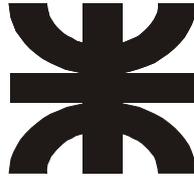


Maestría en Ingeniería Ambiental



Facultad Regional Tucumán

Universidad Tecnológica Nacional

- Tesis: *“IMPACTOS DE LAS EXTRACCIONES DE AGUA SUBTERRANEA DE UNA INDUSTRIA DE LEVADURAS. APLICACION DE ENSAYOS DE BOMBEO PARA EL DISEÑO DE UN PLAN DE EXPLOTACION DE AGUA SUBTERRANEA”.*

Tesista: Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011

Director de Tesis: DR. CARLOS M. FALCÓN

Tesis para optar al grado de Magister en Ingeniería Ambiental

Tucumán – Argentina

2011

*Impactos de las extracciones de agua subterránea de una Industria de Levaduras. Aplicación de ensayos de bombeo para el diseño de un plan de explotación de agua subterránea.*

Dedicado a:

- Todos los que, por soñar un país libre y mas justo para todos, los tiraron a mares, ríos y fosas comunes, desde Mariano Moreno para acá, intentando vanamente hacerlos desaparecer...
  
- Los muchos amigos que me alentaron en esta solitaria tarea de estos últimos años, dedico el resultado, del que son, claro está, totalmente inocentes...
  
- Federica González Cei

*“La vida es muy peligrosa. No por las personas que hacen el mal, sino por las que se sientan a ver lo que pasa”*

**Albert Einstein** (1879-1955) Científico Alemán nacionalizado estadounidense

*“No hay ningún viento favorable para el que no sabe a que puerto se dirige.”*

**Arthur Schopenhauer** (1788 – 1860). Filósofo Alemán.

*“El hombre ordinario sólo se cuida de pasar el tiempo; el hombre de talento, de emplearlo”*

**Arthur Schopenhauer** (1788 – 1860). Filósofo Alemán.

*“People who live a life of tenacity and challenge break through all the obstacles they face just as water eventually carves a path through rock. Be strong like constantly flowing water, ever moving forward”*

**Daisaku Ikeda.** Filósofo Japonés

*“La ciencia es la expresión de una necesidad inherente al ser humano y, en todo caso, está ligada a la función superior de su naturaleza inteligente: la capacidad de crear”*

**Dr. René Gerónimo Favaloro** (1923 – 2000). Médico cardiólogo Argentino

<b>INDICE TEMATICO</b>		<b><u>Pág.</u></b>
<b>CAPITULO 1: INTRODUCCION Y ANTECEDENTES</b>		
<b>1</b>	El manejo de los recursos hídricos y la actividad industrial en la Provincia de Tucumán	1
<b>2</b>	Antecedentes Históricos de CALSA	2
<b>3</b>	Superficies	6
<b>4</b>	Nomenclatura catastral:	6
<b>5</b>	Consumo de Recursos hídricos	7
<b>5.1</b>	Agua Superficial	7
<b>5.2</b>	Agua Subterránea	8
<b>6</b>	Entorno del Área de Estudio	11
<b>6.1</b>	Análisis Regional	11
<b>6.1.1</b>	Encuadre Provincial	11
<b>6.2</b>	Contexto Departamental y Comunal	13
<b>6.3</b>	Medio Antrópico	15
<b>6.4</b>	Geografía Física	16
<b>6.4.1</b>	Clima	16
<b>6.4.2</b>	Geología	21
<b>6.4.3</b>	Fisiografía.	23
<b>6.4.4</b>	Geomorfología	23
<b>6.4.4.1</b>	Marco geomorfológico regional	25
<b>6.4.4.2</b>	Características geomorfológicas del entorno al predio	27
<b>6.4.5</b>	Hidrología	27
<b>6.4.6</b>	Suelos	29

6.4.7	Hidrogeología	29
6.5	Ubicación de los pozos de agua subterránea en el predio CALSA	37
6.6	Ensayos Hidráulicos como herramienta para la gestión del agua subterránea	43
6.7	Objetivos y Tipos de pruebas de bombeo	44
6.8	Áreas de Restricción para la Explotación de los Recursos Hídricos Subterráneos en la Provincia de Tucumán.	46
6.9	Situación actual de la explotación de las perforaciones de CALSA. Planteamiento del Problema.	49
6.10	Uso de los ensayos hidráulicos en Industrias.	51
<b>CAPITULO 2: OBJETIVOS</b>		
7	Objetivo primarios	54
7.1	Objetivos secundarios	54
<b>CAPITULO 3: MATERIALES Y METODOS</b>		
8.	Condiciones institucionales para el desarrollo de la tesis. Infraestructura y equipamiento	55
9.	Instalaciones Industriales utilizadas durante el desarrollo de la tesis.	55
10.	Área de Implantación del trabajo de tesis	55
11.	Variables bajo estudio	56
12.	Fuentes de información	56
13.	Condiciones de Trabajo Durante los Ensayos de Bombeo	57
13.1.	Consideraciones Generales de los Ensayos	57
13.2.	Duración de los ensayos	58
14.	Metodologías de Ensayos Utilizadas	58
14.1.	Método de Equilibrio o Régimen Permanente (Fórmula de Thiem)	58

14.2.	Métodos de No Equilibrio o Régimen Variable (Fórmula de Theis, Jacob y Recuperación de Theis)	59
14.3.	Método de No Equilibrio (Fórmula de Jacob)	60
14.4.	Bombeos Escalonados o Caudal Variable	60
15.	Organización de los ensayos	60
16.	Equipamiento utilizado para la realización de los ensayos de bombeo.	61
17.	Metodologías y Parámetros de Análisis de Agua Subterránea	61
18.	Procedimiento de Muestreo para Análisis Físico Químico.	67
18.1.	Material requerido y Condiciones para el Muestreo Físico Químico.	67
19.	Procedimiento de Muestreo para Análisis Microbiológicos	68
19.1.	Material requerido para Muestreo Microbiológico	68
20.	Determinación de Sólidos sedimentables en boca de pozo (mL/l)	68
21.	Determinación del estado de cañerías filtro en el interior de las perforaciones	68
22.	Equipamiento utilizado para la filmación del interior de los pozos	69
23.	Software y Hardware utilizado para el procesamiento de los datos	69
24.	Tratamiento Estadístico de los datos	69
25.	Materiales, Equipamiento y Servicios para las tareas de Re Ingeniería.	70
<b>CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		
25.	Relevamiento del estado interno de las perforaciones.	71
26.	Análisis del Mantenimiento e Ingeniería de las Instalaciones	76
26.1.	Diseño de Ingeniería propuesto.	76
26.2.	Re Ingeniería y Mantenimiento de las Perforaciones 1-7	79
27.	Estudio Hidráulico	90
27.1.	Pruebas de Bombeo Escalonados	99

27.2. Método de Análisis	99
27.3. Conos de Depresión y Radios de Interferencia	105
27.4. Determinación del Caudal Crítico	114
28. Verificación de la Presencia de Sólidos Sedimentables durante las pruebas de ensayos de bombeo.	122
29. Diseño del Plan de Explotación de Agua Subterránea	126
30. Influencia del bombeo de los pozos cercanos a la planta en los pozos 1-7	139
31. Monitoreo físicoquímico y microbiológico de agua subterránea y superficial	146
31.1. Agua Subterránea	146
31.1.1. Muestreo Físicoquímico	146
31.1.2. Muestreo Microbiológico	149
31.2. Agua Superficial (Arroyo El Manantial)	152
31.3. Ubicación geográfica y límites del Arroyo El Manantial con respecto a CALSA	152
31.3.1. Muestreo Físicoquímico	153
31.3.2. Muestreo Microbiológico	154
<b>CAPITULO 5: CONCLUSIONES</b>	
<b>CAPITULO 6: RECOMENDACIONES</b>	
<b>CAPITULO 7: APENDICES Y ANEXOS</b>	
<b>APENDICE I</b>	
<b>APENDICE II</b>	
32. Determinación de la eficiencia	186
33. Ensayos de Bombeo a Caudal Constante y Caudal Variable. Ensayos de Recuperación por perforación	193

<b>33.1.</b> Planillas de ensayos de bombeo pozo bombeado perforación N° 1 Ensayos Escalonados	193
<b>33.2.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo bombeado perforación N° 1 ensayo continuo y de recuperación	198
<b>33.3.</b> Planilla de ensayos de bombeo. Pozo bombeado perforación N° 1. Pozo de Observación Perforación N° 2. Ensayo continuo y de Recuperación.	203
<b>33.4.</b> Planilla de ensayos de bombeo. Pozo bombeado perforación N° 1. Pozo de Observación Perforación N° 7. Ensayo continuo y de Recuperación.	209
<b>33.5.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo bombeado perforación N° 2 Ensayos Escalonados	215
<b>33.6.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo bombeado perforación N° 2 ensayo continuo y de recuperación	220
<b>33.7.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo de observación perforación N° 1 ensayo continuo y de recuperación	225
<b>33.8.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo N° 2 con pozo de observación perforación n° 3 ensayo continuo y de recuperación	231
<b>33.9.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo bombeado perforación N° 3 ensayos escalonados	237
<b>33.10.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo bombeado perforación n° 3 ensayo continuo y de recuperación	242
<b>33.11.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo de observación perforación n° 4 ensayo continuo y de recuperación	247
<b>33.12.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo de observación perforación n° 5	254

ensayo continuo	
<b>33.13.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo bombeado perforación N° 4 ensayos escalonados	260
<b>33.14.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo bombeado perforación n° 4 ensayo continuo y de recuperación	265
<b>33.15.</b> Planilla de ensayos de bombeo. Pozo Bombeado N° 4, pozo de observación perforación n° 5 ensayo continuo y de recuperación	270
<b>33.16.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo bombeado perforación n° 5 ensayos escalonados	276
<b>33.17.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo bombeado perforación n° 5 ensayo continuo y de recuperación	281
<b>33.18.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo de observación perforación n° 4 ensayo continuo y de recuperación	286
<b>33.19.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo bombeado perforación N° 7 ensayos escalonados	292
<b>33.20.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo bombeado perforación n° 7 ensayo continuo y de recuperación	297
<b>33.21.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo de observación perforación n° 1 ensayo continuo y de recuperación	302
<b>33.22.</b> Planilla de ensayos de bombeo pozo de observación perforación n° 2 ensayo continuo y de recuperación	308
<b>APENDICE III</b>	
<b>34.</b> Objetivo	315

35. Alcance	315
36. Abreviaturas / Definiciones	315
36.1 Shock Químico:	315
37. Descripción	315
37.1 Generalidades	315
37.2 Procedimiento de Shock Químico	318
37.3 Acidificación:	318
37.4 Clorinación:	320
<b>APENDICE IV</b>	
38. Servicio de Mantenimiento de Bombas Sumergibles	322
39. Objetivo	322
40. Instalaciones	322
41. Equipamiento	322
42. Propuesta de Mantenimiento	322
43. Elaboración del Plan de Mantenimiento	323
44. Desarrollo del Mantenimiento	323
45. Mediciones de Bomba/Motor	324
46. Registros de Caudales y Calidad de Agua	325
47. Mediciones de Niveles	326
48. Supervisión de Instalación de Equipos de Bombeo.	326
<b>APENDICE V</b>	
<b>CAPITULO 8: BIBLIOGRAFIA</b>	

## **PROLOGO**

El presente trabajo es el punto cúlmine e imprescindible para concluir la Maestría en Ingeniería Ambiental dictada en la Facultad Regional Tucumán de la Universidad Tecnológica Nacional.

Estudiar la extracción de agua subterránea surge como consecuencia del trabajo en el Departamento de Gestión Ambiental de CALSA planta Tucumán, desde hace 5 años, y del conocimiento de todos los problemas operativos que trae aparejado una inadecuada gestión del recurso hídrico subterráneo.

Allí, y a lo largo de estos años, hemos experimentado numerosos problemas de mantenimiento en la planta industrial debido a la cavitación de equipos de bombeo y al arrastre de sólidos en el agua subterránea que se extrae en el predio de la planta. Entre estos problemas podemos destacar el desprendimiento y posterior caída de equipos de bombeo al interior del pozo, taponamiento de filtros e hidrociclones de aguas de procesos, taponamiento de cañerías, desgaste por abrasión de piezas metálicas en equipos críticos como impulsores en bombas de agua o separadoras centrifugas, taponamiento de intercambiadores de calor de placa, rotura de equipos de bombeo electro sumergibles, entre otros.

Con motivo de la recurrencia de estos inconvenientes y los trastornos y perjuicios que provocaban al normal funcionamiento de la planta, la compañía encomendó al Departamento de Gestión Ambiental la solución de los mismos.

En todos los casos, el personal técnico de la planta ignoraba la vinculación de estos problemas con la ausencia de un plan de explotación racional y sustentable de las aguas subterráneas, que considerara las diferentes variables hidráulicas que condicionan el comportamiento del acuífero y a un desconocimiento de la ingeniería de la perforación.

Todo esto tiene como consecuencia la operación inadecuada de la perforación de agua, que se manifiesta por la aparición de los problemas antes mencionados y que resultan prácticamente imposibles de eliminar si no se realiza un estudio en el cual intervengan varias disciplinas, entre ellas la ingeniería mecánica, química, eléctrica y la hidrogeología subterránea.

El estudio sistemático de la hidráulica de los acuíferos y perforaciones es la herramienta que utilizo este trabajo de tesis para aportar una solución a fenómenos como la sobre o sub explotación de perforaciones, el desconocimiento de los niveles piezométricos y/o caudales óptimos de producción, la presencia de sólidos sedimentables (arena y limo), la interferencia entre pozos de bombeo y la cavitación/ problemas de mantenimiento recurrentes en los equipos sumergibles.

Por otro lado se debe considerar que esto se hace cuesta arriba en el difícil contexto de una planta industrial, ya que no se cuenta con el nivel de conocimiento necesario para gestionar el uso de recurso hídrico subterráneo y que usualmente, la gestión interna se limita únicamente a la toma de acciones correctivas sobre las consecuencias que tiene la explotación inadecuada del recurso hídrico.

La intención al desarrollar este trabajo de investigación apuntaba, por sobre todas las cosas, a diseñar un plan de explotación para los 6 pozos de aguas subterráneas en el área de CALSA, que contemple el uso del recurso hídrico en base a variables hidráulicas

e hidrogeológicas.

## **RESUMEN**

El área de estudio se localiza en la planta industrial de Compañía Argentina de Levaduras S.A.I.C (CALSA), la cual se encuentra emplazada en el Distrito de Riego N° IV en la Comuna Rural de El Manantial, Departamento Lules, Provincia de Tucumán. El predio de la CALSA está ubicado en el Km 2, límite Sur-Este de la Ciudad de San Miguel de Tucumán, sobre Ruta N° 301. Este se encuentra en la región pedemontana ubicada al pie de la Sierra de San Javier y pertenece a la Cuenca Artesiana de Yerba Buena, dentro de la Cuenca Hidrogeológica del Río Salí.

El agua subterránea es un recurso vital para la provincia de Tucumán, ya que más del 90 % de las poblaciones del interior se abastecen de agua potable a través de pozos profundos y un gran porcentaje de sus industrias y emprendimientos agropecuarios se abastecen de agua para diversos usos exclusivamente a partir de perforaciones.

El Gran San Miguel de Tucumán no escapa a esta realidad. Con una población cercana a los 800.000 habitantes (INDEC, 2001), registra un notable crecimiento demográfico en las últimas décadas, lo que ha obligado a ampliar las redes de servicios

esenciales como agua potable y cloacas, administrados por una empresa semi-estatal (Sociedad de Aguas del Tucumán - S.A.T.). Este crecimiento se evidenció más hacia sectores ubicados al oeste del aglomerado, como Yerba Buena y Villa Carmela; hacia el norte, como Tafí Viejo, Los Pocitos, El Colmenar y hacia el sur, como El Manantial y Lules, donde a corto plazo se producirá un notable incremento de la demanda de agua potable, entre otros servicios.

Las perforaciones que abastecen de agua potable al Gran San Miguel de Tucumán tienen, en general, profundidades del orden de los 200 m y rendimientos muy variados, debido a que se ubicaron atendiendo a las necesidades operativas y no a una correcta planificación hidrogeológica o gestión territorial.

Los riesgos que implica la sobre-explotación de acuíferos conlleva al agotamiento de los mismos, con la aparición de fenómenos locales y regionales como descensos sostenidos de niveles piezométricos, desmejoramiento de la calidad físico-química de las aguas, merma en los caudales de explotación, aumento de los costos del m<sup>3</sup> de agua extraída, etc.

La planta se abastece de dos fuentes de aguas, una superficial y otra subterránea, para atender sus procesos de elaboración de levaduras. El principal aporte de agua para la planta industrial lo constituye el Arroyo El Manantial que aporta un caudal promedio de 600 m<sup>3</sup>/h para propósitos de refrigeración. El resto es aportado por 7 perforaciones profundas, que suministran agua subterránea, para las operaciones de manufactura y servicios industriales.

El área de El Manantial se caracterizó en el pasado por presentar abundantes afloramientos de aguas subterráneas en la forma de manantiales (de allí su nombre), los que abastecieron de agua potable a la ciudad y alrededores durante los siglos XVIII y XIX.

Actualmente los ensayos hidráulicos en las industrias sólo se orientan a conocer el desempeño de un pozo en particular cuando éste es construido, no considerando de esta manera el sistema acuífero.

El presente trabajo de tesis tuvo como finalidad elaborar una propuesta de

explotación racional y sostenida del recurso hídrico subterráneo en el área que ocupa la planta de CALSA, considerando variables hidráulicas e hidrogeológicas y aspectos de ingeniería de cada una de las perforaciones, que permita abastecer los consumos de agua subterránea de la industria.

La conclusión general principal, en vistas de los resultados obtenidos de los ensayos de bombeo realizados, es que la existencia de los problemas de mantenimiento y arrastre de sólidos como arena y limo en la operación de las perforaciones tiene una estrecha relación con la sobre explotación de las mismas. Es decir debido a la explotación por encima de los caudales críticos de las perforaciones.

Los pozos con el mejor rendimiento son explotados a caudales de bombeo próximos a su caudal crítico con altos valores de caudal específico comparativos, como el pozo N° 1, con 160 m<sup>3</sup>/h y 9,84 m<sup>3</sup>/h/m, o se explotan a caudales de bombeo menores al caudal crítico también con buenos rendimientos, como los pozos N° 2, 3 y 5 con 140 m<sup>3</sup>/h y 9,83 m<sup>3</sup>/h/m; 145 m<sup>3</sup>/h y 10,55 m<sup>3</sup>/h/m y 150 m<sup>3</sup>/h y 12,29 m<sup>3</sup>/h/m respectivamente.

Los pozos de regular rendimiento extraen caudales superiores a su caudal crítico, aún cuando el mismo es relativamente bajo, con 83 y 122 m<sup>3</sup>/h para los pozos N° 7 y 4 respectivamente y con rendimientos menores a los anteriores, 5,05 y 7,98 m<sup>3</sup>/h/m respectivamente.

Teniendo en cuenta esto último se estableció un plan de explotación constituido por una rotación mensual de combinaciones de perforaciones según su ubicación, radios de interferencia, caudales críticos y eficiencia. Las combinaciones sugeridas siempre respetan el patrón “Pozo del Sector Norte + Pozo del sector sur” del predio.

En cuanto al radio de influencia (o cono de interferencia) provocado por el bombeo de las perforaciones de la planta de CALSA, éste fue determinado en el orden de los 500 m.

Palabras claves: ***CALSA – SUBTERRANEA – HIDRICO – PERFORACIONES – MANANTIAL – RECURSOS HIDRICOS -***

## **RECONOCIMIENTOS**

- ❖ A mi director de Tesis Dr. Carlos M. Falcón por su amistad, confianza, consejos y por compartir desinteresadamente sus amplios conocimientos y experiencia en la temática elegida.
- ❖ A Darío Leal por su calurosa amistad, apoyo y por brindarme la posibilidad de desarrollar esta tesis en el predio de Compañía Argentina de Levaduras S.A.I.C.
- ❖ A Gustavo Romero y Walter Hernández por su importante colaboración en la realización de esta tesis y en la implementación de las consecuencias teóricas de la misma.
- ❖ A mis padres Norberto y Liliana por creer y confiar siempre en mí, apoyándome en todas las decisiones que tomé en mi vida.
- ❖ A mis Abuelos Coco y Negrita y mi tía Claudia por el amor y el cariño de siempre.

- ❖ A mi compañero y amigo Franco Zaffanella quien colaboró, colabora y colaborará en forma vital en la aplicación de las consecuencias teóricas de esta tesis.
- ❖ A la facultad Regional Tucumán de la Universidad Tecnológica Nacional en cuyos claustros me forme como alumno de postgrado.
- ❖ Al Ing. Oscar Graieb y al personal del C.E.D.I.A, quienes me alentaron a terminar en tiempo y forma con este desafío.
- ❖ A mis amigos Federico Molina, Juan Pablo Mamprin, Cesar Salazar, Juan Pablo Riva Mercadal, Sebastian Feroli y a los integrantes de “El Club de los Jueves“ por el apoyo y motivación que de ellos he recibido.
- ❖ A Atilio Marola por brindarme toda su experiencia en el mantenimiento de equipos sumergibles de bombeo y por participar apasionadamente en la realización del presente trabajo de tesis.
- ❖ A Jorge García y Carlos D’Urso quienes formaron parte de la realización de los ensayos de bombeo y el estudio geoelectrico aportando la información de base para la realización de esta tesis. Sin ellos esta tesis no hubiera existido. Mi gratitud por la experiencia y el conocimiento que me brindaron.
- ❖ A mi compañero y amigo Alejandro Marak quien hizo un aporte invaluable en el arte y el formato de presentación del presente trabajo. Gracias Ale por el profesionalismo, tu amistad, el desenfado y la calidez de siempre.
- ❖ A Federica González Cei quien me da el sustento emocional y el amor necesario para encarar este tipo de desafíos.
- ❖ A mi querido amigo y compañero José Figueroa quien me preguntaba todos los días ¿ya esta la tesis?

- ❖ Al personal de mantenimiento de CALSA por haber permitido que esta nueva “doctrina” en el manejo del agua subterránea se materialice a través de su implementación en planta. Mi gratitud para con ellos por su interés.
- ❖ Al personal de portería de CALSA quienes me llamaron de manera incansable durante las madrugadas para notificarme cualquier problema en los tableros eléctricos de las perforaciones. A ellos mi gratitud por la colaboración.
- ❖ A la Gerencia y la Jefatura de Mantenimiento/Ingeniería/Medio Ambiente de CALSA por haber aportado los casi 150.000 pesos necesarios para el presente trabajo.

#### **TABLA DE CONTENIDOS**

<b>Parte</b>	<b>Ítem</b>
Portada	i
Página de Título	ii
Dedicatoria	iii
Índice Temático	iv
Prologo	v
Resumen	vi
Reconocimientos	vii
Tabla de Contenidos	viii
Lista de Tablas	ix
Lista de Figuras/Gráficos	x
Lista de Abreviaciones	xi

<b>N° de Figura</b>	<b>Tema</b>	<b>Pág.</b>
<b>CAPITULO 1-INTRODUCCIÓN</b>		
<b>Figura N° 1</b>	Foto aérea de CALSA planta Tucumán	3
<b>Figura N° 2.</b>	Proceso productivo de la fabricación de crema de levadura	5
<b>Figura N° 3</b>	Croquis de ubicación de CALSA en el Gran San Miguel de Tucumán.	14
<b>Figura N° 4</b>	Climograma y Balance Hídrico Estación San Miguel de Tucumán (Período 1901-1950)	19
<b>Figura N° 5</b>	Climograma y Balance Hídrico Estación Ohuanta Período 1901-1950	20
<b>Figura N° 6</b>	Bosquejo geológico regional. Área de Implantación de tesis	22
<b>Figura N° 7</b>	Imagen 3D del contexto geomorfológico de CALSA planta Tucumán	24
<b>Figura N° 8</b>	Bosquejo Geomorfológico del entorno de CALSA planta Tucumán	26
<b>Figura N° 9</b>	Censo de Perforaciones	33
<b>Figura N° 10</b>	Mapa Geológico e Hidrogeológico del sector oriental. Sierra de S. Javier entre las localidades de Y.B. y El Manantial	36
<b>Figura N° 11</b>	Ubicación de Pozos en CALSA planta Tucumán	38
<b>Figura N ° 12</b>	Foto aérea con la localización de Pozos en le predio de CALSA planta Tucumán	39
<b>Figura N ° 13</b>	Trazado del Arroyo El Manantial con respecto a CALSA planta	40

	Tucumán	
<b>Figura N° 14</b>	sector de implantación de los Pozos N° 3, 4 y 5	41
<b>Figura N° 15</b>	sector de implantación de los Pozos N° 1, 2,6 y 7	42
<b>CAPITULO 4-RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		
<b>Figura N° 16</b>	Inicio de la cañería filtrante en pozo N° 4.	71
<b>Figura N° 17</b>	Carretel en boca de la perforación N° 6	72
<b>Figura N° 18</b>	Estado de cañerías filtrantes del pozo N°6	72
<b>Figura N° 19</b>	Cañería de purga de tanque colector agua subterránea	73
<b>Figura N° 20</b>	Interior del tanque de almacenamiento abastecido por la perforación N° 6	73
<b>Figura N° 21</b>	Porción superior de cañería de purga de tanque de almacenamiento	74
<b>Figura N° 22:</b>	Diseño Exterior Tipo de las Perforaciones 1,2,3,4,5 y 7	77
<b>Figura N° 23</b>	Diseño Exterior de las Perforaciones 1, 2, 3, 4,5 y 7	78
<b>Figura N° 24</b>	Comparativa Cable Sintenax y Cable de Vaina Plana	80
<b>Figura N° 25</b>	Trabajos metalúrgicos de re ingeniería en obradores	81
<b>Figura N° 26</b>	Trabajos de Mantenimiento en Bombas Sumergibles	81
<b>Figura N° 27</b>	Tareas de Mantenimiento en la Perforación N° 5.	82
<b>Figura N° 28</b>	Equipo Sumergible de Bombeo Nuevo con cable de Vaina Plana	82
<b>Figura N° 29</b>	Extracción de Bomba Sumergible con cable tipo Sintenax	82
<b>Figura N° 30</b>	Equipo Sumergible de Bombeo con altos niveles de corrosión	85
<b>Figura N° 31</b>	Equipo Sumergible de Bombeo con altos niveles de corrosión	85
<b>Figura N° 32</b>	Estado Inicial Pozo N° 1	86
<b>Figura N° 33</b>	Estado Final Pozo N° 1	86
<b>Figura N° 34</b>	Estado Inicial Pozo N° 2	86
<b>Figura N° 35</b>	Estado Final Pozo N° 2	86
<b>Figura N° 36</b>	Estado Inicial Pozo N° 3	87
<b>Figura N° 37</b>	Estado Final Pozo N° 3	87
<b>Figura N° 38</b>	Estado Inicial Pozo N° 4	87
<b>Figura N° 39</b>	Estado Final Pozo N° 4	87
<b>Figura N° 40</b>	Estado Inicial Pozo N° 5	88
<b>Figura N° 41</b>	Estado Final Pozo N° 5	88
<b>Figura N° 42</b>	Estado Inicial Pozo N° 6	88
<b>Figura N° 43</b>	Estado Final Pozo N° 6	88
<b>Figura N° 44</b>	Estado Inicial Pozo N° 7	89
<b>Figura N° 45</b>	Estado Final Pozo N° 7	89
<b>Figura N° 46</b>	Equipamiento para realizar los ensayos de bombeo	90
<b>Figuras N° 47</b>	Ensayo de Bombeo Pozo N° 3	92
<b>Figuras N° 48</b>	Ensayo de Bombeo Pozo N°7	92
<b>Figuras N° 49</b>	Ensayo de Bombeo Pozo N° 2	93
<b>Figuras N° 50</b>	Ensayo de Bombeo Pozo N° 1	93
<b>Figuras N° 51</b>	Ensayo de Bombeo Pozo N° 5	94
<b>Figura N° 52</b>	Cono de depresión producido por el Pozo N° 1.	101

<b>Figura N° 53</b>	Radio de Interferencia producido por el pozo N° 5 y el pozo N° 1	107
<b>Figura N° 54</b>	Radio de Interferencia producido por el pozo N° 1	108
<b>Figura N° 55</b>	Radio de Interferencia producido por el pozo N° 2	109
<b>Figura N° 56</b>	Radio de Interferencia producido por el pozo N° 3	110
<b>Figura N° 57</b>	Radio de Interferencia producido por el pozo N° 4	111
<b>Figura N° 58</b>	Radio de Interferencia producido por el pozo N° 5	112
<b>Figura N° 59</b>	Radio de Interferencia producido por el pozo N° 7	113
<b>Figura N° 60</b>	Válvula de retención de bomba sumergible dañada. Pozo N° 4	119
<b>Figura N° 61</b>	Impulsor de bomba con desgaste. Pozo N° 4	119
<b>Figura N° 62</b>	Impulsores con desgaste por cavitación en bomba sumergible. Pozo N° 4	120
<b>Figura N° 63</b>	Impulsores con desgaste por cavitación en bomba sumergible. Pozo N° 4	120
<b>Figura N° 64</b>	Impulsores con desgaste por cavitación en bomba sumergible. Pozo N° 4	121
<b>Figura N° 65</b>	Ensayos de Sol. Sed. en Pozo N° 5.	123
<b>Figura N° 66</b>	Sol. Sed. 10 min obtenidos de las muestras del Pozo N° 4 dentro del primer minuto de operación del pozo N° 4.	123
<b>Figura N° 67</b>	Sol. Sed. 2 h obtenidos de las muestras del Pozo N° 4 dentro del primer minuto de operación del pozo N° 4.	124
<b>Figura N° 68</b>	Bomba Rotor Pump 150 m <sup>3</sup> /h y 65 metros de Altura	129
<b>Figura N° 69-1</b>	Detalle de Perforaciones en el Departamento de Lules y Área de Influencia de CALSA	142
<b>Figura N° 69-2</b>	Detalle de Perforaciones en la Provincia de Tucumán	143
<b>Figura N° 70</b>	Campaña de muestreo físico químico en Pozo N° 3	150
<b>Figura N° 71</b>	Transporte y clasificación de muestras de agua	150
<b>Figura N° 72</b>	Acondicionamiento de muestras de agua para su conservación	151
<b>Figura N° 73</b>	Acondicionamiento de muestras de agua para su conservación	151
<b>Figuras N° 74</b>	Campaña de muestreo físico químico en Pozo N° 3	151
<b>Figuras N° 75</b>	Ubicación de CALSA en el Entorno Arroyo El Manantial. Se muestra con un Punto Rojo.	152
<b>Figura N° 76</b>	Técnico de la EEAOC llevando a cabo el monitoreo de agua superficial	155
<b>Figura N° 77</b>	Técnico de la EEAOC llevando a cabo el monitoreo de agua superficial	155
<b>Figura N° 78</b>	Cultivos de Hortalizas en las márgenes del Arroyo El Manantial	158
<b>Figura N° 79</b>	Descarga de efluentes cloacales de la comuna del Manantial. Al fondo se observa la casilla y cámara de bombeo de efluentes aun sin funcionar por falta de equipamiento	158
<b>Figura N° 80</b>	Criadero familiar de animales. Sobre las márgenes del Arroyo a la altura del puente peatonal.	159
<b>Figura N° 81</b>	Una de las tantas picadas hacia el Arroyo con descarga de Residuos	160

	Sólidos Urbanos. En este caso en el punto del Naciente.	
<b>Figura N° 82</b>	Residuos sólidos en proximidad del puente de cruce de la Ruta 301	161
<b>Figura N° 83</b>	RSU próximos al Naciente del Arroyo El Manantial	161
<b>Figura N° 84</b>	Sistema de recolección de residuos sólidos Comuna El Manantial	162
<b>Figura N° 85</b>	Desmante de la vegetación Ribereña, probablemente para cultivo de hortalizas, a 500 m de el punto considerado como Naciente (Puente a la altura de Av. Alfredo Guzmán 4800.) Foto tomada desde el Cauce de Arroyo	163

<b>CAPITULO 7-APENDICES Y ANEXOS</b>		
<b>Figura N° 87</b>	Diseño General Perforación N° 1	179
<b>Figura N° 88</b>	Diseño General Perforación N° 2	180
<b>Figura N° 89</b>	Diseño General Perforación N° 3	181
<b>Figura N° 90</b>	Diseño General Perforación N° 4	182
<b>Figura N° 91</b>	Diseño General Perforación N° 5	183
<b>Figura N° 92</b>	Diseño General Perforación N° 7	184

<b>N° de Grafico</b>	<b>Tema</b>	<b>Pág.</b>
<b>CAPITULO 1-INTRODUCCIÓN</b>		
<b>Gráfico N° 1</b>	Consumo promedio por día de agua subterránea	9
<b>Gráfico N° 2</b>	Volumen mensual de agua subterránea consumida.	10
<b>Gráfico N° 3</b>	Caudal promedio horario consumido de agua subterránea	10
<b>CAPITULO 4-RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		
<b>Grafico N° 4</b>	Depresión Vs Caudal de Bombeo Pozos 1-7	100
<b>Grafico N° 5</b>	Caudal de bombeo vs Depresión Pozo N° 5	114
<b>Grafico N° 6</b>	Caudal de bombeo vs Depresión Pozo N° 7	115
<b>Grafico N° 7</b>	Caudal Especifico vs Depresión Pozo N° 5	117
<b>CAPITULO 7-APENDICES Y ANEXOS</b>		
<b>Grafico N° 8</b>	Eficiencia de Pozo N° 1	187
<b>Grafico N° 9</b>	Eficiencia de Pozo N° 2	188
<b>Grafico N° 10</b>	Eficiencia de Pozo N° 3	189
<b>Grafico N° 11</b>	Eficiencia de Pozo N° 4	190
<b>Grafico N° 12</b>	Eficiencia de Pozo N° 5	191
<b>Grafico N° 13</b>	Eficiencia de Pozo N° 7	192
<b>Grafico N° 14</b>	Ensayos Escalonados -Pozo N° 1	197
<b>Grafico N° 15</b>	Ensayos continuo -Pozo N° 1	200
<b>Grafico N° 16</b>	Ensayos de Recuperación -Pozo N° 1	202
<b>Grafico N° 17</b>	Ensayos de Recuperación -Pozo N° 1-Pozo de Observación N° 2.	205
<b>Grafico N° 18</b>	Ensayos de Recuperación -Pozo N° 1-Pozo de Observación N° 2.	206
<b>Grafico N° 19</b>	Ensayos de Recuperación -Pozo N° 1-Pozo de Observación N° 2.	208
<b>Gráfico N° 20</b>	Ensayos de Recuperación –Pozo Bombeado N° 1-Pozo de Observación N° 7	211
<b>Gráfico N° 21</b>	Ensayos de Recuperación –Pozo Bombeado N° 1-Pozo de Observación N° 7	212
<b>Gráfico N° 22</b>	Ensayos de Recuperación –Pozo Bombeado N° 1-Pozo de Observación N° 7	214
<b>Gráfico N° 23</b>	Ensayos de Bombeo escalonado–Pozo Bombeado N° 2	219
<b>Gráfico N° 24</b>	Ensayos de Bombeo caudal constante–Pozo Bombeado N° 2	222
<b>Gráfico N° 25</b>	Ensayos de Recuperación -Pozo N° 2	224
<b>Gráfico N° 26</b>	Ensayos de Caudal Constante –Pozo Bombeado N° 2-Pozo de Observación N° 1.	227
<b>Gráfico N° 27</b>	Ensayos de Caudal Constante –Pozo Bombeado N° 2-Pozo de Observación N° 1.	228
<b>Grafico N° 28</b>	Ensayos de Recuperación –Pozo Bombeado N° 2-Pozo de Observación N° 1	230
<b>Grafico N° 29</b>	Ensayos a Caudal Constante-Perforación N° 2 – Pozo de Observación N° 3.	233
<b>Grafico N° 30</b>	Ensayos a Caudal Constante-Perforación N° 2 – Pozo de Observación N° 3	234
<b>Grafico N° 31</b>	Ensayos a Caudal Constante-Perforación N° 2 – Pozo de	236

	Observación N° 3.	
<b>Grafico N° 32</b>	Ensayos de Bombeo a caudal variable-Perforación N° 3	241
<b>Grafico N° 33</b>	Ensayos de Bombeo a caudal constante-Perforación N° 3	244
<b>Grafico N° 34</b>	Ensayos de Recuperación -Perforación N° 3	246
<b>Grafico N° 35</b>	Ensayos de Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 3- Pozo de observación N° 4	249
<b>Grafico N° 36</b>	Ensayos de Caudal Constante -Perforación Bombeada N° 3- Pozo de observación N° 4	250
<b>Grafico N° 37</b>	Ensayos de Caudal Constante -Perforación Bombeada N° 3- Pozo de observación N° 4	251
<b>Grafico N° 38</b>	Ensayos de Recuperación -Perforación Bombeada N° 3- Pozo de observación N° 4	253
<b>Grafico N° 39</b>	Ensayos a caudal constante-Perforación Bombeada N° 3- Pozo de observación N° 5	256
<b>Grafico N° 40</b>	Ensayos a caudal constante-Perforación Bombeada N° 3- Pozo de observación N° 5	257
<b>Grafico N° 41</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación Bombeada N° 3- Pozo de observación N° 5	259
<b>Grafico N° 42</b>	Ensayos de Caudal Variable-Perforación Bombeada N° 4	264
<b>Grafico N° 43</b>	Ensayos de Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 4	267
<b>Gráfico N° 44</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación Bombeada N° 4	269
<b>Gráfico N° 45</b>	Ensayos de Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 4 -Pozo de Observación N° 5.	272
<b>Grafico N° 46</b>	Ensayos de Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 4 -Pozo de Observación N° 5.	273
<b>Grafico N° 47</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación Bombeada N° 4 -Pozo de Observación N° 5.	275
<b>Grafico N° 48</b>	Ensayos de Caudal Variable-Perforación Bombeada N° 5	280
<b>Gráfico N° 49</b>	Ensayos de Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 5	283
<b>Grafico N° 50</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación Bombeada N° 5	285
<b>Grafico N° 51</b>	Ensayos de caudal constante-Perforación Bombeada N° 5-Pozo de Observación N° 4.	288
<b>Grafico N° 52</b>	Ensayos de caudal constante-Perforación Bombeada N° 5-Pozo de Observación N° 4.	289
<b>Grafico N° 53</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación Bombeada N° 5-Pozo de Observación N° 4.	291
<b>Grafico N° 54</b>	Ensayos de Caudal Variable-Perforación Bombeada N° 7	296
<b>Grafico N° 55</b>	Ensayos de Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 7	299
<b>Grafico N° 56</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación Bombeada N° 7	301
<b>Grafico N° 57</b>	Ensayos a Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 7-Pozo de Observación N° 1	304
<b>Grafico N° 58</b>	Ensayos a Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 7-Pozo de Observación N° 1	305
<b>Grafico N° 59</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación Bombeada N° 7-Pozo de Observación N° 1	307
<b>Grafico N° 60</b>	Ensayos de Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 7-Pozo de Observación N° 2	310

<b>Grafico N° 61</b>	Ensayos de Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 7-Pozo de Observación N° 2	311
<b>Grafico N° 62</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación Bombeada N° 7-Pozo de Observación N° 2	313

### Índice de Tablas

<b>N° de Tabla</b>	<b>Tema</b>	<b>Pag.</b>
<b>CAPITULO 1-INTRODUCCIÓN</b>		
<b>Tabla N° 1:</b>	Detalle de Superficie Construida de CALSA planta Tucumán	6
<b>Tabla N° 2:</b>	Detalle de Uso de Agua Superficial	8
<b>Tabla N° 3</b>	Consumos totalizados de agua subterránea	9
<b>Tabla N° 4:</b>	Población, superficie y densidad de población por departamento (INDEC, 2001).	13
<b>Tabla N° 5</b>	Población por municipio o comuna, según Necesidades Básicas Insatisfechas (INDEC, 2001).	15
<b>Tabla N° 6</b>	Ubicación de Pozos según área Tomado de (G. V. Rodríguez y C. H. D'Urso, 2005)	35
<b>CAPITULO 3-MATERIALES Y METODOS</b>		
<b>Tabla N° 7</b>	Parámetros Físico químicos según código alimentario argentino y metodología analítica.	62
<b>Tabla N° 8</b>	Parámetros microbiológicos según código alimentario argentino y metodología analítica.	64
<b>CAPITULO 4-RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		
<b>Tabla N° 9</b>	Resultados para el Pozo N° 1	96
<b>Tabla N° 10</b>	Resultados para el Pozo N° 2	96
<b>Tabla N° 11</b>	Resultados para el Pozo N° 3	97
<b>Tabla N° 12</b>	Resultados para el Pozo N° 4	97
<b>Tabla N° 13</b>	Resultados para el Pozo N° 5	98
<b>Tabla N° 14</b>	Resultados para el Pozo N° 7	98
<b>Tabla N° 15</b>	Caudal Específico, Eficiencia y Ponderación por pozo	102
<b>Tabla N° 16</b>	Longitud de elementos filtrantes por pozo	103
<b>Tabla N° 17</b>	Distancia entre perforaciones.	105
<b>Tabla N° 18</b>	Caudales críticos, de bombeo y específicos por pozo.	116
<b>Tabla N° 19</b>	Determinación de Sólidos Sedimentables	122
<b>Tabla N° 20</b>	Datos constructivos y operativos de las perforaciones.	126
<b>Tabla N° 21</b>	Caudales críticos, de bombeo y específicos por pozo.	130
<b>Tabla N° 22</b>	Escenarios Modelizados de Consumo y Abastecimiento de agua subterránea	131
<b>Tabla N° 23</b>	Modelización con Abastecimiento de los pozos 1 + 3 o Pozos 5 + 7 o Pozos 2 + 4 o Pozos 1 + 4	132

<b>Tabla N° 24:</b>	Modelización con Abastecimiento de los pozos 5 + 2.	133
<b>Tabla N° 25:</b>	Modelización con Abastecimiento de los pozos 7 + 3	134
<b>Tabla N° 26</b>	Modelización con Abastecimiento de los pozos 1 + 5	135
<b>Tabla N° 27</b>	Modelización con Abastecimiento del pozo N° 5	136
<b>Tabla N° 28</b>	Combinaciones y plan de rotación anual de perforaciones	138
<b>Tabla N° 29</b>	Detalle de Perforaciones en el Área de Influencia de CALSA.	140
<b>Tabla N° 30</b>	Control físico-químico de agua subterránea	147
<b>Tabla N° 31</b>	Control de contaminantes organoclorados y organofosforados de agua subterránea	148
<b>Tabla N° 32</b>	Control microbiológico de agua subterránea	149
<b>Tabla N° 33</b>	Muestreo físicoquímico Arroyo El Manantial	153
<b>Tabla N° 34</b>	Muestreo microbiológico Arroyo El Manantial	154
<b>CAPITULO 5-CONCLUSIONES</b>		
<b>Tabla N° 35</b>	Plan de Rotación Anual de Perforaciones	170
<b>CAPITULO 7-APENDICES Y ANEXOS</b>		
<b>Tabla N° 36</b>	Ensayos Escalonados-Primer Escalón -Pozo N° 1	194
<b>Tabla N° 37</b>	Ensayos Escalonados-Segundo Escalón -Pozo N° 1	195
<b>Tabla N° 38</b>	Ensayos Escalonados-Tercer Escalón -Pozo N° 1	196
<b>Tabla N° 39</b>	Ensayos Continuo -Pozo N° 1	199
<b>Tabla N° 40</b>	Ensayos de Recuperación -Pozo N° 1	201
<b>Tabla N° 41</b>	Ensayos de Recuperación –Pozo Bombeado N° 1-Pozo de Observación N° 2	204
<b>Tabla N° 42</b>	Ensayos de Recuperación –Pozo Bombeado N° 1-Pozo de Observación N° 2.	207
<b>Tabla N° 43</b>	Ensayos de Recuperación –Pozo Bombeado N° 1-Pozo de Observación N° 7	210
<b>Tabla N° 44</b>	Ensayos de Recuperación –Pozo Bombeado N° 1-Pozo de Observación N° 7	213
<b>Tabla N° 45</b>	Ensayos Escalonados-Primer Escalón -Pozo N° 1	216
<b>Tabla N° 46</b>	Ensayos Escalonados-Segundo Escalón -Pozo N° 2	217
<b>Tabla N° 47</b>	Ensayos Escalonados-Tercer Escalón -Pozo N° 2	218
<b>Tabla N° 48</b>	Ensayos caudal constante-Pozo N° 2	221
<b>Tabla N° 49</b>	Ensayos de Recuperación -Pozo N° 2	223
<b>Tabla N° 50</b>	Ensayos de Caudal Constante –Pozo Bombeado N° 2-Pozo de Observación N° 1.	226
<b>Tabla N° 51</b>	Ensayos de Recuperación –Pozo Bombeado N° 2-Pozo de Observación N° 7	229
<b>Tabla N° 52</b>	Ensayos a Caudal Constante-Perforación N° 2 – Pozo de Observación N° 3.	232
<b>Tabla N° 53</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación N° 2 – Pozo de Observación N° 3.	235
<b>Tabla N° 54</b>	Ensayos de Bombeo a caudal variable-Primer Escalón-Perforación N° 3	238
<b>Tabla N° 55</b>	Ensayos de Bombeo a caudal variable-Segundo Escalón-Perforación N° 3	239
<b>Tabla N° 56</b>	Ensayos de Bombeo a caudal variable-Tercer Escalón-Perforación N° 3	240
<b>Tabla N° 57</b>	Ensayos de Bombeo a caudal constante-Perforación N° 3	243

<b>Tabla N° 58</b>	Ensayos de Recuperación -Perforación N° 3	245
<b>Tabla N° 59</b>	Ensayos a Caudal Constante-Perforación N° 3-Pozo de observación N° 4	248
<b>Tabla N° 60</b>	Ensayos de Recuperación –Perforación Bombeada N° 3- Pozo de observación N° 4	252
<b>Tabla N° 61</b>	Ensayos a caudal constante–Perforación Bombeada N° 3- Pozo de observación N° 5	255
<b>Tabla N° 62</b>	Ensayos de Recuperación–Perforación Bombeada N° 3- Pozo de observación N° 5	258
<b>Tabla N° 63</b>	Ensayos de Caudal Variable-Perforación Bombeada N° 4- Primer escalón	261
<b>Tabla N° 64</b>	Ensayos de Caudal Variable-Perforación Bombeada N° 4- Segundo escalón	262
<b>Tabla N° 65</b>	Ensayos de Caudal Variable-Perforación Bombeada N° 4- Tercer escalón	263
<b>Tabla N° 66</b>	Ensayos de Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 4	266
<b>Tabla N° 67</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación Bombeada N° 4	268
<b>Tabla N° 68</b>	Ensayos de Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 4 –Pozo de Observación N° 5.	271
<b>Tabla N° 69</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación Bombeada N° 4 –Pozo de Observación N° 5	274
<b>Tabla N° 70</b>	Ensayos de Caudal Variable-Perforación Bombeada N° 5-Primer Escalón	277
<b>Tabla N° 71</b>	Ensayos de Caudal Variable-Perforación Bombeada N° 5-Segundo Escalón	278
<b>Tabla N° 72</b>	Ensayos de Caudal Variable-Perforación Bombeada N° 5-Tercer Escalón	279
<b>Tabla N° 73</b>	Ensayos de Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 5	282
<b>Tabla N° 74</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación Bombeada N° 5	284
<b>Tabla N° 75</b>	Ensayos de caudal constante-Perforación Bombeada N° 5-Pozo de Observación N° 4.	287
<b>Tabla N° 76</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación Bombeada N° 5-Pozo de Observación N° 4.	290
<b>Tabla N° 77</b>	Ensayos de Caudal Variable-Perforación Bombeada N° 7-Primer Escalón	293
<b>Tabla N° 78</b>	Ensayos de Caudal Variable-Perforación Bombeada N° 7-Segundo Escalón	294
<b>Tabla N° 79</b>	Ensayos de Caudal Variable-Perforación Bombeada N° 7-Tercer Escalón	295
<b>Tabla N° 80</b>	Ensayos de Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 7	298
<b>Tabla N° 81</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación Bombeada N° 7	300
<b>Tabla N° 82</b>	Ensayos de Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 7-Pozo de Observación N° 1	303
<b>Tabla N° 83</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación Bombeada N° 7-Pozo de Observación N° 1	306
<b>Tabla N° 84</b>	Ensayos de Caudal Constante-Perforación Bombeada N° 7-Pozo de Observación N° 2	309
<b>Tabla N° 85</b>	Ensayos de Recuperación-Perforación Bombeada N° 7-Pozo de Observación N° 2	312

SPRyRS: Secretaría de Políticas, Regulación y Relaciones Sanitarias

SAGPyA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación

SMEWW (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater): Metodologías estándares para los análisis de aguas y aguas residuales.

APHA (American Public Health Association): Asociación Americana de Salud Pública.

USEPA (Environmental Protection Agency of United States): Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

AWWA (American Water Works Association): Asociación Americana del Agua

CALSA: Compañía Argentina de Levaduras S.A.I.C

ABF (Associated British Foods): Compañía de Alimentos Británica

EEAOC: Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes

Ha: Hectárea

IQ: Intercambiador de Calor

C/U: Cada Uno

FAZ: Facultad de Agronomía y Zootecnia

UNT: Universidad Nacional de Tucumán

SOE: Sin olores Extraños

SEMA: Secretaría de Medio Ambiente.

Q: Caudal

m: metros

DRH: Dirección de Recursos Hídricos

SD: Sin Datos

ND: Nivel Dinámico

NE: Nivel Estático

D: Depresión

Qe: Caudal Especifico

Prof.: Profundidad

p.a.: Pro Análisis

## **8 El manejo de los recursos hídricos y la actividad industrial en la Provincia de Tucumán.**

Desde hace muchos años el recurso hídrico subterráneo en la provincia de Tucumán fue usado con diferentes fines, industria, riego y agua potable, siendo este último el principal uso en distintas localidades del interior de la provincia.

A su vez el agua subterránea fue explotada como un recurso inagotable e inalterable llevando a que algunas cuencas hidrogeológicas de la provincia se vean seriamente afectadas, tanto en la cantidad como en la calidad de sus aguas.

Esta explotación descontrolada del recurso y la contaminación de los acuíferos se debió fundamentalmente a la falta de una política clara de gestión, la falta de estudios confiables sobre las características de las aguas subterráneas en la provincia y la falta de información a las industrias sobre el significado y las ventajas económicas y ambientales de una explotación racional y sustentable.

A partir del mes de febrero del año 2004 y por ley N° 7139/7140 se nombra como autoridad de aplicación de esta ley a la Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia de Tucumán, siendo ésta, el organismo gestor y administrador de los Recursos Hídricos de la provincia de Tucumán. La Dirección de Recursos Hídricos es un organismo provincial

descentralizado que entiende en la formulación, desarrollo y aplicación de la política hídrica en la provincia, concerniente a aguas superficiales y subterráneas para riego, industrias y otros usos que la ley le asigna estableciendo las normas relativas a distribución y a la preservación del recurso.

Para cumplir la misión y objetivos del organismo, éste se encuentra conformado territorialmente por siete Distritos con sus respectivas comparticiones, encargados de administrar y distribuir el recurso. Para ello cuenta con el apoyo de otros Departamentos, encargados del control del otorgamiento de concesiones, el mantenimiento de la infraestructura hídrica, la protección y el control de la calidad del recurso y la administración del agua subterránea.

La industria sobre la cual se desarrollo la presente tesis, llamada Compañía Argentina de Levaduras S.A.I.C (CALSA), se encuentra emplazada en el Distrito de Riego N° IV en la Comuna Rural de El Manantial, Departamento Lules, Provincia de Tucumán.

Es de destacar que actualmente las industrias requieren un compromiso directo con el medio ambiente y por esta razón tienen mayores exigencias en la explotación del agua subterránea, para que su actividad y funcionamiento no produzca un impacto negativo en el entorno en el cual operan.

La Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia de Tucumán, estableció la prohibición de realizar nuevas perforaciones en el área de El Manantial, por entender que se encuentra al límite de su capacidad explotación, aceptándose únicamente el reemplazo de una vieja perforación por otra nueva de similares especificaciones.

En los últimos años, se registra un constante aumento de la depresión en los niveles estáticos y dinámicos por la sobreexplotación a la que están sometidos los acuíferos de la región. Por este motivo, se ha visto la necesidad de implementar técnicas que permitan la explotación racional del recurso, ligadas al desarrollo de planes a medida de cada industria.

## **9 Antecedentes Históricos de CALSA.**

La planta de producción de levadura fresca, que se denomina CALSA Planta Tucumán, se encuentra ubicada en un predio de 26 hectáreas ubicado en Ruta Provincial 301, km. 2, Comuna de El Manantial.

La Planta Industrial comenzó producir levadura a mediados de 1959, siendo su dueño Don Andrés Ibarzábal. En el año 1963 fue comprada por el grupo Canadiense Seagram y en 1994 por el grupo Australiano de Compañías Burns Philp, uno de los líderes mundiales en producción de levaduras. En 2002, la marca argentina inauguró una nueva planta de levadura en el Parque Industrial El Manantial, con la más avanzada tecnología y con el fin de optimizar y concentrar la producción de levadura.

Desde octubre del año 2004, pertenece a Associated British Foods (ABF), compañía británica líder en el negocio de alimentos primarios, productos comestibles, ingredientes y tiendas de ropa. CALSA forma parte de AB Mauri, división del grupo ABF dedicada a la elaboración y comercialización de levaduras e ingredientes para panadería a nivel mundial.

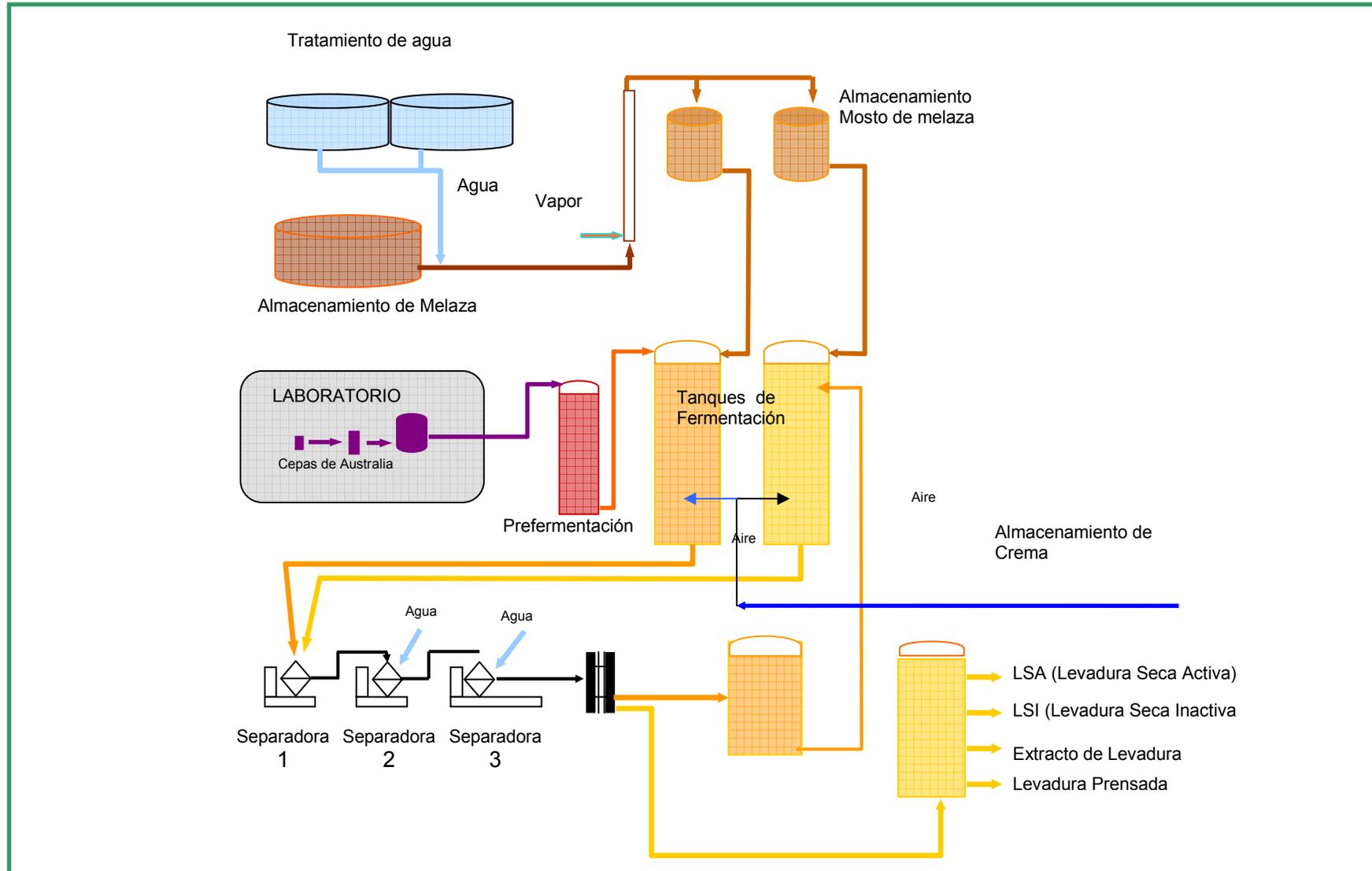
**Figura N° 1:** foto aérea de CALSA planta Tucumán



Con una capacidad productiva de 30.000 Ton de levadura por año, fue la primera planta productora de levadura fresca del país en abastecer al mercado interno en sus diversas presentaciones: Levadura Prensada Industrial (500g); Levadura Prensada Familiar (50g) y Levadura Fluida en contenedores de 1.000 litros o a Granel (en Piletas de 7.000 litros) a panaderías, industrias y/o consumo masivo.

En el año 2004 comenzó a operar en el mismo predio la producción de Extracto de Levadura, Levadura Alimenticia y Extracto de Malta, productos destinados a ser comercializados como mejoradores en la industria panadera. En la **Figura N° 2** se muestra un detalle del proceso productivo de la fabricación de crema de levadura.

Figura N° 2. Proceso productivo de la fabricación de crema de levadura.



## 10 Superficies.

La planta industrial de CALSA abarca una superficie aproximada de 26 Ha. Tiene la forma de un polígono irregular ubicado entre calle Irma Abraham al Norte, calle Manuel F. Tórtola al Sur, la Ruta Provincial N° 301 al Oeste y el Arroyo Manantial al Este, que discurre en dirección Norte-Sur.

**Tabla N ° 1:** Detalle de Superficie Construida de CALSA planta Tucumán

<b>ÁREAS</b>	<b>SUPERFICIES (m2)</b>
Área de Administración (oficinas).	625
Área de Operación.	6.402,2502
Área de Depósito.	8.941,8150
Área de Servicios Auxiliares (comedores, vestuarios, primeros auxilios, etc.).	1.491,5133
Superficie utilizada.	29.116,3799
Superficie total del predio.	263.342,4305

## 11 Nomenclatura catastral.

**Padrón Inmobiliario:** 532.269

**Orden:** 2591

**Circ.:** I

**Secc.:** Z

**M/L:** 74

**Parc.:** Z143 D

**Matrícula Catastral:** 135

## **12 Consumo de Recursos hídricos.**

CALSA consume dos tipos de aguas, superficial y subterránea según el uso. Se utiliza agua subterránea de perforaciones profundas para los requerimientos del proceso de fabricación de levaduras y servicios y agua superficial del arroyo El Manantial como agua de refrigeración del proceso productivo.

El requerimiento de agua para los procesos productivos y de servicios se encuentra en relación directa con la producción. Además, las cantidades demandadas dependen de la estacionalidad del producto y del programa diario de producción.

### **12.1 Agua Superficial.**

El agua superficial que utiliza la fábrica se toma directamente del Arroyo El Manantial, mediante un dique nivelador. Esta es utilizada en un 85 % como fluido de refrigeración durante el proceso fermentativo, luego esta se retorna al cauce con la misma calidad de ingreso, a excepción de que sufre un incremento de temperatura máxima desde los 21° C a los 25° C.

Resumiendo podemos decir que el agua superficial obtenida desde el Arroyo El Manantial se utiliza exclusivamente con fines de refrigeración en los siguientes procesos (ver **Tabla N° 2**):

- Proceso Fermentativo aeróbico de producción de crema de levadura
- Evaporación al vacío durante el proceso de fabricación de extracto de malta.
- Operación de compresores a tornillo con amoníaco.

**Tabla N° 2:** Detalle de Uso de Agua Superficial

<b>Cantidad</b>	<b>Resolución y/o aprobación</b>	<b>Uso</b>	<b>Fuente de Abastecimiento</b>
Máximo 12.219 (m <sup>3</sup> /día)  Mínimos 4.836 (m <sup>3</sup> /día)	Titulo de uso del Agua de Dominio Público (16/02/2004) - Resolución N° 047/Registrado en el Libro de Empadronamiento de la D.R.H., Folio 289-N° 7.400	Refrigeración de procesos/ refrigeración de equipos.	Arroyo "El Manantial"

## **5.2 Agua Subterránea.**

El agua de proceso se extrae de 7 (siete) perforaciones semisurgentes, en profundidades que varían entre los 80 y 180 m de profundidad.

Estos se encuentran registrados en el Departamento Catastro de la Dirección de Recursos Hídricos, bajo Resolución N° 478/Expediente N° 177/332-C-2003.

El agua subterránea se utiliza en los siguientes procesos y operaciones:

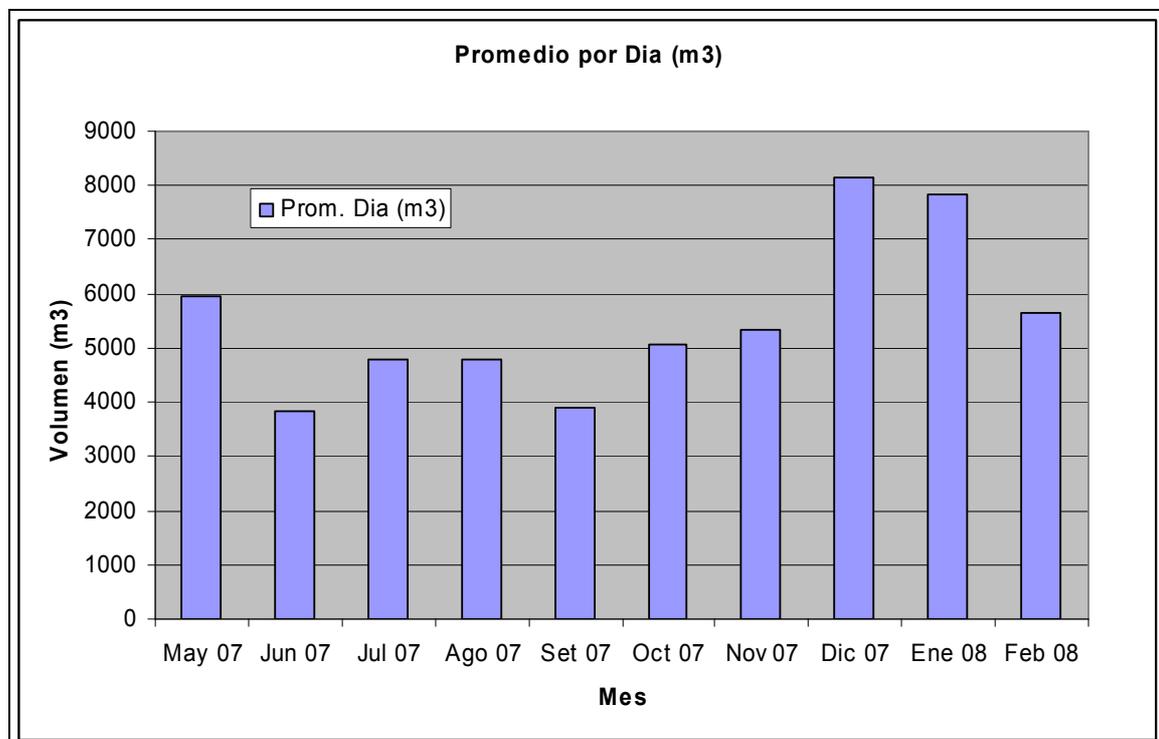
- Proceso de Fermentativo para la producción de Crema de Levadura.
- Proceso de Lavado de Crema de Levadura.
- Proceso de Filtrado de Crema de Levaduras.
- Proceso de Fabricación de Levadura Alimenticia.
- Proceso de Fabricación de Extracto de Levadura.
- Sistemas de limpieza in situ.
- Proceso de Fabricación de Levadura Seca Instantánea.
- Proceso de Fabricación de Extracto de Malta.
- Proceso de Generación de Vapor.
- Agua de Consumo Humano (Bebida, Sanitario y Cocina).
- Proceso de generación de frío.
- Agua de limpieza de planta.

En la **Tabla N° 3** se presenta el registro totalizado de consumo de agua subterránea desde los meses de Mayo de 2007 a Febrero de 2008. En los **Gráficos N° 1, 2 y 3** se muestra la representación grafica de los datos mostrados en la **Tabla N° 3**.

**Tabla N° 3** Consumos totalizados de agua subterránea

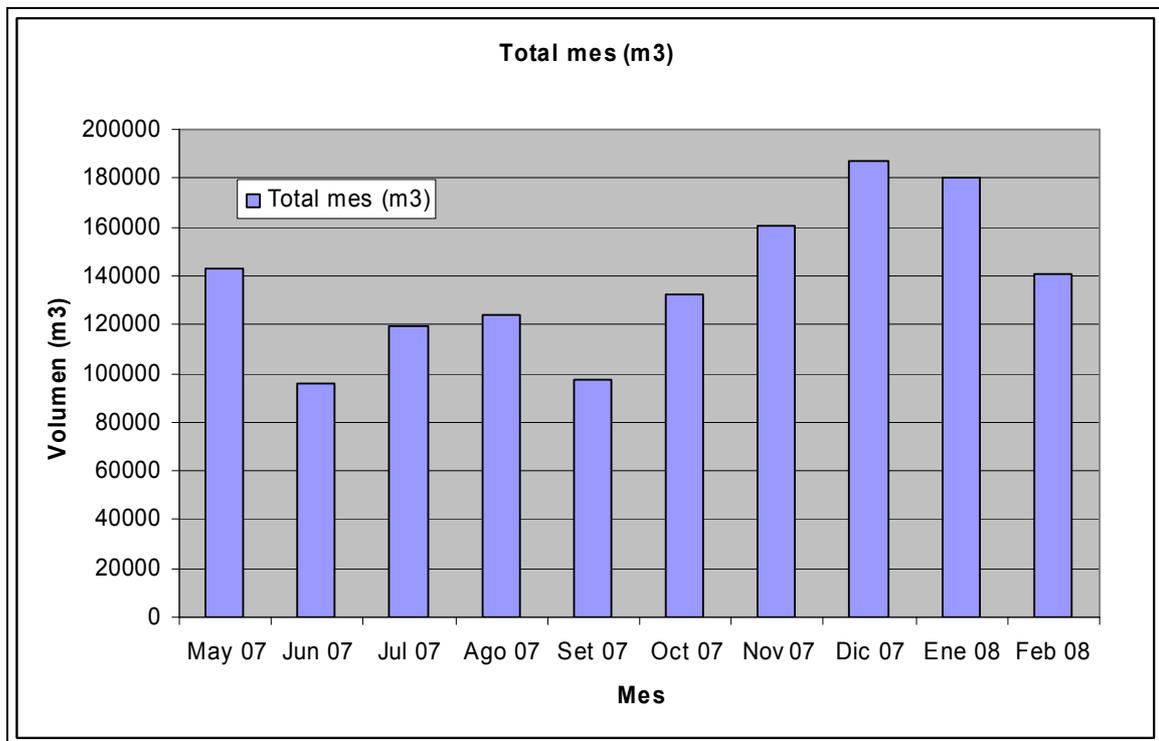
Período	Prom. Día (m <sup>3</sup> )	Total mes (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> /h
May 07	5.964	143.125	192
Jun 07	3.839	95.976	129
Jul 07	4.789	119.722	161
Ago 07	4.780	124.278	167
Set 07	3.906	97.647	136
Oct 07	5.079	132.041	177
Nov 07	5.338	160.150	222
Dic 07	8.143	187.299	252
Ene 08	7.826	179.993	242
Feb 08	5.632	140.791	202

**Gráfico N° 1:** Consumo promedio por día de agua subterránea

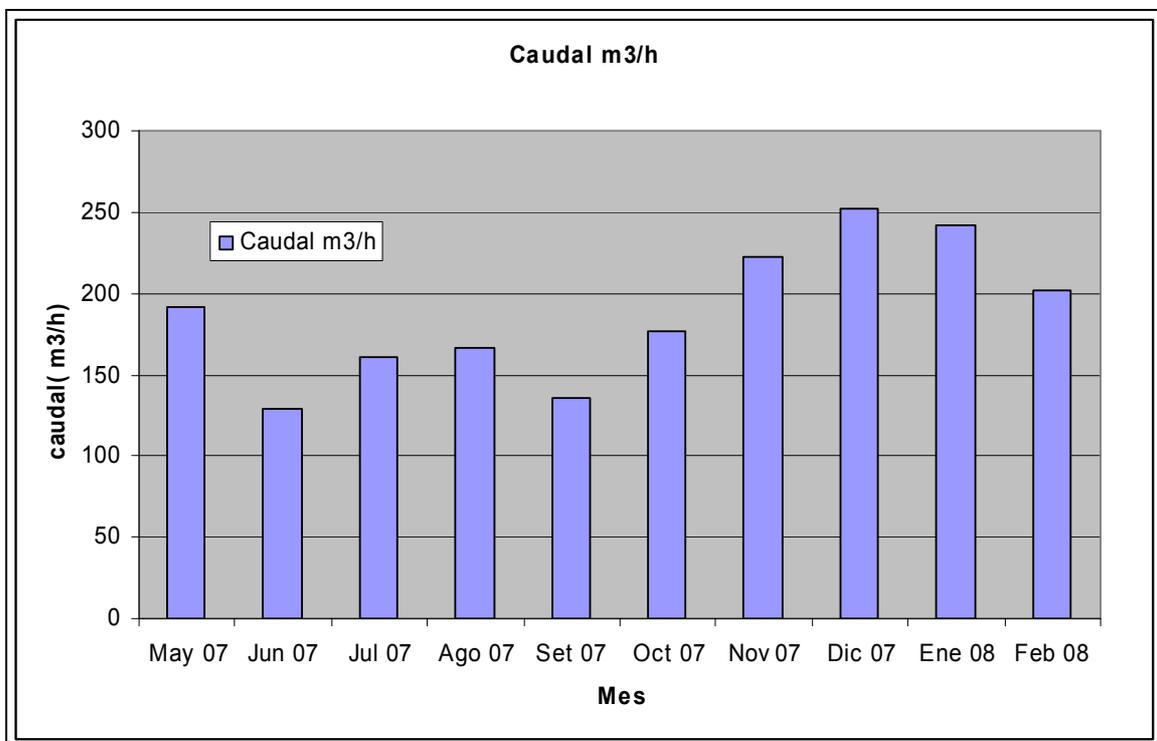


*Autor: Esp. Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011.  
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental*

**Gráfico N° 2:** Volumen mensual de agua subterránea consumida.



**Gráfico N° 3:** Caudal promedio horario consumido de agua subterránea



## **13 Entorno del Área de Estudio**

### **13.1 Análisis Regional.**

#### **13.1.1 Encuadre Provincial.**

La Provincia de Tucumán ocupa una posición central dentro de la región del Noroeste de la República Argentina. Limita al Norte con la Provincia de Salta, al Oeste y Sur con la Provincia de Catamarca y al Este con la Provincia de Santiago del Estero. Se encuentra entre los 26° 05' y 28° 03' de latitud Sur y entre los 64° 33' y 66° 12' de longitud Oeste.

Respecto de su superficie, sus 22.524 km<sup>2</sup> de extensión, la posiciona como la más pequeña de las provincias argentinas, representando el 0,6% de la superficie del territorio nacional. Su eje Norte-Sur es de 212 km y su eje Este-Oeste es de 170 km.

Políticamente la provincia de Tucumán está dividida en 17 departamentos. Los departamentos carecen de jurisdicción territorial, es decir, no existe una autoridad política que tenga injerencia sobre el espacio ocupado por cada una de estas unidades. Tales atribuciones están reservadas para los intendentes municipales y los delegados comunales, cuyo accionar se circunscribe a cada municipio o comuna rural, según corresponda (Costilla, 2008).

Desde el punto de vista jurídico-administrativo la provincia tiene 19 municipios y 93 comunas rurales, además de territorios sin jurisdicción, que no están integrados legalmente a ninguna jurisdicción municipal o comunal.

La capital de la provincia es la ciudad de San Miguel de Tucumán con una población, según el Censo 2001, de 527.607 habitantes. El crecimiento que han experimentado en los últimos años San Miguel de Tucumán y las ciudades vecinas ha generado la creación del área metropolitana denominada Gran San Miguel de Tucumán, que cuenta, con una población que supera los 730.000 habitantes.

Demográficamente la provincia de Tucumán es la quinta provincia más poblada de la Argentina y la más densamente poblada del país. De acuerdo al Censo del año 2001, cuenta con una población de 1.338.523 habitantes y una densidad de 59,4 hab/km<sup>2</sup>. A pesar de su elevada densidad, la distribución de la población es muy irregular (**Tabla N° 4**). Esta irregularidad obedece a factores geográficos (diversidad de relieves y climas, calidad de los suelos, presencia de rutas y caminos), a razones históricas, económicas y culturales.

Así, hay zonas muy pobladas como algunos sectores del oeste y centro de la provincia y otras prácticamente deshabitadas como el este, en el límite con Santiago del Estero o en las zonas de la montaña.

Se observa en la **Tabla N° 4** que el Departamento Lules, tiene una densidad de población ubicada en la franja de 100,1 a 500,0 hab./km<sup>2</sup>, con una población de 20.000 a 40.000 habitantes. También se muestran los valores de población, superficie y densidad de población para cada uno de los departamentos (INDEC, 2001).

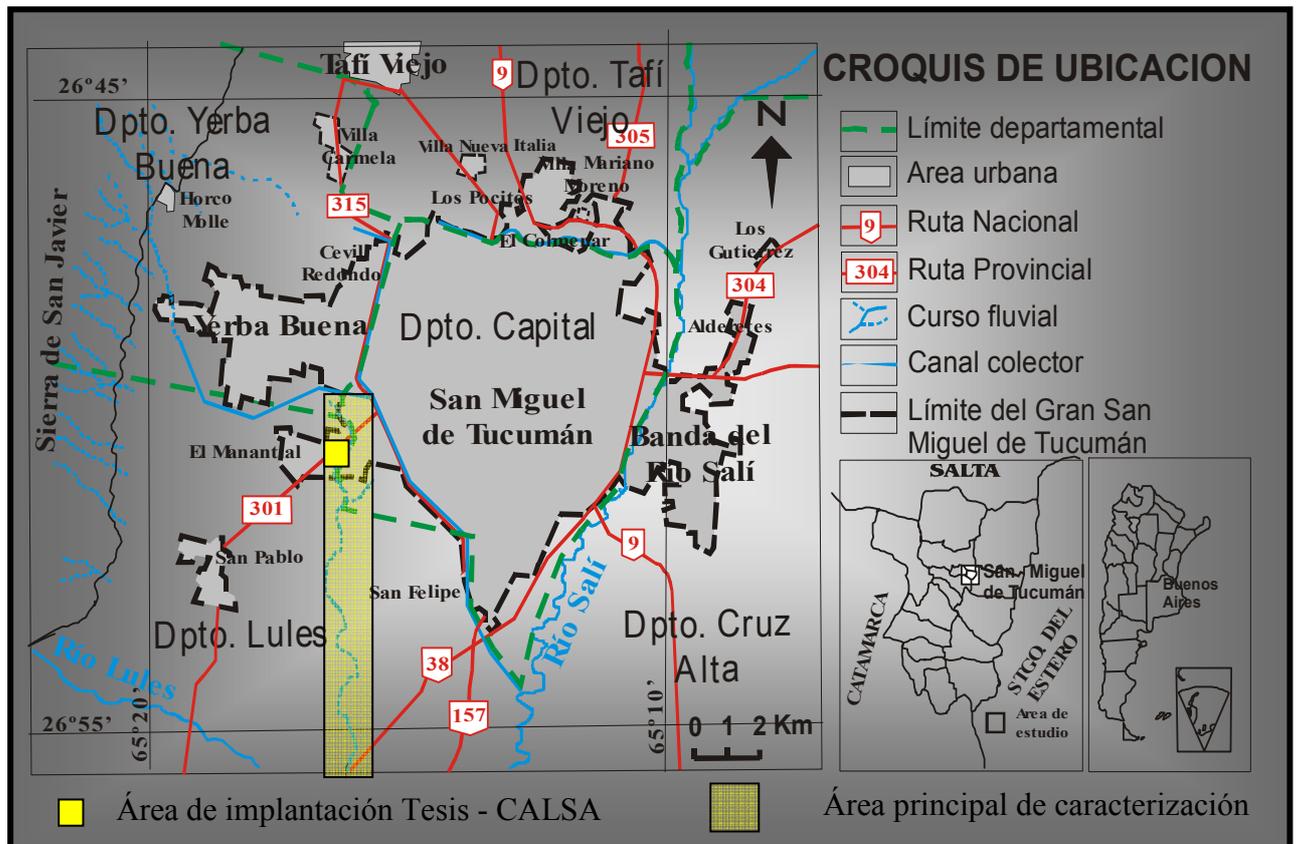
**Tabla N° 4:** Población, superficie y densidad de población por departamento (INDEC, 2001).

Departamento	Ciudad cabecera	Población	Superficie km <sup>2</sup>	Densidad hab/km <sup>2</sup>
Burruyacu	Burruyacu	32.936	3.605	9,1
Capital	San Miguel de Tucumán	527.607	90	5.862,3
Chicligasta	Concepción	75.133	1.267	59,3
Cruz Alta	Banda del Río Salí	162.240	1.255	129,3
Famaillá	Famaillá	30.951	427	72,5
Graneros	Graneros	13.063	1.678	7,8
Juan B. Alberdi	Juan B. Alberdi	28.206	730	38,6
La Cocha	La Cocha	17.683	917	19,3
Leales	Bella Vista	51.090	2.027	25,2
<b>Lules</b>	<b>Lules</b>	<b>57.235</b>	<b>540</b>	<b>106,0</b>
Monteros	Monteros	58.442	1.169	50,0
Río Chico	Aguijares	52.925	585	90,5
Simoca	Simoca	29.932	1.261	23,7
Tafí del Valle	Tafí del Valle	13.883	2.741	5,1
Tafí Viejo	Tafí Viejo	108.017	1.210	89,3
Trancas	Trancas	15.473	2.862	5,4
Yerba Buena	Yerba Buena	63.707	160	398,2
<b>Total</b>		<b>1.338.523</b>	<b>22.524</b>	<b>59,4</b>

### 13.2 Contexto Departamental y Comunal.

El Manantial se encuentra ubicado en el departamento Lules, al sudoeste de la capital provincial, con la cual se encuentra conurbada como parte del Gran San Miguel de Tucumán. En 2001 contaba con 14.309 habitantes (INDEC, 2001), lo que representa un incremento del 22,2 % frente a los 11.712 habitantes (INDEC, 1991) del censo anterior.

**Figura N° 3:** Croquis de ubicación de CALSA en el Gran San Miguel de Tucumán.



La zona se puede caracterizar como industrial – comercial inserta en un contexto urbano – rural. La densidad poblacional del área de influencia cercana es muy baja y corresponde al rango de 50 a 100 habitantes /Ha. Al Este y Oeste del predio la población es de 151 a 200 hab/Ha.

Hacia el Sur y siguiendo al arroyo El Manantial, a población es menor a 50 Hab/Ha (NDEC, 2001), aunque el área se encuentra en expansión hasta llegar a áreas suburbanas-rurales en donde se efectúan cultivos de hortalizas y plantaciones de caña de azúcar.

**Tabla N° 5:** Población por municipio o comuna, según Necesidades Básicas Insatisfechas (INDEC, 2001).

<b>Departamento Lules</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Personas</b>		
		Total	Con NBI	% Con NBI
Municipio	LULES	28.359	7.621	26,9
Comuna	EL MANANTIAL	14.309	3.263	22,8
Comuna	SAN FELIPE Y SANTA BARBARA	3.742	1.865	49,8
Comuna	SAN PABLO Y VILLA NOUGUES	10.785	3.356	31,1
Sin Jurisdicción		40	9	22,5
Total		57.235	16.114	28,2%

La infraestructura de servicios tanto para agua como para alcantarillado, se encuentra en un incipiente desarrollo y crecimiento a través de cooperativas de agua y cloacas.

Hace una década la comuna no contaba con una red significativa. Actualmente, se ha instalado colectores primarios y secundarios que van por el Sur de la comuna en dirección al Arroyo El Manantial, en donde originalmente se descargaban sin tratamiento previo.

### **13.3 Medio Antrópico.**

Las condiciones naturales de la zona aledaña a la planta CALSA - Manantial la hacen particularmente apta para el desarrollo agrícola. Por otra parte, la posición relativa y la disponibilidad de servicios, ha promovido el avance de la urbanización y de la actividad industrial y comercial. Se desarrolla también la agricultura, siendo los principales cultivos la caña de azúcar y citrus ocupa una franja delimitada al oeste por los primeros faldeos de la sierra y al este por la isoyeta de los 700 mm. También se encuentran, en menor medida, cultivos de hortalizas y frutillas. Se han observado además cultivos familiares de hortalizas

en las márgenes del Arroyo el Manantial, especialmente en asentamientos al sur de Planta CALSA y cercanos a urbanizaciones barriales.

Las actividades industrial y comercial se encuentran concentradas a ambas márgenes de la ruta provincial N° 301, desde el Complejo “José Salmoiraghi” hasta la Comuna de El Manantial. Además de la Planta CALSA Manantial hacia la margen este se encuentran las siguientes empresas: Corralón “El Amigo”, “Petronorte”, Carrocerías “Coquito”, Giacosa, “Air Liquide”, CALSA y por la margen oeste, Compañía Tucumana de Refrescos “Coca Cola”, Supermercado “Makro” y la Embotelladora CERSA “Torasso”. Estas industrias utilizan en general, el agua subterránea para su abastecimiento industrial y humano (Comuna El Manantial, 2011).

El uso urbano en los alrededores del predio ocupa una importante superficie, sobre todo en los sectores Noreste, Sur y Sureste del predio. En relación a la Implantación del Proyecto en Predios de CALSA, se distingue la Región al Este como de incidencia directa.

Por otro lado, en las márgenes del Arroyo el Manantial, se verifican numerosos Asentamientos, especialmente en cercanías a otros asentamientos o próximos a vías de circulación vehicular.

## **13.4 Geografía Física.**

### **13.4.1 Clima.**

Desde el punto de vista climático, la zona donde se emplaza la planta de CALSA se caracteriza por un régimen de temperatura elevado en verano y bajo en invierno con una gran amplitud térmica. La temperatura media anual es del orden de los 18° C a 20° C y la precipitación media anual alcanza los 800 a 1.000 mm.

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen, la zona considerada presenta un clima Cwah, clima seco no riguroso de pradera, con inviernos moderados y secos y veranos cálidos y lluviosos.

Las características climáticas del entorno se hallan fuertemente condicionadas por la Sierra de San Javier, situada a pocos kilómetros al oeste del área de estudio, la que actúa como barrera orográfica de los vientos húmedos provenientes del este y sudeste. Estas masas cargadas de humedad actúan principalmente en el verano y al chocar con el relieve serrano dispuesto meridionalmente, se ven obligadas a ascender sufriendo un fenómeno de enfriamiento que provoca la condensación y posterior precipitación.

Los vientos predominantes son sur, sudoeste y norte. El viento sur representa el 26,27% con una velocidad promedio de 1,38 m/seg. El viento norte, con el 17,82%, es el que posee la mayor velocidad promedio con 1,72 m/seg, en tanto que el viento sudoeste implica el 12,54% del total (Soria, P. 1995). También se registran las masas de aire del nordeste y sudeste, que son portadoras de humedad en la región.

La principal característica, desde el punto de vista climático, es la marcada estacionalidad, donde en sólo los cuatro meses de verano, suelen registrarse más del 50% del total de lluvia anual caída. El total anual de precipitaciones supera en promedio los 950 mm con una evapotranspiración de 900 mm, lo cual marcaría un balance hídrico en general positivo. Las lluvias se concentran en el período estival-otoñal, desde los meses de octubre a abril. El período invernal-primaveral, de dos a cuatro meses de duración, presenta escasas precipitaciones, pero la deficiencia del agua en el suelo es nula a casi nula (Costilla, 2008).

El carácter de las precipitaciones varía con las estaciones. Durante el verano se producen tormentas locales de importancia, caracterizadas por su elevada intensidad y volumen y de corta duración. Hacia fines del otoño y comienzo del verano, las lluvias son suaves y persistentes.

Respecto de las temperaturas, la zona presenta una media anual de 19 °C. Los veranos son cálidos: diciembre (25,2° C), enero (26° C) y febrero (25,1° C) y los inviernos frescos: junio (12,9° C), julio (12,8° C) y agosto (14,7° C) (Costilla, 2008).

A partir de los datos climáticos el área comprendida por el entorno del predio corresponde, según la clasificación climática de Köppen, al tipo Cwah, con veranos cálidos e inviernos secos. La temperatura media anual es de 19 °C y las precipitaciones entre 800 y 1.100 mm, decrecientes hacia el este (Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, 2011).

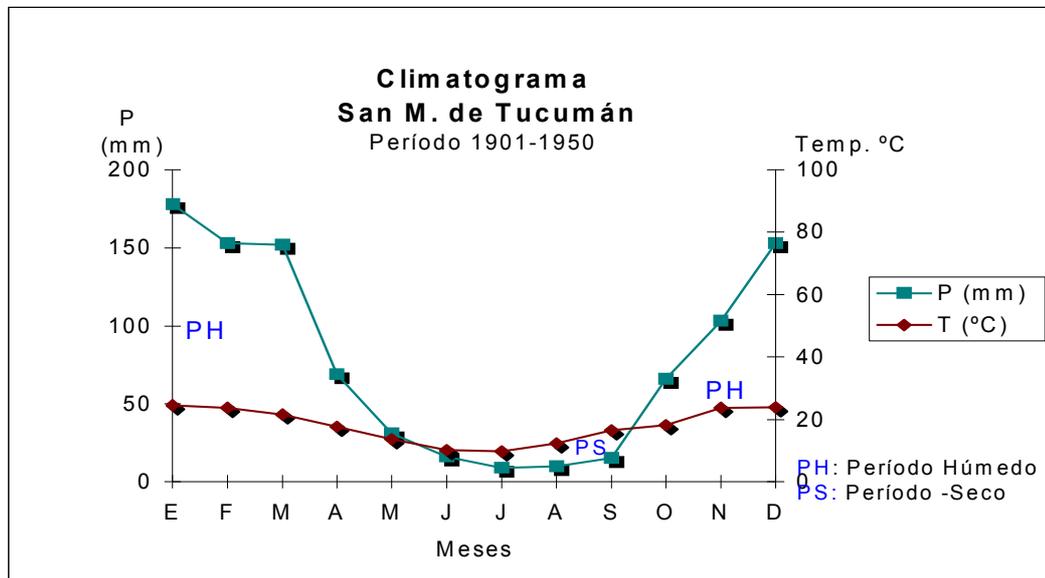
Los datos de precipitación (P) y temperatura (T) con sus correspondientes climogramas para las localidades aledañas al área de implantación de la tesis, se indican a continuación (**Figuras N° 4 y 5**).

**Figura N° 4:** Climograma y Balance Hídrico Estación San Miguel de Tucumán (Período 1901-1950)

Estación San Miguel de Tucumán  
(Período 1901-1950)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>P (mm)</b>	178	153	152	69	31	16	9	10	15	66	103	153
<b>T (°C)</b>	24.5	23.8	21.5	17.6	13.7	10.2	9.8	12.3	16.4	18.2	23.8	23.9

Fuente: Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC).



**Balance hídrico de San Miguel de Tucumán. - Latitud: 26°48'**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
<b>E.P</b>	141,6	117,3	100,8	66,2	41,8	23,5	24,0	35,9	60,0	83,2	114,0	135,6	943,9
<b>P</b>	178	153	152	69	31	16	9	10	15	66	103	153	
<b>P-EP</b>	36,4	35,7	51,2	2,8	-10,8	-7,5	-15	-25,9	-4,5	-17,2	-11,0	17,4	
<b>R.T</b>	121,4	208,3	251,2	202,8	189,2	181,7	166,7	140,8	95,8	78,6	67,6	85,0	
<b>R. R.</b>	121,4	157,1	200	200	189,2	181,7	166,7	140,8	95,8	78,6	67,6	85,0	
<b>Exceso</b>	0	0	8,3	2,8	0	0	0	0	0	0	0	0	11,1
<b>DEFIC.</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>E. R.</b>	141,6	117,3	100,8	66,2	41,8	24,0	24,0	35,9	60,0	83,2	114,0	135,6	

## REFERENCIAS

Autor: Esp. Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011.  
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental

E.P.: Evapotranspiración P: Precipitación R.T.: Reserva Teórica  
Potencial

E.R.: Evapotranspiración DEFIC.: R.R.: Reserva Real  
Real Deficiencia

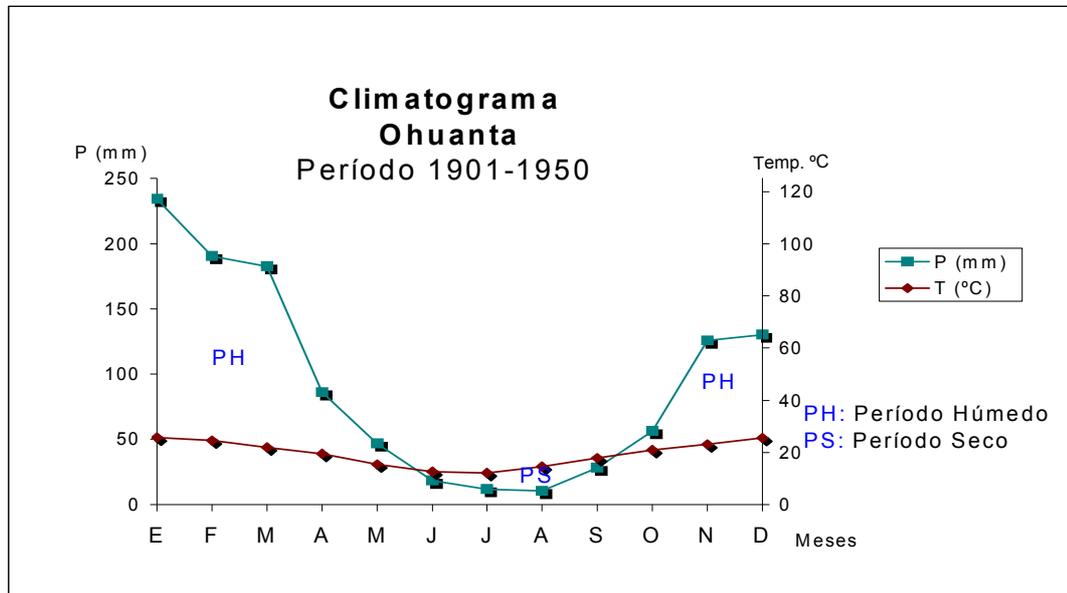
**Figura N° 5:** Climograma y Balance Hidrico Estación Ohuanta Período 1901-1950

**Estación Ohuanta**

(Período 1901-1950)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>P (mm)</b>	234.4	190.5	182.7	86	46.8	18.4	11.7	10.6	28.3	56.2	125.5	130.2
<b>T (°C)</b>	25.7	24.5	22	19.4	15.4	12.6	12.1	14.5	17.9	21	23.1	25.6

Fuente: Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC).



	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
<b>E.P</b>	145,1	116,3	97,6	69,1	44,6	23,4	28,0	34,9	60,0	93,2	114,2	153,5	1121,3
<b>P</b>	234,4	190,5	182,7	86,0	46,8	18,4	11,7	10,6	28,3	56,2	125,5	130,2	
<b>P-EP</b>	89,3	74,2	85,1	16,9	2,2	-5,0	-16,3	-24,3	-31,7	-37,2	-11,3	-23,3	
<b>R.T</b>	162,8	237,0	285,1	216,9	202,2	195,0	178,7	154,4	122,7	85,5	96,8	73,5	
<b>R. R.</b>	162,8	200	200	200	200	195,0	178,7	154,4	122,7	85,5	96,8	73,5	

*Autor: Esp. Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011.  
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental*

<b>Exceso</b>	<b>0</b>	<b>37,0</b>	<b>85,1</b>	<b>16,9</b>	<b>2,2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>141,2</b>
<b>DEFIC.</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>E. R.</b>	<b>145,1</b>	<b>116,3</b>	<b>97,6</b>	<b>69,1</b>	<b>44,6</b>	<b>23,4</b>	<b>28,0</b>	<b>34,9</b>	<b>60,0</b>	<b>93,2</b>	<b>114,2</b>	<b>153,5</b>	

REFERENCIAS

**E.P.:** Evapotranspiración Potencial

**P:** Precipitación

**R.T.:** Reserva Teórica

**E.R.:** Evapotranspiración Real

**DEFIC.:** Deficiencia

**R.R.:** Reserva Real

### 13.4.2 Geología.

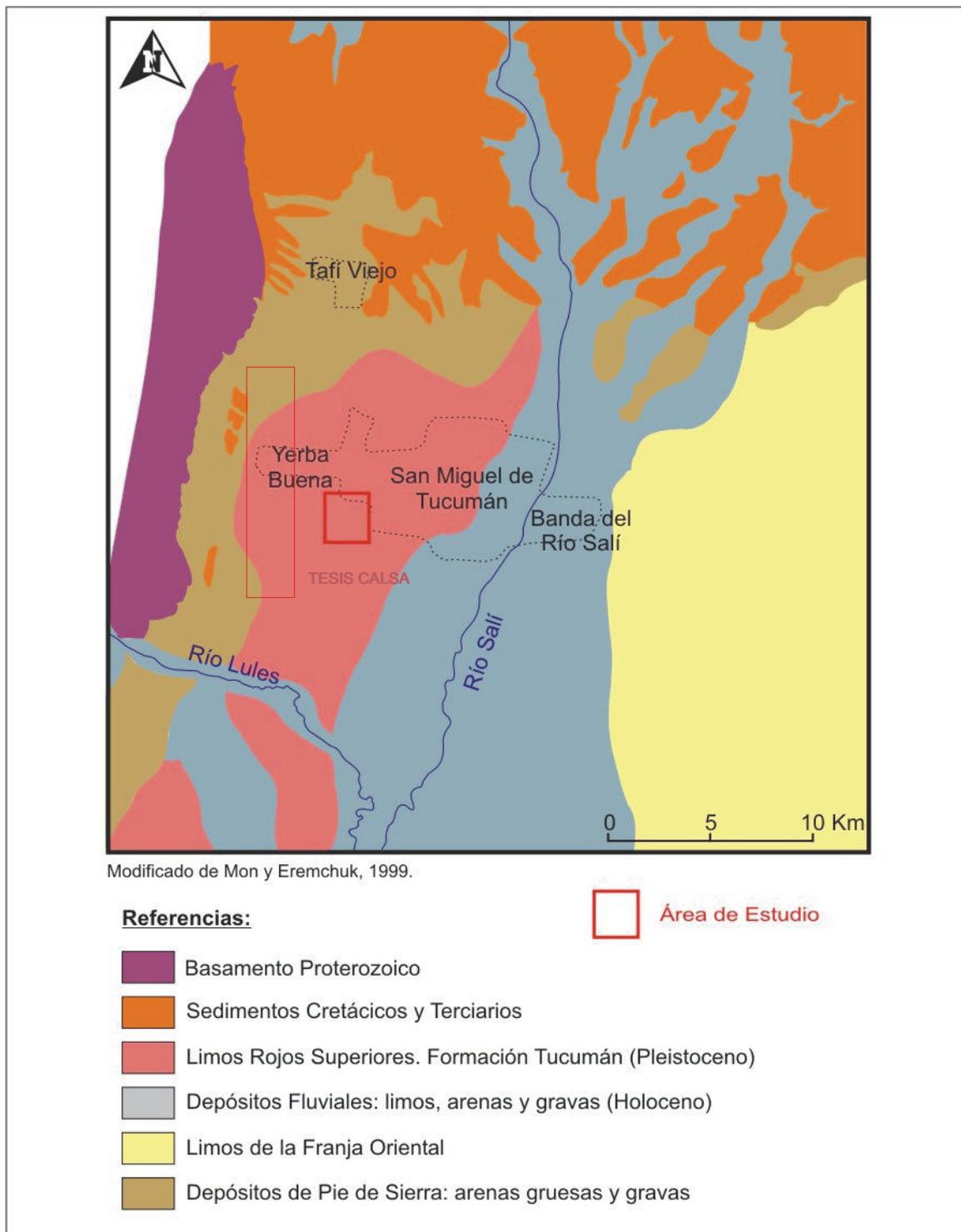
El predio de CALSA se encuentra en la región pedemontana ubicada al pie de la Sierra de San Javier. Por sus características geológicas, esta sierra representa el extremo austral de la Provincia Geológica de Cordillera Oriental.

El material aflorante en la zona aledaña a la planta es de edad cuaternaria y se lo observa tanto en las márgenes de los arroyos como en el fondo de cauces y unidades geomorfológicas asociadas a los mismos.

En general, en el área predominan sedimentos finos, integrados por loess de color ligeramente rojizo a pardo amarillento, con intercalaciones de arenas gruesas, gravas, arcillas y niveles cineríticos a diferentes profundidades. Estos sedimentos cuaternarios, sobre la base del hallazgo de fósiles mamíferos, han sido asignados a una edad Lujanense (Pleistoceno superior) y pertenecen a la Formación Tucumán (Rodríguez y D'Urso, 2005).

En la **Figura N° 6** se muestra el bosquejo geológico regional, (modificado de Mon y Eremchuk, 1999).

**Figura N° 6:** Bosquejo geológico regional. Área de Implantación de tesis (Modificado de Mon y Eremchuk, 1999).



### **13.4.3 Fisiografía.**

En el área se distinguen dos regiones fisiográficas:

- 1. Zona Serrana:** se desarrolla al Oeste del área considerada, fuera de los límites de la planta, entre las cotas de 650 y 1.900 m.snm. Está compuesta por las sierras de San Javier, en cuyo núcleo afloran bloques de basamento, formados por pizarras y filitas de bajo grado metamórfico. Rodeando al núcleo se apoyan sedimentitas clásticas finas del Terciario (arcillas y margas con niveles yesíferos), en afloramientos aislados adosados al basamento metamórfico.
- 2. Zona Pedemontana:** se desarrolla entre las cotas de los 450 y 650 m.snm, en posición intermedia entre el área montañosa y la llanura deprimida, que se extiende más al Este de la zona considerada. Se trata de una superficie ligeramente ondulada a plana, con pendientes del orden del 1% al 5 %. En esta zona se encuentra emplazada la planta de CALSA. El arroyo El Manantial es el colector hídrico principal del área, discurriendo al Este-Sudeste de la planta.

### **13.4.4 Geomorfología.**

#### **13.4.4.1 Marco geomorfológico regional.**

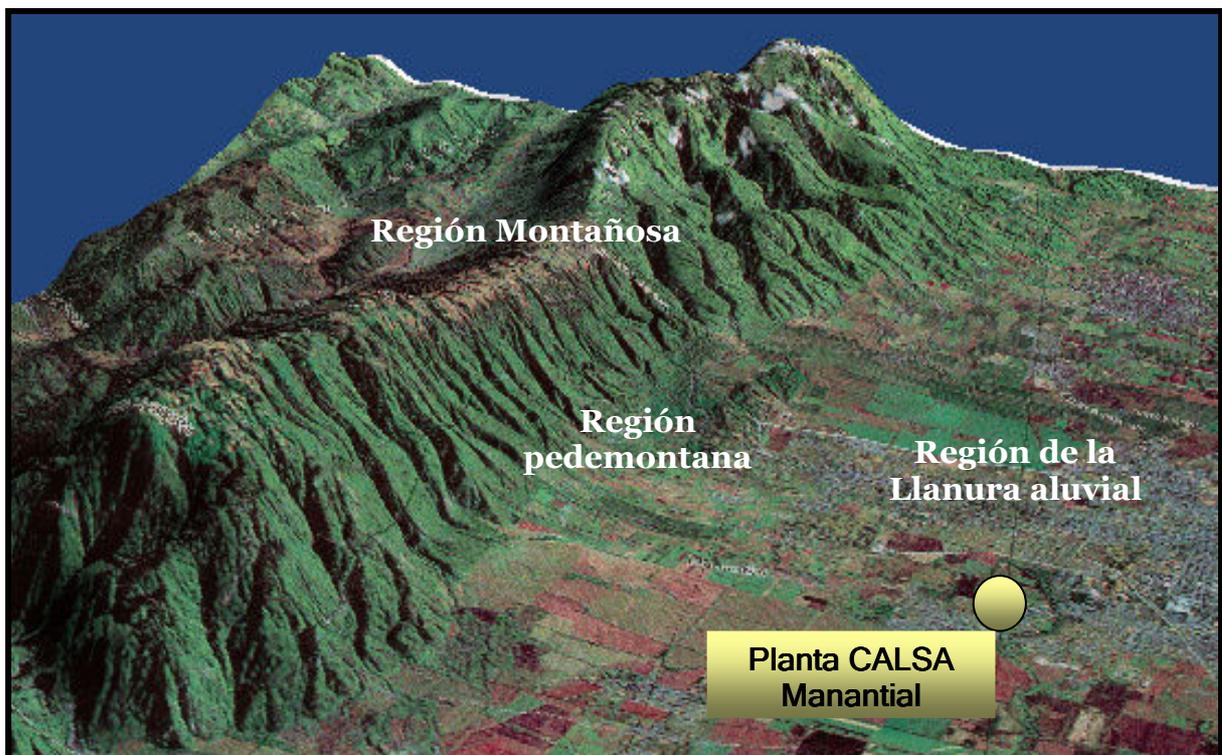
El marco geomorfológico regional está representado por tres regiones bien definidas: región montañosa, región pedemontana y región de llanura aluvial (**Figura N° 7**).

- **Región montañosa:** Está representada por la ladera oriental de la Sierra de San Javier. Se caracteriza por pendientes fuertes, laderas abruptas, cubiertas por vegetación y suelos someros desarrollados sobre materiales limosos. Constituye el área de las nacientes de una densa red fluvial que recorre la sierra y que desembocan en el piedemonte. Los ríos son de carácter torrencial con marcadas diferencias entre las

descargas estivales e invernales y son los responsables de fenómenos de inundación y aluvionamientos en el área pedemontana.

- **Región pedemontana:** Constituye la transición entre las principales cadenas montañosas del oeste y la llanura aluvial del este. Se describe como una superficie plana a suavemente ondulada con un ancho variable entre 5 y 20 km inclinada hacia el este con un gradiente medio de 1 a 8%. Este relieve plano se encuentra interrumpido por elevaciones aisladas en forma de cuestras.
- **Región de la Llanura aluvial:** Es una extensa y chata superficie, ubicada al este de la región del piedemonte. Presenta el aspecto de una vasta depresión a la que confluyen las corrientes fluviales que nacen en las áreas montañosas circundantes.

**Figura N° 7:** Imagen 3D del contexto geomorfológico de CALSA planta Tucumán (Costilla, 2008)



#### **13.4.4.2 Características geomorfológicas del entorno al predio.**

El predio se encuentra en la zona de transición entre la región geomorfológico del piedemonte, al oeste y la región de la llanura aluvial, al este, regiones fuertemente influenciadas por la región montañosa. En la **Figura N° 8** se observa un bosquejo geomorfológico del entorno de la Planta CALSA Manantial.

En general, la zona presenta una escasa pendiente regional. El escurrimiento superficial tiene una dirección dominante NO-SE, coincidiendo con la pendiente regional. Las características topográficas del entorno del predio y la modificación del uso del suelo (viviendas, paredones, etc.) tienen, asimismo, una importante participación en la dirección del exceso pluvial.

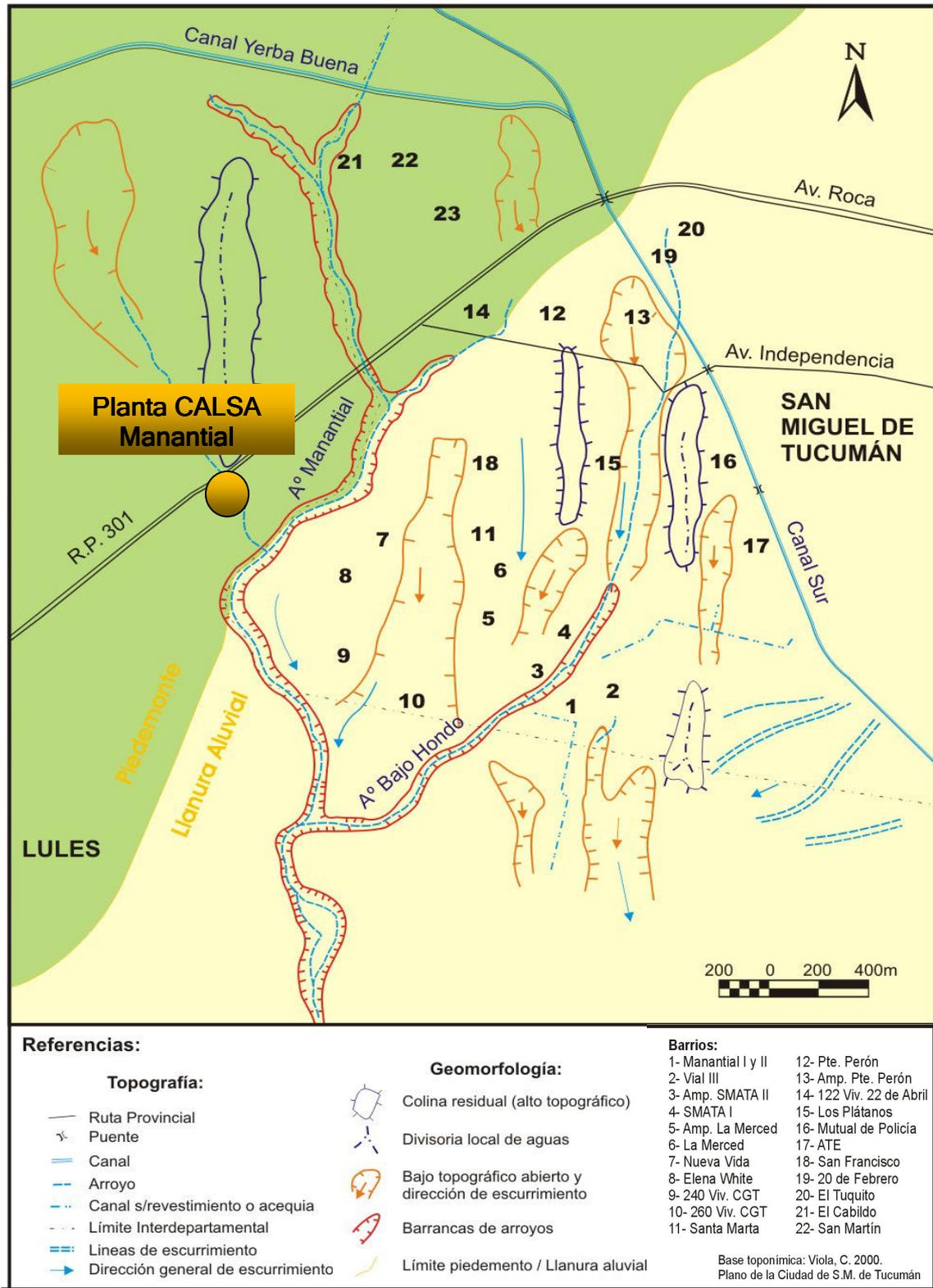
Merece destacarse asimismo, la presencia de numerosas líneas de escurrimiento, las cuales concentran tanto el agua de lluvia, como la de desborde de arroyos y canales. En las áreas urbanas, el diseño recto de calles, coincidente con bajos topográficos, define además líneas de escurrimiento que afectan a las viviendas aledañas.

*Impactos de las extracciones de agua subterránea de una Industria de Levaduras. Aplicación de ensayos de bombeo para el diseño de un plan de explotación de agua subterránea.*

**Figura N° 8:** Bosquejo Geomorfológico del entorno de CALSA planta Tucumán  
(Modificado de Costilla, 2008)

*Autor: Esp. Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011.  
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental*

**Impactos de las extracciones de agua subterránea de una Industria de Levaduras. Aplicación de ensayos de bombeo para el diseño de un plan de explotación de agua subterránea.**



Autor: Esp. Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011.  
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental

#### **13.4.5 Hidrología.**

Unos de los rasgos más importantes de la provincia de Tucumán es su notable riqueza hídrica superficial y subterránea. Las importantes precipitaciones pluviales de la época estival permiten la formación de una densa red de ríos y arroyos en gran parte del territorio provincial además de la recarga de los reservorios de agua en el subsuelo. La mayoría de los ríos son de régimen permanente, de dirección predominante NO-SE y O-E, con marcadas variaciones estacionales y picos de crecientes en la época de verano. Esta circunstancia afecta principalmente a las poblaciones ribereñas de la región pedemontana, las que periódicamente se ven afectadas por graves procesos de inundación y aluvionamiento, con altos costos sociales y económicos (Guido y Sesma, 1999).

La mayoría de los cursos fluviales que drenan en la provincia pertenecen al sistema endorreico de la Cuenca del río Salí-Dulce, la cuenca hidrológica más importante de la provincia de Tucumán. El río Salí constituye un río de carácter permanente de dirección predominante norte-sur y con un marcado control estructural. Luego de recorrer aproximadamente 180 km, ingresa en la provincia de Santiago del Estero con el nombre de río Dulce, para desembocar, en Córdoba, en la Laguna de Mar Chiquita.

Respecto del entorno, la Planta CALSA Manantial está influenciada fundamentalmente por el arroyo El Manantial. Este curso fluvial, afluente del río Lules, tiene sus nacientes en la localidad de Ojo de Agua (Yerba Buena) y se forma por el escurrimiento del río Muerto, arroyos Anta Yacu y Las Piedras, cursos que se originan en la ladera oriental de la Sierra de San Javier.

La cuenca hidrográfica del arroyo Manantial abarca una superficie de 45 km<sup>2</sup>, con pendiente hacia el sudeste. Las aguas escurren sobre la llanura, una distancia aproximada de 10 km, en un desnivel de 100 m y con una longitud de cauce de alrededor de 17 km (Rodríguez y D'Urso, 2005).

*Autor: Esp. Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011.  
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental*

El arroyo El Manantial recibe desde ambas márgenes varios afluentes, de carácter estacional. Merecen destacarse el arroyo Bajo Hondo que luego de atravesar la ciudad de San Miguel de Tucumán, desemboca en su margen izquierda. La mayor cantidad de afluentes se encuentran en el tramo medio, en donde recibe aportes tanto de la margen derecha como de la izquierda.

Respecto de los niveles de contaminación, el Laboratorio de Control Ambiental de la Dirección General de Saneamiento Ambiental del SIPROSA (Sistema Provincial de Salud) en base a estudios realizados entre 1985 y 1996, clasifica al arroyo El Manantial como zona de aguas semicontaminadas, clasificación que corresponde a aguas aptas para riego, en general, pero no aptas para la cría de peces, no aptas para balnearios o deportes acuáticos, no aptas para ser potabilizadas y que poseen una DBO hasta 300 mg/l y OD>2 (Costilla, 2008).

Este arroyo ha sido clasificado como semicontaminado tanto para el mes de julio, o sea en plena actividad industrial de la provincia, como para el mes de marzo (receso industrial) donde en otros ríos hay una notable disminución en cuanto al contenido de materia orgánica (Costilla, 2008).

Cabe destacar que el problema mayor de la contaminación de los ríos tucumanos se debe a un exceso de carga orgánica en los mismos lo cual es reversible siempre que se eviten las descargas contaminantes.

#### **13.4.6 Suelos**

Según Zuccardi et al (1967) los suelos que se encuentran en la Planta CALSA planta Tucumán pertenecen al tipo denominado suelos automorfos. Corresponde a suelos desarrollados sobre sedimentos cuaternarios finos de origen loésico. Su desarrollo está

*Autor: Esp. Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011.  
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental*

ligado estrechamente al relieve, aunque tienen gran influencia las características climáticas y la vegetación. Ocupan la mayor parte de la región pedemontana, dedicada principalmente a la agricultura. El relieve es normal con pendientes cuyo gradiente varía entre 1 y 5% en la mayoría de los casos.

El perfil de estos suelos presenta caracteres morfológicos bien definidos que responden a un proceso de formación y diferenciación de horizontes genéticos. Predomina las fracciones limo-arcilla y arenas finas con muy escasa proporción de arena gruesa. Presenta texturas Franco a Franco limosas en superficie que pasan a texturas más finas en profundidad, bien estructurados, oscuros, de permeabilidad moderada a lenta, drenaje interno bueno, encontrándose en algunos casos signos de hidromorfía.

#### **13.4.7 Hidrogeología.**

La geología e hidrogeología del sector donde se emplaza la planta de CALSA Tucumán ha sido motivo de extensos trabajos científicos entre los que merecen destacarse a Rodríguez (1987), Haup (1968), Minetti y otros (1979), Rabsium (1960), Tineo y otros (1993, 1998, 1999, 2007), Falcón, García y D'Urso (2007,2009,2011), Vilela (1970), entre otros.

Desde el punto de vista hidrogeológico, el área metropolitana del Gran San Miguel de Tucumán pertenece a la Cuenca del Río Salí subdivisión de la Cuenca Hidrogeológica de la Llanura Oriental de la Provincia Hidrogeológica Tucumano-Santiagoña (Tineo et al, 1998). Con una cubierta cuaternaria bien desarrollada, contiene en el subsuelo los principales reservorios acuíferos de la cubeta, distinguiéndose horizontes de agua freática y horizontes confinados.

El predio en el que está implantado CALSA pertenece a la Cuenca Artesiana de Yerba Buena, dentro de la Cuenca Hidrogeológica del Río Salí. Esta cuenca se desarrolla entre las ciudades de Yerba Buena y San Miguel de Tucumán, extendiéndose hacia el sur

hasta la localidad de El Manantial mientras que su límite norte no está bien definido, pero podría alcanzar el sur de la ciudad de Tañi Viejo.

En el área pedemontana, se encuentran sedimentos compuestos por materiales permeables, los cuales van gradando a materiales cada vez más finos hacia la llanura, donde además aumenta la acumulación de loess. El agua se infiltra en los materiales gruesos y circula hacia la llanura. La heterogeneidad de los materiales hace posible el desarrollo de acuíferos múltiples, de rendimiento variable. La mayoría de los pozos del área pedemontana están ubicados en la porción media de los abanicos y captan agua de acuíferos desarrollados, aproximadamente, entre los 100 y 150 m aproximadamente Falcón, García y D'Urso (2007, 2009, 2011).

En base a un estudio hidrogeológico en el sector oriental de la Sierra de San Javier entre las localidades de Yerba Buena y el Manantial. Rodríguez y D'Urso, (2005) determinaron que la infiltración del agua depende de las distintas permeabilidades y porosidades de los terrenos. El basamento, por su litología, presenta una baja permeabilidad secundaria y por su pendiente, un elevado escurrimiento superficial, por lo que predomina éste último sobre la infiltración.

Los sedimentos terciarios son medianamente permeables y portadores de sales solubles en grandes cantidades, de tal manera que las acumulaciones relacionadas con ellos dan aguas salinizadas y acuíferos pobres.

Los materiales arenosos aluviales cuaternarios son muy permeables cerca de la sierra y disminuyen su granulometría y permeabilidad hacia la llanura, en donde predomina el aporte de material loésico de origen eólico sobre sedimentos fluviales. El agua se infiltra en los abanicos aluviales del piedemonte, circula por el interior de la llanura y se almacena constituyendo acuíferos, que en estos sedimentos alcanzan las mejores condiciones de explotabilidad en calidad y caudal Tineo y otros (1993, 1998, 1999, 2007).

*Autor: Esp. Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011.  
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental*

El análisis hidrometeorológico de la cuenca del arroyo Manantial permitió determinar los parámetros del balance Hidrológico (Torres Bruchmann, 1975).

La altura media de la lámina de agua precipitada en la cuenca, calculado por el método de las isohietas es de 1.025 mm anuales.

El escurrimiento superficial determinado por la Fundación Fiat-Concord-Ital-Consult-Argentina, (Plan preliminar para el desarrollo de la provincia de Tucumán), fue de 266,34 mm anuales, lo que representa el 26% del total de agua precipitada sobre la cuenca Rodríguez y D'Urso, (2005).

Para calcular la evapotranspiración real se aplicó la Fórmula de Turc (1953), obteniéndose un valor de 710,93 mm anuales Rodríguez y D'Urso, (2005).

El cálculo de la infiltración se realiza aplicando la fórmula de Balance Hidrogeológico de Thornthwaite, con lo que se determinó que la cantidad de agua infiltrada en cuenca es de 47,73 mm anuales.

El balance hídrico de la zona en general es positivo, con un exceso de agua en los meses de enero, febrero, marzo y abril. En los meses de junio, julio, agosto y septiembre la cantidad de agua caída no alcanza a reponer la humedad que el suelo necesita y la variación de almacenaje da valores negativos, determinando un período de déficit.

Los mayores espesores de sedimentos cuaternarios se desarrollan en una zona deprimida elongada en dirección norte-sur. Esta zona se localiza en la parte distal de los abanicos aluviales, en las localidades de Manantial y oeste de San Miguel de Tucumán, donde se encuentran ubicados los acuíferos con niveles piezométricos positivos.

Con la información de las perforaciones se reconocieron tres tipos de acuíferos (Rodríguez y D'Urso, (2005) sometidos a diferentes presiones hidrostáticas:

- El acuífero libre o freático, que está constituido por un paquete arenoso permeable y limitado solamente en su base por una capa relativamente impermeable, su profundidad varía entre los 3 a 7 metros bajo boca de pozo.
- El acuífero semiconfinado, está limitado en su techo por estratos semipermeables y en su base por estratos impermeables. En la localidad de San Pablo y Ohuanta se encuentra a una profundidad de 30 metros bajo boca de pozo.
- El acuífero confinado, está constituido por un paquete sedimentario limitado en su techo y en su base por estratos impermeables, corresponde a este tipo de acuífero las captaciones realizadas en pozos de surgencia natural. Existen numerosas perforaciones que atravesaron estos acuíferos a profundidades muy variadas.

El área de recarga se encuentra al oeste del predio de CALSA, en el faldeo de la sierra, donde se emplazan los abanicos aluviales de dimensiones muy variadas. La recarga se produce por aportes laterales desde la parte apical de los abanicos, los que están constituidos por cantos rodados, gravas y arenas que han sido depositados por los ríos y arroyos que descienden de la sierra. Estos materiales aluviales gruesos, de gran espesor y de escaso transporte presentan una elevada permeabilidad y porosidad, lo que permite una rápida infiltración del agua, que pasa a alimentar a los acuíferos. Los mayores volúmenes de agua son aportados durante los meses de verano, llegando a los 267 mm en enero y la recarga mínima en los meses de invierno con 10 mm en agosto. Otra fuente de aprovisionamiento es el agua superficial que se escurre por los cauces de los ríos.

Los arroyos que descienden de la sierra se infiltran en el área de recarga y desaparecen totalmente después de recorrer un corto trecho.

El estudio realizado por Rodríguez y D'Urso (2005) da a conocer el censo de 28 perforaciones destinadas a abastecer de agua subterránea a la población, las industrias y a la actividad agrícola (**Figura N° 9**).

**Figura Nº 9:** Censo de Perforaciones (Tomado de Rodríguez y C. H. D'Urso, 2005)

Nº	Localidad	Departamento	Año	Profundidad (m)	Nivel estático (m)	Nivel dinámico (m)	Depresión (m)	Caudal de bombeo m <sup>3</sup> /h	Caudal específico m <sup>3</sup> /h/m
1	Comisaría Yerba Buena	Yerba Buena	1977	241,8	-6,8	-44,8	38	72	1,89
2	Loteo Carlino - Río Muerto	Yerba Buena	1981	69	-14,8	-18	3,2	240	75
3	Plaza Thiele	Yerba Buena	1981	195,5	-10,55	-16,7	6,15	192	31,21
4	Barrio Portal del Cerro	Yerba Buena	1991	75	-18,5	-45	26,5	65	2,45
5	APUNT Rinconada	Yerba Buena	1978	58,6	-18	-24	6	70	11,66
6	Finca Trápani	Yerba Buena		73,8	-20	-24,5	4,5	154,8	34,4
7	La Rinconada	Yerba Buena	1967	51	-12			6,5	
8	Club Atlético Tucumán	Lules	1974	121,5	-3	-4	1	45	45
9	Tucumán Refresco	Lules	1964	137	0,5			30	
10	Compañía Refrescos, S.A.	Lules	1999	140	-11	-45	34	225	6,6
11	Propiedad Sr. Pérez	Lules	1980	120	-1,9	-19,1	17,2	40	2,3
12	Embotelladora Torasso	Lules	1981	77	0,2			15	
13	Est. Carfin (S.A.C.I.F.I.A.)	Lules	1971	119,5	-4	-8	4	25	6,25
14	Barrio 112 viviendas Manantial	Lules	1999	214	-12	-25,3	13,4	113	8,49
15	Coquito S.R.L.	Lules	1978	125	-0,25	-15	14,75	45	3,75
16	La Oxígena	Lules	1978	81	1,2	-19,2	20,4	12	0,58
17	Facultad de Agronomía y Zootecnia	Lules	1978	156,6	0,5	-17,5	18	182	10,11
18	Matadero	Lules	1950	76,6	0,6			10	
19	Destilería San Ignacio	Lules	1975	182	0,2	-95	95,2	220	2,31
20	Dirección Provincial de la Vivienda	Lules	1980	150	3	0,3	2,7	3,5	1,29
21	Comuna El Manantial	Lules	1956	113	0,5			5	
22	Barrio Tula	Lules	1969	217,7	-15			20	
23	Barrio SMATA II - Manantial	Lules	1997	96	-2,12	-33,36	31,24	225	7,2
24	Barrio 150 viviendas (Vial) Manantial	Lules	1997	91	-2,83	-24	21,17	146	6,89
25	Barrio 260 viviendas Manantial	Lules	1999	142	-7,8	-26,58	18,78	120	6,39
26	Ohuanta	Lules	1971	180	-6,8	-9,5	2,7	30	11,11
27	San Pablo	Lules	1984	214,5	-9,5	-28,4	18,9	67,5	3,57
28	Santa Bárbara/San Felipe	Lules	1980	104	-5,5	-10,64	5,14		

Es de considerar que esta información sólo posee datos acerca de las perforaciones realizadas hasta el año 1999, lo que llevó a incluir en el presente trabajo de tesis un relevamiento de las perforaciones que se encuentran en el área de influencia de CALSA, tomando como referencia el relevamiento realizado por Falcón, García y D'Urso (2010) en el estudio geoelectrico de CALSA planta Tucumán y zona de influencia.

En adición a esto se observó que en la llanura, la capa freática se encuentra muy cerca de la superficie. Por lo general, basta excavar unos metros para llegar a ella. Como en gran parte de esta zona no existen servicios de cloacas, agravado aún más por la elevada carga contaminante proveniente de efluentes industriales, se debe utilizar las napas profundas. Debido a esta última situación todos los pozos que se realizaron cementaron la freática, porque es una zona de gran crecimiento poblacional e industrial y potencialmente contaminable (Rodríguez y D' Urso, 2005).

*Autor: Esp. Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011.  
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental*

Es de destacar que las perforaciones realizadas en la planta de CALSA Tucumán, se encuentran entre los 80 y 180 m de profundidad.

La característica hidrogeológica principal de la localidad de El Manantial y zonas vecinas es la presencia de acuíferos con niveles piezométricos positivos que en algunos casos llegan a los + 4,5 metros sobre el nivel del terreno (msnt). En cambio en las localidades de San Pablo y Ohuanta los pozos resultaron semisurgentes por estar topográficamente más altos (Tineo et al, 1998).

En el mapa de curvas isopiezas (**Figura N° 10**) se pudo constatar el comportamiento de los niveles piezométricos de las aguas subterráneas. Observándose que el sentido del flujo subterráneo coincide con la pendiente regional (Rodríguez y D'Urso, 2005)

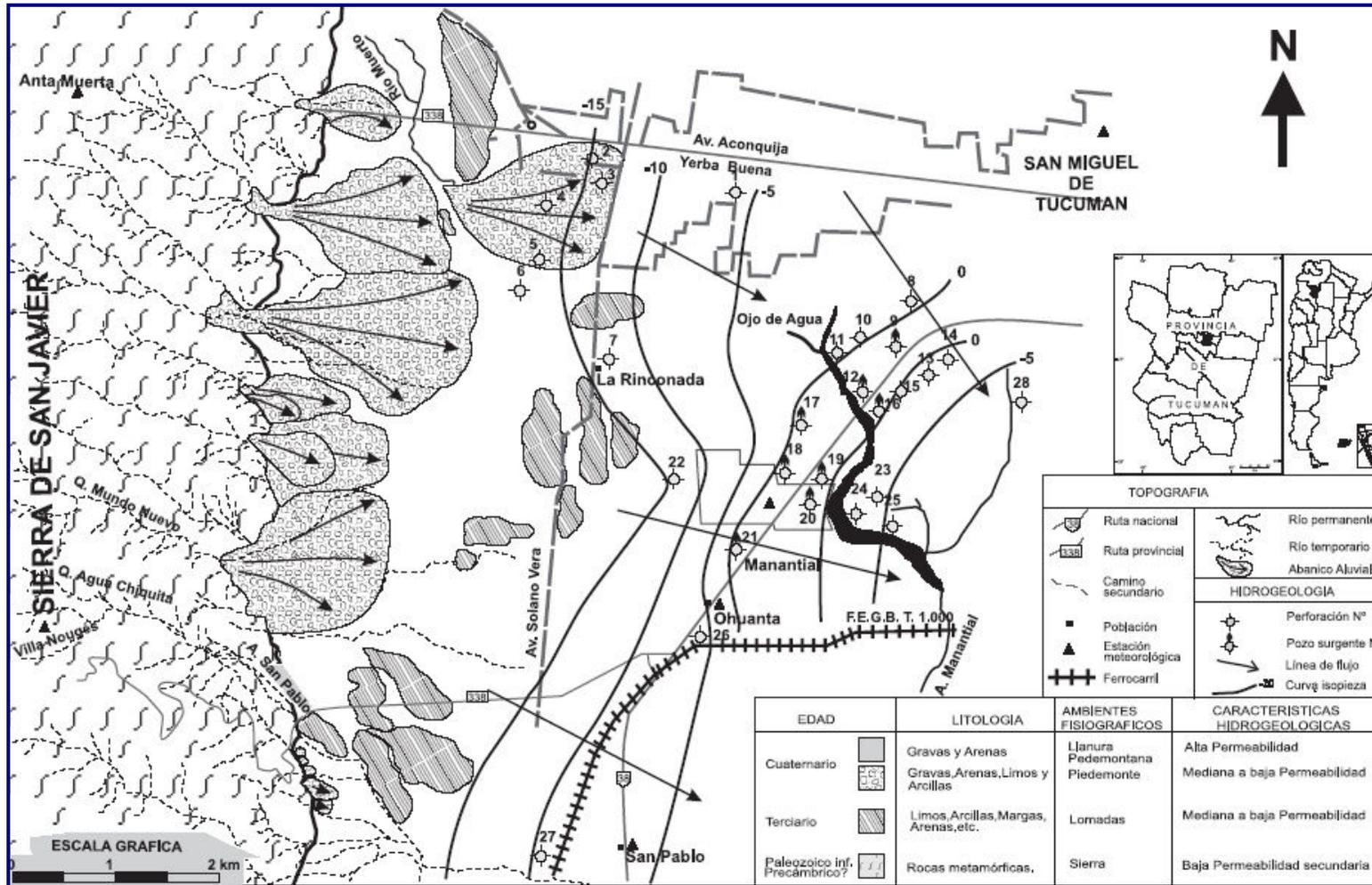
Hacia el sector oeste y este las curvas describen una marcada concavidad orientada hacia la zona de recarga que está ubicada hacia el oeste.

La curva de valor cero se desarrolla en la parte central, en dirección noreste-sudeste. Al oeste y al este de esta curva se localizan dos zonas semisurgentes. Desde la sierra hasta el arroyo Manantial se puede dividir tres sectores tomando como base los niveles de agua subterránea. Estos se muestran en la **Tabla N° 6**.

**Tabla N° 6:** Ubicación de Pozos según área (Tomado de Rodríguez y D'Urso, 2005)

<b>Tipo de Área</b>	<b>Pozos Numero</b>
Área relacionada con la zona de recarga con niveles estáticos profundos	2, 3, 4, 5, 6, 7 y 22
Área de conducción con niveles estáticos menos profundos	1, 8, 10, 11, 15, 23, 24, 25, 26, 27 y 28
Área de descarga con niveles estáticos positivos	9, 12, 16, 17, 18, 19, 20 y 21

**Figura N° 10:** Mapa Geológico e Hidrogeológico del sector oriental. Sierra de San Javier entre las localidades de Y.B. y El Manantial (tomado de Rodríguez y D’Urso, 2005)



Autor: Esp. Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011.  
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental

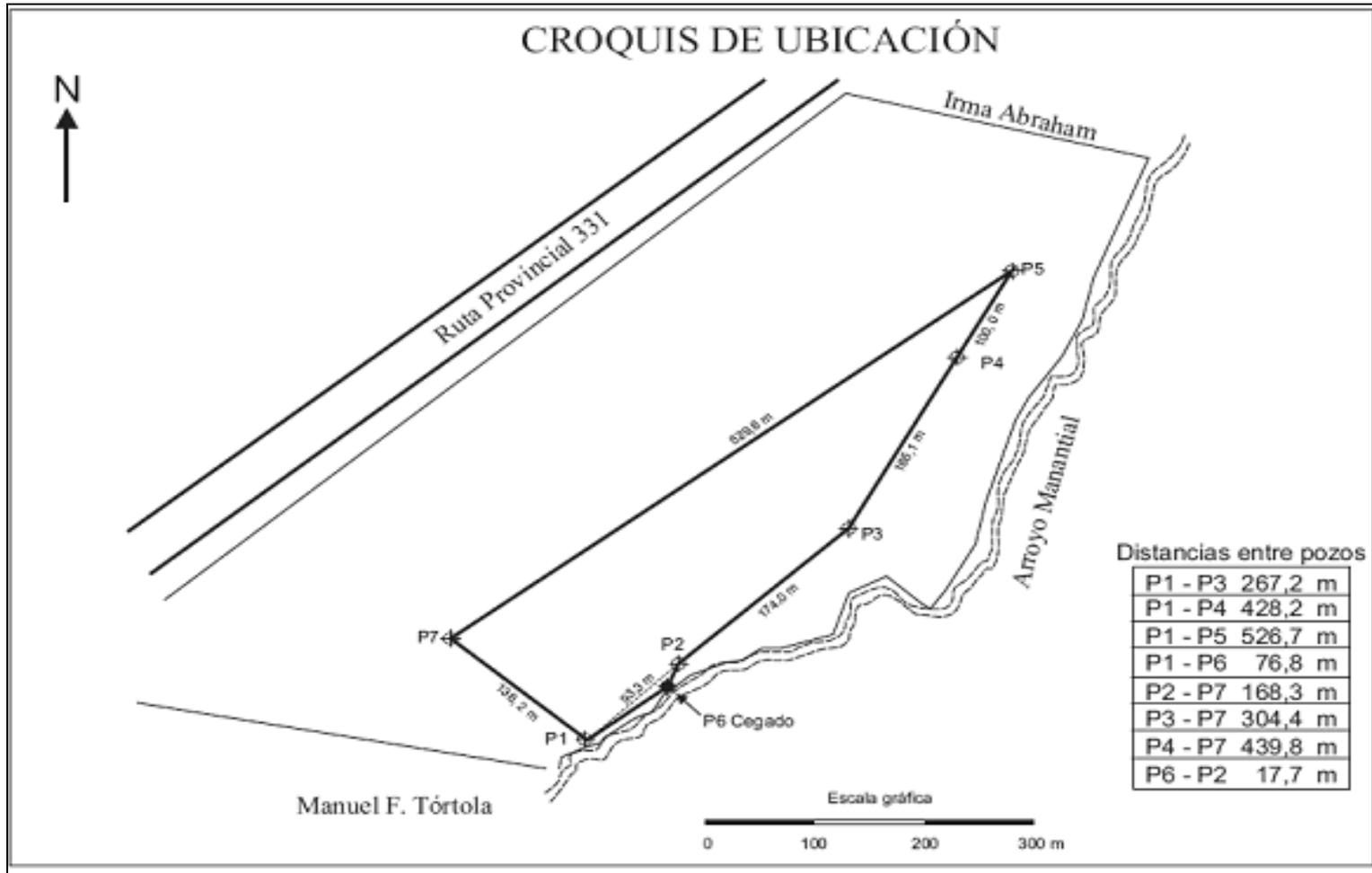
### **13.5 Ubicación de los pozos de agua subterránea en el predio CALSA.**

El área en donde se llevo a cabo el presente trabajo de tesis, corresponde en el sector Norte – Este (Pozos 3,4 y 5) y el Sector Sur- Oeste (Pozos 1, 2, 6 y 7) de la Planta Fabril.

En la **Figura N° 11** y **12** se observa el croquis de ubicación de los pozos de agua subterránea. En la **Figura N° 13** se observa el trazado del Arroyo El Manantial con respecto a la localización de la planta industrial.

Existen numerosos arroyos en la zona, siendo el más importante el Arroyo El Manantial, que con una dirección norte – sur, es el único curso de agua permanente en la zona. Nace en la localidad de Ojo de Agua y tributa sus aguas en el río Salí.

Figura N° 11: Ubicación de Pozos en CALSA planta Tucumán (Falcón, García y D'Urso, 2009,2011)



Autor: Esp. Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011.  
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental

**Figura N° 12:** Foto aérea con la localización de Pozos en le predio de CALSA planta Tucumán (Falcón, García y D'Urso, 2009,2011)



*Autor: Esp. Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011.  
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental*

Figura N° 13: Trazado del Arroyo El Manantial con respecto a CALSA planta Tucumán



Autor: Esp. Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011.  
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental

El Predio posee una superficie libre de 20 ha, mientras que los pozos de agua subterránea se encuentran distribuidos en el sector Norte – Este (Pozos 3,4 y 5). En la **Figura N ° 14** puede observarse el sector de implantación de los Pozos N° 3, 4 y 5 con el diseño que presentaban antes de la implementación de las consecuencias teóricas de presente trabajo de tesis.



**Detalle:** Vista Panorámica desde el Norte hacia el Sur del Predio de CALSA. Hacia el Este se observa el Alambrado y cortina forestal – ornamental de Phicus alternados con pinos. Al Norte, Pared de Hotel vecino. Al Nor – Este y Este, Cordón Ribereño del Arroyo El Manantial. Al Este – Sur del Punto del observador, la pileta para agua de refrigeración.



**Imagen de Referencia:** ángulo de visión desde el extremo Norte de la planta hacia los pozos 3,4 y 5.

*Autor: Esp. Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011.  
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental*

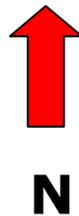
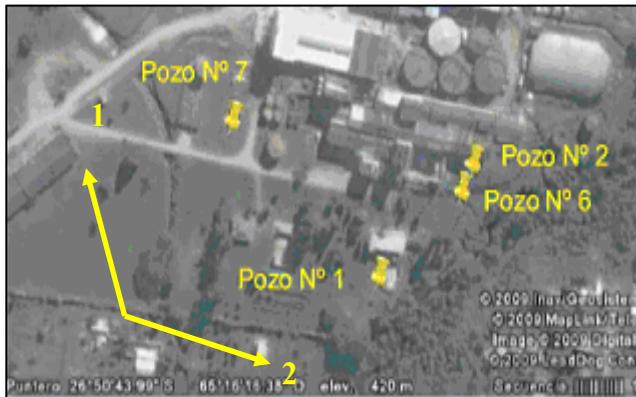
**N**

*Impactos de las extracciones de agua subterránea de una Industria de Levaduras. Aplicación de ensayos de bombeo para el diseño de un plan de explotación de agua subterránea.*

El Predio posee una superficie libre de 20 ha, mientras que los pozos de agua subterránea se encuentran distribuidos en el sector Sudoeste (Pozos 1, 2, 6 y 7) de la Planta Fabril. En la **Figura N° 15** puede observarse el sector de implantación de las perforaciones N° 1, 2, 6 y 7, con el diseño que presentaban antes de la implementación de las consecuencias teóricas del presente trabajo de tesis.



Detalle panorámica: vista desde el Sur hacia el Norte. Se observa en el fondo la Superficie construida de la Empresa. Al fondo se observa parte del cordón ribereño del Arroyo Manantial perimetral al lado Oeste del Predio CALSA



**Imagen de Referencia:** ángulo de visión desde el extremo Sur de la planta hacia los pozos 1, 2, 6 y 7.

*Autor: Esp. Ing. Amb. Germán Marcellino, 2011.  
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental*

### **13.6 Ensayos Hidráulicos como herramienta para la gestión del agua subterránea.**

Un ensayo de bombeo es, en esencia, un método de análisis de los pozos de captación de aguas subterráneas y del acuífero en que se encuentran.

La metodología de su realización es simple y consiste en bombear los pozos en regímenes de caudal constante o variable, siguiendo la evolución del nivel del agua debida al bombeo, tanto en el mismo pozo de bombeo como en otros pozos cercanos utilizados como pozos de observación, cuando los hubiere.

El estudio de las variaciones de los niveles con respecto al tiempo es precisamente en lo que consiste el ensayo de bombeo y lo que permite obtener información, tanto sobre el pozo en sí como sobre las características del acuífero.

Las pruebas, pueden suministrar información sobre la calidad de construcción, pérdidas de carga por rozamiento del agua en las inmediaciones del pozo e incluso sobre el caudal de bombeo más aconsejable y lugar donde debe colocarse la bomba, para un caudal determinado de explotación.

Respecto al acuífero pueden suministrar datos sobre su transmisividad, almacenamiento, grado de comunicación entre la zona acuífera inmediata al pozo y otras más lejanas; existencia de barreras o bordes impermeables cercanos, zonas de recarga, etc. Incluso, en determinadas circunstancias, es posible calcular, con los ensayos de bombeo, el área de embalse subterráneo (Villanueva Martínez, López Iglesias, 1984)

En cualquier caso, siempre podrá obtenerse un orden de magnitud en los parámetros buscados y tener una idea del error con que se mueven los cálculos frente a la realidad de las circunstancias naturales.

Los ensayos o pruebas de bombeo han probado ser el medio más adecuado para poder obtener valores confiables y representativos de las características hidráulicas de los acuíferos (Villanueva Martínez y López Iglesias, 1984).

Las pruebas de bombeo han sido interpretadas hasta muy recientemente partiendo del criterio de que el flujo es lineal en todo el campo alrededor del pozo. Sin embargo, como se sabe, tanto en acuíferos de baja como de alta conductividad hidráulica, puede producirse flujo no lineal, lo que implica la necesidad de interpretar los ensayos con el criterio más general no lineal, que incluye como caso particular el lineal o Darciano. Además está claro que el único medio disponible para poder obtener los valores de los tres parámetros hidrogeológicos que caracterizan hasta el momento los acuíferos (Conductividad, Transmisividad y Almacenamiento o sus propiedades asociadas) es la utilización del enfoque no lineal. Es utilizando ese nuevo enfoque que se presentarán la ejecución e interpretación de los distintos tipos de ensayos de bombeo (Villanueva Martínez y López Iglesias, 1984).

### **13.7 Objetivos y Tipos de pruebas de bombeo**

La ejecución de las pruebas de bombeo responde en general a uno de los dos objetivos siguientes:

- Estimar la cantidad de agua que puede extraerse de un pozo bajo condiciones previamente establecidas, o sea, con propósitos de aforo. En este tipo de pruebas,

basta generalmente obtener información del pozo de bombeo y de dos pozos de observación o satélites.

- Determinar las propiedades hidráulicas de un acuífero, para poder predecir posteriormente su comportamiento bajo situaciones diversas, evaluar la disponibilidad de recursos de agua subterránea, etcétera. En general, en este caso, es necesario obtener información de varios puntos seleccionados del acuífero, para lo cual se utilizarán varios pozos de bombeo con dos o más pozos de observación cada uno.

Por otra parte, desde el punto de vista del caudal extraído, las pruebas de pozo pueden realizarse a caudal constante o con abatimiento escalonado.

En las pruebas a caudal constante, éste debe mantenerse fijo durante toda la realización de la prueba, por lo que habrá necesidad de ir ajustándolo, según pase el tiempo.

Se denominan pruebas de pozo con abatimiento escalonado a aquellas en que el caudal extraído del pozo se mantiene constante durante un tiempo, para cambiar súbitamente a otro caudal que se mantendrá constante durante otro tiempo, para volver a cambiar a un tercer caudal durante un tercer espacio de tiempo, y así sucesivamente.

El número de escalones (de caudales diferentes) deberá ser como mínimo tres y los espacios de tiempo entre los cambios de caudal no tienen que ser iguales, aunque sí es recomendable que duren lo suficiente para que pueda utilizarse la aproximación de Jacob de la ecuación de Theis para flujo no permanente (Villanueva Martínez y López Iglesias, 1984).

Las pruebas con abatimiento escalonado tienen la ventaja de poder determinar con ellas todas las propiedades hidrogeológicas de un mismo punto del acuífero sin necesidad de

utilizar otra información que no sea la de ese punto, por lo que los resultados no quedarán afectados por las variaciones espaciales de las propiedades, sobre todo en el caso de los acuíferos con fracturas, fisuras o canales de disolución, que presentan gran heterogeneidad.

Aunque se han desarrollado métodos de análisis a base de abatimiento constante y caudal variable (Villanueva Martínez, López Iglesias, 1984) un tipo de prueba basado en este criterio sería imposible de utilizar en la práctica, por las variaciones continuas que deben introducirse en el caudal, para mantener constante el abatimiento.

También se pueden determinar las propiedades hidráulicas de los acuíferos a través de pruebas de recarga, pero ese tipo de pruebas no será analizado ya que su utilización es poco frecuente.

Independientemente del propósito o del tipo de ensayo de bombeo que vaya a realizarse, se pueden distinguir claramente en ellos tres fases:

- el diseño de la prueba,
- la realización de las observaciones de campo y
- la interpretación de los resultados.

### **13.8 Áreas de Restricción para la Explotación de los Recursos Hídricos Subterráneos en la Provincia de Tucumán.**

El agua subterránea es un recurso vital para la provincia de Tucumán, ya que más del 90 % de las poblaciones del interior se abastecen de agua potable a través de pozos profundos y un gran porcentaje de sus industrias y emprendimientos agropecuarios se abastecen de agua para diversos usos exclusivamente a partir de perforaciones.

El Gran San Miguel de Tucumán no escapa a esta realidad. Con una población cercana a los 800.000 habitantes (INDEC, 2001), registra un notable crecimiento

demográfico en las últimas décadas, lo que ha obligado a ampliar las redes de servicios esenciales como agua potable y cloacas, administrados por una empresa semi-estatal (Sociedad de Aguas del Tucumán - S.A.T.) Costilla, (2008).

Este crecimiento se evidenció más hacia sectores ubicados al oeste del aglomerado como Yerba Buena y Villa Carmela, hacia el norte, como Tafí Viejo, Los Pocitos, El Colmenar y hacia el sur, como El Manantial y Lules, donde a corto plazo, se producirá un notable incremento de la demanda de agua potable, entre otros servicios Costilla, (2008)..

Las perforaciones que abastecen de agua potable al Gran San Miguel de Tucumán tienen en general profundidades del orden de los 200 m y rendimientos muy variados, debido a que se ubicaron atendiendo a las necesidades operativas y no a una correcta planificación hidrogeológica o gestión territorial.

Para subsanar este problema, los organismos públicos que manejan y administran este recurso vital, han recurrido a la ejecución de nuevas perforaciones en lugares donde el abastecimiento ya resulta crítico. Estos emplazamientos no contemplan la posibilidad de que un pozo nuevo no garantice un mayor suministro en áreas seriamente comprometidas para la explotación de los recursos hídricos subterráneos (Falcón, García, D'Urso, 2009-2011).

Las nuevas perforaciones en estas áreas o el reemplazo de viejas perforaciones debe contemplar la realización de estudios exhaustivos mediante la utilización de modernas herramientas de diagnóstico, como los ensayos hidráulicos para determinar caudales óptimos de explotación, radios de influencia y abatimientos regionales y la aplicación de métodos de exploración geofísica como la geoelectrica, que posibilita demarcar áreas favorables para la perforación de nuevos pozos, profundidades de captación, cantidad y espesor estimado de acuíferos, etc.

Del mismo modo, en diversos sectores de la provincia y en el caso particular del pedemonte adyacente al Gran San Miguel de Tucumán, se presentó la necesidad inmediata

de mejorar el suministro de agua para atender el riego de cultivos como los cítricos y la caña de azúcar y las actividades fabriles relacionadas. En estos casos se recomienda la realización de estudios previos para garantizar que las futuras perforaciones en áreas de restricción no afectarán aun más el ya delicado balance entre recarga y descarga de aguas subterráneas, que rigen la disponibilidad y posibilidades reales de explotación de las mismas Costilla, (2008).

Los riesgos que implica la sobre-explotación de acuíferos conlleva entre otros al agotamiento de los mismos, con la aparición de fenómenos locales y regionales como descensos sostenidos de niveles piezométricos, desmejoramiento de la calidad físico-química de las aguas, merma en los caudales de explotación, aumento de los costos del m<sup>3</sup> de agua extraída, etc.

En los casos más severos, la insistencia por realizar nuevos pozos en áreas consideradas críticas puede resultar en la construcción de obras de alto valor económico y resultados poco satisfactorios.

La relación costo-beneficio debería ser un factor a tenerse en cuenta a la hora de planificar una obra nueva en este tipo de escenarios, junto con la posibilidad de generar condiciones de explotación altamente riesgosas para la explotación racional y sostenida del recurso.

El área del abanico aluvial del Río Muerto - Arroyo Manantial, donde se emplaza la planta de CALSA, se caracteriza por presentar, en subsuelo, numerosos horizontes de sedimentos gruesos gravosos y arenosos, portadores de agua de buena calidad no superan los 100-140 m de profundidad (Falcón, García, D'Urso, 2009-2011)..

El área de El Manantial se caracterizó por presentar abundantes afloramientos de aguas subterráneas en la forma de manantiales (de allí su nombre), los que abastecieron de agua potable a la ciudad y alrededores durante los siglos XVIII y XIX.

Tan importante era este lugar, que una Cédula Real del siglo XVIII, prohibió el abrevado de ganado en el mismo, por entender que, constituía un valioso recurso que aseguraba la subsistencia y éxito del emplazamiento de San Miguel de Tucumán Costilla, (2008).

A partir del 1900, el uso de esos manantiales fue reemplazado por perforaciones profundas, en consecuencia del incremento de la demanda de agua y el gran crecimiento demográfico experimentado por la región sur de nuestra ciudad capital. El uso intensivo de aguas subterráneas para abastecimiento humano e industrial conllevó a que los niveles piezométricos en pozos profundos descienda sostenidamente desde niveles de surgencia hasta niveles negativos significativos.

En el caso de la planta de CALSA, donde al momento de la ejecución de las nuevas perforaciones (pozos N° 1 al N° 5) a comienzos del siglo XXI (año 2001), los niveles estáticos eran del orden de + 2 metros sobre nivel del terreno y hoy se encuentran deprimidos hasta 10 metros por debajo de boca de pozo.

### **13.9 Situación actual de la explotación de las perforaciones de CALSA. Planteamiento del Problema**

Como se mencionó anteriormente la Dirección de Recursos Hídricos no permite nuevas perforaciones en la zona, por encontrarse sobre-explotada. Es por ello que urge contar con nuevos estudios particularizados para cada industria con el objeto de realizar una explotación sustentable del recurso. Actualmente la Dirección de Recursos Hídricos tiene un rol de auditor sobre los niveles piezométricos de los pozos, pero no aporta información alguna de cómo deben explotarse las perforaciones dentro del marco de una actividad productiva. En el caso de CALSA esta situación se ve agravada por encontrarse emplazada en una zona con un importante consumo de agua subterránea, debido principalmente a la presencia de industrias de gaseosas.

Basados en los estudios hidráulicos y geoelectricos previos de Falcón, García, D'Urso, (2009,2010) el autor logro diseñar y establecer un plan de explotación de agua subterránea para la industria. CALSA, hasta el momento de la implementación del mencionado plan, contaba con numerosos problemas en lo concerniente a la explotación de aguas subterráneas, como ser:

1. Desconocimiento del grado de integridad (preservación) de sus perforaciones.
2. Sobre explotación de perforaciones.
3. Desconocimiento de los niveles piezométricos de cada una de las perforaciones.
4. Desconocimiento de los caudales óptimos de producción de cada pozo.
5. Presencia de sólidos sedimentables (arena y limo) en el agua bombeada a la planta industrial.
6. Interferencia entre pozos de bombeo, con cavitación manifiesta en alguno de ellos.
7. Recurrentes problemas de mantenimiento en los equipos de bombeo sumergibles.

Cinco de las siete perforaciones bajo estudio fueron construidos por la empresa de perforaciones Luis Alcover S.R.L. en el año 2001 (Pozos N° 1, 2, 3, 4 y 5). La perforación N° 7 fue construida en el año 1998 por la misma empresa. En el caso del pozo N° 6, la obra data del año 1952 y no se conoce cual fue la empresa que lo construyo. Se desconocen otros detalles constructivos de los pozos, por lo que, durante la ejecución del presente trabajo de tesis, se solicitó un servicio de filmación de perforaciones, para conocer mas sobre sus características de diseño y estado de conservación. Los detalles constructivos de cada perforación se muestran en el

#### **Apéndice I.**

Asimismo, CALSA dispone de informes técnicos internos elaborados por Atilio Marola (servicio de mantenimiento de bombas 2001-2006) y por la empresa Producción SA (aforos de pozos 2004).

CALSA llevo a cabo la registración de estas perforaciones en el año 2003 presentado información constructiva entregada por la contratista ante la Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia de Tucumán, según Resolución N° 478/2003.

### **13.10 Uso de los ensayos hidráulicos en Industrias.**

Actualmente los ensayos hidráulicos en las industrias sólo se orientan a conocer el desempeño de un pozo en particular cuando éste es construido, no considerando de esta manera el sistema acuífero, impidiendo conocer cuales son los efectos de la explotación no planeada de las perforaciones en distintos períodos del año.

El desarrollo e implementación de planes de explotación de agua subterránea en base a variables hidráulicas e hidrogeológicas puede convertirse en un modelo a imitar por aquellas personas que actúan (al igual que el autor) como administradores del recurso hídrico en industrias o municipios que requieran abastecerse de agua subterránea, con la consecuente expansión de los beneficios económicos, ambientales y sociales.

Esta tesis trata del diseño de un plan de explotación para los pozos de agua subterránea emplazados en CALSA, a partir del uso de información obtenida de los ensayos de bombeo realizados por Falcón, García y D'Urso, 2009,2011. Estos últimos consideran la hidrogeología de la región, los datos de diseño y el comportamiento hidráulico de cada una de las perforaciones.

El propósito de esta tesis esta centrado en implementar un marco operativo de trabajo que aporte al manejo del sistema de abastecimiento de agua subterránea de la industria, como así también servir de base para todas aquellas actividades que se encuentran captando agua subterránea de la cuenca Salí-Dulce. Este estudio también aporta importantes avances en el conocimiento de la productividad de la región.

Las consecuencias teóricas y las contribuciones de esta tesis se orientan a implementar técnicas de ensayos y datos ya conocidos en el marco de una industria en particular, localizada en la Comuna El Manantial, Departamento de Lules en la Provincia de Tucumán. Esta se orienta a implementar técnicas que son propias de la investigación a un ámbito real de transferencia de una industria.

No existen antecedentes en la provincia de realización de otra tesis similar aplicada a una industria emplazada en la misma cuenca en la que actualmente CALSA lleva a cabo sus operaciones de fabricación de crema de levadura y extractos.

Este trabajo tiene como novedoso el hecho de permitir una transferencia directa de las consecuencias teóricas generadas al actual esquema de explotación de pozos de agua subterránea de CALSA. Este nuevo marco a implementar se deberá adaptar a la demanda de agua subterránea del programa de producción diario de la industria.

Desde lo técnico este trabajo constituye un aporte importante para la industria ya que aportará al hecho de que la explotación de los pozos se realice en función no sólo de los caudales críticos de cada uno de las perforaciones, sino también en base a un programa que disminuirá al máximo las interferencias entre cada uno de los pozos, evitando problemas de sobreexplotación de pozos, cavitación de los equipos de bombeo, rotura de equipos, excesivo consumo de energía eléctrica por parte de los mismos y el deterioro de los acoples de las cañerías de impulsión, válvulas de retención, válvulas de restricción de caudal, manómetros u otros accesorios.

Como hasta la fecha no se cuenta con información específica para una aplicación de esta naturaleza se decidió investigar el desarrollo de un programa de explotación de perforaciones para CALSA mediante el uso de información obtenida de ensayos de bombeo.

***Impactos de las extracciones de agua subterránea de una Industria de Levaduras. Aplicación de ensayos de bombeo para el diseño de un plan de explotación de agua subterránea.***

Este estudio representa un paso importante para la gestión del uso industrial de agua subterránea en la región lo que permitirá analizar la aplicación de esta técnica en otras industrias, municipios y/o actividad que involucre el uso de este recurso.

## **7. Objetivos del trabajo de tesis.**

Para la elaboración de la presente Tesis de Maestría se fijaron los siguientes Objetivos Primarios y Secundarios:

### **7.1. Objetivos Primarios:**

- Diseñar un plan de explotación racional y sustentable para los 7 pozos de explotación de aguas subterráneas en el área de CALSA planta Tucumán, que contemple el uso del recurso hídrico en base a los caudales críticos, radio de interferencia y eficiencia de cada una de las perforaciones, que permita abastecer los consumos máximos, promedios y mínimos de la industria.

### **7.2. Objetivos Secundarios:**

- Determinar la influencia del bombeo de los pozos cercanos a la planta en los pozos de producción.
- Evaluación de la calidad físico-química de las aguas superficiales y subterráneas que abastecen a los procesos industriales de la planta, con una diferenciación según la estacionalidad.

## **8. Condiciones institucionales para el desarrollo de la tesis. Infraestructura y equipamiento.**

El desarrollo de la presente tesis se realizó en las instalaciones de Compañía Argentina de Levaduras SAIC. Esta elección se basa en el interés de la empresa en el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo de tesis y en la obtención de datos asociados a la investigación. Por otro lado se cuentan con las instalaciones, equipamiento e infraestructura necesarios para el desarrollo de la misma.

#### **9. Instalaciones Industriales utilizadas durante el desarrollo de la tesis.**

Las instalaciones afectadas al presente trabajo de tesis fueron aquellas implicadas en la producción, transporte y consumo de agua de pozo de la plantas de Crema de Levadura y Extractos. A saber:

- Oficina de Higiene, Seguridad y Medio Ambiente.
- Laboratorio de Aguas y Efluentes.
- 7 perforaciones de explotación de aguas subterráneas.
- 2 Filtros de arena marca FILTOMAT WATER SYSTEM.
- Sector de tanques de almacenamiento de agua de pozo.

Por otro lado, CALSA aportó los recursos financieros para la realización de los ensayos de campo, viáticos, energía eléctrica, análisis externos y compra de bibliografía general y específica para el presente trabajo de tesis.

#### **10. Área de Implantación del trabajo de tesis.**

El universo de estudio son los 7 pozos profundos ubicados dentro del predio de 26 hectáreas de CALSA planta Tucumán, localizada en la Comuna Rural de El Manantial sobre la ruta provincial N° 301. El área tiene la forma de un polígono irregular ubicado entre calle Irma Abraham al Norte, la calle Manuel F. Tórtola al Sur, al Oeste la ruta provincial N° 301 y al Este el Arroyo El Manantial, que discurre en dirección Norte-Sur.

#### **11. Variables bajo estudio.**

Las variables principales en el análisis son:

- Nivel Estático (m).
- Nivel Dinámico (m).

- Abatimiento o depresión (m).
- Caudal de Bombeo o extracción (m<sup>3</sup>/h).
- Caudal Específico (m<sup>3</sup>/h/m).
- Cono de depresión (forma y extensión).
- Radio de influencia (m).
- Vaciado de acuífero (adimensional).
- Calidad Físico Química del agua producida por cada perforación.
- Calidad Microbiológica del agua producida por cada perforación.

El tipo de investigación es exploratoria-descriptiva.

## **12. Fuentes de información.**

### **Primarias.**

- Obtención de datos de campo (Niveles estáticos, dinámicos, depresiones, caudales de bombeo y característicos, distancia entre pozos, cotas y coordenadas de pozos).

### **Secundarias.**

- Datos regionales de explotación de acuíferos subterráneos.
- Mapa Geológico e Hidrogeológico del sector oriental. Sierra de San Javier entre las localidades de Yerba Buena y El Manantial.
- Planos (disponibles) de las 6 perforaciones de CALSA planta Tucumán.
- Perfil Hidrogeológico de cada uno de los pozos.
- Información del equipamiento de bombeo y medición de caudales de c/u de los pozos.

## **13. Condiciones de Trabajo Durante los Ensayos de Bombeo.**

### **13.1. Consideraciones Generales de los Ensayos.**

Antes de iniciar el bombeo se comprobaron los siguientes aspectos:

- Que la sonda piezométrica, funcione con normalidad y tenga batería.

- Que el caudalímetro mecánico montado en la cañería de descarga del pozo este calibrado, permitiendo un control inmediato sobre el caudal del bombeo.
- Que la bomba sumergible se encuentre en buen estado de mantenimiento y consumo de electricidad, y que la fuente de alimentación de energía asegure un bombeo sin interrupciones.
- Que la cañería de descarga del pozo esté en las debidas condiciones para evacuar el agua extraída, asegurando que no haya ningún tipo de reflujo.
- Que se midan los niveles piezométricos estáticos antes de comenzar el bombeo.
- Que las medidas de niveles dinámicos tengan el mismo origen de tiempo: el de la puesta en funcionamiento de la bomba.
- Que las medidas fueran tomadas por la misma persona para evitar errores sistemáticos.
- Que se identifiquen las perforaciones cercanas al área de emplazamiento de CALSA.

### **13.2. Duración de los Ensayos.**

La duración de un ensayo se fijo de acuerdo a los objetivos perseguidos juntamente con el análisis de los datos proporcionados por el bombeo los que determinaron, con criterio suficiente y acertado, el tiempo correcto de duración del mismo.

Estos ensayos de bombeo sólo buscan el cálculo de las características del acuífero disponiendo de puntos de observación convenientemente situados, por lo que no necesitan

de tiempos de bombeo dilatados, siendo suficiente, en la mayoría de los casos con veinticuatro horas, e incluso menos.

Finalizado el bombeo se procedió a tomar las correspondientes medidas de recuperación. El tiempo de observación del ascenso fue función del tiempo de bombeo, siendo suficiente, por lo general, entre el 10 y el 30 % de aquél. En cualquier caso, no será necesario un tiempo de recuperación superior al del bombeo.

Es importante destacar que los datos del bombeo se fueron analizando según se fueron produciendo. De esta manera se evitaron prolongaciones innecesarias o paradas anticipadas del ensayo.

## **14. Metodologías de Ensayos Utilizadas**

### **14.1. Método de Equilibrio o Régimen Permanente (Fórmula de Thiem)**

El régimen permanente se produce cuando el caudal de bombeo del pozo es igual a la recarga del acuífero, sin que de él se extraiga agua del almacenamiento, por lo tanto la velocidad del descenso va disminuyendo paulatinamente hasta que permanece invariable.

La fórmula de Thiem asume un acuífero confinado y un flujo de estado estático (Falcón, 2008).

Los ensayos se realizaron de la siguiente manera:

- Se midieron los niveles estáticos de los niveles de agua tanto en el pozo que se va a bombear como en los de observación.
- Se bombeo a caudal constante.
- Cuando transcurrieron varias horas se midieron los niveles en un espacio de tiempo corto, para ver si siguen evolucionando los descensos.

- Esto se repitió varias veces hasta que se consideró estabilizado, luego se tomo la profundidad y por diferencia con los niveles iniciales, se obtuvieron las depresiones en el pozo de bombeo y los piezómetros.
- Con los valores de las depresiones, caudal de bombeo y distancia entre pozo de bombeo y piezómetro se obtuvo la transmisividad y radio de influencia de la perforación.

#### **14.2. Métodos de No Equilibrio o Régimen Variable (Fórmula de Theis, Jacob y Recuperación de Theis) (Falcón, 2008).**

El régimen variable se produce cuando el caudal que se extrae al iniciarse el bombeo es tal que el acuífero debe ceder el agua del almacenamiento, ya que la recarga no puede igualar al bombeo. Los descensos de los niveles de agua van aumentando sin llegar nunca al equilibrio. Se interpreta no el descenso total, sino la evolución de los niveles dinámicos a lo largo de la duración de la prueba.

Este método se utilizo para determinar la Transmisibilidad (T) para acuíferos completamente penetrantes. El método requiere de un pozo de bombeo y una o más pozo de observación.

Este método requiere que el nivel de agua cambie para ser registrado desde el inicio del bombeo. El bombeo se mantiene constantemente, el cambio en la altura de la columna de agua dentro del pozo tiende a declinar exponencialmente con el tiempo.

#### **14.3. Método de No Equilibrio (Fórmula de Jacob) (Falcón, 2008).**

Es una particularización del método de Theis, para ciertas condiciones del ensayo. La utilización de este método fue necesaria para obtener los coeficientes de Transmisividad y Almacenamiento (S) del acuífero.

#### **14.4. Bombeos Escalonados o Caudal Variable.**

El bombeo escalonado se utilizó para calcular la depresión en un pozo bombeado en forma cíclica o variable. Cada ciclo consiste en un período de descarga constante.

Las condiciones para realizar ensayos de bombeo escalonados fueron las siguientes:

- Los caudales de bombeo fueron crecientes, guardando una cierta relación entre ellos.
- Los caudales se midieron con la máxima precisión.
- El tiempo de cada escalón fue variable de 0,5 a 1,5 horas.
- El bombeo de cada escalón concluyó cuando se logró una cierta estabilización del nivel dinámico.
- Se realizaron 5 escalones durante el ensayo, finalmente se eligieron los 3 más representativos.

#### **15. Organización de los ensayos.**

El esquema de realización de ensayos y la utilización de pozos de observación es la siguiente:

- Ensayos de Bombeo en el Pozo N° 1 usando como piezómetros de observación los pozos 2 y 7.
- Ensayos de Bombeo en el Pozo N° 2 usando como piezómetros de observación los pozos 3 y 1.
- Ensayos de Bombeo en el Pozo N° 3 usando como piezómetros de observación los pozos 4 y 5.
- Ensayos de Bombeo en el Pozo N° 4 usando como piezómetros de observación los pozos 5.

- Ensayos de Bombeo en el Pozo N° 5 usando como piezómetros de observación los pozos 4.
- Ensayos de Bombeo en el Pozo N° 7 usando como piezómetros de observación los pozos 2 y 1

#### **16. Equipamiento utilizado para la realización de los ensayos de bombeo.**

- Caudalímetro Mecánico.
- Caudalímetro Electromagnético Marca Endress + Hauser (0,1-0,25 % de error).
- Sondas Piezométricas Marca SOLINST.
- Manómetros MARCA G.V.
- Válvulas de Restricción de Caudal de 6" y 4" MARCA GENEBRE O FOGLIA.
- Cañería de descarga libre para realización de ensayos de bombeo.
- GPS Marca THALES con post procesamiento de datos.
- Amperímetros.
- Pinza amperométrica MARCA FLUKE.
- Voltímetros.
- Cámara Fotográfica Digital Marca SONY.

#### **17. Metodologías y Parámetros de Análisis de Agua Subterránea.**

Para el análisis del agua subterránea y superficial se utilizó la Metodología Analítica Oficial del año 2001 según Ley 18.284 18/07/69 (Código Alimentario Argentino, Decreto Reglamentario 2126/71, Capítulo XX, Artículos 1413 al 1414).

Los valores de admisibilidad se tomaron del Capítulo XII, artículo 982 al 1079 (Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificadas, ítem agua potable, con excepción del valor de Cloro Activo Residual) actualizado en junio de 2007 por la Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007.

Los parámetros y metodologías para el monitoreo de la calidad del agua subterránea presentan en la **Tabla N° 7 y 8.**

**Tabla N° 7:** Parámetros Físico químicos según código alimentario argentino y metodología analítica.

<b>Características físicas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Metodología</b>
Turbiedad:	NTU	2130B SMEWW APHA
Color:	Pt-Co	2120B SMEWW APHA
Olor:	NA	NA
pH:	NA	4500 H B SMEWW APHA
<b>Sustancias Inorgánicas</b>		
Amoníaco (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	Espectrofotometria kit HACH 8038
Antimonio	mg/L	Standard Method for the Examination of water and waste water 21 st Edition (2005) APHA
Aluminio residual (Al):	mg/L	Standard Method for the Examination of water and waste water 21 st Edition (2005) APHA
Arsénico (As):	mg/L	Standard Method for the Examination of water and waste water 21 st Edition (2005) APHA
Boro (B).	mg/L	4500 B y C SMEWW APHA
Bromato	mg/L	Standard Method for the Examination of water and waste water 21 st Edition (2005) APHA
Cadmio (Cd):	mg/L	Standard Method for the Examination of water and waste water 21 st Edition (2005) APHA
Cianuro (CN <sup>-</sup> ):	mg/L	4500 C y E SMEWW APHA
Cinc (Zn)	mg/L	Standard Method for the Examination of

*Impactos de las extracciones de agua subterránea de una Industria de Levaduras. Aplicación de ensayos de bombeo para el diseño de un plan de explotación de agua subterránea.*

		water and waste water 21 st Edition (2005) APHA
Cloruro (Cl-)	mg/L	4500 Cl B SMEWW APHA
Cobre (Cu)	mg/L	Standard Method for the Examination of water and waste water 21 st Edition (2005) APHA
Cromo (Cr)	mg/L	Standard Method for the Examination of water and waste water 21 st Edition (2005) APHA
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	2340-C SMEWW APHA
Fluoruros(F-)	mg/L	4500 F y C SMEWW APHA
Hierro total (Fe)	mg/L	Kit Aquaquant 14403 Merck
Manganeso (Mn)	mg/L	Standard Method for the Examination of water and waste water 21 st Edition (2005) APHA
Mercurio (Hg)	mg/L	Standard Method for the Examination of water and waste water 21 st Edition (2005) APHA
Níquel (Ni)	mg/L	Standard Method for the Examination of water and waste water 21 st Edition (2005) APHA
Nitrato (NO <sub>3</sub> -)	mg/L	Espectrofotometria kit HACH 8039
Nitrito (NO <sub>2</sub> -)	mg/L	Espectrofotometria kit HACH 8507
Plata (Ag)	mg/L	Standard Method for the Examination of water and waste water 21 st Edition (2005) APHA
Plomo (Pb)	mg/L	Standard Method for the Examination of water and waste water 21 st Edition (2005) APHA

*Impactos de las extracciones de agua subterránea de una Industria de Levaduras. Aplicación de ensayos de bombeo para el diseño de un plan de explotación de agua subterránea.*

Selenio (Se)	mg/L	Standard Method for the Examination of water and waste water 21 st Edition (2005) APHA
Sólidos disueltos totales	mg/L	2540C SMEWW APHA
Sulfatos (SO42-)	mg/L	4500 C SMEWW APHA
Cloro activo residual (Cl)**	mg/L	El mismo no se realizo por tratarse de agua de pozo sin clorar

**Tabla N° 7-Continuación**

Contaminantes Orgánicos	Unidades	Metodología
Detergentes	ug/L	5540 C SMEWW APHA
Aldrin + Dieldrin	ug/L	EPA 5000 Head Space EPA 3510 EPA 8270 con detector de masas
Clordano	ug/L	
DDT (Total + isomeros)	ug/L	
THM	ug/L	
Heptacloro + Heptacloroepóxido	ug/L	
Lindano	ug/L	
Metoxicloro	ug/L	
2,4 D	ug/L	
Benceno	ug/L	
Hexacloro benceno	ug/L	
Monocloro benceno	ug/L	
1,2 dicloro benceno	ug/L	
1,4 dicloro benceno	ug/L	
Pentaclorofenol	ug/L	
2,4,6 triclorofenol	ug/L	
Tetracloruro de carbono	ug/L	
1,1 dicloroeteno	ug/L	

*Impactos de las extracciones de agua subterránea de una Industria de Levaduras. Aplicación de ensayos de bombeo para el diseño de un plan de explotación de agua subterránea.*

Tricloroetileno	ug/L	
1,2 dicloro etano	ug/L	
Cloruro de vinilo	ug/L	
Benzopireno	ug/L	
Tetracloro eteno	ug/L	
Metil paratión	ug/L	
Paratión	ug/L	
Malation	ug/L	

**Tabla N° 8:** Parámetros microbiológicos según código alimentario argentino y metodología analítica.

<b>Características Microbiológicas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Metodología</b>
Bacterias coliformes	NMP	NMP 37 °C caldo MC Conkey o Laurel Sufato
Escherichia coli:	---	Ausencia en 100 ml
Pseudomonas aeruginosa:	---	Ausencia en 100 ml
Bacterias mesófilas	UFC/ml	En agar APC 24 hs 37 °C $\leq$ 500 UFC/ml

## **18. Procedimiento de Muestreo para Análisis Físico Químico.**

Durante la realización del ensayo de bombeo se tomaron porciones de muestra para finalmente generar una muestra compensada en el tiempo. El objeto de muestreo fue conocer la aptitud de potabilidad del agua extraída por el pozo. No se tomaron muestras en los primeros minutos del bombeo, o durante el tiempo que existieron arrastres de materia sólida en suspensión.

Para esto se procedió de la siguiente manera:

- Se abrió la válvula de muestreo del Pozo.
- Se dejó correr el agua durante 30 segundos.
- Se llenaron los recipientes y se taparon. Se cerró la válvula.
- Estos se colocaron en 4 conservadoras refrigeradas (no congeladas).
- Se enviaron a laboratorios especializados para los correspondientes análisis.

### **18.1. Material requerido y Condiciones para el Muestreo Físico Químico.**

Durante la realización del ensayo de bombeo se tomaron distintas muestras, para finalmente generar una muestra compuesta, con el único objeto de conocer su aptitud de potabilidad. No se tomaron muestras en los primeros minutos del bombeo, o durante el tiempo que existieron arrastres de materia sólida en suspensión. Todo el material debe estar perfectamente limpio y seco antes de agregar los conservantes, los cuales deben ser de grado analítico.

Se empleó lo siguiente:

- Un envase plástico de 500 ml con 1 ml de ácido nítrico concentrado p.a. al 50% v/v. (para análisis de cationes y boro).
- Un envase plástico de 500 ml con 4 lentejas de hidróxido de sodio p.a. para el análisis de cianuro.
- Un envase de vidrio color caramelo de 1 litro con 1 gramo de ácido ascórbico p.a. para el análisis de contaminantes orgánicos volátiles.
- Un envase plástico de 1,5 litros para el resto de los análisis.

## **19. Procedimiento de Muestreo para Análisis Microbiológicos.**

No se tomaron muestras en los primeros minutos del bombeo, o durante el tiempo que existieron arrastres de materia sólida en suspensión. Se procedió de la siguiente manera:

- Limpiar externamente la válvula mariposa sanitaria de muestreo con cepillo y detergente neutro.
- Sanitizar externamente la válvula mariposa sanitaria de muestreo con alcohol etílico.
- Abrir la válvula de muestreo.
- Dejar correr el agua durante 30 segundos.
- Llenar los recipientes y luego taponarlos. Cerrar la válvula.
- Colocar las muestras en 4 conservadoras refrigeradas (no congeladas).
- Enviar a laboratorios especializados para los correspondientes análisis.

### **19.1. Material requerido para Muestreo Microbiológico.**

- 6 envases plásticos estériles de 500 ml

## **20. Determinación de Sólidos sedimentables en boca de pozo (mL/l).**

Se utilizó un test gravimétrico. Para llevar a cabo esta determinación se llenó el cono de Imhoff hasta 1 litro con una muestra bien mezclada. Se dejó sedimentar durante 45 minutos. Se movió suavemente con una varilla y se dejó que este se asiente por 15 minutos más. La lectura de los sólidos sedimentables se realizó a través de la escala graduada del cono de Imhoff.

## **21. Determinación del estado de cañerías filtro en el interior de las perforaciones.**

Para realizar este procedimiento se utilizó un equipo de filmación especializado. El mismo se encontraba conectado a una laptop que permitió ver la filmación en tiempo

real. Este equipo se encontraba montado a un carretel que permitía conocer exactamente la profundidad del equipo de filmación en el interior del pozo.

## **22. Equipamiento utilizado para la filmación del interior de los pozos.**

- Cámara para video filmación interna de pozos. Esta permite tomar imágenes axiales y radiales totalmente a color, y con alta resolución.
- Vehículo todo terreno para el desplazamiento de equipo de filmación entre cada uno de los pozos.
- Notebook marca Compaq Pressario para visualización de filmaciones de pozo en campo.

## **23. Software y Hardware utilizado para el procesamiento de los datos.**

- Software para realización de planos y gráficos (Autocad, Surfer 8.0 y Corel Draw 14)
- Software para realización de cálculos (Microsoft Excel)
- Software de Aguas Subterráneas GWS, AQUACHEM e HYDROWIN, desarrollado por Naciones Unidas
- PC
- Impresora

## **24. Tratamiento Estadístico de los datos.**

Luego de finalizadas las tareas de campo (ensayos de bombeo) los datos obtenidos fueron ordenados y procesados utilizando una computadora y software adecuado para darle tratamiento estadístico. En las operaciones se utilizaron símbolos matemáticos universales. En caso de símbolos matemáticos particulares, los mismos son aclarados junto a su presentación. Las unidades se expresaron para todos los casos en sistema internacional de unidades actualmente vigente.

Para el análisis estadístico, la media aritmética fue adoptada como medida de la centralidad. Los datos de los ensayos hidráulicos mostrados en la tesis son el promedio resultante de tres baterías de ensayos de bombeo.

En el caso de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de agua los valores mostrados son el promedio de tres determinaciones realizadas durante el período de invierno y otras tres determinaciones realizadas durante el período de verano.

## **25. Materiales, Equipamiento y Servicios para las tareas de Re Ingeniería.**

Aquí se incluyen todo el equipamiento involucrado en las tareas de re ingeniería y mantenimiento del equipamiento de las perforaciones, entre ellos:

- Válvulas de retención double check.
- Equipos Sumergibles de Bombeo.
- Manómetros.
- Válvulas mariposa.
- Cables para Bombas Sumergibles tipo ARGENPLAS.
- Cañerías de Acero al carbono Schedule 40 de 6” de diámetro.

Entre los servicios podemos mencionar:

- Servicio de Mantenimiento Electromecánico para Equipos Rotor Pump y Franklin Electric (Atilio Marola).
- Servicio de Cadista para la generación de planos de re ingeniería.
- Servicios de Taller metalúrgico y metalmecánica.
- Servicio de Montaje de instrumentos de automatización y control.

## **32. Relevamiento del estado interno de las perforaciones.**

Se llevaron a cabo filmaciones internas en las 7 perforaciones originales de CALSA planta Tucumán. En la **Figura N° 16** se muestra, a modo de ejemplo, parte de la filmación

del Pozo N° 4, la secuencia muestra el inicio de los filtros de ranura continua ubicados a los -49,9 metros de profundidad.

**Figura N° 16:** Inicio de la cañería filtrante en pozo N° 4.



Con la información obtenida de las 7 filmaciones se procedió a confeccionar los planos constructivos de las perforaciones, considerándose datos de ubicación de filtros, datos de bombas sumergibles, reducción de la cámara de bombeo, etc. Ver **Apéndice I**.

De las filmaciones internas pudo obtenerse la siguiente información:

1. No se encontró presencia de problemas estructurales, constructivos o depósitos de sólidos en los filtros en las perforaciones 1,2,3,4,5 y 7
2. Se encontraron problemas de integridad estructural en los filtros de la perforación N° 6.

En la **figura N° 17** puede observarse el carretel utilizado en boca de pozo para descender el equipo de filmación en el interior de la perforación.

**Figura N° 17** Carretel en boca de la perforación N° 6



En la **figura N° 18** puede observarse la presencia de una importante cantidad de sólidos en suspensión en las cañerías filtrantes de la perforación N° 6.

**Figura N° 18:** Estado de cañerías filtrantes del pozo N°6



*Impactos de las extracciones de agua subterránea de una Industria de Levaduras. Aplicación de ensayos de bombeo para el diseño de un plan de explotación de agua subterránea.*

En las Figuras N° 19, 20 y 21 puede observarse la gran cantidad de sólidos sedimentados, principalmente limo, arcilla y arena existentes en el interior de los tanques y cañerías de conducción que operan con el agua subterránea abastecida exclusivamente desde la perforación N° 6.

**Figura N° 19:** Cañería de purga de tanque colector agua subterránea



**Figura N° 20:** Interior del tanque de almacenamiento abastecido por la perforación N° 6



**Figura N° 21:** Porción superior de cañería de purga de tanque de almacenamiento



Por otro lado y según lo consultado con el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de CALSA, también se registraron en los 2 últimos años recurrentes problemas de roturas de equipos sumergibles de bombeo como consecuencia de la vibración y la cavitación.

Es importante destacar que la perforación N° 6 data del año 1952 y que tanto el entubado como sus filtros están ejecutados en acero al carbono. Esto representa una gran diferencia con las perforaciones 1-5, las cuales están construidas en un 100 % de acero inoxidable AISI 304. Estas últimas fueron perforadas durante el año 2001. Si bien la perforación N° 7 no está entubada en acero inoxidable, no presenta problemas estructurales de corrosión y/o rotura de filtros al día de la fecha, tal vez por ser de más reciente construcción (año 1998).

El pozo N° 6 fue excluido del ensayo hidráulico por las siguientes razones:

- A. Rotura de los filtros de la perforación, puesta de manifiesto durante el procedimiento de filmación.
- B. Aporte sostenido y cuantioso de sólidos finos (Arena, Limo y Arcilla) a las instalaciones de la planta industrial.
- C. Encontrarse próximo a la perforación N° 2 (distancia pozos N° 2 y 6= 17,7 m). Esta situación de extremo compromiso en el funcionamiento de la perforación N° 6 cuando funciona en conjunto con la perforación N° 2, ya se manifestaba antes de la prueba según testimonios aportados por personal de la planta, en una serie de inconvenientes operativos tales como:
  - Excesivos descensos de los niveles piezométricos,
  - Excesivos consumos de corriente por parte de los equipos de bombeo sumergibles.
  - Rotura de acoples roscados de cañerías de impulsión que generaban desprendimientos del equipo de bombeo al interior del pozo.
  - Cavitación de los equipos sumergibles de bombeo.En las condiciones actuales el pozo N° 6 nunca podrá ser operado conjuntamente con el pozo N° 2, sin que ambos vean seriamente comprometidos sus prestaciones e integridades.
- D. Fecha de perforación del pozo. La misma fue perforada en el año 1952.

Es importante mencionar que las nuevas disposiciones de la Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia de Tucumán (2010) prohíben la realización de nuevas perforaciones en el área de El Manantial donde se localiza la planta, en razón de entender que la misma se encuentra al límite de su capacidad explotación. Por ello, sólo se acepta el reemplazo de una vieja perforación por otra nueva y de similares especificaciones de diseño y de producción.

### **33. Análisis del Mantenimiento e Ingeniería de las Instalaciones.**

95

### **33.1. Diseño de Ingeniería propuesto.**

El diseño exterior presentado por las perforaciones no permitía llevar a cabo el estudio hidráulico bajo ningún punto de vista. Debido a esto, y una vez finalizadas las filmaciones internas de las perforaciones, se procedió a realizar tareas de re ingeniería y mantenimiento a las perforaciones N° 1, 2, 3, 4, 5 y 7.

En el caso particular de la perforación N° 6 se decidió dejar fuera de servicio a la misma por los problemas antes mencionados.

El diseño de Ingeniería propuesto y ejecutado en las perforaciones N° 1, 2, 3, 4, 5 y 7 puede observarse en las **Figura N° 22 y 23**, aquí se ofrece un detalle del equipamiento proyectado y ejecutado en el exterior del Pozo.

Este diseño de ingeniería permitió el monitoreo de:

- niveles estáticos,
- niveles dinámicos,
- caudal,
- presión de operación.

También se considero el montaje de una nueva cañería de descarga libre que permitió el montaje de un caudalímetro mecánico necesario para la medición de caudales instantáneos durante la realización de los ensayos de bombeo.

Figura N° 22: Diseño Exterior Tipo de las Perforaciones N° 1, 2, 3, 4, 5 y 7

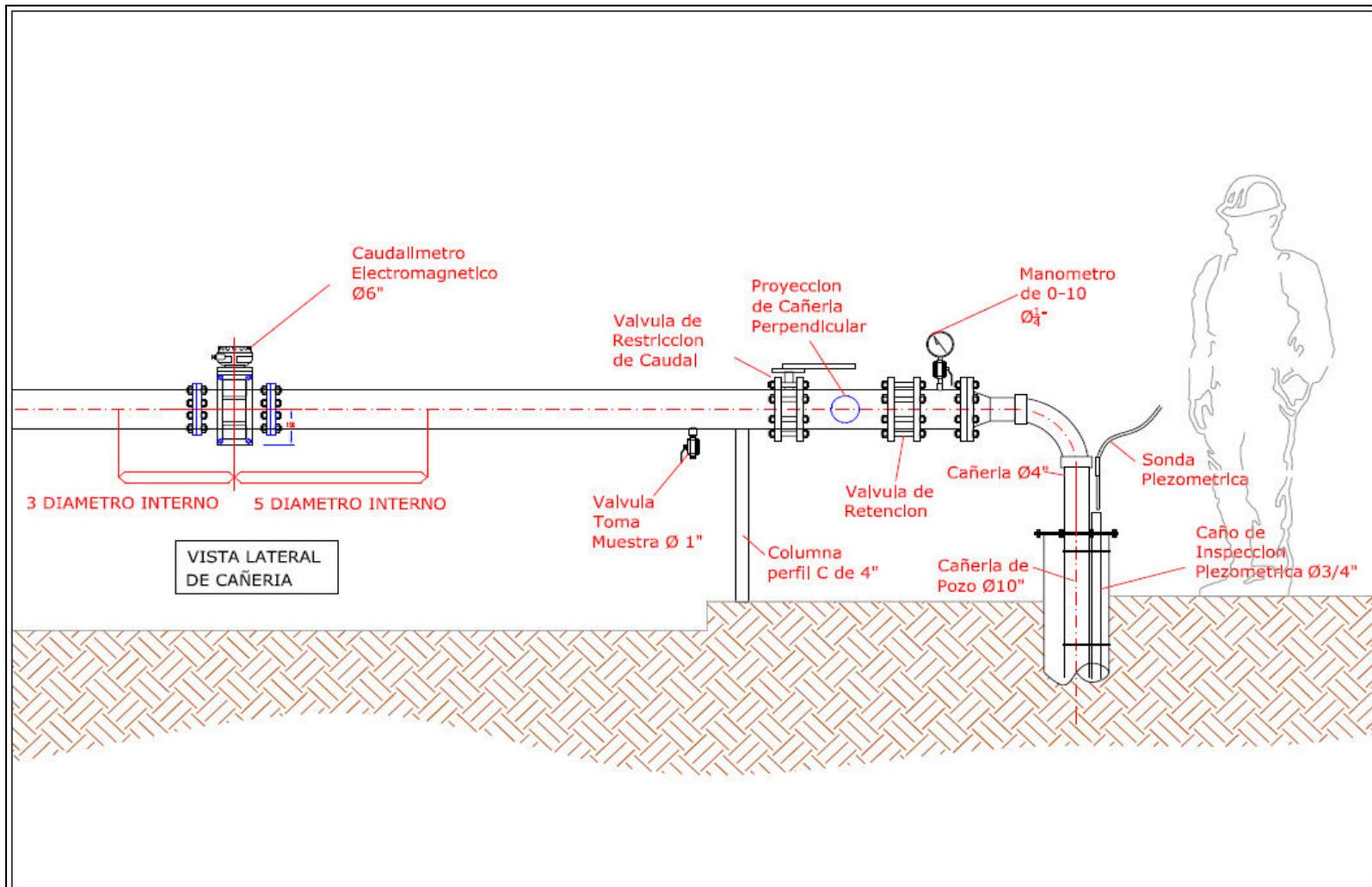
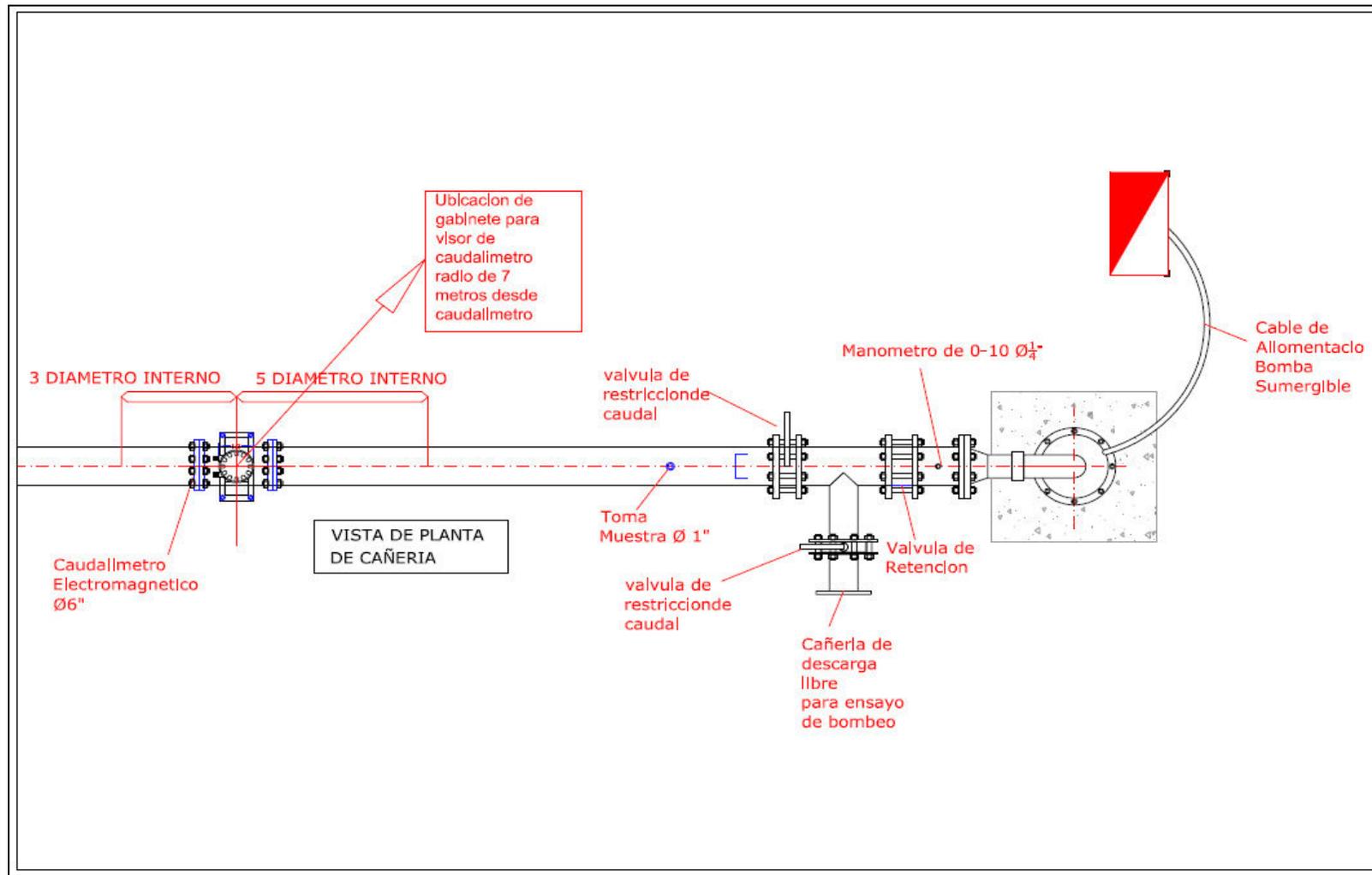


Figura N° 23: Diseño Exterior de las Perforaciones 1, 2, 3, 4, 5 y 7

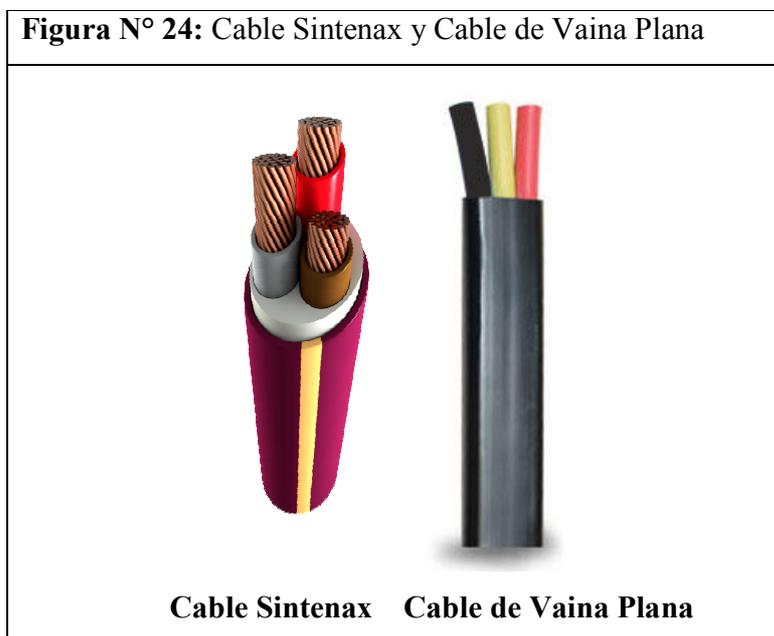


### **33.2. Re Ingeniería y Mantenimiento de las Perforaciones 1-7.**

Entre las tareas de re ingeniería y mantenimiento realizados antes de los ensayos hidráulicos podemos citar las siguientes:

1. Recambio de Manómetros.
2. Recambio de válvulas de restricción de caudal por válvulas mariposas con volante y reductor para una mejor regulación de caudal.
3. Montaje e instalación de caudalímetros electromagnéticos.
4. Recambio de Válvulas de Retención.
5. Montaje caños piezométricos para la inspección de niveles.
6. Mantenimiento de bomba y motor de equipos sumergibles de bombeo.
7. Trabajos metalúrgicos de re ingeniería. Entre ellos el montaje de válvula de muestreo para agua y montaje de cañería de descarga libre que permite la realización de ensayos de bombeo.
8. Desmontaje de válvulas actuadas que permitían el arranque automático de las bombas sumergibles de cada perforación.
9. Reemplazo de cables en bombas sumergibles. Se migro desde un cable tipo sintenax a un cable de vaina planta diseñado específicamente para operar en forma sumergida.

En la **Figura N° 24** se observa la diferencia entre el cable tipo Sintenax, utilizado para instalaciones subterráneas o aéreas en contraste con el cable de vaina plana, utilizado para equipos sumergibles.



Los cables Sintenax son aptos para tendidos en bandejas, al aire libre o subterráneos directamente enterrados protegidos, en trincheras o ductos. Estos están diseñados para alimentación de potencia o distribución de energía en baja tensión, en edificios civiles o industriales. Cuando estos se usan para aplicaciones sumergibles los mismos experimentan un rigidización de su vaina de PVC y otras de sus estructuras flexibles, tornándose muy dificultosa su manipulación.

Todas las tareas de rediseño del exterior de las perforaciones se llevaron a cabo según lo proyectado en las **Figuras N° 22 y 23**.

Las tareas de mantenimiento y reingeniería incluyeron el desmontaje completo de la perforación, lo que permitió conocer la posición exacta de la bomba sumergible en la cámara de bombeo del pozo. Esta información, sumada a los datos provistos por el fabricante de los equipos sumergibles de bombeo en relación a la carga hidráulica mínima que debe tener la bomba para una correcta operación (9 metros), permitió obtener la información de base para ajustar la especificación de los equipos de bombeo luego de conocer el caudal crítico de cada perforación.

*Impactos de las extracciones de agua subterránea de una Industria de Levaduras. Aplicación de ensayos de bombeo para el diseño de un plan de explotación de agua subterránea.*

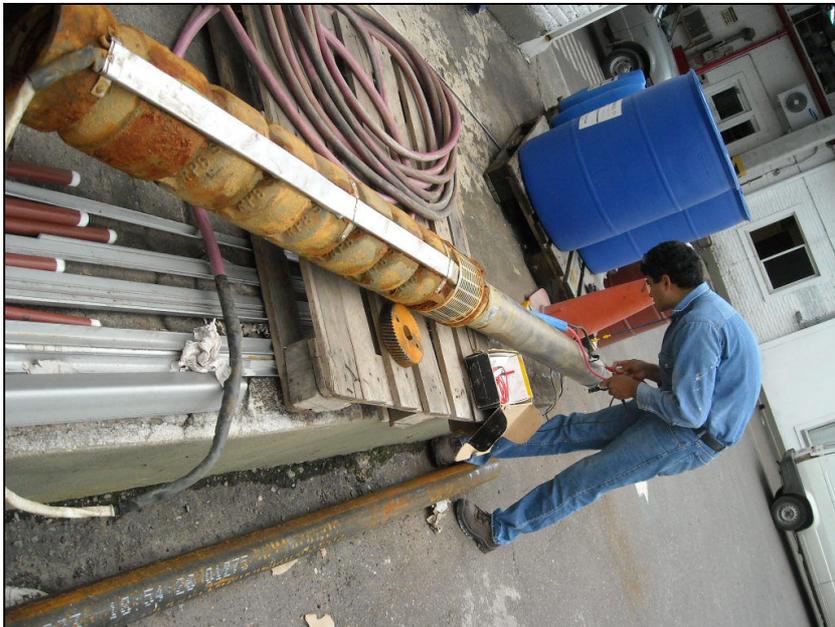
*Capítulo 4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

En las Figuras N° 25, 26, 27, 28, 29 y 30 se observan algunas de las tareas de mantenimiento llevadas a cabo.

**Figura N° 25:** Trabajos metalúrgicos de re ingeniería en obradores



**Figura N° 26:** Trabajos de Mantenimiento en Bombas Sumergibles



**Figura N° 27:** Tareas de Mantenimiento en la Perforación N° 5.



**Figura N° 28:** Equipo Sumergible de Bombeo Nuevo con Cable de Vaina Plana

**Figura N° 29:** Extracción de Bomba Sumergible con Cable Tipo Sintenax



**Capítulo 4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La corrosión en general es un fenómeno de destrucción de los materiales de construcción, principalmente de los metales, causado por un proceso de óxido-reducción, existiendo numerosas causas de corrosión. Una de ellas es la corrosión microbiológica, que ocurre como resultado directo o indirecto de la actividad de los organismos vivos. Estos pueden ser hongos, algas y bacterias, clasificándose las últimas en aerobias (Ferrobacterias y Sulfobacterias) y anaerobias (Sulfatorreductoras). Las bacterias sulfatorreductoras (BRS) pertenecen a la única Familia Spirillaceae cuyo representante es *Desulfovibrio desulfuricans*. Se encuentran bajo las capas de herrumbre, evitando así el oxígeno del aire, en contacto con el metal debido a que son anaerobias obligadas. Transforman los sulfatos en ácido sulfhídrico, el cual se combinará con las sales ferrosas para dar un sulfuro de color negro. El agua siempre contiene bacterias, aún cuando su suministro se haga a través de modernas redes de distribución (Gariboglio M. A. y Smith S.A. 1993).

Sintéticamente se pueden describir algunos síntomas inequívocos de la presencia y actividad de estos grupos bacterianos tanto en perforaciones como en sistemas de almacenamiento y distribución de aguas (Gariboglio M. A., Smith S.A. 1993):

1. El agua presenta colores ocres, rojizos y amarillentos.
2. El agua presenta un aumento de material particulado.
3. Reducción en las tasas de flujo a través del sistema causado por revestimientos de estas bacterias y sus productos metabólicos en el interior de cañerías o acueductos.
4. Desarrollo de espesos y gruesos revestimientos de color ocre, rojizo o parduzco, en las paredes internas de cisternas, tanques u otros reservorios de agua. A veces se desprenden en forma de manchas plumosas en el agua o cúmulos gelatinosos de crecimientos filamentosos rojos o parduzcos.
5. Taponamiento rápido en filtros de perforaciones.
6. Taponamiento de filtros domiciliarios ubicados en la red de distribución.
7. Tuberculización en cañerías y bombas de impulsión con corrosión localizada bajo depósito.

*Capítulo 4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

Existen ciertas bacterias que pueden soportar dosis muy fuertes de cloro, como es el caso de las sulfato-reductoras, que no sufren alteraciones al estar en contacto con concentraciones de 20 ppm de dicho elemento.

El agua destinada al uso doméstico contiene menor cantidad de estos microorganismos que las aguas de extracción industrial, sin embargo no es extraño encontrar bacterias de corrosión en agua potable, las cuales pueden provenir de sitios de bombeo o de las tuberías mismas en el momento de las instalaciones de éstas (Gariboglio M. A. y Smith S.A. 1993).

Hay que tener en cuenta que la corrosión inducida microbiológicamente no involucra una nueva forma de corrosión, los procesos de fondo son de naturaleza fisicoquímicos pero se ven amplificados por la actividad de los microorganismos.

La colonización bacteriana y la formación de biopelículas que sucede en condiciones aeróbicas, favorece la formación de células de concentración y de aireación diferencial debido al consumo de oxígeno provocado por la población microbiana o la biopelícula generada. La concentración de oxígeno bajo estas colonias es reducida comenzando así la corrosión localizada.

La tuberculización es uno de los signos más característicos de bioensuciamiento y corrosión bacteriana en cañerías, caños camisa, bombas y cañerías de impulsión. Los tubérculos y sus áreas subyacentes constituyen un ambiente heterogéneo en el cual la incrustación química y biológica aparece junto a los fenómenos de corrosión presentando interrelaciones muy complejas (Gariboglio M. A. y Smith S.A. 1993).

En las **Figuras N° 30 y 31** se puede observar un grado de corrosión apreciable sobre los cuerpos de las bombas sumergibles. Es de notar la presencia de tuberculización con corrosión localizada bajo depósito.

<b>Figura N° 30:</b> Equipo Sumergible de Bombeo con altos niveles de corrosión	<b>Figura N° 31:</b> Equipo Sumergible de Bombeo con altos niveles de corrosión
	

Para el control de los grupos bacterianos mas representativos del proceso de corrosión microbiológica observado en el cuerpo de las bombas sumergibles se recomienda la implementación del procedimiento de shock químico descrito en el **Apéndice IV (Pagina N° 332)**

A continuación en las **Figuras N° 32-45** se muestra el estado inicial y final de cada una de las perforaciones luego de las tareas de re ingeniería y mantenimiento.

En el caso de las **Figuras N° 42 y 43**, aquí puede observarse como se realizó el bloqueo de la cañería de impulsión del Pozo N° 6, con el objeto de dejarlo fuera de servicio luego de confirmarse a través de la video filmación interna de la perforación, la rotura de sus cañerías filtrantes y su deterioro por corrosión.

**Figuras N° 32-45:** Estado Inicial y Final de Pozos 1-7

<b>Figura N° 32 :</b> Estado Inicial Pozo N° 1	<b>Figura N° 33:</b> Estado Final Pozo N° 1
	
<b>Figura N° 34:</b> Estado Inicial Pozo N° 2	<b>Figura N° 35:</b> Estado Final Pozo N° 2
	

**Figura N° 36:** Estado Inicial Pozo N° 3



**Figura N° 37:** Estado Final Pozo N° 3



**Figura N° 38:** Estado Inicial Pozo N° 4



**Figura N° 39:** Estado Final Pozo N° 4



**Figura N° 40:** Estado Inicial Pozo N° 5



**Figura N° 41:** Estado Final Pozo N° 5



**Figura N° 42:** Estado Inicial Pozo N° 6



**Figura N° 43:** Estado Final Pozo N° 6



**Figura N° 44: Estado Inicial Pozo N° 7**



**Figura N° 45: Estado Final Pozo N° 7**



### **34. Estudio Hidráulico.**

Una vez finalizadas las operaciones de:

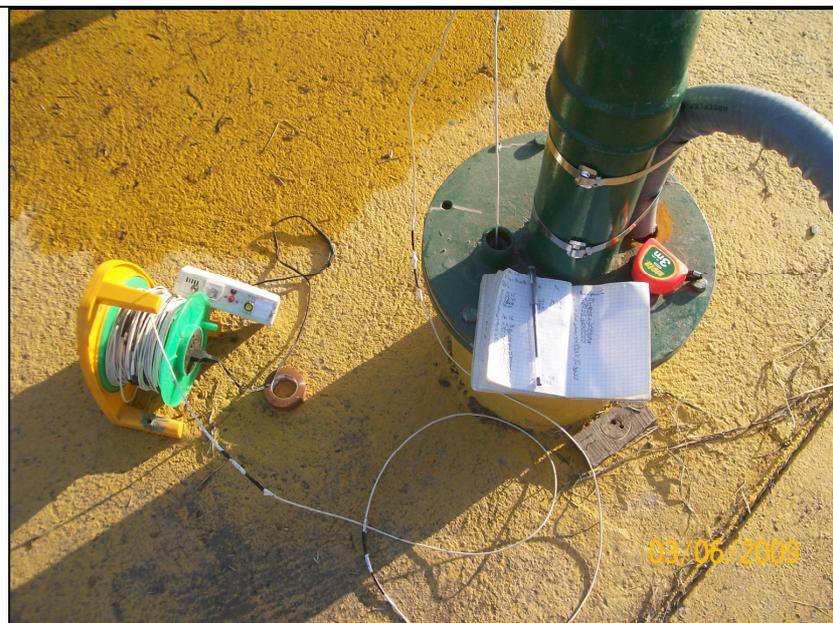
- Filmación interna para la verificación de la posición, estado de las cañerías filtros y la verificación de la estructura de perforación,
- la re ingeniería y el mantenimiento de las instalaciones,
- la confección de los planos de las perforaciones re diseñadas, con los datos de posición exacta de la bomba y el detalle de la ubicación de filtros y reducciones.

Ver **Apéndice I**.

se procedió a la ejecución de los correspondientes estudios hidráulicos en los pozos N° 1, 2, 3, 4, 5 y 7 por parte de Falcón, García y D'Urso, (2009). La perforación N° 6 fue descartada de los ensayos por los problemas mencionados anteriormente.

En la **Figura N° 46** se observa el equipamiento utilizado para realizar los ensayos de bombeo entre ellos sonda piezométrica, libreta de campo y cinta métrica.

**Figura N° 46:** equipamiento para realizar los ensayos de bombeo



Los estudios hidráulicos abarcaron tres (3) etapas de ejecución:

**Primera Etapa.**

Consistió en verificar el funcionamiento hidráulico de las perforaciones que abastecen de agua subterránea a la planta mediante la ejecución de ensayos de bombeo a caudal variable y constante y ensayos de recuperación, en los que se midieron caudales a descarga libre y niveles piezométricos estáticos, dinámicos y residuales.

Las mediciones se efectuaron tanto en los pozos de bombeo como en los pozos próximos, que fueron utilizados como pozos piezométricos o de observación.

Para la realización de las pruebas, las perforaciones fueron divididas por razones operativas y de logística en dos baterías o grupos de pozos según el siguiente detalle:

- La primer batería comprende a los pozos N° 3, 4 y 5 (sector Norte de la Planta Industrial) y
- la segunda a los pozos N° 2, 1 y 7 (sector Sur de la Planta Industrial).

En la **Figuras N° 47, 48, 49, 50 y 51** puede observarse la realización de los ensayos de bombeo en los pozos N° 1, 2, 3, 5 y 7.

**Figuras N° 47:** Ensayo de Bombeo Pozo N° 3



**Figuras N° 48** Ensayo de Bombeo Pozo N°7



Nótese que en los pozos 2 y 7 fue utilizada una manga flexible de goma entelada para evitar la erosión que causaría la descarga libre de agua sobre el suelo vegetal y su anegamiento luego de varias horas de bombeo continuo.

**Figuras N° 49** Ensayo de Bombeo Pozo N° 2



**Figuras N° 50** Ensayo de Bombeo Pozo N° 1



**Figuras N° 51** Ensayo de Bombeo Pozo N° 5



La realización de las pruebas requirió la interrupción del normal suministro de agua a la planta industrial en los pozos que componen cada batería (interrupción total del bombeo en los pozos aludidos) por un lapso de tiempo no inferior a las 24 horas. Para ello, el autor coordinó con el sector de producción de CALSA la disponibilidad del uso de los pozos de bombeo y la parada de los pozos restantes de la batería analizada. Con esta medida se buscó que los pozos involucrados en la prueba alcanzaran un nivel de recuperación próximo a los que se midieron originalmente, durante su construcción.

Los resultados obtenidos del estudio hidráulico posibilitaron la confección de curvas y la obtención de otros datos característicos del comportamiento de cada perforación, según el siguiente detalle:

- Caudal de bombeo vs. Depresión (**Grafico N° 4**).
- Caudal característico vs. Depresión.
- Eficiencia de pozos.
- Depresión vs. Tiempo.
- Depresión residual vs. Tiempo.

*Capítulo 4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

- Caudal crítico y el caudal de bombeo recomendado para cada perforación.
- La transmisividad del acuífero.
- El radio de influencia o de interferencia entre los pozos (**Figs. N° 45 a 51**).
- Coeficiente de almacenamiento de agua del acuífero explotado.

Las planillas de campo y las graficas de las curvas hidráulicas obtenidas como resultado de las pruebas de bombeo realizadas por Falcón, García y D'Urso (2009,2011) se muestran en el **Apéndice II (pagina N° 185)**. La información brindada por cada ensayo fue analizada aplicando la metodología de:

- Recuperación de Theis para el pozo de bombeo, con lo que se pudo obtener el coeficiente de Transmisividad (T) del acuífero,
- la metodología de Jacob para los pozos de observación, con lo que se pudo obtener los coeficientes de Transmisividad y Almacenamiento (S) del acuífero y
- la metodología de Thiem, con lo que se pudo obtener los coeficientes de Transmisividad, Almacenamiento y el Radio de Influencia (Ri) promedio de los pozos de bombeo.

Los valores resultantes para cada perforación se sintetizan en las **Tablas N° 9, 10, 11, 12, 13 y 14**.

**Tabla N° 9:** Resultados para el Pozo N° 1 (Falcón, García y D'Urso, 2009).

Pozo Ensayado	Pozo/s de Observación	Resultados
<b>Pozo de Bombeo: Pozo N° 1</b> Caudal de bombeo $Q_b = 150 \text{ m}^3/\text{h}$ Duración de la prueba: 240' $T = 270 \text{ m}^2/\text{día}$ (Recuperación de Theis)	<b>Pozo de observación: Pozo N° 2</b> Distancia al pozo de bombeo: 93,3 m $T = 366 \text{ m}^2/\text{día}$ (Recuperación de Theis)	$T = 220 \text{ m}^2/\text{día}$ $S = 0,284$ (Jacob)
	<b>Pozo de observación: Pozo N° 7</b> Distancia al pozo de bombeo: 136,2 m $T = 374 \text{ m}^2/\text{día}$ (Recuperación de Theis)	$T = 306 \text{ m}^2/\text{día}$ $S = 0,074$ (Jacob)

**Tabla N° 10:** Resultados para el Pozo N° 2 (Falcón, García y D'Urso, 2009).

Pozo Ensayado	Pozo/s de Observación	Resultados
<b>Pozo de Bombeo: Pozo N° 2</b> Caudal de bombeo $Q_b = 150 \text{ m}^3/\text{h}$ Duración de la prueba: 300' $T = 340 \text{ m}^2/\text{día}$ (Recuperación de Theis)	<b>Pozo de observación: Pozo N° 1</b> Distancia al pozo de bombeo: 93,3 m $T = 329 \text{ m}^2/\text{día}$ (Recuperación de Theis)	$T = 412 \text{ m}^2/\text{día}$ $S = 0,064$ (Jacob)
	<b>Pozo de observación: Pozo N° 3</b> Distancia al pozo de bombeo: 174,00 m $T = 470 \text{ m}^2/\text{día}$ (Recuperación de Theis)	$T = 286 \text{ m}^2/\text{día}$ $S = 0,106$ (Jacob)

**Tabla N° 11:** Resultados para el Pozo N° 3 (Falcón, García y D'Urso, 2009).

Pozo Ensayado	Pozo/s de Observación	Resultados
<b>Pozo de Bombeo: Pozo N° 3</b> Caudal de bombeo $Q_b = 145 \text{ m}^3/\text{h}$ Duración de la prueba: 210' $T = 344 \text{ m}^2/\text{día}$ (Recuperación de Theis)	<b>Pozo de observación: Pozo N° 4</b> Distancia al pozo de bombeo: 165,10 m $T = 615 \text{ m}^2/\text{día}$ (Recuperación de Theis)	$T = 398 \text{ m}^2/\text{día}$ $S = 0,082$ (Jacob)
	<b>Pozo de observación: Pozo N° 5</b> Distancia al pozo de bombeo: 265,10 m $T = 796 \text{ m}^2/\text{día}$ (Recuperación de Theis)	$T = 1.137 \text{ m}^2/\text{día}$ $S = 0,018$ (Jacob)

**Tabla N° 12:** Resultados para el Pozo N° 4 (Falcón, García y D'Urso, 2009).

Pozo Ensayado	Pozo/s de Observación	Resultados
<b>Pozo de Bombeo: Pozo N° 4</b> Caudal de bombeo $Q_b = 170 \text{ m}^3/\text{h}$ Duración de la prueba: 180' $T = 467 \text{ m}^2/\text{día}$ (Recuperación de Theis)	<b>Pozo de observación: Pozo N° 5</b> Distancia al pozo de bombeo: 100,00 m $T = 467 \text{ m}^2/\text{día}$ (Recuperación de Theis)	$T = 541 \text{ m}^2/\text{día}$ $S = 0,036$ (Jacob)

**Tabla N° 13:** Resultados para el Pozo N° 5 (Falcón, García y D'Urso, 2009).

Pozo Ensayado	Pozo/s de Observación	Resultados
<p><b>Pozo de Bombeo: Pozo N° 5</b>                      Caudal de bombeo  <math>Q_b = 150 \text{ m}^3/\text{h}</math>                      Duración de la prueba: 180'  <math>T = 457 \text{ m}^2/\text{día}</math>                      (Recuperación de Theis)</p>	<p><b>Pozo de observación: Pozo N° 4</b>                      Distancia al pozo de bombeo: 100,00 m  <math>T = 646 \text{ m}^2/\text{día}</math> (Recuperación de Theis)</p>	<p><math>T = 627 \text{ m}^2/\text{día}</math>  <math>S = 0,14</math> (Jacob)</p>

**Tabla N° 14:** Resultados para el Pozo N° 7 (Falcón, García y D'Urso, 2009).

Pozo Ensayado	Pozo/s de Observación	Resultados
<p><b>Pozo de Bombeo: Pozo N° 7</b>                      Caudal de bombeo  <math>Q_b = 90 \text{ m}^3/\text{h}</math>                      Duración de la prueba: 180'  <math>T = 309 \text{ m}^2/\text{día}</math>                      (Recuperación de Theis)</p>	<p><b>Pozo de observación: Pozo N° 1</b>                      Distancia al pozo de bombeo: 136,20 m  <math>T = 407 \text{ m}^2/\text{día}</math> (Recuperación de Theis)</p>	<p><math>T = 387 \text{ m}^2/\text{día}</math>  <math>S = 0,019</math> (Jacob)</p>
	<p><b>Pozo de observación: Pozo N° 2</b>                      Distancia al pozo de bombeo: 168,30 m  <math>T = 494 \text{ m}^2/\text{día}</math> (Recuperación de Theis)</p>	<p><math>T = 488 \text{ m}^2/\text{día}</math>  <math>S = 0,194</math> (Jacob)</p>

### **34.1. Pruebas de Bombeo Escalonados.**

Los ensayos de bombeo escalonados son útiles a la hora de:

- Calcular la eficiencia de los pozos de bombeos y
- la pérdida de carga que se produce en el mismo.

La información que brindan nos da idea acerca de las pérdidas de carga en el acuífero, disminución de la eficiencia del equipo de bombeo, defectos constructivos del pozo, falta de desarrollo del mismo, etc.

Los pozos que se analizaron en estas pruebas son los pozos 1,2, 3,4, 5, y 7 todos perforados por el sistema de rotación directa y con lodo bentonítico.

Falcón, García y D'Urso, 2009,2011 realizaron para cada perforación tres bombeos escalonados, a diferentes caudales y de dos horas de duración por cada escalón. Tratando de guardar una cierta relación entre los caudales de un escalón y el siguiente, aumentando progresivamente los mismos de tal manera de evitar el paso de un régimen laminar a uno turbulento.

### **34.2. Método de Análisis.**

Sobre la base de los datos de las pruebas a caudal variable obtenidos por (Falcón, García y D'Urso, 2009,2011), se calcularon las correspondientes eficiencias, haciendo uso del software de Aguas Subterráneas GWS versión 1.02 (1992), desarrollado por Naciones Unidas y de distribución gratuita en Internet. Este programa fue perfeccionado por Jasminko Karanjac en su versión comercial GWW 1.31.

La **Tabla N° 15** sintetiza los resultados de las pruebas, destacándose para cada pozo, la eficiencia % (correspondiente al mayor caudal alcanzado) el caudal específico y una ponderación de la eficiencia.

Grafica N°: 4: Depresión Vs Caudal de Bombeo Pozos 1-7 (Falcón, García y D'Urso, 2009).

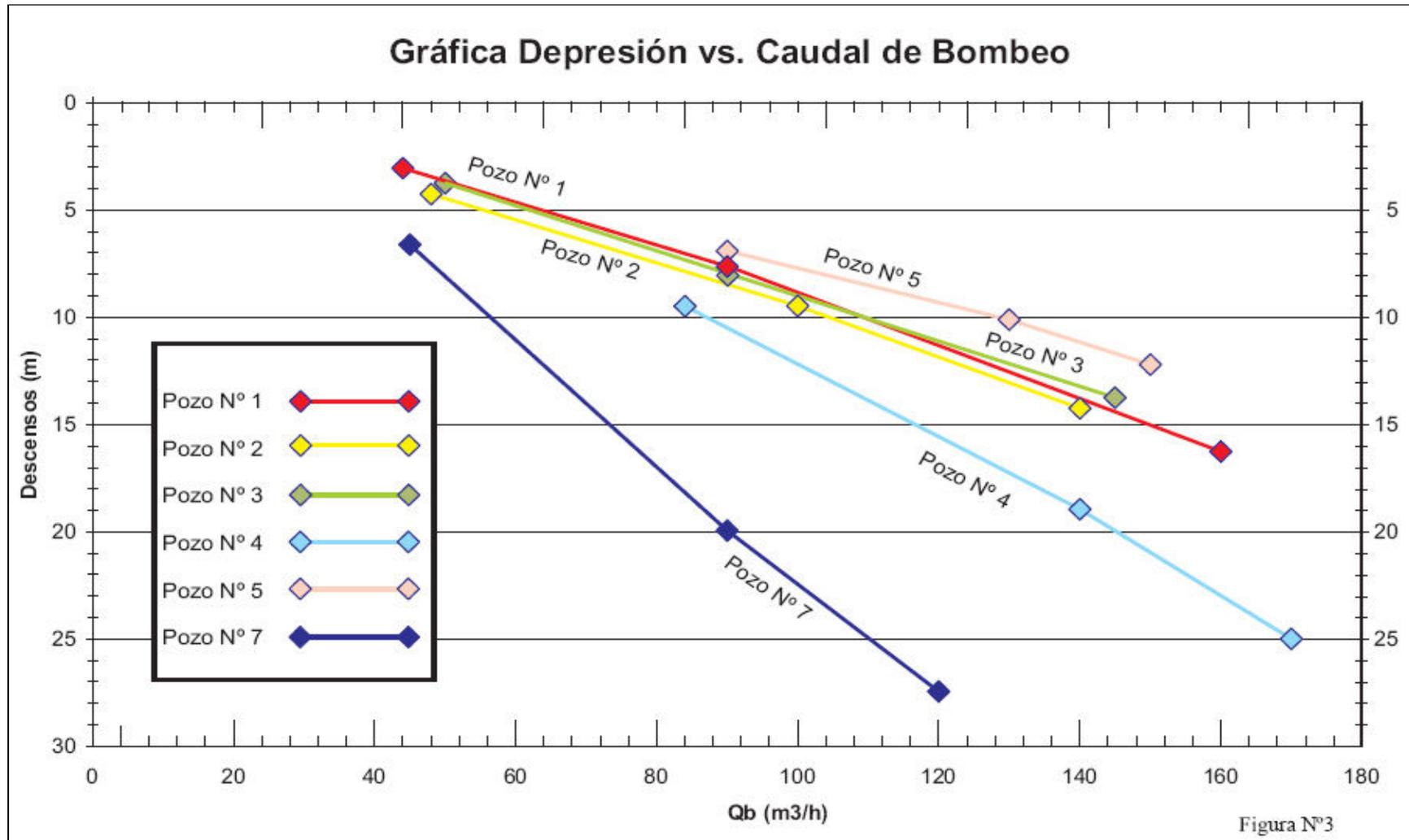
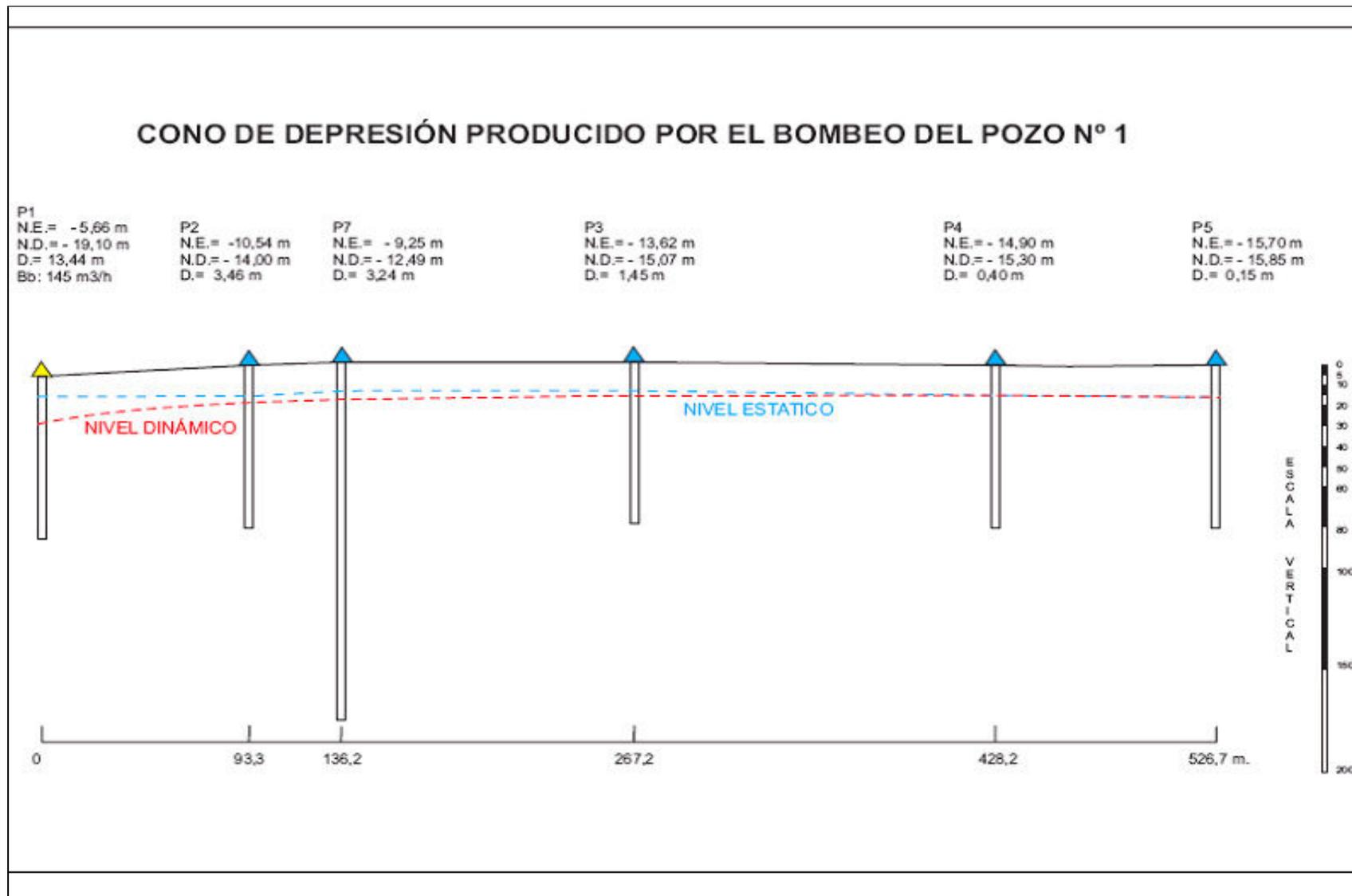


Figura N° 52: Cono de depresión producido por el Pozo N° 1 (Falcón, García y D'Urso, 2009).



De la representación anterior puede observarse que existe una afectación importante (interferencia) durante el bombeo de cada una de las perforaciones.

**Tabla N° 15:** Caudal Específico, Eficiencia y Ponderación por pozo (Falcón, García y D'Urso, 2009,2011).

<b>Pozo</b>	<b>Caudal Específico (m<sup>3</sup>/h/m)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>	<b>Ponderación Eficiencia</b>
1	9,84	68,5	Buena
2	9,83	<b>81,6</b>	<b>Muy Buena</b>
3	10,55	63,3	Buena
4	7,13	59,9	Buena
5	<b>12,29</b>	62,8	Buena
7	<b>4,37</b>	<b>45,9</b>	<b>Regular</b>

Otro aspecto importante es la relación existente entre caudal específico y la longitud del elemento filtrante. La **Tabla N° 16** sintetiza los elementos que son más importantes y que hacen variar la eficiencia de pozo (Falcón, García y D'Urso, 2009,2011).

Del análisis de los bombeos escalonados podemos decir que:

- Los pozos N° 1, 2, 3, 4 y 5, presentan eficiencias que van desde un máximo de 81,6 % para el pozo 2 y un mínimo de 59,9 % para el pozo N° 4.

Esta diferencia se debe fundamentalmente a que no todos tienen la misma abertura de filtros (entre 0,5 y 2 mm), por lo que el porcentaje de áreas abiertas difiere sensiblemente para cada pozo. Los filtros están enfrentados a unidades hidrogeológicas de similar naturaleza litológicas (acuíferos similares) (Falcón, García y D'Urso, 2009,2011).

**Tabla N° 16:** Longitud de elementos filtrantes por pozo. Luis Alcover, (1998, 2001)

Pozo	Año	Eficiencia (%)	Qb (m3/h)	Qe(m3/h/m)	Filtros (m)	Qe (por m de filtro)	Prof. Filtros (m)	Abert. Filtros (mm)
1	2001	68,5	160	9,84	14,6	0,67	30,0 – 31,6	1,0
							46,6 – 50,6	2,0
							59,6 – 61,6	2,0
							65,0 – 72,0	2,0
2	2001	81,6	140	9,83	12	0,82	49,0 – 54,0	1,5
							64,0 – 66,0	1,5
							70,0 – 75,0	1,5
3	2001	63,3	145	10,55	12	0,88	19,0 – 22,0	1,5
							49,0 – 51,0	1,5
							53,0 – 55,0	1,5
							72,6 – 77,6	1,5
4	2001	59,9	160	7,13	9,0	0,79	37,0 – 39,0	0,5
							52,0 – 54,0	1,5
							71,0 – 76,0	1,5
5	2001	62,8	150	12,99	9,6	1,28	35,5 – 37,5	0,5
							53,0 – 55,0	1,5
							71,0 – 77,0	2,0
7	1998	45,9	120	4,37	30	0,15	48,0 – 55,0	1,5
							65,0 – 68,0	0,5
							70,0 – 75,0	1,5
							110,0 – 117,0	1,5
							145,0 – 148,0	1,5
							166,0 – 171,0	1,0

- El pozo 5 tiene el mejor rendimiento, con un caudal específico de 12,29 m<sup>3</sup>/h/m y una eficiencia de 62,8 %. En el caso particular del pozo 7, este tiene un valor bajo de eficiencia (45,9 %) por las siguientes razones (Falcón, García y D'Urso, 2009,2011).:
  - A. Antigüedad del pozo: constituye el pozo más antiguo ensayado, lo que presume una afectación mayor por el paso del tiempo.
  - B. Profundidad: perforado hasta los 180 m, capta horizontes profundos con numerosas intercalaciones limo-arcillosas. Por ello, se disminuyeron las aberturas de filtros a fin de evitar la entrada de finos.
  - C. Filtros: se debe dejar un margen de seguridad en la ubicación de los filtros cuando éstos se enfrentan a horizontes permeables con intercalaciones de material fino. En el pozo 7, los filtros se ubicaron abarcando la totalidad de las napas atravesadas, lo que debió favorecer la entrada de materiales finos de la formación al pozo, disminuyendo su eficiencia con el tiempo.
  - D. Por último, cabe agregar que la disminución sostenida de los niveles piezométricos y caudales de bombeos a lo largo de los años para toda el área de El Manantial, es consecuencia de la gran cantidad de perforaciones que explotan el acuífero regional, tanto para abastecer de agua potable a la población, como las que se utilizan para riego y suministro de las fábricas instaladas a los largo de la ruta provincial N° 301.

### 34.3. Conos de Depresión y Radios de Interferencia.

A continuación, en la **Tabla N° 17** se muestran las distancias entre cada unos de las perforaciones. En rojo se muestran las perforaciones que presentan mayor separación. Estos datos fueron tomados con un equipo GPS.

**Tabla 17:** Distancia entre perforaciones (Falcón, García y D’Urso, 2009).

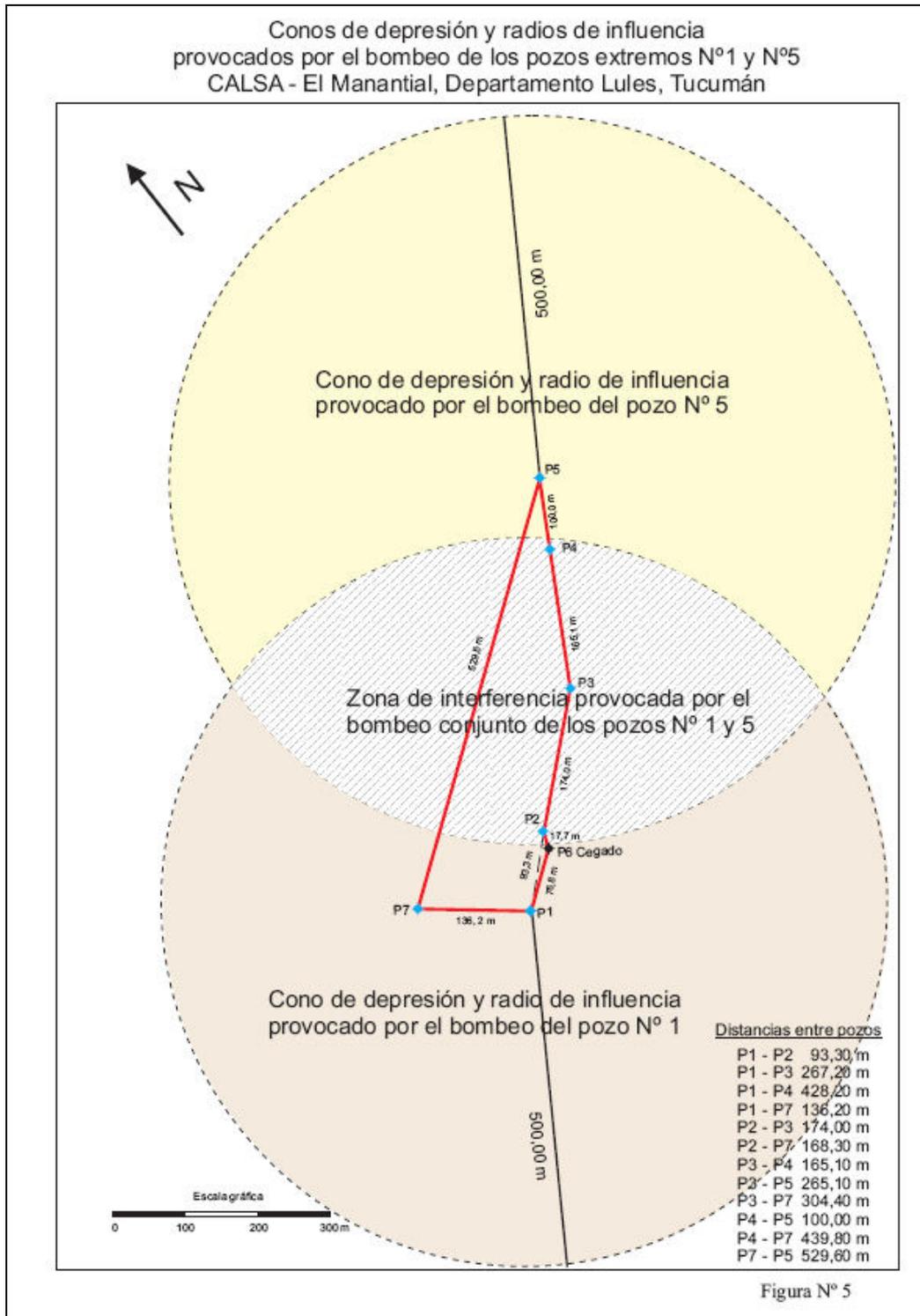
POZO N° 1-SUR	
P1 - P2	<b>113,50m</b>
P1 - P3	261,50m
P1 - P4	421,50 m
P1 - P7	149 m
P1 – P5	566,50 m
POZO N° 2-SUR	
P2 - P3	148,00 m
P2 - P7	196,00 m
P2 – P1	113,50 m
P2--P4	310,00 m
P2 –P5	455,50 m
POZO N° 7-SUR	
P7 – P1	P7 – P1
P7 – P2	P7 – P2
P7 –P3	P7 –P3
P7—P4	P7—P4
P7 - P5	P7 - P5

POZO N° 4-NORTE	
P4 - P5	145,40 m
P4 - P7	438,60 m
P4 – P3	165,80 m
P4 – P2	310,00 m
P4 – P1	421,50 m
POZO N° 5-NORTE	
P5 – P4	145,40 m
P5 – P3	310,20 m
P5 – P2	<b>455,50 m</b>
P5 – P1	<b>566,50 m</b>
P5 – P7	<b>575,50 m</b>
POZO N° 3-NORTE	
P3 - P4	P3 - P4
P3 - P5	P3 - P5
P3 - P7	P3 - P7
P3 – P2	P3 – P2
P3 – P1	P3 – P1

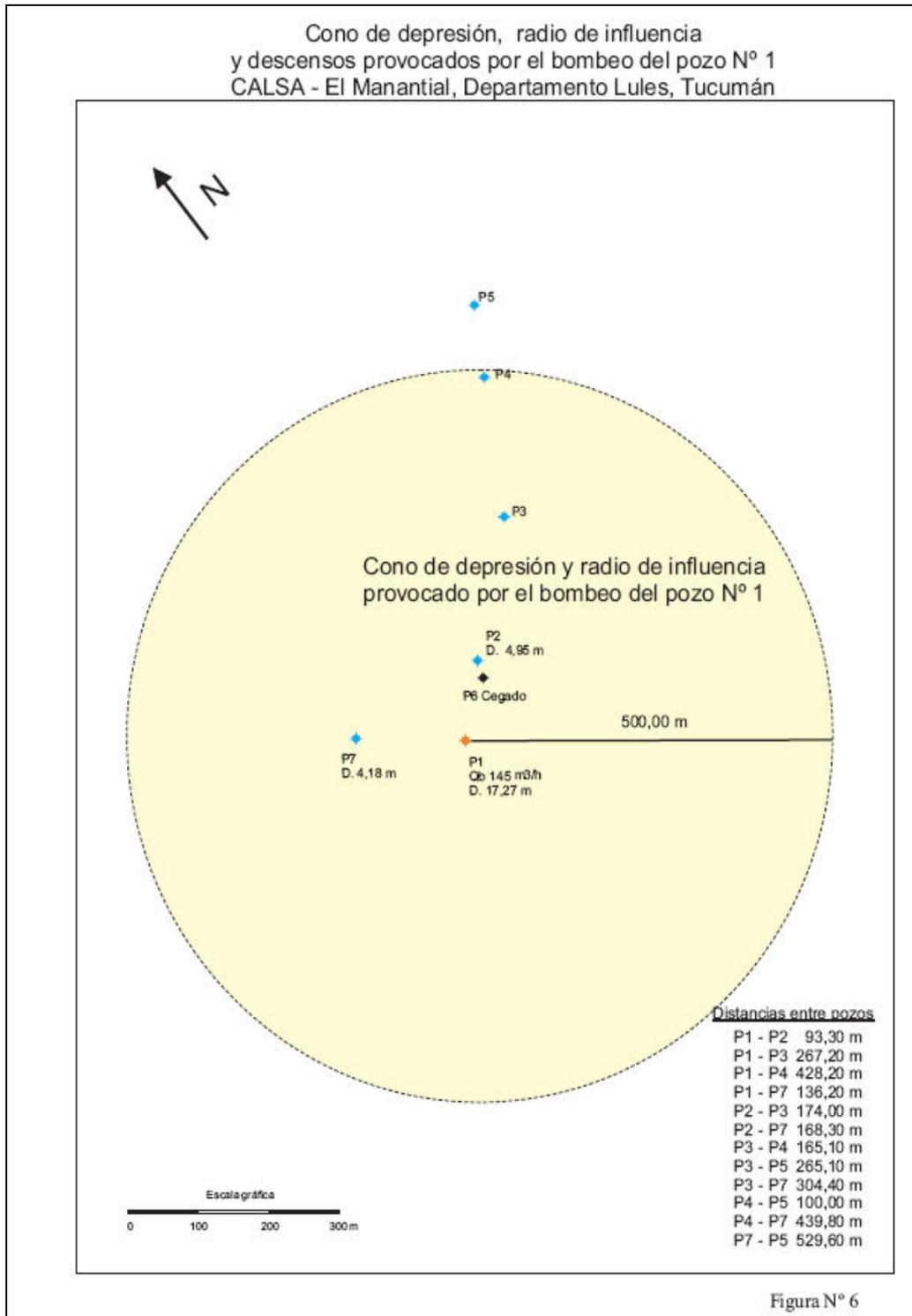
Del análisis de estos datos se desprende el hecho de que si el plan de explotación de agua subterránea requiere poner en funcionamiento más de una perforación, se debe combinar siempre una perforación del lado norte de la planta y otra del lado sur, esto a fin de disminuir al máximo la interferencia entre las perforaciones. En ninguno de los casos se obtiene una distancia superior a los 575 metros, por lo que en muy pocas combinaciones de pozos se podrá respetar el radio de interferencia que se obtuvo del estudio hidráulico.

A continuación en las **Figuras N° 53-59** se presentan los conos de depresión obtenidos para cada perforación

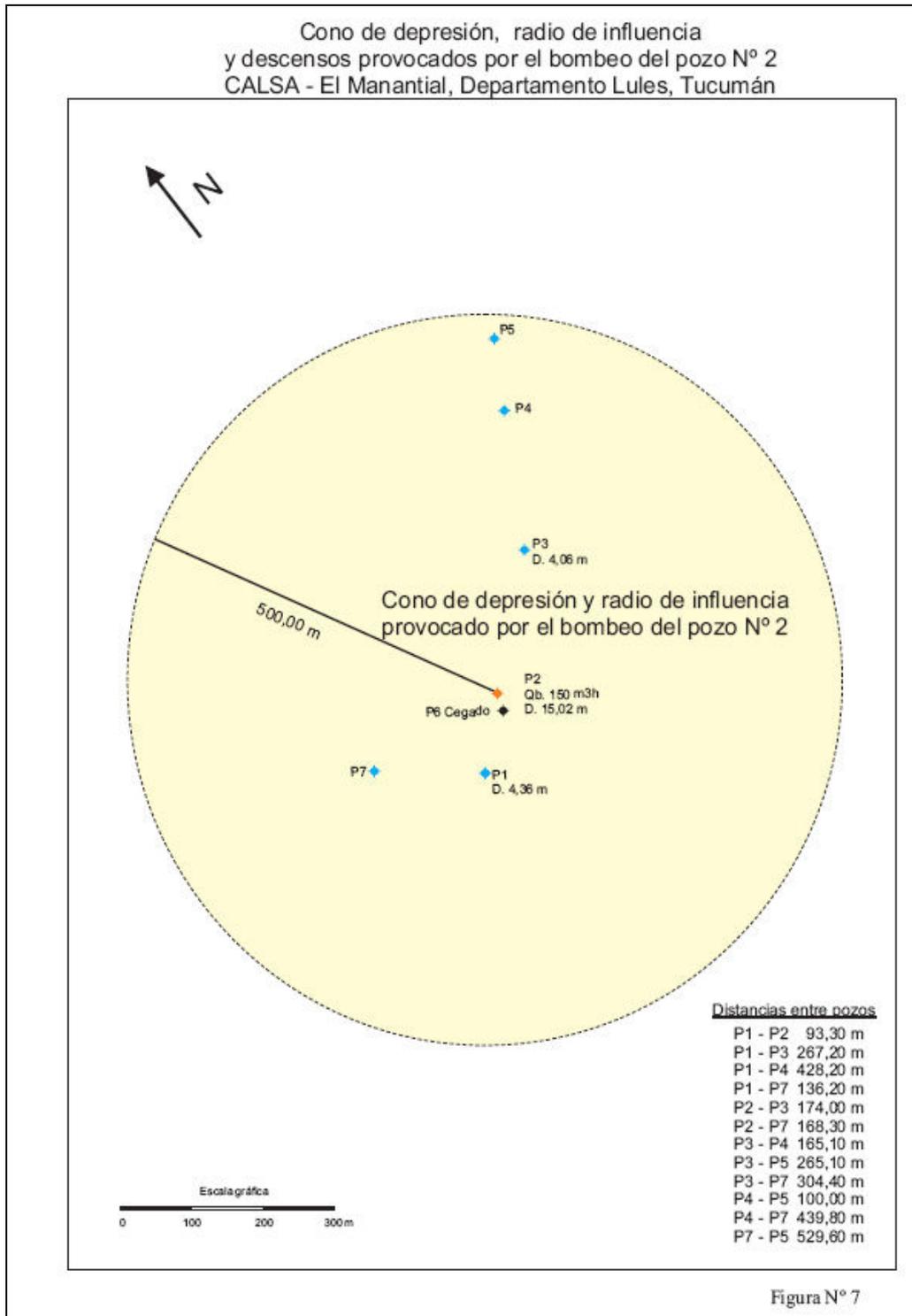
**Figura N° 53:** Radio de Interferencia producido por el pozo N° 5 y el pozo N° 1 (Falcón, García y D'Urso, 2009).



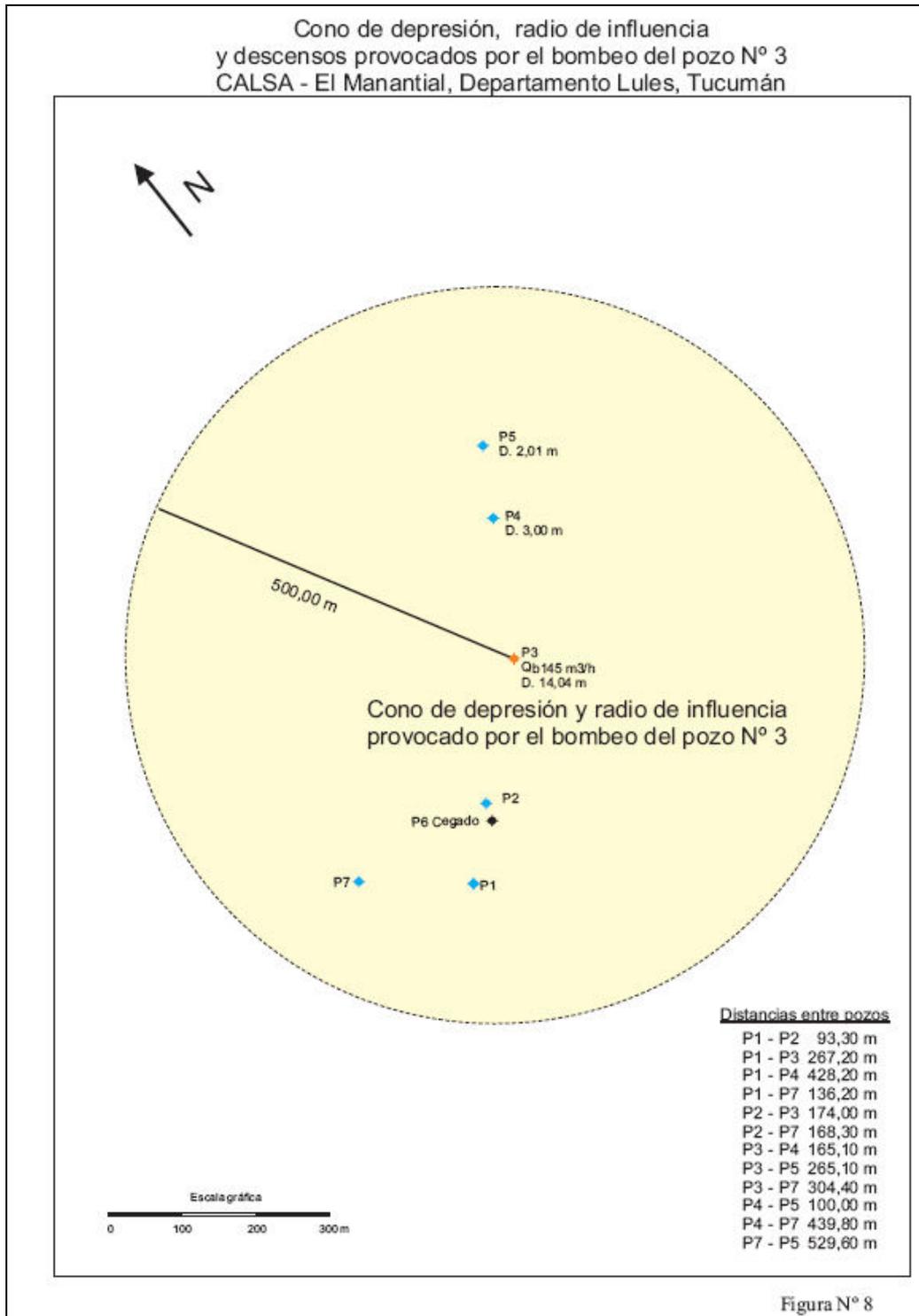
**Figura N° 54:** Radio de Interferencia producido por el pozo N° 1 (Falcón, García y D'Urso, 2009)



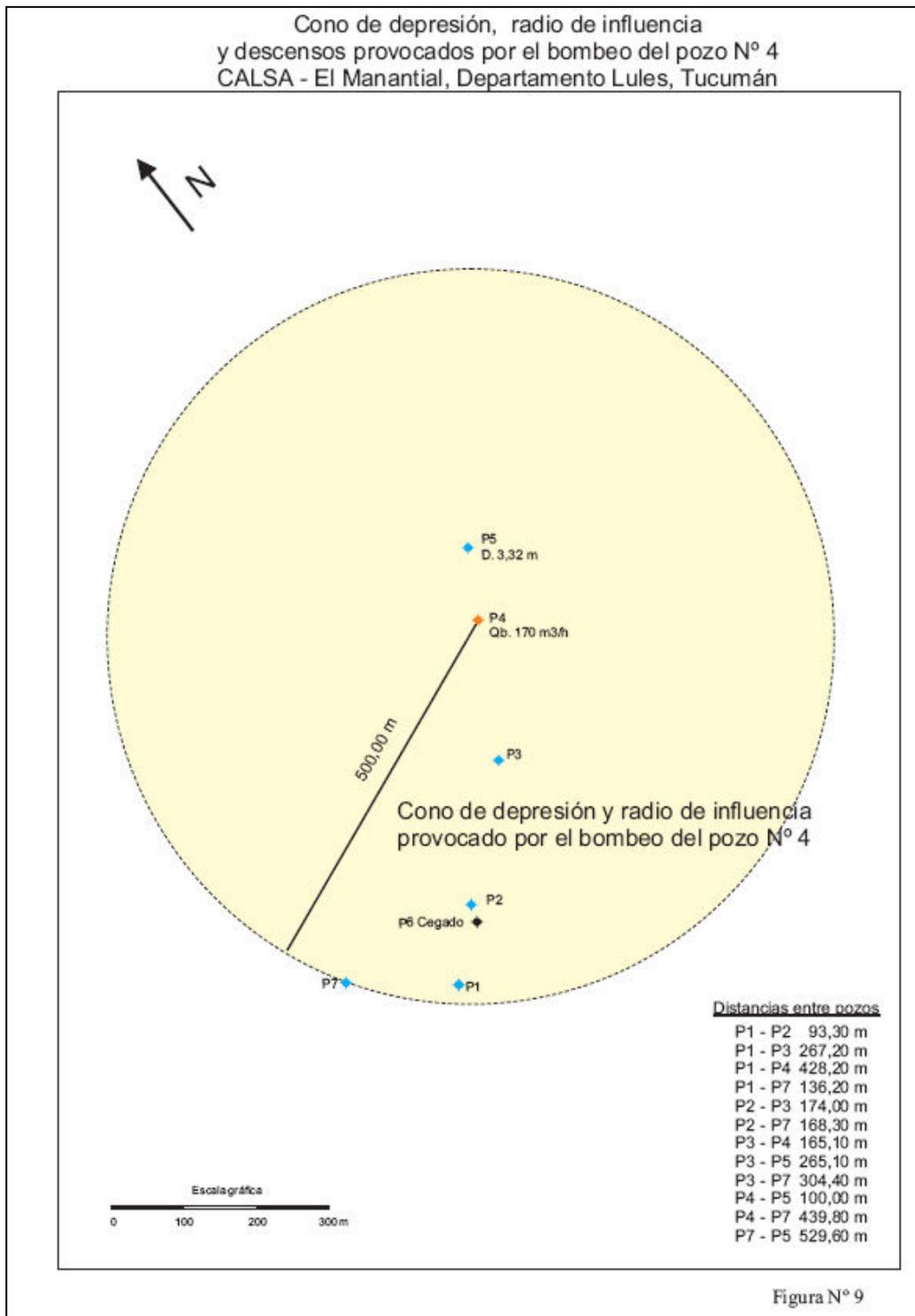
**Figura N° 55:** Radio de Interferencia producido por el pozo N° 2 (Falcón, García y D'Urso, 2009).



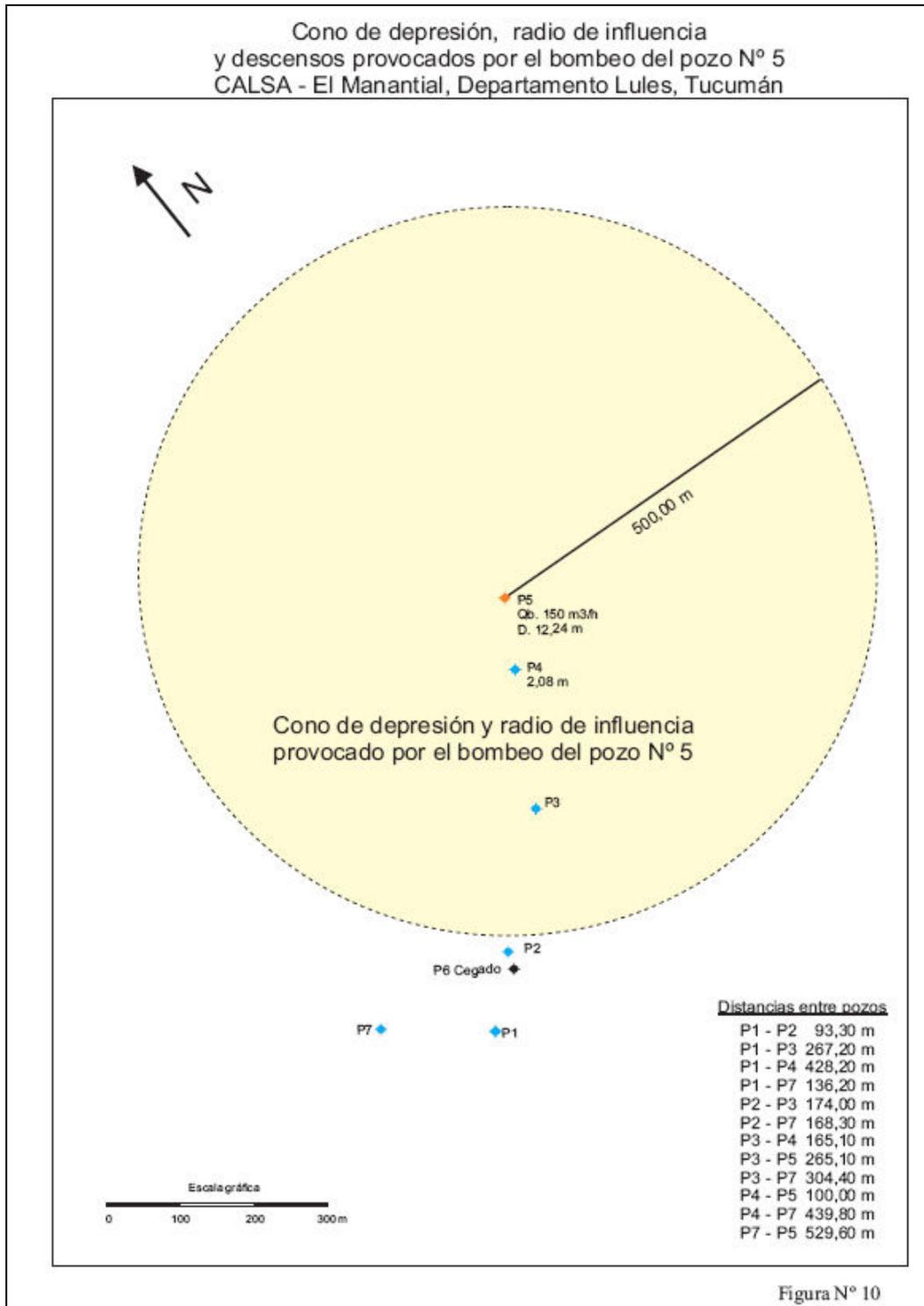
**Figura N° 56:** Radio de Interferencia producido por el pozo N° 3 (Falcón, García y D'Urso, 2009).



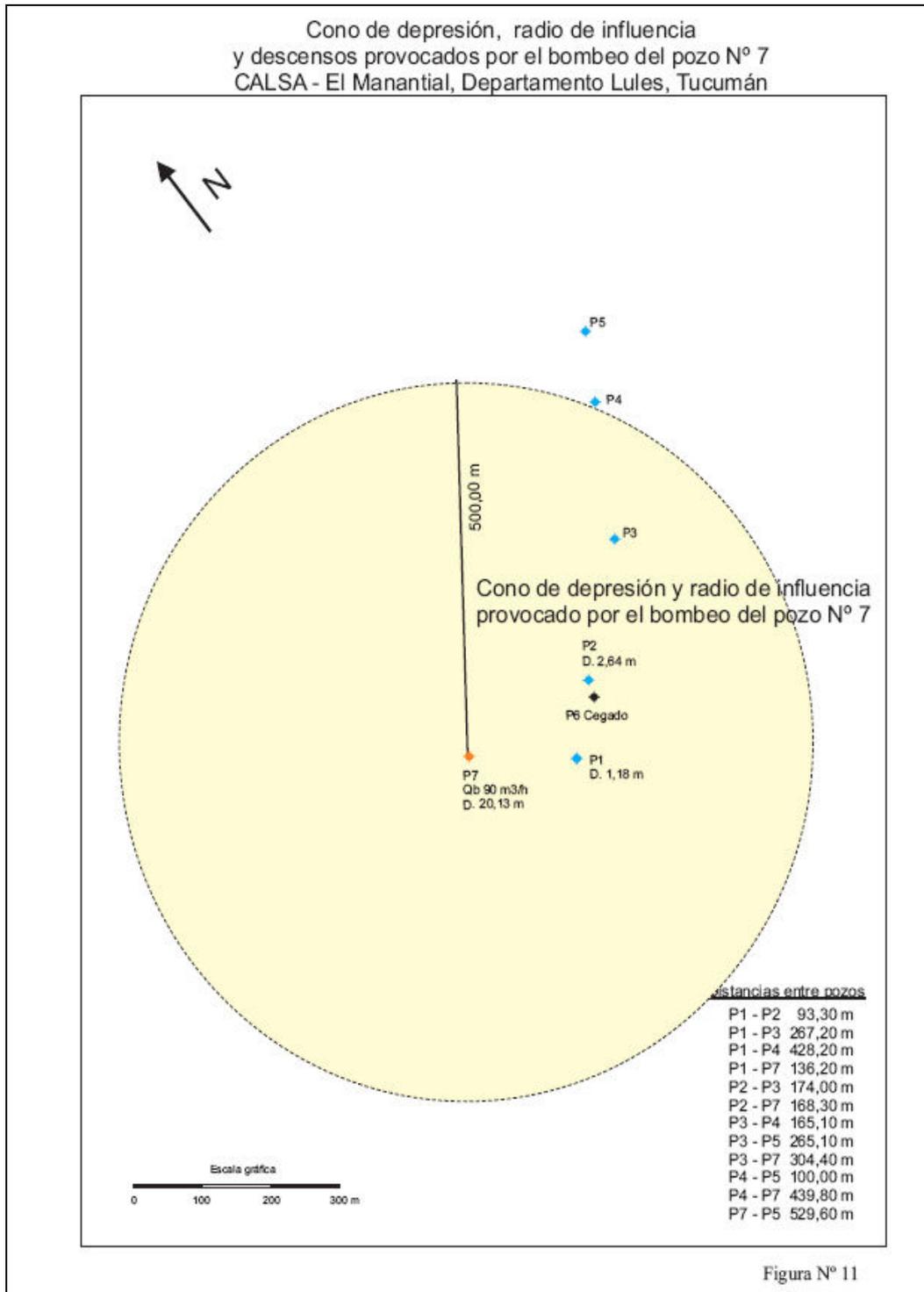
**Figura N° 57:** Radio de Interferencia producido por el pozo N° 4 (Falcón, García y D'Urso, 2009).



**Figura N° 58:** Radio de Interferencia producido por el pozo N° 5 (Falcón, García y D'Urso, 2009).



**Figura N° 59:** Radio de Interferencia producido por el pozo N° 7 (Falcón, García y D'Urso, 2009).



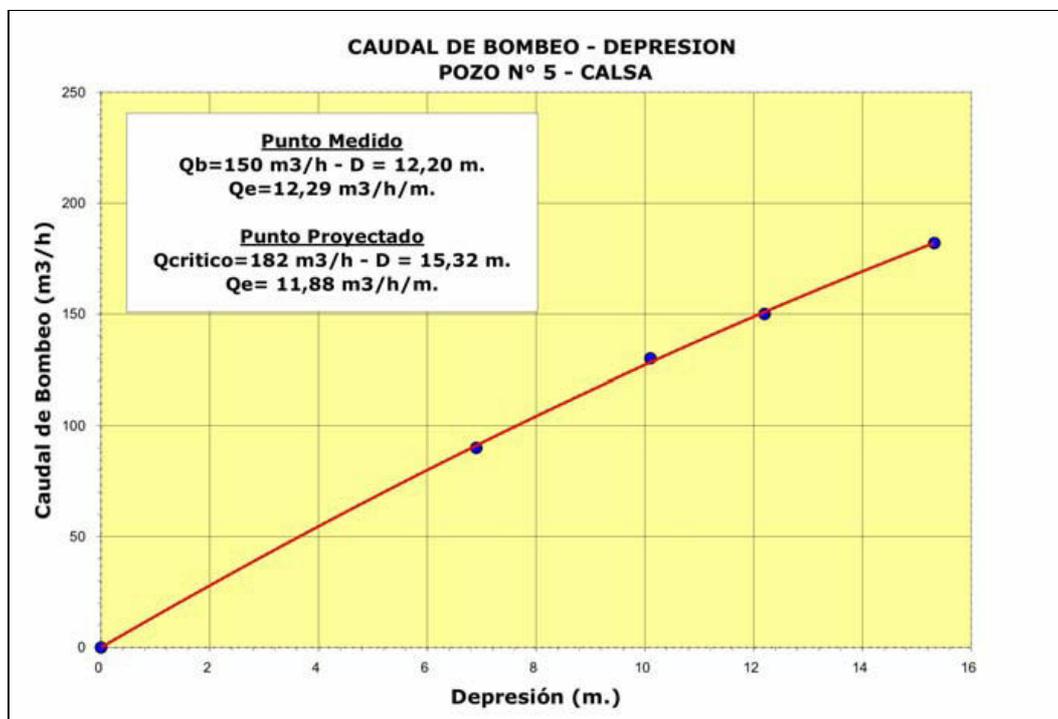
### 34.4. Determinación del Caudal Crítico.

El caudal crítico se define como el caudal de bombeo por sobre el cual los aumentos de los caudales son inferiores a los aumentos de las depresiones o descensos que ellos provocan.

Si se tiene en cuenta que en un ensayo de bombeo escalonado, a caudales de bombeos bajos, los descensos respecto a los caudales responden a una correlación lineal o muy próxima a una recta, se puede decir que a medida que los caudales de bombeo se incrementan, por sobre del caudal crítico, los rendimientos de los pozos disminuyen.

En los **Gráficos N° 5 y 6** obtenidos del trabajo de Falcón, García y D'Urso, 2009, puede observarse el **Qb. vs. Depresión** para los pozos N° 5 y 7.

**Gráfico N° 5:** Caudal de bombeo vs Depresión Pozo N° 5 (Falcón, García y D'Urso, 2009).

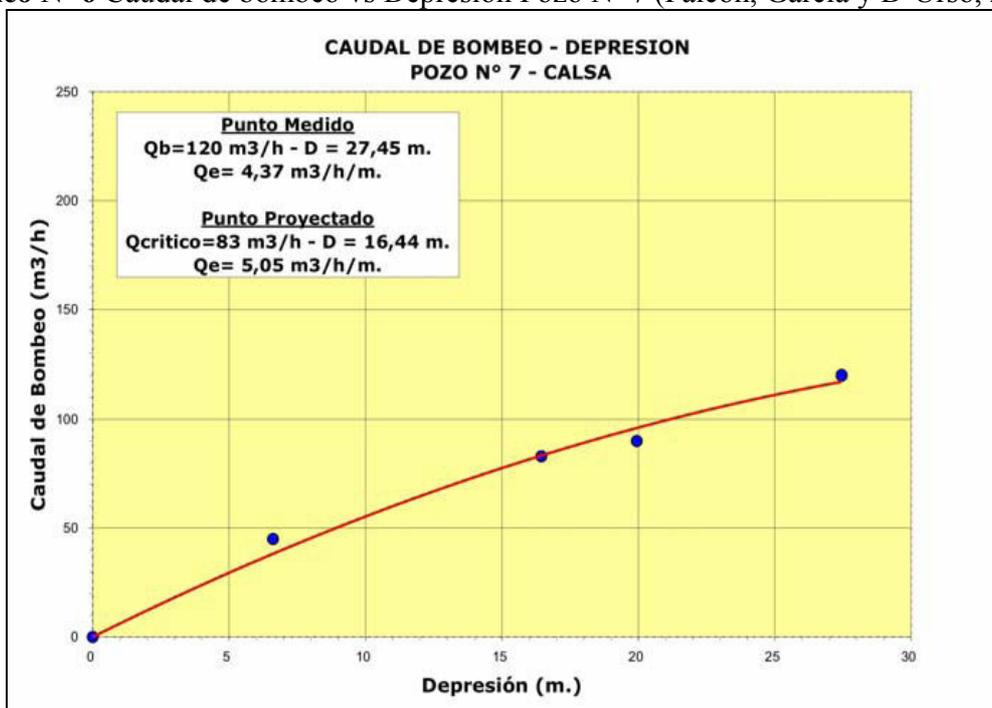


Sobre el caudal crítico, normalmente las gráficas adoptan una forma logarítmica, con un valor de  $n=2$  para pozos que resultan ser eficientes (**Grafico N° 5**), mientras que el valor de  $n$  puede llegar hasta 3, 5 ó 4 en pozos pobres o ineficientes (**Grafico N° 6**).

La determinación del caudal crítico permite que un pozo se explote a un régimen estable, con un consumo de energía razonable para los caudales que se explotan y eso se traduce en la preservación del recurso y en ahorro de energía y dinero. Por esta razón, siempre es recomendable explotar una perforación a un caudal de bombeo que no supere su caudal crítico. En condiciones especiales, como por ejemplo durante sequías prolongadas o fuertes demandas por mayores requerimientos en la producción, se puede bombear un pozo por sobre este caudal.

No obstante, si se desea alcanzar una relación económica entre el costo del bombeo y la preservación de la vida útil de la perforación, esta situación límite no es aconsejable.

**Grafico N° 6** Caudal de bombeo vs Depresión Pozo N° 7 (Falcón, García y D'Urso, 2009).



*Capítulo 4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

Los ensayos de bombeo a caudales escalonados permitieron graficar las curvas hidráulicas características de los pozos y calcular la eficiencia en la construcción de los mismos (Falcón, García y D'Urso, 2009,2011).

Las curvas características de Qb vs. Depresión nos permitió calcular los caudales de bombeos críticos de cada pozo. Ver **Apéndice II**.

La **Tabla N° 18** resume los resultados obtenidos por Falcón, García y D'Urso, 2009,2011 durante las pruebas para las perforaciones bajo estudio.

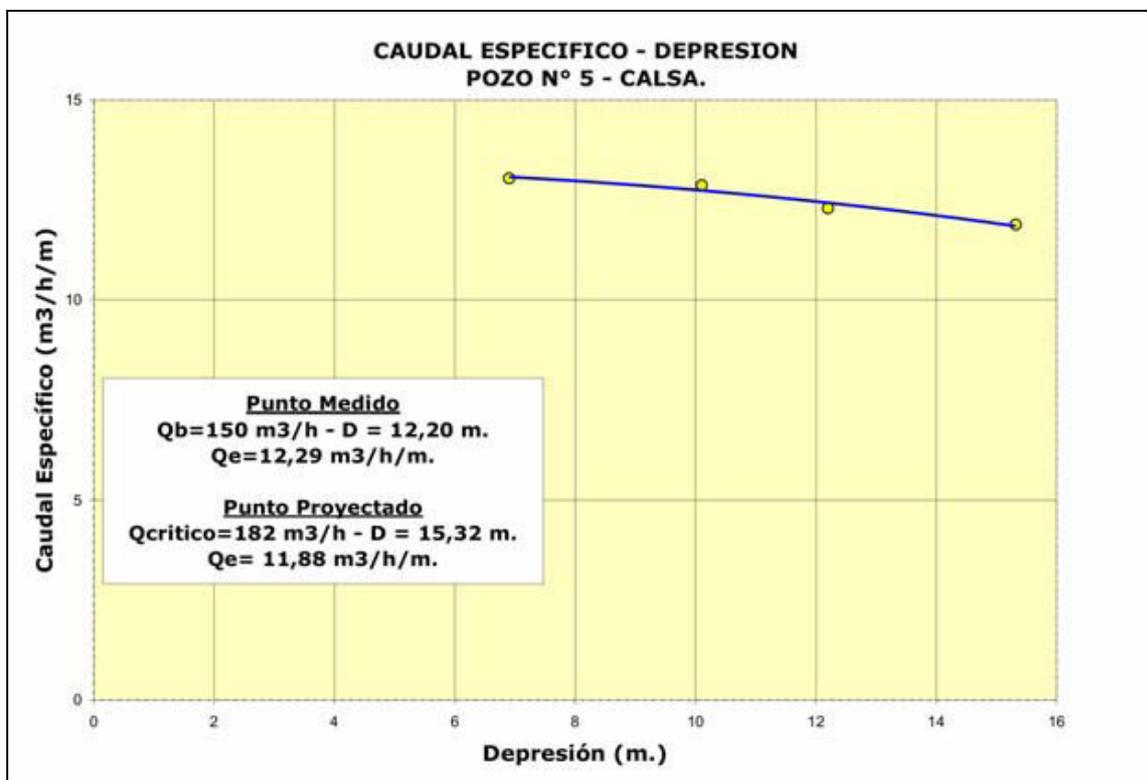
**Tabla N° 18:** Caudales críticos, de bombeo y específicos por pozo (Falcón, García y D'Urso, 2009,2011).

<b>POZO</b>	<b>Qb</b>	<b>Q Critico</b>	<b>Q Especifico</b>	<b>Q E Critico</b>
N° 1	160	163	9,84	9,83
N° 2	140	209	9,83	8,06
N° 3	145	161	10,55	10,06
N° 4	160	122	7,13	7,98
N° 5	150	182	12,29	11,88
N° 7	120	83	4,37	5,05

Se observa que los pozos que exhiben los mejores comportamientos hidráulicos son los pozos N° 1, 2, 3 y 5, resaltados en color verde y amarillo y los más irregulares son los pozos N° 4 y 7, resaltados en rojo.

Actualmente los pozos con el mejor rendimiento son explotados a caudales de bombeo próximos a su caudal crítico con altos valores de caudal específico comparativos, como el pozo N° 1, con 160 m<sup>3</sup>/h y 9,84 m<sup>3</sup>/h/m, o se explotan a caudales de bombeo menores al caudal crítico también con buenos rendimientos, como los pozos N° 2, 3 y 5 con 140 m<sup>3</sup>/h y 9,83 m<sup>3</sup>/h/m; 145 m<sup>3</sup>/h y 10,55 m<sup>3</sup>/h/m y 150 m<sup>3</sup>/h y 12,29 m<sup>3</sup>/h/m respectivamente (**Grafico N° 7**).

**Grafico N° 7:** Caudal Especifico vs Depresión Pozo N° 5 (Falcón, García y D'Urso, 2009,2011).



Los pozos de regular rendimiento extraen caudales superiores a su caudal crítico, aún cuando el mismo es relativamente bajo, con 83 y 122 m³/h para los pozos N° 7 y 4 respectivamente y con rendimientos menores a los anteriores, 5,05 y 7,98 m³/h/m respectivamente. Debido a esto se deberá reemplazar los equipos de bombeo por equipos de menor caudal, para así, evitar la explotación por encima del caudal crítico, generando problemas de cavitación y arrastre de sólidos (Falcón, García y D'Urso, 2009,2011)..

#### **Algunas consideraciones sobre el fenómeno de la cavitación:**

La cavitación o aspiración en vacío es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido, en estado líquido, pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido debido a la conservación de la constante de Bernoulli (Principio de Bernoulli). Puede ocurrir que se alcance la presión de

*Capítulo 4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

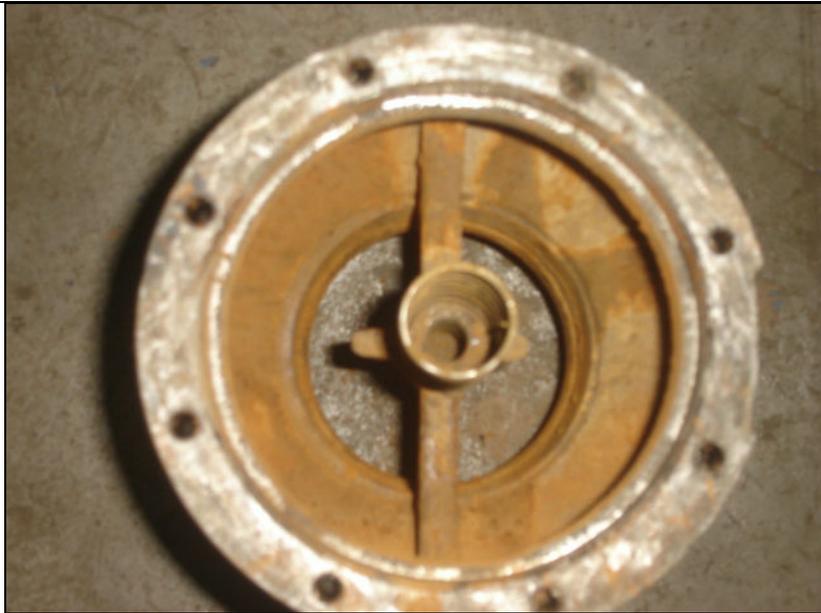
vapor del líquido de tal forma que las moléculas que lo componen cambian inmediatamente a estado de vapor, formándose burbujas o, más correctamente, cavidades. Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor presión e implotan (el vapor regresa al estado líquido de manera súbita, aplastándose bruscamente las burbujas) produciendo una estela de gas y un arranque de metal de la superficie en la que origina este fenómeno. La implosión causa ondas de presión que viajan en el líquido.

Estas pueden disiparse en la corriente del líquido o pueden chocar con una superficie. Si la zona donde chocan las ondas de presión es la misma, el material tiende a debilitarse metalúrgicamente y se inicia una erosión que, además de dañar la superficie, provoca que ésta se convierta en una zona de mayor pérdida de presión y por ende de mayor foco de formación de burbujas de vapor. Si las burbujas de vapor se encuentran cerca o en contacto con una pared sólida cuando implosionan, las fuerzas ejercidas por el líquido al aplastar la cavidad dejada por el vapor dan lugar a presiones localizadas muy altas, ocasionando picaduras sobre la superficie sólida. (Beltrán, 1991).

El fenómeno generalmente va acompañado de ruido y vibraciones, dando la impresión de que se tratara de grava que golpea en las diferentes partes de la máquina. Se suele llamar corrosión por cavitación al fenómeno por el que la cavitación arranca la capa de óxido (pasivación) que cubre el metal y lo protege, de tal forma que entre esta zona (ánodo) y la que permanece pasivada (cubierta por óxido) se forma un par galvánico en el que el ánodo (el que se corroe) que es la zona que ha perdido su capa de óxido y la que lo mantiene (cátodo) (Beltrán, 1991).

En las **Figuras N° 60-64** se observa el estado de mantenimiento de la bomba sumergible del pozo N° 4 (el cual se explotaba por encima de su caudal crítico antes de aplicar las consecuencias teóricas del presente trabajo de tesis), la cual debe que ser reemplazada por otra de menor caudal. Esto a fin de explotar el pozo por debajo de su caudal crítico y evitar la operación en forma restringida, la cual disminuye la vida útil del equipo (ver **Capítulo N° 6 Recomendaciones**).

**Figura N° 60** Válvula de retención de bomba sumergible dañada. Pozo N° 4



**Figura N° 61** Impulsor de bomba con desgaste. Pozo N° 4



13.10.1

**Figura N° 62** Impulsores con desgaste por cavitación en bomba sumergible. Pozo N° 4



**Figura N° 63** Impulsores con desgaste por cavitación en bomba sumergible. Pozo N° 4



**Figura N° 64** Impulsores con desgaste por cavitación en bomba sumergible. Pozo N° 4



13.10.2

**Segunda Etapa.**

**35. Verificación de la Presencia de Sólidos Sedimentables durante las pruebas de ensayos de bombeo.**

Esta consistió en verificar el arrastre de material granular durante los ensayos de bombeo de cada uno de los pozos, mediante la extracción de muestras de agua para la determinación de sólidos sedimentables en periodos de 10 minutos y 2 horas. Con el objetivo de detectar la presencia de limo, arcilla o arena durante el arranque o la operación al mayor caudal (condición mas favorable para el arrastre de sólidos) de la perforación.

Las muestras de agua fueron analizadas in situ a descarga libre y a diversos caudales comprobándose que, para los caudales de explotación registrados, no se verificó una presencia anormal de sólidos en ninguno de los pozos ensayados que permita sospechar de un problema estructural en la perforación.

A continuación, en las **Figuras N° 65-67** se muestran los conos de Imhoff obtenidos luego de llevar a cabo el ensayo de sólidos Sedimentables. En la **Tabla N° 19** se muestra el total de resultados obtenidos durante el arranque y la operación del pozo.

**Tabla N° 19:** Determinación de Sólidos Sedimentables en la condición del mayor caudal

Determinación	Unidad	Pozo					
		1	2	3	4	5	7
Sólidos Sed. 10 min. Arranque*	ml/L	3	1	2	2	1,2	3,1
Sólidos Sed. 2 h. Arranque*	ml/L	3,3	1,1	2,1	2,2	1,3	3,4
Sólidos Sed. 10 min. Operación**	ml/L	1,1	0	0	1	0	1,1
Sólidos Sed. 2 h. Operación**	ml/L	1,3	0	0	1,3	0	1,2

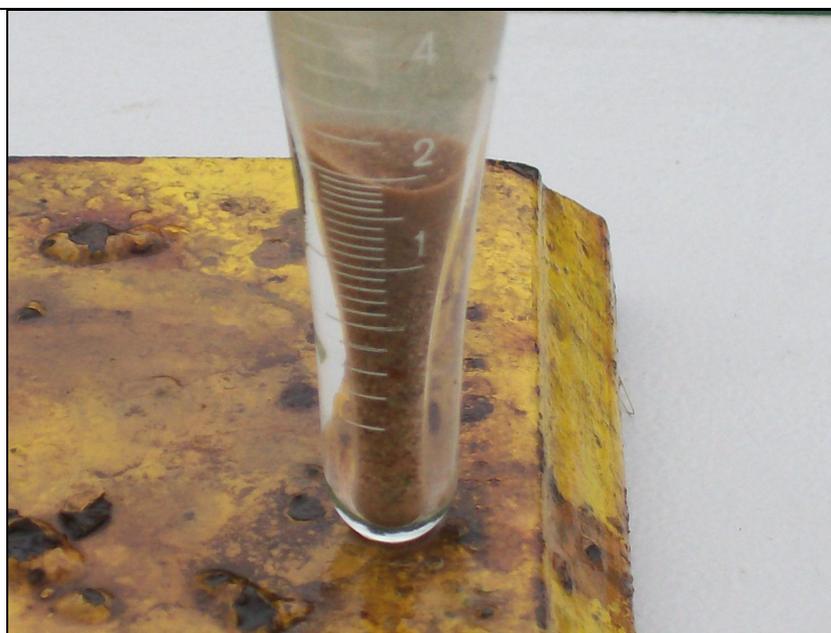
\*La muestra se tomo dentro del primer minuto a partir de la puesta en marcha del pozo

\*\* La muestra se tomo 2 horas a partir de la puesta en marcha del pozo.

**Figura N° 65:** Ensayos de Sol. Sed. en Pozo N° 5.



**Figura N° 66:** Sol. Sed. 10 min obtenidos de las muestras del Pozo N° 4 dentro del primer minuto de operación del pozo N° 4.



**Figura N° 67:** Sol. Sed. 2 h obtenidos de las muestras del Pozo N° 4 dentro del primer minuto de operación del pozo N° 4.



Los valores de sólidos sedimentables obtenidos confirman lo observado en las filmaciones internas de cada una de las perforaciones, ya que no se observó un nivel de arena por encima de 50 ml/L que permitan sospechar la rotura alguna de las cañerías filtrantes. En todos los casos la granulometría de los sólidos encontrados indica que esta es arena gruesa proveniente de los estratos más superficiales. Es de destacar que no se observó la presencia de limo o arcilla en ninguna de los conos analizados para los 6 pozos.

Cabe decir que para los pozos N° 5,2 y 3 no se observó arrastre de sólidos durante la operación del pozo. La situación fue distinta para las muestras obtenidas de la operación de los Pozos N° 3,4 y 1 los cuales presentaron mayores niveles de sólidos sedimentables lo cual puede deberse principalmente a:

1. La explotación de la perforación por encima del caudal crítico. La presencia de sólidos en la operación coincide con la sobre explotación verificada en la primera etapa para los pozos N° 4 y 7.

*Capítulo 4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

2. La falta de desarrollo del acuífero, ya que no está implementado un programa de rotación de pozos que asegure que todos los pozos sean explotados en la misma cuantía y que tengan la misma proporciones de arranques anuales. Esto último genera que aquellos pozos poco bombeados, arrastren arena durante su explotación. Encontrándose algunos poco explotados y otros sobre explotados. Este es el caso del Pozo N° 1 que al momento de los ensayos hidráulicos era el que presentaba la menor tasa de uso en la planta industrial. Una situación opuesta se presentó en el Pozo N° 4 el cual presentaba el mayor número de horas de uso, al momento de los ensayos, en el horómetro del tablero de potencia.

Los resultados de esta etapa se cotejaron con los de la primera etapa y con la información referida al diseño e instalación de los equipos de bombeo actualmente en servicio en cada perforación, como ser tipo de equipo de bombeo, profundidad de instalación, diámetro de las cañerías de impulsión, etc. Encontrándose que, la ausencia de material fino arrastrado en grandes cantidades ( $> 50\text{ml/L}$ ) durante las pruebas de bombeo permitió descartar:

1. Que el equipo de bombeo está instalado próximo a un filtro, generando la aparición regímenes turbulentos y arrastre de partículas o
2. Que la estructura del pozo (cañería ciega y de cola y filtros) se encuentren dañados.

Para evitar el arrastre de sólidos en pozos sin problemas estructurales o de cercanía de bombas sus cañerías filtro, se recomienda lo siguiente:

1. Purgar los 5 primeros minutos del bombeo, llamado usualmente cabeza del bombeo para evitar el envío de arena a equipos industriales.
2. Explotar los pozos por debajo del caudal crítico.
3. Implementar el plan de rotación de pozos para garantizar un mismo número de arranques y horas de operación anuales.

**Tercera Etapa.**

**36. Diseño del Plan de Explotación de Agua Subterránea.**

El plan de Explotación se diseñó a partir de la siguiente información:

- Performance hidráulica de cada una de las perforaciones, en cuanto a sus caudales críticos, radio de interferencia y caudales de bombeo.
- Consumo (m3/h) de agua subterránea de cada una de las operaciones unitarias de CALSA implicadas en los distintos procesos productivos de crema de levadura y extractos (información provista por el Departamento de Higiene, Seguridad y Medio Ambiente de CALSA).
- Capacidad de los reservorios de agua subterránea necesarios para amortiguar los picos de consumo de la fábrica.
- Características de los equipos de bombeo electro sumergibles, respecto a la carga hidráulica mínima requerida para la correcta operación de la bomba (provistas por el fabricante).

Con ellos se procedió a diseñar un plan de explotación de agua para la planta industrial de CALSA. El diseño del mismo debe considerar las condiciones de explotación actuales y máximas observadas para las perforaciones durante las pruebas vs. la profundidad de emplazamiento del equipo de bombeo y del primer filtro y fondo de la cámara de bombeo. Estas se describen en la **Tabla N° 20**.

**Tabla N° 20:** Datos constructivos y operativos de las perforaciones.

Pozo N°	Qb. (m3/h)	N.D. (m)	Prof. aspiración de la bomba (m)	Prof. de la Reducción (m)	1° Filtro (m)
Pozo N° 1	150	-22,94	34,75	40,00	30,00-31,60
Pozo N° 2	150	-25,56	40,30	45,00	49,00-54,00
Pozo N° 3	145	-27,66	43,35	45,00	19,00-22,00
Pozo N° 4	170	-40,00	43,35	46,20	37,00-39,00
Pozo N° 5	150	-27,79	43,85	45,00	35,50-37,10
Pozo N° 7	150	-29,38	43,00	Sin reducción	48,00-55,00

Del análisis de la **Tabla N° 20** que relaciona:

- Los máximos caudales de extracción y sus correspondientes niveles dinámicos.
- La profundidad de aspiración del equipo de bombeo.
- La profundidad de la reducción (fin de la cámara de bombeo) y
- La ubicación del primer filtro.

Se observa que para el pozo N° 4, al caudal extremo de 170 m<sup>3</sup>/h, el nivel dinámico registrado (- 40,00 m) está a solo 3,35 m de la profundidad de aspiración de la bomba y a 5,00 m de la reducción (Falcón, García y D'Urso, 2009,2011). Por lo que en este caso se debe recurrir al cambio de equipo sumergible de bombeo. En el resto de los pozos, se verifica una excelente relación entre:

- La profundidad del nivel dinámico.
- La profundidad de aspiración de la bomba y
- La posición de la reducción de la cámara de bombeo, superando holgadamente los 9,00 m de diferencia entre el nivel dinámico y la profundidad de aspiración de la bomba requerido por el fabricante de las bombas (Rotor Pump) y los motores sumergibles (Franklin Electric). Esta condición asegura una carga hidráulica apropiada para el buen funcionamiento del equipo de bombeo y la ausencia de fenómenos de cavitación y corrosión de equipo sumergible.

En cuanto a la posición del primer filtro vs. Nivel dinámico, puede observarse en el caso del pozo N° 3, que el primer filtro queda desfasado para un caudal de extracción de 145 m<sup>3</sup>/h, unos 8,66 m por encima del nivel dinámico, situación que se repite para la perforación N° 4, donde para un caudal de extracción de 170 m<sup>3</sup>/h, el primer filtro queda desfasado cuatro metros por encima del nivel dinámico. Estas situaciones pueden y deben evitarse, bombeando el pozo N° 4 a un caudal inferior al caudal crítico (113-120 m<sup>3</sup>/h) y

con un nivel dinámico de -31,00-32,00 metros, lo que asegura una carga hidráulica de 12,50-11,50 metros aproximadamente.

Por otro lado puede observarse que el Pozo N° 3 presenta un filtro a los 19 m de profundidad (en su cámara de bombeo), lo cual está totalmente contraindicado debido a que un filtro a esa profundidad podría significar que la perforación, ante una falla de la cementación del Pozo, este tomando agua desde el nivel freático (Falcón, García y D'Urso, 2009,2011)..

En el caso del Pozo N° 3, todo indicaría que este debería ser bombeado a un caudal de 70 m<sup>3</sup>/h para asegurar un nivel dinámico de 19,00 m y una carga hidráulica de 24,35 m. Como este caudal es notablemente más bajo que el máximo que puede alcanzar (y por ende imposible de implementar, ya que la bomba no podría operar tan restringida), se recomienda explotar el pozo a 100 m<sup>3</sup>/h lo que produce un nivel de -23,50 metros de nivel dinámico. Si bien el primer filtro queda sin operar se elimina la potencial contaminación desde el nivel freático, el cual presenta elevados índices de contaminación orgánica y microbiológica.

En la **Figura N° 68** se observa el tipo de Bomba utilizada actualmente en las perforaciones de CALSA. Las mismas operan con motores Franklin Electric de 60 HP

**Figura N° 68:** Bomba Rotor Pump 150 m<sup>3</sup>/h y 65 metros de Altura



Las pruebas de bombeo realizadas han aportado una valiosa información sobre el comportamiento de las perforaciones de la planta CALSA Tucumán, y los valores obtenidos de descensos para los caudales aforados son notablemente coincidentes con los niveles dinámicos registrados al cabo de bombeos tan extensos como el caso de los pozos 5 y 4, sometidos a extracciones continuas de más de 30 días de duración. También se lograron buenas predicciones de descensos, luego de bombeos continuos de una duración superior a los 7 días, en el caso de los pozos restantes (Falcón, García y D'Urso, 2009,2011)..

Para llevar a cabo una modelización del consumo de agua en la planta, primero se debe llevar a cabo la definición de dos aspectos:

1. Caudal de explotación de cada pozo.
2. Combinaciones posibles de pozos según su localización en el predio a fin de evitar al mínimo las interferencias.

#### 1. Caudal de Explotación

En la **Tabla N° 21** se muestra el caudal de explotación a implementar, el mismo se definió en base a los resultados del estudio hidráulico de la primera etapa. En todos los casos este caudal a implementar debe cumplir dos requisitos, a saber:

1. Debe estar por debajo del caudal crítico obtenido en la primera etapa.
2. No debe involucrar el hecho de que la bomba trabaje en forma restringida más de un 30 % aproximadamente de su caudal de entrega. Por lo que esto puede requerir un cambio de equipo de bombeo. Una restricción mayor ocasionaría una disminución de la vida útil del equipo.

**Tabla N° 21:** Caudales críticos, de bombeo y específicos por pozo.

Pozo	QB Actual	Q Critico	Q a Implementar	Observaciones
1	160	163	135	No requiere cambio de bomba. Solo restricción con válvula
2	140	209	115	No requiere cambio de bomba. Solo restricción
3	145	161	100	No requiere cambio de bomba. Solo restricción
4	160	122	110	Requiere cambio de bomba y motor
5	150	182	150	No requiere cambio de bomba ni restricción con válvula
7	120	83	80	No requiere cambio de bomba. Solo restricción

## 2. Combinaciones de Pozos.

En el caso de que el abastecimiento de agua requiera más que un solo pozo, siempre debe tratarse de un pozo del ala sur y otro del ala norte, para evitar así al mínimo las interferencias entre las perforaciones. Es de destacar que siempre se debe cumplir el hecho de que los pozos deben poder abastecer de agua a la planta en cualquier momento sin necesidad de un arranque intermitente del Pozo a pesar de que esto implique el hecho de que pueda obtenerse un excedente de agua.

En las **Tablas N° 23, 24, 25, 26 y 27** se ofrece un detalle de los caudales de consumo de agua subterránea de CALSA planta Tucumán. En la **Tabla N° 22** se muestran las modelizaciones de consumo de agua proyectadas con datos de obtenidos de la planta.

**Tabla N° 22:** Escenarios Modelizados de Consumo y Abastecimiento de agua subterránea

Combinación de Pozos	Caudal Total
Pozos 1 + 3, Pozos 5 + 7, Pozos 2 + 4, Pozos 1 + 4	130+100 ó 150+80 ó 120+110 ó 130+100= <b>230 m3/h.</b>
Pozos 5 + 2	150+115= <b>265 m3/h.</b>
Pozos 7 + 3	100+80= <b>180 m3/h.</b>
Pozos 1 + 5	150+145= <b>295 m3/h.</b>
Pozo 5	<b>150 m3/h.</b>

Esto datos de consumo han sido obtenidos del Departamento de Gestión Ambiental de CALSA planta Tucumán. Es de destacar que la planta cuenta con 6 tanques pulmón para agua subterránea, con una capacidad total pulmón de 400 m<sup>3</sup>, logrando de esta manera actuar como buffer de los picos de consumo de agua subterránea.

Tabla N° 23 CONSUMOS													ABASTECIMIENTO			
	SERVICIOS						PROCESOS					TOTAL	P1+P3 ó P5+P7 ó P2+P4 ó P1+P4			
Hora	Generadores	Calderas	Consumo humano	Consumo contratistas	Tradelog Sedica	Messina	Servicio LSI	Fermentación	Alimenticia	LSI	Extracto	Consumo Total	Entrada 4 Pares de Pozos	Consumo TKS	Stock TKS	Rebalse m3/h
Hs	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)
01:00	13,50	7,03	0,35	0	0	0	0,65	80,5	0,44	2,00	2,65	107	230	0	400	123
02:00	13,50	9,37	0,26	0	0	0	0,69	71,31	0,44	2,00	2,65	100	230	0	400	130
03:00	13,50	8,17	0,26	0	0	0	0,60	109,78	0,44	2,00	2,65	137	230	0	400	93
04:00	13,50	9,87	0,45	0	0	0	0,68	48,28	0,44	2,00	2,65	78	230	0	400	152
05:00	13,50	9,06	0,35	0	0	0	0,63	29,59	0,44	2,00	2,65	58	230	0	400	172
06:00	13,50	8,51	2,55	9,00	0	0	0,61	35,99	0,44	2,00	2,65	75	230	0	400	155
07:00	13,50	8,80	0,45	9,00	0	0	0,75	30,67	0,44	2,00	2,65	68	230	0	400	162
08:00	13,50	8,22	0,35	9,00	6,00	0	0,51	34,72	0,44	2,00	2,65	83	230	0	400	147
09:00	13,50	9,07	2,67	9,00	6,00	0	0,87	40,97	0,44	2,00	2,65	93	230	0	400	137
10:00	13,50	6,31	0,35	9,00	6,00	0	0,25	52,92	0,44	2,00	2,65	99	230	0	400	131
11:00	13,50	4,83	2,61	9,00	6,00	0	0,47	53,07	0,44	2,00	2,65	101	230	0	400	129
12:00	13,50	4,61	0,35	9,00	6,00	0	1,65	40,35	0,44	2,00	2,65	87	230	0	400	143
13:00	13,50	2,66	2,83	9,00	6,00	0	1,14	132,45	0,44	2,00	2,65	179	230	0	400	51
14:00	13,50	3,27	3,66	9,00	6,00	0	0,64	144,69	0,44	2,00	2,65	192	230	0	400	38
15:00	13,50	3,09	2,86	9,00	6,00	0	0,61	134,39	0,44	2,00	2,65	181	230	0	400	49
16:00	13,50	4,11	2,75	9,00	6,00	0	1,28	129,81	0,44	2,00	2,65	178	230	0	400	52
17:00	13,50	4,47	2,86	9,00	6,00	0	1,59	124,30	0,44	2,00	2,65	173	230	0	400	57
18:00	13,50	7,13	3,59	9,00	6,00	0	1,67	144,66	0,44	2,00	2,65	197	230	0	400	33
19:00	13,50	13,97	0,45	0,00	0,00	0	1,43	121,38	0,44	2,00	2,65	156	230	0	400	74
20:00	13,50	11,21	0,35	0,00	0,00	0	1,45	184,49	0,44	2,00	2,65	216	230	0	400	14
21:00	13,50	4,80	2,83	0,00	0,00	0	1,48	165,79	0,44	2,00	2,65	193	230	0	400	37
22:00	13,50	4,32	2,75	0,00	0,00	0	1,25	124,69	0,44	2,00	2,65	152	230	0	400	78
23:00	13,50	6,56	3,23	0,00	0,00	0	1,18	138,48	0,44	2,00	2,65	168	230	0	400	62
00:00	13,50	8,23	0,35	0,00	0,00	0	0,54	117,36	0,44	2,00	2,65	145	230	0	400	85
												<b>3216</b>	<b>5520</b>	0	<b>400</b>	<b>2304</b>

Tabla N° 24 CONSUMOS													ABASTECIMIENTO			
SERVICIOS								PROCESOS				TOTAL	POZO 5 + POZO 2			
Hora	Generadores	Calderas	Consumo Humano	Consumo Contratistas	Sedica	Messina	Servicio LSI	Fermentación	Alimentación	LSI	Extracto	Consumo Total	Entrada P2 + P5	Consumo TKS	Stock TKS	Rebalse m3/h
Hs	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	(m3/h)	m3	(m3/h)
01:00	13,50	7,03	0,35	0	0	0	0,65	80,5	0,44	2,00	2,65	107	265	0	400	158
2:00	13,50	9,37	0,26	0	0	0	0,69	71,31	0,44	2,00	2,65	100	265	0	400	165
03:00	13,50	8,17	0,26	0	0	0	0,60	109,78	0,44	2,00	2,65	137	265	0	400	128
04:00	13,50	9,87	0,45	0	0	0	0,68	48,28	0,44	2,00	2,65	78	265	0	400	187
05:00	13,50	9,06	0,35	0	0	0	0,63	29,59	0,44	2,00	2,65	58	265	0	400	207
06:00	13,50	8,51	2,55	0	0	0	0,61	35,99	0,44	2,00	2,65	75	265	0	400	190
07:00	13,50	8,80	0,45	0	0	0	0,75	30,67	0,44	2,00	2,65	68	265	0	400	197
08:00	13,50	8,22	0,35	0	6,00	6,00	0,51	34,72	0,44	2,00	2,65	83	265	0	400	182
09:00	13,50	9,07	2,67	0	6,00	6,00	0,87	40,97	0,44	2,00	2,65	93	265	0	400	172
10:00	13,50	6,31	0,35	0	6,00	6,00	0,25	52,92	0,44	2,00	2,65	99	265	0	400	166
11:00	13,50	4,83	2,61	0	6,00	6,00	0,47	53,07	0,44	2,00	2,65	101	265	0	400	164
12:00	13,50	4,61	0,35	0	6,00	6,00	1,65	40,35	0,44	2,00	2,65	87	265	0	400	178
13:00	13,50	2,66	2,83	0	6,00	6,00	1,14	132,45	0,44	2,00	2,65	179	265	0	400	86
14:00	13,50	3,27	3,66	0	6,00	6,00	0,64	144,69	0,44	2,00	2,65	192	265	0	400	73
15:00	13,50	3,09	2,86	0	6,00	6,00	0,61	134,39	0,44	2,00	2,65	181	265	0	400	84
16:00	13,50	4,11	2,75	0	6,00	6,00	1,28	129,81	0,44	2,00	2,65	178	265	0	400	87
17:00	13,50	4,47	2,86	0	6,00	6,00	1,59	124,30	0,44	2,00	2,65	173	265	0	400	92
18:00	13,50	7,13	3,59	0	6,00	6,00	1,67	144,66	0,44	2,00	2,65	197	265	0	400	68
19:00	13,50	13,97	0,45	0	0,00	0,00	1,43	121,38	0,44	2,00	2,65	156	265	0	400	109
20:00	13,50	11,21	0,35	0	0,00	0,00	1,45	184,49	0,44	2,00	2,65	216	265	0	400	49
21:00	13,50	4,80	2,83	0	0,00	0,00	1,48	165,79	0,44	2,00	2,65	193	265	0	400	72
22:00	13,50	4,32	2,75	0	0,00	0,00	1,25	124,69	0,44	2,00	2,65	152	265	0	400	113
23:00	13,50	6,56	3,23	0	0,00	0,00	1,18	138,48	0,44	2,00	2,65	168	265	0	400	97
00:00	13,50	8,23	0,35	0	0,00	0,00	0,54	117,36	0,44	2,00	2,65	145	265	0	400	120
												3216	6360	0	400	3144

Tabla N° 25 CONSUMOS													ABASTECIMIENTO			
SERVICIOS								PROCESOS				TOTAL	POZO 7 + POZO 3			
Hora	Generadores	Calderas	Consumo Humano	Consumo Contratistas	Sedica	Messina	Servicio LSI	Fermentación	Alimenticia	LSI	Extracto	Consumo Total	Entrada P7+ P3	Consumo TKS	Stock TKS	Rebalse m3/h
Hs	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	m3	(m3/H)
01:00	13,50	7,03	0,35	0	0	0	0,65	80,5	0,44	2,00	2,65	107	180	0	400,00	72,88
02:00	13,50	9,37	0,26	0	0	0	0,69	71,31	0,44	2,00	2,65	100	180	0	400,00	79,78
03:00	13,50	8,17	0,26	0	0	0	0,60	109,78	0,44	2,00	2,65	137	180	0	400,00	42,60
04:00	13,50	9,87	0,45	0	0	0	0,68	48,28	0,44	2,00	2,65	78	180	0	400,00	102,13
05:00	13,50	9,06	0,35	0	0	0	0,63	29,59	0,44	2,00	2,65	58	180	0	400,00	121,78
06:00	13,50	8,51	2,55	0	0	0	0,61	35,99	0,44	2,00	2,65	75	180	0	400,00	104,75
07:00	13,50	8,80	0,45	0	0	0	0,75	30,67	0,44	2,00	2,65	68	180	0	400,00	111,74
08:00	13,50	8,22	0,35	0	6,00	6,00	0,51	34,72	0,44	2,00	2,65	83	180	0	400,00	96,61
09:00	13,50	9,07	2,67	0	6,00	6,00	0,87	40,97	0,44	2,00	2,65	93	180	0	400,00	86,83
10:00	13,50	6,31	0,35	0	6,00	6,00	0,25	52,92	0,44	2,00	2,65	99	180	0	400,00	80,58
11:00	13,50	4,83	2,61	0	6,00	6,00	0,47	53,07	0,44	2,00	2,65	101	180	0	400,00	79,43
12:00	13,50	4,61	0,35	0	6,00	6,00	1,65	40,35	0,44	2,00	2,65	87	180	0	400,00	93,45
13:00	13,50	2,66	2,83	0	6,00	6,00	1,14	132,45	0,44	2,00	2,65	179	180	0	400,00	1,33
14:00	13,50	3,27	3,66	0	6,00	6,00	0,64	144,69	0,44	2,00	2,65	192	180	12	<b>388,15</b>	0
15:00	13,50	3,09	2,86	0	6,00	6,00	0,61	134,39	0,44	2,00	2,65	181	180	1	<b>387,61</b>	0
16:00	13,50	4,11	2,75	0	6,00	6,00	1,28	129,81	0,44	2,00	2,65	178	180	0	<b>387,61</b>	0
17:00	13,50	4,47	2,86	0	6,00	6,00	1,59	124,30	0,44	2,00	2,65	173	180	0	<b>387,61</b>	0
18:00	13,50	7,13	3,59	0	6,00	6,00	1,67	144,66	0,44	2,00	2,65	197	180	17	<b>370,97</b>	0
19:00	13,50	13,97	0,45	0	0	0	1,43	121,38	0,44	2,00	2,65	156	180	0	<b>395,15</b>	0
20:00	13,50	11,21	0,35	0	0	0	1,45	184,49	0,44	2,00	2,65	216	180	36	<b>359,06</b>	0
21:00	13,50	4,80	2,83	0	0	0	1,48	165,79	0,44	2,00	2,65	193	180	13	<b>345,57</b>	0
22:00	13,50	4,32	2,75	0	0	0	1,25	124,69	0,44	2,00	2,65	152	180	0	<b>373,97</b>	0
23:00	13,50	6,56	3,23	0	0	0	1,18	138,48	0,44	2,00	2,65	168	180	0	<b>385,93</b>	0
00:00	13,50	8,23	0,35	0	0	0	0,54	117,36	0,44	2,00	2,65	145	180	0	400,00	20,86
												3216	4320	<b>79</b>	<b>400</b>	<b>1095</b>

Tabla N° 26 CONSUMOS													ABASTECIMIENTO			
SERVICIOS								PROCESOS				TOTAL	POZO 5 + POZO 1			
Hora	Generadores	Calderas	Consumo Humano	Consumo Contratas	Sedica	Messina	Servicio LSI	Fermentación	Alimenticia	LSI	Extracto	Consumo Total	Entrada P1 + P5	Consumo TKS	Stock TKS	Rebalse m3/h
Hs	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	m3	(m3/H)
01:00	13,50	7,03	0,35	0	0	0	0,65	80,5	0,44	2,00	2,65	107	295	0	400	188
02:00	13,50	9,37	0,26	0	0	0	0,69	71,31	0,44	2,00	2,65	100	295	0	400	195
03:00	13,50	8,17	0,26	0	0	0	0,60	109,78	0,44	2,00	2,65	137	295	0	400	158
04:00	13,50	9,87	0,45	0	0	0	0,68	48,28	0,44	2,00	2,65	78	295	0	400	217
05:00	13,50	9,06	0,35	0	0	0	0,63	29,59	0,44	2,00	2,65	58	295	0	400	237
06:00	13,50	8,51	2,55	9,00	0	0	0,61	35,99	0,44	2,00	2,65	75	295	0	400	220
07:00	13,50	8,80	0,45	9,00	0	0	0,75	30,67	0,44	2,00	2,65	68	295	0	400	227
08:00	13,50	8,22	0,35	9,00	6,00	6,00	0,51	34,72	0,44	2,00	2,65	83	295	0	400	212
09:00	13,50	9,07	2,67	9,00	6,00	6,00	0,87	40,97	0,44	2,00	2,65	93	295	0	400	202
10:00	13,50	6,31	0,35	9,00	6,00	6,00	0,25	52,92	0,44	2,00	2,65	99	295	0	400	196
11:00	13,50	4,83	2,61	9,00	6,00	6,00	0,47	53,07	0,44	2,00	2,65	101	295	0	400	194
12:00	13,50	4,61	0,35	9,00	6,00	6,00	1,65	40,35	0,44	2,00	2,65	87	295	0	400	208
13:00	13,50	2,66	2,83	9,00	6,00	6,00	1,14	132,45	0,44	2,00	2,65	179	295	0	400	116
14:00	13,50	3,27	3,66	9,00	6,00	6,00	0,64	144,69	0,44	2,00	2,65	192	295	0	400	103
15:00	13,50	3,09	2,86	9,00	6,00	6,00	0,61	134,39	0,44	2,00	2,65	181	295	0	400	114
16:00	13,50	4,11	2,75	9,00	6,00	6,00	1,28	129,81	0,44	2,00	2,65	178	295	0	400	117
17:00	13,50	4,47	2,86	9,00	6,00	6,00	1,59	124,30	0,44	2,00	2,65	173	295	0	400	122
18:00	13,50	7,13	3,59	9,00	6,00	6,00	1,67	144,66	0,44	2,00	2,65	197	295	0	400	98
19:00	13,50	13,97	0,45	0	0	0	1,43	121,38	0,44	2,00	2,65	156	295	0	400	139
20:00	13,50	11,21	0,35	0	0	0	1,45	184,49	0,44	2,00	2,65	216	295	0	400	79
21:00	13,50	4,80	2,83	0	0	0	1,48	165,79	0,44	2,00	2,65	193	295	0	400	102
22:00	13,50	4,32	2,75	0	0	0	1,25	124,69	0,44	2,00	2,65	152	295	0	400	143
23:00	13,50	6,56	3,23	0	0	0	1,18	138,48	0,44	2,00	2,65	168	295	0	400	127
00:00	13,50	8,23	0,35	0	0	0	0,54	117,36	0,44	2,00	2,65	145	295	0	400	150
												3216	7080	0	400	3864

Tabla N° 27 CONSUMOS													ABASTECIMIENTO			
SERVICIOS								PROCESOS				TOTAL	POZO 5			
Hora	Generadores	Calderas	Consumo Humano	Consumo Contratas	Sedica	Messina	Servicio LSI	Fermentación	Alimenticia	LSI	Extracto	Consumo Total	Entrada Pozo 5	Consumo TKS	Stock TKS	Rebalse m3/h
Hs	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	(m3/H)	m3	(m3/H)
01:00	13,50	7,03	0,35	0	0	0	0,65	80,5	0,44	2,00	2,65	107	150	0	400	0
02:00	13,50	9,37	0,26	0	0	0	0,69	71,31	0,44	2,00	2,65	100	150	0	400	0
03:00	13,50	8,17	0,26	0	0	0	0,60	109,78	0,44	2,00	2,65	137	150	0	400	0
04:00	13,50	9,87	0,45	0	0	0	0,68	48,28	0,44	2,00	2,65	78	150	0	400	72
05:00	13,50	9,06	0,35	0	0	0	0,63	29,59	0,44	2,00	2,65	58	150	0	400	92
06:00	13,50	8,51	2,55	9,00	0	0	0,61	35,99	0,44	2,00	2,65	75	150	0	400	75
07:00	13,50	8,80	0,45	9,00	0	0	0,75	30,67	0,44	2,00	2,65	68	150	0	400	82
08:00	13,50	8,22	0,35	9,00	6,00	6,00	0,51	34,72	0,44	2,00	2,65	83	150	0	400	67
09:00	13,50	9,07	2,67	9,00	6,00	6,00	0,87	40,97	0,44	2,00	2,65	93	150	0	400	0
10:00	13,50	6,31	0,35	9,00	6,00	6,00	0,25	52,92	0,44	2,00	2,65	99	150	0	400	0
11:00	13,50	4,83	2,61	9,00	6,00	6,00	0,47	53,07	0,44	2,00	2,65	101	150	0	400	0
12:00	13,50	4,61	0,35	9,00	6,00	6,00	1,65	40,35	0,44	2,00	2,65	87	150	0	400	63
13:00	13,50	2,66	2,83	9,00	6,00	6,00	1,14	132,45	0,44	2,00	2,65	179	150	29	371	0
14:00	13,50	3,27	3,66	9,00	6,00	6,00	0,64	144,69	0,44	2,00	2,65	192	150	42	329	0
15:00	13,50	3,09	2,86	9,00	6,00	6,00	0,61	134,39	0,44	2,00	2,65	181	150	31	299	0
16:00	13,50	4,11	2,75	9,00	6,00	6,00	1,28	129,81	0,44	2,00	2,65	178	150	28	271	0
17:00	13,50	4,47	2,86	9,00	6,00	6,00	1,59	124,30	0,44	2,00	2,65	173	150	23	249	0
18:00	13,50	7,13	3,59	9,00	6,00	6,00	1,67	144,66	0,44	2,00	2,65	197	150	47	202	0
19:00	13,50	13,97	0,45	0	0	0	1,43	121,38	0,44	2,00	2,65	156	150	6	196	0
20:00	13,50	11,21	0,35	0	0	0	1,45	184,49	0,44	2,00	2,65	216	150	66	130	0
21:00	13,50	4,80	2,83	0	0	0	1,48	165,79	0,44	2,00	2,65	193	150	43	87	0
22:00	13,50	4,32	2,75	0	0	0	1,25	124,69	0,44	2,00	2,65	152	150	2	85	0
23:00	13,50	6,56	3,23	0	0	0	1,18	138,48	0,44	2,00	2,65	168	150	18	67	0
00:00	13,50	8,23	0,35	0	0	0	0,54	117,36	0,44	2,00	2,65	145	150	0	67	0
												3216	3600	333	67	450

De las **Tablas N° 23-27** puede observarse que:

Las combinaciones de los **Pozos 1 + 3, Pozos 5 + 7, Pozos 2 + 4 y Pozos 1 + 4** pueden abastecer sin problemas la demanda horaria de agua subterránea de la planta, sin perder la capacidad pulmón. Lo mismo sucede con la combinación de los **Pozos 5 + 2**.

En el caso de los **Pozos 7 + 3** se observa que a partir de la hora 14:00 los reservorios de agua comienzan a perder volumen de agua almacenada, recuperándose esta a partir de la hora 23:00. Por lo que podría operarse con estos dos pozos sin problemas al igual que en el caso anterior.

En el caso particular de los **Pozos 1 + 5** (máxima capacidad de abastecimiento con dos pozos) se observa que se obtiene el mayor caudal instantáneo, por lo que se sugiere usar esta combinación de pozos solo ante una mayor demanda de agua de proceso. Es decir ante una modificación y/o ampliación de procesos que requiriese un mayor caudal horario o bien, ante un faltante de agua superficial de la planta. Es de destacar que CALSA Tucumán utiliza esta agua como agua de refrigeración del proceso fermentativo. En este caso puntual, existe la posibilidad de enviar el rebalse del agua provista por los Pozos 1, 2, 3, 4, 5 y 7 a otro tanque que permite su reutilización como agua de refrigeración del proceso fermentativo, necesario para la manufactura de crema de levadura.

En el caso de el abastecimiento únicamente con el pozo de mayor caudal, **Pozo N° 5**, se observa que existe una pérdida de la capacidad pulmón, sumado a que la misma no se recupera por lo que no se recomienda operar con un solo pozo. Sumado a esto, debe considerarse que la gran variación de nivel en el interior de los reservorios de agua puede generar la re suspensión de material granular, produciéndose el taponamiento de los filtros de agua de proceso de la planta. Por lo que la operación con un solo pozo es descartada.

En base a todo lo anteriormente desarrollado se propone en la **Tabla N° 28**, el siguiente plan de rotación anual con las siguientes combinaciones de pozos.

**Tabla N° 28:** Combinaciones y plan de rotación anual de perforaciones

<b>PLAN DE ROTACION</b>		
<b>Pozos</b>	<b>Mes</b>	<b>Caudales</b>
<b>Pozo 1 + 3</b>	Enero	130+100= 230 m3/h
<b>Pozo 5 + 7</b>	Febrero	150+80= 230 m3/h
<b>Pozo 2 + 4</b>	Marzo	120+110= 230 m3/h
<b>Pozo 1 + 3</b>	Abril	130+100= 230 m3/h
<b>Pozo 2 + 4</b>	Mayo	120+110= 230 m3/h
<b>Pozo 5 + 7</b>	Junio	150+80= 230 m3/h
<b>Pozo 1 + 3</b>	Julio	130+100= 230 m3/h
<b>Pozo 5 + 7</b>	Agosto	150+80= 230 m3/h
<b>Pozo 1 + 4</b>	Septiembre	130+100= 230 m3/h
<b>Pozo 7 + 3</b>	Octubre	100+80= 180 m3/h
<b>Pozo 2 + 4</b>	Noviembre	120+110= 230 m3/h
<b>Pozo 5 + 2</b>	Diciembre	150+115= 265 m3/h
<b>Pozo 5 + 1</b>	Emergencia Hídrica	150+145= 295 m3/h

Este plan tiene en cuenta lo siguiente:

1. El caudal de explotación sugerido para cada uno de los pozos, según lo descrito en la **Tabla N° 21**.
2. La imposibilidad de la planta industrial de operar con uno solo pozo.
3. El numero de arranques anuales de cada bomba sumergible. Con este plan se asegura que los equipos sumergibles arrancan no más de 4 (cuatro) veces por año.
4. El arranque de una perforación del ala norte y otro del ala sur. Así se garantiza una mínima interferencia entre los pozos de bombeo, consiguiendo los menores abatimientos para los máximos caudales. Además, la combinación de estas parejas

de pozos, posibilita explotar los mismos a un régimen inferior al 100% de los caudales producidos. Estos valores se representan en la **Tablas N° 21 y 22**.

Estas condiciones de explotación son de fácil aplicación, observando un estricto control de los caudales de extracción y monitoreo permanente de los niveles dinámicos en los pozos de bombeo involucrados.

### **37. Influencia del bombeo de los pozos cercanos a la planta en los Pozos N° 1-7.**

En la provincia existen registradas aproximadamente 630 perforaciones (DRH, 2007). Ver **figura N° 69-2**. Entre las cuales muchas no se encuentran operativas y otras no se contabilizan en este número por no estar registradas ante la Dirección de Recursos Hídricos.

En la zona bajo estudio se encuentra una importante cantidad de perforaciones destinadas a abastecer de agua subterránea a la población, las industrias y a la actividad agrícola (**Tabla N° 29**) según información entregada por la Dirección de Recursos hídricos (2007) y por el Estudio Geoeléctrico CALSA (Falcón, García y D'Urso, 2010).

De las perforaciones registradas en la zona encontramos que 18 de estas son de vital importancia ya que potencialmente pueden interferir con el funcionamiento de los pozos 1-7 de CALSA. Esta información también puede verse representada en la **Figura N° 69-1**.

La zona bajo estudio planteada en el presente trabajo de tesis se desarrolla en el área de influencia del abanico aluvial del río Muerto - Arroyo Manantial, el cual dista unos 3 km aproximadamente al sudoeste de la ciudad de San Miguel de Tucumán. Existen numerosos arroyos en la zona, siendo el más importante el Arroyo El Manantial, que con una dirección norte – sur, es el único curso de agua permanente en la zona. Nace en la localidad de Ojo de Agua y tributa sus aguas en el río Salí.

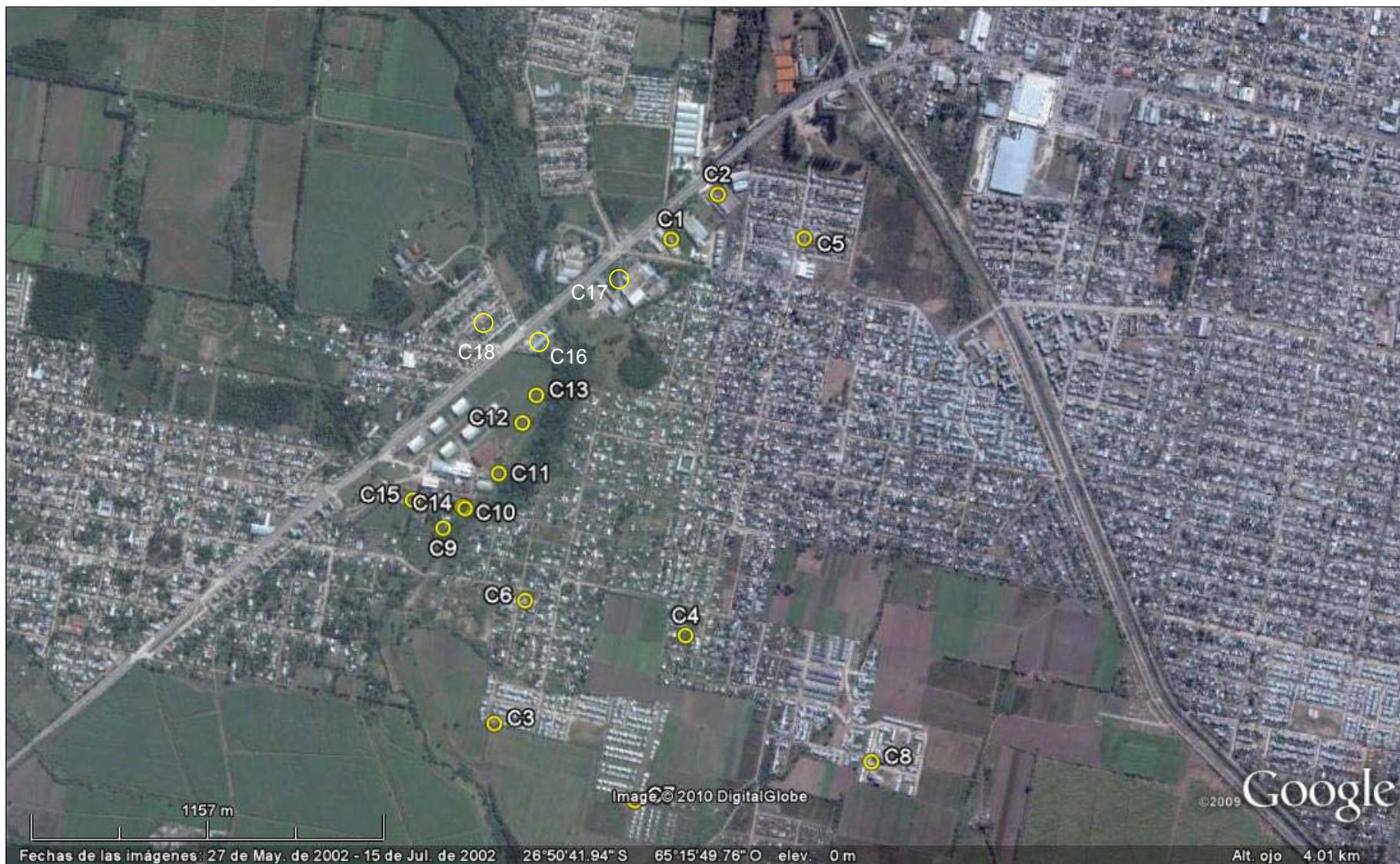
**Tabla N° 29:** Detalle de Perforaciones en el Área de Influencia de CALSA.

Pozo N°	Año	Prof (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	Qb. (m3/h)	Qe. (m3/h/m)	D.(m)	Filtros (m.b.b.p.)	Entubado Pulg.-m
1- Air Liquide El Manantial	1978	81	-1,2	-19,2	12	0,66	18	70.0-76.0	12"-34m 8"-81m
2- Talleres Coquito El Manantial	1978	125	-0,25	-15	45	3,05	14,75	70.8-82.0 112-118	12"-38m 10"-125
3- B° SMATA2 CODINAR El Manantial	1997	96	-2,12	-15	225	7,2	31,24	49-55 62-67 72-79	14"-40m 8"-85m
4- Carrascosa El Manantial	1996	142	0,6	-34	18	0,52	34,06	76-79 120-12 135-139	6"-140m
5-B° 112 viviendas El Manantial	1999	214	-12	-25,3	113	8,49	13,4	71-73 75-78 82-86 114-121	12"-64m 6"-127
6-B° 240 viviendas El Manantial	1996	200	-13,46	-41,72	80	2,83	18,78	117-122 132-137 153-158	10"-70m 6"-163m
7- B° 260 viviendas El Manantial	S/D	142	-7,8	26,58	120	6,39	18,78	48-52 65-70 117-121 128-130 132-136	10"-58m 8"-140m
8- B° 150 viviendas El Manantial	1997	91	-2,83	-24	146	6,89	21,17	44-46.10 66.2-68 69.7-75	14"-55m 8"-80m

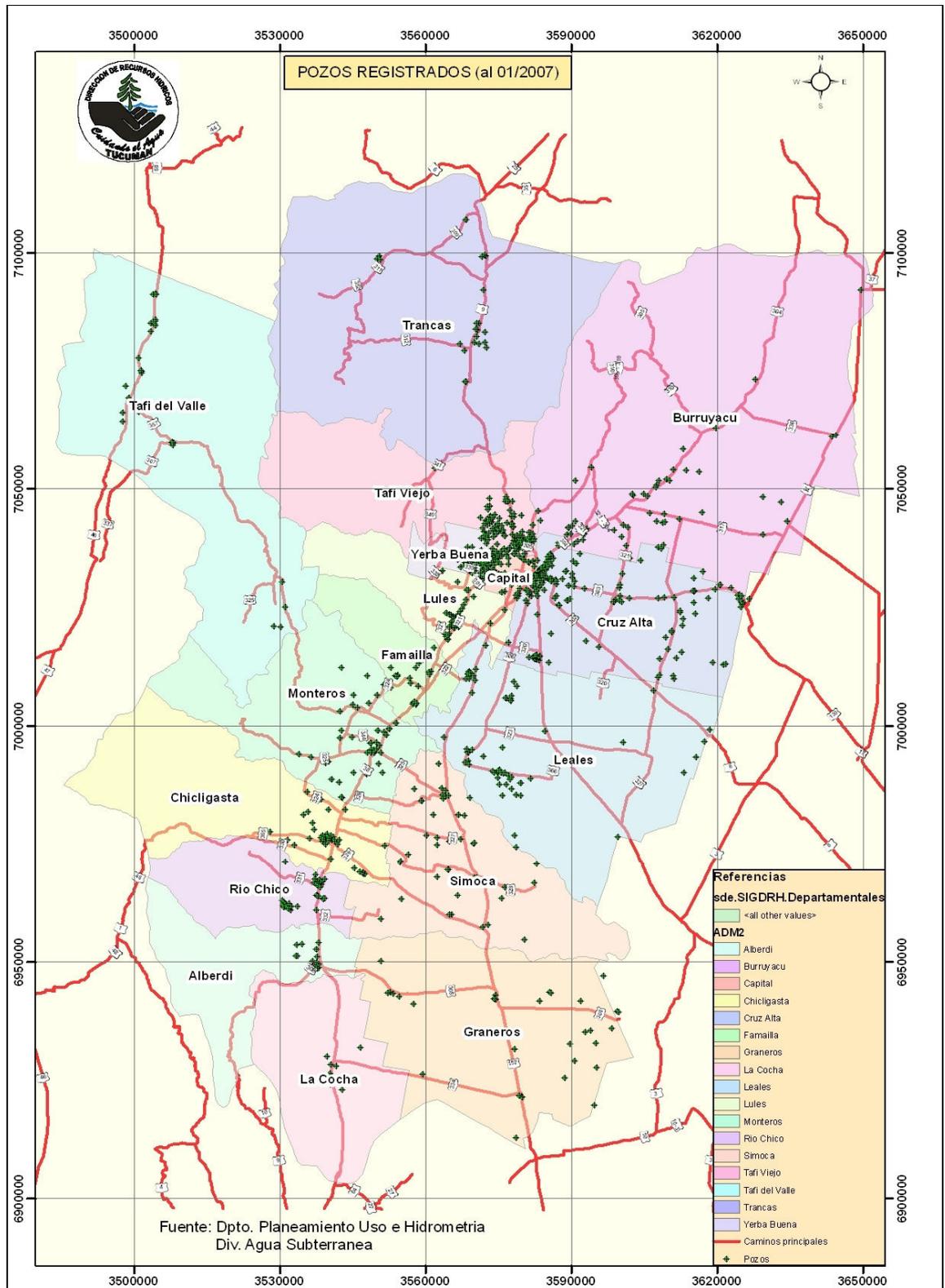
Pozo N°	Año	Prof (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	Qb. (m3/h)	Qe. (m3/h/m)	D.(m)	Filtros (m.b.b.p.)	Entubado Pulg.-m
9- CALSA 1 El Manantial	2001	80	-1,62	-19,89	150	18,27	8,21	30-31.6 59.6-61.6 65-72	12"-40m
10-CALSA 2 El Manantial	2001	80	-8,7	-24,85	150	16,15	9,28	49-54 64-66 70-75	10"-45m 6"-80m
11-CALSA El Manantial	2001	83	-7,1	-22,29	150	24,24	6,19	49-51 53-55 72.6-77.6	10"-45m 6"-83m
12-CALSA 4 El Manantial	2002	83	-7,45	-31,67	150	15,19	9,87	37-39 52-54 71-76	10"-46.2m 6"-83m
13-CALSA 5 El Manantial	2002	83	-6,84	-17,26	150	10,42	14,4	33.5-37.5 64-66 70-75	10"-45m 6"-83m
14-CALSA 6 E Manantial	S/D	S/D	-26	-28	30	2	15	S/D	S/D
15-CALSA 7 El Manantial	1998	181	-2,5	-24,6	97	4,39	22,1	48-55 65-68 70-75 110-117 145-148 166-171	10"-180m
16-IRMA ABRAHAM-OVNI	1971	120	-4	-8	25	6,25	4	109-111 116-119	8"-120m
17-PEPSI	2003	110	-23	-70,40	53,6	1,13	47,40	64	16"
		130						144	16"
	2003	122	-25	-65	55	1,37	40	66-140	16"
18-CERSA TORASSO	2003	116	-15	-35	60	3,06	15	66-	8"
		125	-15	-35	60	2,4	25	103-116	8"

Fuente: Estudio Geoeléctrico CALSA (Falcón C.; J. García y C. D'Urso, 2010)

Figura N° 69: Detalle de Perforaciones en el Departamento de Lules y Área de Influencia de CALSA.



**Figura N° 69-2: Detalle de Perforaciones en la Provincia de Tucumán (DRH, 2007)**



La información sobre las perforaciones en la zona de trabajo es abundante y de buena calidad (**Tabla N° 29 y Figura N° 69-1**) en su análisis podemos destacar que existen tres niveles acuíferos principales (Rodríguez y D'Urso, 2005).

1. El más somero o acuífero libre se desarrolla entre los 2 y 15 m de profundidad. Por estar expuesto a contaminación biológica e industrial, se desaconseja su utilización con fines domésticos, a lo que hay que sumarle sus bajos caudales de producción.
2. El segundo acuífero, de carácter semiconfinado, está formado por materiales grano arenosos intercalados entre paquetes limo arcillosos de resistividad uniforme de 25 a 32  $\Omega$ .m. Se desarrolla entre los 50 y 80 m de profundidad.
3. El tercer acuífero determinado en este estudio, de carácter confinado y resistividades del orden de 11 a 14  $\Omega$ .m., se desarrolla por debajo de los 80 m y hasta los 120-160 m de profundidad. Está conformado por horizontes más delgados que el acuífero anterior, e intercala espesas secuencias limo-arcillosas que le confieren presión de surgencia natural. Constituye el acuífero menos explotado de la región, en razón de su mayor profundidad, lo que dificulta su explotación.

Las perforaciones que captan el segundo y tercer acuífero en conjunto, exhiben un rendimiento superior al promedio de los pozos que explotan solo el segundo acuífero.

Desde el punto de vista práctico, es muy difícil tomar medidas para controlar el abatimiento producido por las perforaciones que se encuentran en la periferia de CALSA. Sin embargo los estudios hidráulicos llevados a cabo determinaron que para pozos que captan el segundo acuífero (o en su defecto el segundo más el tercero) y en caudales de explotación del orden de los 100-150 m<sup>3</sup>/h, se producen conos de depresión de base ancha y poca profundidad, situaciones ambas que hablan de buenas transmisividades de los materiales que constituyen el acuífero. Los radios de interferencia provocados por los bombeos, resultan en valores de 500 m promedios.

*Capítulo 4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

La delicada situación de explotación del Recurso Hídrico Subterráneo en la localidad de El Manantial, donde perforaciones para uso industrial y para consumo humano se abastecen del mismo acuífero, requiere de una urgente planificación y ordenación de la explotación de las aguas subterráneas.

Por lo mencionado CALSA debe implementar un plan racional de extracción de aguas subterráneas, que contemple no solo la mínima interferencia entre perforaciones, sino también la rotación de las mismas, de manera tal de evitar o minimizar la interferencia con pozos de la periferia, permitir en todo momento una recuperación de niveles en corto plazo y la ausencia de sobre bombeos, lo cual, no solo acorta la vida útil de los pozos sino que además facilita la entrada de agentes contaminantes de origen inorgánico y orgánico desde niveles acuíferos superiores, en aquellos pozos que tienen una cementación del espacio anular deficiente.

### **38. Monitoreo fisicoquímico y microbiológico de agua subterránea y superficial.**

#### **38.1. Agua Subterránea.**

##### **38.1.1. Monitoreo Fisicoquímico.**

En las N° **Tablas 30, 31 y 32** se observan los resultados obtenidos del monitoreo fisicoquímico y microbiológico de cada una de las 6 perforaciones según estacionalidad, se clasifico como **I** a las muestras analizadas en Invierno y como **V** a las muestras obtenidas y analizadas en verano.

Tabla N° 30: Control físico-químico de agua subterránea (Valores Promedios)

Parámetro	Unidad	Pozo 1		Pozo 2		Pozo 3		Pozo 4		Pozo 5		Pozo 7	
		V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
Turbiedad:	NTU	0,17	0,39	1,1	1,3	0,13	0,15	0,18	0,19	0,41	0,91	0,50	0,18
Color:	Pt-Co	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Olor:	NA	SOE	SOE	SOE	SOE	SOE	SOE	SOE	SOE	SOE	SOE	SOE	SOE
pH:	NA	6,8	8,0	6,6	8,0	6,7	7,6	6,5	7,7	6,9	8,1	6,7	7,6
Amoníaco (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	< 0,05	< 0,05	0,05	0,05	< 0,05	< 0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07
Antimonio	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Aluminio residual (Al):	mg/L	< 0,01	0,03	< 0,01	0,05	< 0,01	0,08	< 0,01	0,08	< 0,01	0,07	< 0,01	0,07
Arsénico (As):	mg/L	0,003	0,004	0,002	< 0,001	0,003	0,003	0,002	< 0,001	0,002	< 0,001	0,002	< 0,001
Boro (B).	mg/L	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Bromato	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cadmio (Cd):	mg/L	0,0002	< 0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	< 0,0001	0,0002	0,0020	0,0002	0,0002	0,0001	0,0002
Cianuro (CN <sup>-</sup> ):	mg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cinc (Zn)	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	10,7	12,6	8,7	10,1	16,0	14,1	6,0	8,3	6,5	5,8	6,2	8,3
Cobre (Cu)	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,006	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cromo (Cr)	mg/L	0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	228,6	284,1	236,6	271,4	240,6	251,4	205,5	211,1	223,6	214,4	172,4	203,8
Fluoruros(F <sup>-</sup> )	mg/L	0,2	0,2	< 0,2	0,2	0,2	0,2	< 0,2	0,2	< 0,2	0,2	< 0,2	0,2
Hierro total (Fe)	mg/L	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,002	< 0,01
Manganeso (Mn)	mg/L	0,002	0,003	< 0,002	0,007	< 0,002	0,005	< 0,002	0,004	< 0,002	0,004	< 0,002	0,003
Mercurio (Hg)	mg/L	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Níquel (Ni)	mg/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	13	15	14	12	19	19	15	14	14	17	13	13
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	< 0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,03	0,01	0,04
Plata (Ag)	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	< 0,001
Plomo (Pb)	mg/L	0,003	< 0,003	0,003	< 0,003	0,004	0,011	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,004	< 0,003
Selenio (Se)	mg/L	0,002	0,001	0,002	< 0,001	0,002	< 0,001	0,002	< 0,001	0,002	< 0,001	0,002	< 0,001
Sólidos disueltos totales	mg/L	531	706	543	641	581	601	445	553	517	514	418	521
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	< 28	34	< 28	32	< 28	< 28	< 28	60	< 28	34	< 28	28
Cloro activo residual (Cl)*	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

\* El mismo no se tiene en cuenta por tratarse de agua subterránea muestreada en boca de pozo antes de efectivizar el procedimiento de cloración.

Tabla N° 31: Control de contaminantes órganoclorados y órganofosforados de agua subterránea (Valores Promedios)

Contaminantes Orgánicos	Unidad	Pozo 1		Pozo 2		Pozo 3		Pozo 4		Pozo 5		Pozo 7	
		I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V
Detergentes	ug/L	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Aldrin + Dieldrin	ug/L	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Clordano	ug/L	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,03	< 0,003	< 0,03	< 0,03	< 0,03
DDT (Total + isómeros)	ug/L	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,3	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30
THM	ug/L	< 1,00	< 1,0	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Heptacloro + Heptacloroepóxido	ug/L	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Lindano	ug/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Metoxicloro	ug/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
2,4 D	ug/L	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00
Benceno	ug/L	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00
Hexacloro benceno	ug/L	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30
Monocloro benceno	ug/L	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2
1,2 dicloro benceno	ug/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,4 dicloro benceno	ug/L	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2	< 1,2
Pentaclorofenol	ug/L	< 0,10	< 0,1	< 0,1	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
2,4,6 triclorofenol	ug/L	< 0,1	< 0,1	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Tetracloruro de carbono	ug/L	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
1,1 dicloroetano	ug/L	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Tricloroetileno	ug/L	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
1,2 dicloro etano	ug/L	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Cloruro de vinilo	ug/L	< 1,0	2,5	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Benzopireno	ug/L	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Tetracloro eteno	ug/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5

Metil paratión	ug/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Paratión	ug/L	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8
Malation	ug/L	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3

### 38.1.2. Monitoreo Microbiológico

**Tabla N° 32:** Control microbiológico de agua subterránea (Valores Promedios)

Características Microbiológicas	Unidad	Pozo 1		Pozo 2		Pozo 3		Pozo 4		Pozo 5		Pozo 7	
		V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
Bacterias coliformes	NMP/100 mL	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 1,8
Escherichia coli:	Ausencia /100ml	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Pseudomonas aeruginosa:	Ausencia /100ml	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Bacterias mesófilas	UFC/ml	200	100	50	40	50	90	70	40	150	200	50	220

De las **Tablas N° 30,31 y 32** se desprende el hecho de que todas las muestras de agua tomadas de las batería de los pozos 1, 2, 3, 4, 5 y 7 arrojaron el cumplimiento de los valores de admisibilidad del Capítulo XII, artículo 982 al 1079 (Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificadas, ítem agua potable), actualizado en junio de 2007 por la Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007. Con la única salvedad es que el valor del parámetro cloro activo es inferior a 0,2 ppm por ser esta agua de pozo no clorada. En cuanto a la época de muestreo, no se encontró diferencias significativas entre ambos períodos.

En las **Figuras N° 70-74** puede observarse las campañas de muestreo de agua en cada una de las perforaciones afectadas al presente trabajo de tesis

**Figura N° 70:** Campaña de muestreo físico químico en Pozo N° 3



**Figura N° 71:** Transporte y clasificación de muestras de agua



**Figura N° 72 y 73:** Acondicionamiento de muestras de agua para su conservación

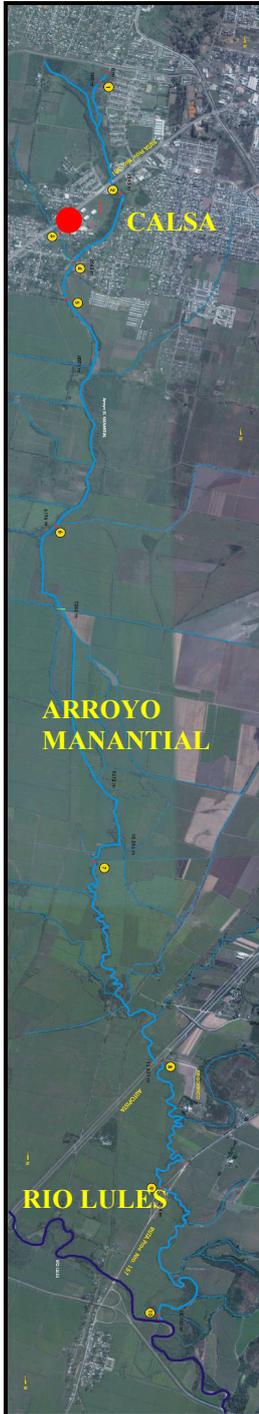


**Figura N° 74:** Campaña de muestreo físico químico en Pozo N° 3



### **38.2. Agua Superficial (Arroyo El Manantial)**

### 38.3. Ubicación geográfica y límites del Arroyo El Manantial con respecto a CALSA



El A° Manantial se encuentra al sudoeste de la ciudad de San Miguel de Tucumán. A lo largo de toda su extensión, involucra a tres Departamentos de la provincia: Yerba Buena, Capital y Lules, en donde se encuentra su mayor recorrido.

El Arroyo nace en Ojo de Agua, en la municipalidad de Yerba Buena (Departamento Yerba Buena), zona que ya en tiempos de la colonia abastecía de agua a San Miguel de Tucumán. Actualmente sus nacientes se han modificado por la construcción del Canal de Yerba Buena. Atraviesa los predios de la Facultad de Agronomía y Zootecnia (FAZ, UNT). Luego de traspasar la ruta provincial 301, el A° Manantial, en un tramo, actúa como límite entre los Departamentos de Lules y Capital. Continúa en el Departamento Lules, con una dirección S-SE, como límite entre la Comuna de San Pablo y Villa Nougés, por el oeste y la Comuna de San Felipe y San Bárbara, por el este. Luego de atravesar la autopista y la Ruta Nacional N° 157 (en la localidad de Santa Bárbara), desemboca en el río Lules, pocos kilómetros al Este de la localidad de Gerónimo Fernández. El río

**Figura N° 75:** Ubicación de CALSA en el Entorno Arroyo El Manantial. Se muestra con un Punto Rojo.

#### 38.3.1. Muestreo Físicoquímico

En las **Tablas N° 33 y 34** se muestran los resultados obtenidos del muestreo de agua superficial captada desde el arroyo El Manantial. Cabe destacar que esta agua es

utilizada como agua de refrigeración para el proceso fermentativo que lleva a cabo la industria.

**Tabla N° 33:** Muestreo fisicoquímico Arroyo El Manantial (Valores Promedios)

Parámetro	Unidad	Arroyo El Manantial	
		V	I
Turbiedad:	NTU	0,32	0,39
Color:	Pt-Co	< 5	< 5
Olor:	NA	SOE	SOE
pH:	NA	7,7	7,8
Amoníaco (NH4+)	mg/L	10	12
Antimonio	mg/L	< 0,01	< 0,01
Aluminio residual (Al):	mg/L	0,003	0,003
Arsénico (As):	mg/L	0,003	0,003
Boro (B).	mg/L	< 0,5	< 0,5
Bromato	mg/L	< 0,5	< 0,5
Cadmio (Cd):	mg/L	< 0,0001	< 0,0001
Cianuro (CN-):	mg/L	< 0,005	< 0,005
Cinc (Zn)	mg/L	< 0,02	< 0,02
Cloruro (Cl-)	mg/L	17,2	19
Cobre (Cu)	mg/L	< 0,004	< 0,004
Cromo (Cr)	mg/L	< 0,002	< 0,002
Dureza total (CaCO3)	mg/L	159,2	161
Fluoruros(F-)	mg/L	0,3	0,3
Hierro total (Fe)	mg/L	< 0,01	< 0,01
Manganeso (Mn)	mg/L	0,001	0,001
Mercurio (Hg)	mg/L	< 0,001	< 0,001
Níquel (Ni)	mg/L	< 0,005	< 0,005
Nitrato (NO3-)	mg/L	<b>120</b>	<b>110</b>
Nitrito (NO2-)	mg/L	<b>60</b>	<b>70</b>
Plata (Ag)	mg/L	0,001	0,001
Plomo (Pb)	mg/L	< 0,003	< 0,003
Selenio (Se)	mg/L	< 0,003	< 0,003
Sólidos disueltos totales	mg/L	<b>760</b>	<b>1050</b>
Conductividad	uS/cm	<b>1100</b>	<b>1350</b>
Sulfatos (SO42-)	mg/L	< 28	30
Contaminantes Orgánicos	Unidad	I	V
Detergentes	ug/L	< 0,2	< 0,2
Aldrin + Dieldrin	ug/L	< 0,03	< 0,03
Clordano	ug/L	< 0,03	< 0,03
DDT (Total + isómeros)	ug/L	< 0,30	< 0,30
THM	ug/L	< 1,00	< 1,0
Heptacloro + Heptacloroepóxido	ug/L	< 4,0	7,8
Lindano	ug/L	< 0,10	< 0,10
Metoxicloro	ug/L	< 0,10	< 0,10
2,4 D	ug/L	< 3,00	< 3,00

Benceno	ug/L	< 3,00	< 3,00
Hexacloro benceno	ug/L	< 30	< 30
Monocloro benceno	ug/L	< 1,2	1,2
1,2 dicloro benceno	ug/L	< 0,01	< 0,01
1,4 dicloro benceno	ug/L	< 1,2	< 1,2
Pentaclorofenol	ug/L	< 0,10	< 0,1
2,4,6 triclorofenol	ug/L	< 0,1	< 0,1
Tetracloruro de carbono	ug/L	< 3	< 3
1,1 dicloroeteno	ug/L	< 3	< 3
Tricloroetileno	ug/L	< 1,0	< 1,0
1,2 dicloro etano	ug/L	< 0,3	< 0,3
Cloruro de vinilo	ug/L	< 1,0	2,5
Benzopireno	ug/L	< 1,0	9,0
Tetracloro eteno	ug/L	< 0,5	< 0,5
Metil paratión	ug/L	< 0,01	< 0,01
Paratión	ug/L	< 0,8	< 0,8
Malation	ug/L	< 3	< 3

### 38.3.2. Muestreo Microbiológico

**Tabla N° 34:** Muestreo microbiológico Arroyo El Manantial (Valores Promedios)

Características Microbiológicas	Unidad	Arroyo El Manantial	
		I	V
Bacterias coliformes	NMP/100 mL	1,6 10 <sup>4</sup>	1,6 10 <sup>3</sup>
Escherichia coli:	Ausencia /100ml	Presencia /100ml	Presencia /100ml
Pseudomonas aeruginosa:	Ausencia /100ml	Presencia /100ml	Presencia /100ml
Bacterias mesófilas	UFC/ml	685	790

De las **Tablas N° 29 y 30** se desprenden niveles apreciables de contaminación microbiológica. En cuanto a las determinaciones fisicoquímicas se observan altos niveles de nitratos, nitritos, conductividad y sólidos disueltos totales. Es de destacar que esta agua no cumple con los estándares mínimos para ser usada como agua de riego ni siquiera con excepción de hortalizas, ni mucho menos para agua recreativa o de bebida, ya que no cumple con los requerimientos de la Resolución N° 030/2009 (SEMA).

En las **Figuras N° 68 y 69** puede observarse al técnico de la Estación Experimental Obispo Colombes (EEAOC) llevando a cabo al muestreo de agua superficial. El muestreo se realizó en el reservorio de agua superficial de la planta industrial.

**Figuras N° 76 y 77:** Técnico de la EEAOC llevando a cabo el monitoreo de agua superficial



Los niveles de contaminación microbiológica y fisicoquímica encontrados en el arroyo El Manantial, pueden deberse principalmente a:

**A. Procesos Erosivos a lo largo de todo su recorrido el arroyo Manantial se ve afectado por numerosos procesos erosivos, que directa o indirectamente influyen en la normal dinámica del mismo. Cabe señalar que, si bien estos procesos son de carácter "natural", se ven acelerados por acciones degradadoras (desmonte, acumulación de basura, etc.) de carácter antrópico.**

**Las características físicas más importantes del área por donde escurre el A° Manantial y que condicionan los diferentes procesos son:**

- **Elevada susceptibilidad geológica.**
- **Pendiente general de muy bajo gradiente.**
- **Clima contrastado y riguroso.**
- **Uso intensivo del suelo.**

**B. Derrame de efluentes cloacales de conglomerados de barrios de la comuna El Manantial y de asentamientos aislados, a lo largo del Arroyo, con impactos sobre el medio de singular importancia. El Arroyo Manantial recibe, prácticamente desde su nacimiento, en los primeros 3 km de recorrido, aportes de diferentes corrientes de efluentes tanto cloacales de los Barrios San Martín, Mercantil y Elena White como industriales de las embotelladoras: Compañía Tucumana de Refrescos S.A. (Coca Cola), Compañía Embotelladora de Refrescos S.A. (Ex - Torasso), Embotelladora del Interior S.A. (Ex - Pepsi Cola), más adelante, próximo a su encuentro con el río Lules, recibe los efluentes de un frigorífico, además de aportes cloacales de la población ubicada en la ribera a lo largo de su trazado (Costilla, 2008).**

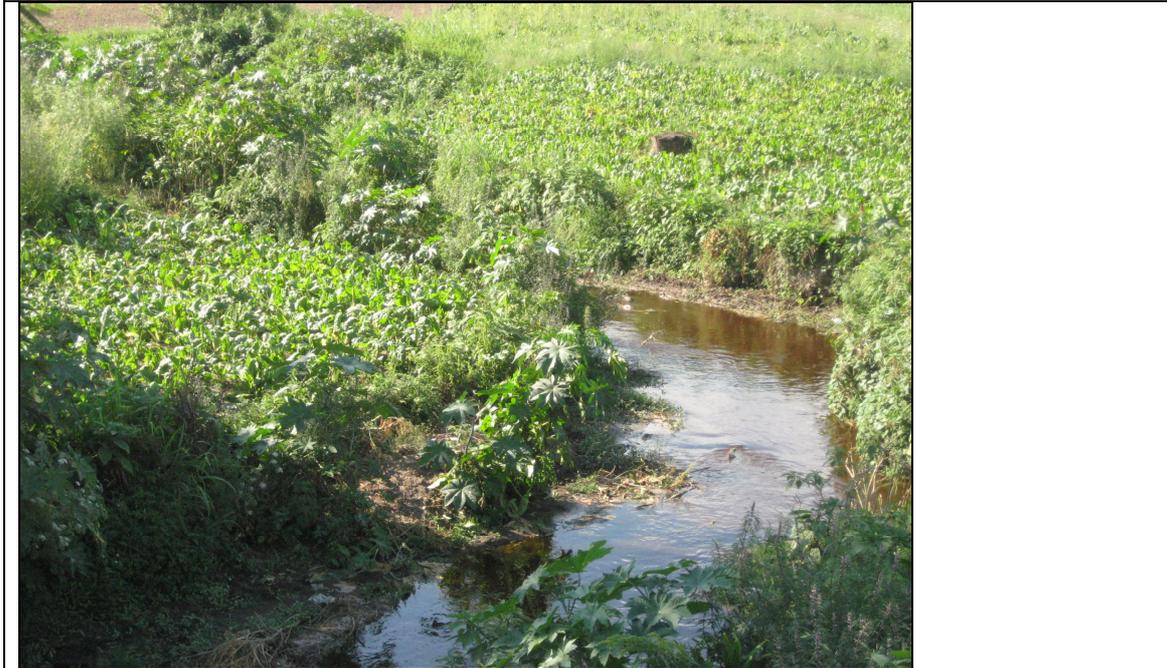
En la zona se han realizado numerosas perforaciones para el aprovechamiento del agua subterránea, con el fin de satisfacer las necesidades de las industrias, las poblaciones y la actividad agrícola. A partir de la información de los pozos se conoce que en la llanura, la capa freática se encuentra muy cercana a la superficie. Sin embargo, se deben utilizar las napas profundas que no están contaminadas con microorganismos patógenos provenientes de los efluentes cloacales e industriales vertidos al arroyo.

Los cursos fluviales sirven de intermediarios hacia las aguas subterráneas y pozos negros, que son comunes en esta zona al no existir cloacas o encontrarse en una situación inicial de regularización (Comuna El Manantial, 2011).

Los resultados permiten clasificar al A° Manantial como zona de aguas semicontaminadas, y contaminadas en algunos puntos, clasificación que corresponde a aguas aptas para riego, en general, pero no aptas para la cría de peces, balnearios, deportes acuáticos, o captación para ser potabilizada. Esta clasificación es válida tanto para los meses de invierno como de verano, aunque se verifique una disminución de todos los parámetros y recuperación del oxígeno disuelto para los meses de verano (Costilla, 2008).

En las **Figuras N° 78** puede observarse cultivos de Hortalizas en las márgenes del Manantial.

**Figura N° 78:** Cultivos de Hortalizas en las márgenes del Arroyo El Manantial



**Figura N° 79:** Descarga de efluentes cloacales de la comuna del Manantial. Al fondo se observa la casilla y cámara de bombeo de efluentes aun sin funcionar por falta de equipamiento. Comuna de El Manantial, 2010.



**Figura N° 80:** Criadero familiar de animales. Sobre las márgenes del Arroyo a la altura del puente peatonal.



La infraestructura de servicios tanto para agua como para cloacas, se encuentra en desarrollo y crecimiento a través de cooperativas de agua y cloacas. Hace una década la comuna no contaba con una red significativa. Actualmente, se ha instalado colectores primarios y secundarios que van por el sur de la comuna en dirección al Arroyo El Manantial, en donde primeramente se descargaba crudo al Arroyo. Se esta construyendo una estación elevadora para derivar dichos efluentes a la Planta de San Felipe. Este colector desde el sur de la comuna se dirige por calle A. de Espinosa hacia el cuerpo receptor. (Comuna de El Manantial, 2011).

**C. Presencia de residuos a lo largo de todo el recorrido del arroyo.**

**El proceso Antrópico de relevancia lo constituye la presencia de residuos sólidos a lo largo de toda la traza, casi sin excepción, excepto en el tramo medio del curso: se observaron: botellas, aerosoles, ramas, troncos, colchones, latas, cubiertas, pañales descartables, etc.**

La presencia de residuos provoca diferentes impactos: en el aspecto visual y paisajístico, en el sanitario y además en lo hidrológico, ya que afecta la normal circulación del agua, actuando muchas veces como diques, obligando al cauce a cambiar de dirección o a elevar su nivel, aumentando el riesgo de erosión. Se observa que gran cantidad de picadas entre las fincas (caña o citrus) y el arroyo son utilizadas como puntos de acceso al arroyo para arrojar y eliminar residuos por arrastre de la corriente.

**Figura N° 81:** Una de las tantas picadas hacia el Arroyo con descarga de Residuos Sólidos Urbanos. En este caso en el punto del Naciente.



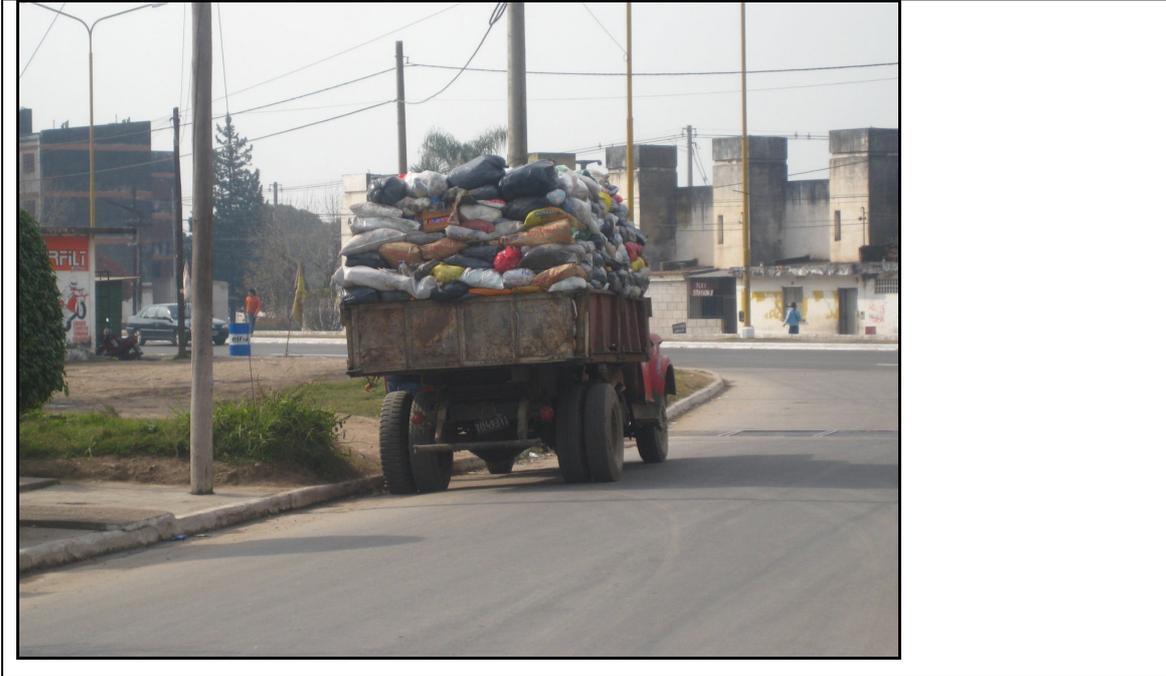
**Figura N° 82:** Residuos sólidos en proximidad del puente de cruce de la Ruta 301



**Figura N° 83:** RSU próximos al Naciente del Arroyo El Manantial



**Figura N° 84:** Sistema de recolección de residuos sólidos Comuna El Manantial



**El sistema de recolección de residuos se efectúa mediante camiones sin recubrimiento, a cargo de la Comuna de El Manantial. Es importante resaltar que dicha comuna realiza sus gestiones a través de la Secretaria de Comunas de la Provincia y no del Departamento de Lules (Costilla, 2008 y Comuna El Manantial, 2010).**

**D. Eliminación de la vegetación en las márgenes.**

**Se conoce la importancia de la vegetación en el control de la erosión hídrica, máxima en este caso en donde el material geológico predominante en las barrancas es altamente susceptible, tanto a la erosión por impacto directo, como a la disolución de alguno de sus componentes (sales, carbonatos). Puede observarse que en aquellos sectores donde se conserva algún tipo de cobertura, el arroyo discurre normalmente, mientras que en donde la vegetación se reduce o se ha eliminado, el arroyo tiende a ensancharse y a divagar en su trayectoria.**

**Figura N° 85: Desmonte de la vegetación Ribereña, probablemente para cultivo de hortalizas, a 500 m de el punto considerado como Naciente (Puente a la altura de Av. Alfredo Guzmán 4800.) Foto tomada desde el Cauce de Arroyo.**



**E. Uso intensivo del suelo sobre las márgenes de los arroyos y canales.**

**Prácticamente desde las nacientes hasta su desembocadura, el arroyo Manantial atraviesa regiones con una utilización intensiva del suelo (poblaciones, industrias, cultivos, etc.). Esta situación ha producido, entre otros aspectos, la eliminación de la cobertura vegetal y una disminución en la capacidad de infiltración del suelo, procesos ambos que inciden en la dinámica del arroyo (caudal y energía) y en la generación y aceleración de otros procesos asociados (remoción en masa, carcavamiento, etc.).**

F. Anarquía en el uso y construcción de obras de captación y distribución de las aguas.

**La escasa pendiente que predomina en muchos sectores, trae como consecuencia que muchas hectáreas (tanto urbanas, suburbanas como rurales) presenten estacionalmente problemas de anegamiento e inundación. Esto ha llevado a muchos pobladores a realizar de cualquier manera obras de captación y/o distribución de las aguas (construcción de canales particulares, zanjas de desagüe, muros de contención, etc.). Se suma además que otros particulares han llegado a rellenar unilateralmente los canales, a fin de extender el área de cultivo o para accesos de vehículos, aumentando el riesgo sobre las áreas situadas topográficamente más abajo.**

*Capítulo 4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

1. La planta industrial de CALSA Tucumán se abastece de agua potable para los procesos de fabricación de levaduras a partir de seis (6) perforaciones profundas, de diferentes fechas de construcción, características de diseño y rendimientos.
2. Las pruebas de bombeo realizadas por Falcón, García y D'Urso, 2009,2011 han aportado una valiosa información sobre el comportamiento hidráulico de las perforaciones 1, 2, 3, 4, 5 y 7 de CALSA Planta Tucumán. Los valores de descensos registrados para los caudales aforados son notablemente coincidentes con los niveles dinámicos registrados al cabo de bombeos tan extensos como el caso de los pozos N° 4 y 5, sometidos a extracciones continuas de más de 30 días de duración.
3. Se encontró un apreciable grado de corrosión sobre los cuerpos de las bombas sumergibles. Es de notar la presencia de tuberculización con corrosión localizada.
4. El radio de influencia de las perforaciones determinado por Falcón, García y D'Urso, 2009 esta en el orden de los 500 m. Equivale a decir que, para alcanzar una interferencia nula entre pozos vecinos en explotación, estos deben estar separados una distancia mínima de 1.000 m. Esta condición no se respetó en la construcción de los 7 pozos de que dispone la planta, observándose diferentes efectos en el comportamiento de las perforaciones, según su proximidad y condiciones de explotación.
5. Se concluye, del análisis de los ensayos hidráulicos realizados por Falcón, García y D'Urso, 2009,2011, que la relación entre los caudales máximos de extracción y sus correspondientes niveles dinámicos, la profundidad de aspiración del equipo de bombeo, la profundidad de la reducción (fin de la cámara de bombeo) y la ubicación del primer filtro, se observa que para el pozo N° 4, al caudal extremo de 170 m<sup>3</sup>/h, el nivel dinámico registrado (- 40,00 m) está a solo 3,35 m de la profundidad de aspiración de la bomba y a 5,00 m de la reducción. Lo que requiere el cambio del equipo de bombeo sumergible. En el resto de los pozos, se verifica una excelente relación entre la profundidad del

nivel dinámico, la profundidad de aspiración de la bomba y la posición de la reducción de la cámara de bombeo, superando holgadamente los 15,00 m de diferencia entre el nivel dinámico y la profundidad de aspiración de la bomba. Esta condición asegura una carga hidráulica sugerida por el fabricante de los equipos de bombeo para el buen funcionamiento y la ausencia de fenómenos de cavitación y corrosión.

6. El pozo N° 6 fue descartado de los ensayos hidráulicos por dos motivos:
  - La confirmación de la rotura de dos de sus tres cañerías filtro. Lo que ocasionaba altos niveles de arrastre de arena y limo. Esto se evidenció visualmente en el tanque pulmón que recibía el agua proveniente de esta perforación.
  - Encontrarse próximo a la perforación N° 2 (distancia pozos 2 y 6= 17,7 m). Esta situación de extremo compromiso en el funcionamiento de la perforación N° 6 cuando funcionaba en conjunto con la perforación N° 2, ya se manifestaba antes de la prueba según testimonios aportados por personal de la planta, en una serie de inconvenientes operativos tales como excesivos descensos de los niveles piezométricos, cortocircuitos reiterados del equipo de bombeo y desprendimientos del mismo hacia el interior del pozo por cavitación extrema.
7. En cuanto a la posición del primer filtro vs. el nivel dinámico y según lo determinado por Falcón, García y D'Urso, 2009,2011, puede observarse en el caso del pozo N° 3, que el primer filtro queda sin nivel de agua para un caudal de extracción de 145 m<sup>3</sup>/h, unos 8,66 m por encima del nivel dinámico, situación que también requiere el cambio del equipo sumergible de bombeo.
8. De los bombeos escalonados realizados por Falcón, García y D'Urso, 2009,2011 para determinar la eficiencia, se analiza que: el pozo con la mayor eficiencia es el N° 2 con un valor de 81,6 %; le continúan el pozo N° 1 con 68,5 %; el pozo N° 3 con 63,3 %; el pozo N° 5 con 62,8 %; el pozo N° 4 con 59,9 % y el pozo N° 7,

*Capítulo 4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

con la menor eficiencia del conjunto, registra un 45,9 %. Estas diferencias en los valores de eficiencia obedecen a que no todos los pozos tienen la misma abertura de filtros, por lo que el porcentaje de áreas abiertas difiere entre ellos. El valor bajo de eficiencia del pozo N° 7 obedece a varios factores entre los que se destacan, la antigüedad del mismo y la mayor profundidad a la que fue perforado (180 m), captando horizontes más profundos y con más intercalaciones de material fino, lo que conlleva la instalación de filtros con menor tamaño de ranura.

9. De los datos obtenidos por Falcón, García y D'Urso, 2009,2011 se analiza que los pozos que exhiben los mejores comportamientos hidráulicos en relación a su caudal crítico son los pozos N° 1, 2, 3 y 5, y los más irregulares son los pozos N° 4 y 7.
10. En el caso del abastecimiento de agua a la planta utilizando únicamente el pozo de mayor caudal, el **Pozo N° 5**, se observa que existe una pérdida de la capacidad pulmón de la planta, sumado a que la misma no se recupera por lo que no se puede operar con un solo pozo. Sumado a esto, debe considerarse que la gran variación de nivel en el interior de los reservorios de agua puede generar la re-suspensión de material particulado (arena) del fondo de los mismos, produciéndose la oclusión de los filtros de agua de proceso de la planta. Por esta razón, la opción de operar con un solo pozo debe descartarse.
11. Las condiciones de explotación óptimas para los requerimientos de consumo de la planta se consiguen explotando los siguientes pares de pozos: **Pozos 5 + 2 ó Pozos 7 + 3 ó Pozo 1 + 3 ó Pozo 5 + 7 ó Pozo 2 + 4 ó Pozo 1 + 4** y en regímenes de producción del orden del 70-80% del máximo caudal de entrega. Ante una emergencia hídrica de la planta, por falta de agua de refrigeración o por un importante aumento del consumo debido a alguna condición especial de producción, la combinación recomendada es la de los **Pozos 1 + 5** en regímenes de producción del orden del 100 % del caudal máximo de entrega. Así se garantiza una mínima interferencia entre pozos de bombeo, consiguiendo los

menores abatimientos para los máximos caudales. Estas condiciones de explotación son de fácil aplicación, observando un estricto control de los caudales de extracción y monitoreo permanente de los niveles dinámicos en los pozos de bombeo involucrados.

12. Los valores de sólidos sedimentables obtenidos confirman lo observado en las filmaciones internas de cada una de las perforaciones, ya que no se observó un nivel de arena por encima de 50 ml/L que permita sospechar rotura alguna de las cañerías filtrantes. En todos los casos la granulometría de los sólidos encontrados indica que se trata de arenas gruesas provenientes de los estratos más superficiales. No se observó la presencia de limo o arcilla en ninguno de los conos analizados para los 6 pozos actualmente en explotación.
13. En los pozos N° 2, 3 y 5 no se observó arrastre de sólidos durante su operación. La situación fue distinta para las muestras obtenidas de la operación de los Pozos N° 1, 4 y 7, quienes presentaron mayores niveles de sólidos sedimentables lo cual puede deberse principalmente a:
  - La explotación de las perforaciones por encima del caudal crítico. La presencia de sólidos en la operación coincide con la sobre explotación verificada en la primera etapa para los pozos N° 4 y 7.
  - La falta de desarrollo del acuífero, ya que no está implementado un programa de rotación de pozos que asegure que todos los pozos sean explotados en la misma cuantía y que tengan la misma proporciones de arranques anuales. Esto último genera que aquellos pozos poco bombeados, arrastren arena en sus arranques y primeros minutos de bombeo. Este es el caso del Pozo N° 1 que al momento de los ensayos hidráulicos era el que presentaba la menor tasa de uso en la planta industrial.
14. La ausencia de material fino arrastrado en grandes cantidades (> 50ml/L) durante las pruebas de bombeo permitió descartar:

- Que el equipo de bombeo está instalado próximo a un filtro, generando la aparición regímenes turbulentos y arrastre de partículas ó
- Que la estructura del pozo (cañería ciega y filtros) se encuentren dañados.

15. Deben evitarse las condiciones de explotación extremas y la explotación de pozos cercanos utilizando el esquema de explotación mostrado en la **Tabla N° 35**.

**Tabla N° 35:** Plan de Rotación Anual de Perforaciones

<b>PLAN DE ROTACION DE PERFORACIONES</b>		
<b>Pozos</b>	<b>Mes</b>	<b>Caudales</b>
<b>Pozos 1 + 3</b>	Enero	130+100= 230 m3/h
<b>Pozos 5 + 7</b>	Febrero	150+80= 230 m3/h
<b>Pozos 2 + 4</b>	Marzo	120+110= 230 m3/h
<b>Pozos 1 + 3</b>	Abril	130+100= 230 m3/h
<b>Pozos 2 + 4</b>	Mayo	120+110= 230 m3/h
<b>Pozos 5 + 7</b>	Junio	150+80= 230 m3/h
<b>Pozos 1 + 3</b>	Julio	130+100= 230 m3/h
<b>Pozos 5 + 7</b>	Agosto	150+80= 230 m3/h
<b>Pozos 1 + 4</b>	Septiembre	130+100= 230 m3/h
<b>Pozos 7 + 3</b>	Octubre	100+80= 180 m3/h
<b>Pozos 2 + 4</b>	Noviembre	120+110= 230 m3/h
<b>Pozos 5 + 2</b>	Diciembre	150+115= 265 m3/h
<b>Pozos 5 + 1</b>	<b>Emergencia Hídrica</b>	<b>150+145= 295 m3/h</b>

Este plan tiene en cuenta lo siguiente:

- El caudal de explotación sugerido para cada uno de los pozos, según lo descrito en la **Tabla N° 20** del capítulo 4 Resultados y Discusión.
- La imposibilidad de la planta industrial de operar con uno solo pozo.

*Capítulo 4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

- El numero de puestas en marcha anuales de cada bomba sumergible. Este plan asegura que los equipos sumergibles arranquen no más de 4 (cuatro) veces por año.
- El arranque de una perforación del ala norte y otro del ala sur. Así se garantiza una mínima interferencia entre los pozos de bombeo y con los pozos de la periferia de CALSA, consiguiendo los menores abatimientos para los máximos caudales. Además, la combinación de estas parejas de pozos, posibilita explotar los mismos a un régimen inferior al 100% de los caudales producidos, disminuyendo el radio de interferencia.

16. En la zona bajo estudio se encuentra una importante cantidad de perforaciones destinadas a abastecer de agua subterránea a la población, las industrias y a la actividad agrícola. De las perforaciones registradas en la zona encontramos que 18 de estas son de vital importancia, ya que potencialmente pueden interferir con el funcionamiento de los pozos 1, 2, 3, 4, 5 y 7 de CALSA.

17. Desde el punto de vista práctico, es muy difícil tomar medidas para controlar el abatimiento producido por las perforaciones que se encuentran en la periferia de CALSA. Sin embargo los estudios hidráulicos llevados a cabo por Falcón, García y D'Urso, 2009,2011 determinaron que, para pozos que captan el segundo acuífero (o en su defecto el segundo más el tercero) y en caudales de explotación del orden de los 100-150 m<sup>3</sup>/h, se producen conos de depresión de base ancha y poca profundidad, situaciones ambas que hablan de buenas transmisividades de los materiales que constituyen el acuífero. Por lo mencionado el autor concluye que, CALSA deberá implementar un plan racional de extracción de aguas subterráneas, que contemple no solo la mínima interferencia entre perforaciones, sino también la rotación de las mismas, de manera tal de evitar o minimizar la interferencia con pozos de la periferia, permitir en todo momento una recuperación de niveles piezométricos a corto plazo y la ausencia de sobre bombeos. La no observancia de estas prácticas, no solo acortan la vida útil de los pozos sino que además, facilitan la entrada de agentes contaminantes de origen inorgánico y orgánico desde niveles acuíferos

superiores, en aquellos pozos que tienen una cementación del espacio anular deficiente.

18. Los resultados de los análisis fisicoquímicos practicados sobre los pozos 1, 2, 3, 4, 5 y 7 indican que la totalidad de las muestras cumplen con los valores de admisibilidad del Capítulo XII, artículos 982 al 1079 (Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificadas, ítem agua potable), actualizados en junio de 2007 por la Resolución Conjunta de la SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007.
19. Los análisis microbiológicos realizados sobre las muestras obtenidas de los pozos 1, 2, 3, 4, 5 y 7 indican que la totalidad de las muestras cumplen con los valores de admisibilidad del Capítulo XII, artículo 982 al 1079 (Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificadas, ítem agua potable) actualizados en junio de 2007 por la Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007.
20. El muestreo microbiológico y fisicoquímico del reservorio de agua del Arroyo El Manantial, arrojó niveles apreciables de contaminación fisicoquímica y microbiológica. En cuanto a las determinaciones fisicoquímicas se observan altos valores de nitratos, nitritos, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales. Es de destacar que esta agua no cumple con los requerimientos de la Resolución N° 030/2009 (SEMA) en los estándares mínimos para su uso como agua de riego, ni siquiera con excepción de hortalizas, ni mucho menos para agua recreativa o de bebida.
21. Las potenciales causas de contaminación son principalmente antropogénicas, generadas por los grandes volúmenes de efluentes cloacales vertidos sin tratamiento alguno y por los residuos domiciliarios arrojados al cauce del arroyo desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Río Lules.

1. Se recomienda operar todos los pozos a un caudal inferior a su caudal crítico.
2. Se recomienda operar todos los pozos respetando los 9 m de carga hidráulica mínima sugerida por el fabricante de los equipos de bombeo electro sumergibles.
3. Se recomienda realizar el cegado del pozo N° 6, por entender que nunca podrá ser operado conjuntamente con el pozo N° 2, sin que ambos vean seriamente comprometidos sus prestaciones e integridades. Por otro lado tampoco podrá evitarse el arrastre de arena debido a que sus filtros están seriamente deteriorados.
4. Es aconsejable buscar un nuevo lugar para reemplazar la perforación N° 6, teniendo en cuenta los resultados obtenidos por Falcón, García y D'Urso, 2009 arroja en cuanto a Radio de Influencia se refiere. El futuro emplazamiento deberá contemplar que la distancia mínima entre pozos de bombeo sea de 1.000 m. Es de destacar que las actuales disposiciones de la Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia de Tucumán, establecen claramente la prohibición de realizar nuevas perforaciones en el área de emplazamiento de la planta, en razón de entender que la misma se encuentra al límite de su capacidad de explotación, por lo que solo se acepta el reemplazo de una vieja perforación por otra nueva, de similares especificaciones.
5. Debido a que la planta industrial modifica su demanda de agua subterránea en forma horaria, no se recomienda bajo ningún punto de vista operar con una sola perforación ya que esto ocasionará el arranque intermitente de otra perforación la cual sufrirá:
  - Alto desgaste de en piezas móviles de válvulas de retención.
  - Alto nivel de esfuerzo dinámico sobre las roscas de unión presentes en los acoples de los tramos de cañerías de impulsión.
  - Acortamiento de los periodos de mantenimiento.

6. Se recomienda evitar las condiciones de explotación extremas y la explotación de pozos cercanos utilizando el esquema de explotación mostrado en la **Tabla N° 35** del Capitulo N° 5 Conclusiones.

Este plan tiene en cuenta lo siguiente:

5. El caudal de explotación sugerido para cada uno de los pozos, según lo descrito en la **Tabla N° 20** del capítulo 4 Resultados y Discusión.
  6. La imposibilidad de la planta industrial de operar con uno solo pozo.
  7. El número de arranques anuales de cada bomba sumergible. Con este plan se asegura que los equipos sumergibles arrancan no más de 4 (cuatro) veces por año.
  8. El arranque de una perforación del ala norte y otro del ala sur. Así se garantiza una mínima interferencia entre los pozos de bombeo, consiguiendo los menores abatimientos para los máximos caudales. Además, la combinación de estas parejas de pozos, posibilita explotar los mismos a un régimen inferior al 100% de los caudales producidos.
7. Para evitar el arrastre de sólidos en pozos sin problemas estructurales o de cercanía de bombas a sus cañerías filtro, se recomienda lo siguiente:
- Purgar el pozo durante los primeros 5 minutos del bombeo, llamado usualmente cabeza del bombeo para evitar el envío de arena a equipos industriales.
  - Explotar los pozos por debajo del caudal crítico.
  - Implementar el plan de rotación de pozos para garantizar un mismo número de arranques y horas de operación anuales.
  - Instalar arranques suaves en los tableros de potencia de las bombas.
8. Se recomienda la instalación de arranques suaves en los tableros de potencia de las bombas sumergibles de cada una de las perforaciones, estos equipos tienen las siguientes ventajas:

*Capítulo 4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

- Alta reducción de los esfuerzos sobre los acoples y dispositivos de transmisión (reductores, poleas, engranajes, correas, etc.) durante el arranque.
  - Aumento de la vida útil del motor y equipamientos mecánicos del motor de la bomba sumergible accionada por la eliminación de choques mecánicos.
  - Facilidad de operación, ajuste y mantenimiento.
  - Registro de datos. Entre ellos, número de horas de funcionamiento de las bombas.
  - Protección electrónica integral del motor.
  - Evita el “Golpe de Ariete” en bombas.
  - Limitación de las caídas de tensión en el arranque.
  - Eliminación de choques mecánicos.
9. Se recomienda un monitoreo permanente de los niveles y caudales de bombeo de los pozos en explotación, a fin de ajustar las predicciones de este estudio, en función de los regímenes de explotación de la planta.
10. Para poder operar el Pozo N° 4 por debajo de su caudal crítico se deberá cambiar el equipo sumergible de bombeo actual, el cual tiene la siguiente especificación:
- Cuerpo: RP8S64/AA LINEA ROTOR PUMP de 6 Etapas.
  - Caudal: 150 m<sup>3</sup>/h m<sup>3</sup>/h.
  - Altura: 75 metros.
  - Impulsión: 6".
  - Diámetro de cuerpo de bomba: 8".
  - Motor Franklin de 60 HP.

Migrando al siguiente equipo:

- Cuerpo: RP8S64/4K LINEA ROTOR PUMP de 4 Etapas.
- Caudal: 100 m<sup>3</sup>/h.
- Altura: 65 metros.
- Impulsión: 6".

- Diámetro de cuerpo de bomba: 8".
- Motor Franklin de 40 HP.

Esto a fin de evitar operar el pozo con la bomba sumergible restringida (por debajo de 120 m<sup>3</sup>/h) lo cual genera un acortamiento de la vida útil del equipo de bombeo.

**11.** Según los obtenido por Falcón, García y D'Urso, 2009 se recomienda explotar el Pozo N° 3 a 100 m<sup>3</sup>/h, lo que genera un nivel dinámico de -23,50 metros. Si bien el primer filtro queda sin operar, se elimina la potencial contaminación desde el nivel freático, el cual está claramente contaminado según los análisis realizados al agua superficial del Arroyo El Manantial.

**12.** Se recomienda, utilizar los datos provistos por el estudio geoelectrico realizado por Falcón, García y D'Urso, 2010, con la finalidad de determinar un sitio de emplazamiento de la perforación de reemplazo del ex-Pozo N° 6.

**13.** Se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos sumergibles de bombeo según los representantes de Franklin Electric y Rotor Pump en la Provincia de Tucumán. Ver **Apéndice IV**.

**14.** Se recomienda implementar un procedimiento de tratamiento químico de cada una de las perforaciones con hipoclorito de sodio y acido fosfórico de manera semestral o anual. Ver **Apéndice V**.

15. Se recomienda operar todos los pozos a un caudal inferior a su caudal crítico.
16. Se recomienda operar todos los pozos respetando los 9 m de carga hidráulica mínima sugerida por el fabricante de los equipos de bombeo electro sumergibles.
17. Se recomienda realizar el cegado del pozo N° 6, por entender que nunca podrá ser operado conjuntamente con el pozo N° 2, sin que ambos vean seriamente comprometidos sus prestaciones e integridades. Por otro lado tampoco podrá evitarse el arrastre de arena debido a que sus filtros están seriamente deteriorados.
18. Es aconsejable buscar un nuevo lugar para reemplazar la perforación N° 6, teniendo en cuenta los resultados obtenidos por Falcón, García y D'Urso, 2009 arroja en cuanto a Radio de Influencia se refiere. El futuro emplazamiento deberá contemplar que la distancia mínima entre pozos de bombeo sea de 1.000 m. Es de destacar que las actuales disposiciones de la Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia de Tucumán, establecen claramente la prohibición de realizar nuevas perforaciones en el área de emplazamiento de la planta, en razón de entender que la misma se encuentra al límite de su capacidad de explotación, por lo que solo se acepta el reemplazo de una vieja perforación por otra nueva, de similares especificaciones.
19. Debido a que la planta industrial modifica su demanda de agua subterránea en forma horaria, no se recomienda bajo ningún punto de vista operar con una sola perforación ya que esto ocasionará el arranque intermitente de otra perforación la cual sufrirá:
  - Alto desgaste de en piezas móviles de válvulas de retención.
  - Alto nivel de esfuerzo dinámico sobre las roscas de unión presentes en los acoples de los tramos de cañerías de impulsión.
  - Acortamiento de los periodos de mantenimiento.

**20.** Se recomienda evitar las condiciones de explotación extremas y la explotación de pozos cercanos utilizando el esquema de explotación mostrado en la **Tabla N° 35** del Capitulo N° 5 Conclusiones.

Este plan tiene en cuenta lo siguiente:

9. El caudal de explotación sugerido para cada uno de los pozos, según lo descrito en la **Tabla N° 20** del capítulo 4 Resultados y Discusión.
  10. La imposibilidad de la planta industrial de operar con uno solo pozo.
  11. El número de arranques anuales de cada bomba sumergible. Con este plan se asegura que los equipos sumergibles arrancan no más de 4 (cuatro) veces por año.
  - 12.** El arranque de una perforación del ala norte y otro del ala sur. Así se garantiza una mínima interferencia entre los pozos de bombeo, consiguiendo los menores abatimientos para los máximos caudales. Además, la combinación de estas parejas de pozos, posibilita explotar los mismos a un régimen inferior al 100% de los caudales producidos.
- 21.** Para evitar el arrastre de sólidos en pozos sin problemas estructurales o de cercanía de bombas a sus cañerías filtro, se recomienda lo siguiente:
- Purgar el pozo durante los primeros 5 minutos del bombeo, llamado usualmente cabeza del bombeo para evitar el envío de arena a equipos industriales.
  - Explotar los pozos por debajo del caudal crítico.
  - Implementar el plan de rotación de pozos para garantizar un mismo número de arranques y horas de operación anuales.
  - Instalar arranques suaves en los tableros de potencia de las bombas.

**22.** Se recomienda la instalación de arranques suaves en los tableros de potencia de las bombas sumergibles de cada una de las perforaciones, estos equipos tienen las siguientes ventajas:

*Capítulo 4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

- Alta reducción de los esfuerzos sobre los acoples y dispositivos de transmisión (reductores, poleas, engranajes, correas, etc.) durante el arranque.
- Aumento de la vida útil del motor y equipamientos mecánicos del motor de la bomba sumergible accionada por la eliminación de choques mecánicos.
- Facilidad de operación, ajuste y mantenimiento.
- Registro de datos. Entre ellos, número de horas de funcionamiento de las bombas.
- Protección electrónica integral del motor.
- Evita el “Golpe de Ariete” en bombas.
- Limitación de las caídas de tensión en el arranque.
- Eliminación de choques mecánicos.

23. Se recomienda un monitoreo permanente de los niveles y caudales de bombeo de los pozos en explotación, a fin de ajustar las predicciones de este estudio, en función de los regímenes de explotación de la planta.

24. Para poder operar el Pozo N° 4 por debajo de su caudal crítico se deberá cambiar el equipo sumergible de bombeo actual, el cual tiene la siguiente especificación:

- Cuerpo: RP8S64/AA LINEA ROTOR PUMP de 6 Etapas.
- Caudal: 150 m<sup>3</sup>/h m<sup>3</sup>/h.
- Altura: 75 metros.
- Impulsión: 6".
- Diámetro de cuerpo de bomba: 8".
- Motor Franklin de 60 HP.

Migrando al siguiente equipo:

- Cuerpo: RP8S64/4K LINEA ROTOR PUMP de 4 Etapas.
- Caudal: 100 m<sup>3</sup>/h.
- Altura: 65 metros.
- Impulsión: 6".

- Diámetro de cuerpo de bomba: 8".
- Motor Franklin de 40 HP.

Esto a fin de evitar operar el pozo con la bomba sumergible restringida (por debajo de 120 m<sup>3</sup>/h) lo cual genera un acortamiento de la vida útil del equipo de bombeo.

**25.** Según los obtenido por Falcón, García y D'Urso, 2009 se recomienda explotar el Pozo N° 3 a 100 m<sup>3</sup>/h, lo que genera un nivel dinámico de -23,50 metros. Si bien el primer filtro queda sin operar, se elimina la potencial contaminación desde el nivel freático, el cual está claramente contaminado según los análisis realizados al agua superficial del Arroyo El Manantial.

**26.** Se recomienda, utilizar los datos provistos por el estudio geoelectrico realizado por Falcón, García y D'Urso, 2010, con la finalidad de determinar un sitio de emplazamiento de la perforación de reemplazo del ex-Pozo N° 6.

**27.** Se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos sumergibles de bombeo según los representantes de Franklin Electric y Rotor Pump en la Provincia de Tucumán. Ver **Apéndice IV**.

**28.** Se recomienda implementar un procedimiento de tratamiento químico de cada una de las perforaciones con hipoclorito de sodio y acido fosfórico de manera semestral o anual. Ver **Apéndice V**.

**Referencias bibliográficas de material impreso**

1. **Appelo, C.A.J. y D. Postma.** 1993. *Geochemistry Groundwater and Pollution.* 536 p. Publishers A.A. Balkeema. Rotterdam.
2. **Auge, M.** 2006. *Agua subterránea. Deterioro de Calidad y Reserva.* Cátedra de Hidrogeología, Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Inédito.
3. **Beltrán, P.** 1991. *Introducción a la Mecánica de Fluidos.* McGraw Hill Uniandes. 346 pp. Bogotá.
4. **Bossi, G.E.** 1969. *Geología y Estratigrafía del Sector sur del Valle de Choromoro, Tucumán.* Acta Geológica Lilloana 10: 17-64. Tucumán.
5. **Bossi, G.E. y Gavriloff I.C.** 1998. *Capítulo Terciario: Libro Geología de Tucumán.* Publicación Especial del Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. Segunda Edición: 87-108. San Miguel de Tucumán.
6. **Comuna de El Manantial.** 2011. Departamento de Lules. Información Catastral (Inédita).
7. **Costilla, R.** 2008. *Estudios de Impacto ambiental e Inventario ambiental Industrial de CALSA planta Tucumán.*
8. **Custodio, E. y Llamas M.R.** 1976. *Hidrología subterránea.* Ed- Omega. Barcelona. 2359 pp.
9. **Davis, S.N. y De Wiest, R.J.M.** 1971. *Hidrogeología.* Ed. Ariel. Barcelona. 563 pp. Capítulo 4. Teoría elemental del movimiento del agua subterránea. Capítulo 7. Aplicaciones de la teoría del movimiento de agua subterránea
10. **Dirección Provincial del Agua.** 2011. *Datos de Archivo del Laboratorio Hidrogeológico - Departamento de Perforaciones.* San Miguel de Tucumán. Inédito.
11. **Driscoll, F.G.** 1986. *Groundwater and Wells.* Jhonson Inc. 1089 pp. USA.
12. **Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres.** 2010. *Datos de Archivo del Departamento de Agroclimatología.* San Miguel de Tucumán. Inédito.
13. **Falcón, C. M.** 2008. *Material didáctico Maestría en Ingeniería Ambiental.* Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Tucumán.
14. **Falcón, C.M.** 2004. *Hidrogeología del sector sudoriental de la sierra de La Ramada y llanura adyacente, provincias de Tucumán y Santiago del Estero.*

Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales e IML. 454 pp. Universidad Nacional de Tucumán (Inédita).

15. **Falcón, C.M. y García, J.W.** 2007. Estudios geoelectricos para abastecimiento de agua potable en ciudad San Miguel de Tucumán, Departamento Capital, Provincia de Tucumán. Sociedad Aguas del Tucumán S.A. 60 pp. (Informe inédito).
16. **Falcón, C.M. y García, J.W.** 2009. Empleo del método geoelectrico (S.E.V.) para resolver problemas de abastecimiento de agua potable a Centros Urbanos de la Provincia de Tucumán. Boletín Geindustrial N° 5(5): 39-44. ISSN 166-3470. Universidad del Norte Santo Tomás de Aquino.
17. **Falcón, C.M.; García, J.W. y D'Urso C.H.** 2010. Estudio Geoelectrico en la planta de CALSA-Tucumán. (Informe inédito).
18. **Falcón, C.M.; García, J.W. y D'Urso, C.H.** 2009. Estudio hidráulico de las perforaciones existentes y propuestas para una explotación racional y sostenida del Recurso Hídrico Subterráneo en la planta de CALSA-Tucumán. (Informe inédito).
19. **García, J.W.; Falcón, C.M.; D'Urso, C.H.; Rodríguez, G.V.; López, J.P.; Bellos, L.I. y Orozco, N.** 2010. Geología ambiental y riesgos naturales. Análisis de vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en el área de pedemontana de la llanura tucumana. *Memorias del XIX Congreso Geológico Boliviano*, p. 213-215. Tarija.
20. **Gariboglio M. A. y Smith S.A.** 1993. Corrosión e incrustación microbiológica en sistemas de captación y conducción de agua, aspectos teóricos y aplicados. Editores CFI. Buenos Aires.
21. **Guido, E. y Sesma, P.** 2001. "Degradación ambiental del Gran San Miguel de Tucumán: causas y propuestas de actuaciones". III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio y I Reunión de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio del Área del Mercosur. Actas CD-ROM RG6. ISBN 987-544-083-5 - Mar del Plata. Habilidad profesional Secretaría de Salud Pública de la Nación, Expte. N° 512.562/81-1, Expte. N° 18.549-92-1 y Expte. N° 2002-23473/93-5.
22. **Haupt, M.** 1968. Descripción Hidrogeológica de la Hoja 11f "Tucumán" (Cono de Deyección Tucumano). Provincia de Tucumán. Informe preliminar. Instituto Nacional de Geología y Minería. (Inédito).
23. **Hernández, M. A.,** 1975. Efectos de la Sobreexplotación de aguas subterráneas en el Gran Buenos Aires y alrededores. *Actas del II Congreso Ibero-Americano de Geología Económica*, 1, 435-456.
24. **Luis Alcover Perforaciones SRL.** 2001. Planos de Perforaciones de CALSA planta Tucumán.

25. **Marcellino G. y Navarro, A.** 2005. “*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laub, una herramienta alternativa para la biodepuración de efluentes urbanos y agroindustriales. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia.
26. **Marola A.** 2010. Propuesta de Mantenimiento Preventivo Motores Franklin Electric, Bombas Rotor Pump. Inédita.
27. **Minetti, J., Ramírez, M.G. y Suárez, L.** 1979. Balance Hidrológico de la Cuenca y Subcuencas del Río Salí. Publicación Miscelánea N° 64. Estación Experimental Agro-Industrial "Obispo Colombres". Tucumán.
28. **Mon, R. y Eremchuk, J.** 1999. Geología urbana y ambiental del Gran San Miguel de Tucumán. Relatorio del XIV Congreso Geológico Argentino, Salta. Geología del Noroeste Argentino, Tomo II. Pág. 116-125.
29. **Moreno Campos, I. y Caridad Ocerín, J.** 2000. La demanda de agua en zonas urbanas. Métodos alternativos de predicción a corto plazo. Universidad de Sevilla, Fundación Nueva Cultura del Agua y Universidad Pablo de Olavide. 2002. Pág. 210-230.
30. **Pérez Franco, D; De los Santos, J. y Díaz Goano, C.** 2000. Manual para la interpretación de ensayos de bombeo y programas de cálculo. Instituto Politécnico J. A. Echeverría. Programa Hidrológico Internacional. UNESCO. La Habana, Cuba.
31. **Rabsium, S.** 1960. Introducción a la Hidrología de Tucumán. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán. Publicación 821:1-179. Tucumán.
32. **Rodríguez, G.V. y D’Urso, C. H.** 2005. Estudio Hidrogeológico y de calidad de Agua en el Sector Oriental de la Sierra de San Javier entre las Localidades de Yerba Buena y El Manantial, Provincia de Tucumán, República Argentina.
33. **Sayago, J.M.; Neder, L.V. y Puchulu, M.E.** 1998 (c) Capítulo Suelos: Libro Geología de Tucumán. Publicación Especial del Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. Segunda Edición: 275-284. San Miguel de Tucumán.
34. **Soria, F.** 1995. “Los vientos en Horco Molle y el en centro de la ciudad de San Miguel de Tucumán”. p. 149 en Stadtklimatologische Und Lufthygienische Untersuchungen in San Miguel de Tucumán Nordwestargentinien. Marburg Geographische Schriften. Marbug/Lahn.
35. **Theis, C.V.** 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Trans. American Geophysical Union: 99-112. Washington.

36. **Tineo, A., Falcón, C., García, J., D'Urso, C y Rodríguez, G.** 1993. Hidrogeología de la Llanura Tucumana, Provincia de Tucumán. Acta 6: 172-176. 12° Congreso Geológico Argentino. Mendoza.
37. **Tineo, A.; Falcón C.M. y Garcia J.W.** 2007. El Agua Subterránea en la Provincia de Tucumán. XII° Congreso Nacional del Agua - CONAGUA '07. San Miguel de Tucumán. (Copia en CD). 09/05/2007.
38. **Tineo, A.; Falcón, C.; García, J.; D'Urso, C. y Rodríguez G.** 1999. Capítulo Hidrogeología: Libro Geología de Tucumán. Publicación Especial del Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. Segunda Edición. Pág. 259-274. San Miguel de Tucumán.
39. **Torres Bruchman, E.T.** 1975. El Balance Hidrológico: Su determinación y aplicaciones. Edic. Sección Publicaciones de la Facultad de Agronomía y Zootécnia. UNT. Serie Didáctica 39. Tucumán.
40. **Torres Bruchman, E.T.** 1978. Las Clasificaciones Climáticas de Köppen y Thornthwaite. Ediciones Sección Publicaciones de la Facultad de Agronomía y Zootécnia. UNT. Serie Didáctica 48. Tucumán.
41. **Vilela, C.R.** 1970. Hidrogeología. Opera Lilloana 18. Tucumán.
42. **Villanueva Martinez M. y Lopez Iglesias, A.** 1984. Pozos y Acuíferos. Técnicas de Evaluación mediante Ensayos de Bombeo. Instituto Minero y Tecnológico de España.
43. **Zuccardi, Ramón B.** 1967. Génesis, Clasificación y Cartografía del Suelo Tucumán, AR : Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACCS), *Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo (4 : 1967 : Tucumán, AR):* p. 261

## Normas

1. **American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Pollution Control Federation (WPCF).** 1963. Métodos Estándar para el Examen de Aguas y Aguas Residuales. Editorial Interamericana. 11° Edición. México.
2. **American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Pollution Control Federation (WPCF)** 1992. Métodos normalizados para el análisis para aguas potables y residuales. Traducción del Inglés, Editorial Díaz de Santos. 760 p. Barcelona.

3. **American Water Works Association (AWWA) C100, 2008. Standard for Water Wells. 7-12 p.**
4. **Procedimiento para toma de muestras de agua del Laboratorio Food Control SA. Acreditado con la norma ISO 17025:2005 por el OAA, como Laboratorio de Ensayo N° 025, 2009, en 67 determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas de alimentos y bebidas. Laboratorio autorizado por el SENASA (LA 0020) para emitir Resultados de Análisis con Validez Oficial en: Investigación de Patógenos (*Escherichia coli*O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, *Vibrio cholerae*), Análisis Microbiológico y Fisicoquímico de Aguas, Análisis Microbiológico de Lácteos, Control de Residuos de Antibióticos y Control de Calidad de Carneos. Asimismo, habilitado por el IASCAV (N° 00 026) para Análisis de Plaguicidas Organoclorados y Organofosforados, según Resolución Ex-IASCAV N° 279 /93.**
5. **U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1993 (a) Subsurface Characterization and Monitoring Techniques. A desk reference guide Vol. I: Solids and Ground Water, App. A and B. EPA/625/R-93/003a. USA.**
6. **U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1993 (b) Subsurface Characterization and Monitoring Techniques. A desk reference guide Vol. II: The Vadose Zone, Field Screening and Analytical Methods, App. C and D. EPA/625/R-93/003b. USA.**

### Leyes y Resoluciones

1. [Ley N° 18.284 18/07/69 Código Alimentario Argentino. Decreto 2126/71-Reglamentario de la Ley 18.284.](#) Capítulo XII; Artículos 982 al 1079. Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificadas (agua potable). Actualizado en junio de 2007 por la Resolución Conjunta de SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007.
2. [Ley N° 18.284 18/07/69. Código Alimentario Argentino. Decreto 2126/71-Reglamentario de la Ley 18.284.](#) Capítulo XX, Artículos 1413 al 1414. Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificadas (agua potable) .Actualizado en junio de 2007 por la Resolución Conjunta de SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007.
3. **Resolución N° 030, 2009.** Secretaría de Medio Ambiente de la Provincia de Tucumán. Límites de Descarga para Efluentes Líquidos.

### Textos electrónicos, bases de datos, manuales y programas informáticos

1. **Banco de datos de pozos de agua subterránea registrados ante la Dirección de Recursos Hídricos.** Consultado el 12/07/2011 en <http://www.recursoshidricos.gov.ar/webdrh/indexdrh.html#> (Actualización Automática).
2. **Ciclo hidrológico.** Atlas de Buenos Aires. Consultado el 12/05/2010 en [http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar/aaba/index.php?option=com\\_content&task=view&id=199&Itemid=76&lang=es](http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar/aaba/index.php?option=com_content&task=view&id=199&Itemid=76&lang=es) (Actualización Automática).
3. **General Review of Geology As It Relates to Groundwater in Alberta.** Alberta Research Council. Modules 1-9. Consultado el 21/05/2011 en [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/wwg406?opendocument](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/wwg406?opendocument) (Actualización Automática).
4. **HYDROWIN (versión 3.0)** Copyright © 1997. By Lucas Calmbach. Institut de Minéralogie. BFSH2, 1015. Lausanne.
5. **INDEC, 2001.** Censo Nacional de Población y Vivienda (CEN'01) - Resultados Definitivos de Internet. Dirección General de Estadísticas y Censos de la Provincia de Tucumán. Superior Gobierno de la Provincia de Tucumán. Ministerio de Economía Boletín Electrónico Informático N° 3. Consultado el 10/02/2011 en <http://www.indec.mecon.ar> (Actualización Automática).
6. **Manual de Aplicación u Instalación u Mantenimiento de Motores Monofásicos y Trifásicos de 50 Hz Franklin Electric.** Consultado el 05/06/2009 en <http://www.rotorpump.com.ar/catalogos.html> (Actualización Automática).

7. **Manual de instalación de bombas rotor pump.** Consultado el 19/10/2011 en <http://www.rotorump.com.ar/catalogos.html> (Actualización Automática).
8. **Sánchez, F. J.** 2004. Medidas puntuales de permeabilidad. Universidad de Salamanca, 12 pp. Consultado el 15/04/2011 en: <http://web.usal.es/javisan/hidro>. (Actualización Automática)
9. **SURFER 10.** (versión 10.0) Copyright © 2009. Golden Software Inc. USA.