

RESUMEN

El presente documento contiene información correspondiente al Informe Final del Proyecto denominado **“Registros y análisis de comportamiento piezométrico de las aguas subterráneas del subsuelo de la ciudad de Santa Rosa”**. En dicho informe se presentan en una primera parte, los estudios preliminares realizados tales como: recopilación y revisión de antecedentes; cartas temáticas; georreferenciación de perforaciones realizadas por la Administración Provincial del Agua (APA) en el departamento Capital con énfasis en aquellas localizadas dentro del radio urbano de la ciudad; diseño de red de freatímetros y red de monitoreo de la superficie freática.

En este informe se presentan además, los resultados del censo de medición de niveles freáticos de 148 perforaciones localizadas en el radio urbano de la ciudad de Santa Rosa realizadas por la Administración Provincial del Agua (APA) y de 21 perforaciones domiciliarias.

Para la construcción de la red de monitoreo de los niveles de agua, se realizaron treinta y seis perforaciones, de las cuales seis estuvieron destinadas al estudio de la porción superior del acuífero freático en las áreas críticas, además en cercanía de las mismas se ubicaron otras seis con un alcance más profundo teniendo la precaución de aislar hidráulicamente la porción superior de la zona saturada. El resto de las perforaciones, tuvieron un diseño simple sin aislar la sección superior. Se realizó un muestreo sistemático del sustrato atravesado y del agua subterránea de cada perforación cuyos resultados permitieron realizar un análisis preliminar de la situación.

El análisis de los resultados de las mediciones efectuadas muestra variaciones importantes. Dichas variaciones tienen dos vertientes. La primera es la de aquellas fuentes explotadas hasta el año 1988, que en todos los casos registraron descensos, algunos superiores a los 20 metros en relación a los niveles que presentaban originalmente los pozos de OSN durante las décadas de 1940 a 1950. Por el contrario, la otra vertiente está representada por las perforaciones realizadas por APA que han experimentado un considerable ascenso del nivel (en algunos casos más de 20 metros) en relación al año en que fueron construidas (entre los años 1981-1995). Únicamente se registraron algunos descensos de los

niveles en la periferia de la ciudad donde el suministro es sólo a través de captaciones locales ya que no existe red de agua potable.

Con respecto a la situación actual que presenta la ciudad, se estima que, desde el fin de la explotación de los pozos situados en el área urbana ocurrieron diferentes sucesos que pueden haber contribuido al fenómeno observado. Estos eventos estarían dados por: períodos extraordinarios de lluvias; un aumento en las fuentes de aporte para reforzar la dotación de agua a la ciudad a través del Acueducto del Río Colorado con las consecuentes variaciones en la presión de conducción y del área servida; y severas pérdidas de conducción en el sistema de cloacas y de la red de agua potable.

Los ascensos piezométricos observados han logrado que la capa arenosa superficial se haya transformado en acuífero. Esto ha generado un reacomodamiento de la misma que ha provocado y provoca hundimiento o colapso del pavimento y también problemas en algunas construcciones.

En el área urbana, propiamente dicha, la zona norte de la misma se caracterizaba años atrás por presentar agua con elevados niveles de iones nocivos para la salud tales como flúor y arsénico. Originalmente tenía, a partir de las vías del ferrocarril hacia el sur, agua potable, en general, en la actualidad, no la posee. Ha desmejorado por razones antrópicas, tanto desde el punto de vista salino por sobreexplotación como por contaminación a partir de restos orgánicos como lo prueban los distintos análisis físico químicos efectuados.

Del análisis general del presente informe surge que algunos sectores de la ciudad de Santa Rosa estarían al borde del colapso urbanístico por lo cual es imprescindible que en el menor plazo posible se arbitren los medios para reemplazar parte del sistema de saneamiento urbano, principalmente en aquellos sectores de la ciudad donde los sistemas de conducción han quedado totalmente obsoletos. Para ello será necesario, en principio, deprimir los niveles hídricos a valores históricos que permitan la realización de las tareas recomendadas.

Se considera indispensable mantener en perfectas condiciones la red de freatímetros construidos durante este Proyecto para poder controlar la variación de los niveles de agua subterránea en la ciudad. Los conocimientos adquiridos durante la perforación de los sondeos realizados, y los correspondientes ensayos de bombeo

que se puedan realizar a futuro, agregado a la información existente contribuirán a incrementar notablemente los conocimientos sobre la hidrogeología de la ciudad.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo urbano altera factores importantes relacionados con el ciclo hidrológico natural entre los que se encuentran la geomorfología, la cobertura vegetal, impermeabilización del suelo, etc. provocando varios efectos en el mismo. La característica principal de las cuencas urbanas está representada por un lado por el incremento de la impermeabilización del suelo, la consecuente reducción de la infiltración debido a las edificaciones, pavimentos de calles, veredas, etc., el aumento del porcentaje del escurrimiento superficial y la remoción de la cobertura vegetal natural y por otro, por la instalación de la red de saneamiento de la ciudad (agua, cloacas y desagües pluviales).

Las posibles pérdidas, fugas o derrames de líquidos de la red mencionada, también deben ser tomadas en cuenta, debido a que su existencia impacta directamente en la dinámica hidrológica del lugar.

El crecimiento del espacio poblado implica el control y la gestión del funcionamiento de la dinámica hídrica, con el fin de mantener su funcionalidad y ampliar su capacidad, controlando el estado de los ductos y así evitar problemas. Para esto es importante el conocimiento de los distintos elementos que la componen y que interaccionan entre sí.

1.1. Motivos del Estudio

En los últimos tiempos han ocurrido ascensos en los niveles de agua subterránea en sectores de la ciudad de Santa Rosa que llegan a profundidades donde no eran habituales, alterando la habitabilidad de distintos barrios.

A esto debe agregarse que se registrarían diferencias entre los volúmenes de agua potable entregados a la red y los que serían efectivamente consumidos, lo cual supone la posibilidad de pérdidas en el sistema de distribución.

Por lo tanto para una adecuada planificación de los recursos hídricos, la primera condición es el entendimiento del ciclo hidrológico, sus componentes y del impacto que estos sufren por los procesos de urbanización.

1.2. Objetivos y alcances

- Conocer el comportamiento temporal y areal de los niveles piezométricos en el área de estudio, con énfasis en los más problemáticos, ante diferentes situaciones pluviométricas y de funcionamiento de las distintas redes sanitarias durante un lapso mínimo conveniente.
- Diagnóstico y monitoreo, del comportamiento piezométrico en el área urbana, con énfasis en los sectores más afectados, a fin de obtener un modelo conceptual preliminar (cualitativo) del comportamiento hidrológico subterráneo.
- Actualización del estado real del problema en Santa Rosa y sus zonas aledañas que permitan llevar a cabo la planificación y el diseño urbano acorde con la hidrología del área de la ciudad.
- Evaluación de los resultados de la investigación y propuesta de acciones para el control y superación de los problemas.

1.3. Descripción de tareas realizadas

1.3.1. Tareas de gabinete:

Se procedió a la recopilación de antecedentes topográficos, cartográficos, hidrológicos subterráneos y superficiales, hidrometeorológicos, geológicos, geomorfológicos, hidroquímicos, planillas de perforaciones documentadas y de obras de infraestructura sanitaria (red de pluviales) existentes.

- a) Se recopilaron cartas temáticas correspondientes a la cartografía del área de estudio (Anexo I Mapa I); piezometría (Anexo I Mapa II); contenidos de Residuo Seco (Anexo I Mapa III); Flúor (Anexo I Mapa IV); Arsénico (Anexo I Mapa V); red de desagües pluviales de la ciudad (Anexo I Mapa VI); y malla crítica, diseñada por la Municipalidad, de pérdidas de agua potable en la red (Anexo I Mapa VII).
- b) Se compilaron las Fichas de pozos de las primeras perforaciones realizadas por Obras Sanitarias de la Nación (desde 1927) para abastecimiento de agua potable a la ciudad de Santa Rosa (Anexo I Mapa VIII- Fichas de pozos OSN-1-38).

- c) Se georreferenciaron la totalidad de las perforaciones realizadas por la Administración Provincial del Agua (APA) en el Departamento Capital localizadas en el radio urbano de la ciudad y zonas aledañas, y cuya ubicación se detalla en el Mapa IX del Anexo I. Las Fichas de Pozos de APA se recopilaron en el Anexo II.
- d) Se diseñó la red de freatímetros que luego se construyó (Anexo I, Mapa X).
- e) A los efectos de realizar un adecuado control de los niveles de las aguas subterráneas motivo de este estudio, se elaboró un diseño de los pozos de control de niveles estáticos respetando las particularidades de cada nivel (Anexo I, Fichas de Pozos de Monitoreo 1-36).
- f) En base a los resultados arrojados por el censo de las perforaciones se elaboró un mapa de perforaciones realizadas por APA diferenciando aquellas que se pudieron medir de las que por distintos motivos no pudo llevarse a cabo la medición del nivel estático de las mismas (Anexo I, Mapa XI).
- g) Se diseñó un mapa de mediciones efectivamente llevadas a cabo en las perforaciones realizadas por APA, viviendas particulares y/o Instituciones (Anexo I, Mapa XII).
- h) Con los acotamientos al nivel del terreno de las bocas de pozos de la red de freatímetros construidos para este proyecto, se elaboró un mapa de piezometría (Anexo I, Mapa XIII).
- i) En base a los resultados de los análisis químicos obtenidos de los “Pozos de Monitoreo” realizados, se dibujaron diversos mapas tales como de isocontenido de Residuo Seco (Anexo I, Mapa XIV), Concentración de Nitratos y Nitritos (Anexo I, Mapas XV, XVI, XVII y XVIII) con el fin de conocer la distribución espacial de la calidad del agua subterránea en la ciudad.
- j) Se confeccionó un mapa indicando derrames de líquidos cloacales y agua de red en la ciudad, detectados durante la realización del presente estudio (Anexo I, Mapa XIX).
- k) En el Anexo III se compilaron las fotografías tomadas de diversas perforaciones durante el censo de niveles freáticos así como también imágenes de los derrames por perdidas en la conducción del agua potable y cloacas.

1.3.2. Tareas de campo

- a) Se llevó a cabo un censo de medición de niveles estáticos de perforaciones realizadas por la Administración Provincial del Agua (APA) en el Departamento Capital. Las mismas están localizadas las mismas en el radio urbano de la ciudad y zonas aledañas. Tarea que también se ejecutó sobre puntos de agua perteneciente a Instituciones no oficiales y viviendas particulares.
- b) Para realizar un adecuado diagnóstico del comportamiento de la superficie freática de la ciudad, se construyó una red de 36 perforaciones para el monitoreo de los niveles freáticos. Además se instaló un freatígrafo para obtener los datos de su evolución en tiempo real.
- c) Se tomaron muestras de agua de todas las perforaciones realizadas para evaluar su calidad físicoquímica y bacteriológica.

1.3.3. Tareas de Laboratorio

En la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, de la Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam) se realizó la observación y descripción de los recortes de perforación (cutting). Las muestras de agua para análisis físico-químico fueron remitidas al laboratorio de aguas (APySU) de la Cooperativa Regional de Electricidad, Obras y Otros Servicios de General Pico Limitada (CORPICO). Las determinaciones bacteriológicas se realizaron en el laboratorio de aguas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UNLPam).

1.4. Antecedentes

Los aspectos geológicos y geomorfológicos de la región están expuestos, entre otros, en los siguientes trabajos: “Loess y limos pampeanos” (Frenguelli, J., 1955); “The nature and origin of the Argentine loess” (Teruggi, M. E., 1957); “La Cuenca de Macachín, provincia de La Pampa” (Salso, J., 1966); “Informe técnico hidrogeológico de la provincia de La Pampa” (Arigós, 1970); “Geología del subsuelo y plataforma continental” (Irigoyen, M., 1975); “Documentos para el estudio geológico de la provincia de La Pampa” (Calmels, A. y J. Tullio, 1980); “Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa” (Cano et al., 1980); “Geología de

la provincia de la Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas” (Linares et al, 1980); “Perfiles de estabilidad mineral en suelos desarrollados sobre loess de la región pampeana septentrional, Argentina” (Teruggi, M. E. y P. A. Imbellone, 1983); “Sobre los sedimentos lacustres (Fm Santa Rosa) del Pleistoceno Superior, La Pampa. Argentina” (Casadío, S. y E. Schulz, 1987); “Aspectos medioambientales del Pleistoceno Tardío en el área de Santa Rosa” (Casadio, S. y C. Montalvo, 1990); “Unidades litoestratigráficas del Cuaternario superior en el área de Santa Rosa, provincia de La Pampa” (Ramonell et al, 1993); Bosquejo Geomorfológico de La Provincia de La Pampa” (Calmels, A.,1996); “Análisis sedimentológico e interpretación paleoambiental de la Formación Cerro Azul (Mioceno tardío) en el valle Argentino, provincia de La Pampa” (Visconti et al, 1996); “Estructuras del subsuelo y su influencia en la morfología en el norte de la provincia de La Pampa” (de Elorriaga, E. E. y J. O. Tulio, 1998); “Mapa geológico de la provincia de La Pampa- República Argentina” (Rimoldi, H. V. y D. G. Silva Nieto, 1999); “Los marsupiales (Mammalia) del Mioceno Superior de la Formación Cerro Azul (provincia de La Pampa, Argentina)” (Goin, F., C. I. Montalvo y G. Visconti, 2000); “Loess of southern South America” (Zarate, M., 2003), “Compilación Geológica de la provincia de La Pampa” (Calmels, A. y S. Casadío, 2005) y Registro faunístico y paleoambientes del Cuaternario Tardío. Provincia de La Pampa, Argentina (Montalvo et al, 2013).

Los estudios hidrogeológicos e hidroquímicos del área y la región conforman la parte más importante de la bibliografía. Se pueden mencionar, entre otros, los trabajos de Arroyo (2007),(2008),(2009 a y b),(2010 a y b), 2011 y 2012; Basualdo (1980); Calvetti (1979); Castro (1989) y (1995); Castro y Tullio (2000); Cavalie y De Ormaechea (1986); Cavalie (1979) y (1983); Consorcio EIH (1986, a, b, c, d, e y f); Convenio SRH, Municipalidad de Santa Rosa y Municipalidad de Toay (2013). Dalmaso y Tullio (2006); De Ormaechea (1983); Giai y Tullio (1993) y (2000); Giai (1991), (1992), (2002, a, b y c); Lastiri (1980); Malán (1981), (1982, a y b),(1987), (1989, a, b y c),(1997, a, b, c y d), (2000 a, b y c); Mecca (2008); Miglianelli (1985), (1987, a, b y c), (1991, a y b); Schulz (1988); Silleta y Dalmaso (2006); Sttappenbeck (1913), Tapia (1961); Tullio (1988), (1990), (1993), (1994), (1995), (1996), (2000, a y

b), (2001, a, b, c y d), (2002), (2004), (2005), (2006), (2007, a, b y c), (2008, a, b y c), (2009), (2010) y (2011), Wisner (2012) y Zelti (1964).

Los aspectos climatológicos, edafológicos, flora y vegetación se exponen en el “Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa” (Cano et al., 1980) y en “Lluvias en la pampa central. Tendencias y variaciones del siglo”; (Roberto et al, 1994).

1.4.1. Antecedentes de la provisión de agua potable y saneamiento de la ciudad de Santa Rosa.

En la medida que por distintas razones el ser humano se va encontrando y concentrando en un sitio, formando un aglomerado, luego un pueblo y más tarde una ciudad, está agrediendo al medio ambiente. Esa agresión se focaliza en el desarrollo del ordenamiento urbano, vías de circulación y amanzanamiento, entre otros. En una primera instancia (en los pueblos de zonas arreicas siempre), el abastecimiento de aguas y las excretas (aguas sucias) tienen carácter domiciliario (la existencia de agua para su abastecimiento, en general, ha sido un carácter prioritario de su fundación).

Como a otras ciudades, esto le ocurrió a Santa Rosa entre aproximadamente 1890 y 1927, puesto que, en ese año, se inaugura el servicio de agua potable con perforaciones situadas fuera del área urbana. La perforación N°1 se ubicaba en la esquina de las Avenidas Circunvalación Ing. Santiago Marzo y Dr. Alfredo Palacios (Figura 1), y hasta la N°10 se situaban al Este de la misma, fuera del “área urbana” de esa época. El Tanque Elevado de acopio y distribución se encontraba en el lugar citado, aprovechando de paso, la natural elevación del terreno.

Estas obras fueron realizadas por Obras Sanitarias de la Nación (OSN), encargada por ley de las mismas, quien, en este caso, fue hasta agosto de 1980 la responsable de llevar adelante el abasto y las medidas tendientes a concretarlo.

Al Oeste del punto citado se construyeron 23 captaciones más. En la medida que se incrementaron las necesidades de la población se fueron realizando nuevas obras de exploración y captación. Las perforaciones, por razones de calidad, quedaron ejecutadas a lo largo de las hoy Avenidas España-Uruguay, San Martín-San Martín Oeste, Marcelo T. de Alvear-Adolfo Alsina y luego sobre la calle Mayor

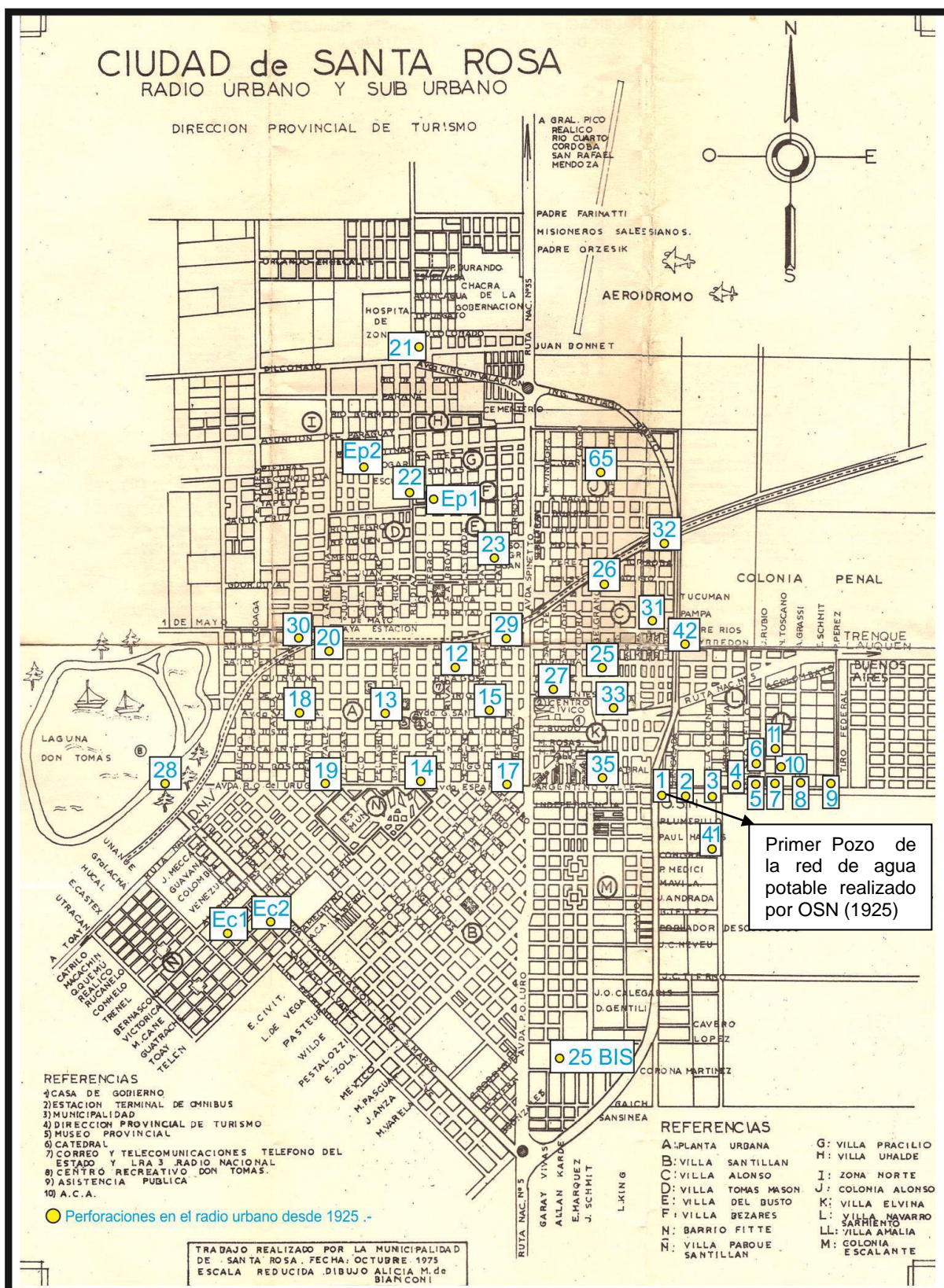


Figura 1. Ubicación de perforaciones realizadas por OSN y APA dentro del radio urbano de la ciudad de Santa Rosa. (Modificado de Wisner, 2012)

Pichihuinca hasta completar 42 captaciones (Anexo I. Mapa VIII). Las restantes, hasta el número 55 fueron ubicadas fuera del radio urbano (Figura 2).

Hasta donde se conoce, las producciones eran suministradas en línea, es decir, directamente a las cañerías de conducción. El tiempo de bombeo fue prolongado en todos los casos duraba semanas, meses o años, hasta cambiar la bomba. Como resultado de ese accionar, salvo honrosas excepciones, las perforaciones se salinizaron en tiempos cortos. Por otra parte, la realización de estudios hidrogeológicos (Cavalié, 1979) permitió seleccionar un área entre Santa y Anguil, donde se ubicaron 32 obras que a partir de 1988 comenzaron a aportar para el consumo ciudadano (Figura 2). Debe tenerse presente que estas perforaciones se ubicaron a una distancia entre sí de 1.25 km aproximadamente (2.5 veces la distancia media de aquellas del sistema original). La profundidad de las obras en el mejor de los casos alcanzó los 60 metros “apoyándose” en un nivel limo-arcilloso-arenoso.

Producto de la exacción a la que O.S.N sometió al acuífero, no solo empeoró la calidad sino que a su vez se lo deprimió en algunos casos en más de 20 metros (v.gr. perforación ubicada en la Plaza principal de la ciudad, Ficha CAP62 Anexo II Figura 83).

Conviene ahora aclarar que las perforaciones hasta aquí citadas fueron ejecutadas en un acuífero multicapa de carácter acuitardo, donde el rendimiento de las fuentes rara vez superaba los 6 m³/h. Esa es la razón por la cual con 32 nuevas perforaciones que brindaban en general unos 15 m³/h, más algunas del anterior sistema, que quedaron en servicio, pudo intentarse el nuevo abastecimiento.

Por otra parte, el crecimiento de la población obligó al desarrollo de una red de eliminación de excretas con su planta de tratamiento que fue puesta en servicio durante el año 1942. En la actualidad 38.000 viviendas están conectadas a la red de la ciudad (con una cobertura aproximadamente el 82% del total de viviendas que cuentan con este servicio). No se conoce hasta la fecha que, tanto las conducciones de agua como de cloacas hayan sido sistemáticamente renovadas, sino que, como ha ocurrido en los últimos meses, se han ido reemplazando, ante el colapso de las estructuras en algunos barrios de la ciudad, tramos de cañería de desagües cloacales de asbesto cemento (el cual ha alcanzado el final de su vida útil), por cañería de PVC.

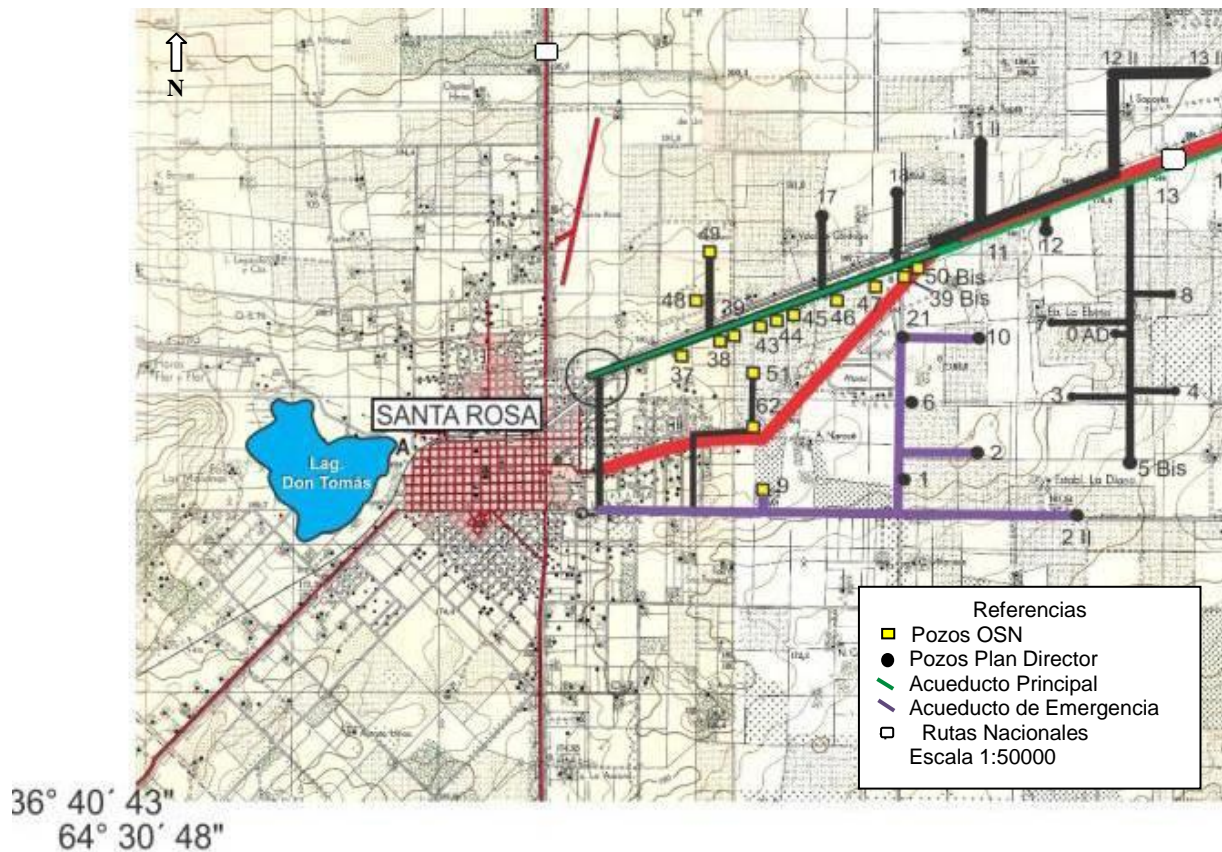


Figura 2. Ubicación de perforaciones realizadas por OSN y APA fuera del radio urbano de la ciudad de Santa Rosa. (Modificado de Wisner, 2012)

Actualmente la ciudad de Santa Rosa, cuenta para el suministro de agua potable con 87 perforaciones en total, de las cuales 10 se encuentran en la ciudad. Las 77 restantes se ubican en el acuífero libre cercano a la misma. (Wisner, 2012). En el año 2005, la dotación de agua potable a la ciudad se ve reforzada, por la puesta en marcha del Acueducto del río Colorado. Esta obra (de ingeniería) transporta agua del mencionado río desde su planta potabilizadora ubicada en cercanías de la localidad de Pichi Mahuida distante a unos 260 km de la ciudad capital. De esta manera, la provisión de agua para la ciudad, se obtiene de la mezcla de los dos sistemas, actuando éste último como base y los picos de consumo de la población se cubren con la puesta en marcha de las perforaciones.

Al igual que la provisión de agua potable, las aguas residuales de la ciudad de Santa Rosa son recolectadas por la Dirección de Hidráulica de la Municipalidad homónima. Se lleva a cabo por medio de redes colectoras que trasladan los líquidos fuera del ejido urbano depositando los mismos en las dos plantas de Tratamiento de líquidos cloacales de la ciudad, denominadas Planta de Tratamiento Norte (PTN)

que fue construida en 1981 y Planta de Tratamiento Sur (PTS) construida en 1995. En estas plantas se trata el líquido crudo para su posterior traslado y depósito en el cuenco receptor final ubicado al sur de la ciudad, en el Bajo Giuliani (Figura 3).

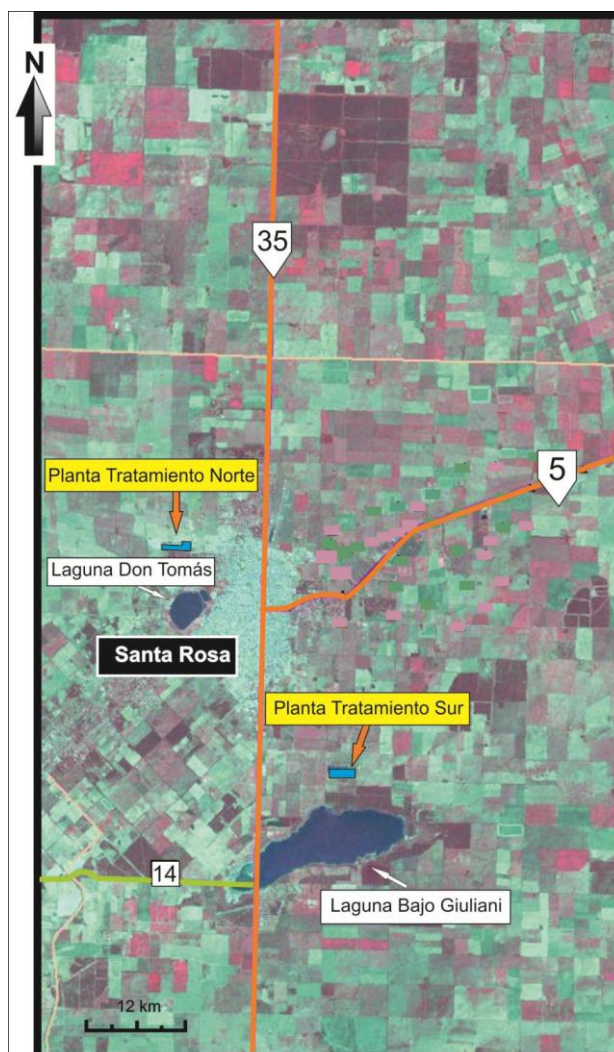


Figura 3. Ubicación de las plantas de tratamiento de los líquidos cloacales de la ciudad de Santa Rosa. (Modificado de Wisner, 2012)

En la Figura 4 se sintetiza el Modelo conceptual sobre la competencia del Estado en la distribución del agua potable en la ciudad de Santa Rosa. El Estado Provincial otorga al Municipio la distribución de agua para abastecimiento para bebida, fines domésticos, riego de jardines; para atender servicios municipales, tales como el riego de arbolado, conservación de espacios verdes y paseos públicos, limpieza de calles, extinción de incendios y servicios cloacales (Ley 2581, Código Provincial de Aguas de La Pampa, 2010).

La Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de La Pampa es la Autoridad Única de Aplicación y ejerce el rol de policía de las aguas superficiales y subterráneas. Es la encargada de supervisar y vigilar todas las actividades y obras relativas al estudio, captación, uso, conservación y evacuación del agua. La misma



Figura 4. Modelo conceptual sobre la competencia del Estado en la distribución del agua potable y servicios cloacales en la ciudad de Santa Rosa.

es la que tiene que controlar el grado de potabilidad de agua para consumo humano, la obligación de mantenerla, el sistema de monitoreo y las medidas para que la evacuación y disposición final de las aguas residuales no produzca contaminación ni ocasione daño a terceros. (Decreto Reglamentario N°2468, Código de Aguas de La Pampa, 2011).

2. CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio (Figura 5), comprende la ciudad de Santa Rosa, capital de la provincia de La Pampa. La misma se encuentra emplazada en el noreste de la mencionada provincia y es la ciudad cabecera del Departamento Capital con una población cercana a los 103.250 habitantes. Sus coordenadas de ubicación son 36°37'13,5" sur y 64°17'26,0" oeste. Abarca una superficie de 1500 km² comprendidos dentro de los límites de la carta topográfica 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar (IGM), Hoja 3763-7-3 "Santa Rosa" (Mapa I, Anexo). El acceso a la misma se logra a través de la Ruta Nacional N°35 desde el norte y el sur y por la Ruta Nacional N°5 desde el Este.

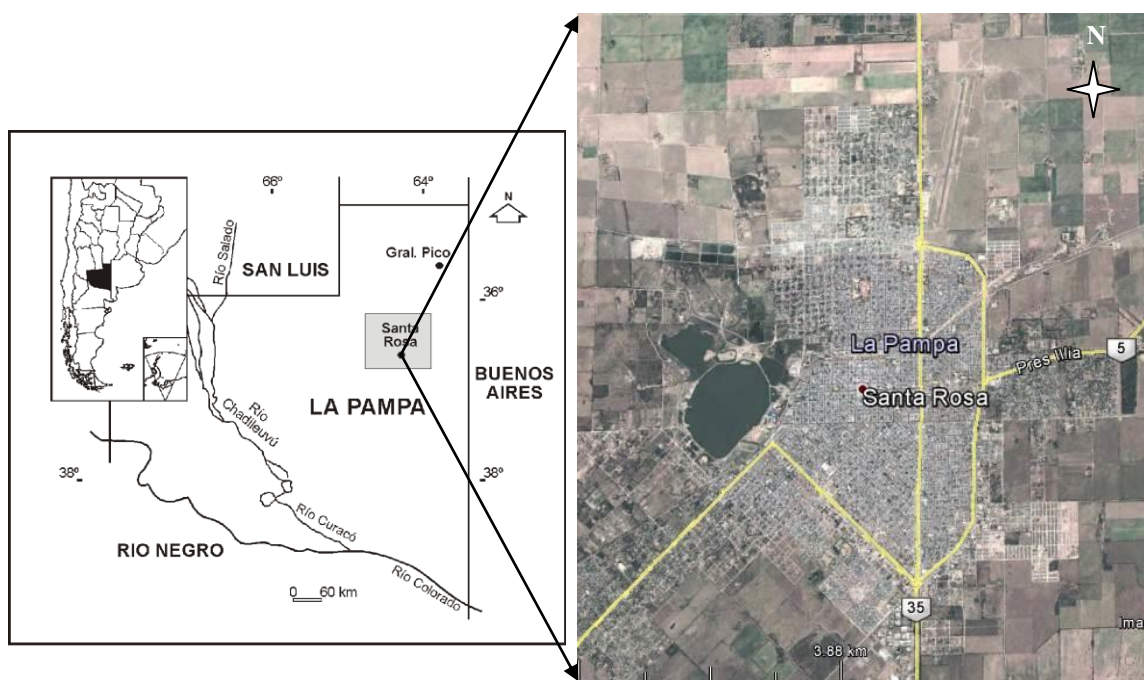


Figura 5. Ubicación del área de estudio.

2.1. CLIMA

El área de estudio se encuentra ubicada en la “región hídrica subhúmeda seca” (Cano *et al.*, 1980). Esta es una región de transición, donde coexisten los ambientes subhúmedo, árido y semiárido. Presenta un clima continental, templado con estaciones definidas diferenciándose claramente el invierno y el verano. En la figura 3 se pueden apreciar las isotermas correspondientes a la media anual. Las

oscilaciones térmicas entre estas últimas son de importancia, ya que la temperatura promedio de enero es 24°C, y en julio es de 8°C. La temperatura media anual es de 15,5 °C, siendo la humedad relativa media del 60%. (Cano et al., 1980). (Figura 6)

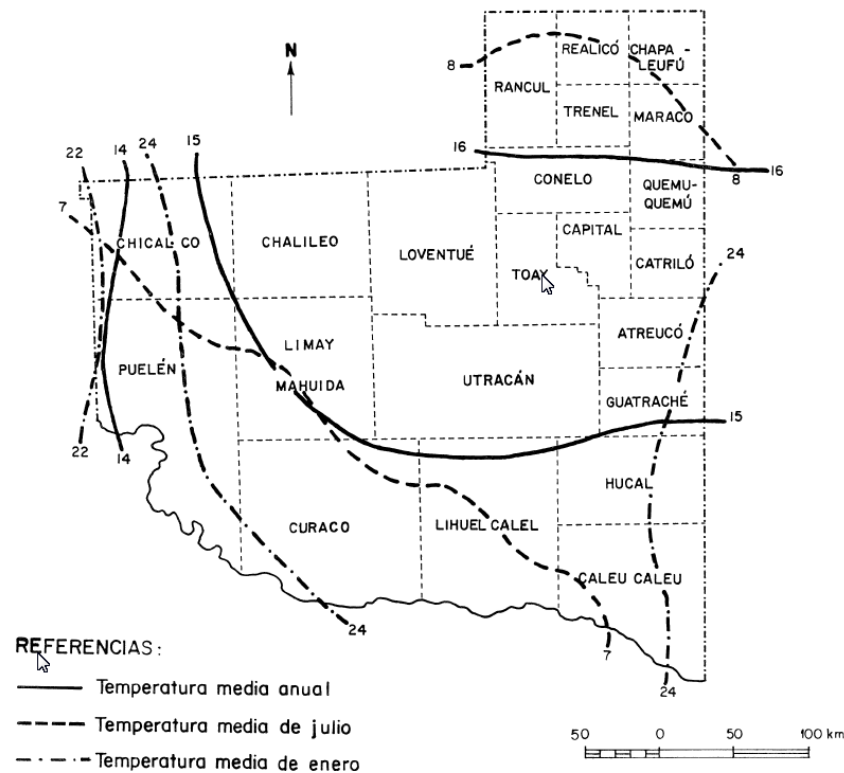


Figura 6. Mapa de isotermas de la provincia de La Pampa. (Cano et al.,1980).

La precipitación media anual para el período 1921-2014 para la ciudad de Santa Rosa es de 644 mm (Figura 7). Los promedios pluviométricos descienden rápidamente hacia el Oeste, pues se produce el pasaje de la pampa húmeda a la gran llanura seca del centro del país. En las últimas décadas, se han modificado los patrones pluviométricos de la región. Las estadísticas muestran un crecimiento lineal, dentro del cual se observa un comportamiento cíclico. Este crecimiento lineal, refleja una evolución hacia un escenario regional más húmedo en los próximos años, aunque también podría deberse a una fase húmeda de una megaciclo de mayor amplitud temporal que en el futuro podría revertirse (Roberto et al.,1994).

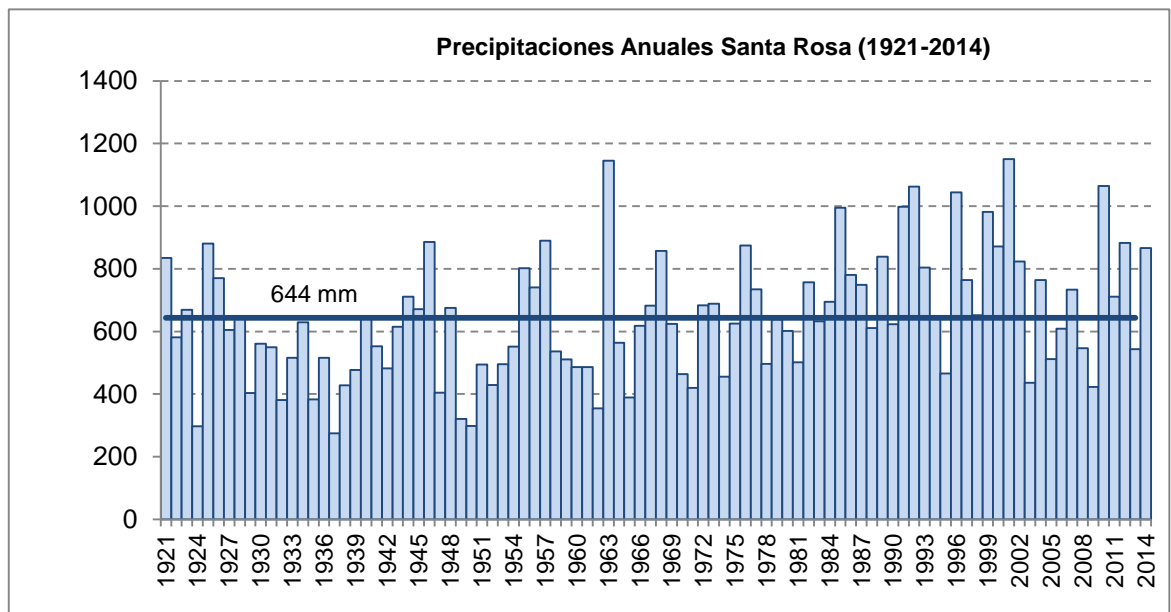


Figura 7. Precipitación anual y precipitación media anual para Santa Rosa. Período 1921-2014. (Fuente: <http://www.apa.lapampa.gov.ar/lluvias/historico.html>)

La isohieta de 700 milímetros que apenas tocaba el extremo NE de La Pampa en el período (1921-1955) se habría desplazado, a fines del siglo pasado, aproximadamente 100 kilómetros hacia el oeste. El régimen de la distribución de las lluvias a lo largo del año en La Pampa muestra que las mayores precipitaciones medias mensuales ocurren en el semestre estival (72% - octubre a marzo) con picos mayores en octubre y /o marzo, haciéndose notorio en el norte de la provincia. La variabilidad de las precipitaciones tanto en los totales mensuales como en los totales anuales es muy grande, siendo esto una característica de las regiones áridas y semiáridas (Roberto et al, 1994).

En la figura 8 se pueden apreciar las isohietas correspondientes a la media anual. Se observa como decrecen las lluvias en sentido NE-SW, debido fundamentalmente a la circulación general de la atmósfera ya que existen diferencias en el contenido de humedad del aire; esto último responde al aumento de la continentalidad hacia el W. La causa principal de las lluvias se debe a los procesos frontales que se generan en el continente, o sea cuando existe choque de masas de aire de distintas características térmicas e hídricas.

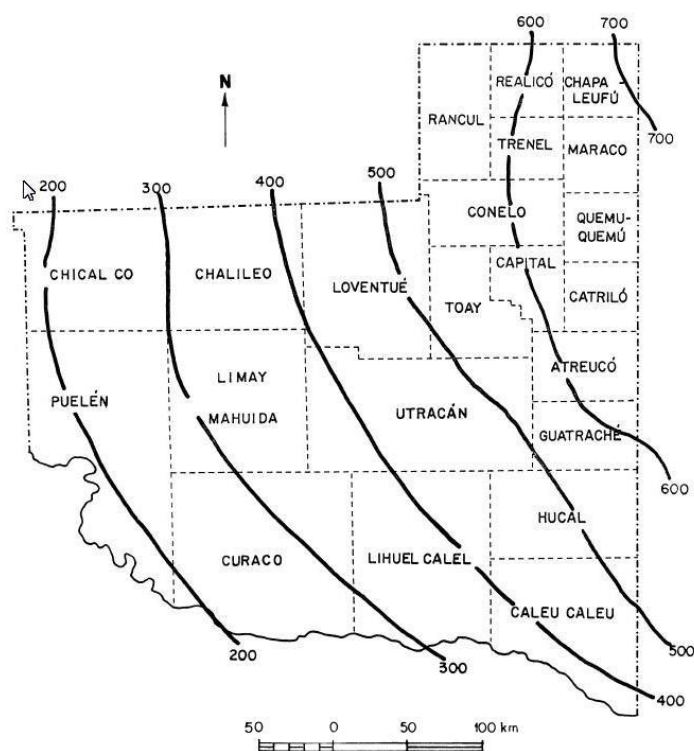


Figura 8. Mapa de isohietas de la provincia de La Pampa. (Cano *et al.*,1980).

La velocidad promedio anual del viento oscila entre 10 y 15 km/h, siendo la primavera la estación en que sopla con mayor intensidad. Esto coincide con el final del período de menor precipitación, lo que contribuye a aumentar los riesgos de erosión eólica. Los vientos de las direcciones E y NE son los más beneficiosos para La Pampa, pues aportan masas de aire húmedo precediendo generalmente a las precipitaciones (Cano *et al.*,1980).

2.2. GEOMORFOLOGIA Y GEOLOGÍA

El área de estudio se localiza en la “subunidad de la planicie eoloquímica” (Calmels y Casadío, 2005) perteneciente a la denominada “llanura pampeana de modelado eólico superimpuesto” (Calmels, 1996).

En el año 1980 se publicó el *Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la provincia de La Pampa*, texto que dedica un capítulo a la geomorfología de la provincia. Es conveniente señalar, tal vez, que según el tratamiento, el capítulo tiene un carácter fisiográfico. Reconoce dieciséis regiones y sitúa a la ciudad de Santa Rosa a caballo de dos de ellas, a saber: la región de las planicies con tosca en el oeste, el norte y el noreste (Figura 9), y la región de las colinas y lomas en el sur

(Figura 10). (Nota: En el mapa respectivo, la línea que divide está desplazada hacia el sur).

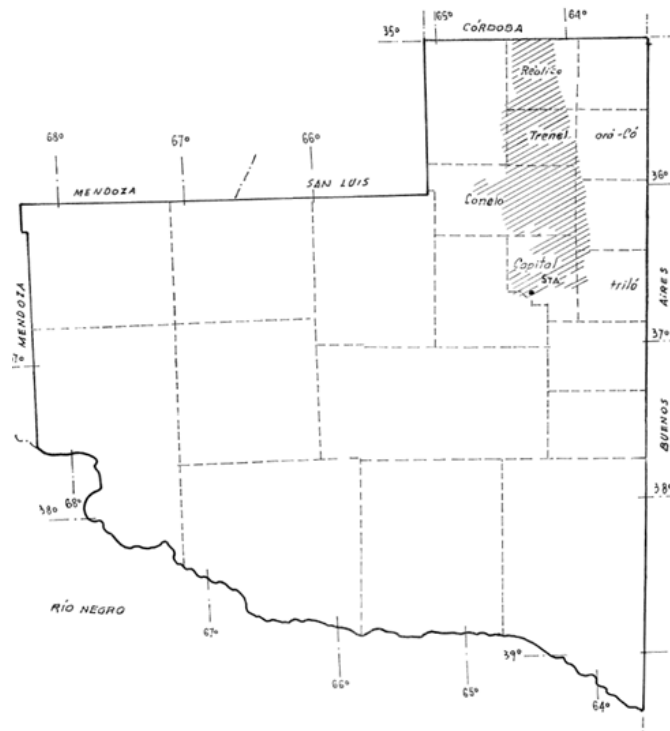


Figura 9. Ubicación geográfica de la subregión fisiográfica de la planicie con tosca (Cano *et al.*, 1980).

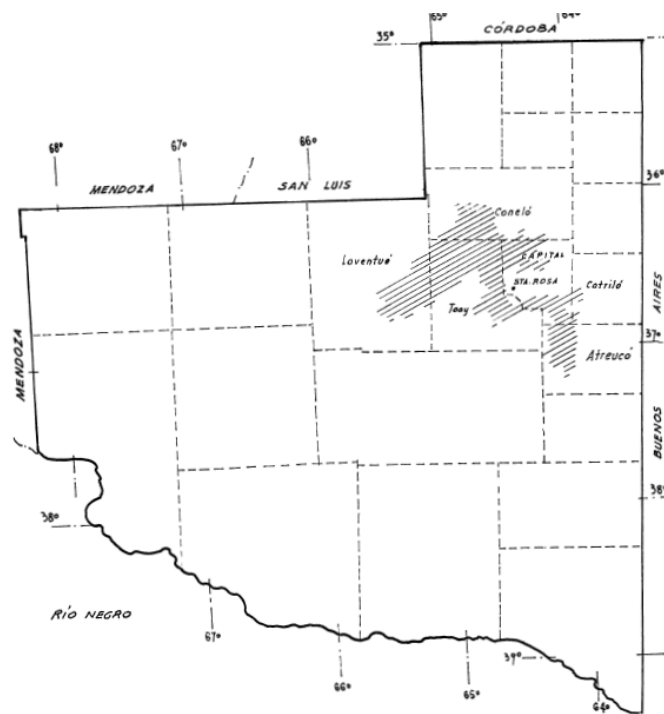


Figura 10. Ubicación geográfica de la subregión fisiográfica de colinas y lomas (Cano *et al.*, 1980).

La primera es la que, prácticamente, con soluciones de continuidad comienza a la altura de la calle Pilcomayo. Consta de una planicie ligeramente ondulada con pendiente al este. Sobre ella se desarrollaron discontinuamente médanos, en general montones de arena de origen preferentemente antrópico.

Al sur de la calle Pilcomayo tiene lugar una vaguada de rumbo este-noreste, de probable origen hídrico, al sur de la cual (calle Primero de Mayo) comienza el manto de arena que compone el piso de la ciudad, al oeste de la ruta 35 y al sur de las avenidas A. Palacios y Argentino Valle hasta la localidad de Toay por el suroeste. Este es un ambiente en el que hay presencia de médanos, remanentes de planicie y bajos o depresiones, algunas de cierta extensión, que, aunque no mencionados en la definición de la región, son parte intrínseca de la misma. Además, es notable la pendiente al sur-sureste del área de la ciudad hacia la laguna de Giuliani, parte del Valle de Colo Lauquen (R. Stamppebeck, 1913). En el oeste, la parte “vieja” de la ciudad limita con la laguna Don Tomás, originariamente un charco, incluso cruzado por un alambrado, hoy inobservable. Este bajo terminal de un valle con rumbo suroeste (desde Toay), ocupado por médanos, es el resultado de la desecación de un curso de agua que continuaba el Valle de Chapalcó. En sí, es una cubeta de deflación, un bajo encharcable en la época de la fundación de la ciudad parcialmente roturado durante 1962.

2.2.1. Geología regional: La misma se caracteriza por presentar cierta monotonía. De arriba hacia abajo está representado por un manto arenoso, el cual ha presentado fósiles más antiguos que el Holoceno (*Megatherium* sp.) y que fue retrabajado en dicho período, y que consiste en dos capas de arena, gris, la inferior y rojiza, la superior con un total de, aproximadamente, un metro de espesor. La capa inferior se apoya en discordancia sobre la tosca (nivel de arenas y pocos conglomerados cementados por carbonato de calcio). Por debajo, en discordancia también erosiva se presenta el denominado Pampeano, al cual S. B. Giai, en 1975 (ver “Bibliografía”), denominara “Formación La Pampa”, sin perfil tipo, y que E. J. Llambías denominara, en 1975, “Formación Cerro Azul” a partir de un perfil sedimentológico del Cerro Patagua. Esta unidad está conformada por arenas limosas, limos arenosos y limos arcillosos en distribución vertical variable a lo largo del territorio. Localmente existen algunas diferencias con este modelo.

2.2.2. Geología del área de estudio: La misma está conformada de arriba hacia abajo por un estrato de arena (s.l.) conformado por varias capas del mismo material, de distinto espesor y características, a saber: arenas gruesas (las menos), finas y muy finas bien seleccionadas, casi siempre compuestas de cuarzo y máficos. Estas arenas han sido re trabajadas y alojan algunos paleosuelos hacia el sur de la ciudad (Villa Parque). La descripción sedimentológica de detalle se encuentra en las fichas de los pozos de muestreos (PM) en el Anexo I. La potencia máxima apreciada alcanza en algunos sectores entre cuatro y cinco metros, salvo el perfil sedimentológico de las calles Lope de Vega y San Luis, al cual el Lic. C. Camilletti le adjudica trece metros en el presente trabajo. Los primeros cinco metros sin cemento calcáreo y el resto cementado. Aproximadamente lo mismo ocurre en el “Pozo de Muestreo (PM) 33”, y en las obras “PM 30”, “PM 29” (con menos espesor).

En el Pozo de Muestreo Nº 4, el nivel superior está conformado por una capa de arena de aproximadamente 1,50 metros de potencia que cubre a una tosca que se presenta en dos capas de, aproximadamente, cuatro metros.

En la obra “PM 5” la cobertura arenosa se compone de dos capas que en conjunto poseen unos tres metros de espesor.

En el punto de monitoreo “PM 6” se encuentran dos capas de arena encabezando el perfil; la superior, muy pura y la inferior, con matriz arcillosa. Suman, en total, algo menos de tres metros de espesor. La perforación nº 7 consta en su parte somera de dos capas de arena que, en total, alcanzan los cuatro metros de potencia. El punto de observación “PM 9” posee dos capas de arena, ambas de unos dos metros de potencia. Por debajo se encuentra una calcarenita de unos 0,50 metros de espesor.

En la obra “PM 10” se reconoce una capa arenosa de unos tres metros de potencia que cubre una arenisca calcárea de unos 0,50 metros de grosos. En el pozo “PM 11” se reconocen dos capas de arena; la superior, friable, de aproximadamente un espesor de un metro y la inferior, con cementación calcárea de aproximadamente dos metros de potencia. La perforación “PM 12” muestra una capa superior de arena friable de dos metros de potencia. En la perforación “PM 13” se reconocieron dos estratos con unos tres metros de potencia total, entre los cuales el inferior tiene buena reacción al ácido clorhídrico. En la obra “PM 14” se hallan dos capas arenosas con unos tres metros de potencia total. En la perforación “PM 15” se

encuentra una sola capa arenosa de aproximadamente 1,50 metros de potencia. En la perforación “PM 16” se encuentran dos estratos arenosos de unos tres metros de espesor. La obra “PM 17” presenta una sola capa arenosa de unos tres metros. La captación PM N°18 presenta unos cuatro metros de arena en tres capas. La perforación “PM 19” muestra unos 3,50 metros de arena en un solo estrato. El “PM 20” tiene unos dos metros de arena sobre arenisca calcárea. En el “PM 21” aparecen tres capas de arena con una base de arenisca calcárea muy fina. El “PM 22” presenta unos seis metros en cuatro capas de arena con dos intercalaciones de arena arcillosa. El “PM 24” presenta tres capas en cuatro metros, al igual que el “PM 23”. El “PM 25” posee dos con seis metros de potencia. El “PM 26” presenta unos siete metros en cuatro capas no consolidadas.

El conjunto sedimentario descrito es de origen eólico, se apoya sobre diferentes estratos cuya superficie fue devastada y se la conoce a partir de un trabajo de J. Zetti (1964) como “Formación ‘La Movediza’” (nombre informal). Por debajo de esta unidad y en discordancia erosiva se ubican los estratos de la denominada “Formación Santa Rosa” (S. Casadío y E. Schulz, 1987), compuesta por pelitas de color verde en húmedo y gris verdoso en seco, ricas en carbonato de calcio y una arenisca de grano fino, generalmente bien seleccionada, de color gris claro y cementada por CO_3Ca . Montalvo *et al.* (2013) reconocen en esta capa tres unidades: la superior, constituida por arenas gruesas a finas y limos arenosos carbonatados muy friables y de color castaño verdoso; la intermedia está compuesta por arenas medias a finas con marcas de raíces y color castaño verdoso; la base está constituida por limos arenosos castaño claro y con clastos de arenas gruesas y sábulos dispersos de unos 4,50 metros de espesor.

Como se aprecia en las perforaciones realizadas, estas capas de origen fluvial (Montalvo *et al.*, 2013) tienen variaciones laterales y verticales y desaparecen hacia la parte alta del cuenco, en donde se encuentran las arenas de la “Formación La Movediza” sobre los estratos de la “Formación Cerro Azul”. La presencia de la unidad de pelitas gris verdoso es importante dado su carácter acuífugo. Pero de los *cuttings* obtenidos surge que la misma tiene carácter discontinuo.

Por debajo de la “Formación Santa Rosa” se encuentra en discordancia la “Formación Cerro Azul” ya descrita.

2.3. HIDROGEOLOGÍA

El área de estudio encuentra dentro de la región hidrogeológica denominada Llanura Chaco Pampeana Árida (Auge, 2004) y está incluida en las regiones hidrogeológicas de la Llanura del este y Llanura medanosa central definidas en la provincia de La Pampa (Cano *et al.*, 1980).

Las formaciones Pampa y Cerro Azul, revisten singular importancia, desde el punto de vista de las reservas acuíferas, dado que es en estas formaciones donde se encuentran la totalidad de los acuíferos a explotar en la región, estando dados sus límites por la presencia de oligoelementos nocivos para la salud (Cavalié, 1979 y 1986). Los acuíferos están ubicados, como se refirió en la Formación Cerro Azul, y son de carácter predominantemente acuitardo.

La recarga de los mismos tiene lugar a partir de una capa arenosa superficial (Formación La Movediza) que facilita el ingreso del agua al subsuelo. En los sitios donde la arena conforma médanos el ingreso es mayor y la calidad de los acuíferos se hace potable. Esto es observable en el mapa de residuo seco Santa Rosa-Anguil y Santa Rosa-Toay, que acompaña el presente y está relacionado con la presencia de esas geoformas (Anexo I, Mapa III). En el área urbana, propiamente dicha, que originalmente tuvo, a partir de las vías del ferrocarril hacia el sur, agua potable, en general, en la actualidad, no la posee. Ha desmejorado por razones antrópicas, tanto desde el punto de vista salino por sobreexplotación como por contaminación a partir de restos orgánicos como lo prueban los distintos análisis químicos efectuados. La carta de piezometría actual (Anexo I Mapa XIII) presenta en la zona al sureste de la laguna Don Tomás, en paralelo a la avenida Circunvalación y como parte del Barrio Butaló, señalado en la misma, un alto piezométrico que se prolonga hasta la ruta nacional N° 35, asociado a la presencia de cordones medanosos. Sin embargo, históricamente, el agua freática no estaba alojada allí en la arena, como tampoco en el resto del núcleo urbano.

Los ascensos piezométricos han logrado que la capa arenosa superficial se haya transformado en acuífero. Esto ha generado un reacomodamiento de la misma que ha provocado y provoca hundimiento o colapso del pavimento y también problemas en algunas construcciones.

En la actualidad la superficie freática presenta un relieve con dos altos piezométricos, uno al Norte de la ciudad que se prolonga hasta la traza del

Ferrocarril, y uno al Sur, con centro al Este del Barrio Butaló. El primero sería de carácter natural y el segundo de origen antrópico por incremento del nivel freático debido a pérdidas en la conducción del agua de red y cloacas lo que está transformando el valor soporte de los suelos, aparentemente, de manera discontinua hasta el presente.

El Barrio Butaló y sus adyacencias son, por ahora, las más afectadas, pero en Villa Parque (sureste de los anteriores) los ascensos son ya importantes.

2.4. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Las características de aridez y semiaridez que presenta la provincia, no ofrecen condiciones para que se origine una red hidrográfica autóctona. En la ciudad de Santa Rosa, existen dos grandes cuencas naturales cerradas: la Laguna Don Tomás y el Bajo Giuliani.

2.4.1. Laguna Don Tomás

La Laguna Don Tomás se encuentra en la parte oeste de la ciudad (Figura 11).



Figura 11. Laguna Don Tomás.

Esta “laguna o bajo salino” es una cubeta endorreica que se alimenta de las aguas de precipitación que caen sobre ella y de las aguas del escurrimiento superficial. En épocas húmedas, puede recibir la descarga de la capa freática. Su

permanencia está sujeta al régimen de precipitaciones, de esta forma ha sido llamada salitral, cuando recibía escasa escorrentía en períodos secos, y laguna en la actualidad, debido a la mayor escorrentía recibida durante el último período húmedo (Marani, 2000).

El proceso de urbanización de la ciudad, con el aumento de calles asfaltadas, generó una impermeabilización progresiva de la cuenca de aporte, incrementando el pluvial, con una importante carga de elementos sólidos, barros y desechos, arrastrados por las aguas de lluvia. Situada en el centro de una geodepresión, carecía de escapes de agua y podía variar ampliamente sus dimensiones, según se atravesaran períodos lluviosos o secos. (Mecca, 2008)

Actualmente, el cuenco cumple la función de ser un regulador hídrico del sistema pluvial de la ciudad, dado que Santa Rosa vierte a la laguna las aguas de precipitación, mediante un sistema de canalizaciones (Marani, 2003).

Existe un sistema de bombeo que permite regular el nivel del agua, derivando los excesos pluviales al Bajo Giuliani, evitando de esta forma posibles inundaciones en la ciudad. Si el nivel máximo de la laguna no supera la cota de descarga del sistema de desagües pluviales, se tiene un funcionamiento adecuado de los mismos, con el consecuente buen drenaje de las áreas urbanas servidas y preservando además las instalaciones del Club Náutico y los caminos adyacentes. (Consorcio EIH, 1986).

En el año 2013, La Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia instaló un limnógrafo (Fotografía1) en cercanías donde se ubica la escala que indica la altura del pelo del agua del cuenco principal con el objeto de registrar las variaciones del nivel de la misma (Fotografía 2). Esto permitirá tomar medidas relativas al mantenimiento de su profundidad según las recomendaciones oportunamente efectuadas por el Consorcio EIH (1986). En dicho estudio se indica que la “cota cero” (con respecto al nivel del mar) según IGM en la laguna es de 165,56 m. Para garantizar la estabilidad de los sistemas acuáticos y todas las actividades que en ella se desarrollan, la altura del pelo de agua debería mantenerse en 167,06 m IGM (lo que equivale a 1,50 m en la escala).



Fotografía 1. Limnigrafo, equipo de registro continuo del nivel de altura del pelo de agua.



Fotografía 2. Escala que indica la altura del pelo de agua de la laguna (noviembre 2015).

En la actualidad, al mes de noviembre, la altura del pelo de agua del cuenco precisamente es de 167,06 m IGM tal como se muestra en la Fotografía 2.

La laguna Don Tomás presenta una dinámica hidrológica particular por encontrarse inserta en el radio periurbano de la ciudad de Santa Rosa, siendo el principal punto de descarga de los aportes pluviales que se generan. Tanto la *precipitación* directa sobre el cuenco, como los mencionados *aportes pluviales*, son las principales variables de entrada al sistema. Las variables de salida más influyentes y que regulan la estabilidad de tal sistema son la *evaporación* y los *bombeos* que se derivan tanto a Bajo Giuliani como al denominado Cuenco Norte.

Los registros de los niveles diarios de la laguna Don Tomás y de las lluvias diarias (Figura 12), muestran una dinámica que evidencia el comportamiento de cada una de las variables de entrada y salida antes mencionadas. Por ejemplo, en los meses primaverales-estivales donde se aprecian mayores magnitudes de precipitación con el consecuente aumento de los niveles en una respuesta prácticamente inmediata. Se observan distintas pendientes en la altura de agua en respuesta a la tasa de descenso de la misma, las cuales son menores en

períodos invernales (menores precipitaciones, menor evaporación sin bombeo), aumentan en los meses primaverales-estivales como consecuencia de que prevalece la variable de evaporación, y son aún mayores en los momentos en que se realizan eventuales bombeos ante mayores magnitudes de precipitación. Incluso en periodos estivales, pueden observarse cambios de pendiente que evidencian la aparición de dichos bombeos en conjunción con la evaporación, cuando los descensos se hacen aún más marcados (por ejemplo: desde oct/13 a feb/14). La Laguna Don Tomás logra así, una regulación de sus niveles a través de las variables mencionadas para ciclos que tienen un régimen hídrico medio o próximo a este.

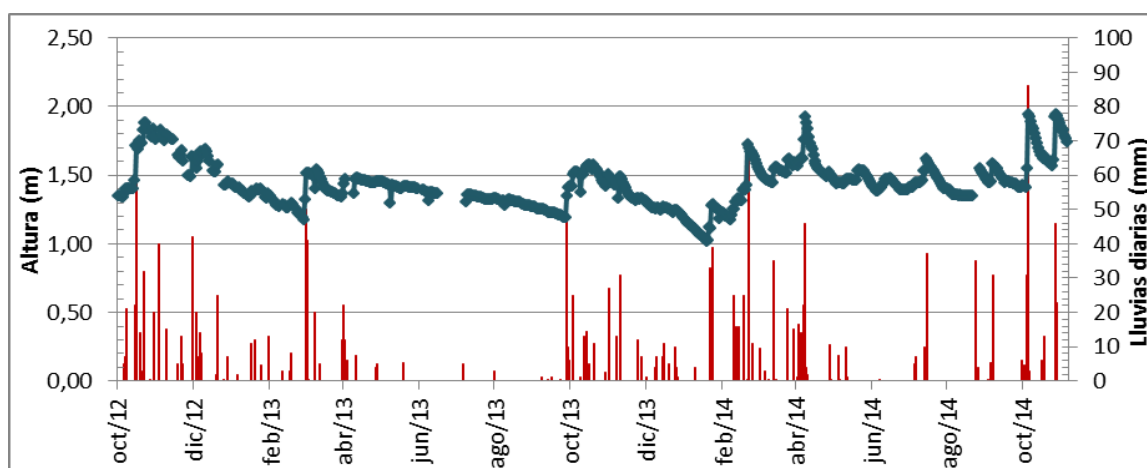


Figura 12. Niveles diarios de altura de agua (m) de la Laguna Don Tomás (oct-2012/oct-2014) y sus respuestas a las lluvias diarias de la ciudad de Santa Rosa, La Pampa.

2.4.2. Bajo Giuliani

El Bajo Giuliani se encuentra ubicado aproximadamente a ocho kilómetros del centro de la ciudad, pudiendo accederse mediante la Ruta Nacional N° 35 Sur y la Ruta Provincial N° 14, (Figura 13). La Laguna Giuliani se encuentra en el centro del bajo homónimo. Su extremo Suroeste ha sido cercenado por un terraplanamiento paralelo a la traza de la ruta N°35 Este cuenco recibe aguas del escurrimiento de su propia cuenca, del trasvase por bombeo de la Laguna Don Tomás (cuando el nivel de ésta se encuentra desbordado), del sistema de desagües pluviales del sudeste de la ciudad, de los líquidos cloacales depurados en las Plantas de Tratamiento Norte y Sur y además, funciona como descarga subterránea de los acuíferos que llegan a su cuenca. Este Bajo es parte del Valle

de Colo Lauquen con naciente al Suroeste y descarga en la zona de Anguil. (Anexo I Mapa II), con variación de su profundidad en función de las acción eólica posterior a su desecamiento. Al ser un sistema hidrológicamente cerrado, las salidas naturales están constituidas por evaporación e infiltración. Con el aumento de la población servida, el caudal de los líquidos cloacales se ha ido acrecentando, en virtud del mayor consumo de agua potable y, consecuentemente, ha generado un aumento paulatino del nivel de la laguna Giuliani, provocando que la misma no se encuentre en equilibrio dinámico (Mecca, 2008), en parte debido a la reducción de su área.



Figura 13. Bajo Giuliani y su Laguna homónima.

3. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tareas de campo

Los valores de niveles estáticos (NE) y dinámicos (ND) se obtuvieron empleando dos sondas freaticas marcas Spohr Modelo 533 y Solisnt Modelo 102. (Fotografía 3).



Fotografía 3. Sondas utilizadas para la medición de niveles freáticos.

Las muestras de agua para análisis físico-químico se obtuvieron principalmente en el último minuto del bombeo de limpieza. Se colectaron en botellas de PCV de un litro de capacidad con tapa a rosca a las que se les hizo un triple enjuague previo a su llenado. Luego, fueron enviadas, bajo cadena de frío, para la determinación de parámetros físico químicos al laboratorio.

Las muestras para análisis bacteriológico se colectaron mediante el uso de un muestreador “tipo Bailer”, de 500 cc de capacidad (Fotografía 4) y dispuestas en envases estériles de 125 ml. (Fotografías 5 y 6). Para su preservación se respetaron protocolos de laboratorio tales como: tipo de recipiente, cadena de frío, y tiempo de tránsito entre la obtención y análisis de las mismas.



Fotografía 4. Muestreador utilizado en la toma de muestras para análisis bacteriológico.



Fotografía 5. Muestreo Bacteriológico.



Fotografía 6. Toma de muestra para análisis bacteriológico

3.2. Tareas de Laboratorio

En la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, de la Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam) se realizó la observación y descripción de los recortes de perforación mediante el uso de una lupa binocular marca Arcano (Fotografías 7 y 8).



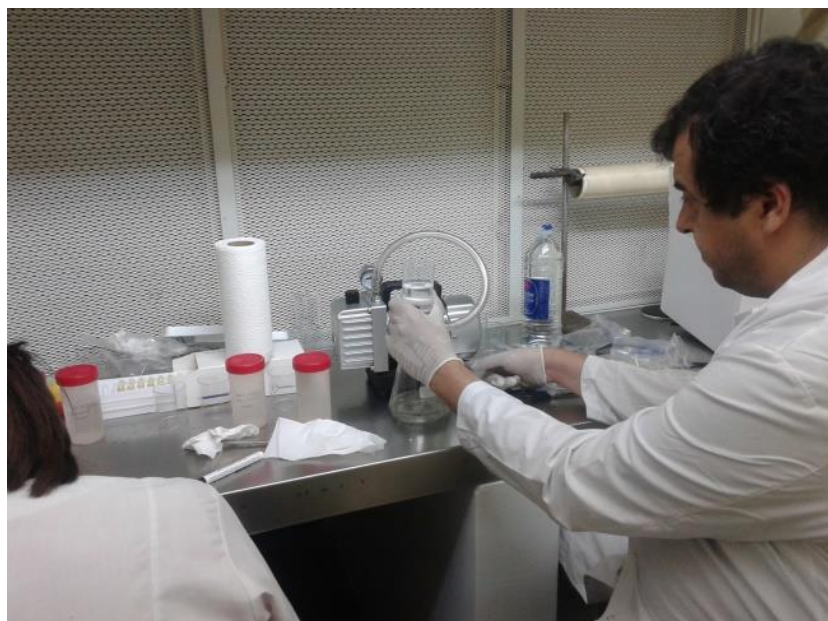
Fotografía 7. Descripción de las muestras de recortes del trépano mediante el uso de una lupa binocular marca Arcano.



Fotografía 8. Vista ampliada de los recortes de perforación (cutting)

Las muestras de agua para análisis físico-químico fueron remitidas al laboratorio de aguas (APySU) de la Cooperativa Cooperativa Regional de Electricidad, Obras y Otros Servicios de General Pico Limitada (CORPICO). Las especies químicas analizadas a partir de métodos estándar de laboratorio (A.P.H.A, A.W.W.A. y W.P.C.F, 1992) fueron: sólidos disueltos totales, dureza total, alcalinidad, iones mayoritarios, nitrato, nitrito, hierro, fluor y arsénico.

Las determinaciones de amonio y microbiológicas de Coliformes Totales y *Escherichia coli* se realizaron en el laboratorio de aguas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UNLPam) según métodos estandarizados (A.P.H.A, A.W.W.A. y W.P.C.F, 1992). (Fotografías 9 y 10).



Fotografía 9. Determinación de Coliformes Totales y *Escherichia coli*. FCEyN. UNLPam.



Fotografía 10. Determinación de Amonio. FCEyN. UNLPam.

3.3. Tareas de Gabinete

Para la ejecución del Sistema de Información Geográfico (SIG) y armado de los Mapas del estudio se empleó el software Arc Map 10 (2010). La proyección se

configuró en coordenadas Gauss Krugger en Faja 4 con los parámetros detallados en la Tabla 1:

Tabla 1. Parámetros utilizados para la confección de los Mapas de estudio.

Dato	Especificación
Sistema de coordenadas	Gauss Krugger
Faja	4
Proyección	Trasversa Mercator
Datum	Posgar
Meridiano Central	-63
Latitud de origen	-90
Escala en el Meridiano de Tangencia	1
Falso Este	4.500.000

Se emplearon archivos CAD de la ciudad de Santa Rosa y archivos de mallas críticas de pérdidas de agua proporcionadas por la Municipalidad de Santa Rosa. En las dos ocasiones se convirtieron los archivos de formato Autocad (DWG) a formato de Capas de Información Geográfica (SHAPE). Luego de la conversión, se procedió a la Georreferenciación.

El acotamiento a nivel del terreno de los Pozos de Monitoreo fue realizado con un GPS Geodésico y posteriormente reproyectado a faja 4.

Los mapas Piezométrico y de Residuo Seco se realizaron con el software libre QGIS 2.8.3. (2004) y SURFER 8 (2002).

La información hidroquímica fue analizada utilizando el Programa EASY-QUIM.4 (2002), mediante el diagrama convencional de Piper (Custodio y Llamas, 1976), y clasificación del Laboratorio de Riverside (1954) para riego.

4. RESULTADOS

Como se ha explicado detalladamente en el apartado 1.3 *Descripción de tareas realizadas*, este Proyecto tuvo distintas etapas a saber:

4.1. Censo de medición de niveles estáticos.

La medición se efectuó en perforaciones realizadas por la Administración Provincial del Agua (APA) en el Departamento Capital localizadas en el radio urbano de la ciudad y zonas aledañas, y en Instituciones no oficiales y viviendas particulares con el fin monitorear el comportamiento piezométrico en el área urbana, con énfasis en los sectores más afectados por los ascensos de niveles freáticos, a fin de obtener un modelo conceptual preliminar (cualitativo) del comportamiento hidrológico subterráneo.

Dado que la APA hubo realizado un sinnúmero de captaciones en la ciudad y sus alrededores con registro gráfico de sus valores, a su vez distribuidos de manera aleatoria en la misma, se procedió a la medida de los niveles freáticos de aquellas perforaciones accesibles y ubicadas en el área urbana y periférica de la ciudad de Santa Rosa (Figura 14).

Se censaron 148 perforaciones, 122 realizadas por APA, de las cuales 70 no fueron medidas por estar la cañería obstruida, sellada, o no haber podido ser localizada. Además se midió el nivel freático en 25 perforaciones no realizadas por APA ubicadas en viviendas particulares, clubes, parques, fábricas, hoteles e Instituciones Públicas. En la Tabla 2 se detallan las captaciones censadas con los niveles freáticos registrados en la actualidad, el nivel estático que presentaban en el año que fueron construidas (Fichas de pozos APA en Anexo II) y los niveles que tenían los primeros pozos realizados por Obras Sanitarias de la Nación localizados cerca de las captaciones medidas en este Proyecto (Anexo I, Mapa VIII- Fichas de Pozos OSN-1-39). En la Tabla 3 se enumeran las captaciones que no pudieron ser medidas por diversos motivos y en la Tabla 4 se señalan las perforaciones censadas que no fueron realizadas por APA.

El análisis de los resultados de las mediciones efectuadas muestra variaciones importantes. Dichas variaciones tienen dos vertientes. La primera es la

de aquellas fuentes explotadas hasta el cambio aproximadamente en 1988, que en todos los casos registraron descensos, algunos superiores a los 20 metros en relación a los niveles que presentaban pozos de OSN durante las décadas de 1940 a 1950 (v.gr. perforación en el Centro Cívico a 10 metros de Estación de Rebaje- N°15-Tabla 2. Ficha CAP54 Anexo II Figura 29).

Es menester señalar que donde actualmente se registran descensos es sólo en el sector Sudoeste y Este de la ciudad donde el suministro es a través de captaciones locales ya que no existe red de agua potable. El ejemplo está dado al Este por la perforación ubicada en el Club de Golf (N°22-Tabla 2. Ficha CAP127 Anexo II Figura 43) y al Sudoeste en los pozos localizados en Villa Parque Santillán (N°45-Tabla 2. Ficha CAP127 Anexo II Figura 91), Isla Soledad 135 y Club Rucalén (N°24-Tabla 2. Ficha CAP85 Anexo II Figura 47), todas ubicadas en las llamadas “zonas de quintas”. Esta última cabe destacar está más cercana al Barrio Lowo Ché y registra una explotación de 22 años con un descenso en el nivel observado de 12,48 m.

Por el contrario, la otra vertiente está representada por las 50 perforaciones realizadas por APA que han experimentado un considerable ascenso del nivel (en algunos casos más de 20 metros) en relación al año en que fueron construidas (entre los años 1981-1995). Prueba de ello está en la perforación localizada en la plaza San Martín (centro de la ciudad) (N°42-Tabla 2. Ficha CAP54 Anexo II Figura 83)., al igual que las de los Clubes All Boys (N°20-Tabla 2. Ficha CAP138 Anexo II Figura 39), Belgrano (N°21-Tabla 2. Ficha CAP47 Anexo II Figura 41), Estudiantes (N°23-Tabla 2. Ficha CAP24 Anexo II Figura 81) y Club Atlético Santa Rosa (N°25-Tabla 2. Ficha CAP139 Anexo II Figura 49). Lo mismo sucede en las perforaciones de la Sociedad Agrícola Ganadera (N°03-Tabla 2. Ficha CAP40 Anexo II Figura 05), Delegación de la Policía Federal (N°28-Tabla 2. Ficha CAP122 Anexo II Figura 55), Escuela de Policía (N°31-Tabla 2. Ficha CAP133 Anexo II Figura 61), Estadio Municipal (N°33-Tabla 2. Ficha CAP79 Anexo II Figura 65), y Ex Comando IV del Ejército (N°34-Tabla 2. Ficha CAP86 Anexo II Figura 67) por citar las más relevantes.

Fuera del radio urbano se han registrado también ascensos de los niveles freáticos en sitios como el Aeródromo (N°01-Tabla 2. Ficha CAP103 Anexo II Figura

01), Cementerio Parque (N°14-Tabla 2. Ficha CAP101 Anexo II Figura 27), Reserva Los Caldenes (N°47-Tabla 2. Anexo II Figura 95), y Predio de APANI (N°44-Tabla 2. Ficha CAP116 Anexo II Figura 87).

En la Plaza “Malvinas Argentinas” situada en el “Barrio Butaló” (N°05-Tabla 2. Ficha CAP60 Anexo II Figura 9), se evidencia con notoriedad el ascenso del nivel, a tal punto que se encuentra inundado el depósito de herramientas del placero. Allí el nivel en el año 1990 se encontraba por debajo de los 7,00 mts. y en la actualidad está a 1,25 mts. (Fotografías 16-17- Anexo III).

Asimismo, en la zona céntrica existen edificios con cocheras o subsuelos que mantienen los ambientes en condiciones de uso a través del bombeo tal es el caso de la Sede Central de la Universidad Nacional de La Pampa, Sede del Banco de La Pampa Casa Central, Instituto de Seguridad Social, Sede Regional del Distrito 21 de Vialidad Nacional y otros, incluidos particulares como El Complejo Habitacional Arcos del Sur (Av. Ameghino y Av. Circunvalación) en donde se han producido filtraciones en el subsuelo (Fotografías 110-113 Anexo III) debido a que el nivel freático en esa zona se encuentra en la actualidad a 3,45 mts., en contraste con el valor de 16,70 mts. registrados en el año 1992 en el predio lindante (Club Santa Rosa. Villa Santillan 2. N°47-Tabla 3. Ficha CAP82 Anexo II Figura 49).

Las distintas tareas realizadas obligaron a un recorrido del área urbana con cierto detalle para ubicar las perforaciones. Esto y durante la ejecución de los pozos de monitoreo permitieron detectar la presencia de abundantes pérdidas de conducción, tanto de agua de red como de líquidos cloacales. Las mismas se anexaron al mapa de mallas críticas de pérdidas de agua de red brindado por la Municipalidad al respecto y se presentan en el Mapa XIX (Anexo I), estimándose que enriquecen el mismo y brindan un panorama más amplio del estado general de las conducciones.

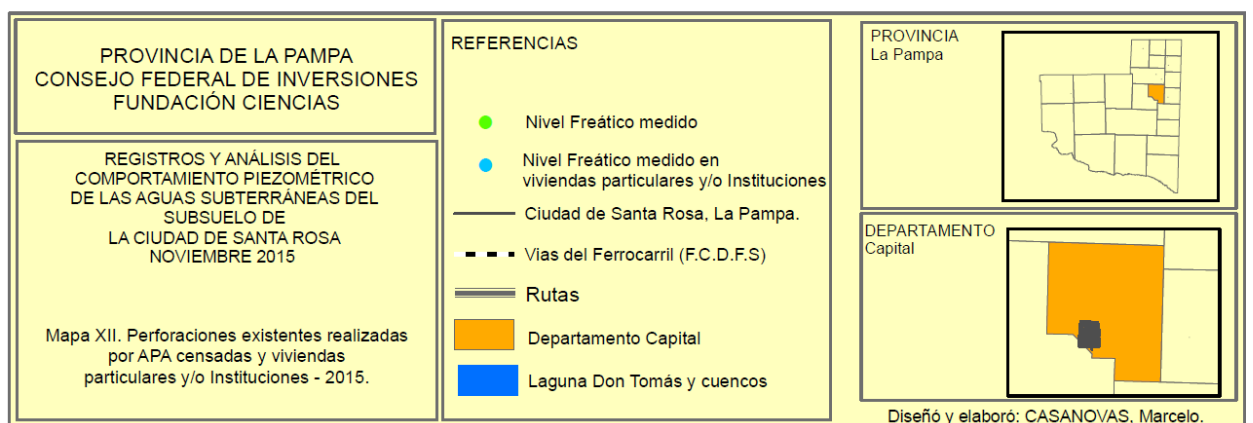
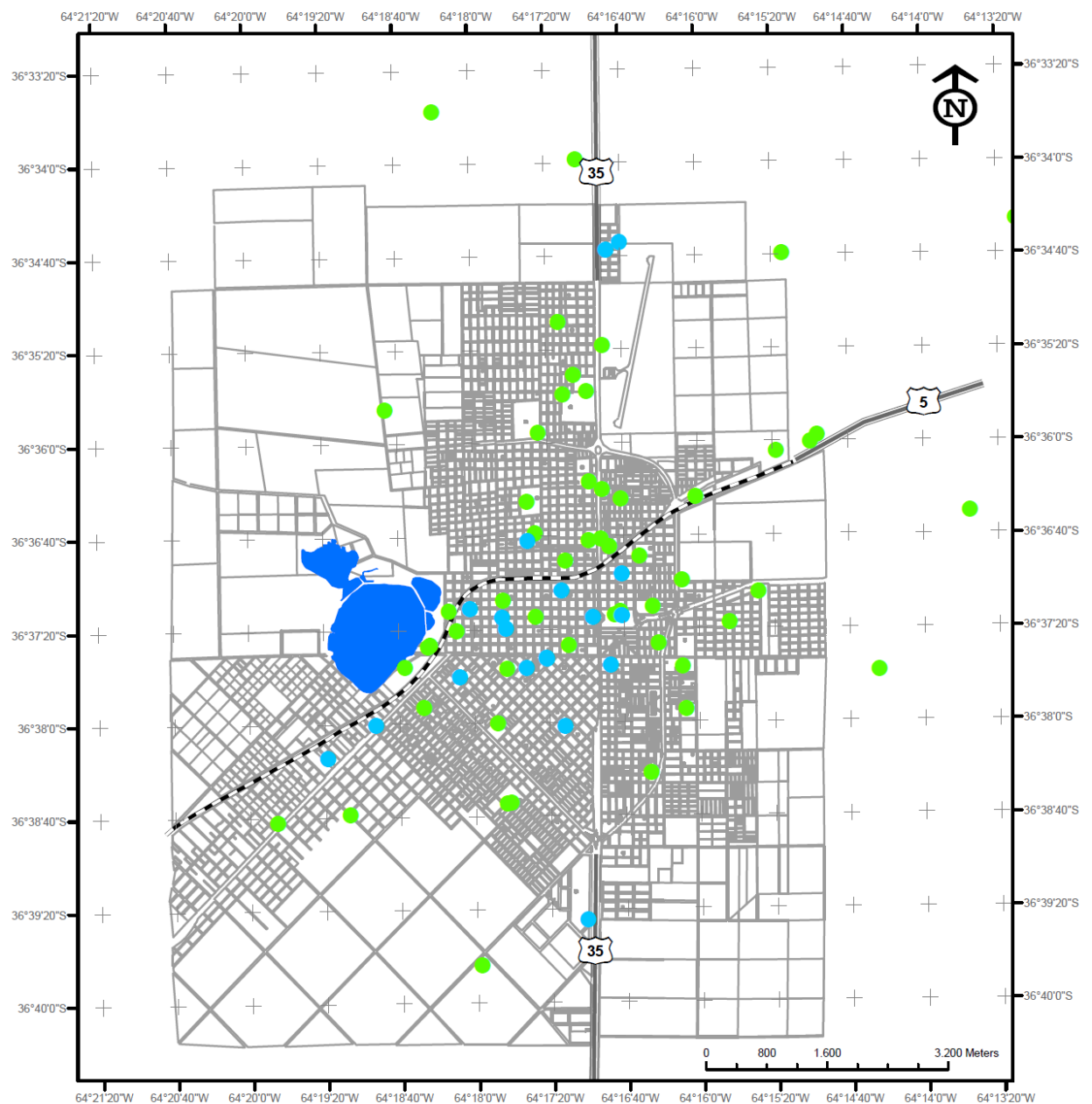


Figura 14. Perforaciones censadas en el área urbana y periférica de Santa Rosa en 2015.

Tabla 2. Perforaciones realizadas por APA a las que se les midió el nivel freático.

N° muestreo	Identificación APA	Descripción	Censo 2015 (m)	Año construcción pozo (m) y (año)	Pozo OSN cercano (m) y (año)
1	CAP 103	Aeródromo. Sta. Rosa	9,71	13,4 (1995)	-
2	CAP 109	APA calle Olascoaga	2,32	8,93 (1996)	5,55 (1948)
3	CAP 40	Asociación Agrícola Ganadera de Sta. Rosa	7,30	27,10 (1988)	11,55 (1950)
4	CAP 45	Barrio Aeropuerto II, Plaza Eduardo F. Molteni- Santa Rosa	7,40	19,43 (1989)	-
5	CAP 60	Barrio Butalo Plaza Malvinas Argentinas	1,00	7,00 (1990)	-
6	CAP 68	Barrio Los Hornos Perf. N°1	19,51	20,57 (1991)	-
7	CAP 125	Barrio Malvinas Argentinas - Fortineras- Padre Gresich	4,55	12,4 (2004)	-
8	CAP 30	Barrio Villa Elvina. Escuela 218. Sta. Rosa	33,06	50,00 (1985)	26,60 (1925)
9	Informe	Borde Pileta de Natación "Parque Don Tomás"	2,49	-	-
10	CAP 140	Camara de Diputados Sta. Rosa	20,23	25,24 (2010)	17,90 (1954)
11	CAP 104	Cancha "Club Atlético All Boys". Av. Spinetto	8,69	18,60 (1995)	11,55 (1950)
12	CAP 115	Cancha de rugby de la Universidad Ex Club de Planeadores	25,42	25,91 (1996)	-
13	CAP 63	Casa de retiros espirituales Nazareth N°2	26,83	29,34 (1990)	-
14	CAP 101	Cementerio Parque	36,30	44,05 (1995)	-
15	CAP 54	Centro Civico a 10 mts Estación de Rebaje	17,26	45,50 (1988)	17,90 (1954)
16	CAP 57	Centro de Empleados de comercio N° 1 - Santa Rosa	3,18	8,89 (1990)	-
17	CAP 58	Centro Empleados de Comercio N° 2 - Santa Rosa	3,30	11,55 (1990)	-
18	CAP 95	Círculo de Sub Oficiales - Policía Federal	6,89	9,78 (1994)	-
19	CAP 50	Círculo Suboficiales Servicio Penitenciario Federal	30,91	32,15 (1989)	-
20	CAP 138	Club All Boys Perf N° 2. Av. Espinetto	8,09	9,88 (2008)	11,55 (1950)
21	CAP 47	Club Belgrano. Santa Rosa	14,50	31,66 (1989)	15,4 (1953)
22	CAP 90	Club de Golf Santa Rosa	24,80	24,4 (1994)	-
23	CAP 24	Club Estudiantes. Sta. Rosa	9,40	34,42 (1984)	9,65 (1943)
24	CAP 85	Club Rucalen (I.P.A.V)	26,48	14,00 (1993)	-
25	CAP 139	Club Sta Rosa, Ameghino y Jose Luro	3,45	6,94 (2009)	-
26	CAP 97	Colonia Penal U4; Círculo sub oficiales S.P.F	26,10	36,10 (2010)	-
27	CAP 89	Comunidad Ruca Antun (Hoy UNLPam-Pabellon Sur)	31,20	33,30 (1994)	-
28	CAP 122	Delegación Policía Federal	27,97	48,50 (2004)	28,00 (1958)
29	CAP 130	Edificio A.P.A Quintana y Villegas	4,20	7,95 (2007)	5,80 (1947)
30	CAP 131	Escuela Agrotécnica Santa Rosa	19,71	18,5 (2001)	-
31	CAP 133	Escuela de Policía, Av. Belgrano	26,00	40,89 (2007)	28,00 (1958)
32	CAP 129	Escuela N° 4 " Coronel Remigio Gil"; Sta. Rosa	6,55	13,22 (2007)	11,55 (1950)
33	CAP 79	Estadio Municipal "Tomas M. Gonzalez"	4,62	28,90 (1981)	5,55 (1948)
34	CAP 86	Ex comando IV, Ejercito (Ex escuela hogar)	3,04	15,00 (1994)	8,50 (1949)
35	CAP 84	Fundación Nuestros Pibes	27,45	26,20 (1994)	28,20 (1930)
36	CAP 51	Futura casa de Ejercicios Espirituales (Obispado)	26,80	29,34 (1990)	-
37	CAP 53	Ex Gendarmería Nacional - Avda Spinetto y Carlos Gardel	5,68	18,00 (1987)	11,55 (1950)
38	CAP 52	Hospital "Lucio Molas". Sta. Rosa	12,60	22,80 (1988)	-
39	CAP 59	Mutual del Círculo Policial/Col. Escalante	13,29	32,00 (1990)	-
40	CAP 14	Natatorio Municipal (Santa Rosa)	1,92	5,00 (1977)	-
41	Informe	Pista de Atletismo "Parque Don Tomás"	1,60	S/D	-
42	CAP 62	Plaza San Martin - Frente Municipalidad	5,10	24,5 (1992)	5,55 (1943)
43	CAP 136	Predio Agrupación Tradicionalista El Indio	26,10	28,60 (2007)	-
44	CAP 116	Predio Asociacion Protectora de Animales (APANI)	12,28	13,60 (1999)	-
45	CAP 127	Predio Comisión Vecinal Villa Parque Santillan - Santa Rosa	18,45	15,10 (2005)	-
46	CAP 106	Predio del Grupo Scout "San Francisco de Asís"	13,21	18,30 (1996)	-
47	Informe	Reserva Los Caldenes	23,20	23,30	-
48	CAP 31	Residencia Gobernador	13,10	20,50 (1986)	-
49	CAP 49	Sindicato Personal de Obras Sanitarias	33,20	44,12 (1989)	26,00 (1925)
50	CAP 120	Unidad Penal 13 - Serv. Penitenciario. Alvear 351 Sta Ros	7,23	18,50 (2000)	8,90 (1943)
51	CAP 134	Vialidad provincial Calle Víctor Arriaga	14,13	17,87 (2008)	-
52	CAP 121	Villa Amalia. Escuela Directores Tecnico de Futbol	35,5	35,80 (2001)	-

Tabla 3. Perforaciones realizadas por APA cuyo nivel freático no pudo ser medido por estar la cañería sellada, obstruida o no haber sido localizadas.

N° muestreo	Identificación APA	Descripción	Año construcción pozo (m) y (año)	Pozo OSN cercano (m) y (año)
1	CAP29	Albergue de Tránsito y Diagnóstico Calle Pio XII	18,70 (1985)	
2	CAP22	Autódromo del Aeroclub Pampeano. Sta. Rosa	22,50 (1987)	
3	CAP105	Avda San Martín N° 435 Ed. Centenario	32,00 (1991)	(11,05 (1946)
4	CAP 99	Avellaneda y vías Ferrocarril	19,20 (1995)	5,80 (1948)
5	CAP81	Barrio Aeropuerto , entre Calles Gardel y Laferrere	18,30 (1995)	
6	CAP46	Barrio Aeropuerto	21,28 (1989)	
7	CAP33	Barrio EPAM (Calles: Bermejo-Estrada-Paraná)	24,70 (1987)	
8	CAP27	Barrio EPAM escuela	21,10 (1984)	
9	CAP41	Barrio FONAVI XXV	15,57	
10	CAP 135	Barrio Las Artes. SUM	13,19 (2004)	
11	CAP119	Barrio Sur (5000); H. Del Carril y Gral Acha	12,60 (2000)	
12	CAP105	Borde este Laguna "Don Tomás"	5,24 (1995)	
13	CAP80	Calle Parana y calle Antartida Argentina, Sta. Rosa	24,70 (1992)	
14	CAP72	Calle Vecinal Nandú, entre Telen y Perón	18,94 (1991)	
15	CAP71	Calle Vecinal R. Balbin entre calles Telen y Peron	14,20 (1991)	
16	CAP73	Calle Vecinal Balbin y Telén	17,70 (1991)	
17	CAP66	Calle Yapeyu entre Carripilon y S/N - Barrio Norte	3,00 (1991)	
18	CAP124	Cámara de Diputados	33,70 (2004)	(17,90 (1954)
19	CAP118	Campo Hípico La Esperanza. Circunvalacion Este	26,00 (1999)	
20	CAP69	Campo Sr. Alonso. Est.1	23,24 (1991)	
21	CAP70	Campo Sr. Alonso. Est.2	25,62 (1991)	
22	CAP26	Centro Cívico. Sta. Rosa	41,00 (1984)	
23	CAP92	Centro comunitario de Villa Germinal	13,30 (1994)	
24	CAP48	Centro Polideportivo Aeropuerto, Santa Rosa	18,88 (1989)	
25	CAP42	Circuito Diogenes (Villa Parque I)	11,00 (-)	
26	CAP 91	Circulo de Oficiales Pol. Provincial)	48,60 (1994)	28,00 (1958)
27	-	Club Allboys 2009	2009	
28	CAP44	Club Banco Pampa Santa Rosa	39,00 (1988)	
29	-	Club Belgrano 2009	20,02 (2009)	
30	CAP126	Club Santa Rosa Rugby	30,40 (2005)	
31	CAP82	Club Santa Rosa Villa Santillan P2	16,70 (1992)	
32	CAP76	Colegio IPEM	21,14 (1992)	
33	CAP96	Colonia Penal U 4; Polideportivo Antonio Varas	37,00 (1994)	29,40 (1971)
34	CAP04	Colonia Penal U4. Sta. Rosa	25,00 (1972)	29,40 (1971)
35	CAP23	Correccional de menores Raúl Alfonsín	27,20 (1983)	
36	CAP55	Escuela Agrotecnica (Hoy U.L.Pam. Pabellon Sur)	33,30 (1989)	
37	CAP75	Escuela N° 105 (Pilcomayo y Stieben Epam 2)	21,10 (1992)	
38	CAP83	Escuela N° 38. Sobre calle S. Piregne	19,45 (1992)	
39	-	Escuela N° 1 Sta. Rosa	18,80 (1995)	5,55 (1948)
40	CAP38	Ex Club San Martín (Colonia Escalante) Santa Rosa	22,70 (1989)	
41	CAP94	Ex escuela de "Roger Ballet"	46,00 (1994)	28,00 (1958)
44	CAP8	Facultad de Agronomía (I). Sta. Rosa	33,00 (1974)	
42	CAP9	Facultad de Agronomía (II). Sta. Rosa	32,00 (1974)	
43	CAP12	Facultad de Agronomía III. Sta. Rosa	31,00 (1975)	
45	CAP2	Facultad de Agronomía. Sta. Rosa	34,70 (1978)	
46	CAP107	Finca de la Gobernación, al lado del portón de acero	18,07 (1995)	
47	CAP10	Futura estación S.R.F.C.S. Sta. Rosa	18,00 (1975)	
48	CAP17	Instituto de Prevención Social. Sta. Rosa (RN5)	18,75 (-)	
49	CAP32	Instituto de Prevención Social. Sta. Rosa	39,00 (1986)	
50	CAP108	Monasterio "Santa María de La Pampa"	32,30 (1996)	
51	CAP 93	Monoblock de los funcionarios	43,80 (1994)	28,00 (1958)
52	CAP56	Mutual Banco Pampa	25,45 (1988)	
53	CAP05	Parque Industrial I. Sta. Rosa	15,50 (1974)	
54	CAP06	Parque Industrial II. Sta. Rosa	18,95 (-)	
55	CAP1	Parque Laguna Don Tomás. Sta. Rosa	6,30 (-)	
56	CAP132	Parroquia del Barrio "Las Artes"	14,89 (2007)	
57	CAP 100	Pista de patinaje. calle 1 de mayo	20,80 (1995)	5,80 (1948)
58	CAP61	Pista Speedway y Karting	21,50 (1990)	
59	CAP64	Plan viviendas progresivas - Villa Uhalde	25,45 (1990)	
60	CAP128	Plaza Barrio 5000	8,00 (2006)	
61	02D12/39Ep	Plazoleta Plan 3000	2010	
62	-	PolidePortivo Río Atuel	2010	
63	CAP37	Subestación de Rebaje APE / 2,2 E-NE. Sta Rosa	31,57 (1988)	
64	CAP28	Vialidad provincial	17,80 (1985)	
65	CAP21	Vialidad Ruta a Toay. Sta. Rosa	6,20 (1981)	
66	CAP77	Villa Bezares Cooperativas de viviendas Sta. Rosa	18,45 (1992)	
67	CAP39	Villa Germinal-Noroeste-Huerta Comunitaria-Santa Rosa	17,95 (1989)	
68	CAP43	Villa Parque II	12,60 (1986)	
69	CAP110	Villa Parque. Santa Rosa. Pozo Explotación N° 1(bis)	26,00 (1996)	
70	CAP 98	Villegas y vías del Ferrocarril.	13,80 (1995)	5,80 (1948)

Tabla 4. Perforaciones no realizadas por APA, a las que se les midió el nivel freático. Ubicadas en viviendas particulares, clubes, parques, fábricas, hoteles e Instituciones Públicas.

N° muestreo	Identificación APA	Descripción	Censo 2015 (m)	Año construcción pozo (m) y (año)	Pozo OSN cercano (m) y (año)
1	Bomba Rotativa	Barrio Aeropuerto I Tanque elevado	1,28	-	-
2	Bomba Sumergible	Camara de Diputados y STJ	28,57	33,70 (2004) cercano	-
3	Bomba Sumergible	Cancha de Softball "Parque Don Tomás"	1,16	-	-
4	Bomba Sumergible	Club All Boys cancha de Basquet. Hilario Lagos 400	9,87	-	-
5	Bomba Sumergible	Edificio Vialidad Nacional. Villegas y Juan B. Justo	3,47	-	5,55 (1943)
6	Bomba Sumergible	Hotel Calfucurá. Av. San Martín y Urquiza	12,62	-	-
7	Bomba Sumergible	"Lavadero Lumi" Avenida San Martín Oeste 120	4,60	-	5,55 (1943)
8	Bomba Sumergible	Parque Oliver. Calle L.V. Mansilla y Moreno	6,80	-	8,90 (1943)
9	Bomba Sumergible	Parque Industrial- Ingeniería Química RN35, Km 323,5	12,72	-	-
10	Bomba Sumergible	Prado Español. 9 de Julio y Ayala	3,30	-	4,40 (1946)
11	Bomba Sumergible	Predio Hospital de Alta Complejidad	13,30	-	-
12	Bomba Rotativa	Vialidad Provincial Asunción del Paraguay	7,65	-	-
13	Bomba Sumergible	Vivienda particular. Colombia 1230	2,60	-	-
14	Bomba Sumergible	Vivienda de particular. Independencia 137	18,50	-	-
15	Bomba Sumergible	Vivienda de particular. Avenida Perón 2244	4,75	-	-
16	Bomba Sumergible	Vivienda de particular. Isla Soledad 135	17,40	2,40 (1984)- 15,40 (2013)	-
17	Bomba Sumergible	Vivienda de particular. Entre Ríos 253	13,6	-	15,40 (1953)
18	Bomba Sumergible	Vivienda de particular. B° Las Artes. Goya y Velazquez	14,31	-	-
19	Bomba Sumergible	Vivienda de particular. B° Las Artes. Da Vinci y Dalí	12,85	-	-
20	Bomba Sumergible	Vivienda de particular. Roque S. Peña 834	6,10	-	9,65 (1951)
21	Bomba Sumergible	Vivienda de particular. Roque S. Peña 816	6,55	-	9,65 (1951)
22	Bombeador	Vivienda de particular. Pestalozzi 775	7,00	-	14,20 ()
23	Bombeador	Vivienda de particular. Perú 525	4,80	-	9,65 (1945)
24	Bomba Sumergible	Vivienda de particular. Av. San Martín 185	5,60	-	5,55 (1943)
25	Bomba Sumergible	Vivienda de particular. Av. San Martín 654	12,70	-	11,05 (1946)
26	Bomba Sumergible	Vivienda de particular. B° Villa Parque	15,40	-	-

4.1.1. Análisis de la piezometría observada

El análisis de los datos obtenidos en el censo hidrogeológico de este trabajo muestra cambios que influyen, tanto en el diseño aproximado de las isolíneas, como en el desarrollo general de la piezometría (Anexo I Mapa XIII), especialmente comparado con la carta similar desarrollada por J. Tullio en el año 2010 (Anexo I Mapa II). Aunque en parte de la misma contenga datos históricos es menester señalar las distintas relaciones:

En la figura 15 se observa, en primer lugar, los altos piezométricos del sector norte, de carácter regional, se conservan pero con mayor altura y con descenso hídrico para el sector considerado de desarrollo paralelo a subparalelo, distinto del anterior, que estaba probablemente influenciado por la extracción, fenómeno que hoy, en general, no tiene lugar. Por otra parte las mismas han avanzado sobre la vaguada norte (descrito en el tópico de geomorfología) como sobre otras depresiones existentes. La isopieza de 168 mts. supera la traza del Ferrocarril en el sector central de la ciudad, que registraba unos 10 mts. menos de altura piezométrica aproximadamente en la carta precitada.

Por el Sur de la ciudad, lo que podría haberse llamado Alto Piezométrico del Butaló y su prolongación Sureste se ha ampliado y elevado varios metros,

transformándose en un centro de dispersión de aguas, que por el Norte llega hasta el área central de la ciudad dejando entre ella y el alto norte una vaguada con doble pendiente, la occidental hacia la laguna Don Tomás (de carácter natural) y la oriental con dos focos o centros a saber: el Norte ubicado en el área de la Cámara de Diputados y Casa de Gobierno (otrora grandes centros de consumo) y otro inmediatamente al Sureste de aquel correspondiente al área original de extracción de Obras Sanitarias de la Nación , prestadora del servicio. Es decir ambas de origen antrópico.

Al oeste del PM 34 y al Sur de la laguna se desarrolla una depresión que ya existía en la carta del año 2010, aunque otrora no señalada por la amplitud de la interpolación.

Se estima que la transformación de las isopiezas del sector Sureste del Barrio Butaló y el mismo al igual que Villa Parque tienen carácter antrópico. Es probable que todo el rediseño de las isoconas de la zona Sur de la ciudad tenga el mismo carácter (acción humana), habida cuenta de los resultados de los análisis químicos que muestran contaminación en nitritos (lo cual es intrínsecamente moderna), nitratos (antigua) que demostrarían una interacción con las cloacas.

Como conclusión, puede referirse que la modificación del trazado actual de las isopiezas en el área sur de la ciudad está afectando al área central de la misma. Las situaciones puntuales se repiten en positivo negativo en el resto del área cartografiada.

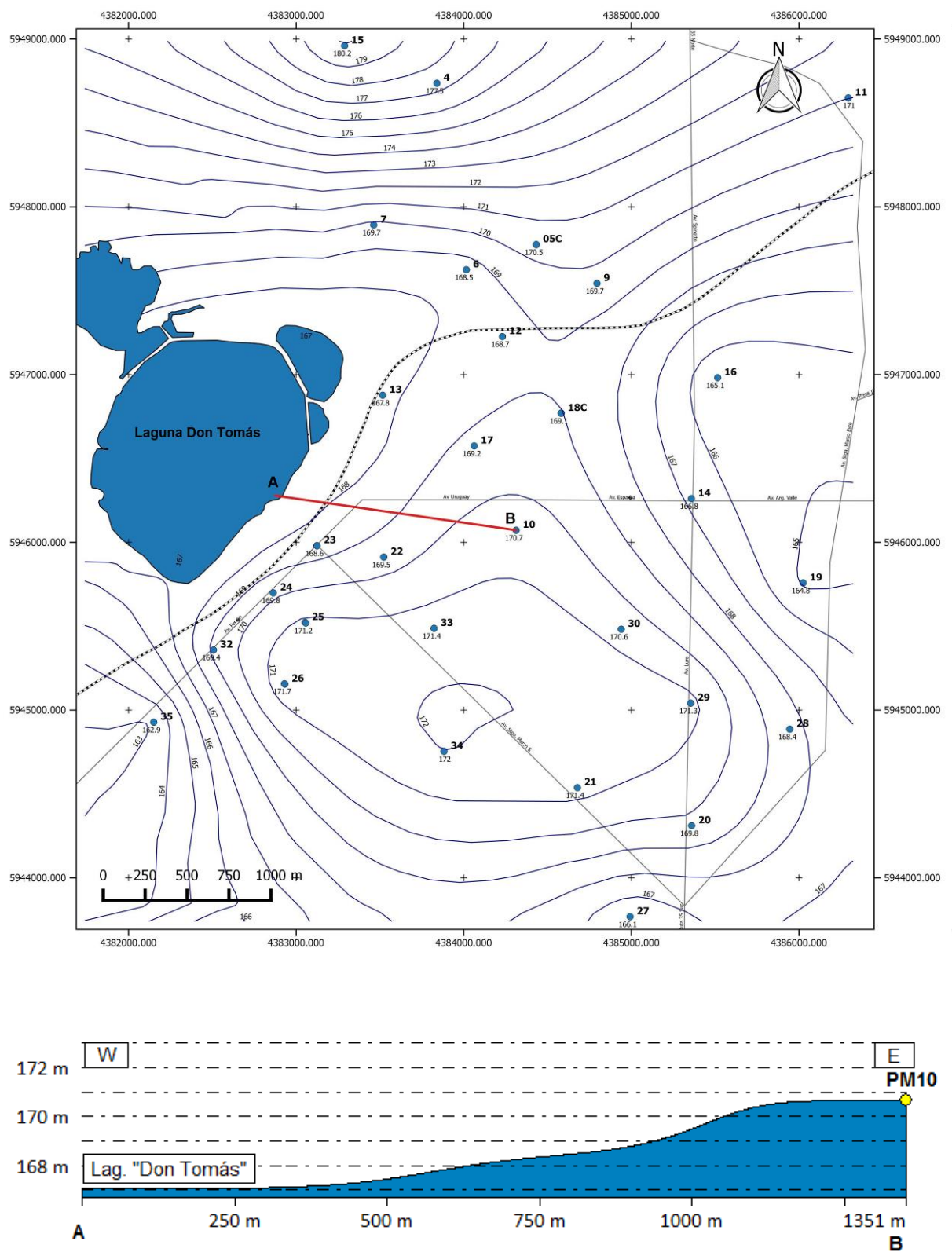


Figura 15. Mapa de piezometría y perfil A-B.

4.2. Construcción de freatímetros.

Para realizar un adecuado control de los niveles de las aguas subterráneas, se propuso inicialmente una cantidad de perforaciones para el monitoreo de los niveles freáticos. Esta propuesta, en cuanto a número de pozos y ubicación, tuvo cambios por incidencia de varios factores como ser, accesibilidad de la locación propuesta, presencia de intersecciones, riesgo de vandalismo, riesgo para peatones y/o vehículos, presencia de otro punto de control accesible en espacio público cercano y determinación de los recortes de perforación *in situ* (cutting) a fin de detectar sustratos acuitados.

Para su efectivización se adoptó el protocolo de construcción propuesto (Figura 16) con algunas modificaciones que surgieron de la capacidad del equipo de perforación contratado, pero tratando de evitar mezcla cruzada de parámetros químicos y dinámicos (ver Fichas de diseño de pozos Anexo I Fichas 1-36).

Se realizaron treinta y seis perforaciones, de las cuales seis estuvieron destinadas al estudio de la porción superior del acuífero freático en las áreas críticas, además en cercanía de las mismas se ubicaron otras seis con un alcance más profundo teniendo la precaución de aislar hidráulicamente la porción superior de la zona saturada. El resto de las perforaciones, tuvieron un diseño simple sin aislar la sección superior. El detalle de las coordenadas y cotas registradas de los pozos de monitoreo (PM) se presentan en la Tabla 5 (Anexo I).

Las primeras perforaciones permitieron adecuar el protocolo propuesto y asegurar los objetivos planteados. Se modificaron algunos procedimientos técnicos en la perforación, con la siguiente metodología:

- 1.- Conocimiento previo de la locación a perforar, incluyendo antecedentes en litología y nivel freático. Cuando fue posible se consultaron y midieron niveles freáticos en domicilios particulares cercanos.
- 2.- En las zonas con antecedentes de un sustrato arcilloso en el “post-pampeano”, se perforó la etapa inicial de 150 mm con precaución y observación detallada *in situ* de las muestras, con el objetivo de identificar y mensurar dicho sustrato.

Tabla 5. Coordenadas y cotas registradas de los pozos de monitoreo (PM)

PM (n°)	X (Gauss-Krüger)	Y (Gauss-Krüger)	Latitud	Longitud	Cota (m)	Altura de la cámara (m)	Espeor de tapa-reja (m)	Altura de referencia (m)	Nivel estático NE (m)	Nivel dinámico ND (m)	Cota de referencia (m)	Cota de NE (m)	Cota de ND (m)
4	5948736,916	4383839,865	-36,361047	-64,175369	189,901	0,17	0,04	0,13	12,55	15,80	190,031	177,481	174,23
5	5947774,453	4384432,899	-36,364194	-64,173035	172,131	0,18	0,03	0,15	1,82	5,11	172,281	170,461	167,17
05C	5947775,564	4384433,004	-36,364190	-64,173035	172,129	0,17	0,05	0,12	1,82	3,29	172,249	170,429	168,96
6	5947624,946	4384015,692	-36,364661	-64,174722	168,988	0,17	0,04	0,13	0,66	9,00	169,118	168,458	160,12
7	5947891,658	4383462,981	-36,363771	-64,180931	171,76	0,15	0,02	0,13	2,15	4,60	171,890	169,740	167,29
9	5947543,764	4384795,371	-36,364958	-64,171590	175,073	0,1	0,03	0,07	5,40	13,50	175,143	169,743	161,64
10	5946072,17	4384312,97	-36,373710	-64,173610	175,021	0,2	0,04	0,16	4,52	15,70	175,181	170,661	159,48
11	5948649,275	4386294,734	-36,361437	-64,161498	181,82	0,22	0,02	0,2	11,02	17,00	182,020	171,000	165,02
12	5947226,835	4384230,955	-36,365961	-64,173877	172,72	0,16	0,03	0,13	4,18	8,80	172,850	168,670	164,05
13	5946877,113	4383516,300	-36,371064	-64,180772	169,932	0,22	0,03	0,19	2,30	8,41	170,122	167,822	161,71
14	5946260,669	4385358,801	-36,373144	-64,165392	178,995	0,1	0,03	0,07	12,28	17,00	179,065	166,785	162,07
15	5948960,367	4383289,178	-36,360298	-64,181572	188,026	0,17	0,04	0,13	8,00	12,00	188,156	180,156	176,16
16	5946981,644	4385515,446	-36,370812	-64,164723	179,134	0,12	0,01	0,11	14,10	20,10	179,244	165,144	159,14
17	5946574,690	4384062,672	-36,372069	-64,174590	172,423	0,2	0	0	3,21	12,17	172,423	169,213	160,25
18	5946770,445	4384582,086	-36,371457	-64,172489	174,26	0,2	0,03	0,17	5,38	7,97	174,430	169,050	166,46
18C	5946769,038	4384581,757	-36,371461	-64,172491	174,276	0,18	0,03	0,15	5,36	7,00	174,426	169,066	167,43
19	5945758,029	4386025,667	-36,374803	-64,162735	184,743	0,2	0,03	0,17	20,10	S/D	184,913	164,813	S/D
20	5944310,751	4385360,136	-36,383468	-64,165491	176,07	0,12	0,04	0,08	6,33	17,50	176,150	169,820	158,65
21	5944537,342	4384678,658	-36,382704	-64,172221	176,472	0,16	0,03	0,13	5,23	10,36	176,602	171,372	166,24
22	5945911,878	4383523,419	-36,374195	-64,180796	171,997	0,26	0,03	0,23	2,75	7,00	172,227	169,477	165,23
22C	5945911,916	4383522,346	-36,374195	-64,180800	172,024	0,22	0,03	0,19	2,73	5,80	172,214	169,484	166,41
23	5945980,112	4383123,837	-36,373956	-64,182400	170,914	0,23	0,04	0,19	2,52	5,00	171,104	168,584	166,10
23C	5945978,719	4383124,472	-36,373961	-64,182397	170,908	0,22	0,04	0,18	2,65	4,68	171,088	168,438	166,41
24	5945698,866	4382863,490	-36,374857	-64,183463	171,48	0,23	0,04	0,19	1,85	7,00	171,670	169,820	164,67
25	5945522,144	4383053,840	-36,375438	-64,182707	171,97	0,19	0,03	0,16	0,89	5,07	172,130	171,240	167,06
25C	5945518,718	4383057,607	-36,375450	-64,182692	171,97	0,23	0,03	0,2	1,01	3,16	172,170	171,160	169,01
26	5945154,854	4382932,485	-36,380624	-64,183215	173,53	0,22	0,03	0,19	1,99	10,50	173,720	171,730	163,22
26C	5945156,715	4382930,352	-36,380618	-64,183224	173,43	0,18	0,03	0,15	1,92	6,85	173,580	171,660	166,73
27	5943768,163	4384992,768	-36,385212	-64,170999	174,002	0	0	-0,1	8,02	15,30	173,902	165,882	158,60
28	5944886,034	4385945,796	-36,381628	-64,163103	179,054	0,16	0,03	0,13	10,79	17,00	179,184	168,394	162,18
29	5945040,930	4385354,527	-36,381100	-64,165474	177,446	0,16	0,04	0,12	6,24	11,10	177,566	171,326	166,47
30	5945481,921	4384940,121	-36,375652	-64,171118	178,617	0,14	0,03	0,11	8,13	11,84	178,727	170,597	166,89
32	5945358,030	4382506,874	-36,375946	-64,184917	172,87	0,29	0,04	0,25	3,74	9,10	173,120	169,380	164,02
33	5945486,901	4383822,863	-36,375587	-64,175614	174,04	0,16	0,03	0,13	2,75	4,22	174,170	171,420	169,95
34	5944753,445	4383882,414	-36,381968	-64,175414	175,024	0,12	0,04	0,08	3,06	7,46	175,104	172,044	167,64
35	5944927,514	4382150,375	-36,381327	-64,190375	174,569	0,23	0,04	0,19	11,86	22,75	174,759	162,899	152,01

Propuesta de diseño para los pozos de monitoreo

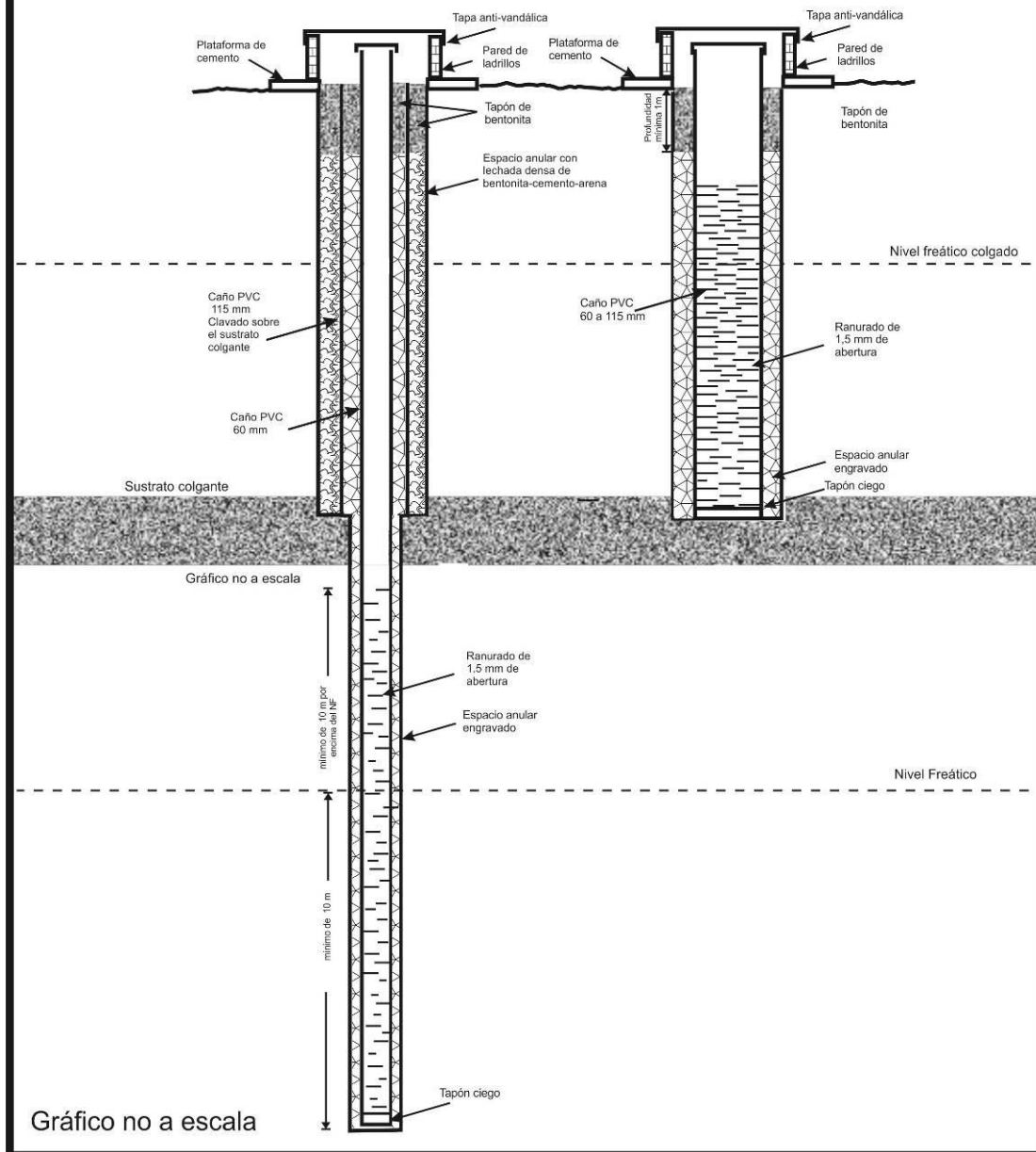


Figura 16. Diseño de pozos de monitoreo (PM).

Esto permitió agilizar y tomar decisiones rápidas sobre la conveniencia (o no) de la realización de pozos de monitoreo profundo (PM “X”) y someros (PM “Xc”). Para ello se perforó con un trépano de doble configuración, una cabeza inferior de 110 mm de diámetro y un ensanchador de 150 mm (Fotografía 12).

3.- En la construcción del pozo “X” en vecindad de un “Xc”, se tuvo especial cuidado en tratar de evitar la conexión hidráulica directa entre en agua superior e inferior. La aislación hidráulica tiene por objetivo evitar contaminación cruzada del nivel superior al inferior durante la depresión del acuífero durante el bombeo, lo que redonda un correcto muestreo de ambos niveles, para ello:

a.- Se perforó hasta el tope del sustrato colgante, y en otros casos (dependiendo del espesor de arenas) se llegó hasta el tope de la Fm, Cerro Azul a fin de asegurar la aislación.

b.- Se extrajo la cañería de perforación y removi6 el ensanchador de 150 mm. Se continu6 perforando con el trépano de 110 mm hasta profundidad final, la cual se estim6 en funci6n de los antecedentes analizados.

d.- Se lav6 el pozo y entub6 la porci6n superior con ca6o tipo pocero de 115 mm (sin ranurar) colocando en la punta de la cañería una cupla con el extremo superior ensanchado c6nicamente, a fin de que actúe como empaquetadura en el pasaje de los diámetros 150-110 mm.

e.- Se procedió a aislar el espacio anular con lechada de cemento, bentonita y un 20 % de arena, mediante el vertido directo, tratando de que la misma llegue al menos hasta un metro por debajo de la superficie. Posteriormente se coloc6 una mezcla de bentonita y suelo por debajo de la c6mara de inspecci6n.

f.- A continuaci6n se entub6 la secci6n inferior con cañería de 90 mm (excepto el primero pozo profundo realizado, el PM 22, que fue entubado con 60 mm). La cañería se emplaz6 ranurada desde fondo hasta la cañería aislante de 115 mm, siendo el tramo superior ciego. Posteriormente se procedió a engravar el ca6o de 90 mm hasta la superficie con grava 2-4 mm.

g.- Se cortaron los ca6os de revestimiento a una altura prudencial sobre el terreno (entre 5 y 10 cm), Se coloc6 un tap6n superior de PVC, y emplaz6 la c6mara de inspecci6n construida con un ca6o de acero, y tapa removible, dise6ado para proteger el pozo de actos vand6licos.

h.- Por último se desarrolló la perforación por al menos 3 hrs de bombeo, hasta lograr agua cristalina.

4.- La construcción del pozo de control somero “Xc”, se realizó hasta el nivel de cambio de diámetro (de 150-110 mm) del pozo “X” contiguo. Para asegurar el correcto muestreo de todo el nivel superior, el procedimiento adoptado fue el siguiente:

a.- Se perforó con trépano de 110mm y ensanchador de 150 mm hasta, o próximo, al cambio de diámetro del pozo “X” aledaño.

b.- Se lavó y entubó la perforación con caño pocero de 115 m, ranurado hasta casi superficie. Engravó el espacio anular y colocó tapón de bentonita en la sección superficial.

c.- Al igual que en las otras perforaciones, se colocó caño de acero de protección anti vandálica, y posteriormente se desarrolló mediante bombeo hasta obtener una muestra de agua cristalina.

5.- Cuando en la observación del recorte *in situ* (cutting), no se detectó la presencia de un sustrato arcilloso en las arenas superiores que actuara como sustrato colgante o acuitardo, se consideró innecesaria la realización de la perforación con dos diámetros y dos cañerías distintas, por lo que el procedimiento adoptado fue el siguiente:

a.- No se efectuó el cambio de diámetro (remoción del ensanchador de 150 mm), perforando hasta la profundidad programada con ambos cortadores.

b.- A profundidad final, se lavó la perforación, retiro cañería y procedió a entubar con caño pocero de 115 mm ranurado según el espesor de la zona saturada perforada (ZS).

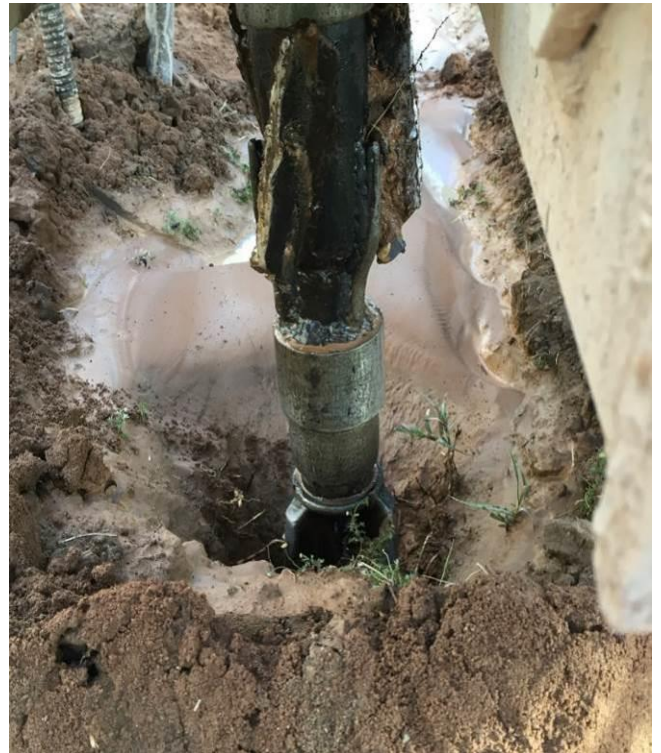
c.- Se engravó hasta superficie el espacio anular, colocando una lechada de tapón de bentonita en el anular superior. Al igual que el resto de las perforaciones, colocó tapa de PVC, protección anti-vandálica y desarrolló la perforación por bombeo.

En todos los casos las perforaciones quedaron identificadas exteriormente por sus siglas (por ejemplo: APA 22, APA 22c) con el fin de identificar el dominio y número de cada pozo de monitoreo).

Para la documentación de los procedimientos se registraron un sinnúmero de fotos digitales, las cuales comprenden la secuencia de Fotografías 11 a 41.



Fotografía 11. Preparación de la locación para perforar



Fotografía 12. Trépano de 115 mm con ensanchador a 150 mm.



Fotografía 13. Recolección de muestras de canaleta.



Fotografía 14. Recolección y envasado de cutting.



Fotografía 15. Tamizado, limpieza, embolsado y etiquetado de las muestras.



Fotografía 16. Preparación de cañerías de revestimiento (en verde: 115 mm, azul: 90 mm).



Fotografía 17. Lavado de la perforación antes de bajar tubería de 115 m (caño pocero).



Fotografía 18. Entubado de revestimiento ciego (aislación de nivel arenoso superior).



Fotografía 19. Pegado y descenso de cañería de 90 mm en pozos largos con aislación de las arenas superiores.



Fotografía 20. Preparación de la lechada de cemento, bentonita y arena. En el extremo inferior se divisan los extremos de las dos cañerías.



Fotografía 21. Vertido de la lechada en pozos con doble entubado. En primer plano se observa el pozo “Xc” realizado anteriormente, con su respectiva protección.



Fotografía 22. Pozo de doble revestimiento cementado y engravado el tramo de 90 mm, listo para colocar la protección superior.



Fotografía 23. Pozo lavado y listo para entubar cañería filtrante de 115 mm. En primer plano se observa el caño inferior con extremo cerrado.



Fotografía 24. Engravado de pozo "X". Note la reacción surgente generada por el desbalance de densidades por incorporación de la grava (en caída) dentro del espacio anular.



Fotografía 25. Engravado de pozo “X”.



Fotografía 26. Engravado de un pozo “X” con cañería de 115 mm. Note la reacción surgente generada por el desbalance de densidades por incorporación de la grava (en caída) dentro del espacio anular.



Fotografía 27. Engravado final de pozo “X” con cañería de 115 mm. Note que el pozo no surge, ya que la grava ha descendido y asentado, logrando el equilibrio hidrodinámico entre los espacios anular e interior.



Fotografía 28. Colocación de la cámara de protección, previo a su fijación con concreto portland. Se observa el tapón de bentonita en el espacio anular.



Fotografía 29. Pozo de cañería doble cementado listo para su limpieza, y pozo abierto de un corto ("Xc"), perforado, lavado y listo para entubar.



Fotografía 30. Perforación de pozo "Xc" finalizado, lavado y listo para entubar. Se observa el trépano y ensanchador. En primer plano pozo "X" listo para limpiar e identificar.



Fotografía 31. Limpieza de pozo (PM 23). Observación y medición de la evolución del nivel dinámico (ND).



Fotografía 32. Limpieza de pozo (PM 18). Observación y medición de la evolución del nivel dinámico (ND).



Fotografía 33. Limpieza de pozo de monitoreo (PM 06) con bomba sumergible.



Fotografía 34. Limpieza de pozo de monitoreo (PM 06). Inicio de bombeo.



Fotografía 35. Limpieza de pozo de monitoreo (PM 06). Final de bombeo.



Fotografía 36. Limpieza de pozo de monitoreo (PM 18) con bomba autocebante.



Fotografía 37. Aforo de caudal de pozo de monitoreo (PM 14).



Fotografía 38. Medición de nivel estático (NE).



Fotografía 39. Identificación del dominio y número del pozo de monitoreo.



Fotografía 40. Pozo de Monitoreo concluido.



Fotografía 41. Pozo de Monitoreo 27 concluido y ubicado al ras del suelo.

4.3. Instalación de freatígrafo y primeros resultados

Para la instalación del freatígrafo se escogió una plazoleta ubicada en el radio céntrico de la ciudad y a pocas cuadas de la Laguna Don Tomás. En esa área se tiene registro que el nivel freático ha ascendido en los últimos años con respecto a valores históricos hasta llegar en la actualidad a los 3 metros de profundidad.

La Perforación se realizó de la misma manera que los pozos de monitoreo según el protocolo de construcción propuesto y descrito en el apartado anterior.

La instalación del freatígrafo modelo LF-325 se realizó en las 48 hrs posteriores a la limpieza del pozo PM 17, a los efectos de permitir la recuperación total del nivel estático y precipitación de las posibles impurezas del agua dentro del pozo que pudiesen dañar la membrana de la sonda. La secuencia de la instalación se encuentra detallada en la secuencia de Fotografías 42-51.



Fotografía 42. Perforación del PM 17 para la colocación del freáticografo.



Fotografía 43. Colocación de la cámara del PM 17.



Fotografía 44. Bomba sumergible utilizada para la limpieza de los Pozos de Monitoreo.



Fotografía 45. Limpieza de pozo y medición de niveles dinámicos en PM 17.



Fotografía 46. Instalación del freatígrafo. Armado del sistema.



Fotografía 47. Instalación del freatígrafo. Armado del sensor.



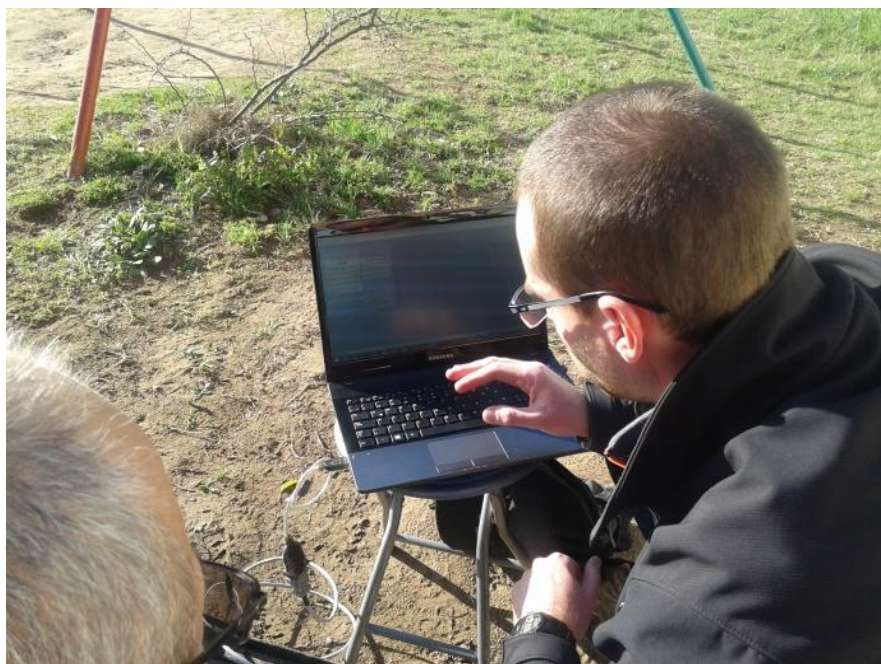
Fotografía 48. Instalación del freatígrafo. Ajuste de la profundidad del sensor.



Fotografía 49. Instalación del freatígrafo. Obtención de lecturas y anclaje de sonda.



Fotografía 50. Freatígrafo instalado y anclado a la boca de pozo.



Fotografía 51. Revisión de funcionamiento y programando equipo.

Se realizaron tres lecturas para constatar el correcto funcionamiento y registro digital de los datos. Los valores obtenidos fueron procesados y transformados en cotas e interpretados. Los registros muestran una dinámica particular con ascensos y descensos cíclicos cuyo origen se desconoce. La presencia de varios edificios cercanos con subsuelos, permite suponer que los ciclos de ascenso y descenso podrían ser consecuencia del funcionamiento de bombas de achique o de pozos que estén deprimiendo el acuífero con el claro objetivo de impedir que el agua invada los subsuelos. La Sede Regional del Distrito 21 de Vialidad Nacional, ubicada a menos de 100 m del PM 17, posee una perforación de con una bomba sumergible de activación automática cuando el NE supera determinado límite y con un corte de bombeo al logra su objetivo. El accionar de este dispositivo, sumado a de otros edificios cercanos, podría ser la causa del comportamiento cíclico del NE (Figura 17).

Esta dinámica cíclica no altera la tendencia de todo el registro al ascenso de los niveles, observando que en tan solo 48 días, desde su instalación (NE a 3,21 m) ascendió unos 0,295 mts (NE=2,915 m).

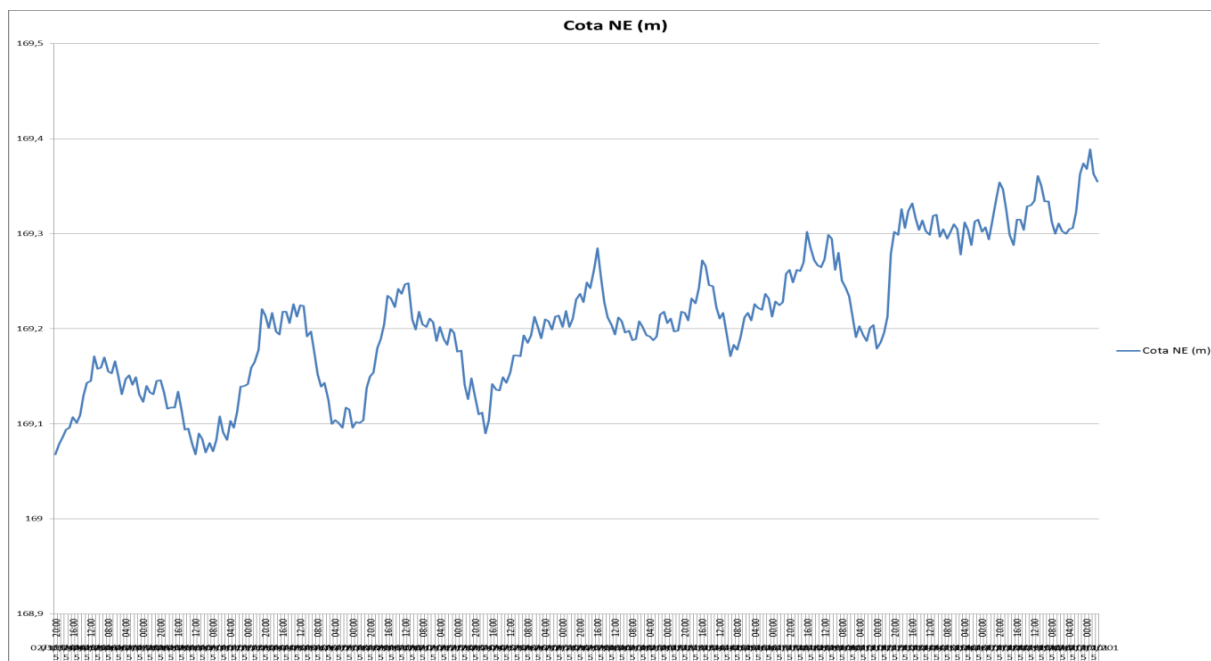


Figura 17. Registro freaticométrico del NE en el pozo PM 17. Desde el 03/10/15 al 21/11/15.

En las Figuras 18 a 24 se presentan el detalle semanal de la evolución del nivel estático en el freaticgrafo desde su instalación.

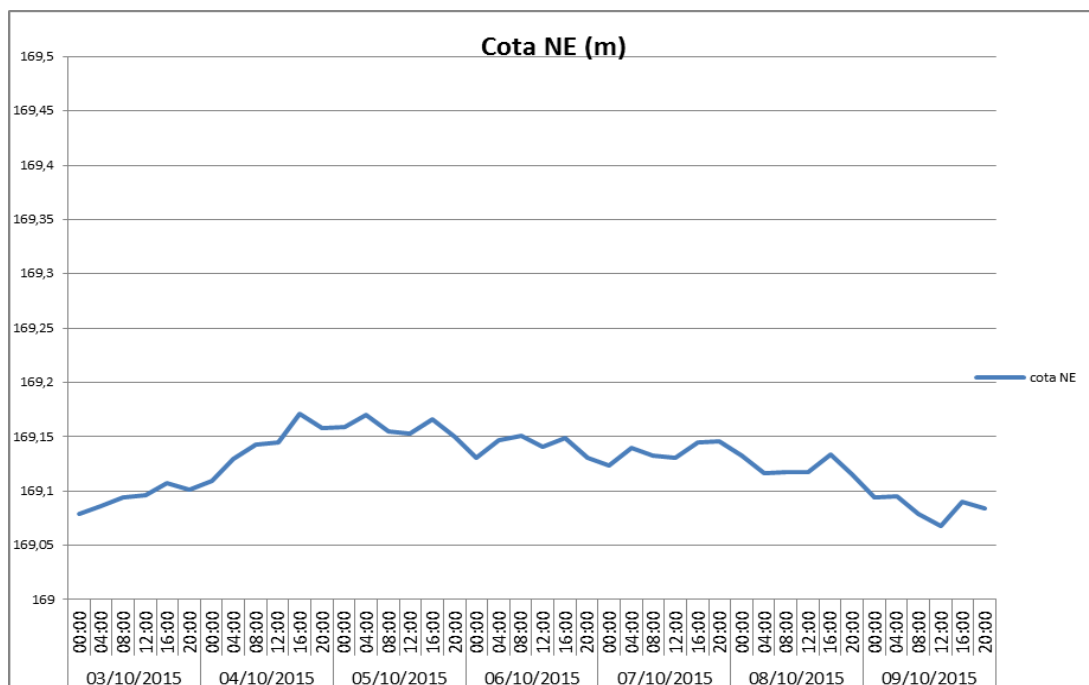


Figura 18. Detalle semanal de la evolución del NE en el pozo PM17. Desde el 03/10/15 al 09/10/15.

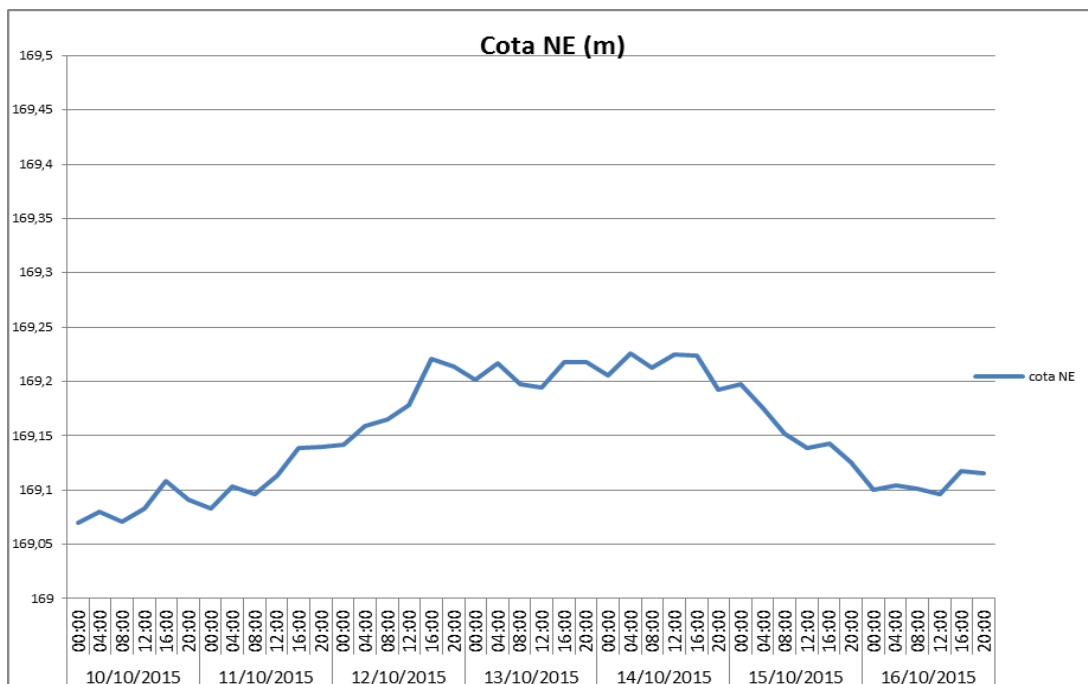


Figura 19. Detalle semanal de la evolución del NE en el pozo PM17. Desde el 10/10/15 al 16/10/15.

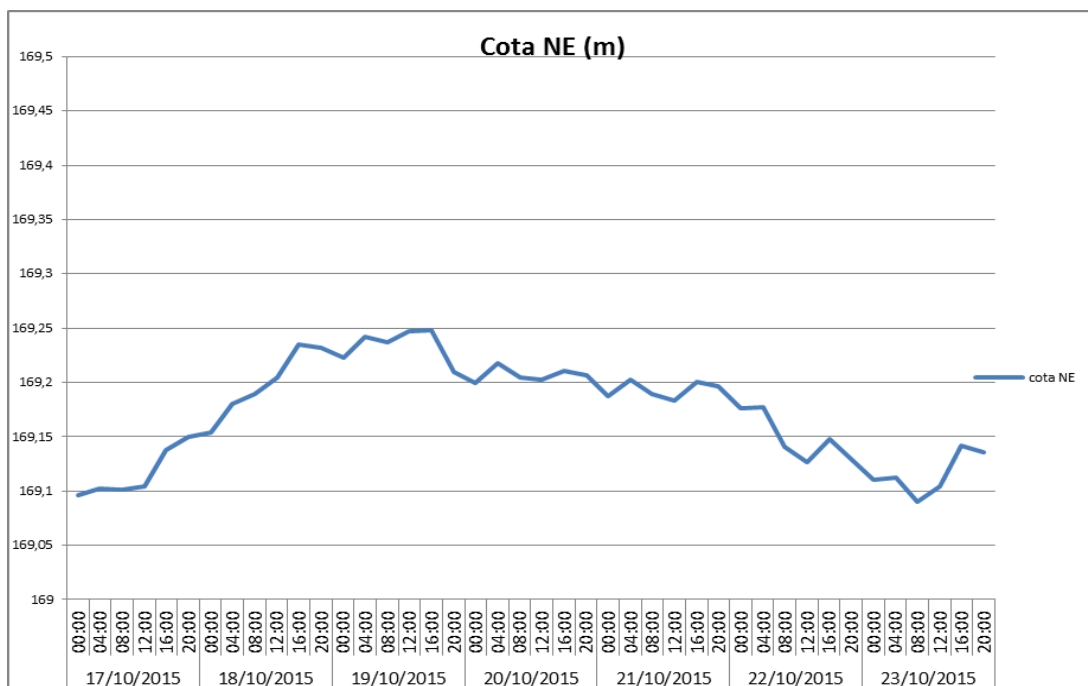


Figura 20. Detalle semanal de la evolución del NE en el pozo PM17. Desde el 17/10/15 al 23/10/15.

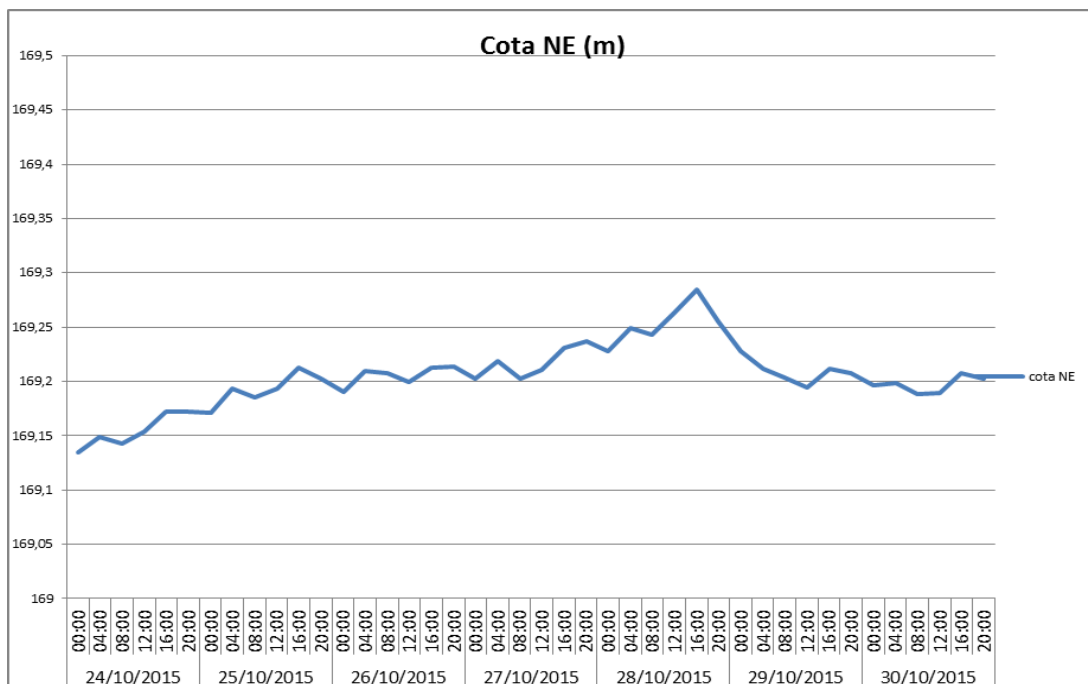


Figura 21. Detalle semanal de la evolución del NE en el pozo PM17. Desde el 23/10/15 al 30/10/15.

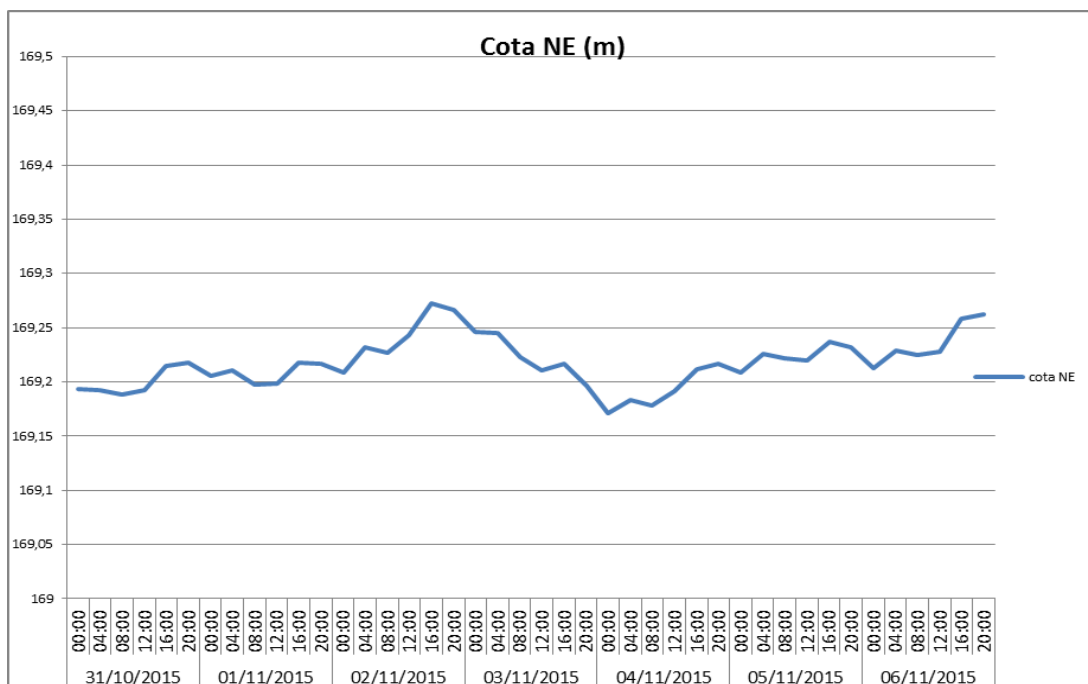


Figura 22. Detalle semanal de la evolución del NE en el pozo PM17. Desde el 31/10/15 al 06/11/15.

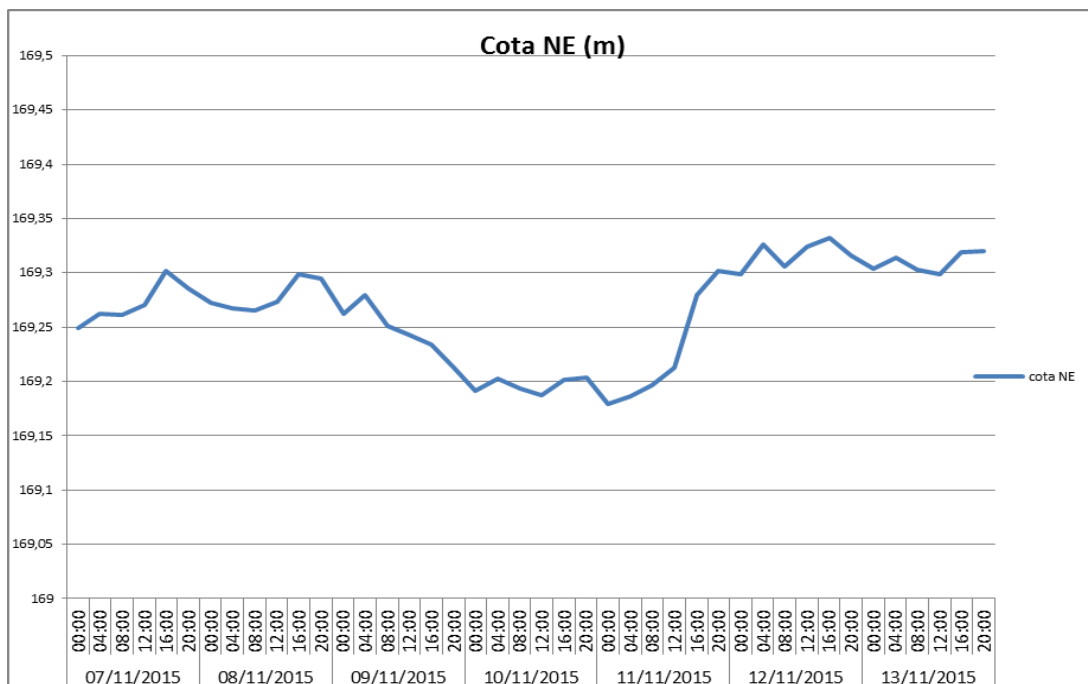


Figura 23. Detalle semanal de la evolución del NE en el pozo PM17. Desde el 07/11/15 al 13/11/15.

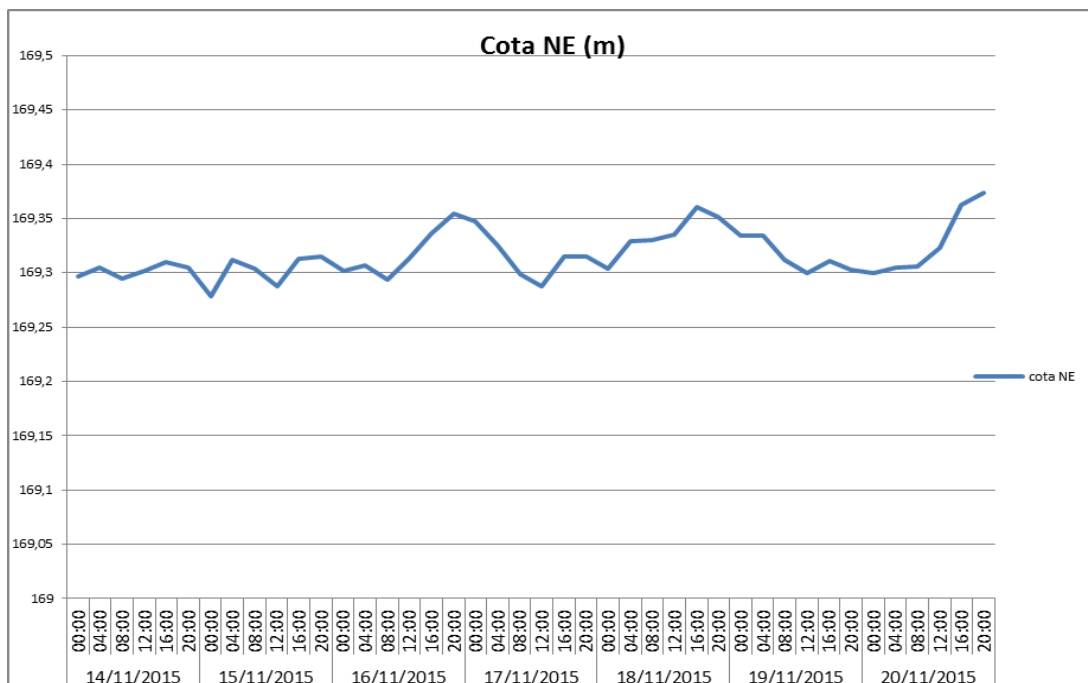


Figura 24. Detalle semanal de la evolución del NE en el pozo PM17. Desde el 14/11/15 al 20/11/15.

En la Figura 25 se presentan las variaciones del nivel freático de la perforación localizada en el edificio de la Administración Provincial del Agua, ubicada en las calles Villegas y Quintana de la ciudad. Se aprecia el decremento paulatino

del nivel freático, el cual inicialmente se encontraba al momento de finalizar su construcción (10/07/2007) en 7,83 mts bajo el nivel del terreno (Tabla 2. N° 29. Ficha CAP130 Anexo II Figura 57). Luego de un periodo sin medidas, se retomaron las mismas durante el año 2010 hasta el 2012 y desde el 2013 hasta la actualidad, realizándose las de manera sistemática y periódica durante los años 2014-2015. La última medida para el mes de noviembre es de 4,24 mts. El ascenso apreciado para el lapso descripto alcanza a los 3,59 mts. Es de destacar que este punto de observación se encuentra en un área plenamente urbana.

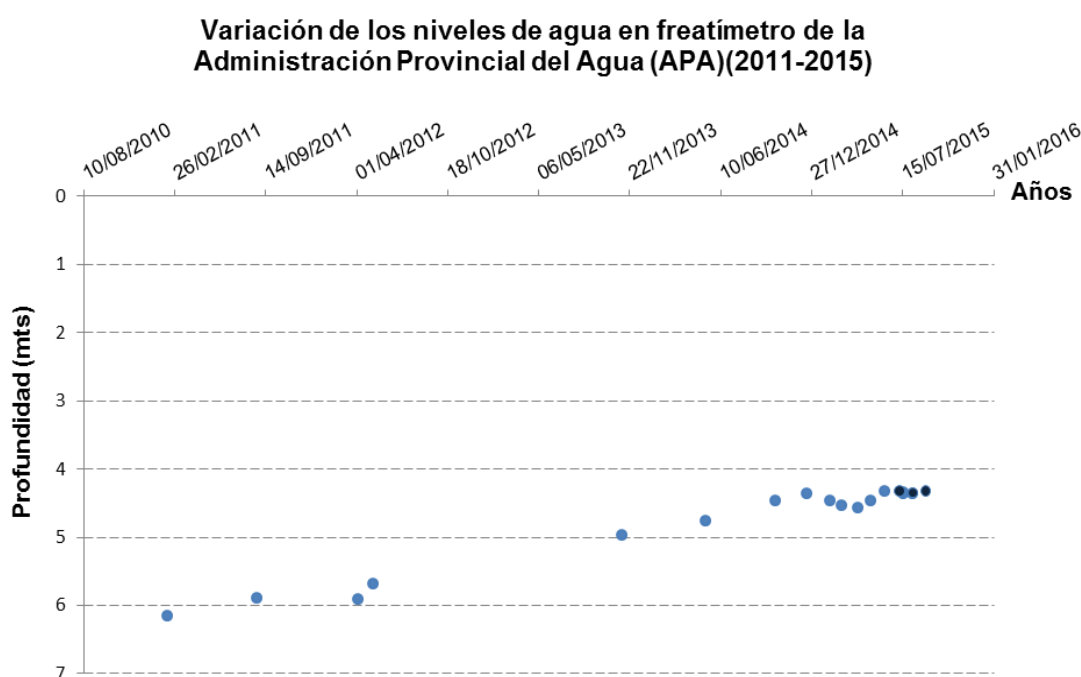


Figura 25. Variación de los niveles de agua en el pozos ubicado en APA (2011-2015).

4.4. Composición del agua subterránea

Las muestras de agua subterránea analizadas presentan una gran variabilidad en la composición iónica. El valor promedio de CE es de 2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor mínimo de 461 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y alcanzando un máximo de 8.630 $\mu\text{S}/\text{cm}$; con un pH promedio de 7,8. Los parámetros físico-químicos analizados (Tabla 6) denotan aguas con pH levemente básico con una variabilidad significativa en la composición química y tenores elevados, según la normativa vigente, de oligoelementos perjudiciales para el consumo humano como flúor, arsénico, hierro, nitratos y nitritos.

(Anexo I Fichas Pozos de Monitoreo 1-36). Los iones que muestran una mayor dispersión relativa o variabilidad son dureza total (y por ende calcio y magnesio); cloruro, nitrato, nitrito, amonio e hierro. Dichas variaciones deberán interpretarse, en futuras etapas, en un contexto hidroquímico más representativo, que permita discriminar la incidencia de factores puntuales.

Tabla 6. Promedio y rango de concentración de las variables de mayor interés. Valores en mg/l, excepto pH (-) y conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). CV es el coeficiente de variación (%).

Variable	Promedio	Mínimo	Máximo	CV
pH	7.8	6.58	9.13	7.3
Residuo Seco (105°C)	1768.8	461	5753	69.5
Conductividad Eléctrica	2700	690	8630	69.2
Dureza Total	545.8	20	2680	118.5
Alcalinidad Total	555.8	242	1334	48.8
Carbonatos	26.9	0	180	157.6
Bicarbonatos	533.4	242	1266	47.9
Cloruro	347.9	26	2350	133.5
Sulfato	225.5	24	750	82.8
Calcio	92.8	4.8	132	112.8
Magnesio	76.3	0.97	390.4	129.4
Sodio	451.2	26.2	2080	85.5
Potasio	21.7	5.8	44.6	48.3
Nitrato	43.8	1.30	470	176.7
Nitrito	0.2	0.036	1.47	100.2
Amonio	0.1	0.01	0.85	137
Flúor	2.4	0.6	8.4	81.3
Arsénico total	0.08	0.022	0.23	76.6
Hierro	0.8	0.053	6.19	131.9

4.4.1. Clasificación hidroquímica

La caracterización hidroquímica indica el predominio de aguas bicarbonatadas sódicas y como subordinadas aguas sulfatadas y/o cloruradas sódicas, con algunos términos sulfatados y/o clorurados cálcicos y /o magnésicos. En el diagrama de Piper (Figura 26), se observa que las aguas subterráneas colectadas se distribuyen principalmente entre sódicas y mixtas en el campo catiónico; y con dominancia de aguas bicarbonatadas y mixtas en el campo aniónico.

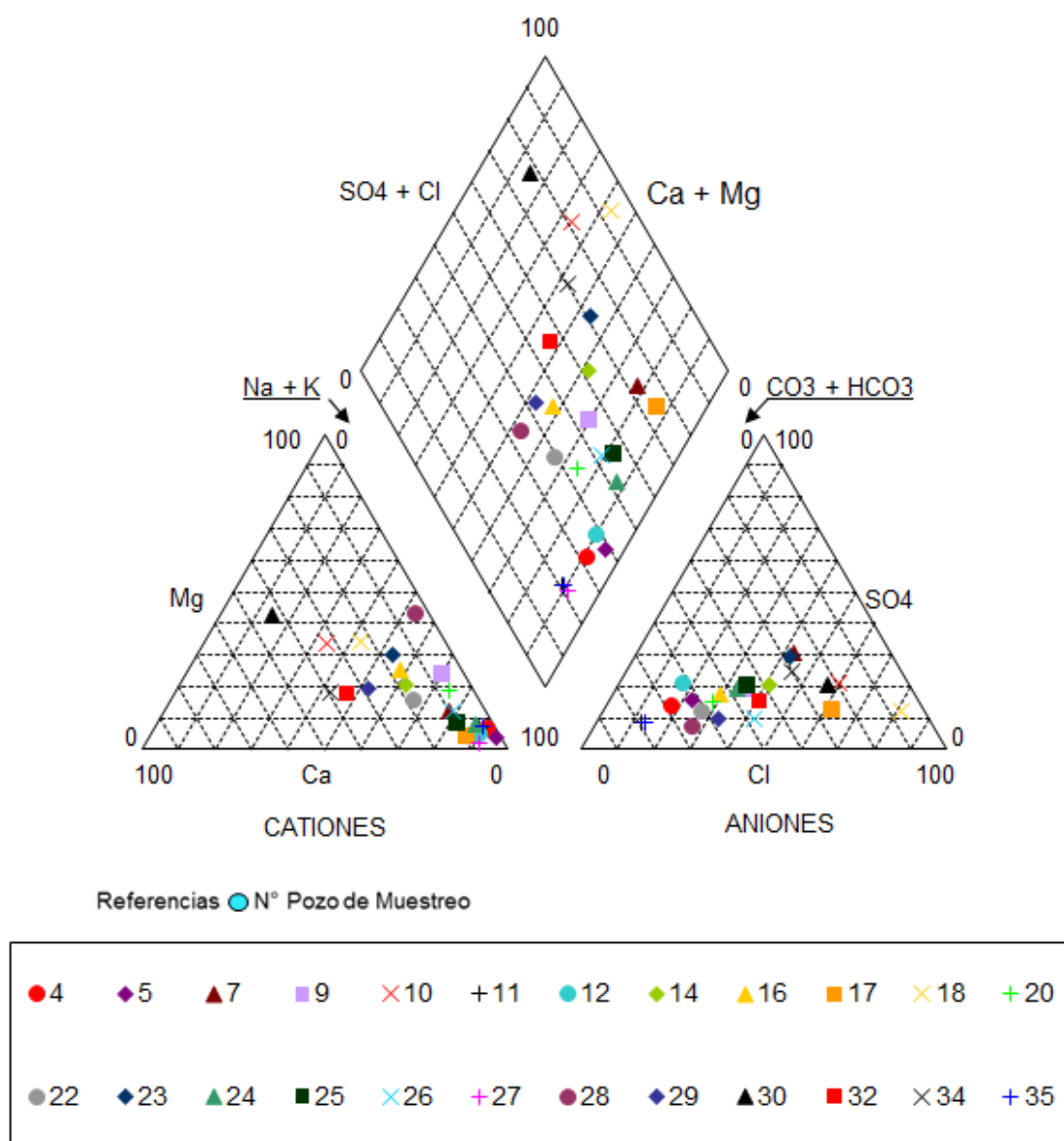


Figura 26. Diagrama de Piper

4.4.2. Calidad del agua para consumo humano

De los resultados obtenidos puede interpretarse que para consumo humano y de acuerdo al Código de Aguas de la Pampa (Decreto N°2468, 2011), del total de muestras analizadas, 11 exceden los límites para Residuo Seco (Pozos de Monitoreo 05, 05c, 06, 07, 09, 14, 14c, 17, 23, 23c, y 26c); 14 sobrepasan los límites admisibles para Flúor (Pozos de Monitoreo 04, 05, 05c, 06, 11, 13, 15, 20, 22, 24, 26c, 27, 28 y 35); 3 muestras superan los límites admisibles para Arsénico (Pozos de Monitoreo 04, 05c y 15); 7 muestras exceden los límites para Nitratos 05, 05c, 17, 26, 26c, 30, y 34) y 22 muestras sobrepasan los límites para Nitritos (Pozos de

Monitoreo 04, 05, 05c, 06, 07, 09, 12, 13, 14, 14c, 15, 17, 21, 22, 23c, 25, 26, 26c, 28, 29, 34 y 35). Los resultados de los análisis químicos se exponen en el Anexo I (Fichas Pozos de Monitoreo 1-36).

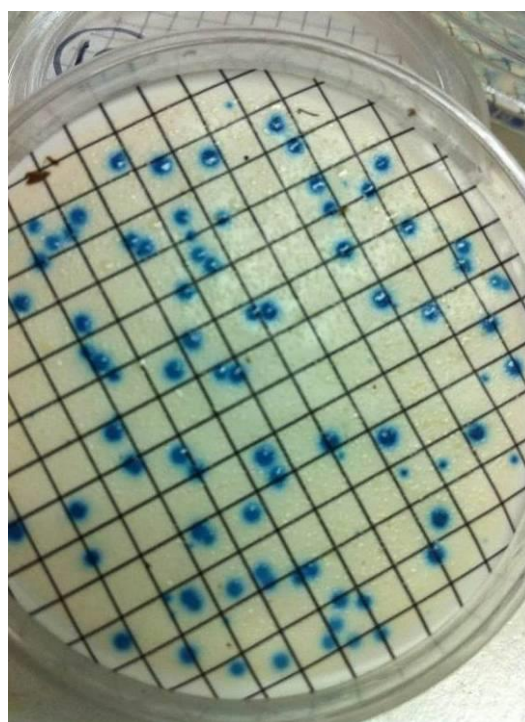
4.4.3. Calidad microbiológica de las aguas

En función de los resultados de los análisis químicos de las muestras de agua de los pozos de monitoreo se creyó conveniente realizar un muestreo bacteriológico de las mismas con el objeto de verificar su calidad microbiológica.

Las pruebas de laboratorio (Fotografías 52 y 53) mostraron presencia de Coliformes Totales y *Escherichia coli* cuyo origen debía estudiarse ya que la presencia de esta bacteria es un indicador de contaminación de origen fecal (Campos Pinilla, 2003). Los resultados de los análisis bacteriológicos se presentan en el Anexo I (Fichas Pozos de Monitoreo 1-36). Una de las posibilidades de la contaminación estaba dada por el agua empleada en la perforación. La misma fue suministrada a través de un camión cisterna que cargaba agua en el sector Norte de la laguna Don Tomás, que es el mismo sitio donde se abastecen los camiones regadores que prestan servicio al Municipio (Fotografía 54-55).



Fotografía 52. Resultados de Análisis de CT y *Escherichia coli* (UFC/100 ml).



Fotografía 53. Presencia de Coliformes Totales (puntos amarillos) y *Escherichia coli* (puntos azules) (UFC/100 ml).



Fotografía 54. Estación de carga de agua para los camiones regadores.
Sector Norte de la Laguna Don Tomás y calle Gobernador Duval (20/11/2015)



Fotografía 55. Sistema de toma de agua de la laguna en
Estación de carga de agua para los camiones regadores.

Los resultados obtenidos evidenciaron que el agua de la laguna, al menos en ese sector (Fotografía 56), está contaminado con la presencia de Coliformes Totales

(672 UFC/100 ml) y *Escherichia coli* (430 UFC/100 ml). La Legislación vigente establece que la presencia de Coliformes Totales en el agua para consumo humano debe ser en número igual o menor a tres Unidades Formadoras de Colonias (UFC) en 100 ml y no admite presencia de *Escherichia coli*. Esta circunstancia debe ser tomada en cuenta dado que es el agua que está siendo distribuida en el riego de las calles de tierra de la ciudad y también para otros usos, incluido en perforaciones, con el riesgo de contaminar el acuífero, al menos puntualmente. Las contrapruebas efectuadas mostraron que con el paso del tiempo, la concentración de estas especies en los pozos de monitoreo ha disminuido, por lo cual no se puede afirmar que los valores hallados corresponda a la situación propia de los mismos, sino que podrían haber sido influenciados por el agua del lavado.



Fotografía 56. Sector Norte de la Laguna en donde se encuentra la Estación de carga de agua de los camiones regadores.

4.4.4. Calidad del agua para riego

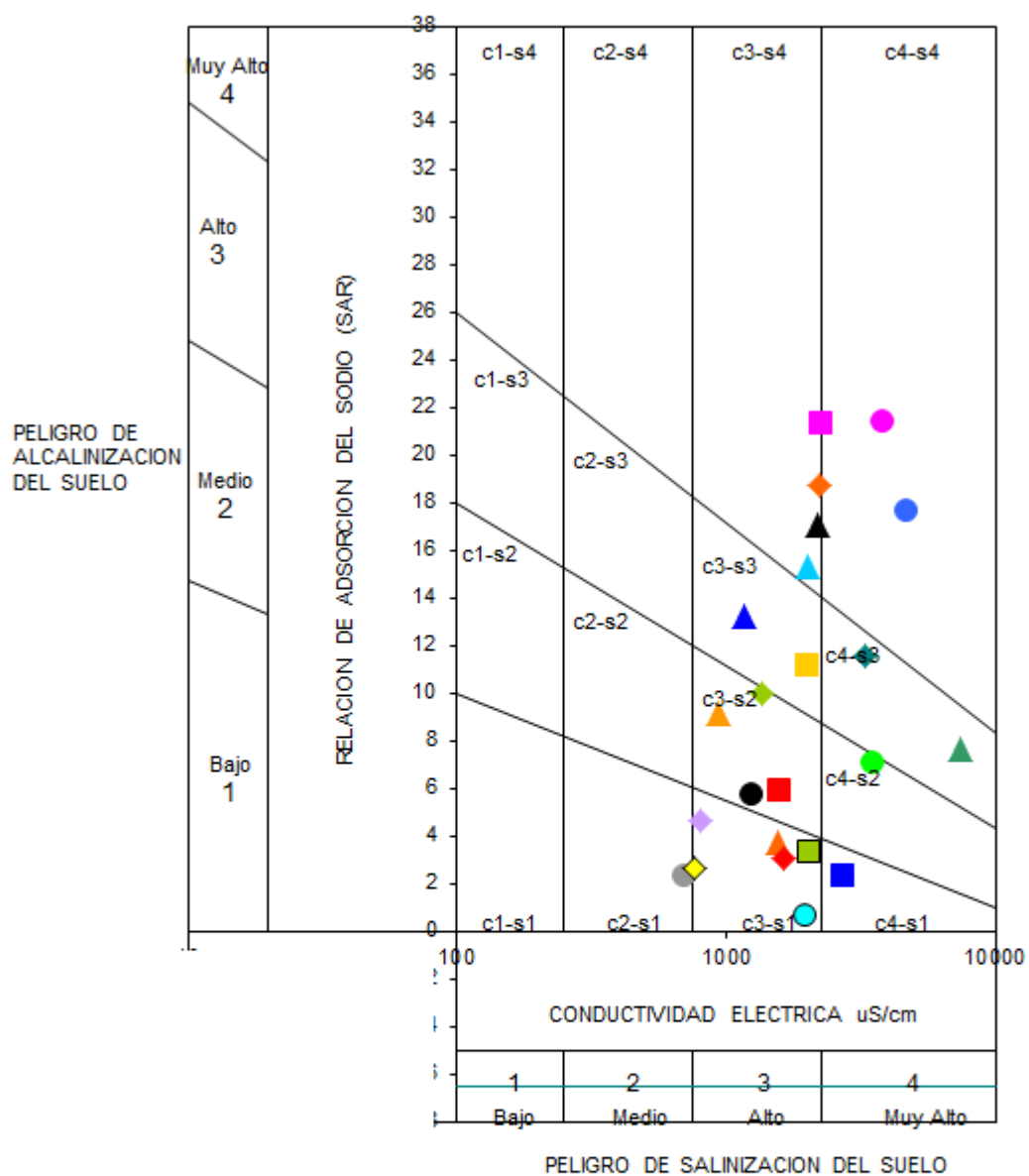
La utilización para riego queda condicionada por los peligros de salinización, determinado mediante la conductividad eléctrica, y de sodificación, mensurable a través de la “relación de adsorción de sodio” (RAS). Ambos determinan una categorización de las aguas en cuatro clases (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954), tal como se muestra en la Figura 27. De esta calificación resulta que las muestras

analizadas presentan una alta potencialidad para salinizar los suelos, lo que hace necesaria la práctica de riegos periódicos de lavado.

En el caso de la admisibilidad del agua para riego y advirtiendo que para ser utilizada con este fin es necesario además, la clasificación atinente al propio suelo y su aptitud para ser regado, aspecto que escapa a este estudio, sólo un 28% resultaron con una aptitud regular (es decir con peligrosidad salina alta pero de baja peligrosidad sódica identificadas como Clase C3S1); la gran mayoría (72%) resultó de regular a mala (por su peligrosidad salina de alta a muy alta y peligrosidad sódica de media a alta) para este fin. Dentro de esta proporción, un 59 % califica como Clase C3S2 a C3S4 y el porcentaje restante (41%) se clasifica como Clase C4S1 a C4S4.

4.5. Pozos de monitoreo dañados

Cuando se realizó el muestreo bacteriológico se encontró que dos pozos de monitoreo habían sido dañados y tapados con escombros por vándalos, por lo que no se pudo recoger muestra de agua para tales fines. No obstante se posee información físico química de los mismos obtenidos en la etapa de limpieza y desarrollo de los pozos (Figuras 57-60).



Referencias ● N° Pozo de Muestreo

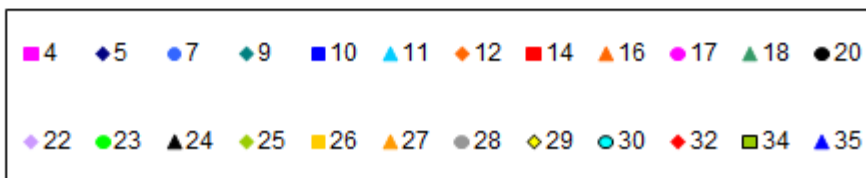


Figura 27. Clasificación de las aguas para riego según Índice de Riverside.



Fotografía 57. PM 04 dañado y relleno con escombros



Fotografía 58. PM 04 dañado. No se pudo muestrear.



Fotografía 59. PM 15 dañado y relleno con escombros



Fotografía 60. PM 15 dañado. No se pudo muestrear.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez cesada la explotación de un acuífero, éste tiende a recuperar sus niveles freáticos estáticos originales, al menos por transferencia lateral. En el caso de una ciudad esto puede verse dificultado por la impermeabilización que omite la infiltración y buena parte de las precipitaciones son eliminadas sistemáticamente por el sistema de desagües pluviales.

Con respecto a la situación actual que presenta la ciudad, se puede concluir que, desde el fin de la explotación de los pozos situados en el área urbana ocurrieron distintos sucesos que pueden haber aportado al fenómeno observado, a saber:

1) Un período de lluvias (1990-2002) como no se había registrado en la historia de la ciudad (Figura 6). De hecho se observa una tendencia al aumento en el registro de las precipitaciones para el período 1990-2014 en 115 mm con respecto a la media histórica de 644 mm.

2) Un cambio general en las fuentes de aporte a partir del año 2005 con la puesta en marcha del acueducto del Río Colorado para reforzar la dotación de agua a la ciudad, con las consecuentes variaciones en la presión de conducción y del área servida.

Marginalmente debe citarse además como factores importantes que un informe interno municipal declara en el año 2007 una pérdida de conducción de aproximadamente el 25%. Esto se evidencia en varias calles de la ciudad (Fotografías 64 a 76 - Anexo III). Por último quienes laboran en el área de cloacas informan que las cañerías están desde parcial a totalmente deterioradas, urgiendo la necesidad de reemplazo de los tramos afectados tanto de la red de saneamiento como de agua potable (Fotografías 77 a 103 - Anexo III). Estos dos últimos factores, se estima, estarían actuando muy negativamente, incrementando el ascenso de nivel freático observado por encima de los valores históricos.

Por todo lo expuesto, cuando se estudian las aguas subterráneas en zonas urbanas deben tenerse en cuenta una serie de cuestiones específicas. La urbanización del territorio afecta significativamente al ciclo del agua tanto en cantidad como en calidad, en particular a la parte relacionada con la recarga y descarga de los acuíferos. Además las aguas pueden afectar a las infraestructuras

urbanas, tanto superficiales (viviendas, pavimento y otras.) como subterráneas (estacionamientos, sótanos, fosas, conducciones y otras). Por estos motivos el estudio de las aguas subterráneas en zonas urbanas como la que compete a este trabajo, emerge con fuerza y es una herramienta valiosa para los organismos encargados de la gestión del recurso hídrico y de la gestión urbana. Algunos de los temas específicos que deben ser considerados son: 1) Variaciones del nivel freático causadas por cambios en los usos del suelo y del agua; 2) Contaminación de las aguas subterráneas por la presencia de focos contaminantes tanto puntuales como difusos; 3) Caracterización y cuantificación de los componentes del balance hidrogeológico y 4) Integración de los datos hidrogeológicos para su gestión.

Un tema clave para el estudio de la hidrogeología urbana es la evaluación de los diversos términos que componen la recarga (agua de la red de abastecimiento, del agua del alcantarillado, agua de escorrentía urbana, infiltración directa y otras) Discriminar todos estos términos es importante para realizar el balance, para conocer el riesgo de contaminación de los acuíferos y para plantear una correcta gestión. Es necesario conocer cuáles son los diversos compuestos hidroquímicos presentes en las aguas de recarga. El objetivo es identificar, y si es posible cuantificar, las diversas fuentes de recarga y sus proporciones.

La cuantificación de las diversas fuentes de recarga, si bien se puede llevar a cabo, posee puntos críticos como: 1) la gran cantidad de fuentes de recarga existentes lo que implica tener que usar un gran número de especies conservativas; 2) la incertidumbre en las concentraciones de estas fuentes y 3) los errores de medida.

Del análisis general del presente informe surge que algunos sectores de la ciudad de Santa Rosa estarían al borde del colapso urbanístico por lo cual es imprescindible que en el menor plazo posible se arbitren los medios para reemplazar parte del sistema de saneamiento urbano, principalmente en aquellos sectores de la ciudad donde los sistemas de conducción han quedado totalmente obsoletos. Para ello será necesario, en principio, deprimir los niveles hídricos a valores históricos u otros que permitan la realización de las tareas recomendadas.

Por último, se considera indispensable mantener en buenas condiciones la red de freatómetros construidos durante este Proyecto para poder controlar la variación de los niveles de agua subterránea en la ciudad. Los conocimientos

adquiridos durante la perforación de los sondeos realizados, y los correspondientes ensayos de bombeo que se puedan realizar a futuro, contribuirán a incrementar notablemente los conocimientos sobre la hidrogeología de la ciudad.

6. BIBLIOGRAFÍA

- A.P.H.A, A.W.W.A. y W.P.C.F, 1992. Standard methods for the examination of water and waste water, 18ª ed., 1134 p, Washington.
- ArcMap10. 2010. Software Esri's ArcGIS (Environmental Systems Research Institute) <http://www.esri.com>
- Arigós, E., 1970. Informe técnico hidrogeológico de la provincia de La Pampa. Comité de Investigación de Aguas Subterráneas, La Plata, 70 p (inédito).
- Arroyo, C. 2007. Santa Rosa. Perforación en Escuela de Policía. Informe Técnico. APA.
- Arroyo, C. 2008. Perforación en terreno de Vialidad Provincial, sobre la calle Víctor Arriaga. Informe Técnico. APA.
- Arroyo, C. 2009(a). Santa Rosa. Perforación Club Belgrano. Informe Técnico. APA.
- Arroyo, C. 2009(b). Santa Rosa. Perforación en Club Atlético Santa Rosa. Informe Técnico. APA.
- Arroyo, C. 2010 (a). Perforaciones para Municipio de Santa Rosa. Pista de Atletismo (laguna Don Tomas). Polideportivo Río Atuel y Barrio Plan 3.000. Informe Técnico. APA.
- Arroyo, C. 2010(b). Santa Rosa. Perforaciones Esc. Nº 1 y Cámara de Diputados. Informe Técnico. APA.
- Arroyo, C. 2011. Santa Rosa. Perforación Club de Rugby. Informe Técnico. APA.
- Arroyo, C. 2012. Santa Rosa. Perforación en predio Laguna Don Tomas. Informe Técnico. APA.
- Basualdo, 1980. Santa Rosa. Informe sobre un muestreo llevado a cabo en la zona este de Santa Rosa (Colonia Escalante). Informe Técnico. APA.

- Calmels, A. P y J. O. Tullio, 1980. Documentos para el estudio geológico de la provincia de La Pampa. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Facultad de Ciencias Humanas, 185 p, Santa Rosa.
- Calmels, A.P., 1996. Bosquejo Geomorfológico de la Provincia de La Pampa. Universidad Nacional de La Pampa, 110 p, Santa Rosa.
- Calmels, A. P, y S. Casadío, 2005). Compilación Geológica de la Provincia de La Pampa. Editorial Amerindia 1°Ed. Santa Rosa, La Pampa, 324 pp.
- Campos Pinilla, C., 2003. en “Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas”. CYTED. Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. Cap 20. Pag. 224-229.
- Cano, E., G. Casagrande, H. A. Conti, B. Fernandez, R. Hevia, J. C. Lea Plaza, D. Maldonado Pinedo, H. Martinez, M. A. Montes y C. A. Peña Zubiarte, 1980. Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la provincia de La Pampa. INTA-Gobierno de La Pampa-UNLPam, 493 p, Santa Rosa
- Calvetti, B., 1979. Estudio Geoeléctrico Santa Rosa – Toay. CFI.
- Casadío, S. y C. Montalvo, 1990. Aspectos medioambientales del Pleistoceno Tardío en el área de Santa Rosa. IV Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales. Acta de Resúmenes de Conferencias y Comunicaciones. Pag. 15. Santa Rosa.
- Casadío S. y E. Schulz, 1987. Sobre los sedimentos lacustres (Fm Santa Rosa) del Pleistoceno Superior, La Pampa. Argentina. III Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de La Pampa. Serie Suplementos N°3. Pag. 169-176. Santa Rosa.
- Castro, E., 1989. Ajuste Catastral de la zona de reserva propuesta por Malán. Informe Técnico. APA.
- Castro, E. y J. Tullio, 2000. Estudio Hidrogeológico etapa II del Plan director de agua potable de Santa Rosa. APA.

- Castro, E., 1995. Santa Rosa. Informe sobre perforación a Club Estudiantes. Informe Técnico. APA.
- Cavalié, C. y De Ormaechea, J., 1986. Diseño de pozos de explotación para la ciudad de Santa Rosa. Informe Técnico. APA.
- Cavalié, C., 1979. Estudio hidrogeológico para la provisión de agua potable a la ciudad de Santa Rosa. Acuífero Santa Rosa-Anguila. Santa Rosa-Toay. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. APA. 42 p.
- Cavalié, E., 1983. Estudio Hidrogeológico del Acuífero Santa Rosa - Toay . Informe Técnico. APA.
- Cavalié, C. (1986). Estudio hidrogeológico Santa Rosa-Anguila y Santa Rosa-Toay. Actas I Jornadas de Biología y II Jornadas de Geología de La Pampa. Actas II. Páginas: 65-72, Santa Rosa.
- Chebli, G. A., Mozetic, M. E., Rosello, E. A. y Buhler, M. (1999). Cuencas Sedimentarias de la Llanura Chacopampeana. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Anales 29(20): 627-644, Buenos Aires.
- Consorcio EIH; (1986 a). Estudio de Ingeniería Hidráulica S.A. Consultora Oscar G. Grimaux y Asociados S.A.T. Estudio para El Saneamiento y Control de Niveles de la Laguna Don Tomás y el Desarrollo Integral de su Área de Influencia. Etapa 1-Volumen 1. Ministerio de Obras Públicas y Servicios Públicos. La Pampa. Argentina.
- Consorcio EIH; (1986 b). Estudio de Ingeniería Hidráulica S.A. Consultora Oscar G. Grimaux y Asociados S.A.T. Estudio para El Saneamiento y Control de Niveles de la Laguna Don Tomás y el Desarrollo Integral de su Área de Influencia. Etapa 1-Volumen 2. Ministerio de Obras Públicas y Servicios Públicos. La Pampa. Argentina.
- Consorcio EIH; (1986 c). Estudio de Ingeniería Hidráulica S.A. Consultora Oscar G. Grimaux y Asociados S.A.T. Estudio para El Saneamiento y Control de Niveles de la Laguna Don Tomás y el Desarrollo Integral de su Área de

Influencia. Etapa 2-Volumen 1. Ministerio de Obras Públicas y Servicios Públicos. La Pampa. Argentina.

- Consorcio EIH; (1986 d). Estudio de Ingeniería Hidráulica S.A. Consultora Oscar G. Grimaux y Asociados S.A.T. Estudio para El Saneamiento y Control de Niveles de la Laguna Don Tomás y el Desarrollo Integral de su Área de Influencia. Etapa 2-Volumen 2. Ministerio de Obras Públicas y Servicios Públicos. La Pampa. Argentina.
- Consorcio EIH; (1986 e). Estudio de Ingeniería Hidráulica S.A. Consultora Oscar G. Grimaux y Asociados S.A.T. Estudio para El Saneamiento y Control de Niveles de la Laguna Don Tomás y el Desarrollo Integral de su Área de Influencia. Etapa 3-Volumen 1. Ministerio de Obras Públicas y Servicios Públicos. La Pampa. Argentina.
- Consorcio EIH; (1986 f). Estudio de Ingeniería Hidráulica S.A. Consultora Oscar G. Grimaux y Asociados S.A.T. Estudio para El Saneamiento y Control de Niveles de la Laguna Don Tomás y el Desarrollo Integral de su Área de Influencia. Etapa 4-Volumen 1 Ministerio de Obras Públicas y Servicios Públicos. La Pampa. Argentina.
- Convenio SRH, Municipalidad de Santa Rosa y Municipalidad de Toay, 2013. Diagnóstico Ambiental. Programas Ecobiológico y Balance Hidrológico de Lagunas “Don Tomás” y “Bajo Giuliani” y conexiones hídricas. Informe BIANUAL 2012-2013. 10 pp. Santa Rosa.
- Custodio, E. y E. Díaz, 1976. Calidad del agua subterránea. En E. Custodio y M.R. Llamas (Eds.): Hidrología Subterránea, Tomo II:1879-1896, Ed. Omega, Barcelona.
- Dalmaso, G y J. Tullio, 2006. Sobre situación del agua subterránea para Municipalidad de Santa Rosa. Informe Técnico. APA.
- Decreto N°2468. Separata Boletín Oficial N°2972 reglamentando la Ley N° 2581 – Código de Aguas de La Pampa. 25 de Noviembre de 2011. 23 pp.
- de Elorriaga, E. E. y J. O. Tulio, 1998. Estructuras del subsuelo y su influencia en la morfología en el norte de la provincia de La Pampa. X Congreso

Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica, Actas III: 227-330, Buenos Aires.

- de Elorriaga, E. E., 1996. Resultados del análisis de datos del subsuelo de la parte noreste de la provincia de La Pampa, Argentina. VI Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Actas: 83-93, Santa Rosa.
- De Ormaechea, J., 1983. Santa Rosa. Informe perforación en Hospital. Informe Técnico. APA.
- EASY-QUIM.4 (2002). Software para hidroquímica. (GHS-UPC, CIHS) www.oocities.org/es/carles_fernandez/descarregues/EASY_QUIM.4.xls.
- Frenguelli, J., 1955. Loess y limos pampeanos. Fac. de Ciencias Naturales y Museo, Serie Técnica y Didáctica N° 7, 88 p, La Plata.
- Giai, S. y J. Tullio, 1993. Informe sobre las condiciones hidrológicas, geológicas, geomorfológicas en la cantera. Municipalidad de Santa Rosa. Informe Técnico. APA.
- Giai, S. B. y Tullio, J. (1998). Características de los principales acuíferos en La Pampa. Facultad de Ciencias Humanas y Dirección de Aguas de La Pampa. Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería. N°X 12: 51-68.
- Giai, S. y J. Tullio., 2000. Santa Rosa. Perforación en Villa Parque N°7. Informe Técnico. APA.
- Giai, S., 1991. Santa Rosa. Informe de estudio hidrogeológico para provisión de agua Barrio FONAVI XIII. Villa Parque. (1991-1992). Informe Técnico. APA.
- Giai, S., 1992. Estudio Hidrogeológico del sureste de Santa Rosa para la provisión de agua potable al barrio FONAVI XLII. Informe Técnico, 8pp. APA.
- Giai, S., 2002(a). Informe sobre profundidad y fluctuación del nivel freático en Santa Rosa. Medidas para su control. Informe Técnico. APA.

- Giai, S., 2002(b). Santa Rosa. Perforación para el Centro Judicial en Av. Uruguay y Perón. Informe Técnico. APA.
- Giai, S., 2002(c). Santa Rosa. Perforación para riego. Escuela Los Hornos. Informe Técnico. APA.
- Goin, F., C. I. Montalvo y G. Visconti, 2000. Los marsupiales (Mammalia) del Mioceno Superior de la Formación Cerro Azul (provincia de La Pampa, Argentina). Estudios Geológicos, 56 (1-2):101-126.
- Irigoyen, M., 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental. VI Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 139-168, Buenos Aires.
- Lastiri, N., 1980. Santa Rosa. Informe control de nivelación de la laguna Don Tomás. Informe Técnico. APA.
- Ley Nº 2581 Separata Nº 2914- Código Provincial de Aguas de La Pampa. Título V. Normas que rigen los usos especiales. Capítulo I. Uso en abastecimiento de poblaciones, doméstico y municipal. 15 de Octubre de 2010. Pág. 10.
- Linares, E., E. J. Llambías y C. O. Latorre, 1980. Geología de la provincia de la Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. Asociación Geológica Argentina, Revista, XXXV (1): 87-146.
- Malán, J., 1981. Estudio Hidrogeológico Santa Rosa-Anguil.
- Malán, J. 1982(a). Propuestas de regímenes de funcionamiento de los pozos de explotación para abastecimiento de agua potable a la localidad de Santa Rosa. Informe Técnico. APA.
- Malán, J. 1982(b). Propuestas de regímenes de funcionamiento de los pozos de explotación para abastecimiento de agua potable a la localidad de Santa Rosa. Informe Técnico. APA.
- Malán, J., 1987. Informe para solucionar la provisión de agua potable a Barrios XXXIV, XXXV y XXXVII. Informe Técnico. APA.

- Malán, J., 1989(a). Cartografía Básica de la zona de reserva de Santa Rosa y Aledaños.
- Malán, J., 1989(b). Informe crítico sobre el funcionamiento de los pozos de explotación de Santa-Anguil. Informe Técnico. APA.
- Malán, J., 1989(c). Santa Rosa. Informe de perforación N°1 en predio ATE. Informe Técnico. APA.
- Malán, J., 1997(a). Estado de funcionamiento del servicio de agua potable a la ciudad de Santa Rosa. Informe Técnico. APA.
- Malán, J., 1997(b). Riego de espacios verdes en la ciudad de Santa Rosa, calles Gral. Acha, Hucal, Bertera y Rodríguez. Informe Técnico. APA.
- Malán, J. 1997(c). Santa Rosa. Perforaciones Planta Asfáltica y Fundación Chadileuvú. Informe Técnico. APA.
- Mariño, E. y J. Malán. 1997(d). Estudio sobre la recarga en el área de Santa Rosa-Anguil.
- Malán, J., 2000(a). Perforación en Villa Parque para Barrio Judicial. Informe Técnico. APA.
- Malán, J., 2000(b). Santa Rosa. Ubicación de perforaciones para Complejos Habitacionales, Servicio Penitenciario y Plan Vial. Informe Técnico. APA.
- Malán, J., 2000(c). Santa Rosa. Informe perforación Unidad Penal 13. Informe Técnico. APA.
- Marani, J; (2000). Tesis de Maestría: “Diagnóstico ambiental y ordenamiento territorial del humedal Bajo Giuliani”. Universidad Internacional de Andalucía. La Rábida. España.
- Marani, J; (2003). Centro de Interpretación “El Castillo”. Parque Recreativo Don Tomás. Municipalidad de Santa Rosa. La Pampa. Argentina.
- Mecca, J. C. V. 2008. Análisis y modelación del comportamiento hidrológico de las lagunas Don Tomás y Bajo Giuliani. Tesis de Magíster en Ciencias Hídricas. Universidad Nacional de La Pampa. 144 pp. (Inédito).

- Miglianelli, C. 1985. Estudio para abastecimiento de agua potable a escuela del Barrio “Los Hornos”. Santa Rosa. 2 pp. Informe Técnico. APA.
- Miglianelli, C. 1987(a). Informe de la perforación realizada en el barrio E.P.A.M entre las calles Rio Bermejo Paraná y Estrada en la ciudad de Santa Rosa. Informe Técnico. APA.
- Miglianelli, C., 1987(b). Santa Rosa. Informe de perforación realizada a la agrupación Scout Peutulén. Informe Técnico. APA.
- Miglianelli, C.,1987(c). Santa Rosa. Informe perforación realizada a barrio EPAM. Informe Técnico. APA.
- Miglianelli, C. 1991(a). Informe sobre perforación de explotación para el Barrio “Los Hornos”. Informe Técnico. APA.
- Miglianelli, C., 1991(b). Santa Rosa. Informe sobre la perforación de explotación para el Barrio “Los Hornos”. Informe Técnico. APA.
- Montalvo, C., M. Zárate, M. S. Bargo, y A. Mehl, 2013. Registro faunístico y paleoambientes del Cuaternario Tardío. Provincia de La Pampa, Argentina. *Ameghiniana*. 50(6): 554-570.
- QGIS 2.8.3. Software libre y opera bajo la licencia GNU GPL. Copyright (c) 2004 – 2014. Internet: <http://www.qgis.org>.
- Ramonell, C.G., J.O. Tullio, A.P. Calmels y O.C. Carballo, 1993. Unidades litoestratigráficas del Cuaternario superior en el área de Santa Rosa, provincia de La Pampa. En: Calmels, A.P., J.O. Tullio y O.C. Carballo (editores), Introducción al estudio del Cuaternario, p 233-242. Santa Rosa.
- Rimoldi, H. V. y D. G. Silva Nieto, 1999. Mapa geológico de la provincia de La Pampa- República Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires.
- Roberto, Z. E., G. Casagrande y E. F. Viglizzo, 1994. Lluvias en la pampa central. Tendencias y variaciones del siglo. INTA- Centro Regional La Pampa- San Luis, Publicación N° 2, 25 p.

- Russo, A.; Ferello, A. y Chebli, G. (1979). Llanura Chaco-Pampeana. En: Geología Regional Argentina, II Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, Vol. I (4): 139-183. Córdoba.
- Salso, J., 1966. La cuenca de Macachín, provincia de La Pampa. Asociación Geológica Argentina, Revista, XXI (2): 107-117.
- Schulz, C., 1988. Censo Hidrogeológico Acuífero Santa Rosa- Toay. Informe Técnico. APA.
- Silletta, A. y G. Dalmaso. 2006. Informe ensayo perforación Estancia Las Malvinas. Informe Técnico. APA.
- Sttapembeck, R, 1913. Investigaciones hidrogeológicas de los valles de Chapalcó y Quehué y sus alrededores (Gobernación de La Pampa). En Boletín N°4, Serie B (Geología). Ministerio de Agricultura, Dirección de Minas, Geología e Hidrogeología. 55 pag. Buenos Aires.
- SURFER 8 (2002). Golden Software, Inc. 809 14th Street, Golden, Colorado 80401-1866, U.S.A. www.goldensoftware.com. Copyright Golden Software, Inc. 1993-2002.
- Tapia, A., 1961. Los estudios geológicos y los resultados en relación con la provisión de agua a Santa Rosa.
- Teruggi, M. E., 1957. The nature and origin of the Argentine loess. Journal of Sedimentary Petrology, 27(3): 322-332.
- Teruggi, M. E. y P. A. Imbellone, 1983. Perfiles de estabilidad mineral en suelos desarrollados sobre loess de la región pampeana septentrional, Argentina. Ciencia del suelo, 1(1): 65-74.
- Tullio, J., 1988. Santa Rosa. Informe perforaciones Centro Cívico, Hospital Lucio Molas, Asociación Agrícola Ganadera y Mutual Banco Pampa. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 1990. Medidas para atemperar y/o evitar las inundaciones en el Barrio Malvinas Argentinas. Informe Técnico. APA.

- Tullio, J., 1993. Zonas de agua potable en Santa Rosa. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 1994. Santa Rosa. Informe perforación Barrio “Los Hornos”. Comando Cuarto Cuerpo, Club de Golf y Centro Comunitario Villa Germinal. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 1996. Informe sobre las posibilidades de agua para riego en estadio de Softbol en parque Laguna Don Tomás. Santa Rosa. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 2000(a). Santa Rosa. Barrio FONAVI 42. Diseño y costos de perforación. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 2000(b). Santa Rosa. Diseño y construcción de perforaciones en el Barrio 5000. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 2001(a). Santa Rosa. Diseño de perforación en Centro Social y Cultural Instituto. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 2001(b). Santa Rosa. Estudio para perforación en escuela de Directores Técnicos de fútbol y ficha de pozo. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 2001(c). Santa Rosa. Perforación para Barrio a construir en Liberato Rosas y S/nombre. Esquina Calle Pereyra. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 2001(d). Santa Rosa. Perforación para viviendas universitarias en calle Emilio Zola y Santiago Marzo. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 2002. Santa Rosa. Solicitud de perforación en el Barrio Las Artes. Informe y ficha de pozo. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J. 2004. Santa Rosa. Solicitud de perforación en Cámara de Diputados y Fundación Guadalupe. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 2005. Santa Rosa. Sobre perforación Fundación Nuestros Pibes. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 2006. Ampliación de fuentes para la ciudad de Santa Rosa. Perforaciones 46-47-47-52 y 55.

- Tullio, J., 2006. Santa Rosa. Informe perforación plaza del Plan 5000. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 2007(a). Diseño de una perforación para grupo de Scouts en el Barrio Las Artes. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 2007(b). Santa Rosa. Informe perforación APA, en Quintana y Villegas. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 2007(c). Santa Rosa. Informe perforación Escuela N°4. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 2008(a). Informe perforación Terminal de Omnibus de Santa Rosa. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 2008(b). Informe perforación Polideportivo Rio Atuel. Calles Schmidt y Caverro. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J., 2008(c). Diseño de 2 perforaciones Club All Boy. Santa Rosa. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J. 2009. Santa Rosa. Informe de perforación en el Club Belgrano. Informe Técnico. APA.
- Tullio, J. 2010. Mapas de piezometría, residuo seco, distribución de Flúor y Arsénico. Compilación Acuíferos Santa Rosa- Anguil- Santa Rosa- Toay. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. APA. Informe Interno.
- Tullio, J., 2011. Santa Rosa (1) Informe sobre recursos hídricos en el Barrio Los Hornos. (2). Informe pericial sobre evolución del acuífero y medidas. Informe Técnico. APA.
- U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. U.S Department of Agriculture, Handbook 60, 160 p. Washington.
- Visconti, G., C. I Montalvo, M. C. Cardonatto y L. A. Pugener, 1996. Análisis sedimentológico e interpretación paleoambiental de la Formación Cerro Azul

(Mioceno tardío) en el valle Argentino, provincia de La Pampa. IV Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Comunicaciones: 86-88, Santa Rosa.

- Wisner, L. 2012. Caracterización Hidroquímica e Isotópica del Acuífero Libre Santa Rosa -Anguil - Uriburu (La Pampa, Argentina). Tesis de Magíster en Ciencias Hídricas. Universidad Nacional de La Pampa. 158 pp. (Inédito).
- Zarate, M., 2003. Loess of southern South America. Quaternary Science Reviews 22:1987-2006.
- Zelti, J., 1964. El hallazgo de un megatheridae en el “Médano Invasor” del SW de Toay. Provincia de La Pampa. *Ameghiniana*. 3: 257-265.

Organismos que proporcionaron información base.

- * Administración Provincial del Agua (APA).
- * Municipalidad de Santa Rosa. (Dirección de Hidráulica)
- * Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de La Pampa

Agradecimientos

Los autores del presente proyecto agradecen a quienes colaboraron para la realización del mismo.

- * Sr. José María Galea.
- * Srta. Mariana Ruíz Espindola
- * Lic. Germán Morazzo
- * Srta. Romina Schidmit
- * Sr. Ramiro Páez Campos
- * Sr. Gastón Buss
- * Sr. Matías Valditarra
- * Sr. Raul Rossi