,0	20,8	22,9	24,6	19,2
<b>LOCALIDAD: LA REDUCCION</b>														
	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>TOT.ANUAL</b>
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (mm)	PROMEDIO (1980-92)	272,5	221,0	214,2	99,2	28,8	19,1	15,3	13,2	24,8	53,5	110,4	202,4	1261,9
<b>LOCALIDAD: VILLA NOUGUES</b>														
	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>TOT.ANUAL</b>
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (mm)	PROMEDIO (1921-82)	270,3	224,8	220,6	112,9	52,7	30,2	16,7	21,3	32,8	99,9	169,3	202,5	1454,0
<b>LOCALIDAD: SAN MIGUEL DE TUCUMAN</b>														
	<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>TOT.ANUAL</b>
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	PROMEDIO (1971-2010)	25,0	24,0	22,6	19,2	16,0	13,0	12,7	14,9	17,5	21,3	22,9	24,5	19,5

Tabla 34. Datos Meteorológicos proporcionados por la EEAOC

Informe Pluviométrico		TUCUMÁN Bicentenario de la Independencia 2010-2016	
<b>INFORME PLUVIOMETRICO</b>			
Interesado: ING. RICARDO PAZ BELLONI			
Localidad: VILLA NOUGUES			
Período: 1921 - 1982			
<b>AÑO</b>	<b>TOT.ANUAL</b>	1949	1644,9
1921	1717,8	1950	1110,7
1922	1327,9	1951	1080,9
1923	1201,2	1952	780,0
1924	778,1	1953	1002,0
1925	996,3	1954	876,0
1926	1585,9	1955	1149,3
1927	1206,1	1956	1843,6
1928	1219,4	1957	1464,3
1929	1169,3	1958	2023,2
1930	1785,1	1959	1985,8
1931	1931,6	1960	1606,4
1932	1726,3	1961	1768,1
1933	1730,7	1962	1231,5
1934	1476,9	1963	1781,5
1936	1256,6	1964	1536,5
1937	784,4	1965	1586,5
1938	1376,4	1966	1562,5
1939	1483,4	1967	1334,9
1940	1546,1	1968	2090,5
1941	1344,2	1978	1456,0
1942	1471,8	1979	2132,2
1943	1504,8	1980	1504,6
1944	1409,7	1981	2235,6
1945	1413,6	1982	1590,3
1946	1349,4	PROMEDIO	1454,0
1947	1318,1		
1948	1118,3		

Tabla 35. Precipitación media anual Estación Villa Nougues (EEAOC. 2015)

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

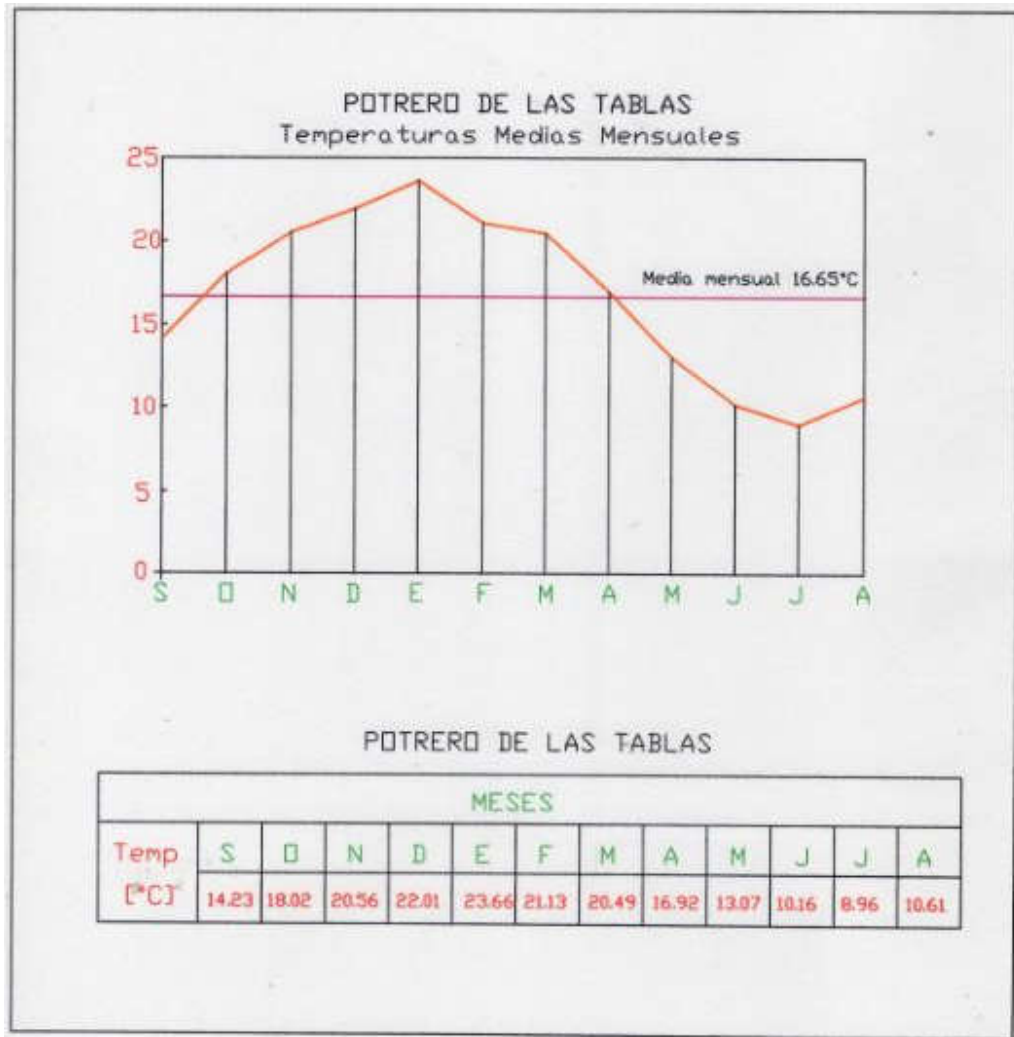
*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## **GRÁFICOS DE TEMPERATURAS MEDIAS** **MENSUALES POR ESTACIONES Y SUS TABLAS**

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

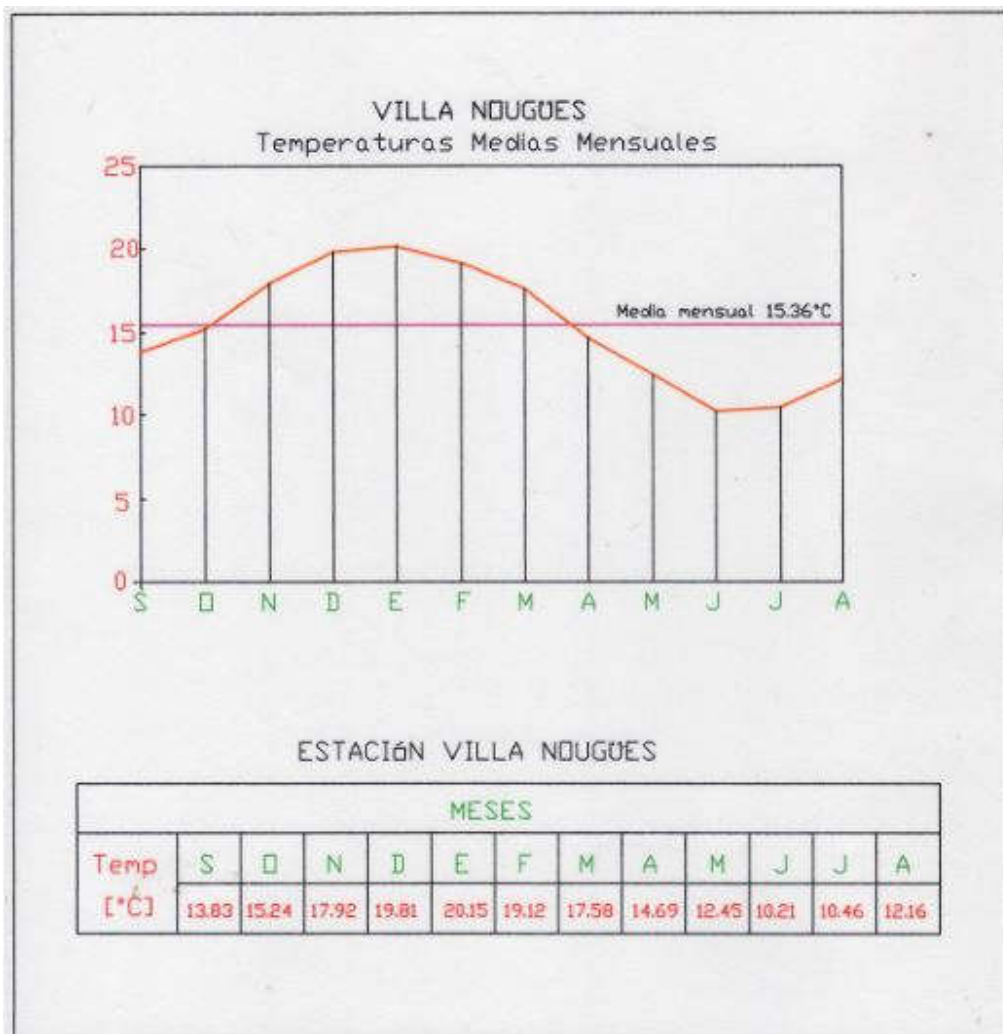


“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.



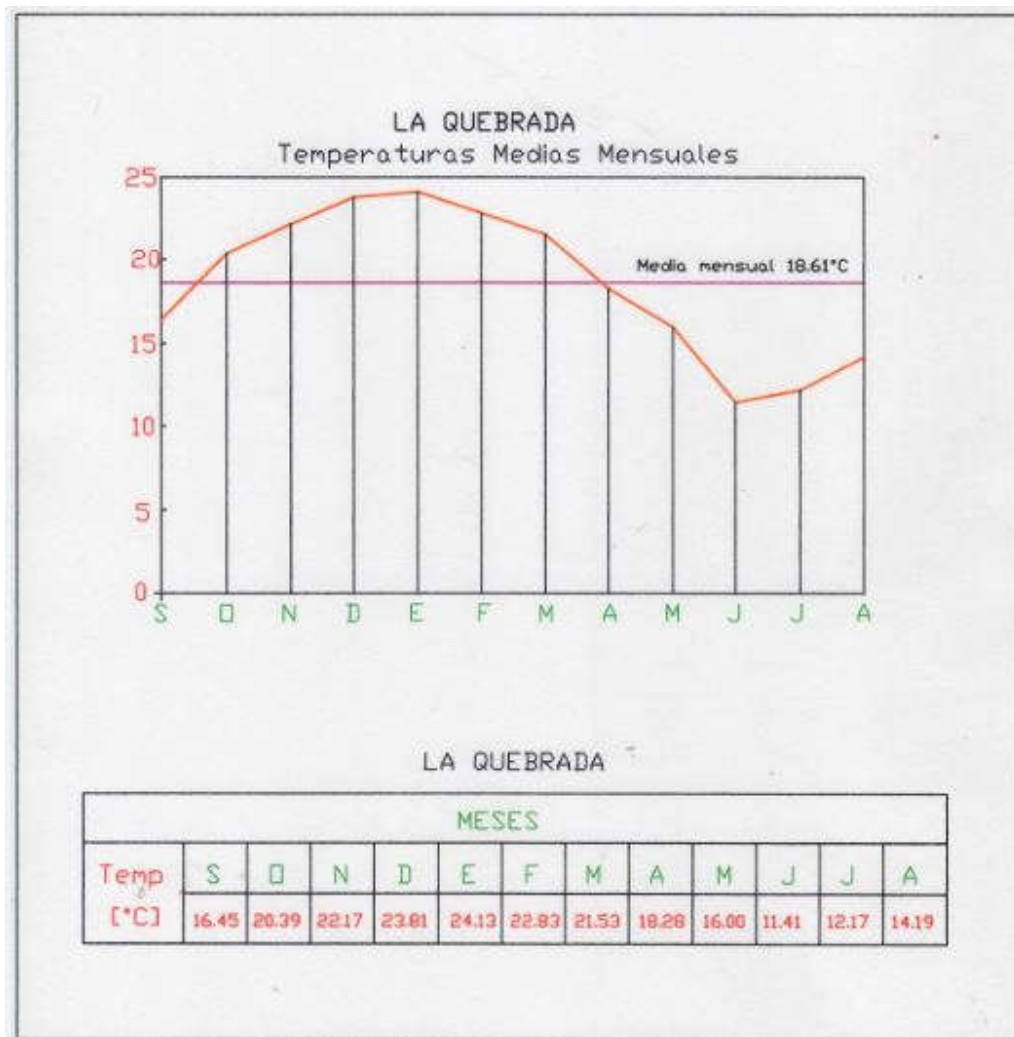
**Figura 51.** Temperaturas medias mensuales – Estación Meteorológica: Potrero de Las Tablas  
 (Extraído de **Galindo G.** 1994)

“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.



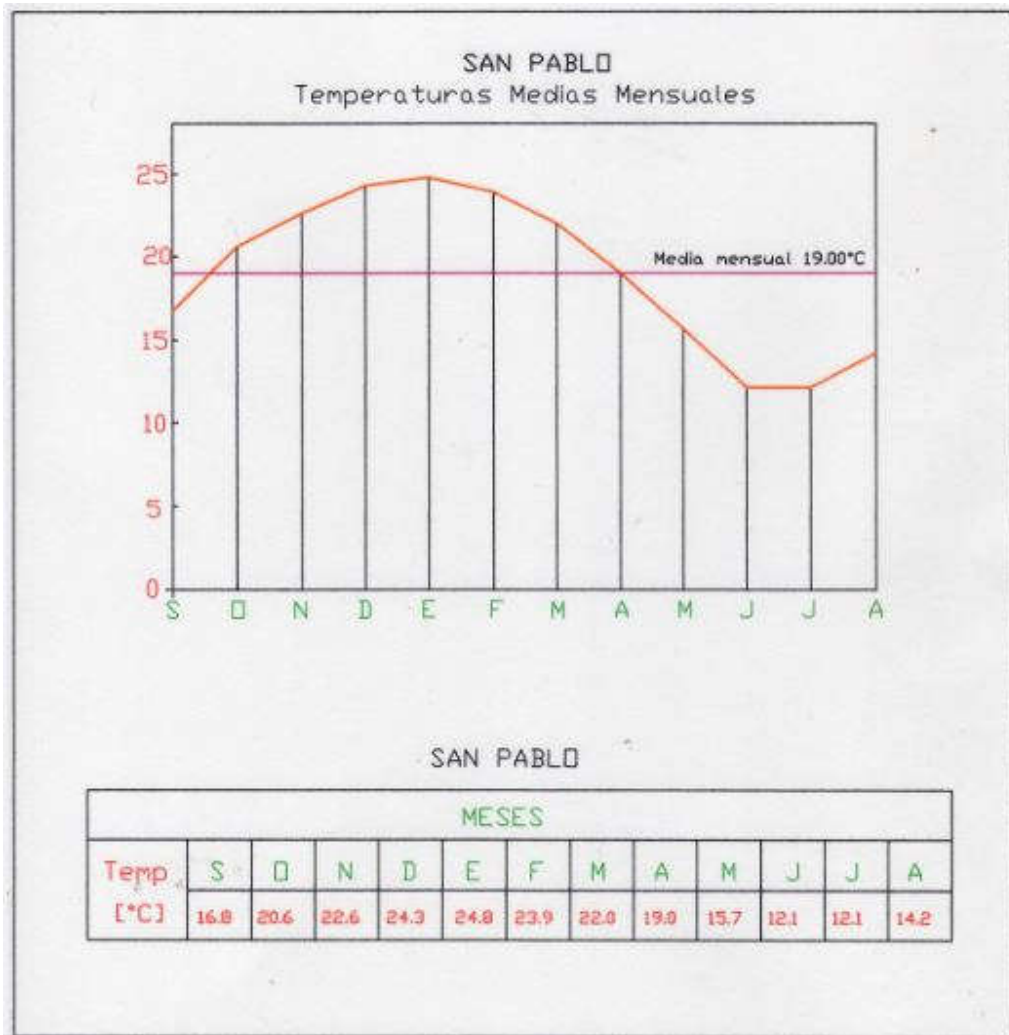
**Figura 52.** Temperaturas medias mensuales – Estación Meteorológica: Villa Nougues  
 (Extraído de Galindo G. 1994)

“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.



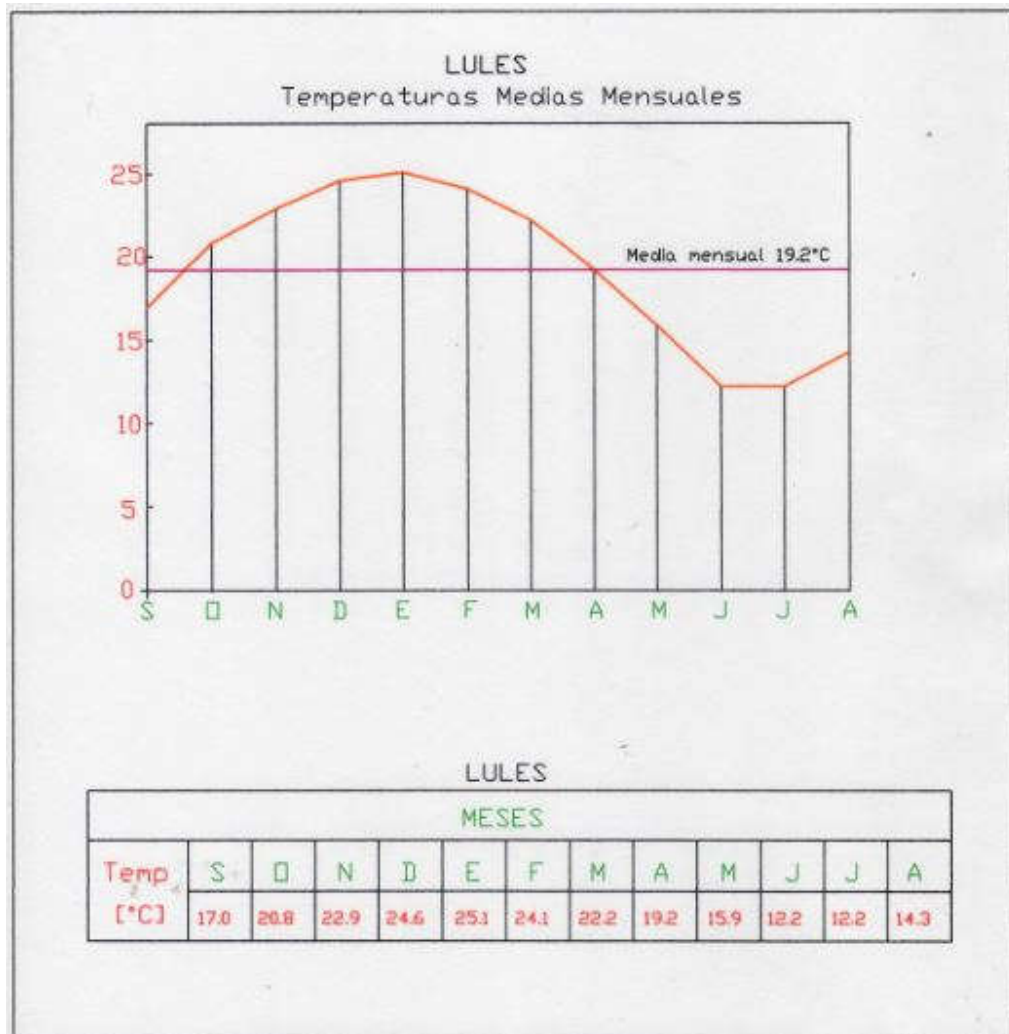
**Figura 53.** Temperaturas medias mensuales – Estación Meteorológica: La Quebrada  
 (Extraído de Galindo G. 1994)

“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.



**Figura 54.** Temperatura medias mensuales – Estación Meteorológica: San Pablo  
 (Extraído de Galindo G. 1994)

“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.



**Figura 55.** Temperaturas medias mensuales – Estación Meteorológica: Lules  
 (Extraído de Galindo G. 1994)

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## **GRAFICOS DE BALANCE HÍDRICO POR ESTACIÓN** **Y SUS TABLAS DE RESULTADOS**



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.

ESTACION: Potrero de Las Tablas		Tabla N° 36												Figura N°41
LATITUD 26°51'		MESES												
	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	ANUAL	
T media (°C)	8,96	10,61	14,23	18,0	20,56	22,01	23,66	21,13	20,49	16,92	13,07	10,61	16,7	
P (mm)	2,42	1,66	8,71	13,36	30,47	58,35	72,96	73,58	51,78	35,6	12,99	6,24	368,1	
EP	19,9	27,9	47,6	78,2	99,6	118,3	128,1	94,1	93,5	61,2	38,3	25,1	831,8	
P-EP	-17,5	-26,2	-38,9	-64,8	-69,1	-60,0	-55,1	-20,5	-41,7	-25,6	-25,3	-18,9	-463,7	
ER	2,4	1,7	8,7	13,4	30,5	58,4	73,0	73,6	51,8	35,6	13,0	6,2	368,1	
Almac.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Var. Almac.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Exceso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Deficit	17,5	26,2	38,9	64,8	69,1	60,0	55,1	20,5	41,7	25,6	25,3	18,9	463,7	

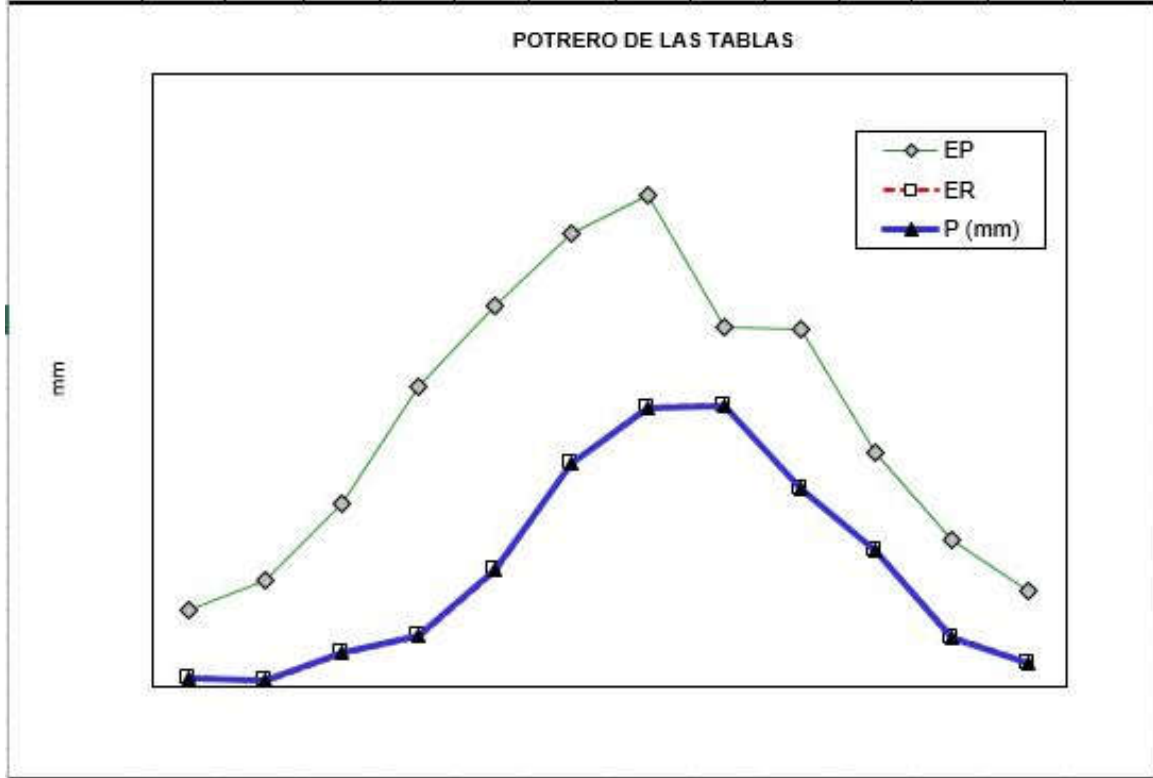


Figura 56. Balance Hídrico Estación Potrero de Las Tablas

“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.

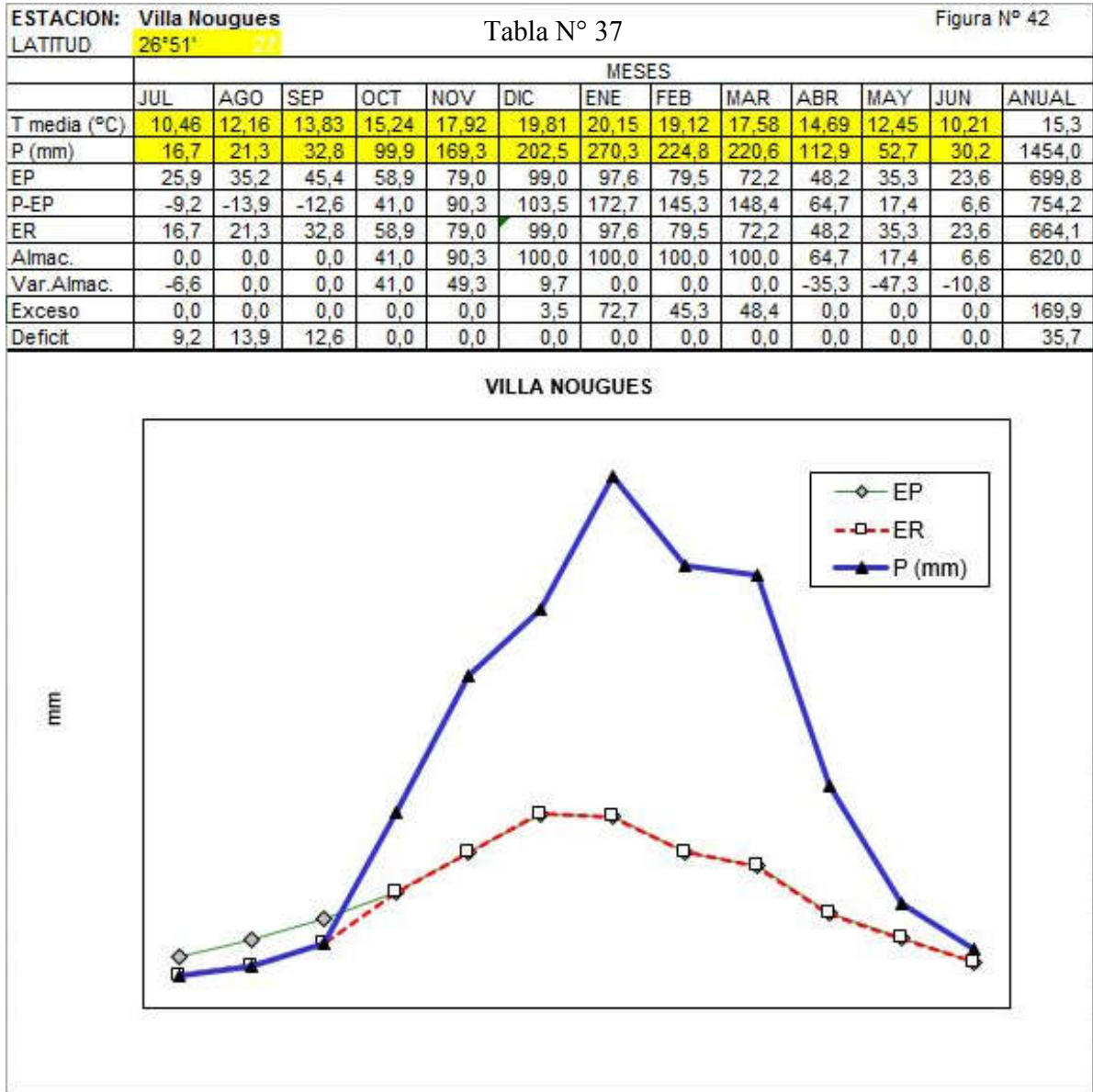


Figura 57. Balance Hídrico Estación Villa Nougues

“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.

ESTACION: La Quebrada		Tabla N° 38												Figura N° 43
LATITUD		MESES												
		JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	ANUAL
T media (°C)		12,17	14,19	16,45	20,39	22,17	23,81	24,13	22,83	21,53	18,28	16,00	11,41	18,6
P (mm)		7,90	2,50	24,8	78,0	143,2	207,4	271,9	200,9	168,2	140,3	53,7	32,8	1331,6
EP		33,5	45,7	60,8	96,3	113,2	135,0	132,4	107,2	101,7	69,8	53,9	28,4	977,9
P-EP		-25,6	-43,2	-36,0	-18,3	30,0	72,4	139,5	93,7	66,5	70,5	-0,2	4,4	353,7
ER		7,9	2,5	24,8	78,0	113,2	135,0	132,4	107,2	101,7	69,8	53,7	28,4	854,6
Almac.		0,0	0,0	0,0	0,0	30,0	72,4	100,0	93,7	66,5	70,5	0,0	4,4	437,5
Var. Almac.		-4,4	0,0	0,0	0,0	30,0	42,4	27,6	-6,3	-27,2	4,0	-70,5	4,4	
Exceso		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,5
Deficit		25,6	43,2	36,0	18,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	123,3

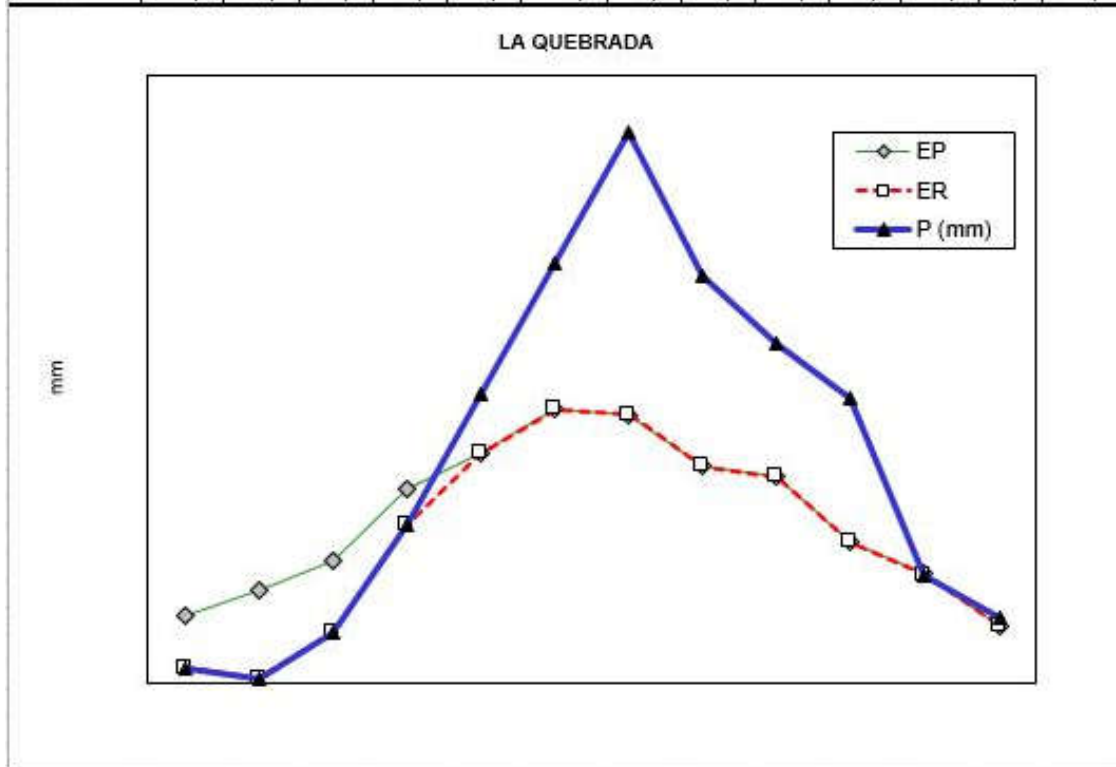


Figura 58. Balance Hídrico Estación La Quebrada

“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.

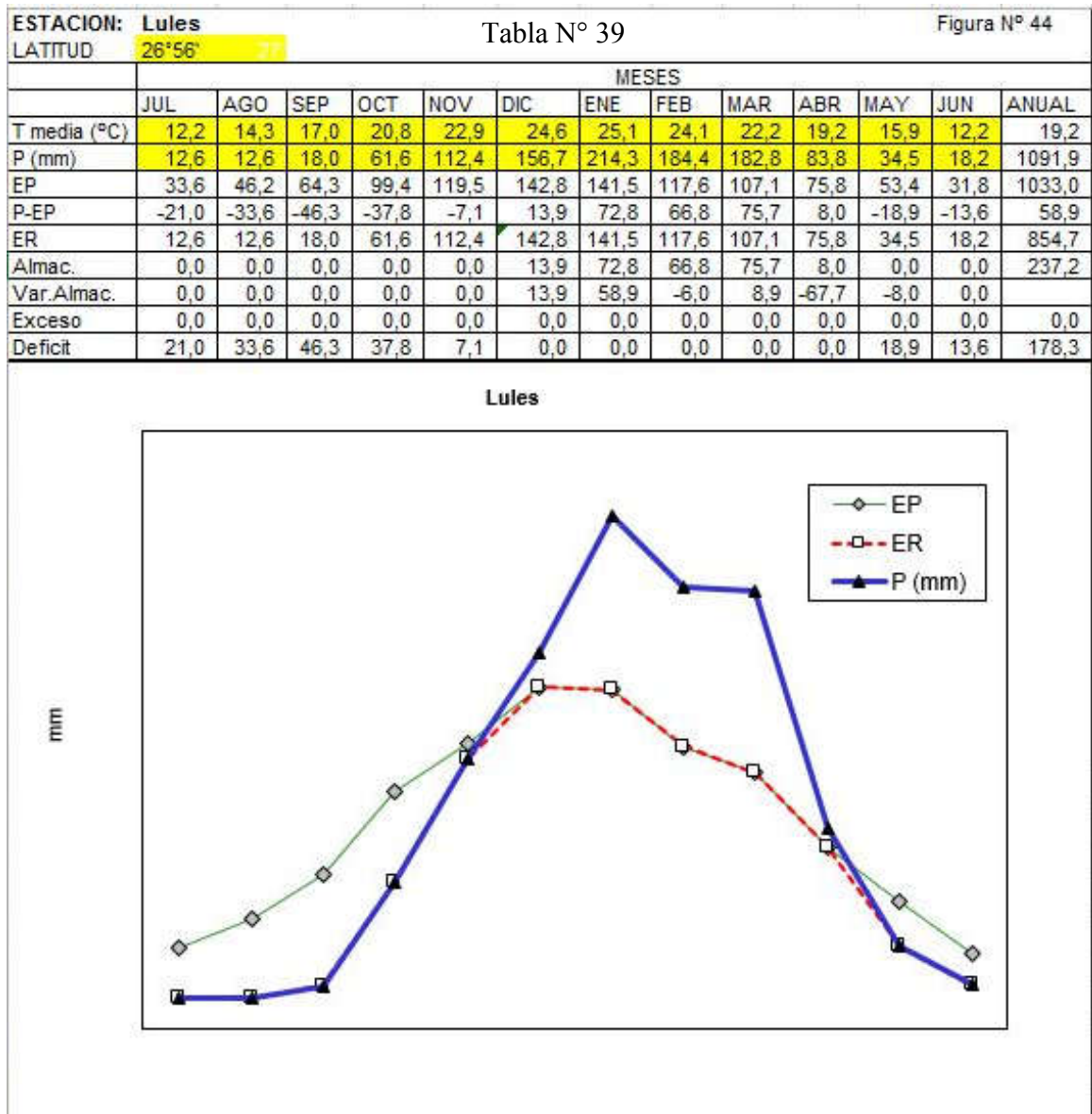


Figura 59. Balance Hídrico Estación Lules



“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.

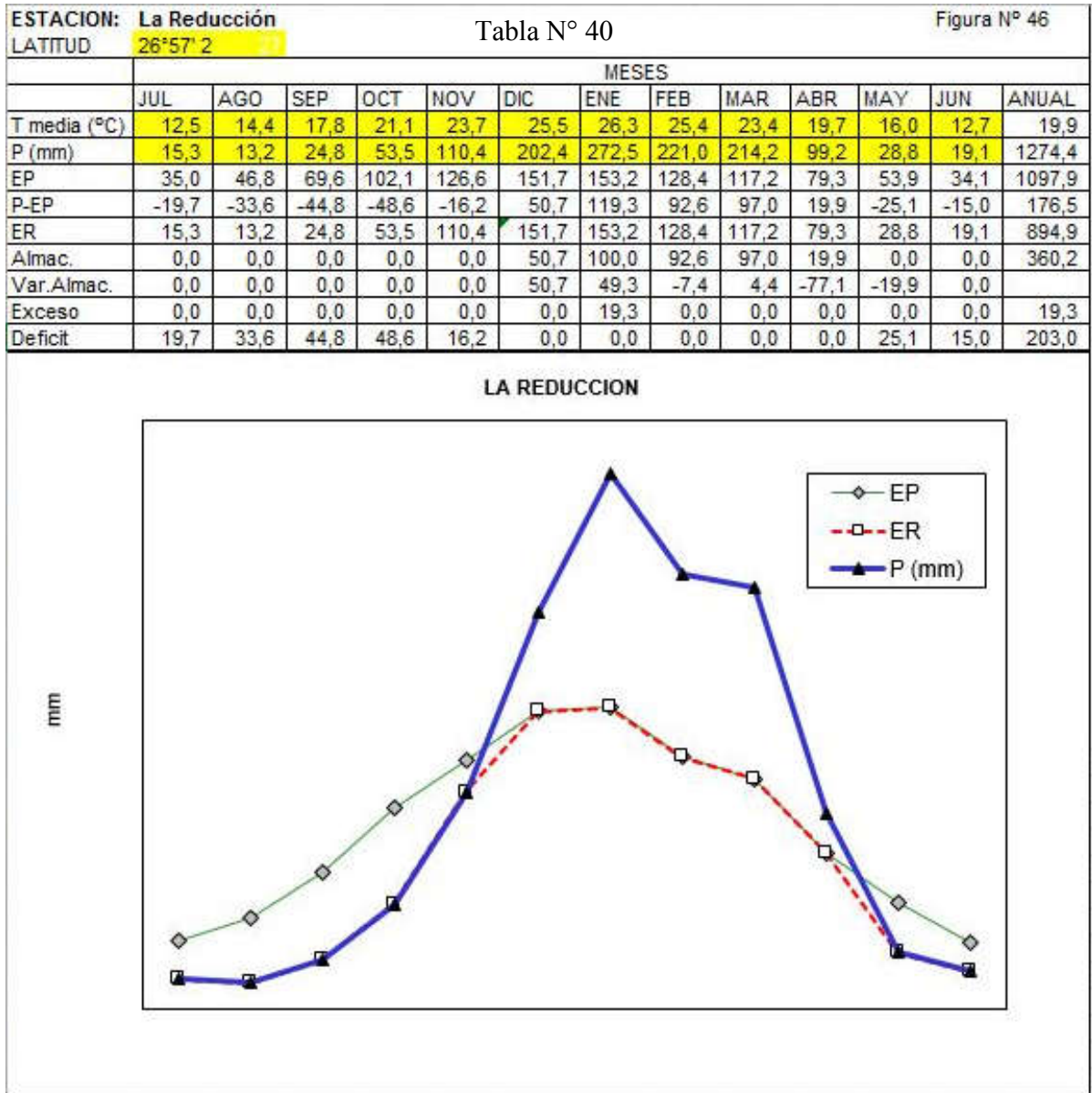
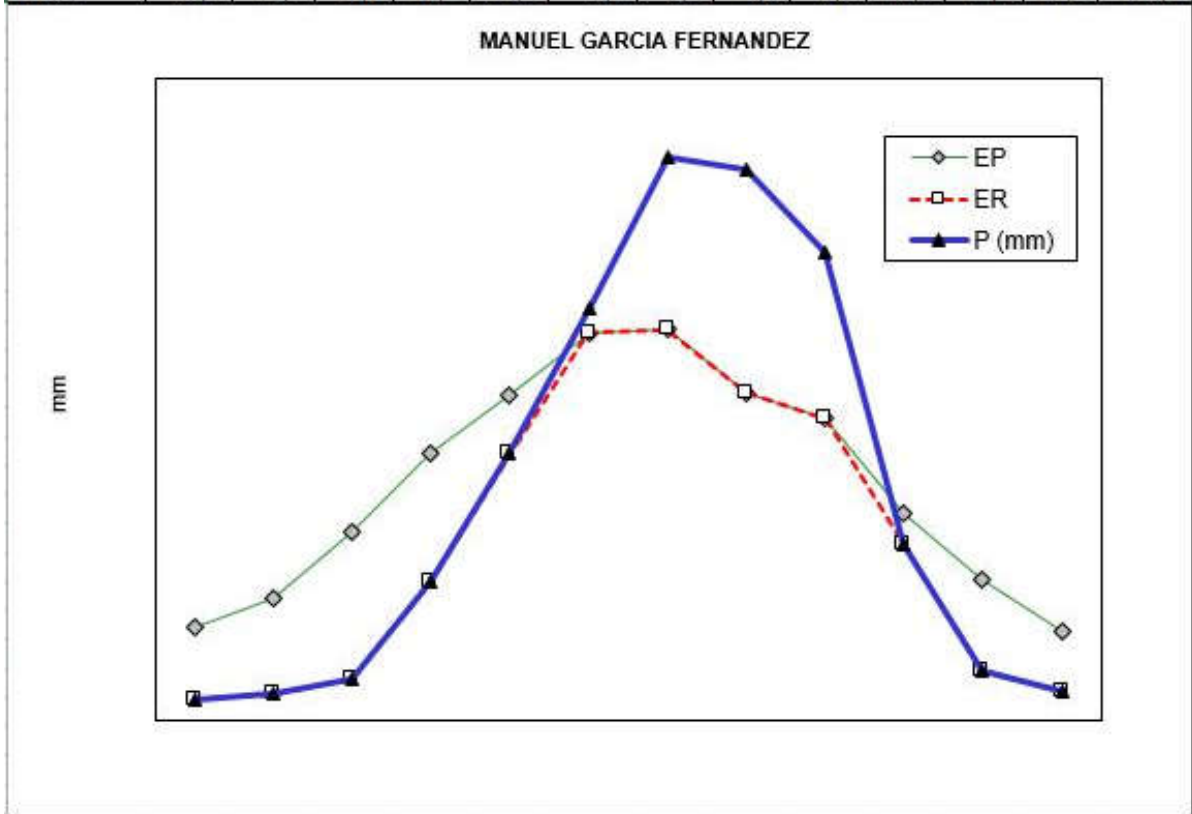


Figura 60. Balance Hídrico Estación La Reducción

“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.

ESTACION: Manuel García Fernández		Tabla N° 41												Figura N° 47
LATITUD 26°57'3"		MESES												
	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	ANUAL	
T media (°C)	12,8	14,5	18,3	21,3	23,7	25,4	26,2	25,3	23,4	19,9	16,2	12,9	20,0	
P (mm)	8,2	10,4	16,5	54,0	103,6	159,9	218,7	214,3	181,7	68,4	19,3	11,6	1066,6	
EP	36,5	47,3	72,9	103,7	126,6	150,7	152,1	127,6	117,2	80,5	55,0	35,0	1105,1	
P-EP	-28,3	-36,9	-56,4	-49,7	-23,0	9,2	66,6	86,7	64,5	-12,1	-35,7	-23,4	-38,5	
ER	8,2	10,4	16,5	54,0	103,6	150,7	152,1	127,6	117,2	68,4	19,3	11,6	839,6	
Almac.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,2	66,6	86,7	64,5	0,0	0,0	0,0	227,0	
Var.Almac.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,2	57,4	20,1	-22,2	-64,5	0,0	0,0		
Exceso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Deficit	28,3	36,9	56,4	49,7	23,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,1	35,7	23,4	265,5	



**Figura 61.** Balance Hídrico Estación Manuel García Fernández



“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.

ESTACION: Bella Vista		Tabla N° 42												Figura N° 48
LATITUD 27°01'3"		MESES												
	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	ANUAL	
T media (°C)	12,8	14,5	18,3	21,3	23,7	25,4	26,2	25,3	23,4	19,9	16,2	12,9	20,0	
P (mm)	7,5	8,9	13,1	49,2	92,4	143,6	184,1	165,3	169,6	64,9	24,7	13,4	936,7	
EP	36,5	47,3	72,9	103,7	126,6	150,7	152,1	127,6	117,2	80,5	55,0	35,0	1105,1	
P-EP	-29,0	-38,4	-59,8	-54,5	-34,2	-7,1	32,0	37,7	52,4	-15,6	-30,3	-21,6	-168,4	
ER	7,5	8,9	13,1	49,2	92,4	143,6	152,1	127,6	117,2	64,9	24,7	13,4	814,6	
Almac.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,0	37,7	52,4	0,0	0,0	0,0	122,1	
Var.Almac.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,0	5,7	14,7	-52,4	0,0	0,0		
Exceso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Deficit	29,0	38,4	59,8	54,5	34,2	7,1	0,0	0,0	0,0	15,6	30,3	21,6	290,5	

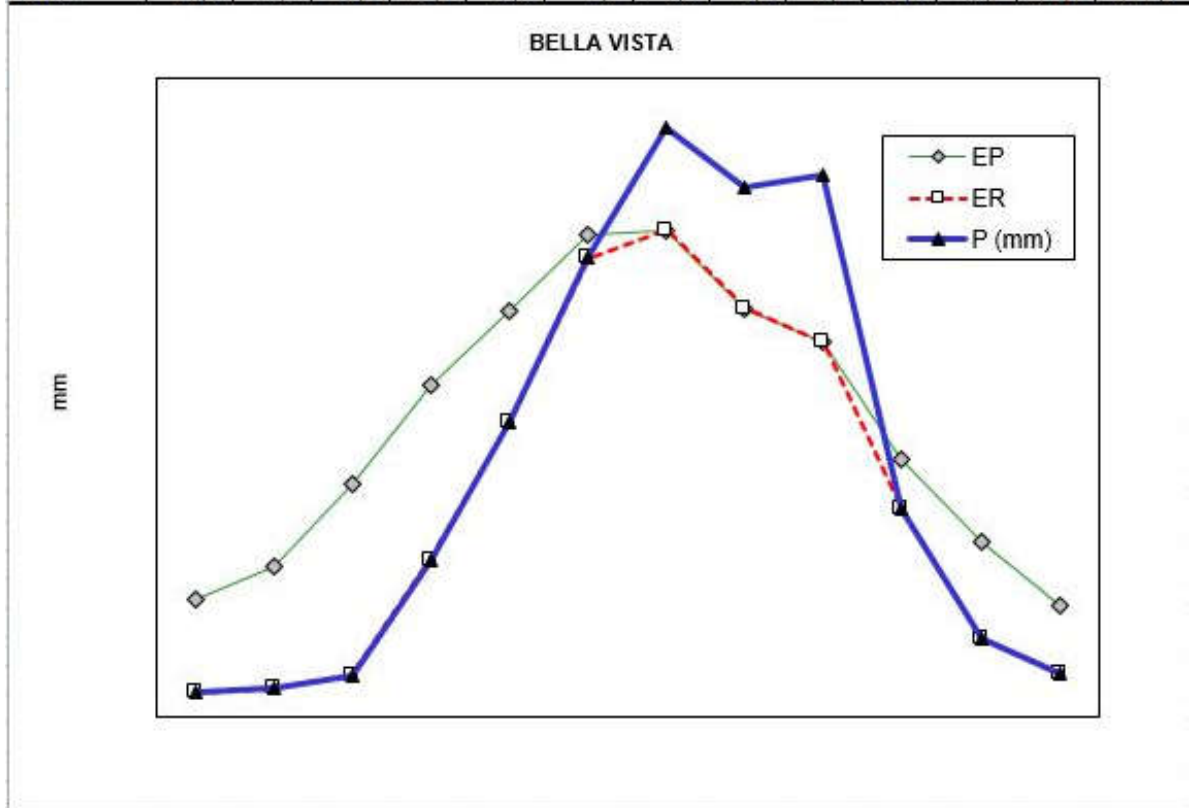


Figura 62. Balance Hídrico Estación Bella Vista

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

**MEDICIONES DE INFILTRACIÓN Y CONDUCTIVIDAD**  
**HIDRÁULICA**  
**CON INFILTRÓMETRO DE DOBLE CILINDRO**

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## **INFILTRÓMETRO DE DOBLE CILINDRO UTILIZADO EN LAS DETERMINACIONES**



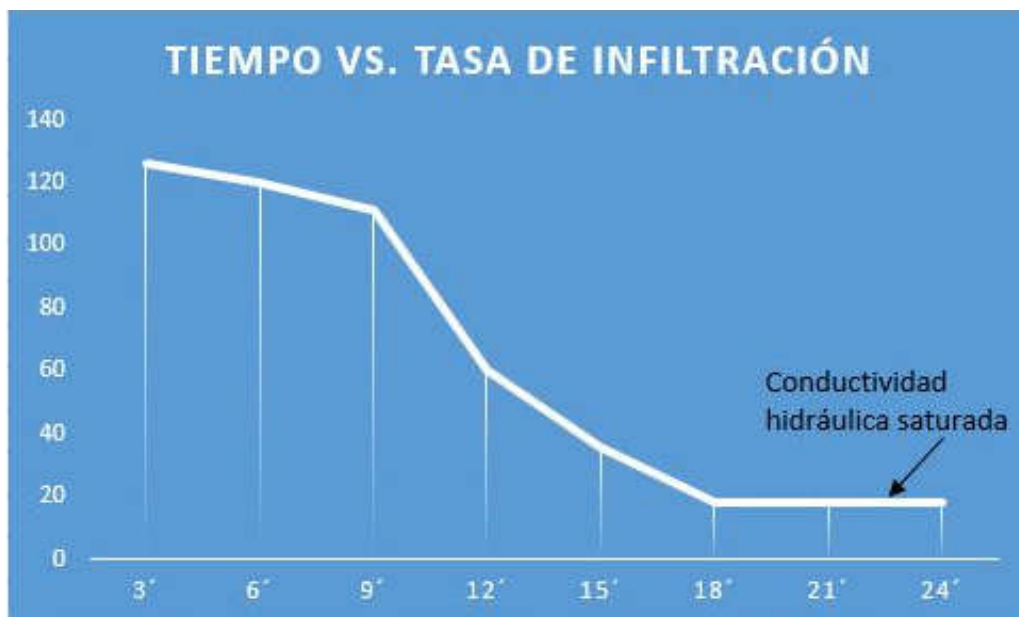
**Foto 40:** Infiltrómetro midiendo en Punto 1 (Tomado en Campaña)

### Determinaciones sobre la cuenca media del Río Lules

**Muestra 2:** Ubicada sobre margen izquierda del río Lules – a 120 m aguas arriba de la 1

<b>Fecha:</b> 11/06/2016		<b>Hora inicio:</b> 9.12		<b>Ubicación:</b> $\phi = 26^{\circ} 53' 33.99''$ $\lambda = 65^{\circ} 23' 54.24''$			
(1) Lectura	(2) Tiempo Acumulado (min)	(3) Altura de agua(cm)		(4) Diferencia Alturas(cm) infiltrados	(5) Diferencia de tiempos(min)	I Acumulada (mm)	Tasa I (cm/h) (4/5)x60
		Lectura	Lectura ajustada				
1	0'	0	-	-	0	-	-
2	3'	4.2	-	4.2	2'	42	126
3	6'	8.2	-	4.0	2'	40	120
4	9'	11.9	-	3.7	2'	37	111
5	12'	13.9	-	2.0	2'	20	60
6	15'	15.1	-	4.2	2'	12	36
7	18'	15.7	-	0.6	2'	6	18
8	21'	16.3	-	0.6	2'	6	18
9	24'	16.9	-	0.6	2'	6	18
						<b>169 mm</b>	

**Tabla 43:** Datos procesados.



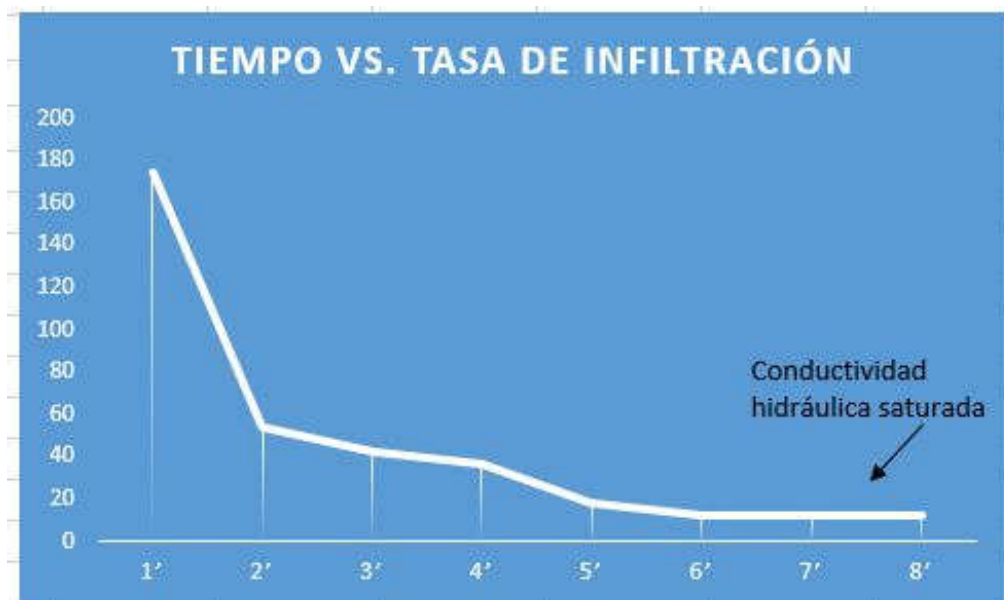
**Gráfica 63:** Muestra 2



**Muestra 3:** A 170 m al Oeste de la Dársena –Toma 2

<b>Fecha:</b> 11/06/2016		<b>Hora inicio:</b> 9.57		<b>Ubicación:</b> $\varphi = 26^{\circ} 53' 41.08''$ $\lambda = 65^{\circ} 23' 50.37''$			
(1) Lectura	(2) Tiempo Acumulado (min)	(3) Altura de agua(cm)		(4) Diferencia Alturas(cm) infiltrados	(5) Diferencia de tiempos(min)	I Acumulada (mm)	Tasa I (cm/h) (4/5)x60
		Lectura	Lectura ajustada				
1	0	-	-	-	0'	-	-
2	1'	2.9	-	2.9	1'	29	174
3	2'	3.8	-	0.9	1'	9	54
4	3'	4.5	-	0.7	1'	7	42
5	4'	5.1	-	0.6	1'	6	36
6	5'	5.4	-	0.3	1'	3	18
7	6'	5.6	-	0.2	1'	2	12
8	7'	5.8	-	0.2	1'	2	12
9	8'	6.0	-	0.2	1'	2	12
						60 mm	

**Tabla 44:** Datos procesados.



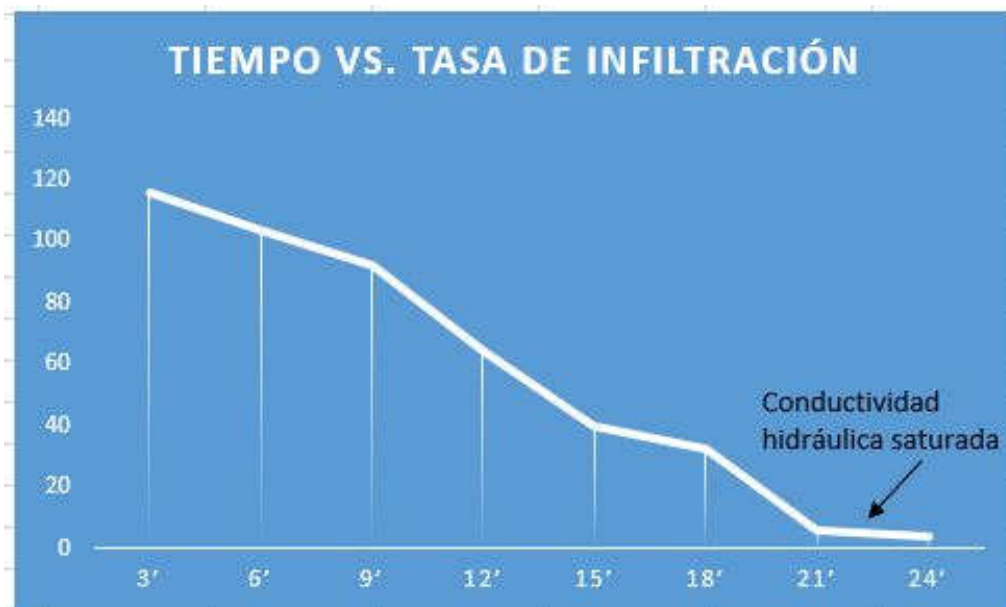
**Gráfica 64:** Muestra 3



**Muestra 4:** Ubicada a 160 m aguas arriba de la rotonda de acceso, margen derecha del río Lules

<b>Fecha:</b> 11/06/2016		<b>Hora inicio:</b> 10.05		<b>Ubicación:</b> $\phi = 26^{\circ} 54' 0.82''$ $\lambda = 65^{\circ} 22' 18.50''$			
<b>(1)</b> Lectura	<b>(2)</b> Tiempo Acumulado (min)	<b>(3)</b> Altura de agua(cm)		<b>(4)</b> Diferencia Alturas(cm) infiltrados	<b>(5)</b> Diferencia de tiempos(min)	I Acumulada (mm)	Tasa I (cm/h) (4/5)x60
		Lectura	Lectura ajustada				
1	0	-	-	-	0	-	-
2	3'	5.8	-	5.8	3'	58	116
3	6'	11.0	-	5.2	3'	52	104
4	9'	15.6	-	4.6	3'	46	92
5	12'	18.8	-	3.2	3'	32	64
6	15'	20.8	-	2.0	3'	20	40
7	18'	22.4	-	1.6	3'	16	32
8	21'	22.7	-	0.3	3'	3	6
9	24'	22.9	-	0.2	3'	2	4
10	27'	23.1	-	0.2	3'	2	4
						<b>231 mm</b>	

**Tabla 45:** Datos procesados.

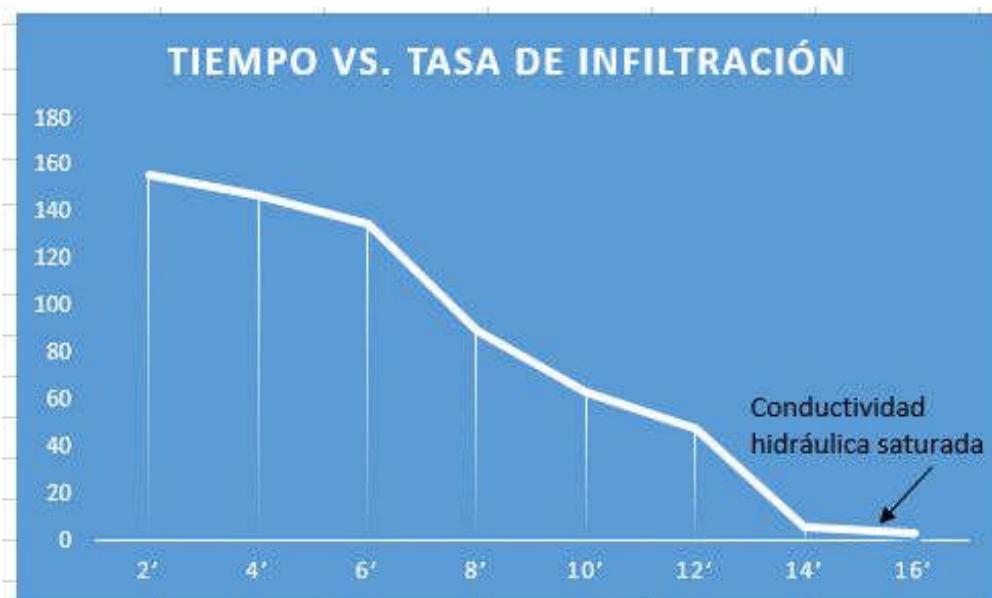


**Gráfica 65:** Muestra 4

**Muestra 5:** Ubicada a 760 m aguas arriba de la muestra 2- margen derecha del río Lules

<b>Fecha:</b> 11/06/2016		<b>Hora inicio:</b> 10.56		<b>Ubicación:</b> $\phi = 26^{\circ} 53' 34.46''$ $\lambda = 65^{\circ} 23' 14.39''$			
(1) Lectura	(2) Tiempo Acumulado (min)	(3) Altura de agua(cm)		(4) Diferencia Alturas(cm) infiltrados	(5) Diferencia de tiempos(min)	I Acumulada (mm)	Tasa I (cm/h) (4/5)x60
		Lectura	Lectura ajustada				
1	0'	0	-	-	0'	-	-
2	2'	5.2	-	5.2	2'	52	156
3	4'	10.1	-	4.9	2'	49	147
4	6'	14.6	-	4.5	2'	45	135
5	8'	17.6	-	3.0	2'	30	90
6	10'	19.7	-	2.1	2'	21	63
7	12'	21.3	-	1.6	2'	16	48
8	14'	21.5	-	0.2	2'	2	6
9	16'	21.6	-	0.1	2'	1	3
10	18'	21.7	-	0.1	2'	1	3
						<b>217 mm</b>	

**Tabla N° 46:** Datos procesados

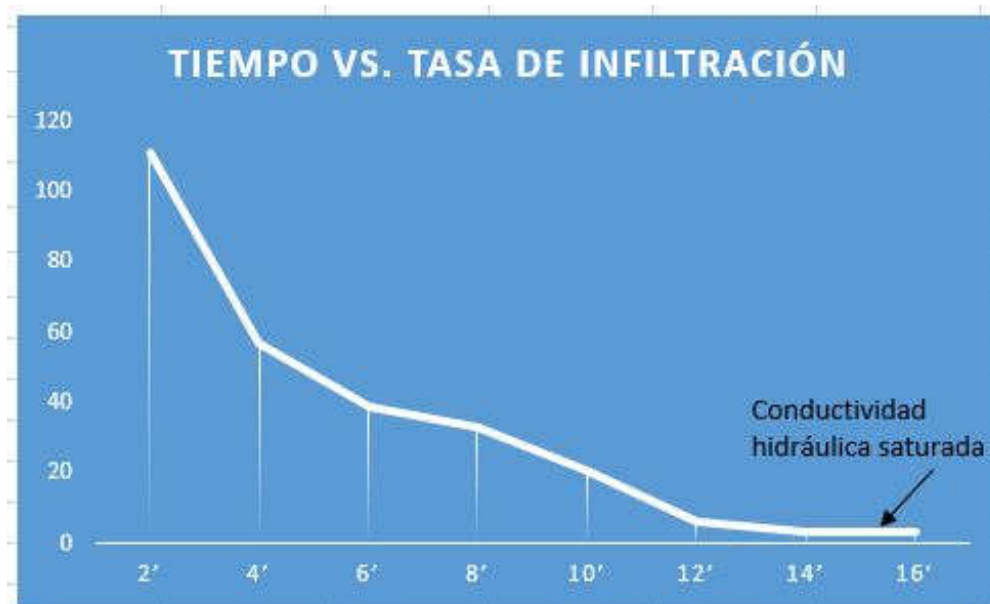


**Gráfica 66:** Muestra 5

**Muestra 6:** Ubicada a 330 m aguas arriba de la muestra 5- sobre margen izquierda

<b>Fecha:</b> 11/06/2016		<b>Hora inicio:</b> 11.14		<b>Ubicación:</b> $\varphi = 26^{\circ} 53' 24.59''$ $\lambda = 65^{\circ} 23' 16.81''$			
(1) Lectura	(2) Tiempo Acumulado (min)	(3) Altura de agua(cm)		(4) Diferencia Alturas(cm) infiltrados	(5) Diferencia de tiempos(min)	I Acumulada (mm)	Tasa I (cm/h) (4/5)x60
		Lectura	Lectura ajustada				
1	0'	0	-	-	0	-	-
2	2'	3.7	-	3.7	2'	37	111
3	4'	5.6	-	1.9	2'	19	57
4	6'	6.9	-	1.3	2'	13	39
5	8'	8.0	-	1.1	2'	11	33
6	10'	8.7	-	0.7	2'	7	21
7	12'	8.9	-	0.2	2'	2	6
8	14'	9.0	-	0.1	2'	1	3
9	16'	9.1	-	0.1	2'	1	3
						<b>91 mm</b>	

**Tabla 47:** Datos procesados.

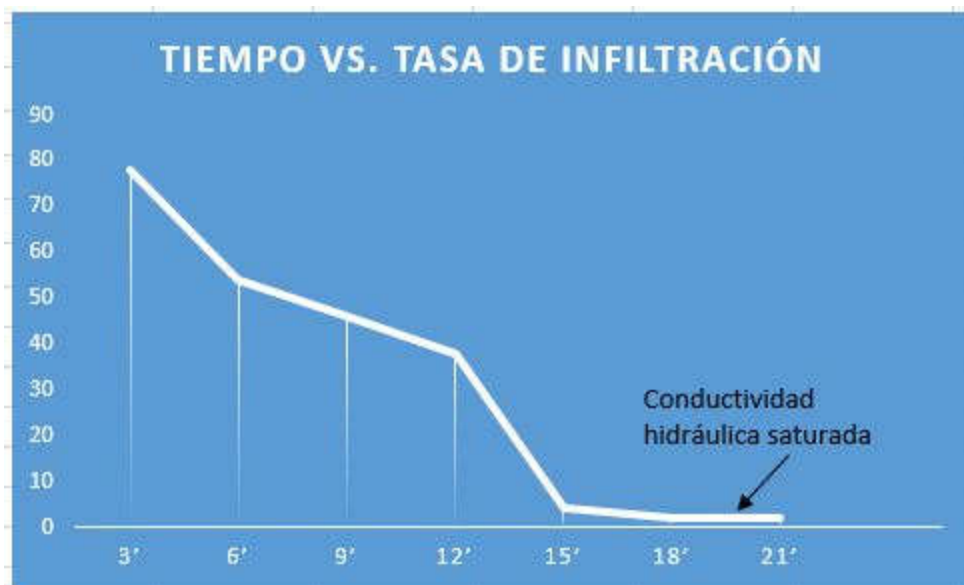


**Gráfica 67:** Muestra 6

**Muestra 7:** Ubicada a la altura de muestra 6 - sobre margen derecha.

<b>Fecha:</b> 11/06/2016		<b>Hora inicio:</b> 12.10		<b>Ubicación:</b> $\phi = 26^{\circ} 53' 24.84''$ $\lambda = 65^{\circ} 23' 25.44''$			
<b>(1)</b> Lectura	<b>(2)</b> Tiempo Acumulado (min)	<b>(3)</b> Altura de agua(cm)		<b>(4)</b> Diferencia Alturas(cm) infiltrados	<b>(5)</b> Diferencia de tiempos(min)	I Acumulada (mm)	Tasa I (cm/h) (4/5)x60
		Lectura	Lectura ajustada				
1	0'	-	-	-	0'	-	-
2	3'	3.9	-	3.9	3'	39	78
3	6'	6.6	-	2.7	3'	27	54
4	9'	8.9	-	2.3	3'	23	46
5	12'	10.8	-	1.9	3'	19	38
6	15'	11.0	-	0.2	3'	2	4
7	18'	11.1	-	0.1	3'	1	2
8	21'	11.2	-	0.1	3'	1	2
						<b>112 mm</b>	

**Tabla 48:** Datos procesados.



**Gráfica 68:** Muestra 7

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*



### IMAGEN CON LA UBICACIÓN DEL MUESTREO DE INFILTRACIÓN



**Imagen 10:** Puntos de muestreo de Infiltración

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS**

### **DE SUELO**

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

### **Análisis Granulométricos del Río Lules**

El objetivo de este análisis es determinar la textura y propiedades físicas del suelo que dependerán del tamaño de ellas, permitiendo conocer la determinación cuantitativa y la distribución de tamaños de partículas en el suelo, y **correlacionar con la permeabilidad del mismo**. El análisis granulométrico representa el dato más valioso para interpretar la génesis y las propiedades de los suelos.

#### ***Operaciones***

Se Tomaron 5 muestras de suelo con barreno, distribuidas en la zona de ribera, dentro de la cuenca media del río, a profundidades de 30cm, 60cm y 90cm respecto del terreno natural, llevándose a laboratorio para su secado, cuarteado y posterior tamizado. Esta última operación se efectuó tomando una cantidad medida de suelo seco, bien pulverizado y se los pasó a través de una serie de tamices con graduación de mayor a menor y un recipiente de fondo. (Fotografía 17 y Tabla 47)



**Foto 41.** Tamices graduados- Laboratorio Hidrogeológico – Fac. Cs. Nat. UNT

**TABLA GRANULOMÉTRICA – MUESTREO DE SUELO – CUENCA MEDIA DEL RÍO LULES**

Fecha de Operaciones: 08/08/2016

Abertura de Tamiz (mm)	Tamiz N°	MUESTRAS				
		1	2	3	4	5
		P <sub>1</sub> ⇒ 30 cm	P <sub>2</sub> ⇒ 60 cm	P <sub>3</sub> ⇒ 30 cm	P <sub>4</sub> ⇒ 60 cm	P <sub>5</sub> ⇒ 90 cm
4	T <sub>5</sub>	19.4	8.70	0.20	0	0
2	T <sub>10</sub>	6.40	7.80	0.50	0.50	0.60
1	T <sub>16</sub>	3.70	5.60	2.30	0.50	0.60
0.5	T <sub>30</sub>	5.00	10.9	3.80	3.70	4.20
0.25	T <sub>60</sub>	7.20	101.20	64.30	39.00	83.30
0.125	T <sub>120</sub>	9.80	122.80	82.10	42.30	120.30
0.064	T <sub>230</sub>	9.30	21.00	15.10	5.60	31.20
	Fondo	65.60	50.20	16.30	7.20	63.90
Total						

**Tabla 49.** Graduación de los tamices utilizados y Tamizado de Muestras

Se pesa la cantidad de suelo retenido en cada tamiz, y se determina el porcentaje acumulado de suelo retenido en cada uno de ellos.



**Foto 42.** Tamizado de las muestras de suelo  
 (Laboratorio de Hidrogeología – Fac. Cs. Nat. E IML-UNT)

La representación gráfica de la **distribución granulométrica del suelo**, se dibuja con los **porcentajes en peso de las partículas retenidas en cada tamiz** como *ordenadas* y el **tamaño de las partículas** como *abscisas* en escala logarítmica. El cálculo del **coeficiente de uniformidad (Cu)**, y del **histograma de frecuencias**, con sus correspondientes observaciones, se expresan en los gráficos de las muestras de suelo analizadas.

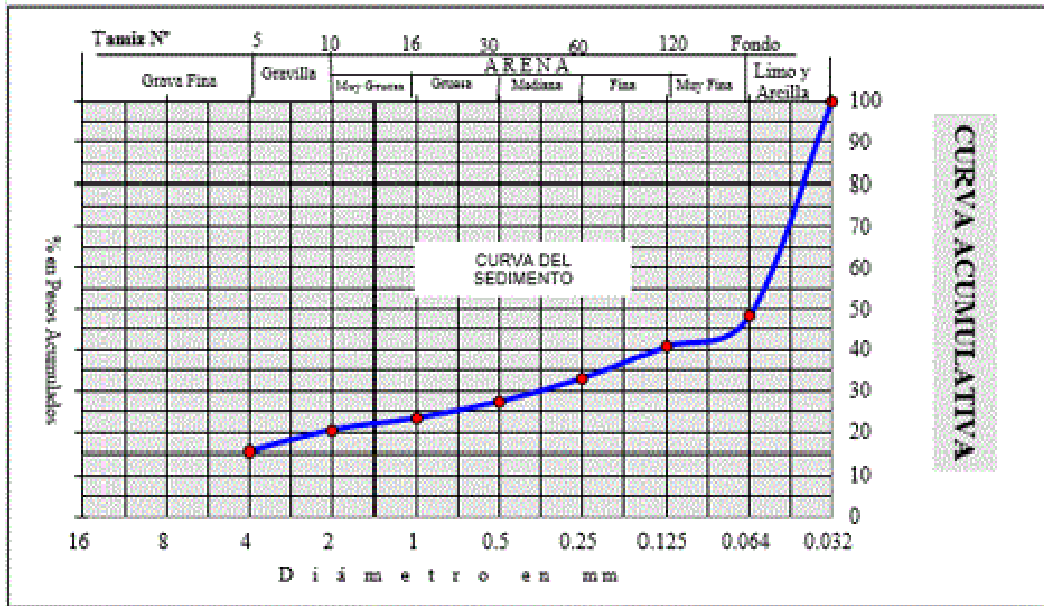
“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
 Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
 Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.

**ANALISIS GRANULOMETRICOS**

Procedencia : Rio Lules - Muestra 1

Barreno coordenadas:  $\phi = 26^{\circ}53'50.7''$   $\lambda = 65^{\circ}22'37.4''$

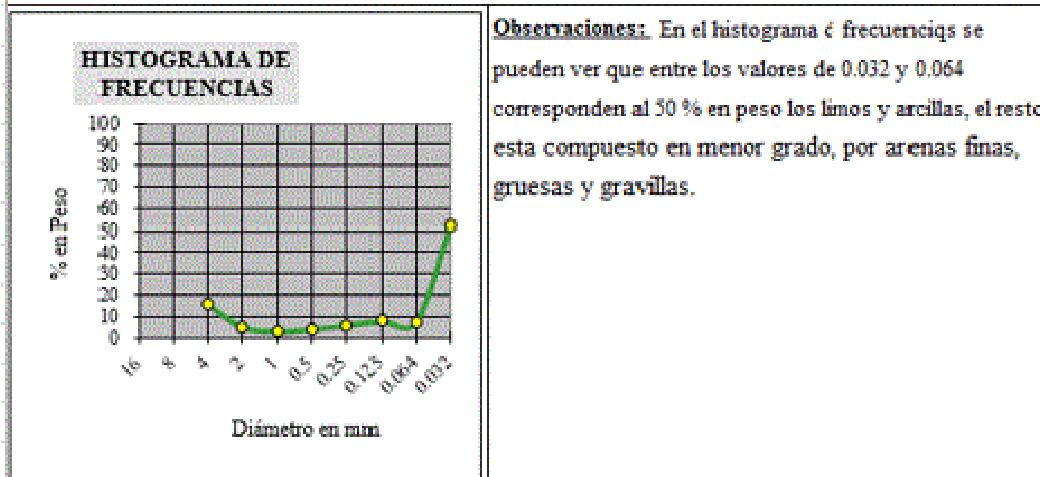
Profundidad: 0-30 cm.



Coefficiente de Uniformidad de la Arena: 3,2

Tamaño Efectivo de la Arena: 0,039

Comentarios: Arcillas y limos con grava fina y arena fina, color castaño, homogénea.



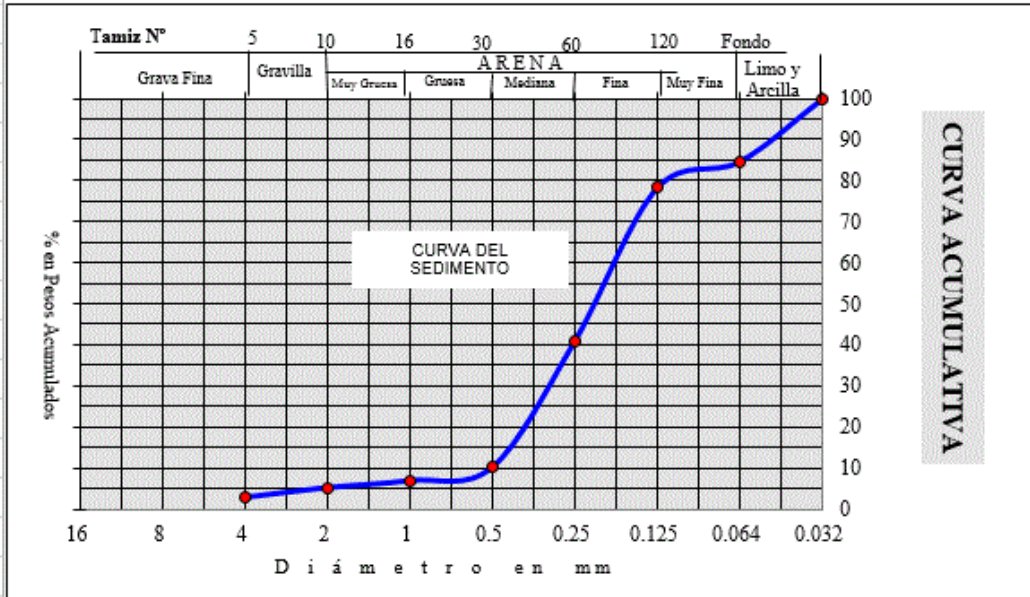
Gráfica 69: Curva acumulativa e histograma de frecuencias – Muestra 1

**ANÁLISIS GRANULOMETRICOS**

Procedencia : Río Lules - Muestra 2

Barreno coordenadas:  $\phi = 26^{\circ} 53' 50.7''$   $\lambda = 65^{\circ} 22' 37.4''$

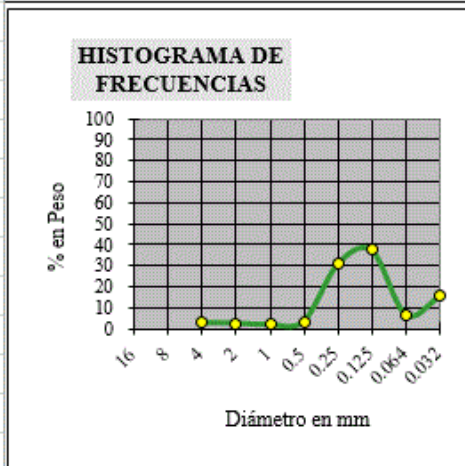
Profundidad: 30-60 cm.



Coefficiente de Uniformidad de la Arena: 5.20

Tamaño Efectivo de la Arena: 0,048

Comentarios: Arenas finas a muy finas, limos y arcilla color castaño, homogéneo



**Observaciones:** Los diámetros predominantes se encuentran entre los valores 0.25 mm a 0.125 mm y corresponden a las arenas finas, el resto y en menor grado contiene limos y arcillas.

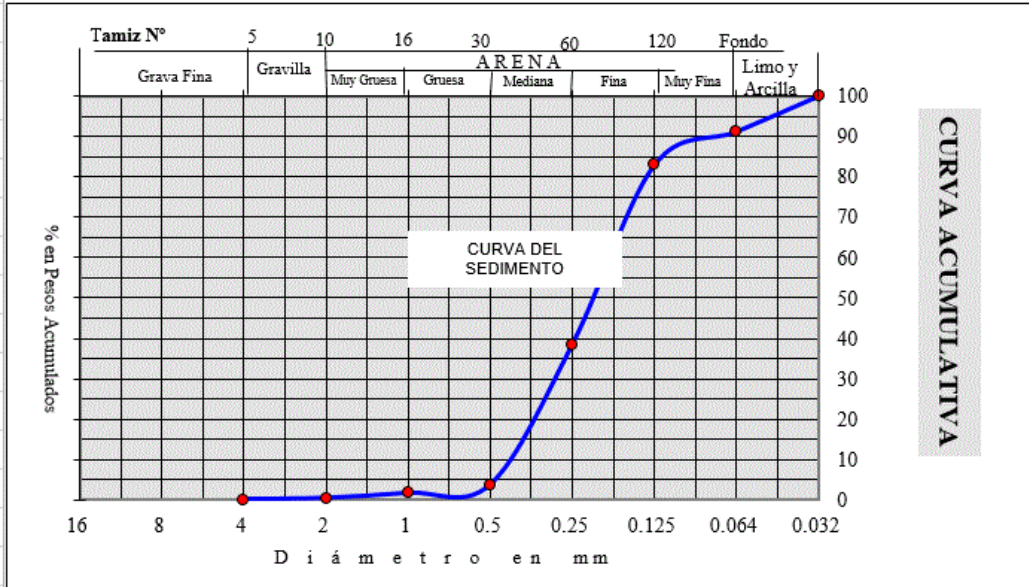
**Gráfica 70:** Curva acumulativa e histograma de frecuencias – Muestra 2

**ANÁLISIS GRANULOMETRICOS**

Procedencia : Río Lules - Muestra 3

Barreno coordenadas:  $\varphi = 26^{\circ} 54' 0.8''$   $\lambda = 65^{\circ} 22' 18.4''$

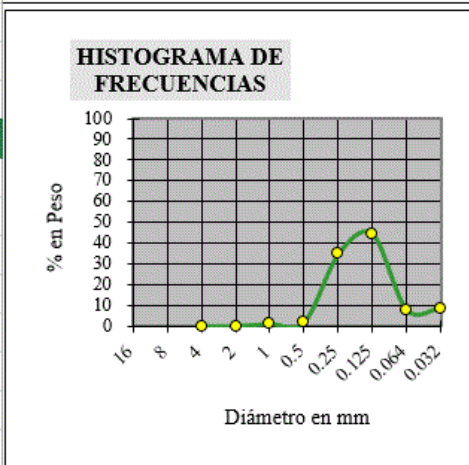
Profundidad: 0 - 30 cm.



Coefficiente de Uniformidad de la Arena: 3.90

Tamaño Efectivo de la Arena: 0,064

Comentarios: Areas finas a muy finas y en menor grado arcillas y limos.



Observaciones: Ídem a muestra 2

**Gráfica 71:** Curva acumulativa e histograma de frecuencias – Muestra 3

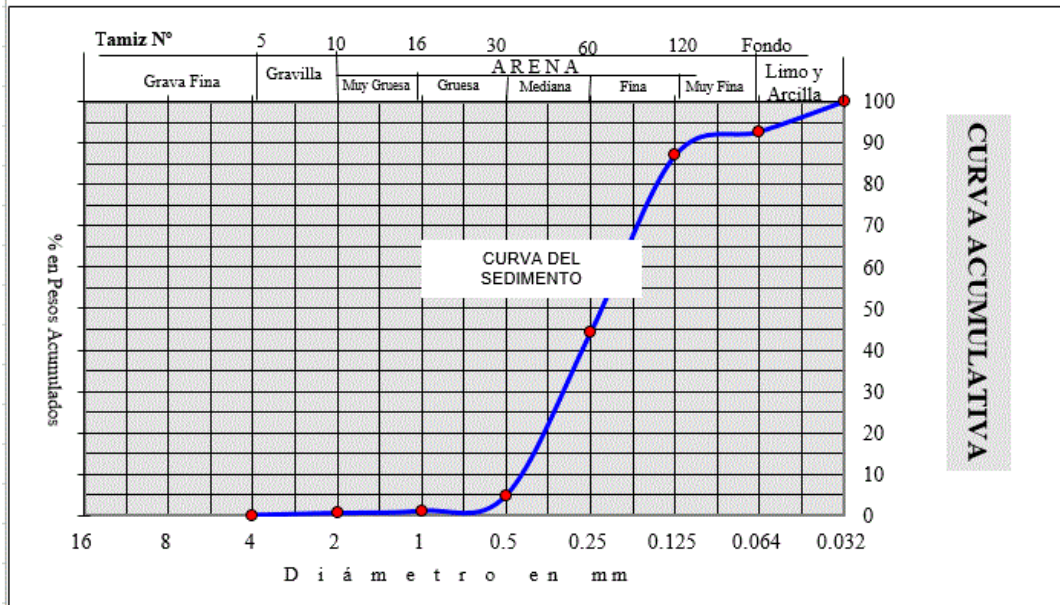


**ANÁLISIS GRANULOMETRICOS**

Procedencia : Río Lules - Muestra 4

Barreno: coordenadas  $\phi = 26^{\circ} 54'0.8''$   $\lambda = 65^{\circ} 22'18.4''$

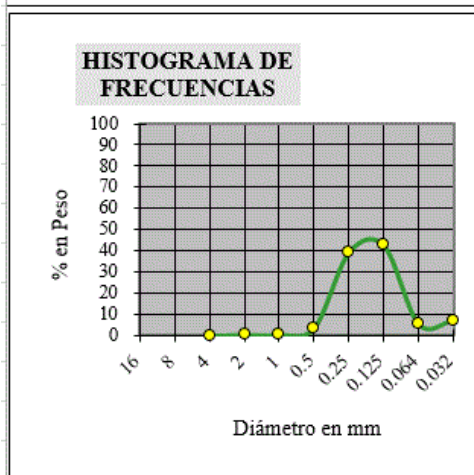
Profundidad: 30 - 60cm.



Coefficiente de Uniformidad de la Arena: **3,6**

Tamaño Efectivo de la Arena: **0.11**

**Comentarios:** Predominan las Arenas finas , color castaño, homogénea.



**Observaciones:** los tamaños predominantes se encuentran dentro de los diámetros 0.25 y 0.125 mm corresponden a arenas finas y bajos contenidos de arcillas.

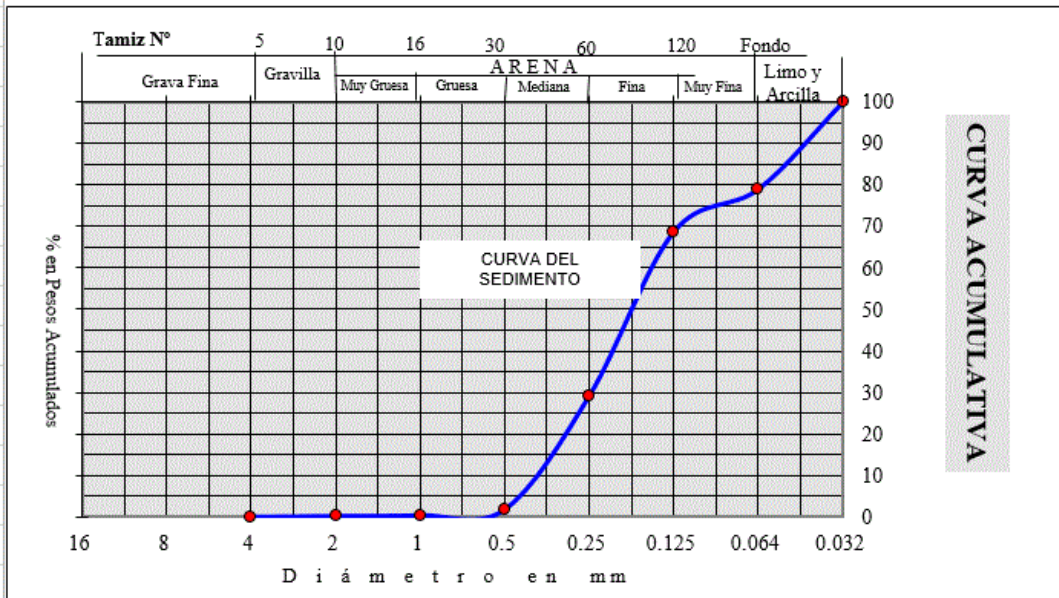
**Gráfica 72:** Curva acumulativa e histograma de frecuencias – Muestra 4

**ANALISIS GRANULOMETRICOS**

Procedencia : Río Lules - Muestra 5

Barreno: coordenadas  $\varphi = 26^\circ 54'0.8''$   $\lambda = 65^\circ 22'18.4''$

Profundidad: 60 - 90cm.



Coefficiente de Uniformidad de la Arena: **4.5**

Tamaño Efectivo de la Arena: **0.046**

**Comentarios:** predominan Arenas finas y muy finas y en menor grado limos arcillas



**Observaciones:** Las partículas de arenas gruesas, muy gruesas así como y gravillas no registran presencia.

**Gráfica 73:** Curva acumulativa e histograma de frecuencias – Muestra 5

## **Resultados obtenidos**

La distribución de granulométrica de los suelos en función de sus contenidos porcentuales, para cada una de las muestras tomadas dentro de la cuenca media, corresponde a la siguiente composición de valores redondeados:

### Muestra 1:

- 50% de Arcilla y limo con arena fina
- 8% Arena muy fina
- Bajos % de Gravilla con arena mediana

### Muestra 2:

- 35% Arena fina
- 20% Arena mediana
- Bajos % de Arena muy fina, limo y arcilla

### Muestra 3:

- 42% Arena fina y muy fina
- 18% Arena mediana
- Bajos % de Arena mediana con limos

### Muestra 4:

- 45% Arena fina
- 22% Arena mediana
- Bajos % de Arenas gruesas limo y arcilla

### Muestra 5:

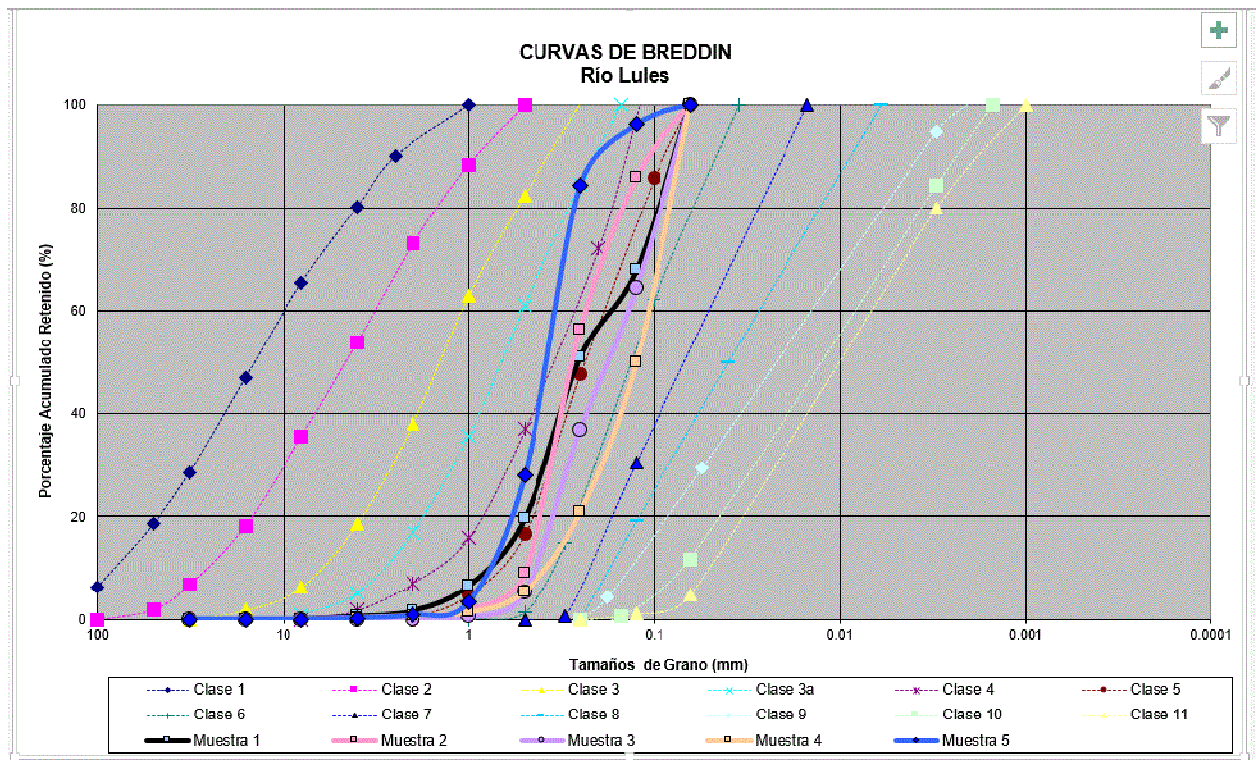
- 35% Arena fina
- 25% Arena muy fina con limo y arcilla
- Bajos % arenas gruesa y mediana

## Determinación de la permeabilidad

A fin de obtener con bastante aproximación los valores de permeabilidad del suelo, se utilizó la metodología propuesta por Breddin (Custodio y Llamas, 1976).

De la superposición de las diferentes curvas acumulativas, con la curva patrón de Breddin, se determina que la permeabilidad de los sedimentos oscila entre los valores de... a... metro/día.

Los valores más bajos de permeabilidad se encuentran, en general, en la parte superior del perfil debido a la presencia de materiales más finos.



**Gráfico 74:** Representación de las curvas de Breddin para las 5 muestras

Clase	1	2	3	3a	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k (m/d)	2600	600	86	65	43	8	4,3	1,7	0,8	0,06	0,008	<0,008	<0,008

**Tabla N° 50:** Valores de Permeabilidad según la clase

### Análisis de las curvas

Los resultados arrojan los siguientes valores:

<b>N° de Muestra</b>	<b>Clase</b>	<b>Tamaño del grano [mm]</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Permeabilidad K [m/d]</b>
<b>M<sub>1</sub></b>	4 - 6	0.125 a 0.064	Limo y Arcilla con arena fina	8
<b>M<sub>2</sub></b>	5	0.5 a 0.125	Arena: mediana y fina	10
<b>M<sub>3</sub></b>	5 - 6	0.5 a 0.064	Arena: mediana, fina y muy fina	6
<b>M<sub>4</sub></b>	5 - 6	0.25 a 0.125	Arena: fina y muy fina	4
<b>M<sub>5</sub></b>	4 - 5	0.5 a 0.064	Arena: mediana fina y muy fina	18

**Tabla N° 51:** Resultados obtenidos de permeabilidad

---

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## **INFORME DEL ESTUDIO BILÓGICO**

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*



Informe Final del Muestreo Biológico  
Dra. Bióloga Marcela A. Peralta  
15/08/2016

Corresponde a Fecha de Operaciones:

## **MUESTRAS DE INVERTEBRADOS BENTONICOS E HIPORREICOS DEL RIO LULES TUCUMÁN**

Breve Reseña

**El hiporreico es el hábitat acuático intersticial que se extiende por debajo y a los lados del lecho fluvial (Orghidan, 1959) en los cursos de agua que poseen un sustrato permeable.** Existe una estrecha relación biológica entre el agua superficial del canal y el hiporreico que también se cumple a nivel hidrográfico, ya que existe un **constante intercambio de agua, iones, solutos y materia orgánica**. Algunos macroinvertebrados que habitan el fondo del río, integrantes de la comunidad bentónica, se trasladan al hiporreico ya sea en busca de alimento o de refugio ante las condiciones cambiantes del río. Además, el hiporreico alberga a los **primeros estadios larvales de insectos acuáticos**, que al crecer, abandonan este **biotopo** y se trasladan al bentos por lo que es evidente que **la zona hiporreica cumple una importante función** en todo el **ecosistema ripario**. También se ha comprobado que uno de los roles de la **biota e hipogea** es actuar como fuente de recolonización pues la comunidad del hiporreico persiste cuando se presentan periodos de sequía que disminuyen drásticamente el agua superficial.

Descripción de los Métodos de Muestreos:

### ➤ **Bentos**

Muestreo con red **Surber**, ésta consiste en dos marcos metálicos ubicados en ángulo de **90°**, uno que delimita una superficie de **900 cm<sup>2</sup>** y otro al cual está unida una **red cónica** de **Ø 300 µm** de abertura de malla.

**Operación:** El marco sin la red se coloca sobre el fondo del río, en contra de la corriente y se remueve y limpia con la mano las piedras el área demarcada; **la fauna así se desprende y es arrastrada por el agua hacia la red**. El material colectado fue **fijado en el campo con alcohol al 80%**. (Fotos 37, 38 y 42)

➤ **Hiporreico:**

Para acceder a la comunidad del hiporreico el método empleado consiste en practicar un **pozo** en la **ribera seca del río** hasta alcanzar el nivel del **agua intersticial**. El agua que inunda el pozo se filtra con una  **fina red de 100 micras** (técnica de **Karaman- Chappuis**). La muestra fue  **fijada en el campo** con  **alcohol al 80%**. (Ver Fotos 39, 40, 41 y 43).

**MUESTREO Y OBSERVACIONES DE CAMPAÑA**  
**(Fecha de Operaciones: 15 AGOSTO DE 2016)**

**1° Muestreo:** Sobre el Río Lules, aguas arriba del Azud. **Se tomaron 2 muestras de la comunidad bentónica con red Surber** en fondo pedregoso y **una muestra de comunidad hiporreica** por filtración de 10 litros de agua, a una distancia de 49 m sobre la playa de inundación del río y con 0,45m de desnivel entre el pozo del hiporreico y el canal principal del río.

**2° Muestreo:** Río Lules, a 340 m aguas abajo del puente sobre Ruta Prov. N° 301, (aguas abajo del Azud). **Se tomaron 2 muestras de la comunidad bentónica con red Surber** en fondo pedregoso y **una muestra de comunidad hiporreica** por filtración de 10 litros de agua en una isla en el medio del cauce principal del río y a una distancia de 40 cm del cauce. En este caso los sedimentos de las márgenes no permitieron la filtración de agua desde los espacios intersticiales.

Distancia entre **1°Muestreo** y **2° Muestreo** = **6.4 km** (Ver Imagen 8)

**Resultados:**

En las comunidades bentónicas del tramo del Río Lules estudiado (antes y después de la toma), la diversidad de taxones es similar, con alta predominancia de estadios inmaduros de Insecta. A pesar de que la diversidad es semejante, **existen claras diferencias en la abundancia relativa** de los diferentes grupos.

**En el 1°Muestreo:** (tramo aguas arriba de la toma), el grupo con mayor número de individuos (**mayor abundancia**), es el de los **insectos Ephemeroptera**. Éstos insectos, al igual que **Trichoptera** y **Plecoptera** son **organismos intolerantes a la contaminación** por lo cual su número disminuye en aguas contaminadas. **En esta característica se basa el índice de calidad de agua superficial EPT** (Klemm et al., 1990).

**En el 2° Muestreo:** (aguas abajo de la toma), la comunidad de **macroinvertebrados bentónicos** muestra una **muy marcada abundancia** de las larvas de insectos **Chironomidae** (*de color rojo antes de la fijación con alcohol*) y los **oligoquetos**, lo que estaría relacionado con la **anoxia por el deterioro ambiental del ecosistema ripario**. En las inmediaciones al sitio de muestreo se observan además, **fuentes puntuales de volcado de todo tipo de residuos que evidentemente aumentan el aporte de materia orgánica al río**. Los oligoquetos son organismos muy comunes en ambientes con alta cantidad de materia orgánica, principal componente de su dieta.

Algunos organismos que habitan el fondo del río, integrantes de la comunidad bentónica, **se trasladan al hiporreico**, tal como lo evidencia la fauna hiporreica del Río Lules (río arriba y abajo del puente). Este es el caso de **las ninfas, larvas y pupas** de Insecta que se han colectado en este muestreo. Otros grupos también presentes en el hiporreico de todo el tramo del Río Lules estudiado comprenden a **nematodos y oligoquetos**.

En las muestras de hiporreico, entre los crustáceos, se han colectado **ostrácodos** (solo en la muestra 1), **copépodos Cyclopoida** (muestras 1 y 2) y copépodos **Parastenocarididae** (solo en la muestra 2). **La presencia de Parastenocarididae es de desatacar** ya que se trata de organismos muy especializados, exclusivamente intersticiales cuya presencia puede vincularse a que en ese tramo del río, el canal superficial recibe el **aporte de agua subterránea de los acuíferos**.

Consideraciones finales:

Este estudio comprendió el muestreo puntual de fauna con bajo nivel de identificación taxonómica en un corto tramo del Río Lules, por lo que la fauna de macroinvertebrados es solo una fracción de la fauna conocida para el Río Lules (Romero et al., 2011). **Aun así, se puede detectar las diferencias en las abundancias relativas de los taxones en ambos sitios de muestreo**. Para contar con resultados estadísticamente significativos a futuro serán necesarios repetir muestreos estacionales con identificaciones taxonómicas más precisas. La interpretación de cambios en la comunidad faunística también requiere de datos acerca de la composición de las comunidades algales, datos físico-químicos del agua y sedimentarios, entre otros parámetros.

**Tabla 52:** Listado de Macroinvertebrados bentónicos e hiporreico presentes en cada uno de los sitios de muestreo sobre el Río Lules el 15 de agosto de 2016

	COMUNIDAD BENTÓNICA antes de la toma	COMUNIDAD BENTÓNICA después de la toma	COMUNIDAD HIPORREICA antes de la toma	COMUNIDAD HIPORREICA después de la toma
INSECTA				
	Pupa de Diptera Ephydriidae	X	X	X
	Larvas y pupas de Diptera Chironomidae	X	X	X
	Larvas de Diptera Psychodidae	X	X	
	Larvas de Diptera Simuliidae	X	X	
	Larvas de Diptera de Ceratopogonidae	X		X
	Larvas de Diptera Tipulidae	X	X	X
	Larvas de Diptera Empididae		X	
	Adultos de Coleoptera Elmidae	X		
	Larvas de Coleoptera Elmidae	X	X	X
	Larvas de Coleoptera Psephenidae	X		
	Larvas de Coleoptera Staphylinidae	X	X	X
	Adultos de Coleoptera Staphylinidae	X	X	X
	Larvas de Trichoptera	X	X	
	Ninfas de Plecoptera	X	X	
	Ninfas de Ephemeroptera	X	X	
Collembola		X		
CRUSTACEA				
	Copepoda Cyclopoida	X	X	X
	Copepoda Parastenocarididae			X
	Ostracoda	X	X	X
Ácaros acuáticos	X	X	X	
Tardigrada				X
Nematoda	X	X	X	X
Annelida Oligochaeta	X	X	X	X

Referencias bibliográficas:


**-Orghidan, T. 1959.** Ein neuer Lebensraum des unterirdischen Wassers: Der hyporheische Biotol. Ach. F. Hydrobiol. 55 (3): 392-414.

**-Klemm, D. J., P. A. Lewis, F. Fulk y J. M. Lazorchak. 1990.** Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. EPA/600/4-90/030. U. S. Environmental Protection Agency. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Cincinnati, Ohio 45268.

**-Romero, F., H. R. Fernández, V. Manzo, C. Molineri, M. Correa y C. Nieto. 2011** Estudio Integral de la cuenca del río Lules (Tucumán): Aspectos biológicos, 111-135. En: H. R. Fernández y H. Barber (Eds.). LA CUENCA DEL RÍO LULES). Edunt, Tucumán.

**MARCELA ALEJANDRA PERALTA**  
*Doctora en Ciencias Biológicas-Or. Zoología  
 Instituto de Invertebrados  
 Área Zoología - Fundación Miguel Lillo  
 Miguel Lillo 251, 4000 San Miguel de  
 Tucumán  
 Tucumán, Argentina  
 E-mail: [maperalta@csnat.unt.edu.ar](mailto:maperalta@csnat.unt.edu.ar)*

## Imágenes ilustrativas de los invertebrados encontrados en el Río Lules









**Ephemeroptera**  
Insecto

Los efemerópteros son un orden de insectos pterigotos, conocidos vulgarmente como efímeras, efémeras o cachipollas. Es el orden de insectos alados más antiguos que existe en la actualidad. [Wikipedia](#)

**Nombre científico:** Ephemeroptera  
**Categoría:** Orden  
**Clasificación superior:** Palaeoptera

**Clasificaciones inferiores** Ver 5 más

-  Baetis
-  Baetidae
-  Heptageni...
-  Ephemer...
-  Callibaetis









**Plecoptera**  
Insecto

Los plecópodos son un orden de insectos neópteros, con 2000 especies registradas en el mundo. Se cree que es uno de los grupos más primitivos de insectos alados muy emparentados con formas del periodo Carbonífero y Pérmico. [Wikipedia](#)

**Nombre científico:** Plecoptera  
**Categoría:** Orden  
**Clasificación superior:** Exopterygota

**Clasificaciones inferiores** Ver 2 más

-  Nemouridae
-  Taeniopte...
-  Plecoptera reflexa
-  Plecoptera recta
-  Plecoptera violacea









**Trichoptera**  
Insecto

Los tricópteros o frigáneas son un orden de insectos endopterigotos, emparentados con los lepidópteros, cuyas larvas y pupas son acuáticas, y viven dentro de pequeños estuches en forma de tubo que ellas ... [Wikipedia](#)

**Nombre científico:** Trichoptera  
**Categoría:** Orden  
**Clasificación superior:** Amphiesmenoptera

**Clasificaciones inferiores** Ver 15 más

-  Hydropsy...
-  Limnephili...
-  Rhyacophila
-  Leptocer...
-  Hydroptili...








**Chironomidae**  
Insecto

Los quironómidos son una familia de dípteros nematóceros de distribución mundial. Están relacionados a las familias Ceratopogonidae, Simuliidae y Thaumaleidae. [Wikipedia](#)

**Nombre científico:** Chironomidae  
**Categoría:** Familia  
**Clasificación superior:** Culicomorpha

**Clasificaciones inferiores** Ver 10 más

-  Orthocladi...
-  Chironomus plumosus
-  Tanytopod...
-  Chironomi...
-  Cricotopus

**Figuras 75:** Insectas encontradas en los muestreos del río Lules

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*


## **INFORME DE ANÁLISIS DE AGUA**



*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

## Informe de Análisis de Agua

El informe emitido por el Laboratorios respectos a las muestras de agua analizadas es el siguiente:



### INFORME DE ENSAYOS

16/09/2016	IE2016-09-001
Empresa:	Particular
Apellido y Nombre:	Paz Belloni, Ricardo Benjamín
Dirección:	-
Teléfono:	3814724072 Fax:
	e-mail: rpazbelloni@gmail.com


Datos de las muestras

ID Laboratorio	ID cliente	Fecha de Toma de Muestra	Tipo de Muestra	Sitio
2016-08-M01	Muestra 1	15/08/2016	Agua	Coord P26- Agua arriba Toma
2016-08-M02	Muestra 3	15/08/2016	Agua	P029- Agua abajo T Hiporreico

Observaciones: Muestra suministrada por el cliente. Los resultados se refieren a la muestra analizada

### RESULTADOS

Parámetro	2016-08-M01	2016-08-M02	Método	Lim de Cuantif.
Sulfato	-	95 mg/L	Método Turbidimétrico (SM 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -E)	0,1 mg/L
Nitrato	Menor 0,5 mg/L	-	Método UV-Vis (SM 4500-NO <sub>3</sub> -C)	0,5 mg/L
Fosfato	-	0,63 mg/L	Método Colorimétrico (SM 4500-P D)	0,1 mg/L



Ing. Cca. A. PATRICIA CHAILE  
 Mgter. Salud Ambiental - PROFESORA  
 Cátedra Química Gen. e Inorg.  
 DIPGI - FACET - UNT

---

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología- DIPGI- Cátedra de Química  
 Av. Independencia 1800- San Miguel de Tucumán  
 e-mail: eferreyra@herreria.unt.edu.ar

**Tabla 53:** Informe de análisis de agua (Laboratorio de Química -UNT)

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

*“Análisis de la Incidencia Ambiental de la Recarga de Acuíferos por la Variación de la Demanda de Agua Superficial en la Cuenca Media del Río Lules” (2015) – Departamento Lules – Provincia de Tucumán.  
Ing. Ricardo Benjamín B. Paz Belloni. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental  
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Tucumán.*

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**Facultad Regional Tucumán**  
**Escuela de Posgrado**  
**Rivadavia 1050**

**TESIS DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**  
***Autor: Ing. Ricardo B.B. Paz Belloni***  
***Se terminó de imprimir el 03/12/2016***