

Universidad Nacional de Salta
Facultad de Ciencias Naturales
Escuela de Geología

Tesis Profesional

Estudio Hidrogeológico
del Sector Norte de la Ciudad de Salta en relación a
la ubicación de un nuevo Pozo de Abastecimiento de
Agua en la Universidad Nacional de Salta



Nicolás Ezequiel Larcher
2006

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de cumplir con los requisitos para acceder al título de Geólogo de la Universidad Nacional de Salta y, a su vez, el de realizar una contribución al conocimiento hidrogeológico del sector norte de la ciudad de Salta, en relación a la construcción de un nuevo pozo de abastecimiento de agua ubicado dentro del Complejo Universitario General San Martín (Pozo UNSa).

El trabajo se inició con un estudio de gabinete previo, en el cual se colectaron datos de perforaciones ya efectuadas en el área, se realizó una correlación de los niveles de subsuelo atravesados por estas perforaciones y se elaboró un anteproyecto de pozo.

Posteriormente, durante la perforación exploratoria, se realizó el control geológico y luego de concluida ésta, el diseño de entubación del pozo y el seguimiento de las actividades de terminación, ensayo y puesta en producción.

Finalmente se confeccionó el presente informe que abarca los trabajos realizados, la información obtenida, la interpretación de ésta y las conclusiones finales a las que se llegó.

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en el valle de Lerma, en el sector norte de la ciudad de Salta, estando delimitada en su parte septentrional por el río Vaqueros – Mojotoro al sur por la Avenida Bernardo Houssay, al oeste por la avenida Bolivia y al este por las sierras de Mojotoro. El acceso a la zona de estudio se realiza desde el centro de la ciudad de Salta a través de la avenida Bolivia (ruta nacional N° 9) o por medio de la avenida Bernardo Houssay y otros caminos secundarios (ver Mapa 1 e Imagen N° 1). Las coordenadas Gauss Krueger del pozo UNSa medidas mediante GPS navegador, datum Campo Inchauspe, son Y: 3.560.074 X: 7.265.947

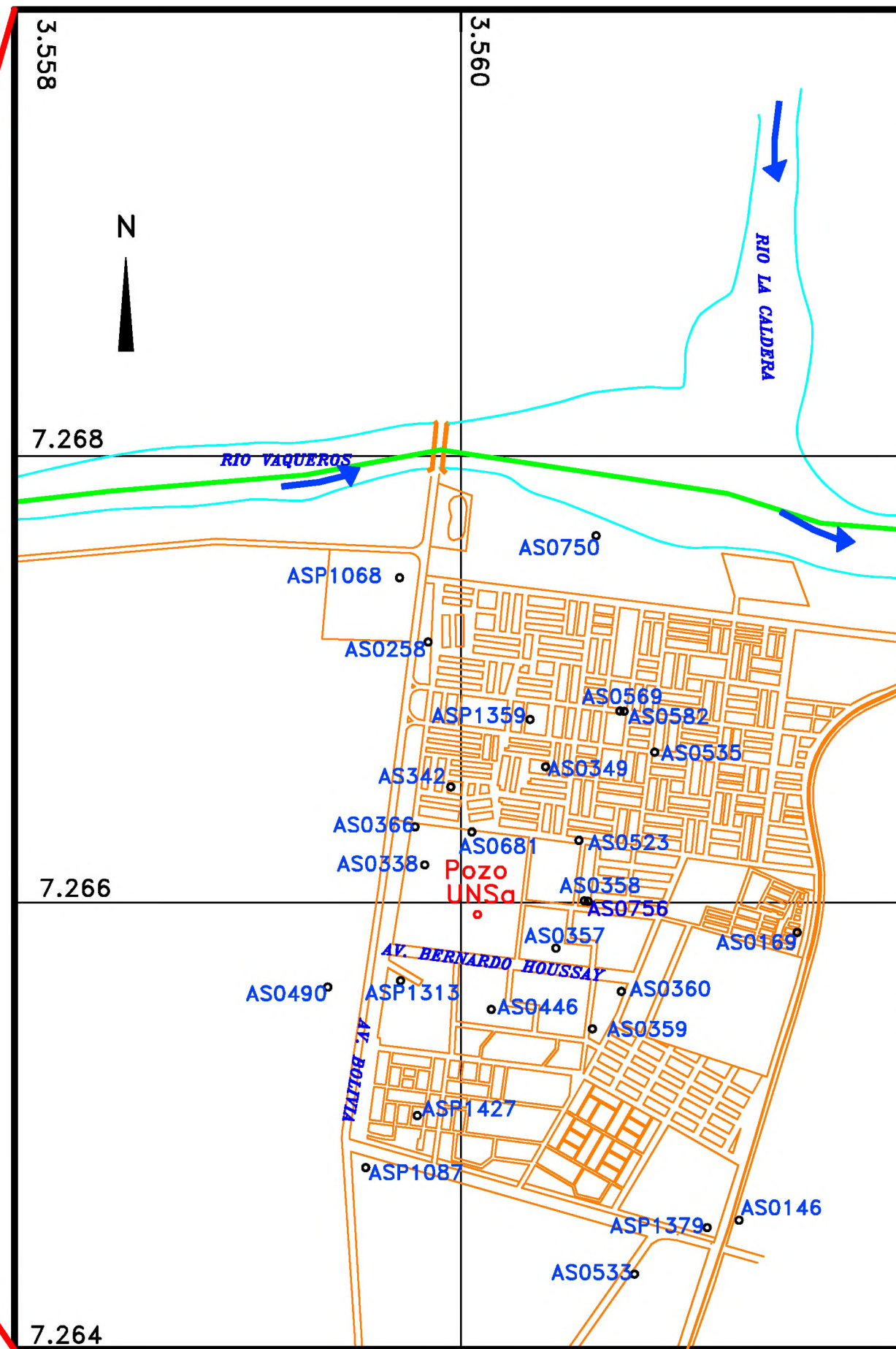
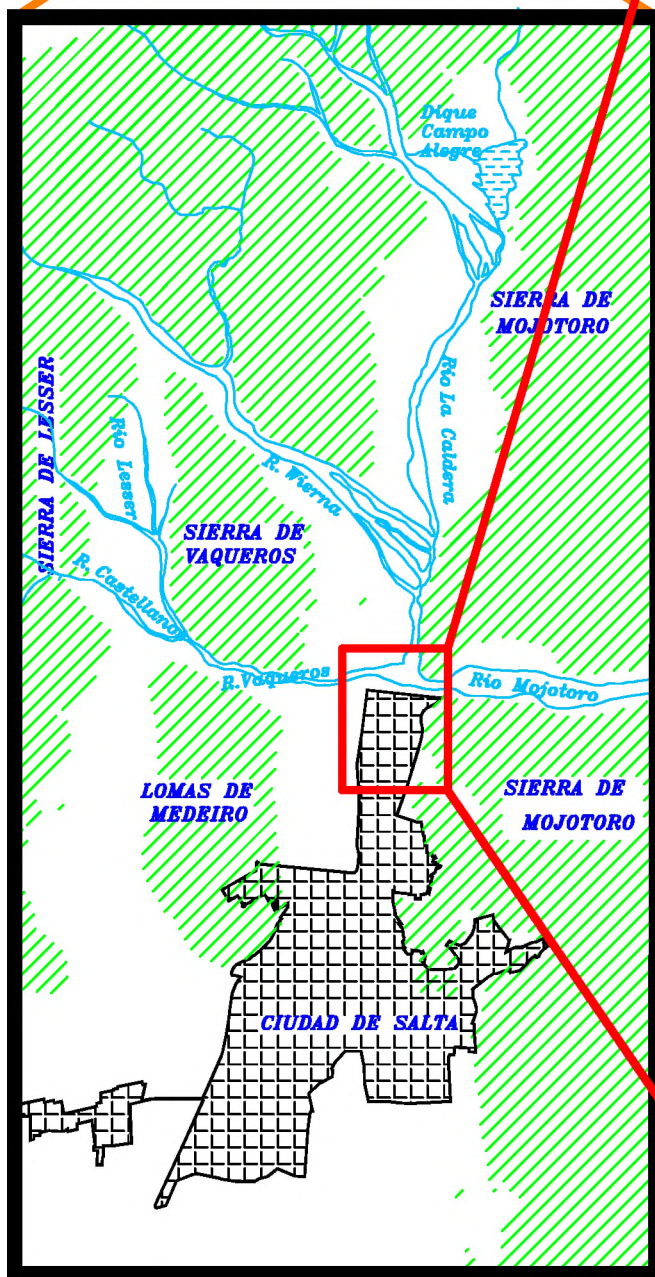
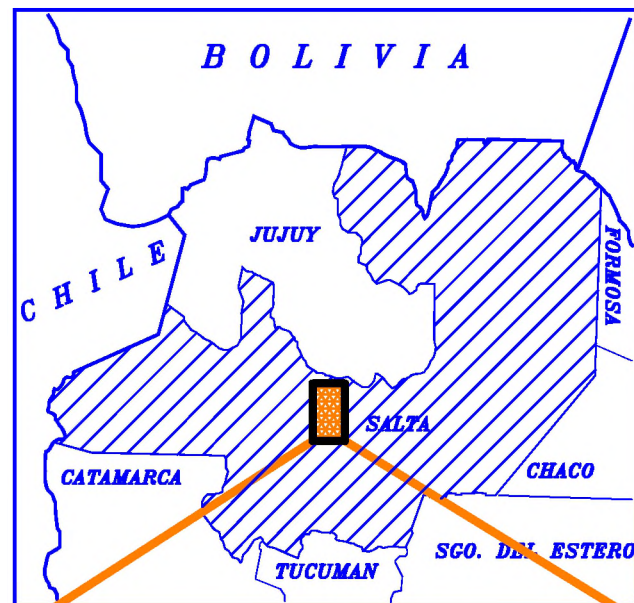
ANTECEDENTES

Varios trabajos han sido realizados en el área, entre ellos se destacan:







Butrón (1976) en su tesis profesional realizó un estudio hidrogeológico general de la ciudad de Salta y determinó la presencia e importancia del paleocauce del río La Caldera.

Mapa de ubicación

Mapa N° 1



REFERENCIAS

-  *Area urbana*
-  *Pozo de agua*
-  *Ferrocarril*
-  *Rios principales*
-  *Limite departamental*
-  *Coordenada Gauss-Kruger*

Tomado de Brandán et al (1995)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL SECTOR NORTE DE LA CIUDAD DE SALTA EN RELACION A LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO POZO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA UNSa
 PROVINCIA DE SALTA - REPUBLICA ARGENTINA

Mapa de la zona de estudio y ubicación de pozos

Nicolás Larcher

2006

Baudino (1996) abarcó la hidrogeología del valle de Lerma, definió el Sistema Acuífero La Caldera y describió las principales características del mismo.

Fuertes *et al.* (2001) complementan el estudio del Sistema Acuífero La Caldera analizando en detalle sus distintos parámetros. Advierten sobre descensos de hasta 30 metros en los niveles estáticos y aumentos constantes en las concentraciones de nitratos y cloruros debidos al “mal manejo, la falta de planificación y sobre todo la falta de conciencia de lo que el recurso significa para las generaciones futuras.” Realizan diversas recomendaciones tendientes a la protección del recurso hídrico subterráneo.

Rocha y Baudino (2002) estudiaron la contaminación con nitratos del Sistema Acuífero La Caldera, detectando un nivel de alarma (contenido de nitratos superior a 22,5 mg/L) para los pozos AS0349 y AS0342, ubicados en el área de estudio, unas cuabras al norte de la actual ubicación del pozo UNSa.

CARACTERISTICAS GENERALES

Clima:

El clima en el área de estudio es subtropical con estación seca a subtropical serrano, produciéndose la mayor parte de las precipitaciones durante la época estival y con carácter torrencial. La temperatura media anual es de 17,2 °C siendo los veranos cálidos y los inviernos templados, con temperaturas que rara vez descienden por debajo de los 0 °C (Arcan Ventures S. A., 1994 citado por Fuertes *et al.*, 1997). La precipitación media anual es cercana a los 700 mm mientras que la evapotranspiración es superior a los 600 mm anuales. Esta elevada tasa de evapotranspiración ha sido asociada a la coincidencia de la época de mayor precipitación con la de mayores registros térmicos. El escaso margen entre la cantidad de agua aportada por la lluvia y la evapotranspirada es indicativo de que los acuíferos presentes en la zona de estudio presentan recarga alóctona (Fuertes *et al.* 1997).

En el valle de Lerma en general los valores de las precipitaciones medias anuales varían notablemente de acuerdo a su ubicación dentro de éste, actuando los cordones montañosos que lo delimitan como barreras orográficas que regulan la magnitud de las precipitaciones al influir sobre el movimiento de los vientos húmedos provenientes del este. Así en el sureste del valle donde la altura de la sierra de Mojotoro alcanza los 1.729 m en el cerro La Pedrera, las precipitaciones rondan los 500 mm anuales. Más al norte, en la ciudad de Salta y en el área de estudio, al existir quebradas como la del Portezuelo o Mojotoro, hay un mayor pasaje de los vientos húmedos produciéndose precipitaciones de alrededor de 700 mm anuales. Hacia al oeste y el noroeste, en el flanco oriental del cordón de Lesser, las precipitaciones alcanzan los 1.400 mm anuales en la localidad de San Lorenzo que se ubica a tan sólo 11 kilómetros de la ciudad de Salta. Este incremento en las precipitaciones se debe a la gran altura del cordón de Lesser (3.500m en el cerro La Toma) que detiene el avance hacia el oeste de la mayoría de los vientos húmedos (Fuertes *et al.* 1997).

La evapotranspiración también se incrementa hacia el oeste aunque en relación a los valores de precipitación se produce una notable disminución porcentual. De esta manera la evapotranspiración, que en el área de estudio representa el 85% del volumen precipitado, en San Lorenzo representa sólo el 50% a pesar de haberse incrementado de 600 a 700mm anuales (Fuertes *et al.* 1997). Así, en el flanco noroccidental del valle, se

encuentran disponibles hasta 700 mm anuales para la recarga de los cursos fluviales y los acuíferos.

Vegetación:

El área de estudio se encuentra dentro de la Región Fitogeográfica Neotropical, en el dominio Amazónico y formando parte del distrito de las Selvas de Transición dentro de la Provincia de las Yungas (Cabrera, 1976 citado por Fuertes *et al.*, 1997). La vegetación, originalmente arbórea y/o arbustiva, se halla actualmente erradicada o modificada por la acción del hombre.

En las zonas aledañas al área de estudio que todavía no han sido urbanizadas, especialmente en los relieves positivos, la vegetación ha sido menos afectada por la actividad humana y recubre aun gran parte de la superficie.

Hidrografía:

La zona de estudio está dentro de la cuenca del río Bermejo y en las cercanías del límite con la cuenca del río Juramento. El escurrimiento, al tratarse de un área urbana, está regido por la mano del hombre. Las aguas recogidas por distintas obras de ingeniería son volcadas en el río Vaqueros–Mojotoro.

El río Mojotoro se forma a partir de la unión de los ríos Vaqueros y La Caldera. El río Vaqueros tiene rumbo oeste- este y reúne las aguas provenientes de los ríos Castellanos y Lesser que drenan el flanco oriental del cordón de Lesser. El río La Caldera recoge las aguas del dique Campo Alegre y recibe el aporte de los ríos Santa Rufina, San Alejo, Yacones y Wierna, su curso tiene rumbo norte-sur.

El caudal medio anual del río Mojotoro medido a su salida del valle de Lerma (Estación El Angosto), durante el periodo 1942-1984, fue de 15,2 m³/s (Estadística Hidrológica 1994, citada por Baudino, 1996). Cabe destacar que este caudal es aproximadamente igual a la sumatoria de los caudales medios anuales de los afluentes del río La Caldera por lo que éste sería el principal contribuyente. El río Vaqueros, por su parte, realiza un aporte secundario durante la estación húmeda, ya que durante la época de estiaje se insume al ingresar al vaso del valle de Lerma (Baudino, 1996).

Suelos:

Los suelos presentes corresponden a fluvisoles de la asociación Vaqueros. Se desarrollaron a partir de sedimentos de pie de monte (depósitos fluviales y coluviales),

son poco evolucionados y presentan texturas medias. Están bien drenados, presentan pendientes de entre 2 y 6 %, erosión ligera a moderada y han sido bastante afectados por la actividad del hombre (Nadir y Chafatinos, 1990).

Geología y Estratigrafía:

El área de estudio forma parte de la Provincia Geológica Cordillera Oriental (Turner, 1972) siendo una porción del norte del Valle de Lerma. Este valle es una depresión elongada en sentido norte- sur que se encuentra limitada al oeste por los altos de Pascha, Salamanca y Lesser y al este por la sierra de Mojotoro. Su superficie es relativamente plana, con pendiente hacia el sur- sureste y una altura media de 1200 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).

Estructuralmente el valle de Lerma conforma una cuenca de “piggy back” formada tras la elevación de la sierra de Mojotoro. La sierra fue elevada por una mega fractura conocida como el “Frente de Fracturación Tacónico Oriental” (Baldis *et al.*, 1976) o “Frente Oclóyico Oriental” (Turner y Méndez, 1975). Esta falla inversa, ubicada en el flanco oriental de la sierra de Mojotoro, buza hacia el oeste y marca el límite entre la Cordillera Oriental y las Sierras Subandinas. Al oeste del valle de Lerma se encuentra otra gran fractura de rumbo submeridiano que es la responsable de la elevación del Cordón de Lesser.

Transversalmente a estas fracturas se encuentran varios lineamientos, el principal de ellos, con rumbo noroeste – sudeste, es conocido como Calama-Olacapato-Toro que marca el límite norte de la subprovincia Cumbres Calchaquíes (Baldis *et al.*, 1976). La ciudad de Salta se encuentra ubicada al norte de este lineamiento.

La estratigrafía presente en las áreas de aporte y en el subsuelo del área de estudio es la siguiente: (ver Mapa N° 2)

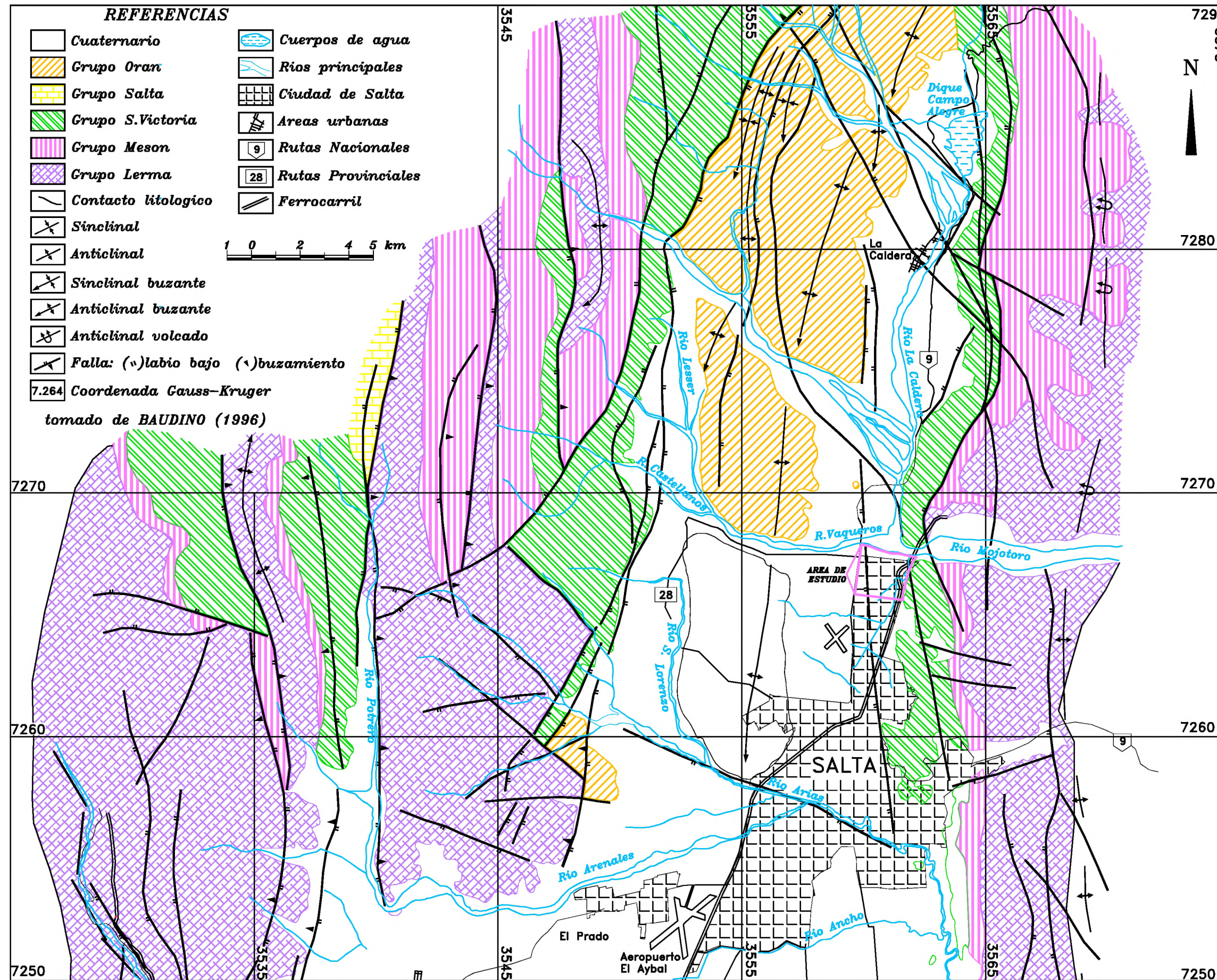
Precámbrico

Grupo Lerma (Salfity *et al.*, 1976; *nom. ememd.* Baldis y Omarini, 1984)

Formación Puncoviscana (Turner y Mon, 1979): Aflora en el Alto de Salamanca y en el Cordón de Lesser, en el oeste del valle, y a lo largo de la sierra de Mojotoro en el oriente. Está conformada por leptometamorfitas de colores gris oscuro, castaño, rojizo y morado; atravesadas por venas de cuarzo lechoso.

Mapa Geológico

Mapa N° 2



- REFERENCIAS**
- | | |
|------------------------------------|--------------------|
| Cuaternario | Cuerpos de agua |
| Grupo Oran | Rios principales |
| Grupo Salta | Ciudad de Salta |
| Grupo S. Victoria | Areas urbanas |
| Grupo Meson | Rutas Nacionales |
| Grupo Lerma | Rutas Provinciales |
| Contacto litológico | Ferrocarril |
| Sinclinal | |
| Anticlinal | |
| Sinclinal buzante | |
| Anticlinal buzante | |
| Anticlinal volcado | |
| Falla: (↘)labio bajo (↙)buzamiento | |
| Coordenada Gauss-Kruger | |
- tomado de BAUDINO (1996)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL SECTOR NORTE DE LA CIUDAD DE SALTA EN RELACION A LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO POZO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA UNSa

PROVINCIA DE SALTA - REPUBLICA ARGENTINA

Mapa Geológico de la zona de estudio y adyacencias

Nicolás Larcher 2006

Cámbrico:***Grupo Mesón*** (Turner y Mon, 1979)

Se deposita en discordancia angular sobre la Formación Puncoviscana y está constituido por las siguientes formaciones:

Formación Lizoite (Turner, 1960): Está constituida por una secuencia de areniscas cuarzosas gris rojizas y gris blanquecinas depositadas por sobre un conglomerado basal silíceo.

Formación Campanario (Turner, 1960): Formada por una alternancia de areniscas, limolitas y lutitas de color rojo y morado, predominando las fracciones finas en la base de la unidad.

Formación Chahualmavoc (Turner, 1963): Integrada por areniscas cuarzosas medianas, de colores claros (blanco y rosado) intercaladas con niveles pelíticos verde oscuro.

Ordovícico***Grupo Santa Victoria*** (Turner, 1960)

Se deposita discordantemente sobre el Grupo Mesón y aflora en la mayor parte de la Sierra de Mojotoro. Está constituido por:

Formación La Pedrera (Moya, 1988): Constituida por un conglomerado basal polimíctico color rosado claro y pardo amarillento sobre el que se deposita una sucesión de areniscas cuarzosas y cuarcitas blancas grisáceas, blancas amarillentas y rosadas claras.

Formación San José (Harrington, 1957): Conformada por lutitas de colores pardo amarillento, gris plomizo gris verdoso y morado, limolitas grises claras y wackes finas color gris oscuro y pardo verdoso.

Formación La Caldera (Harrington, 1957): Integrada por bancos tabulares de areniscas micáceas grises verdosas, pardas verdosas, grises parduscas y grises claras; lutitas arenosas color pardo amarillento y cuarcitas pardas rojizas y blancas grisáceas.

Formación Floresta (Moya, 1988): Compuesta por lutitas limosas y limo arenosas, en parte micáceas, color pardo amarillento, gris verdoso y verde oliva.

Formación Áspero (Harrington, 1957): Constituida por areniscas cuarzosas color rosado claro, amarillo verdoso, morado claro, gris amarillento y gris claro; y lutitas limosas y arenolimosas pardas amarillentas y pardas verdosas.

Formación San Bernardo (Harrington, 1957): Representada por lutitas limofangosas y fangosas color pardo amarillento, y wackes y areniscas cuarzosas verdes, gris-verdosas, y pardo-verdosas.

Formación Mojotoro (Harrington, 1957): Caracterizada por espesas acumulaciones de areniscas cuarzosas de colores blanco grisáceo, blanco amarillento, rosado, rosado morado y morado entre las que intercalan intervalos samopelíticos de escaso espesor de colores verde, gris verdoso y pardo morado.

Formación Santa Gertrudis (Harrington, 1957): Compuesta por wackes finas y medianas, algo micáceas y limolitas de colores gris y gris verdoso oscuros.

Cretácico

Grupo Salta (Brackebusch, 1891, *nom. subst.* Turner, 1959.)

Subgrupo Balbuena (Moreno, 1970)

Formación Yacoraité (Turner, 1959) Es la única formación de este grupo presente y aflora, en forma local, en el oeste de la Sierra de Lesser. Se apoya en discordancia sobre las sedimentitas ordovícicas y está compuesta por calizas oolíticas con gasterópodos en las que intercalan delgados bancos de areniscas calcáreas y arcillosas de colores verde, rojo y pardo rosado.

Neógeno

Grupo Orán (Russo, 1972)

Subgrupo Jujuy (Russo, 1972)

Aflora en el norte del valle de Lerma, en las cercanías de la sierra de Vaqueros y está compuesto por

Formación Guanaco (Gebhard *et al.*, 1974): Integrada por conglomerados finos y areniscas grises en los que intercala un nivel de tobas granatíferas.

Formación Piquete (Gebhard *et al.*, 1974): Constituida por conglomerados gruesos, poco seleccionados, que alternan con bancos de areniscas pelíticas. El conjunto presenta una coloración parda amarillenta observándose niveles rojizos dentro de algunos de los bancos de areniscas y niveles conglomerádicos pardo grisáceos y pardo rosados (Medina, 1981). Los clastos que forman el conglomerado son rodados de cuarcitas, coquinas, areniscas y pelitas del paleozoico inferior.

Holoceno

Constituye el relleno del valle de Lerma depositándose por encima de las unidades Neógenas. Tres formaciones han sido diferenciadas:

Formación Calvimonte (Gallardo, 1985): Abarca casi toda la extensión del valle de Lerma conformando la base de su relleno. Está formada por gravas y conglomerados de bloques, matriz arenosa, que gradan lateralmente a arenas con matriz limo-arcillosa en dirección oeste – este. Su espesor es variable, teniendo mayor potencia en subsuelo. En general se caracteriza por gravas medianas de color gris oscuro, friables y macizas compuestas por clastos de las formaciones precámbricas y paleozoicas dentro de una matriz areno - arcillosa de color castaño amarillenta.

Formación Tajamar (Gallardo, 1985): Formada por sedimentos arcillosos friables, color rosado y naranja grisáceo, finamente estratificados en los que se intercalan niveles de areniscas marrones amarillentas pálidas. Está ampliamente distribuida en el subsuelo del valle y aflora en las cercanías de la localidad de San Agustín. Su extensión máxima hacia el norte se ubicaría bajo el casco céntrico de la ciudad de Salta.

Formación La Viña (Gallardo, 1985): Reúne gran parte de los depósitos de pie de monte y abanicos aluviales que llegan al valle. Gradúa lateralmente desde gravas gruesas a medianas en los ápices de los conos a arenas y pelitas en las partes distales. Su composición y color es similar a los de la Formación Calvimonte y se diferencia de esta por poseer bancos discontinuos de tobas gris rosadas. Presenta una relación discordante con la formación Tajamar y en algunos lugares la erosiona completamente ubicándose en contacto con la Formación Calvimonte. En este último caso sólo es posible diferenciar ambas formaciones si se encuentran depósitos piroclásticos correlacionables.

Geomorfología:

Geomorfológicamente se puede dividir al valle de Lerma en dos comarcas. La austral, que se caracteriza por una activa erosión por parte de los cursos de agua y la septentrional, donde se ubica el área de estudio, en la que se está produciendo un progresivo aluvionamiento, principalmente debido a los aportes del flanco occidental. Estos aportes conforman grandes conos aluviales alimentados por la gran cantidad de carga sólida acarreada por los ríos que drenan las vertientes occidentales (Fuertes *et al*, 1997).

Al norte del área de estudio los acarrees de los ríos Wierna y San Alejo han empujado al río La Caldera hacia el este favoreciendo así su captura por parte del río Mojotoro (ver Mapa N° 3). Esta captura está evidenciada por el brusco giro hacia el este que realiza el río La Caldera, abandonando el valle poco después de su unión con el río Vaqueros y dejando un cauce abandonado que atraviesa el área de estudio y desagua en el río Arenales, en el sur de la ciudad (Medina, 1981). Este paleocauce es reconocible por evidencias de subsuelo y tiene gran relevancia desde el punto de vista hidrogeológico (Butrón, 1976, Baudino, 1996), ya que conforma el medio de trasvase subterráneo de caudales que alimentan los acuíferos septentrionales de la ciudad de Salta.

La captura del río La Caldera por parte del río Mojotoro ocasionó también la formación de las Lomas de Medeiros. Estas lomas constituyen un relieve terrazado que se originó tras la reactivación de la dinámica fluvial del río La Caldera y sus afluentes para acomodarse al nuevo nivel de base tras la captura. Esta reactivación provocó la erosión del antiguo cono aluvial del río Wierna formando las actuales Lomas de Medeiros (Medina, 1981).

El río Wierna fue a su vez capturado por un afluente del río La Caldera formándose en su antiguo cauce lo que es actualmente el río Lesser. El río Lesser y el río Castellanos, que antiguamente desaguaban en el río Arias- Arenales, fueron también capturados por una prolongación hacia el oeste del río Mojotoro que constituye el actual río Vaqueros. Todo este sector de la antigua cuenca del río Juramento pasó así a formar parte de la cuenca del río Bermejo (Medina, 1981).

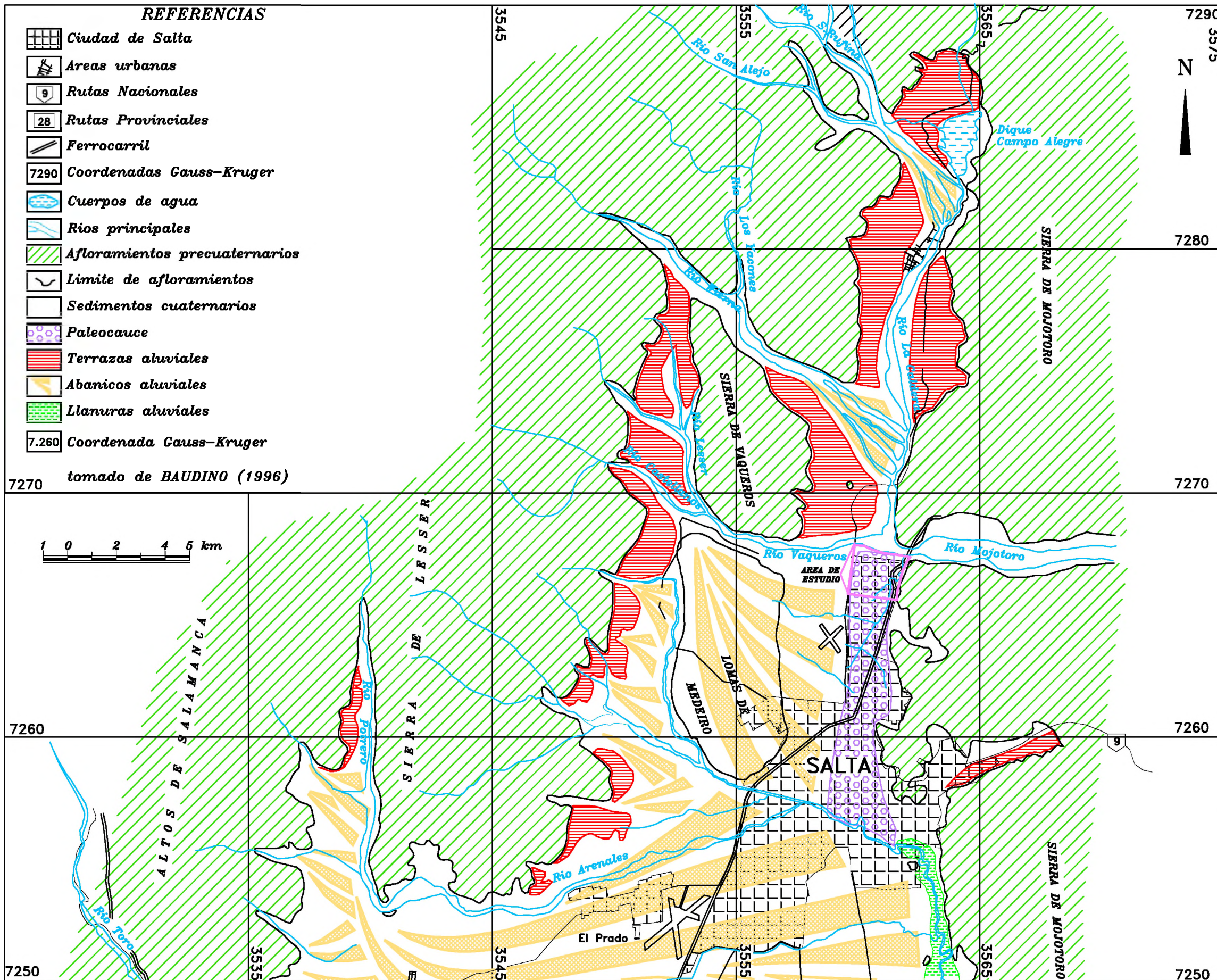
Hidrogeología

Hidrogeológicamente el área de estudio se encuentra enmarcada dentro del Sistema Acuífero La Caldera (Baudino, 1996). Este sistema acuífero está íntimamente relacionado con el paleocauce del río La Caldera. Los reservorios productivos se extienden a lo largo de una franja de unos 20 kilómetros de largo en dirección norte-sur y de aproximadamente 2,5 kilómetros de ancho. Se inician en las cercanías de la localidad de La Caldera y tienen como límite sur al río Arias.

Los reservorios están constituidos por material de origen fluvial, principalmente aglomerados de bloques y gravas gruesas con matriz arenosa. La selección de los sedimentos es bastante mala y no se encuentran capas de una litología definida y continuidad areal. Algunos lentes de arcilla se intercalan irregularmente con las gravas

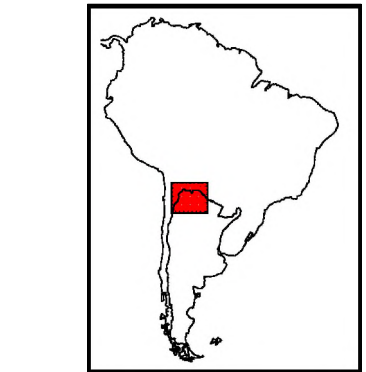
Mapa Geomorfológico

Mapa N° 3



- REFERENCIAS**
- Ciudad de Salta
 - Areas urbanas
 - Rutas Nacionales
 - Rutas Provinciales
 - Ferrocarril
 - Coordenadas Gauss-Kruger
 - Cuerpos de agua
 - Rios principales
 - Afloramientos precuaternarios
 - Limite de afloramientos
 - Sedimentos cuaternarios
 - Paleocauce
 - Terrazas aluviales
 - Abanicos aluviales
 - Llanuras aluviales
 - Coordenada Gauss-Kruger

7270 tomado de BAUDINO (1996)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL SECTOR NORTE DE LA CIUDAD DE SALTA EN RELACION A LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO POZO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA UNSa

PROVINCIA DE SALTA - REPUBLICA ARGENTINA

Mapa Geomorfológico de la zona de estudio y adyacencias

Nicolás Larcher 2006

en la parte norte. Hacia el sur, estas intercalaciones aumentan en número y potencia.

Los reservorios están lateralmente limitados por sedimentitas ordovícicas y terciarias de escasa permeabilidad que afloran en el este y oeste del valle respectivamente. El espesor máximo, ubicado hacia el centro del valle, no ha sido aún determinado aunque es mayor a los 180 m (máxima profundidad alcanzada por las perforaciones existentes).

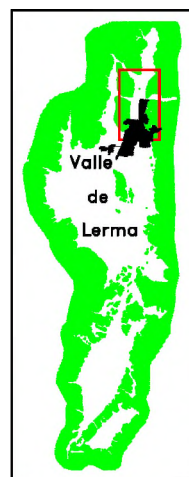
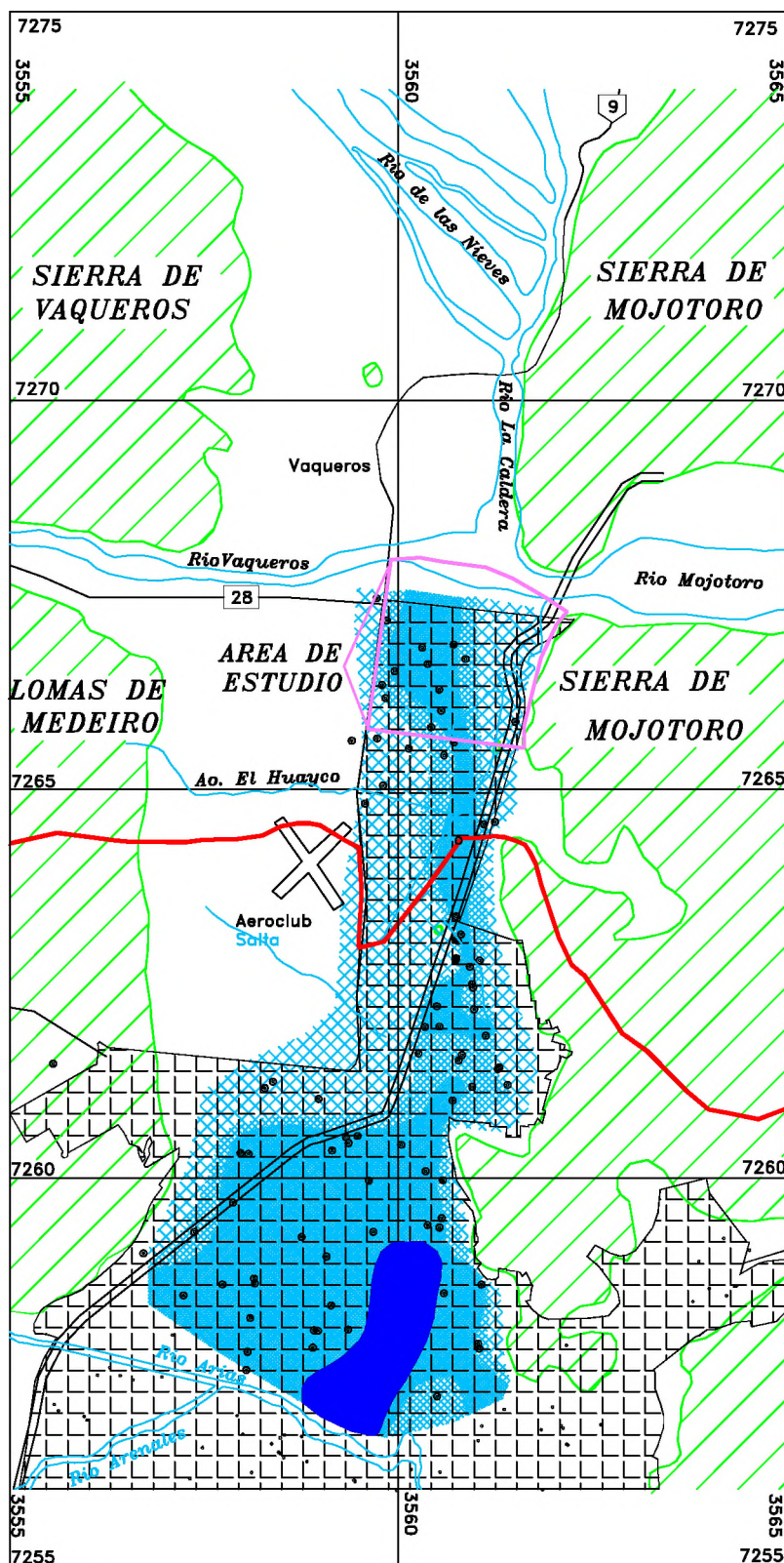
El flujo subterráneo tiene dirección norte – sur por lo que dentro del área de estudio es contrario a la dirección de la pendiente superficial. La zona de conducción abarca desde el río Vaqueros – Mojotoro hasta el centro de la ciudad de Salta, encontrándose los valores de caudal específico más altos a lo largo del centro del paleocauce y disminuyendo hacia los bordes (ver Mapa N° 4).

La zona de recarga abarca el cauce del río La Caldera al norte del río Mojotoro donde el relleno del cauce alcanza los 150 m de espesor permeable (Baudino, 1996). Las cuencas que realizan su aporte a la recarga de este sistema acuífero son las encargadas de drenar gran parte del área de mayor pluviometría del Cordón de Lesser por lo que el caudal medio de recarga potencial (16,2 m³/s) es uno de los más altos del valle de Lerma (Baudino, 1996).

Sin embargo las mejores perspectivas para la extracción de agua, con fines de provisión para el consumo humano, se encuentran al norte del río Vaqueros- Mojotoro (tramo norte del Sistema Acuífero La Caldera). En el área de estudio y tramos del Sistema Acuífero situadas al sur de la misma la recarga posee limitaciones naturales y se tiende a una sobreexplotación de los recursos (Baudino, 1996).

Mapa de caudales Específicos

Mapa N° 4



REFERENCIAS

- Caudales específicos**
- Bajos ($< 2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$)
 - Medios ($2 \text{ a } 5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$)
 - Altos ($5 \text{ a } 10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$)
 - Muy Altos ($> 10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$)
- Perforaciones
 - Limite de cuenca hidrologica
 - Afloramientos de roca
 - Ciudad de Salta
 - Calles y caminos
 - Rutas Nacionales
 - Rutas Provinciales
 - Ferrocarril
 - Cuerpos de agua
 - Rios principales
 - Coordenadas Gauss-Kruger
- 0,5 0 1 2 2,5 km

tomado de BAUDINO (1996)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL SECTOR NORTE DE LA CIUDAD DE SALTA EN RELACION A LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO POZO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA UNSA
PROVINCIA DE SALTA - REPUBLICA ARGENTINA

Mapa de Caudales Específicos
Sistema Acuífero Caldera

Nicolás Larcher

2006

CORRELACION DE PERFORACIONES EXISTENTES

En el área de estudio existen varias perforaciones realizadas con anterioridad a la construcción del pozo UNSa. Previamente a la ejecución del pozo y con la finalidad de tener una idea de los distintos niveles litológicos que se podrían encontrar durante la perforación exploratoria se correlacionaron los perfiles litológicos de 3 pozos ubicados prácticamente en una línea recta de dirección oeste-este. Estos pozos, AS0366, AS0681, AS0523 se encuentran a lo largo de la avenida Fuerza Aérea y a escasos metros al norte de la actual ubicación del pozo UNSa.

Posteriormente a la construcción del pozo UNSa y con la intención de lograr un mayor entendimiento de la geología del subsuelo de la zona de estudio, se realizaron 5 nuevas correlaciones: 3 en dirección norte-sur y 2 en dirección oeste-este. En estas correlaciones se buscó encontrar similitudes entre los distintos perfiles con la finalidad de determinar niveles de subsuelo correspondientes a acuíferos y capas de arcilla que se extiendan lateralmente. La cota de cada uno de los pozos fue en un principio determinada por la indicada en el respectivo perfil pero posteriormente, al hallarse desfasajes de varios metros, se realizó una medición con altímetro barométrico de cada uno de los pozos en cuestión, para corregir los valores altimétricos en las mediciones originales. Aun así se presentaron algunos desfasajes los cuales se explicarán más adelante. Teniendo en cuenta que los errores de cota o posición de un nivel pueden generarse por varias y diversas causas (perfilajes defectuosos, mal muestreo de cutting, errores del aparato de medición, etc.) se ha tratado de hallar la explicación más razonable de acuerdo a los datos disponibles.

Dentro de cada correlación se colocaron los perfiles geofísicos, de los pozos que los poseían, lateralmente a los mismos. En algunos casos se omitió el perfil SP por no presentar deflexiones. Tanto los perfiles resistivos como los de potencial espontáneo pueden presentar ligeros desfasajes debidos a la digitalización de los perfiles a través de un scanner.

Los niveles arcillosos que se establecieron son los que más resaltan en los perfiles geofísicos y litológicos de cada pozo. Cabe destacar que casi ninguno corresponde a una capa arcillosa neta ya que la mayoría se encuentra acompañada de fracciones granulométricas de mayor tamaño. La interpretación personal y propia de los distintos profesionales que estuvieron a cargo de la elaboración de los perfiles de cada pozo jugó un papel importante clasificando de distinta manera un mismo sedimento. Por

ejemplo en los pozos ASP1313 y AS0446 se encuentra un potente nivel, entre los 30 y 70 metros de profundidad aproximadamente, que ha sido definido como una arcilla gravosa en el primero y como una grava con matriz arenopelítica en el segundo.

Los niveles acuíferos fueron determinados, en general, teniendo en cuenta la ubicación de los filtros o acuíferos determinados en los distintos pozos. Filtros o acuíferos ubicados a alturas iguales o similares por sobre el plano de referencia (nivel del mar) fueron interpretados como enfrentados o pertenecientes a un mismo nivel acuífero. Hubo algunas excepciones en las que al realizar las correlaciones se observó que los acuíferos determinados originalmente para un pozo no concordaban con los presentes en los demás perfiles o que niveles descartados como acuíferos no mostraban diferencias litológicas con los acuíferos. En estos casos se recurrió a los informes y perfiles originales guardados en la base de datos del INASLA y se controlaron los niveles conflictivos. En algunos casos, en los que los perfiles geofísicos así lo avalaban, se modificaron los perfiles litológicos de algunos pozos para hacerlos coincidir con los demás. En estos casos la modificación se limitó a modificar en los perfiles el espesor de los acuíferos o a diferenciar gráficamente los niveles acuíferos de niveles gravosos con abundante matriz fina que en los perfiles originales presentaban la misma trama litológica.

Aquellos niveles que, sin ser arcillosos, fueron descartados como acuíferos debido a su relativamente alta proporción de finos (arenas o pelitas) se agruparon dentro de una tercera categoría: “nivel con abundante material fino”. Estos niveles suelen concordar tanto con niveles pelíticos como con acuíferos, siendo posible que las diferencias sean debidas a distintas interpretaciones de un mismo sedimento. En aquellos casos en los que el grado de seguridad es relativamente bajo se colocaron signos de interrogación frente a los acuñamientos o interdigitaciones interpretados para indicar duda.

En cuarto lugar aquellos niveles acuíferos que no fueron puestos en producción por su posición somera o sin que se halle en los perfiles explicación a su no explotación, fueron dejados en blanco, sin tramado alguno. En los niveles más profundos de este tipo es probable que en algunos casos hayan sido descartados por tener un mayor porcentaje de finos aunque esto no se evidencie o conste en los perfiles geofísicos o litológicos.

Para finalizar y antes de empezar la descripción de cada una de las correlaciones se destaca que las mismas son interpretaciones personales en base a datos que son insuficientes como para realizar una descripción exacta y definitiva de la conformación

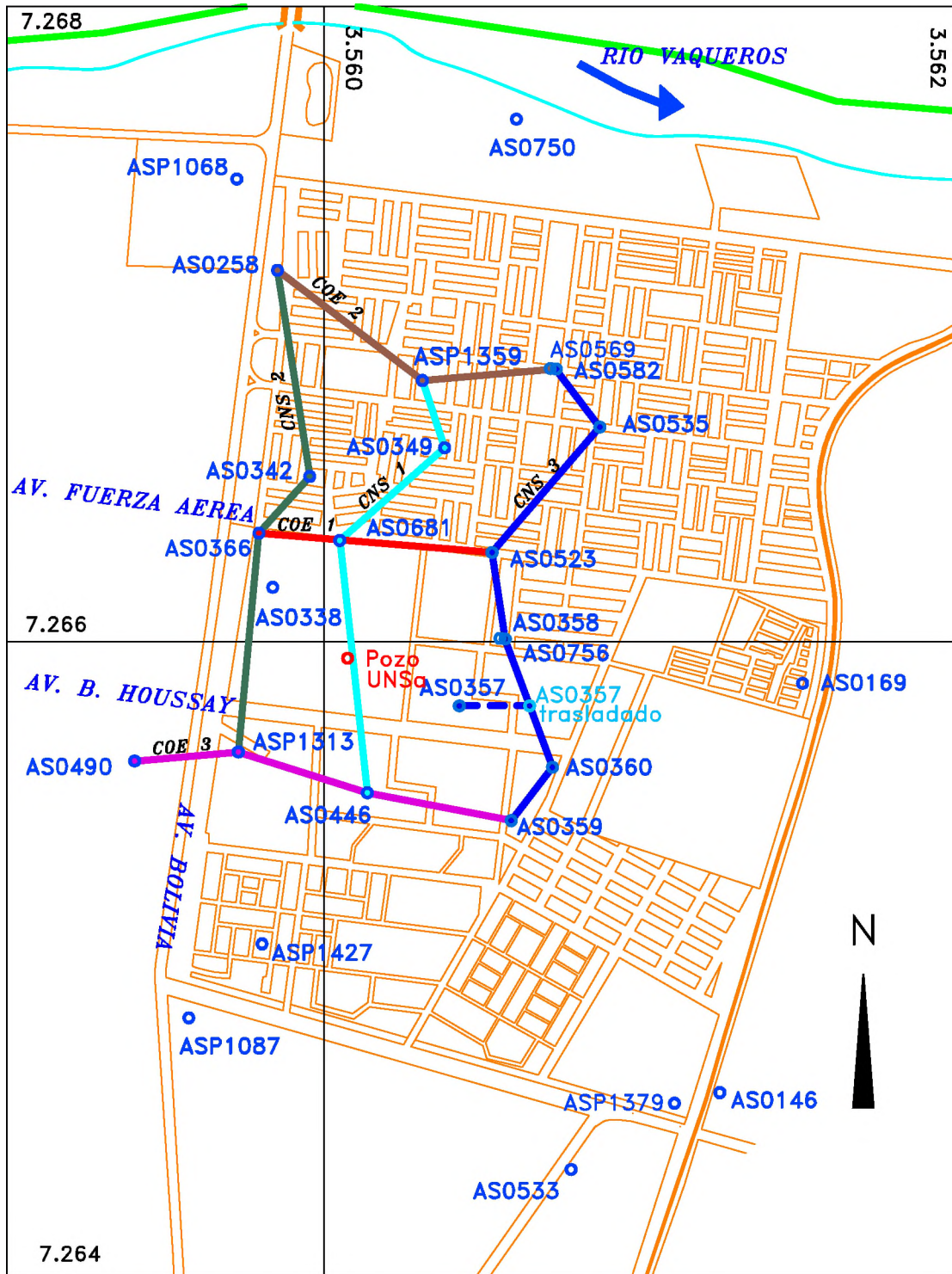
del subsuelo en el área de estudio Además se debe tener en cuenta que al tratarse de un depósito fluvial (paleocauce) pueden producirse variaciones en cuestión de pocos metros. El propósito de estas correlaciones fue el de definir la posible ubicación de niveles de interés hidrogeológico conformando una ayuda para todo geólogo que en el futuro esté a cargo de una perforación exploratoria en la zona de estudio. En estos futuros estudios se confirmaran o no las deducciones planteadas en el presente,

Correlación Norte-Sur N° 1 (CNS 1)

Abarca los pozos ASP1359, AS0349, AS0681 y AS0446 (ver Mapa N° 5 y Figura N° 1). En esta correlación se detectó un nivel arcilloso presente alrededor de los 70 m de profundidad del pozo AS0681. Este nivel tiene un espesor cercano a los 15 metros en el pozo AS0349 pero disminuye su espesor hacia el sur, midiendo solamente 1,2 metros en el pozo AS0446. Este nivel arcilloso es tal vez el más importante ya que, como se verá en el resto de las correlaciones, está presente en prácticamente todos los pozos del área y los principales acuíferos en explotación se encuentran por debajo del mismo. Es por esto que llamaremos a este nivel “Nivel Arcilloso Principal”. En el pozo ASP1359 se observa un nivel arcilloso presente 8 m por encima del nivel arcilloso antedicho a la vez que el agua extraída proviene de un nivel gravoso presente a igual cota que éste. Si el error medido del altímetro (1 metro) es el correcto estaríamos en presencia de dos niveles arcillosos diferentes ya que salvo el pozo AS0681, todos los pozos de esta transecta fueron realizados por el método de percusión por lo que los datos de profundidad son bastante confiables.

Al parecer habría otro nivel arcilloso, situado alrededor de los 20 m b.b.p. en el pozo AS0681. Este nivel se acuña hacia el norte donde gradúa lateralmente a una grava. Su importancia y eficacia como sello serían menores que las del nivel más profundo mencionado en un principio. También se hallan algunos lentes arcillosos situados en distintos pozos, que no parecen tener continuidad lateral.

En cuanto a los niveles acuíferos, se detectan dos niveles u horizontes principales (Horizontes Acuíferos 1 y 2) situados por debajo del Nivel Arcilloso Principal, separados entre sí por un nivel con abundante material fino. Este último se halla a una cota de alrededor de 1200 m s.n.m. y ha sido encontrado en prácticamente todos los pozos del área que alcanzan esta profundidad. Además presenta un alto contenido de arcillas que, junto con su extensión areal, es la razón por la cual se lo ha



REFERENCIAS

- Area urbana
- Pozo de agua
- Ferrocarril
- Rios principales
- Limite departamental
- Coordenada Gauss-Kruger
- CNS 1
- CNS 2
- CNS 3
- COE 1
- COE 2
- COE 3

tomado de Brandán et al (1995)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL SECTOR NORTE DE LA CIUDAD DE SALTA EN RELACION A LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO POZO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA UNSa

PROVINCIA DE SALTA - REPUBLICA ARGENTINA

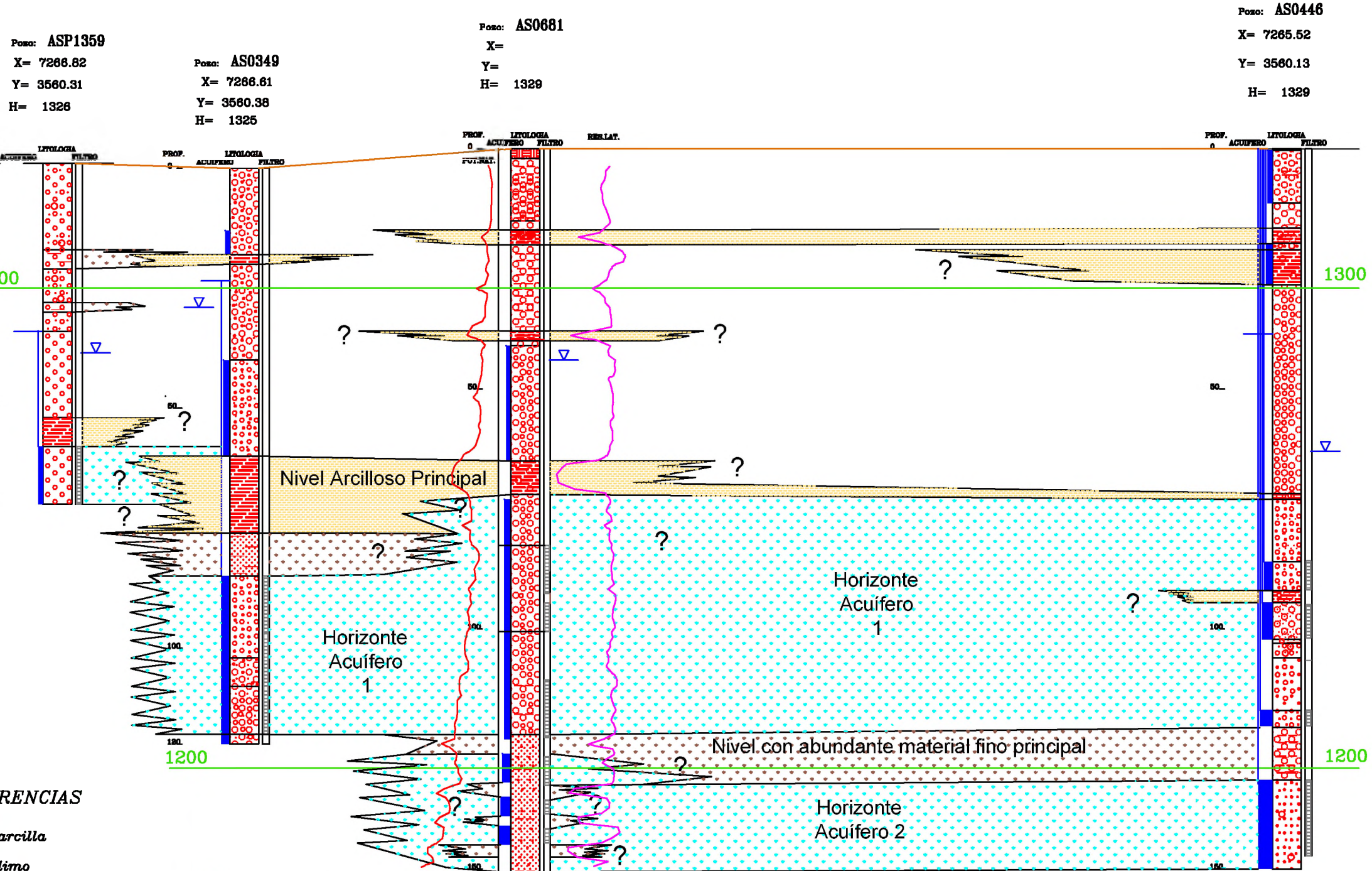
Mapa de Correlaciones

<i>Nicolás Larcher</i>	2006
------------------------	------

Correlación Norte Sur N° 1

Figura N° 1

N ————— S



REFERENCIAS

- | | | | | | |
|--|---------------|--|-----------------------------------|--|-------------------------|
| | arcilla | | nivel acuífero | | res.lat. |
| | limo | | nivel arcilloso | | SP |
| | arena fina | | nivel con abundante material fino | | Superficie Topográfica |
| | arena mediana | | nivel acuífero superficial | | nivel estático |
| | arena gruesa | | dudoso | | nivel dinámico acuífero |
| | grava fina | | 1300 m. s. n. m. | | filtro |
| | grava mediana | | | | |
| | grava gruesa | | | | |
| | suelo | | | | |

Escala horizontal (m)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL SECTOR
NORTE DE LA CIUDAD DE SALTA EN
RELACION A LA CONSTRUCCION DE UN
NUEVO POZO DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA EN LA UNSa
PROVINCIA DE SALTA - REPUBLICA ARGENTINA

Correlación Norte-Sur N°1

Nicolás Larcher

2006

denominado “Nivel con Abundante Material Fino Principal” y se han separado los niveles acuíferos superior e inferior a este nivel en dos horizontes acuíferos diferentes.

El Horizonte Acuífero 1 es el de menor profundidad de los dos horizontes acuíferos mencionados y presenta una intercalación lenticular pelítica, que es atravesada por el pozo AS0446 (alrededor de los 90 m b.b.p.), pero que parece acuñarse hacia el norte. En el pozo AS0349 es observable por debajo del nivel arcilloso principal, un potente nivel arenoso arcilloso que parece no tener continuidad lateral.

El horizonte acuífero 2 se encuentra por debajo del “Nivel con Abundante Material Fino Principal” y, con la excepción de los lentes atravesados por el pozo AS0681, no presenta intercalaciones de niveles con abundante material fino.

Correlación Oeste–Este N° 1 (COE 1):

Trazada a lo largo de la avenida Fuerza Aérea, está construida en base a los pozos AS0366, AS0681 y AS0523 y se cruza con la CNS 1 en el pozo AS0681 (ver Mapa N° 5 y Figura N° 2). Estas dos correlaciones son tratadas en primer lugar ya que son las más cercanas al emplazamiento del Pozo UNSa.

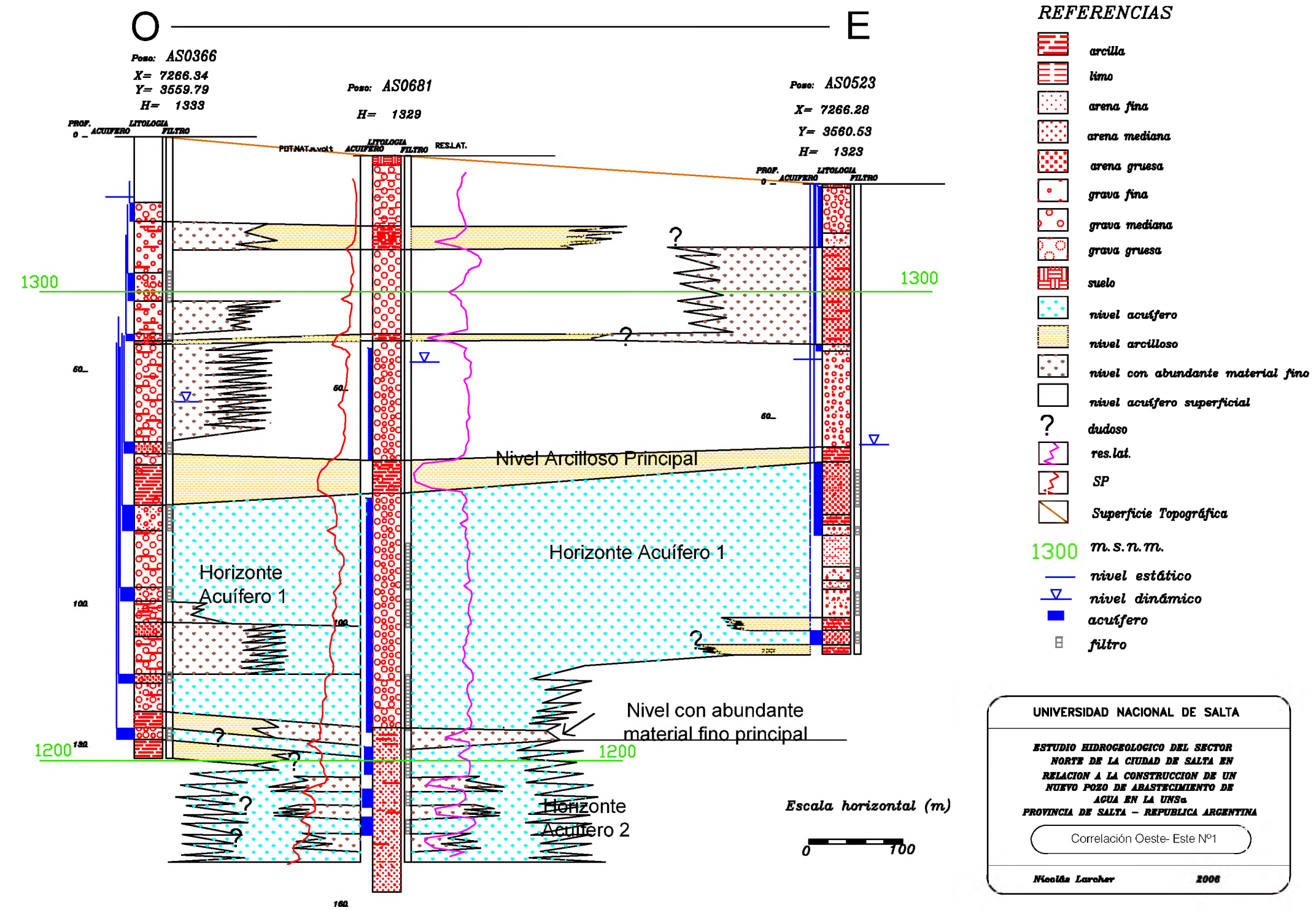
Antes de continuar es necesario aclarar que el pozo AS0523 fue realizado con el método de rotación, no cuenta con ningún perfilaje geofísico y las descripciones litológicas del mismo, basadas en muestras de cutting solamente, son de granulometría demasiado fina en comparación con las encontradas en el resto de los pozos de la zona por lo que representa un dato asaz dudoso. Sin embargo se lo utiliza por ser el único dato que está presente en esta latitud.

Volviendo a la COE 1, en la misma se observa un claro incremento en el contenido de arcillas y partículas finas en los sedimentos hacia el oeste, específicamente en el pozo AS0366.

El nivel arcilloso principal adquiere mayor espesor hacia el oeste y parece estar desplazado unos metros hacia arriba en el pozo AS0523 generando una duda similar a la presentada en la CNS 1 con el pozo ASP1359. Como veremos más adelante, al describir las demás correlaciones, es muy probable que existan dos niveles arcillosos separados verticalmente entre sí por muy pocos metros y que se presentan juntos sólo en algunos pozos. Para no introducir mayores complicaciones, y teniendo en cuenta la escasa separación entre los dos niveles arcillosos y la imposibilidad de distinguirlos en algunos pozos, ambos serán tratados como si fueran un solo nivel. Sin embargo no se debe olvidar la existencia de dos niveles distintos y en cada correlación se aclarara, de ser

Correlación Oeste Este N° 1

Figura N° 2



posible, si el nivel arcilloso principal corresponde al inferior (observado en el tramo sur de CNS 1) o al superior (atravesado por el pozo ASP1359). En la presente correlación no es posible distinguir cual de estos dos niveles es el que se observa en el perfil del pozo AS0523 pero en los restantes pozos el nivel arcilloso atravesado es el inferior.

El “Nivel con Abundante Material Fino Principal” presenta la particularidad de hacerse arcilloso hacia el oeste, encontrándose en el pozo AS0366 otro nivel fino inferior que interdigita con la parte superior del horizonte acuífero 2 del pozo AS0681 (cerca 130 m b.b.p.).

En cuanto al Horizonte Acuífero 1 se destaca el poco espesor de este nivel que es explotado en el pozo AS0366. Se observa que varios tramos de este horizonte que fueron explotados por los restantes pozos de la correlación fueron descartados en el pozo AS0366 por su abundante contenido de finos. Sin embargo como la litología dominante (gravas) es muy similar se ha interpretado a aquellos que no eran demasiado arcillosos como acuíferos. En la siguiente correlación veremos con más detenimiento y de una forma completa estos tramos.

Respecto al Horizonte Acuífero 2, al ser observable sólo en el pozo AS0681 y en una pequeña porción en el pozo AS0366 no hay nada que agregar a lo ya dicho.

Correlación Norte-Sur N° 2 (CNS 2)

Esta correlación se encuentra al oeste de la CNS 1 y se intersecta con la COE 1 en el pozo AS0366. La componen los pozos AS0258, AS0342, AS0366 y ASP1313 (ver Mapa N° 5 y Figura N° 3). El dato más importante de la misma es el pozo AS0258 en el cual podemos observar la presencia de los dos niveles arcillosos cercanos que constituyen el Nivel Arcillos Principal: el inferior, correlacionable en todos los pozos ubicados al sur; y el superior, ubicado unos pocos metros más arriba y que sólo es correlacionable en parte en el pozo AS0342.

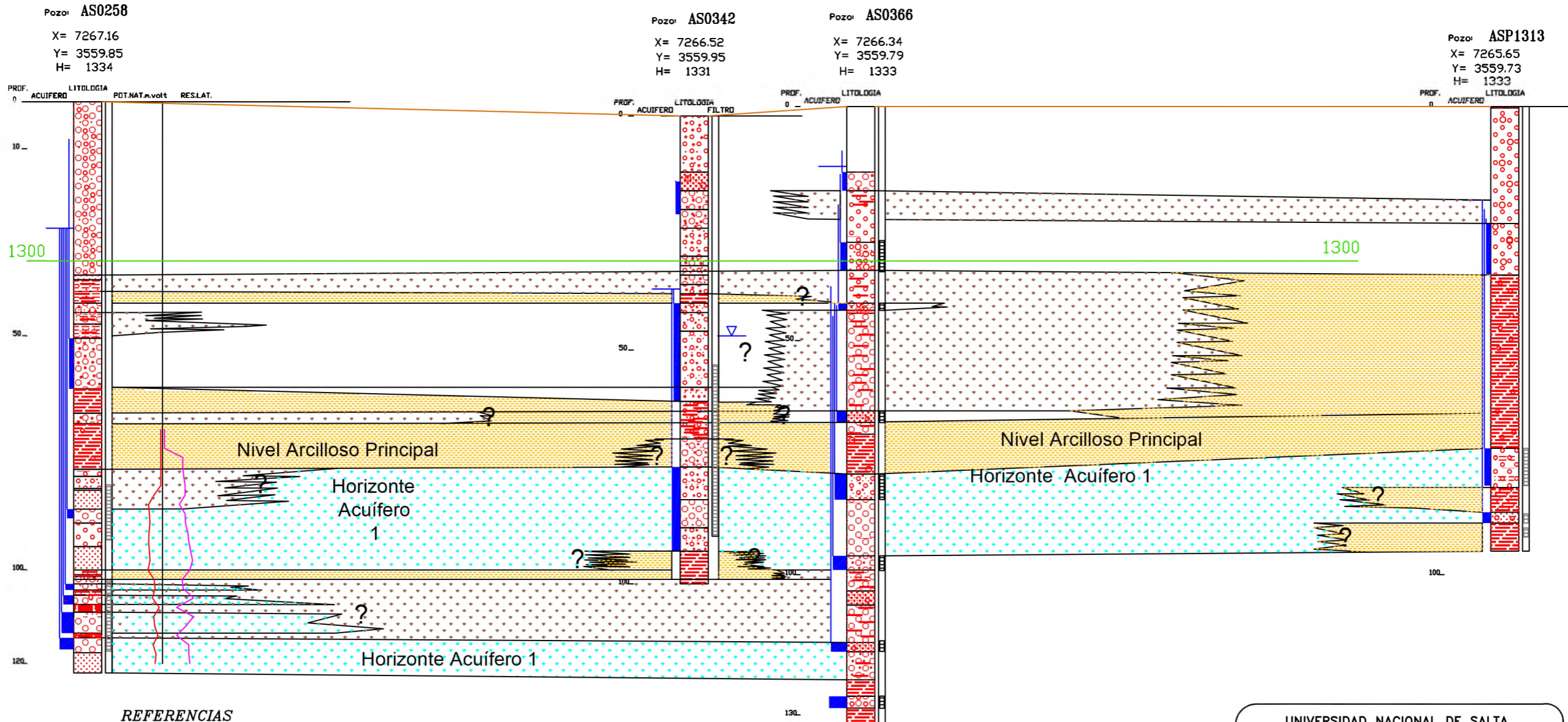
El nivel superior presente en el pozo AS0258 se va acuñaando hacia al sur, siendo reemplazada su parte superior por una grava fina en el pozo AS0342 y desapareciendo completamente en el pozo AS0366. Por debajo del nivel superior se encuentra un nivel gravoso correlacionable entre los pozos AS0258 y AS0366 pero que en el pozo AS0342 ha sido descrito como una grava con arcilla. Sin embargo es probable que este tramo del pozo AS0342 se trate de una grava con intercalaciones de arcilla. De ser así podría ser que el nivel gravoso antes mencionado se encuentre entre dos capas arcillosas en el

Correlación Norte Sur N° 2

Figura N° 3

N

S



REFERENCIAS

- | | | | | | |
|--|---------------|--|-----------------------------------|--|----------------|
| | arcilla | | nivel acuífero | | 1300 m.s.n.m. |
| | limo | | nivel arcilloso | | nivel estático |
| | arena fina | | nivel con abundante material fino | | nivel dinámico |
| | arena mediana | | nivel acuífero superficial | | acuífero |
| | arena gruesa | | dudoso | | filtro |
| | grava fina | | res.lat. | | |
| | grava mediana | | SP | | |
| | grava gruesa | | Superficie Topográfica | | |
| | suelo | | | | |

Escala horizontal (m)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL SECTOR NORTE DE LA CIUDAD DE SALTA EN RELACION A LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO POZO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA UNSa

PROVINCIA DE SALTA - REPUBLICA ARGENTINA

Correlación Norte-Sur N° 2

Nicolás Larcher 2006

pozo AS0342 y por lo tanto en este pozo también estarían representados los dos niveles arcillosos.

El nivel arcilloso principal inferior se encuentra en su máxima expresión en los pozos AS0258, AS0366 y ASP1313 pero se halla reducido en el pozo AS0342. donde su parte inferior (9 m) consiste en una grava que curiosamente no ha sido clasificada como acuífero pero es atravesado por el único filtro del pozo, al igual que las arcillas superiores. Aquí es donde toman importancia las interpretaciones personales de los distintos profesionales que estuvieron a cargo de cada uno de los pozos. En los cuatro pozos se encuentran gravas asociadas a las arcillas pero las proporciones en las que se encuentran parecen haber sido interpretadas de distintas maneras. Es por ello que se traza la correlación del nivel arcilloso principal inferior desde el pozo AS0258 hasta el pozo AS0366 incorporando en el medio al nivel gravoso del pozo AS0342. Hacia el sur este nivel continúa, incorporándose a un potente paquete de arcilla gravosa o grava arcillosa (nuevamente hay diferencias en las interpretaciones) del cual su parte superior es correlacionable con niveles gravosos con abundante material fino que interdigitan, en algunos casos, con acuíferos superficiales hacia el norte.

En cuanto a los niveles acuíferos debido a la escasa profundidad de la mayoría de los pozos involucrados en la correlación sólo se encuentra el horizonte acuífero 1. En este horizonte se produjo un incremento en el contenido de arcilla de uno los niveles con abundante material fino que se intercalan, pudiendo separarse dos subhorizontes hacia el norte.

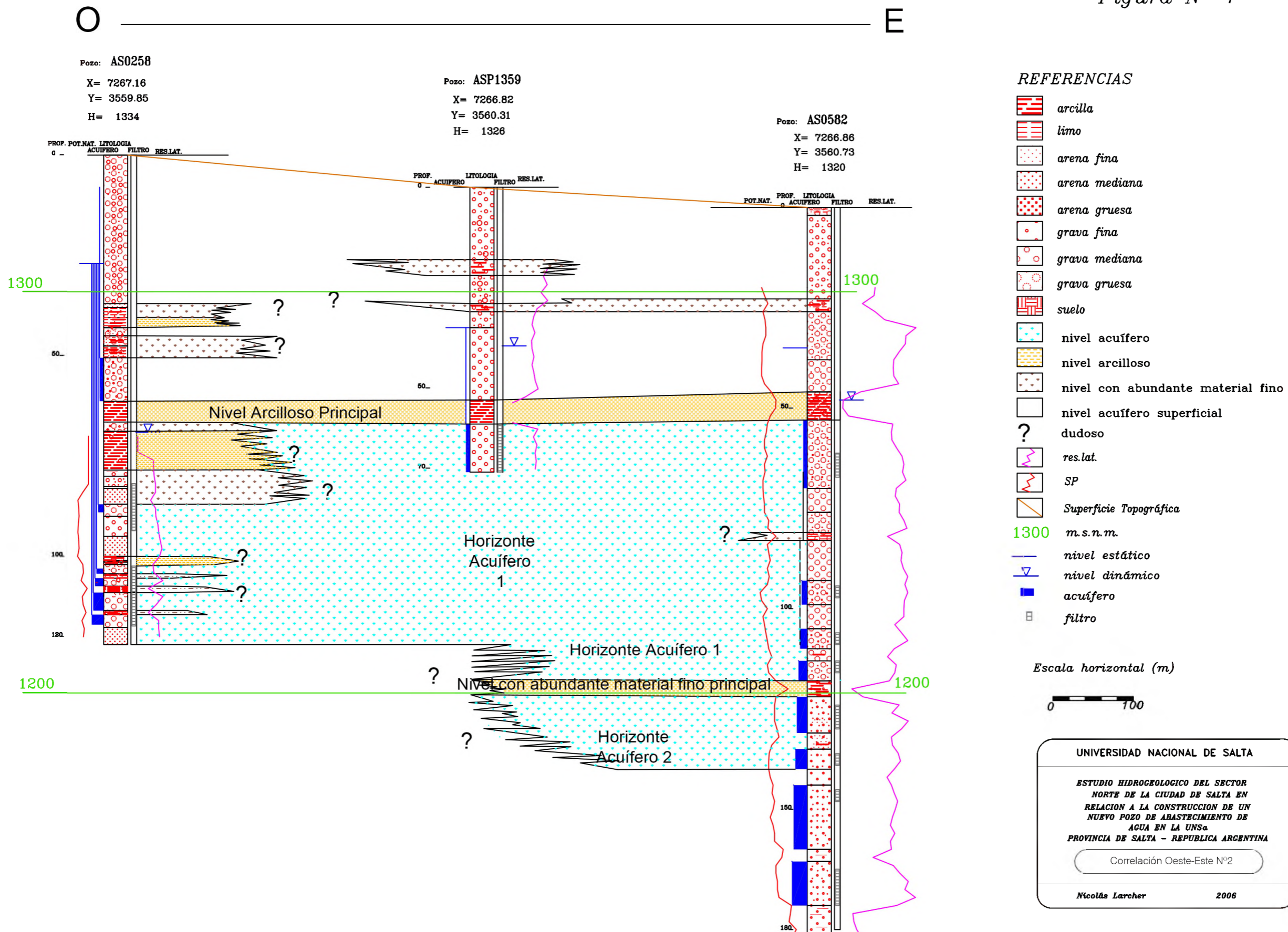
Correlación Oeste-Este N° 2 (COE 2):

Esta es la más septentrional de las correlaciones abarcando los pozos AS0258, ASP1359 y AS0582 (ver Mapa N° 5 y Figura N° 4). Lo más destacable de la misma es el nivel arcilloso principal superior, el cual se encuentra en todos los pozos de la transecta y se diferencia claramente del nivel arcilloso principal inferior. Este último es distinguible en el pozo AS0258 y desaparece hacia el este donde se interdigita con el nivel acuífero explotado por el pozo ASP1359.

El Horizonte Acuífero 1 pierde hacia el este la gran mayoría de sus intercalaciones de lentes o niveles con abundante material fino. Debido a la escasa profundidad del pozo ASP1359 no se puede precisar entre que pozos se produce la desaparición de dichos niveles por lo que se colocaron los signos de interrogación para indicar la inseguridad en la extensión de los mismos.

Correlación Oeste Este N° 2

Figura N° 4



En cuanto al “Nivel con Abundante Material Fino Principal” y al Horizonte Acuífero 2. Ambos son observables sólo en el pozo AS0582 sin que se tenga información de lo que pueda ocurrir con ellos hacia el oeste.

Correlación Norte-Sur N° 3 (CNS 3)

Esta correlación abarca un total de 8 perforaciones (AS0582, AS0535, AS0523, AS0358, AS0756, AS0357, AS0360 y AS0359) y se halla al este de la CNS 1 (ver Mapa N° 5 y Figura N° 5).

Los pozos AS0358 y AS0756 corresponden prácticamente al mismo punto ya que están separados por una distancia de aproximadamente 10 metros. Ambos perfiles se encuentran fusionados en la correlación pero la descripción litológica y los perfiles geofísicos corresponden mayormente a los del pozo AS0756. Esto se debe a que la posición del nivel arcilloso principal está avalada por los perfiles eléctricos en el pozo AS0756 y no así en el AS0358 donde no hay una deflexión clara asociada a la misma. La capa de arcilla del pozo AS0358 tiene cinco metros menos de espesor y esta ubicada dos metros por debajo de la capa de arcilla del pozo AS0756. Cabe destacar que los pozos AS0358, AS0359 y AS0360 y sus respectivos perfilajes fueron realizados por el mismo contratista en un lapso de 3 meses, por lo que el error visto en el pozo AS0358 pone en duda la confiabilidad de los datos de los otros dos pozos que también integran esta correlación. En cuanto a los filtros y niveles acuíferos determinados en cada pozo se colocaron los de ambas perforaciones correspondiendo los ubicados a la izquierda al pozo AS0756 y los de la derecha al AS0358.

En cuanto al pozo AS0357 se intentó en un principio correlacionarlo utilizando la cota correspondiente a su posición geográfica pero ello provocaba que se hallara desfasado hacia arriba con respecto a los pozos más cercanos de la correlación por lo que se decidió extrapolarlo teniendo en cuenta la pendiente del terreno a un punto ubicado sobre la recta que une a los pozos AS0756 y AS0360.

Lo explicado anteriormente más la presencia en el área de los dos niveles arcillosos ya mencionados, separados entre si por muy poca distancia hacen difícil que se pueda establecer con seguridad cual de estos niveles es el registrado por cada pozo. Por esta razón se correlacionaron los paquetes arcillosos como si pertenecieran al mismo nivel obteniéndose como resultado el diseño que se observa.

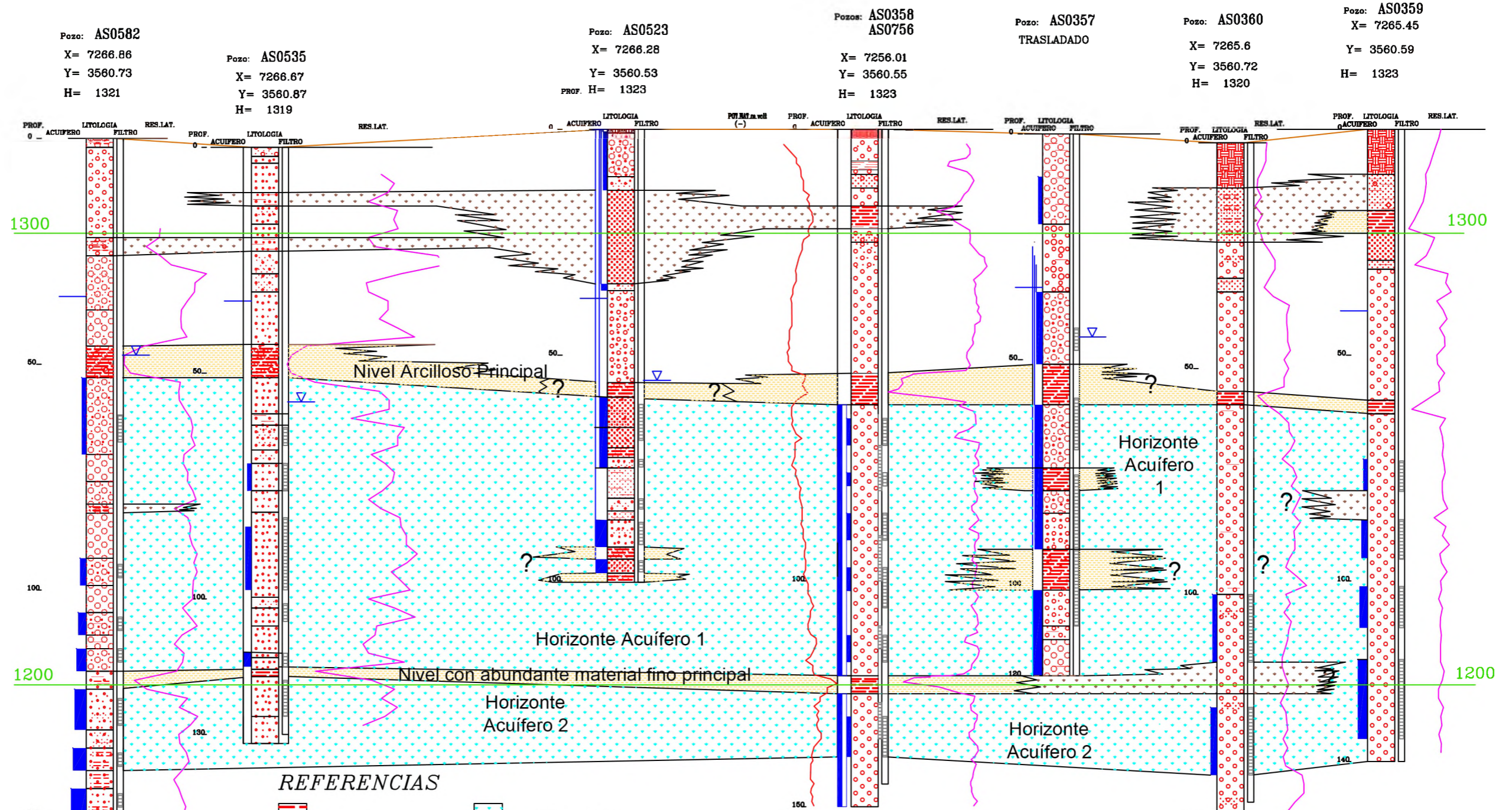
El “Nivel con Abundante Material Fino Principal” es correlacionable a lo largo de cuatro pozos y avalado en tres de estos pozos (AS0582, AS0535 y AS0756) por

Correlación Norte Sur N° 3

Figura N° 5

N

S



<p>REFERENCIAS</p> <table border="0"> <tr> <td></td> <td>arcilla</td> <td></td> <td>nivel acuífero</td> </tr> <tr> <td></td> <td>limo</td> <td></td> <td>nivel arcilloso</td> </tr> <tr> <td></td> <td>arena fina</td> <td></td> <td>nivel con abundante material fino</td> </tr> <tr> <td></td> <td>arena mediana</td> <td></td> <td>nivel acuífero superficial o no aprovechado</td> </tr> <tr> <td></td> <td>arena gruesa</td> <td></td> <td>dudoso</td> </tr> <tr> <td></td> <td>grava fina</td> <td></td> <td>res.lat.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>grava mediana</td> <td></td> <td>SP</td> </tr> <tr> <td></td> <td>grava gruesa</td> <td></td> <td>Superficie Topográfica</td> </tr> <tr> <td></td> <td>suelo</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			arcilla		nivel acuífero		limo		nivel arcilloso		arena fina		nivel con abundante material fino		arena mediana		nivel acuífero superficial o no aprovechado		arena gruesa		dudoso		grava fina		res.lat.		grava mediana		SP		grava gruesa		Superficie Topográfica		suelo			<p>1300 m.s.n.m.</p> <p>— nivel estático</p> <p>▽ nivel dinámico</p> <p>■ acuífero</p> <p>□ filtro</p>
	arcilla		nivel acuífero																																			
	limo		nivel arcilloso																																			
	arena fina		nivel con abundante material fino																																			
	arena mediana		nivel acuífero superficial o no aprovechado																																			
	arena gruesa		dudoso																																			
	grava fina		res.lat.																																			
	grava mediana		SP																																			
	grava gruesa		Superficie Topográfica																																			
	suelo																																					

Escala horizontal (m)

0 100

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL SECTOR NORTE DE LA CIUDAD DE SALTA EN RELACION A LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO POZO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA UNSa

PROVINCIA DE SALTA - REPUBLICA ARGENTINA

Correlación Norte-Sur N° 3

Nicolás Larcher 2006

los electroperfilajes que demuestran el alto contenido de arcilla que posee. En cuanto a los dos pozos más australes de la correlación (AS0360 y AS0359) los electroperfilajes no presentan deflexión a la profundidad de este nivel. Sin embargo ya se ha explicado lo ocurrido con el pozo AS0358 construido en la misma época y por el mismo contratista que los pozos AS0360 y AS0359 por lo que no se tiene seguridad con respecto a estos perfilajes y es probable que el “Nivel con Abundante Material Fino Principal” continúe hacia el sur.

Con respecto a los Horizontes Acuíferos, el 1 presenta intercalaciones de lentes y niveles con abundante material fino pero estas se encuentran bastantes reducidas en comparación a las observadas en la correlación más occidental. El horizonte acuífero 2, por su parte, se encuentra libre de estas intercalaciones y es correlacionable en cinco perfiles de pozo.

Correlación Oeste–Este N° 3 (COE 3):

Se encuentra al sur del área de estudio abarcando los pozos AS0490, ASP1313, AS0446 y AS0359 (ver Mapa N° 5 y Figura N° 6). Lo más destacable de la misma es la variación del contenido de arcilla que se produce al menos en los niveles superficiales desde el oeste (donde el pozo AS0490 resultó improductivo debido al alto contenido de material fino) hacia el este donde los perfiles se muestran más “limpios”.

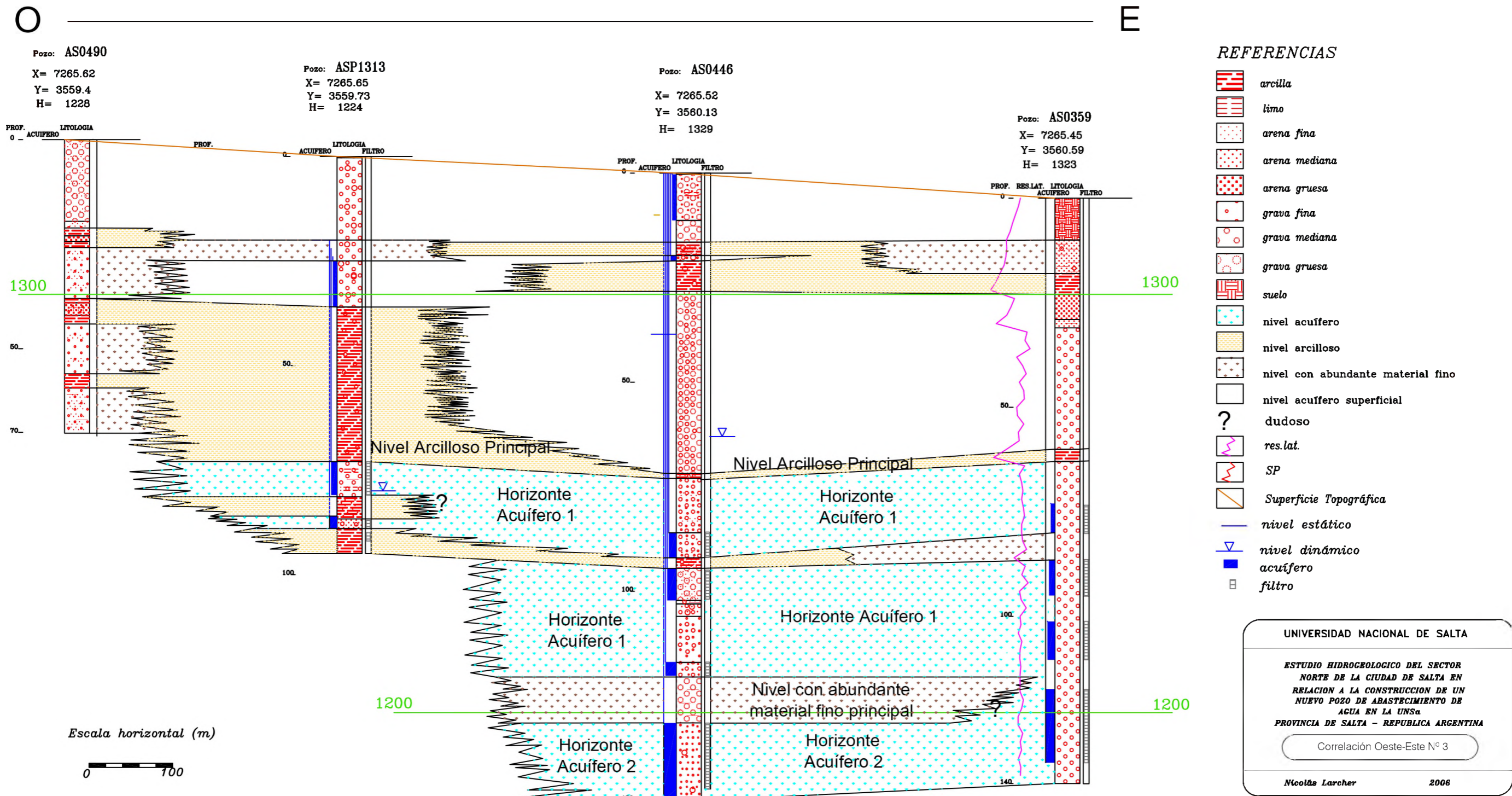
El nivel arcilloso principal corresponde al inferior en los pozos del oeste de esta correlación (ASP1313 y AS0446) pero no hay seguridad al respecto en el pozo AS0359.

El “Nivel con Abundante Material Fino Principal” se encuentra en el pozo AS0446 y posiblemente se extienda hacia el este pero surge el mismo inconveniente ya planteado en la anterior correlación con respecto al perfilaje del pozo AS0359.

Con respecto a los horizontes acuíferos no hay mucho que agregar salvo el salvo la presencia de niveles o lentes arcillosos intercalados dentro del Horizonte Acuífero 1. Estos niveles parecen adquirir mayor importancia hacia el oeste.

Figura N° 6

Correlación Oeste Este N° 3

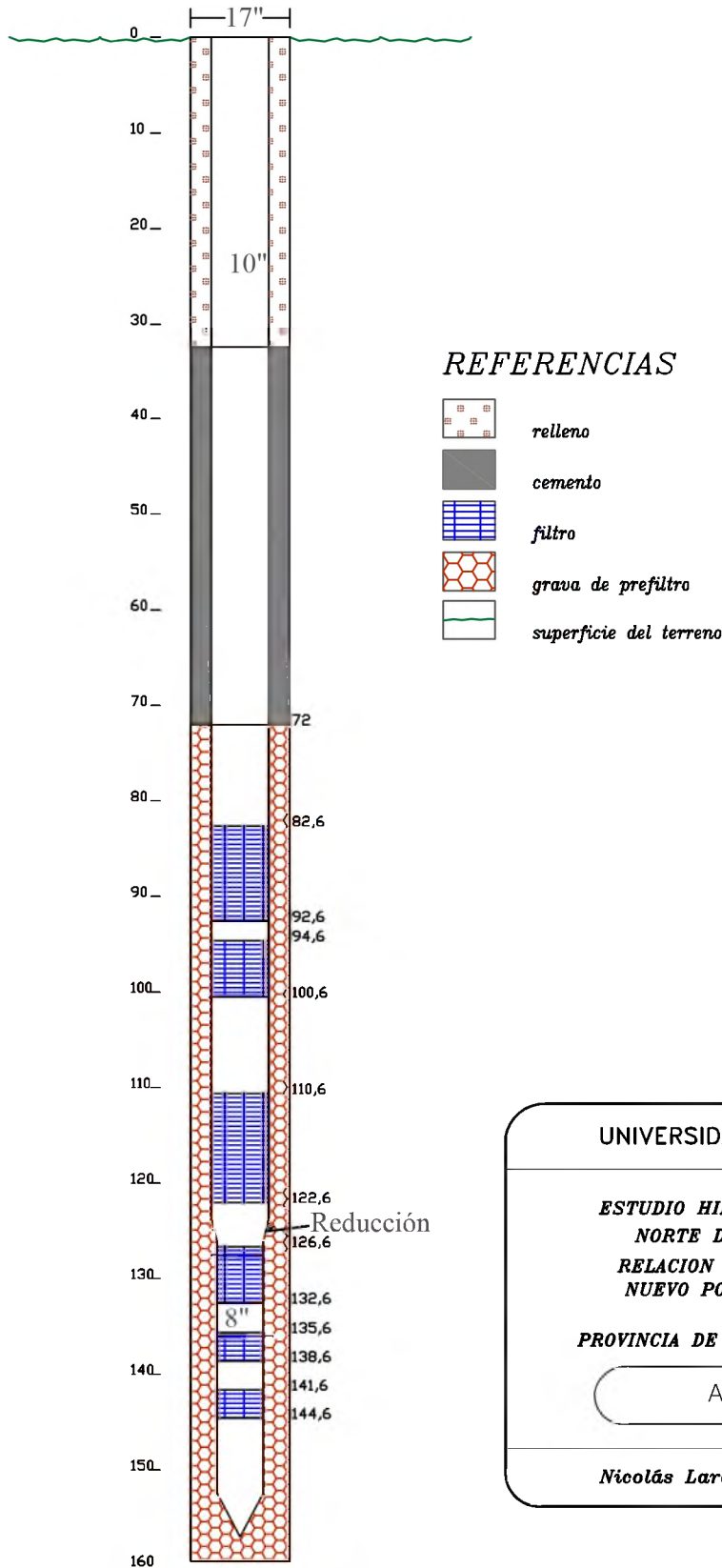


ANTEPROYECTO DE POZO

A partir de la **COE 1** y antes de trazarse las demás correlaciones se elaboró un anteproyecto de pozo. En el mismo se preveía que el Pozo UNSa sería muy similar al pozo AS0681 y por lo tanto la posición de sus filtros sería equivalente (ver figura 7). Sobre la base de este anteproyecto fue elaborado el pliego de especificaciones técnicas el cual puede consultarse en el Anexo 1. Como se verá posteriormente el pozo UNSa difiere del AS0681 en la conformación del nivel arcilloso principal, en el mayor espesor del “Nivel con Abundante Material Fino Principal”, y la presencia de algunos lentes arcillosos más dentro del horizonte acuífero 2. Esto más la necesidad de buscar acuíferos más profundos provocó diferencias en la disposición de los filtros entre ambos pozos, aunque se presentan bastantes coincidencias.

Figura N° 7

Anteproyecto del pozo UNSa



POZO UNSA

El pozo UNSa surgió a raíz de una propuesta del Instituto de Aguas Subterráneas para Latino América (INASLA) como una “alternativa de provisión de agua potable al Campus Universitario de la Universidad Nacional de Salta” luego de que la empresa Aguas de Salta S.A. decidiera un cambio en el sistema de cobranza del servicio. Este cambio suponía un incremento de aproximadamente 13.000 pesos mensuales en el costo del servicio, monto que representaba 17 veces lo pagado originalmente.

Basándose en la estimación de que cerca de 5.000 m³ mensuales de agua potable eran destinados al riego, limpieza de automotores, limpieza y llenado de la pileta de natación y otras actividades que no requerían agua potable y teniéndose en cuenta lo estipulado por la Ley Provincial 7071 (Código de Aguas):

“Artículo 141 Uso común: El alumbramiento, uso y consumo del agua subterránea es considerado uso común y por ende no requiere concesión ni permiso cuando concurren los siguientes requisitos:

- a) Que la perforación se efectuada por medios manuales o mecánicos empleados racionalmente*
- b) Que la extracción se efectúe para uso en la escala debida*
- c) Que el agua se destine a necesidades domésticas del propietario superficiario o del tenedor del predio.*

En tales casos deberá darse aviso a la Autoridad de Aplicación, la que podrá solicitar la información y la realización de investigaciones y estudios que estime pertinente.”

Se propuso la alternativa de contar con una perforación como fuente de aprovisionamiento propia para usos que no requirieran de la potabilización del agua. La perforación se ubicaría dentro del predio universitario, unos 200 metros al sur de la avenida Fuerza Aérea, y tendría una profundidad no menor a 150 metros a fin de no interferir con la explotación de los acuíferos más superficiales. El diámetro de la entubación sería de 10 pulgadas que permitiría la instalación de una electrobomba sumergible de 10 HP. El costo estimado de la perforación más las obras accesorias era de ciento cincuenta mil pesos, cantidad que se recuperaría en un plazo de alrededor de tres años, ya que la operación del pozo permitiría un ahorro mensual de 4.700 pesos aproximadamente. Además se beneficiaría a las carreras de Geología, Tecnicatura e

Ingeniería en Perforaciones ya que el pozo podría ser usado para fines docentes y de investigación.

Luego de la aprobación de esta propuesta se procedió a solicitar el permiso para realizar una perforación para la captación de aguas subterráneas, según la Resolución Reglamentaria 278 de la Ley Provincial N° 7017. Esta solicitud fue elevada al Director General de la Agencia de Recursos Hídricos el 07 de mayo de 2004 y el permiso concedido algunos días después. El 15 de junio del mismo año mediante la resolución 040-DGA-04 Juan Carlos Farfán, Director General de Administración de la Universidad Nacional de Salta, resolvió el llamado a licitación de la perforación y las obras accesorias, publicándose un aviso en el diario El Tribuno el día 19 y en el Boletín Oficial de la provincia el día 23 del mismo mes.

Tres empresas presentaron sus respectivas ofertas: Luis Alcover SRL, Drilling Services S.A. y Eco Suelo SRL, resultando adjudicataria esta última empresa el 17 de agosto de 2004. Esta adjudicación se produjo luego de que se desestimara la oferta presentada por la Firma Luis Alcover SRL la que cotizaba la obra en un precio menor que Eco Suelo SRL pero alteraba sustancialmente lo establecido en el Pliego de la Obra al incluir caños con costura y no cotizar ciertos ítems. Debido a esto la oferta de Eco Suelo, que estaba en un todo en conformidad a lo establecido en el Pliego de la Obra y que cotiza más de cien mil pesos menos que el restante oferente, fue la adjudicataria según resolución-R- N° 922-04.

Debido a un pedido de redeterminación de precios para la obra efectuado por el contratista, el contrato de locación de obra fue firmado recién el 4 de octubre de 2004 luego de que se aprobara dicha redeterminación. La obra fue iniciada diez días después con la ubicación del equipo, colocación del perímetro de seguridad a la locación y comienzo de excavación del circuito de inyección.

La inspección por parte del INASLA estuvo dirigida por el Doctor Guillermo Baudino, mientras que el autor del presente trabajo estuvo a cargo del control geológico de la perforación bajo la supervisión del Dr. Baudino. El contratista designó como director técnico al geólogo Ricardo Pereyra, quien fue reemplazado por el geólogo Francisco Banegas al concluir la perforación exploratoria. El manejo de la maquinaria de perforación junto con la limpieza y mantenimiento de sus accesorios fueron realizados por el perforador Martín Chamar y sus auxiliares Andrés Hoyos y Fernando Baltasar.

A continuación se detallan las partes y accesorios más importantes del equipo de perforación y se describen los trabajos realizados, los perfiles obtenidos, el diseño final de pozo y las tareas de entubación, limpieza y desarrollo, el ensayo de bombeo, la video filmación del pozo y los análisis físicos químicos y bacteriológicos del agua extraída. También se comentan las distintas problemáticas surgidas a lo largo de las distintas etapas de la perforación y se realizan algunas reflexiones acerca de los métodos utilizados para llevar a cabo algunas de estas etapas.

Herramientas

La perforación exploratoria mediante el sistema de rotación se inició con un trépano de 12¼” . Sin embargo luego de 10 días de trabajo en los cuales sólo se avanzó veinte metros y se dañaron dos trépanos, se cambió el diámetro a uno de 8 ¾” con el cual se siguió hasta concluir la perforación exploratoria a los 156,6 m. En la Tabla N° 1 se puede observar las dimensiones de las herramientas.

Herramienta	Long. (m)	Barra 3,5”	Long (m)	Barra 3,5”	Long(m)
Trépano 8”¾	0,23	1	8,83	9	9,35
Reducción 6”	0,95	2	9,03	10	9,29
Portamecha 6”	8,77	3	8,74	11	9,35
Total	9,95	4	9,35	12	9,1
		5	9,04	13	9,28
Vástago 4”	Long. (m)	6	9,39	14	9,16
Largo total	10,6	7	9,31	15	9,3
L. ingresante	8,75	8	9,17	Total	137,73

Tabla N° 1. Herramientas y dimensiones.

Concluida la perforación exploratoria se realizaron dos ensanches; el primero a 12¼” y el segundo a 17 ¾” de diámetro. En el primer caso la longitud del trépano era de 30 cm., siendo la del resto de las herramientas igual a las de la Tabla N° 1. Durante el ensanche final se retiró el portamecha, se cambió la reducción y el trépano y se colocó un rectificador. La longitud total del conjunto trépano, reducción y rectificador era de 4 metros. La longitud y el orden de las barras de sondeo utilizadas pueden verse en la Tabla N° 2. En la Imagen N° 2 se puede observar una fotografía del trépano de 17 ¾” y parte del rectificador.

Barra	Long (m)	Barra	Long(m)	Barra	Long(m)
1	8,83	7	9,17	13	9,16
2	9,03	8	9,35	14	9,3
3	8,74	9	9,29	15	9,36
4	9,04	10	9,35	16	9,16
5	9,39	11	9,1		
6	9,31	12	9,28	Total	146,90

Tabla N° 2. Barras y dimensiones de las mismas en el ensanche definitivo



Imagen N° 2. Trepano de 17 3/4" y parte inferior del rectificador.

Bomba

La bomba inyectora del fluido de perforación podía bombear un caudal teórico de 37 m³/h a su velocidad máxima de 90 emboladas por minuto. Sin embargo se la probó a su máxima potencia sólo una vez durante la perforación. En general se trabajó a velocidades de entre 65 y 80 emboladas por minuto, los caudales correspondientes pueden verse en la Tabla N° 3.

Emboladas por minuto	Caudal m ³ /hora	Emboladas por minuto	Caudal m ³ /hora	Emboladas por minuto	Caudal m ³ /hora
60	24,7	68	28	76	31,3
61	25,1	69	28,4	77	31,8
62	25,6	70	28,9	78	32,2
63	26	71	29,3	79	32,6
64	26,4	72	29,7	80	33
65	26,8	73	30,1	81	33,4
66	27,2	74	30,5	82	33,8
67	27,6	75	30,9	83	34,2

Tabla N° 3. Relación entre el número de emboladas por minuto y el caudal (teórico) de la bomba

El caudal real, medido en boca de pozo, fue siempre inferior al teórico llegando en oportunidades a representar menos del 30 % de éste. Esta disminución en la eficiencia de la bomba se debió principalmente a la ineficiencia del circuito de lodo que no cumplía con su función de limpieza, permitiendo el ingreso de cutting a la pileta del chupador de la bomba, produciendo un serio desgaste de la misma. Además el propio chupador solía obstruirse con hojas y basuras que el viento depositaba en la pileta de lodo.

En las imágenes N° 3 y 4 se pueden observar partes de la bomba. La de la izquierda forma parte del émbolo y fue fabricada a partir de cubiertas de neumáticos. La de la derecha corresponde a la esfera de cierre de la válvula antiretorno. En la misma se puede apreciar el grado de desgaste ocasionado por el ingreso de cutting dentro de la bomba.



Imágenes N° 3 y 4. Piezas de la bomba.

Los problemas con la bomba se tradujeron en frecuentes pérdidas de tiempo e interrupciones en la perforación para realizar tareas de mantenimiento de la misma. Desde el punto de vista del control geológico la ineficiencia de la bomba dificulta la obtención de datos de caudales de bombeo y tiempo de retorno disminuyendo con esto la seguridad de la información brindada por el cutting. Al variar los caudales varía el tiempo de retorno del cutting. Se vuelve entonces necesario ajustar casi permanentemente los tiempos de retorno y no es suficiente para ello contar las emboladas por minutos por lo que es preciso realizar un aforo a boca de pozo. Para ello se usó un balde de 24 litros de capacidad en el cual se controlaba el tiempo de llenado con un cronómetro. Este sistema tiene la desventaja, especialmente en los caudales altos, de que el tiempo de reacción del operador del cronómetro puede generar errores que ocasionen diferencias de incluso miles de litros por hora entre los caudales calculados y los reales. En la Tabla N° 4 se pueden apreciar los caudales correspondientes a tiempos de llenados de entre 1 y 8 segundos. En la perforación se registraron caudales de entre 14 y 37 m³/h los cuales varían en el rango de 2 a 7 segundos de llenado del balde. Obsérvese la gran variación que se produce entre 2 y 3 segundos, tiempos en los cuales las décimas de segundo juegan un papel importante. Para minimizar los errores era preciso realizar varias mediciones si es que el tiempo de avance lo permitía.

Tiempo (segundos)	Caudal m ³ /h	Tiempo (segundos)	Caudal m ³ /h
1	86,4	5	17,2
2	43,2	6	14,4
3	28,8	7	12,3
4	21,6	8	10,8

Tabla N° 4. Caudales de bombeo según el tiempo de llenado del balde de 24 litros (Caudal real)

Otro problema de un bajo caudal de bomba es que es insuficiente para levantar los fragmentos de mayor tamaño los cuales vuelven al fondo de pozo hasta que el trepano los reduce de tamaño y puedan al fin ser evacuados. Esto provoca la mezcla entre los fragmentos de tramos superiores del pozo y los provenientes de tramos en perforación. Todo esto disminuye la calidad de datos que luego serán usados para la construcción del perfil litológico del pozo y para el cálculo del tamaño del prefiltro y la abertura de los filtros. En el caso del perfil litológico se puede recurrir a otros perfiles

(geofísicos, comportamiento de la máquina) para corroborar los datos, pero en el caso del cálculo del diámetro de las gravas de prefiltro y la abertura del filtro es el único dato con que se cuenta.

Inyección y circuito de inyección

El fluido de inyección estaba compuesto por lodo de bentonita el cual se preparó un día antes del inicio de la perforación con cuarenta bolsas de bentonita de 50 Kg. cada una. Posteriormente al producirse pérdidas de inyección por admisión de la misma en subsuelo más el incremento del volumen anular de pozo se fueron agregando más bolsas.

El circuito de inyección fue construido con una retroexcavadora y se lo usó sin recubrimiento alguno. Contaba con 3 piletas decantadoras y una pileta mayor al final del mismo donde se preparaba la inyección y estaba la boca de succión de la bomba (ver Figura N° 8).

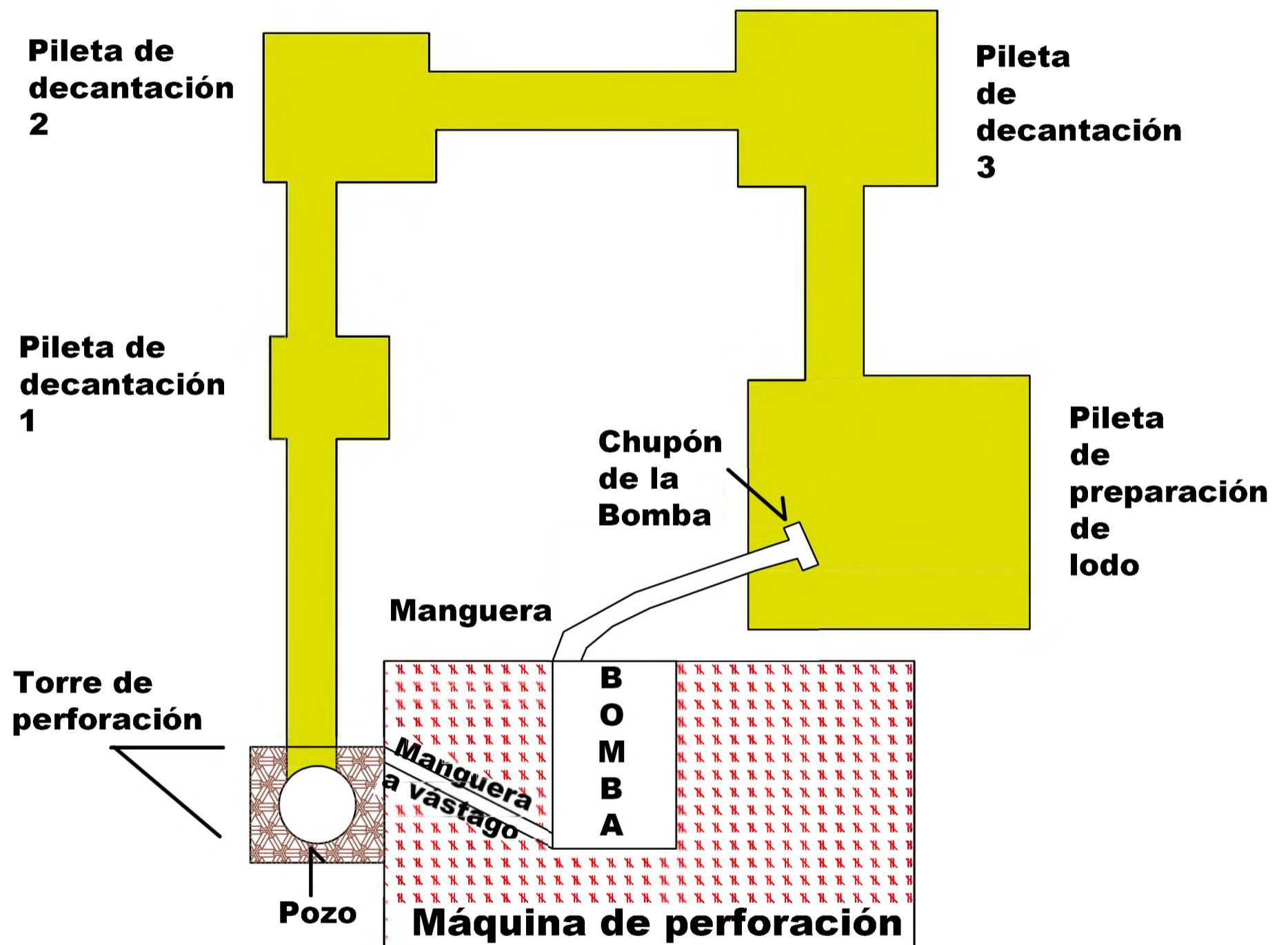
Una semana luego de iniciado los trabajos de perforación y habiéndose muestreado fragmentos del cutting ingresando a la pileta mayor se decidió ensanchar y profundizar las piletas de decantación y reemplazar completamente el fluido de inyección. Este trabajo demandó un día y medio de tiempo. El ingreso de cutting a la pileta de inyección se redujo considerablemente durante los primeros días luego de la limpieza aunque, con el tiempo, volvió a incrementarse. Debido a esto, cinco días después de la ampliación del circuito de inyección, se renovó por completo la inyección. Con la inyección renovada se completaran los 56 metros finales de la perforación exploratoria, empleándose en ello dos días de trabajo. El reciclaje de cutting, al reingresar parte del mismo al pozo a través de la bomba, contribuye a disminuir la confianza en los datos de cutting obtenidos.

Perforación

La perforación exploratoria se inició el 16 de octubre de 2004 trabajando de 7:30 a 19:30 hs aproximadamente e interrumpiéndose al mediodía para almorzar. Durante el desarrollo de la perforación exploratoria se realizó el perfil de cronometraje, se observó el comportamiento de la máquina y se obtuvieron muestras de cutting.

Con respecto al perfil de cronometraje (tiempo neto utilizado por cada metro de avance) en la tabla N° 5 se detallan los tiempos de perforación correspondientes.

Croquis del circuito de inyección



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL SECTOR
NORTE DE LA CIUDAD DE SALTA EN
RELACION A LA CONSTRUCCION DE UN
NUEVO POZO DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA EN LA UNSa
PROVINCIA DE SALTA - REPUBLICA ARGENTINA

Croquis del Circuito de Inyección

Nicolás Larcher

2005

m(final)	T (min)	m(final)	T (min)	m(final)	T (min)	m(final)	T (min)
1	19,2	40	10	79	10	118	5
2	90	41	9	80	8	119	6
3	145	42	9	81	15	120	8
4	240	43	7	82	14	121	6
5	47	44	13	83	14	122	7
6	113	45	7	84	8	123	15
7	335	46	6	85	8	124	8
8	45	47	6	86	7	125	9
9	67	48	7	87	8	126	4
10	56	49	5	88	7	127	6
11	103	50	5	89	8	128	10
12	38	51	6	90	8	129	8
13	39	52	5	91	7	130	3
14	22	53	5	92	14	131	2,5
15	17	54	6	93	7	132	4
16	14	55	7	94	8	133	3,5
17	31	56	6	95	14	134	3
18	27	57	6	96	12	135	12
19	18	58	6	97	51	136	3
20	14	59	5	98	10	137	6
21	17	60	7	99	11	138	15
22	10	61	8	100	13	139	5
23	14	62	7	101	11	140	7
24	7	63	13	102	7	141	7
25	4	64	10	103	7	142	8
26	13	65	10	104	5	143	7
27	8	66	8	105	7	144	4
28	8	67	10	106	7	145	6
29	7	68	6	107	7	146	8
30	7	69	4	108	7	147	8
31	9	70	6	109	7	148	5
32	9	71	6	110	6	149	6
33	10	72	16	111	11	150	7
34	9	73	8	112	7	151	6
35	10	74	5	113	6	152	4
36	9	75	16	114	5	153	6
37	6	76	19	115	6	154	7
38	11	77	8	116	6	155	6
39	9	78	8	117	7	156,6	6

Tabla N° 5 Tiempos de perforación correspondientes a cada metro de avance.

El comportamiento de la máquina fue tal vez el mejor indicador de las litologías que estaban siendo atravesadas. El zapateo (sacudidas de la torre de perforación) fue constante durante casi toda la perforación; sin embargo se registraron tramos de en los cuales cesó, asociados a niveles de arcilla presentes entre los 66,5 a 68 m b.b.p., 71 a 72 m b.b.p., 134 a 135 m b.b.p. y 137 a 138 m b.b.p., los cuales fueron luego corroborados por los perfiles geofísicos. También hubo un tramo sin zapateo entre los 82 a 83 m b.b.p. donde los perfiles geofísicos no detectaron arcilla y que se atribuyó a una intercalación de limo o arena fina. Hubo tramos de zapateo leve entre los 102 y 108 m b.b.p., correspondiente a una arena gruesa, y entre los 122 y 128 m b.b.p., con alguna intercalación de zapateo fuerte. Este último tramo fue originalmente interpretado como una grava fina pero al realizarse los perfiles geofísicos se encontró que correspondían a dos niveles arcillosos presentes entre 122 y 125 m b.b.p. y entre 126 y 128 m b.b.p. respectivamente. En cuanto a los últimos 18 metros de perforación el avance se produjo rápidamente y de manera prácticamente uniforme por lo que los datos obtenidos por el comportamiento de la máquina son pocos. La interpretación litológica de este tramo está hecha mayormente en base al cutting, cronometraje y a los datos geofísicos.

Las muestras de cutting fueron tomadas con pala muestreadora, sin lavar (con bentonita) y lavadas (bentonita eliminada con agua) durante los primeros 20 metros, posteriormente se dejó de realizar la muestra lavada. A partir de los 80 metros de profundidad se tomaron además muestras representativa (incluían la fracción fina). Estas correspondían a aproximadamente 5 litros de lodo extraídos en boca de pozo los cuales eran diluidos en 15 litros de agua y luego dejados en reposo durante 2 minutos para permitir la decantación de las partículas finas, eliminándose posteriormente el agua lodosa y dejándose secar en baldes las partículas y granos decantados. Muestras de este tipo correspondientes a niveles de interés fueron usadas posteriormente para la determinación del tamaño de prefiltro y abertura de los filtros.

Durante la perforación el mayor contratiempo se registró durante los primeros 20 metros en los cuales los constantes derrumbes provocaron grandes demoras y pusieron en peligro al pozo debido a la formación de una caverna. En boca de pozo, mientras la perforación estaba detenida y el nivel de lodo descendía, se podía observar que el diámetro de la misma era de aproximadamente 2 metros a sólo medio metro del nivel del suelo. Para dar un ejemplo del tiempo perdido en la reperforación de los derrumbes basta saber que para perforar desde el metro 16 al metro 17 bbp se emplearon 164 minutos de los cuales 31 corresponden a la perforación efectiva y el resto a la

eliminación de derrumbes. Estos derrumbes no sólo ocasionaron retrasos en la perforación sino que también pusieron en riesgo la misma ya que el trepano pudo quedar atrapado en más de una ocasión de no ser por la pericia del perforador. Además, las cavernas formadas tras los derrumbes podrían haber colapsado ocasionado un hundimiento de la superficie. Por ello, en un intento de detener los derrumbes y asegurar el pozo, se procedió al relleno con fragmentos de arcilla. Este relleno se realizó en dos oportunidades: la primera al alcanzar los diez metros de profundidad y la segunda a los 20. Restos de estas arcillas, que habían sido extraídas de un afloramiento del Cuaternario del valle de Lerma (Formación Tajamar), fueron luego encontrados mezclados en el cutting. Aunque en general eran fáciles de reconocer los restos de arcillas, liberados tal vez por el raspado del mismo cutting, generaron confusiones al ser hallados, especialmente cuando venían junto con cutting de niveles que se sospechaba eran arcillosos.

La perforación exploratoria concluyó el 30 de octubre de 2004 habiéndose alcanzado los 156,4 metros de profundidad. Las barras no se pudieron retirar ese mismo día debido al derrumbe de un bloque que se ubicó sobre el portamecha e impidió extraer desde la barra ocho en adelante. Al día siguiente luego de repasar los 60 metros finales, se pudo extraer toda la sarta de herramientas y se procedió a realizar los perfilajes geofísicos.

El 2 de noviembre de 2004, habiéndose interpretado los perfiles y realizado el diseño de entubación se inició el ensanche a 12 pulgadas. Este primer ensanche se concluyó una semana después produciéndose dos roturas de la mesa rotary en el transcurso de la misma. El ensanche final se inició el 10 de noviembre, dos días después y luego de alcanzar los 65 metros de profundidad se reemplazó el portamecha por el rectificador. El ensanche concluyó el 17 de noviembre habiéndose cambiado el orden de las barras y agregando una más (ver Tabla N° 2). La profundidad final del pozo fue de 159,6 metros.

Perfiles de pozo

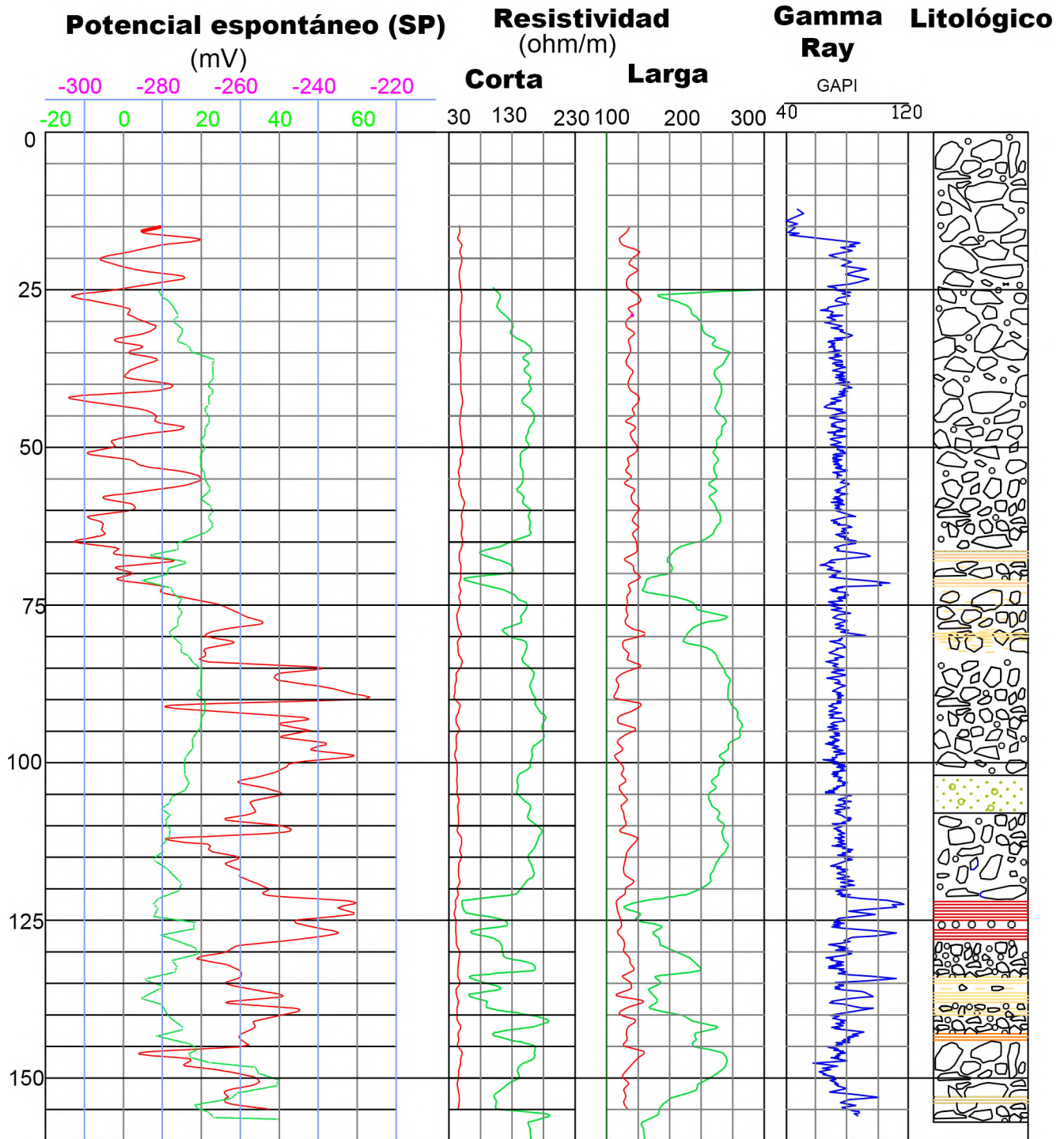
Además de los perfiles ya descriptos que se realizaron durante la perforación exploratoria la empresa contratista realizó perfiles de resistividad corta y larga y de potencial espontáneo, el INASLA realizó el perfil de rayos gamma natural (Gamma Ray) y también, a modo de comprobación, los mismos perfiles realizados por la empresa contratista. Cabe destacar que los perfiles realizados por la empresa no

concordaban con los realizados por el INASLA los cuales fueron confirmados por el perfil Gamma Ray y coinciden en gran parte con el perfil litológico obtenido durante la perforación. En la Figura N° 9 se puede observar una comparación entre los perfiles de resistividad y potencial espontáneo realizados por el contratista (en rojo) los realizados por el INASLA (en verde), el perfil litológico y el perfil Gamma Ray. En el perfil de potencial espontáneo, al diferir notablemente el valor de las mediciones y a fin de poder establecer una comparación entre los dos perfiles se trabajó con dos rangos de valores de potencial distintos aunque a igual escala. Los valores superiores (en rosado) corresponden al perfil realizado por el contratista, mientras que los inferiores (en verde claro) corresponden a los realizados por el INASLA. Los perfiles de resistividad no necesitaron de esta adaptación. Como se ve los perfiles de resistividad realizados por el contratista no presentan casi deflexiones mientras que el de potencial espontáneo no coincide mayormente con el del INASLA. Por éstas razones, la Inspección de Obra rechazó los perfiles geofísicos realizados por el Contratista y el Diseño de Pozo se realizó con los perfiles del INASLA.

Los primeros veinticinco metros bajo boca de pozo (m b.b.p.) fueron descartados de los perfiles por hallarse contaminados por la arcilla agregada al pozo. Además durante la realización de los perfiles geofísicos se detectaron anomalías o “ruidos” que obligaban a tomar varias mediciones de un mismo punto para poder determinar los valores correctos. Estas anomalías se deben tal vez al accionar de las bombas de producción de otros pozos de la zona y pueden haber ocasionado los errores observados en los perfiles realizados por el contratista debido a que el mismo trabajó con un equipo automático que sólo realizaba una medición por punto.



En los perfiles se destacan claramente nueve niveles arcillosos presentes entre los 66,5 a 68 m b.b.p., 71 a 72 m b.b.p., 122 a 125 m b.b.p., 126,5 a 128, 134 a 135 m b.b.p., 136 a 138 m b.b.p., 139 a 140 m b.b.p., 143 a 144 y 153 a 154 m b.b.p. respectivamente. El séptimo nivel está bien diferenciado en el perfil Gamma Ray pero no así en los perfiles geofísicos. Durante la perforación exploratoria este nivel, 139 a 140 m b.b.p., registró algo de zapateo por lo que se lo interpretó como un nivel gravoso. Al observar el pico de arcilla del perfil Gamma Ray se deduce que probablemente se trate de una grava arcillosa. Dentro de la muestra de cutting correspondiente a esta profundidad se hallaron restos de arcillas color anaranjado, de tamaño muy reducido, habiéndose rescatado durante el lavado de la muestra sólo una pequeña porción atrapada entre diversos clastos.

Comparación de perfiles del pozo UNSa



REFERENCIAS

Perfiles

-  Realizados por el INASLA
-  Realizados por el contratista

Escala de valores de SP

- 300 Perfil del contratista
- 20 Perfil del INASLA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL SECTOR
NORTE DE LA CIUDAD DE SALTA EN
RELACION A LA CONSTRUCCION DE UN
NUEVO POZO DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA EN LA UNSa
PROVINCIA DE SALTA - REPUBLICA ARGENTINA

Comparación de perfiles

Nicolás Larcher

2006

Durante la perforación exploratoria se detectaron dos niveles arcillosos superiores (25 a 27 y 40 a 42 m b.b.p.) que luego no fueron confirmados por los perfiles geofísicos. En el caso del primero, el error se debe a la presencia de clastos de arcilitas probablemente provenientes de los afloramientos ordovícicos que fueron confundidos con un nivel de arcilla. En el segundo, no se encontraron estos clastos por lo que probablemente el error provenga de fragmentos de los terrones arcillosos agregados al pozo.

El resto del perfil es casi totalmente gravoso, destacándose el paquete arenoso presente entre los 102 y 108 m b.b.p. Este nivel se detectó durante el seguimiento de la perforación y mediante el cutting, y es distinguible por una pequeña deflexión hacia la izquierda en los perfiles de resistividad.

Otro nivel que se destaca es el presente entre los 144 y 153 m b.b.p. que presenta una fuerte deflexión hacia la derecha en el perfil de potencial espontáneo y una notable variación hacia la izquierda en el perfil Gamma Ray. Este nivel, interpretado como una grava gruesa y aglomerado de bloques, es el de mayor interés como acuífero.

Para realizar la descripción de la composición de cada uno de los niveles o paquetes caracterizados por una dada granulometría se recurrió a las muestras de cutting sin lavar. De estas muestras se seleccionaron algunas ubicadas en distintos tramos de cada paquete, se las lavó para extraerles los restos de bentonita y luego fueron observadas a través de una lupa binocular para determinar la litología de los fragmentos.

Los niveles arcillosos se describieron en base a los fragmentos de arcillas rescatados del cutting y en general se cuenta con muy poco volumen de material de cada nivel. La composición de las gravas es prácticamente la misma a lo largo de todo el perfil variando únicamente en el contenido de clastos minoritarios de wackes y pelitas. Debido a que se trata de depósitos fluviales, a que el área de muestreo (diámetro del pozo) es muy pequeña y que los clastos de wackes y pelitas son los menos resistentes, la aparición o desaparición de los mismos es más bien azarosa. Sin embargo se deja un registro de estos cambios por si pudieran llegar a ser datos útiles para una investigación futura.

El perfil litológico completo es el siguiente:

- I. 0 a 66,5 m b.b.p.** Grava gruesa y aglomerado de bloques disminuyendo de tamaño alrededor de los 60 metros de profundidad. Está compuesto mayormente por clastos de cuarcitas y arenas cuarzosas de color rosado, rosado claro, verde

grisáceo, amarillo, anaranjado claro y pardo rojizo. Se encuentran también algunos clastos de grauvacas de color pardo violáceo y pelitas color ocre y gris oscuro. Los clastos pelíticos de color ocre parecen provenir de las formaciones arcillosas del ordovícico de las áreas de aporte y fueron hallados en muestras de entre 22 y 29 metros de profundidad. Estas muestras fueron examinadas en detalle ya que los clastos de pelitas habían sido confundidos durante la perforación exploratoria con un nivel arcilloso supuestamente presente entre los 27 y 29 m b.b.p. En las muestras correspondientes a los 40 metros de profundidad y posteriores como así también en las primeras muestras no se encontraron estos fragmentos de clastos pelíticos. Los límites precisos de la presencia de dichos clastos no fueron definidos ya que escapan a los objetivos de este trabajo. Sin embargo se hace mención de los mismos por si algún investigador desee realizar un análisis más profundo en el futuro. Las muestras se hayan disponibles en el INASLA. Otra curiosidad que cabe destacar fue el hallazgo de un fragmento óseo, probablemente de un mamífero fósil, presente entre los 24 y 25 m b.b.p.

- II. 66,5 a 68 m b.b.p.** Arcilla de color pardo anaranjado claro.
- III. 68 a 71 m b.b.p.** Grava media a fina constituida por clastos de cuarcitas, areniscas cuarzosas y grauvacas similares a los ya mencionados, más clastos de wackes micáceas, color gris oscuro, y limolitas o areniscas muy finas color pardo amarillento.
- IV. 71 a 72 m b.b.p.** Arcilla color pardo rojiza – anaranjada
- V. 72 a 83 m b.b.p.** Grava media a fina de composición idéntica a los descritos en III. Con intercalaciones de material fino (arena y limos) y probablemente un nivel arcilloso de escaso espesor presente a los 80 metros de profundidad
- VI. 83 a 102 m b.b.p.** Grava media conformada por clastos de cuarcitas, areniscas cuarzosas y wackes similares a los descritos anteriormente.
- VII. 102 a 108 m b.b.p.** Arena gruesa a media, algo gravosa, color castaño claro. Está compuesta por clastos de cuarzo y líticos cuarzosos. Matriz de arena fina a pelítica. En las tablas 6, 7 y 8 se puede apreciar una comparación entre los análisis granulométricos de una muestra de la mitad de este nivel y muestras tomadas de los niveles de grava inmediatamente inferiores y superiores.

Como se puede notar el porcentaje de material fino es sensiblemente mayor en la muestra correspondiente al nivel arenoso

97-98					
TAMIZ	mm	Peso (g)	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	11,4	2,61	2,61	97,39
18	1	27,2	6,23	8,84	91,16
35	0,5	37,5	8,59	17,43	82,57
60	0,25	64,6	14,79	32,22	67,78
120	0,125	150,5	34,46	66,68	33,32
230	0,0625	134,6	30,82	97,50	2,50
Fondo		10,9	2,50	100,00	
Total		436,7			

Tabla Nº 6. Análisis granulométrico. Muestra representativa. 97 a 98 metros de profundidad

104 -105					
TAMIZ	mm	Peso	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	5,4	1,68	1,68	98,32
18	1	14,4	4,47	6,15	93,85
35	0,5	14,7	4,56	10,71	89,29
60	0,25	35,7	11,08	21,79	78,21
120	0,125	84,7	26,29	48,08	51,92
230	0,0625	150,6	46,74	94,82	5,18
Fondo		16,7	5,18	100,00	
Total		322,2			

Tabla Nº 7. Análisis granulométrico. . Muestra representativa. 104 a 105 metros de profundidad

118-119					
TAMIZ	Mm	Peso (g)	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	19,7	9,16	9,16	90,84
18	1	23,6	10,98	20,14	79,86
35	0,5	19,5	9,07	29,21	70,79
60	0,25	34,2	15,91	45,12	54,88
120	0,125	77,7	36,14	81,26	18,74
230	0,0625	38,1	17,72	98,98	1,02
Fondo		2,2	1,02	100,00	
Total		215			

Tabla Nº 8. Análisis granulométrico. Muestra representativa. 118 a 119 metros de profundidad

- VIII. 108 a 122 m b.b.p.** Grava gruesa constituida por clastos de cuarcitas y areniscas cuarzosas color rosado, rosado claro, blanco, verde grisáceo, amarillo, anaranjado claro y pardo rojizo. También se encuentran, en menor cantidad, clastos de wackes y pelitas color castaño claro, y wackes color gris oscuro.
- IX. 122 a 125 m b.b.p.** Arcilla color marrón rojizo.
- X. 125 a 126,5 m b.b.p.** Grava media a fina compuesta por clastos de cuarcitas y areniscas cuarzosas similares a los descritos anteriormente.
- XI. 126,5 a 128 m b.b.p.** Arcilla color marrón rojizo.
- XII. 128 a 134 m b.b.p.** Grava media a fina conformada por clastos de cuarcitas areniscas cuarzosas de color rosado, rosado claro, blanco, verde grisáceo, amarillo, anaranjado claro y pardo rojizo y wackes color castaño claro y pardo violáceo.
- XIII. 134 a 135 m b.b.p.** Arcilla color naranja.
- XIV. 135 a 136,5 m b.b.p.** Arena gravosa color castaño claro compuesta mayormente de clastos de cuarzo y líticos cuarzosos.
- XV. 136,5 a 138 m b.b.p.** Arcilla color naranja
- XVI. 138 a 140 m b.b.p.** Grava media con intercalaciones de arcilla color anaranjado oscuro. Clastos de igual composición a los mencionados para **XII** pero al parecer con un mayor contenido de wackes.
- XVII. 140 a 143 m b.b.p.** Grava media a gruesa. Clastos de cuarcitas y wackes de igual composición a los de **XII**.
- XVIII. 143 a 144 m b.b.p.** Arcilla color rojo ladrillo.
- XIX. 144 a 153 m b.b.p.** Grava gruesa y aglomerado de bloques compuesta por clastos de cuarcitas y arenas cuarzosas (similares a las encontradas a lo largo de todo el perfil) y wackes pardo amarillentas y castaño claro.
- XX. 153 a 154 m b.b.p.** Arcilla color ocre.
- XXI. 154 a 157 m b.b.p.** Grava gruesa de características similares a **XIX**.

De las capas mencionadas anteriormente II, III y IV corresponden al nivel arcilloso principal que se presenta en dos capas (II y IV) de alrededor de un metro de espesor, separadas entre sí por 3 metros de gravas (III). Si se vuelve a observar la CNS 1 se vera que el nivel arcilloso principal disminuye su potencia entre los pozos AS0681 y AS0446. Al añadir el dato proporcionado por el pozo UNSa, de igual cota que el pozo AS0681, se concluye que el nivel arcilloso principal se divide en dos subniveles separados por una grava. De estos subniveles sólo el inferior (capa IV) se extiende hasta

el pozo AS0446 mientras que el restante (capa II) se acuña y desaparece en algún lugar entre este pozo y el pozo UNSa.

De los niveles acuíferos determinados en las correlaciones el Horizonte Acuífero I abarca desde la capa V hasta la VIII. De ellas la porción arcillosa de la capa V (alrededor de los 80 m b.b.p.) tal vez sea correlacionable con el paquete areno – arcilloso del pozo AS0349 aunque no parece estar presente en el pozo AS0681. La capa VII, de composición arenosa, se encuentra a igual profundidad que la porción del Horizonte Acuífero I ubicada entre el segundo y el tercer filtro del pozo AS0681. Esta porción puede haber sido descartada como acuífero en el pozo AS0681 por su contenido de arena. De ser así se podría establecer un nivel arenoso entre estos dos pozos y, también, el pozo AS0446 que presenta una capa arenosa aproximadamente a la misma profundidad.

Las capas IX, X y XI corresponden al “Nivel con Abundante Material Fino Principal” que en el pozo UNSa tiene un espesor intermedio a los observados en los pozos AS04456 y AS0681. Lo destacable de este nivel es la fuerte deflexión que muestra en los perfiles geofísicos testimoniando así un alto contenido de arcilla. Sin embargo, si se observa las correlaciones se puede apreciar que sólo en tres pozos ubicados de la CNS 3 se ha interpretado parte de este nivel como una capa arcillosa neta mientras que en el resto de los pozos que lo alcanzan se lo clasificó como una grava con intercalaciones de arcilla.

Recordando también que durante la perforación del pozo UNSa, antes de contar con los perfiles geofísicos, este paquete fue interpretado como una grava fina, parecería ser que este nivel, por su contenido de gravas junto con las arcillas, es fácil de malinterpretar si no se realiza un buen perfilaje geofísico que muestre su verdadera naturaleza. Esto conduce a pensar que tal vez se cometió un error en algunos pozos que presentan filtros enfrentados a este nivel, por no contar con perfiles geofísicos o en su defecto por la mala calidad de los mismos.

Por debajo de este nivel se encuentra la capa XII que corresponde a la parte superior del horizonte acuífero II. Esta capa es equivalente, en parte, al nivel acuífero del pozo AS0681 que se interdigita con el “Nivel con Abundante Material Fino Principal” en la COE 1, y su presencia indica que este último se acuña hacia el norte siendo reemplazado por una grava que puede ser calificada como acuífero. La capa XII es un delgado paquete arcilloso equiparable a la parte inferior del lente fino atravesado por el pozo AS0681 a la profundidad intermedia entre el antepenúltimo y el penúltimo

filtro. Las capas XIV y XV se corresponden con la enfrentada al penúltimo filtro de ese pozo, siendo tal vez la capa XV un pequeño lente arcilloso que no esté presente en el pozo AS0681.

El lente con abundante material fino ubicado entre los dos últimos filtros del pozo AS0681 sería equivalente de la capa XVI. El resto de las capas corresponden a la parte baja del horizonte acuífero 2 siendo las capas XVIII y XX lentes arcillosos que no han sido detectados en otros pozos.

Diseño de Pozo de Explotación:

El diseño del pozo fue hecho en base a los perfiles obtenidos por el INASLA. Se determinaron 5 tramos de interés frente a los que se ubicarían los filtros (90 a 100 m b.b.p., 108 a 118 m b.b.p., 128 a 133 m b.b.p., 140 a 143 m b.b.p. y 145 a 152 m b.b.p.). Los dos primeros tendrían filtros de 10" de diámetro mientras que los restantes serían de 8". Dos piezómetros de manguera de polietileno de alta densidad serían colocados frente a los tramos de 10" y 8" respectivamente. Esta disposición permitirá en el futuro, mediante la colocación de un packer entre los tramos de distintos diámetros, que se puedan ensayar por separado los tramos de diferentes diámetros con fines didácticos y de investigación. Además en caso de producirse una contaminación de los acuíferos superiores (frente a filtros de 10") estos podrán ser aislados quedando los inferiores en condiciones de seguir siendo explotados.

Niveles acuíferos más someros, que fueron puestos en producción por pozos cercanos, fueron descartados ante la ausencia de un nivel de arcilla lo suficientemente potente como para proporcionar un sello seguro e impedir el ingreso de contaminantes. Otra razón fue la gran profundidad del nivel piezométrico y el descenso del mismo registrado en los pozos de la zona lo que haría riesgoso colocar filtros en lugares en los que podrían quedar por expuestos al aire, reduciendo con ello la vida útil del pozo.

Las capas de arcilla presentes entre los 66,5 y 72 m b.b.p. fueron elegidas como el sello más adecuado por lo que la aislación del pozo por cementación se realizaría en frente a las mismas, desde los 80 m b.b.p. hasta aproximadamente los 35 m b.b.p. (calculado según los 12 m³ de cemento estipulados para la cementación). En la Figura N° 10 se puede observar la integración de los perfiles y el diseño de entubación.

El tamaño de grava de prefiltro y la abertura de los filtros fueron calculados con el método de Nold (Nold *et al.* 1962 en Custodio y Llamas 1996) a partir del análisis granulométrico de muestras representativas de los metros 97 a 98, 118 a 119, 128 a 129,

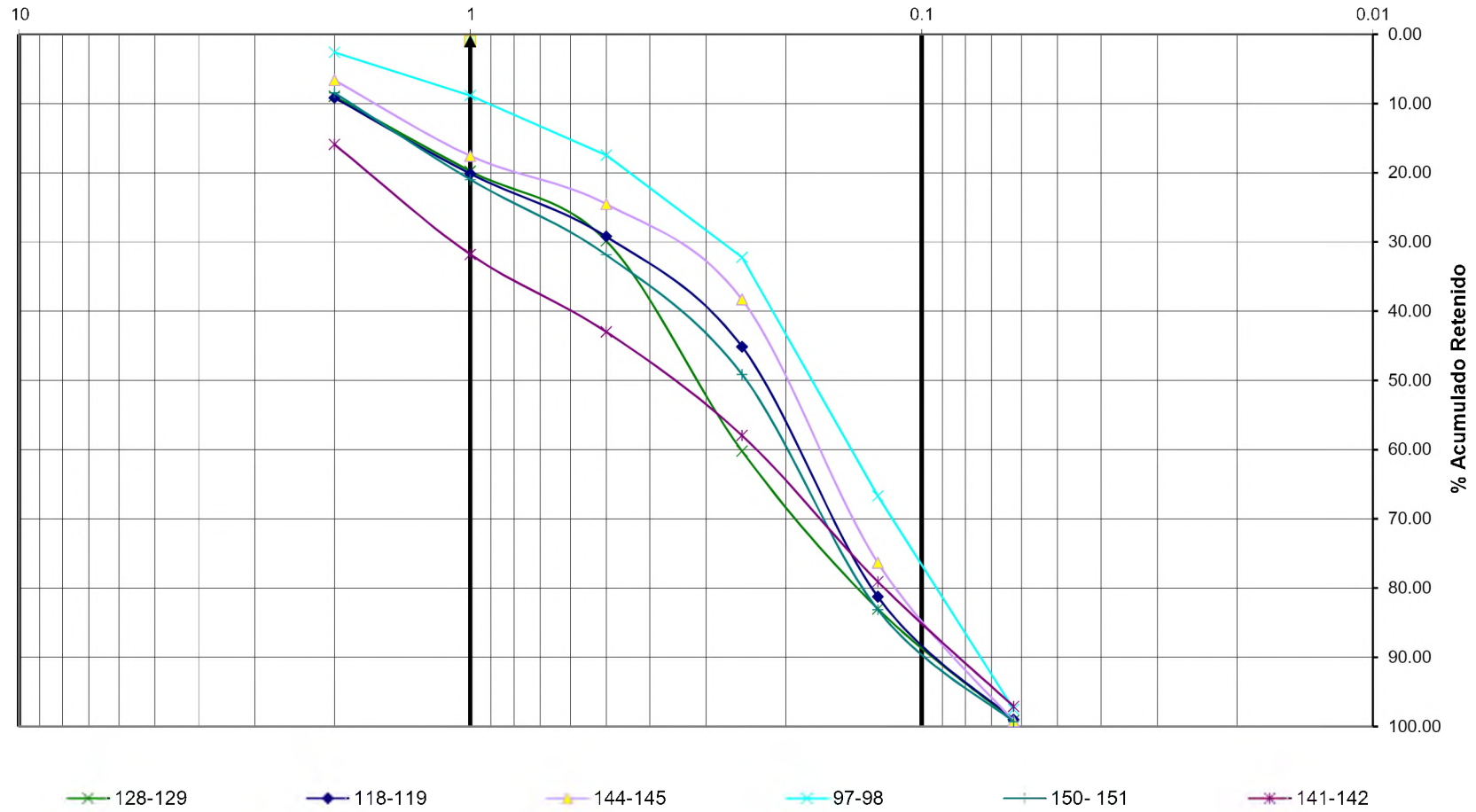
141 a 142, 144 a 145 y 150 a 151. (ver Tablas N° 9 a 20). En el Gráfico N° 1 se pueden observar las curvas granulométricas correspondientes. El método de Nold fue elegido por ser un método sencillo que ha sido utilizado ampliamente en la comunidad europea con muy buenos resultados (Guillermo Baudino, comunicación personal).

A partir de las curvas granulométricas se calculó el mayor diámetro de gravas ($d_{15} \times 5$) y el menor diámetro ($d_{25} \times 4$). El mayor era de alrededor 7,5 mm para la mayoría de las muestras mientras que el menor se aproximaba a los 3 mm. Las gravas de prefiltro utilizadas fueron extraídas de la cantera Moyano. Las mismas están constituidas por clastos de la formación Puncoviscana y presentan un alto contenido de clastos oblados y prolados (ver imagen N° 5) por lo que son de baja calidad para la función a la que se las destinó. Por ésta razón y para mayor seguridad en lo que respecta a evitar el ingreso de arena al pozo, se redujo el diámetro mayor y se determinó un diámetro de entre 3 y 6 mm para la grava de prefiltro y una ranura de 1,5 mm para los filtros.



Imagen N° 5. Gravas de prefiltro

Gráfico N° 1
Curvas granulométricas para cálculo de gravas de prefiltro (Método de Nold)
Tamaño Partículas (mm)



Análisis granulométricos

97-98					
TAMIZ	mm	Peso (g)	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	11,4	2,61	2,61	97,39
18	1	27,2	6,23	8,84	91,16
35	0,5	37,5	8,59	17,43	82,57
60	0,25	64,6	14,79	32,22	67,78
120	0,125	150,5	34,46	66,68	33,32
230	0,0625	134,6	30,82	97,50	2,50
fondo		10,9	2,50	100,00	
total		436,7			

Tabla N° 9. Análisis granulométrico. Muestra representativa. 97 a 98 metros de profundidad.

97-98					
TAMIZ	mm	peso	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	158,8	31,43	31,43	68,57
18	1	213,4	42,24	73,67	26,33
35	0,5	64,5	12,77	86,44	13,56
60	0,25	24,5	4,85	91,29	8,71
120	0,125	18,1	3,58	94,87	5,13
230	0,0625	21	4,16	99,03	0,97
Fondo		4,9	0,97	100,00	
Total		505,2			

Tabla N° 10. Análisis granulométrico. Muestra tomada con red. 97 a 98 metros de profundidad.

118-119					
TAMIZ	mm	Peso (g)	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	19,7	9,16	9,16	90,84
18	1	23,6	10,98	20,14	79,86
35	0,5	19,5	9,07	29,21	70,79
60	0,25	34,2	15,91	45,12	54,88
120	0,125	77,7	36,14	81,26	18,74
230	0,0625	38,1	17,72	98,98	1,02
Fondo		2,2	1,02	100,00	
Total		215			

Tabla N° 11. Análisis granulométrico. Muestra representativa. 118 a 119 metros de profundidad.

118-119					
TAMIZ	mm	peso	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	350,3	48,60	48,60	51,40
18	1	205,9	28,57	77,16	22,84
35	0,5	49,9	6,92	84,09	15,91
60	0,25	35,1	4,87	88,96	11,04
120	0,125	32,7	4,54	93,49	6,51
230	0,0625	43,8	6,08	99,57	0,43
Fondo		3,1	0,43	100,00	
Total		720,8			

Tabla N° 12. Análisis granulométrico. Muestra tomada con red. 118 a 119 metros de profundidad.

128-129					
TAMIZ	mm	Peso (g)	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	17,8	8,95	8,95	91,05
18	1	21,5	10,81	19,77	80,23
35	0,5	20	10,06	29,83	70,17
60	0,25	60,4	30,38	60,21	39,79
120	0,125	45,3	22,79	83,00	17,00
230	0,0625	32,1	16,15	99,14	0,86
Fondo		1,7	0,86	100,00	
Total		198,8			

Tabla N° 13. Análisis granulométrico. Muestra representativa. 128 a 129 metros de profundidad.

128-129					
TAMIZ	mm	peso	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	218,7	56,34	56,34	43,66
18	1	109,4	28,18	84,52	15,48
35	0,5	19,3	4,97	89,49	10,51
60	0,25	8,2	2,11	91,60	8,40
120	0,125	10	2,58	94,18	5,82
230	0,0625	18,4	4,74	98,92	1,08
fondo		4,2	1,08	100,00	
total		388,2			

Tabla N° 14. Análisis granulométrico. Muestra tomada con red. 128 a 129 metros de profundidad..

141-142					
TAMIZ	mm	peso	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	38,5	15,89	15,89	84,11
18	1	38,5	15,89	31,78	68,22
35	0,5	27,1	11,18	42,96	57,04
60	0,25	36,3	14,98	57,94	42,06
120	0,125	51,2	21,13	79,08	20,92
230	0,0625	43,7	18,04	97,11	2,89
fondo		7	2,89	100,00	
total		242,3			

Tabla N° 15. Análisis granulométrico. Muestra representativa. 141 a 142 metros de profundidad.

141-142					
TAMIZ	mm	peso	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	505,1	68,33	68,33	31,67
18	1	152,4	20,62	88,95	11,05
35	0,5	23	3,11	92,06	7,94
60	0,25	11,3	1,53	93,59	6,41
120	0,125	15,1	2,04	95,63	4,37
230	0,0625	26,4	3,57	99,20	0,80
fondo		5,9	0,80	100,00	0,00
total		739,2			

Tabla N° 16. Análisis granulométrico. Muestra tomada con red. 141 a 142 metros de profundidad.

144-145					
TAMIZ	Mm	Peso (g)	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	27,3	6,62	6,62	93,38
18	1	45,1	10,94	17,56	82,44
35	0,5	28,7	6,96	24,52	75,48
60	0,25	56,9	13,80	38,31	61,69
120	0,125	156,8	38,02	76,33	23,67
230	0,0625	94,4	22,89	99,22	0,78
Fondo		3,2	0,78	100,00	
Total		412,4			

Tabla N° 17. Análisis granulométrico. Muestra representativa. 144 a 145 metros de profundidad.

144-145					
TAMIZ	mm	peso	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	394,5	54,90	54,90	45,10
18	1	189,3	26,34	81,24	18,76
35	0,5	42,3	5,89	87,13	12,87
60	0,25	28,3	3,94	91,07	8,93
120	0,125	25,9	3,60	94,67	5,33
230	0,0625	35	4,87	99,54	0,46
Fondo		3,3	0,46	100,00	
Total		718,6			

Tabla N° 18. Análisis granulométrico. Muestra tomada con red. 144 a 145 metros de profundidad.

150- 151					
TAMIZ	Mm	Peso (g)	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	24,9	8,45	8,45	91,55
18	1	36,9	12,53	20,98	79,02
35	0,5	32	10,86	31,84	68,16
60	0,25	50,9	17,28	49,12	50,88
120	0,125	100,2	34,01	83,13	16,87
230	0,0625	47,6	16,16	99,29	0,71
fondo		2,1	0,71	100,00	
total		294,6			

Tabla N° 19. Análisis granulométrico. Muestra representativa. 150 a 151 metros de profundidad.

150- 151					
TAMIZ	mm	peso	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	264,2	48,91	48,91	51,09
18	1	178,4	33,02	81,93	18,07
35	0,5	38,9	7,20	89,13	10,87
60	0,25	14,6	2,70	91,84	8,16
120	0,125	13	2,41	94,24	5,76
230	0,0625	23,1	4,28	98,52	1,48
fondo		8	1,48	100,00	
total		540,2			

Tabla N° 20 Análisis granulométrico. Muestra tomada con red. 150 a 151 metros de profundidad.

En las tablas se pueden observar los pesos y porcentajes de las distintas fracciones granulométricas correspondientes a los niveles previamente mencionados. Las tablas con encabezamiento anaranjado corresponden a las muestras obtenidas con balde, mientras que las tablas con encabezamiento rojo corresponden a las muestras tomadas con pala muestreadora. Si se compara las mismas se puede apreciar la tendencia general, en las muestras tomadas con pala, a la eliminación de buena parte de la fracción fina y concentración de la fracción gruesa resaltando así la importancia de un muestreo representativo.

Entubación

La entubación del pozo se llevó a cabo el 18 de noviembre. Los tramos de cañería, según su orden de introducción se pueden apreciar en la tabla N° 21. La operación de entubado, desde la introducción del primer tramo hasta que el último estuvo asegurado en el cepo, se realizó en aproximadamente 5 horas y media. El geólogo Banegas, Director Técnico por parte del contratista, dirigió la nivelación y orientación de los distintos tramos para asegurar que su introducción sea lo más vertical posible. Con esta finalidad un empleado de la empresa permaneció ubicado en el extremo superior de la torre de perforación durante todo el proceso de entubado (ver Imagen N° 6). Este operario fue el encargado de ubicar y mantener en la posición correcta la parte superior de cada tramo hasta que este era soldado con el inferior y bajado. Las instrucciones para la nivelación eran dictadas por el Director Técnico quien, usando un nivel de mano o colocándose a distancia, estimaba si la colocación del tramo a introducir era la adecuada. Al concluir con la entubación se observó que, debido a la altura del cepo y la mordaza, la cañería quedó ubicada 40 centímetros por encima de lo previsto. (ver Imagen N° 7)

Los piezómetros de manguera de polietileno fueron fáciles y rápidos de colocar. Para su colocación sólo se requiere agujerear con un taladro la manguera frente a los tramos de filtros y asegurar la misma a los caños mediante grampas soldadas colocadas a distancias razonables. Al momento del engravado fueron una fuente de información de la altura que alcanzaban el prefiltro ya que al ser tapadas las partes agujereadas la inyección aligerada comenzaba a salir en superficie a través de los piezómetros.

Sección	Partes	Long.(m)	Sección	Partes	Long.(m)
1	Caño Cola Filtro. 8"	5,00 7,00	9	Caño Ciego 10"	8,72
2	Caño Ciego 8" Filtro 8" Caño Ciego 8"	2,00 3,00 7,00	10	Caño Ciego 10"	10,95
3	Filtro 8" Caño Ciego 8"	5,80 5,00	11	Caño Ciego 10"	10,70
4	Reducción Caño Ciego 10" Filtro 10"	0,20 4,00 5,00	12	Caño Ciego 10"	8,95
5	Filtro 10"	5,00	13	Caño Ciego 10"	8,96
6	Caño Ciego 10"	8,00	14	Caño Ciego 10"	10,00
7	2 filtros 10"	10,00	15	Caño Ciego 10"	10,00
8	Caño Ciego 10"	12,00	16	Caño Ciego 10"	10,00
			Total	157,28	

Tabla N° 21. Tramos de cañería de entubación. Longitud, partes y orden de introducción.



Imagen N° 6. Operación de entubación



Imagen N° 7. Cepo, mordaza y platina previamente al engravado. Las dos mangueras negras a la izquierda de la platina son los piezómetros

Terminada la entubación se colocó la platina y se procedió a aligerar la inyección para poder realizar el engravado. Mientras se llevaba a cabo esta operación se midió el volumen de las carretillas encargadas de volcar las gravas de prefiltro dentro del pozo (50 litros) y se calculó que serían necesarias aproximadamente 170 carretilladas para cubrir el espacio anular hasta una profundidad de 80 metros. Una vez que la inyección estuvo suficientemente aligerada se inició el engravado con un caudal de bomba de alrededor de $13 \text{ m}^3/\text{h}$. Al cubrirse los filtros de ocho pulgadas la inyección comenzó a fluir por el piezómetro enfrentado a dicho tramo filtrante. El volumen de gravas introducido hasta ese momento concordaba con el calculado para esa profundidad. Al llegar al volumen de gravas calculado para cubrir los filtros de 10 pulgadas, la inyección no fluyó a través del piezómetro correspondiente, pero se continuó colocando material prefiltrante hasta cumplir con el volumen calculado para cubrir hasta los 80 metros de profundidad. Posteriormente al medir con una sonda la profundidad del techo del prefiltro se encontró que éste se localizaba a 65 metros de profundidad por lo que se estipula que debido a la rapidez con que fueron introducidas (toda la operación de engravado se llevó a cabo en poco más de 2 horas) se produjo un aglutinamiento o taponamiento que impidió que el material prefiltrante descendiera hasta la posición que debían ocupar. Sin embargo, luego de una pausa realizada para cenar, la inyección fluyó a través del segundo piezómetro por lo que se piensa que las gravas, o parte de ellas, finalmente descendieron y alcanzaron a cubrir los filtros de 10 pulgadas.

La cementación se realizó con una lechada de cemento compuesta de 60 bolsas de cemento distribuidas en dos piletones de agua de $1,4 \text{ m}^3$ cada uno. Una vez que la lechada se homogeneizó se inyectó en el pozo, por medio de la bomba lodera y a través de una cañería de 2 pulgadas de diámetro, a 65 metros de profundidad. A la mañana siguiente se inyectó otra lechada de igual volumen para concluir con la cementación, dejándose fraguar el cemento por 72 horas. Como se puede observar el volumen de cemento inyectado corresponde a aproximadamente la mitad del estipulado (12 m^3), sin embargo al constatar la profundidad del nivel de cementación se determinó que ésta era de tan sólo seis metros por lo que se estima que el pozo se cerró (ocurrieron nuevos derrumbes) durante la noche entre la primera y la segunda cementación. El resto del espacio anular fue rellenado con las mismas arcillas cuaternarias usadas durante la perforación exploratoria para detener los derrumbes.

Limpieza y desarrollo

La limpieza y desarrollo del pozo son dos actividades de gran importancia que consisten, la primera en la eliminación de la bentonita del fluido de perforación que quedó tanto dentro del pozo, en el prefiltro y en los poros de los niveles acuíferos. Y la segunda en la extracción de la fracción granulométrica más fina (pasante a través del filtro) de los acuíferos aumentando con ello la permeabilidad del entorno. Además se incrementa el tiempo de vida útil de la bomba de extracción ya que el elevado movimiento de arena provoca el desgaste prematuro de las bombas sumergibles (Martín, 2002). Estas dos operaciones tienen como finalidad eliminar toda la turbidez posible del agua y facilitar el flujo de la misma desde el acuífero al pozo aumentando con ello la eficiencia de la obra.

En el pozo UNSa la limpieza se inició el 22 de noviembre mediante la inyección de agua limpia bombeada por la bomba lodera de la máquina de perforación a través de las barras de sondeo. El objetivo era diluir al máximo el fluido de perforación que quedaba en el pozo y extraer parte de la bentonita junto con el agua que rebalsaba a través de la boca del pozo.

Cuando el agua inyectada empezó a salir libre de bentonita se desconectó la bomba y se conectó la parte superior de la cañería a un compresor de aire que inyectó aire comprimido a una profundidad de 70 metros aproximadamente. La presión del aire comprimido levantó la columna de agua situada por encima de la boca de salida, impulsándola varios metros por sobre la boca del pozo (ver Imagen N° 8).



Imagen N° 8. Columna de agua durante la limpieza con aire comprimido.

Según el contratista la acción del aire comprimido produciría, además de la eliminación de parte de la bentonita, un brusco descenso de presión dentro del pozo, el cual provocaría un flujo rápido de agua desde el acuífero hacia el pozo arrastrando a su paso los restos del fluido de inyección atrapados en los sedimentos y en las gravas de prefiltro. Sin embargo al revisar bibliografía especializada se ve que el aire comprimido debe inyectarse “a lo largo de la zona filtrante, de tal manera de que el flujo de aire irrumpa súbitamente por dentro del espacio anular ocupado por la grava y provoque la rotura de los “arcos” o “puentes” en el prefiltro de grava y limpie las arenas del acuífero” (Martín, 2002).

Otra diferencia notable es que el método de aire comprimido explicado por Martín requiere de “dos tuberías concéntricas que se insertan por dentro de la cañería definitiva; una de ellas es la tubería de inyección de aire a gran presión que actúa directamente en la zona filtrante y la otra, la cañería de aducción, que permite extraer el agua con sedimentos finos contenido en el pozo”. El desarrollo se produce entonces en dos etapas. En la primera se inyecta aire con la tubería de inyección 90 cm por debajo de la tubería de aducción. En la segunda se retrae la cañería de aire comprimido situándola por encima del extremo inferior de la tubería de aducción y se vuelve a inyectar aire comprimido produciéndose el bombeo por inversión de flujo. Las dos etapas se repiten alternativamente hasta que el agua que sale en superficie se encuentre libre de partículas finas. Luego se desciende unos metros para repetir la operación dentro del mismo filtro o en otro tramo de filtro desarrollándose de esta manera toda la porción filtrante. Se concluye en el caño de cola evacuando todos los sedimentos finos situados en el fondo del pozo.

Como se puede apreciar, en el pozo UNSa no se utilizó una tubería de aducción y la inyección de aire fue por encima del primer filtro inclusive por lo que no logró realizar una buena limpieza y desarrollo como se verá más adelante. Luego de un día de inyectar aire el agua eyectada comenzó a salir sin turbidez. En este momento se agregó dispersante de arcillas (6 bolsas de 30 kilos de tripolifosfato de sodio disueltas en 200 litros de agua cada una) y, luego de dejarlo actuar por un día se volvió a inyectar aire observándose nuevamente turbidez en el agua.

Cuando el agua perdió nuevamente la turbiedad se retiró la cañería del compresor y se procedió a la instalación de una bomba eléctrica sumergible de diez turbinas (ver Imagen N° 9). Entre la espera por la llegada de la bomba, instalación de la misma y del tablero electrónico transcurrieron 6 días. Durante este tiempo la única

actividad realizada fue la medición del nivel de agua. Esta medición se realizó mediante una sonda constituida por un cable que llevaba atado un peso (una barra de hierro) en uno de sus extremos mientras que el otro se hallaba conectado a un multímetro. El extremo del cable ligado al peso se hallaba pelado por lo que al tocar el agua se cerraba el circuito entre este, el agua, un electrodo conectado a la cañería de entubación o de la bomba y el multímetro. Cuando el cierre del circuito era detectado por el multímetro se medía la longitud del cable introducida en el pozo determinándose así el nivel del agua. Este sistema presentó ciertos inconvenientes ya que el extremo pelado del cable debía envolverse en cinta aislante de manera tal que no entrara en contacto con las cañerías durante el descenso, se mantuviese aislado de la barra de hierro y sin embargo pudiera establecer contacto con el agua al llegar al nivel de esta. Esporádicos corrimientos de la cinta aislante ocasionaron errores en las mediciones provocando que las mismas debieran realizarse varias veces. Afortunadamente este problema pudo ser solucionado con el tiempo, siendo totalmente descartado al momento del ensayo de bombeo.



Imagen N° 9

Colocación de la bomba para el desarrollo. El hombre con gorra manejando la grúa es el perforador Martín Chamar. El que manipula la bomba es Andrés Hoyos.

Cuando se colocó la bomba el nivel del agua se encontraba a 56 m b.b.p. Al encenderse la bomba se produjo un rápido descenso del mismo alcanzando la boca de admisión de la bomba situada a 86 m b.b.p. aproximadamente notándose que la bomba aspiraba aire. Se realizaron mediciones de los caudales de bombeo mediante el tiempo necesario para llenar un piletón de 1.786 litros. Los tiempos de llenado y sus correspondientes caudales pueden verse en la Tabla N° 22.

Tiempo (segundos)	Caudal m ³ /h	Tiempo (segundos)	Caudal m ³ /h	Tiempo (segundos)	Caudal m ³ /h
10	642,96	110	58,45	210	30,61
20	321,48	120	53,58	220	29,22
30	214,32	130	49,45	230	27,95
40	160,74	140	45,92	240	26,79
50	128,59	150	42,86	250	25,72
60	107,16	160	40,18	260	24,73
70	91,85	170	37,82	270	23,81
80	80,37	180	35,72	280	22,96
90	71,44	190	33,84		
100	64,29	200	32,14		

Tabla N° 22. Caudales de bombeo según el tiempo de llenado del piletón de 1.786 litros.

El caudal inicial de bombeo, era de 40 m³/h siendo el caudal específico de 1,3 m³/h/m, ambos fueron aumentando con el tiempo. El agua era turbia al principio aunque fue aclarándose rápidamente. Se muestrearon arenas que estaban siendo extraídas del pozo. El análisis granulométrico de las mismas puede verse a continuación (Tabla N° 23). Apréciase que partículas de entre 1 y 1,5 mm que tendrían que pasar a través de la ranura del filtro y ser eliminadas no lo fueron.

TAMIZ	mm	peso	% Peso	% ac ret	% pasante
10	2	0	0,00	0,00	100,00
18	1	0	0,00	0,00	100,00
35	0,5	0,1	3,45	3,45	96,55
60	0,25	0,6	20,69	24,14	75,86
120	0,125	1	34,48	58,62	41,38
230	0,0625	1	34,48	93,10	6,90
fondo		0,2	6,90	100,00	
total		2,9			

Tabla N° 23. Partículas extraídas durante el desarrollo 1° día. En 20 litros de agua.

Al día siguiente, luego de que la bomba funcionara toda la noche, el nivel dinámico se situaba alrededor de los 83 m b.b.p., el nivel estático a los 63 m b.b.p. y el caudal específico se acercaba a los 3 m³/h /m siendo el caudal de bombeo de 58 m³/h. La llave de salida de la bomba mediante la cual se regula el caudal se abrió al máximo sin que se apreciaran variaciones en el caudal.

Un hecho que cabe destacar aquí es que toda el agua extraída durante la noche (más de 500 m³) se infiltró completamente en un área de aproximadamente ,400 m² sin que llegara a alcanzar la calle lateral del campo universitario hacia la que había sido canalizada.

Luego de dos días de bombeo sin que se apreciara un incremento significativo en los caudales, se decidió la utilización de una hidrolavadora (jet). Esta herramienta consiste en un dispositivo provisto de cuatro boquillas perpendiculares entre sí, el cual se enrosca en el extremo de salida de la columna de barras de sondeo. Las barras están conectadas a la bomba de la maquina de perforación la cual bombea agua a través de las mismas siendo las únicas salidas las boquillas mencionadas. Al tener las boquillas un diámetro reducido (1,5 cm en este caso), los chorros resultantes tienen una alta velocidad que permite remover las partículas de limos y arcillas del acuífero y del prefiltro de grava. “El vórtice originado arrastra a los materiales finos hacia el interior del pozo y atraviesan las aberturas del filtro que se encuentran por arriba y por debajo del punto de contacto” (Martín, 2002).

En el pozo UNSa la tarea de jetting se llevó a cabo en dos días con un caudal teórico de la bomba inyectora de 34 m³/h. En la imagen N° 10 se puede apreciar la prueba del jet en superficie. En el primer día se “jeteó” los dos filtros superiores (10”) inyectando agua constantemente y rotando manualmente la herramienta a medida que descendía lentamente. En el segundo se realizó la misma operación con los filtros restantes hasta tocar fondo a 157 mbbp. Luego, al ir retirando la herramienta, se procedió a inyectar dispersante de bentonita (tripolifosfato de sodio) a lo largo de cada tramo de filtro para aumentar la eficacia del lavado. La solución del dispersante estaba constituida por 100 kg de tripolifosfato de sodio disueltos en aproximadamente 3.000 litros de agua.



Imagen N° 10. Prueba del jet en superficie.

Al día siguiente se volvió a intentar la limpieza con el compresor de aire esta vez a través de las boquillas de salida del jet y a 120 metros de profundidad. Pero el compresor no generó la presión suficiente como para extraer agua del pozo por lo que se extrajeron las barras y se reintrodujo la bomba. La mañana posterior se reinició el bombeo con la llave de salida abierta $1 \frac{1}{4}$ vuelta y un caudal de $64 \text{ m}^3/\text{h}$. La turbiedad del agua era alta aunque disminuyó con el tiempo, el nivel dinámico se encontraba a 85 m b.b.p. siendo el caudal específico de $2,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Al aclararse completamente el agua se abrió totalmente la llave obteniéndose un caudal de $76,5 \text{ m}^3/\text{h}$ que disminuye cuando la bomba empezó a chupar aire.

Se continúa bombeando en ciclos de 15 minutos de bombeo alternados con 15 minutos de reposo, observándose un enturbiamiento del agua luego de tres minutos de bombeo cada vez que se reiniciaba el mismo. Se decide continuar con los ciclos de bombeo hasta que este enturbiamiento dejara de ocurrir. Lamentablemente, el tablero de control de la bomba no resistió la frecuencia de encendido y apagado y dejó de funcionar aparentemente por sobrecalentamiento. En ese momento el caudal había alcanzado los $78 \text{ m}^3/\text{h}$, la bomba había dejado de absorber aire y el caudal específico era de alrededor de $3,1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Aquí se hace notable la falta de eficacia de la inyección de aire comprimido (de la forma en la que se la realizó en el pozo UNSa) ya que luego de la limpieza con jet se produjo un incremento del 30 % en el caudal máximo de producción del pozo, obteniéndose a su vez para este caudal un caudal específico aun mayor que el que se tenía para caudales menores luego de la limpieza mediante aire comprimido.

Los siguientes dos días, luego de reparar la bomba, se continuó el bombeo aunque manteniendo encendida la bomba durante una hora y apagándola durante 15 minutos. La turbidez posterior al encendido de la bomba siguió siendo notable pero desaparecía a los pocos minutos de bombeo constante y, luego de varios ciclos, disminuyó sensiblemente. En las Imágenes N° 11 se puede observar el grado inicial de turbidez del agua luego del jeteo y en la Imagen 12 la claridad obtenida luego de unos días de bombeo.



Imagen N° 11. Primeros instantes de bombeo. Agua turbia. En la parte inferior de la fotografía se observa una de los piletones usados en la preparación de la lechada de cemento y para la medición de caudales de bombeo



Imagen N° 12. Agua clara luego del desarrollo.

Durante el tiempo de bombeo se fueron midiendo caudales determinados por diferentes grados de apertura de la llave exclusiva con la finalidad de determinar aquellos apropiados para la realización del ensayo de bombeo.

Ensayo de bombeo:

El ensayo de bombeo escalonado consiste en explotar el pozo en forma continua con por lo menos tres regímenes de bombeo (escalones), a caudal constante cada uno, hasta que los niveles dinámicos se estabilizan para cada escalón.

Este ensayo permite determinar el potencial del pozo, expresado a través de sus curvas características, como así también evaluar la destreza con la que fue construido, conociendo su eficiencia (E). Esta se determina a través de la relación existente entre las pérdidas de nivel ocasionadas por el propio acuífero y las pérdidas totales (pérdidas debidas al acuífero más pérdidas debidas a la construcción del pozo). Mientras menores sean las pérdidas debidas al pozo mayor será la eficiencia de éste.

En el pozo UNSa el ensayo de bombeo se llevó a cabo el 11 de diciembre de 2004. El nivel estático se ubicaba a los 62,94 m b.b.p., se eligieron tres escalones, siendo el primero el de mayor caudal (74 m³/h) y cerrando progresivamente la llave exclusiva para obtener el segundo (54,4 m³/h) y tercer escalón (24,7 m³/h); y apagando la bomba para medir la recuperación. Los datos de tiempo, nivel dinámico, depresión, caudal y caudal específico pueden observarse en las Tablas N° 24, 25, 26 y 27. En los Gráficos N° 2 y 3 están trazadas las curvas de depresión con respecto al tiempo de los tres escalones y de la recuperación.

Estos datos fueron posteriormente introducidos en el programa informático GWW para calcular la eficiencia del pozo, y las pérdidas debidas al acuífero y al pozo para cada uno de los tres caudales más un último extrapolado para un 20% mayor al caudal más alto (88,8 m³/h). Los resultados se encuentran resumidos en la Tabla N° 28 mientras que en el gráfico N° 4 se ha trazado la curva de la eficiencia de acuerdo a los caudales de cada escalón y del caudal de producción estimado para el pozo UNSa.

También se realizó el cálculo de gabinete manual utilizando la fórmula de Jacob (1947, en Custodio y Llamas, 1996) ($s = BQ + CQ^2$). Se planteó un sistema de ecuaciones con dos incógnitas (B y C) siendo los datos las depresiones (s) y sus correspondientes caudales de bombeo (Q). De esta forma trabajando con dos depresiones determinadas por dos caudales se pudo despejar una de las incógnitas en una primera ecuación, reemplazarla en la segunda y determinar el valor de la otra incógnita. Este valor es luego empleado para calcular la primera incógnita y determinar así las pérdidas debidas al acuífero (BQ), las pérdidas debidas al pozo (CQ²) y la eficiencia ($E(\%) = BQ / (BQ + CQ^2) \times 100$). Los resultados obtenidos pueden observarse en la Tabla N° 29. Los valores determinados para las dos incógnitas son B= 0,1394 y C= 0,0023.

GRAFICO N° 2: ENSAYO ESCALONADO POZO UNSA

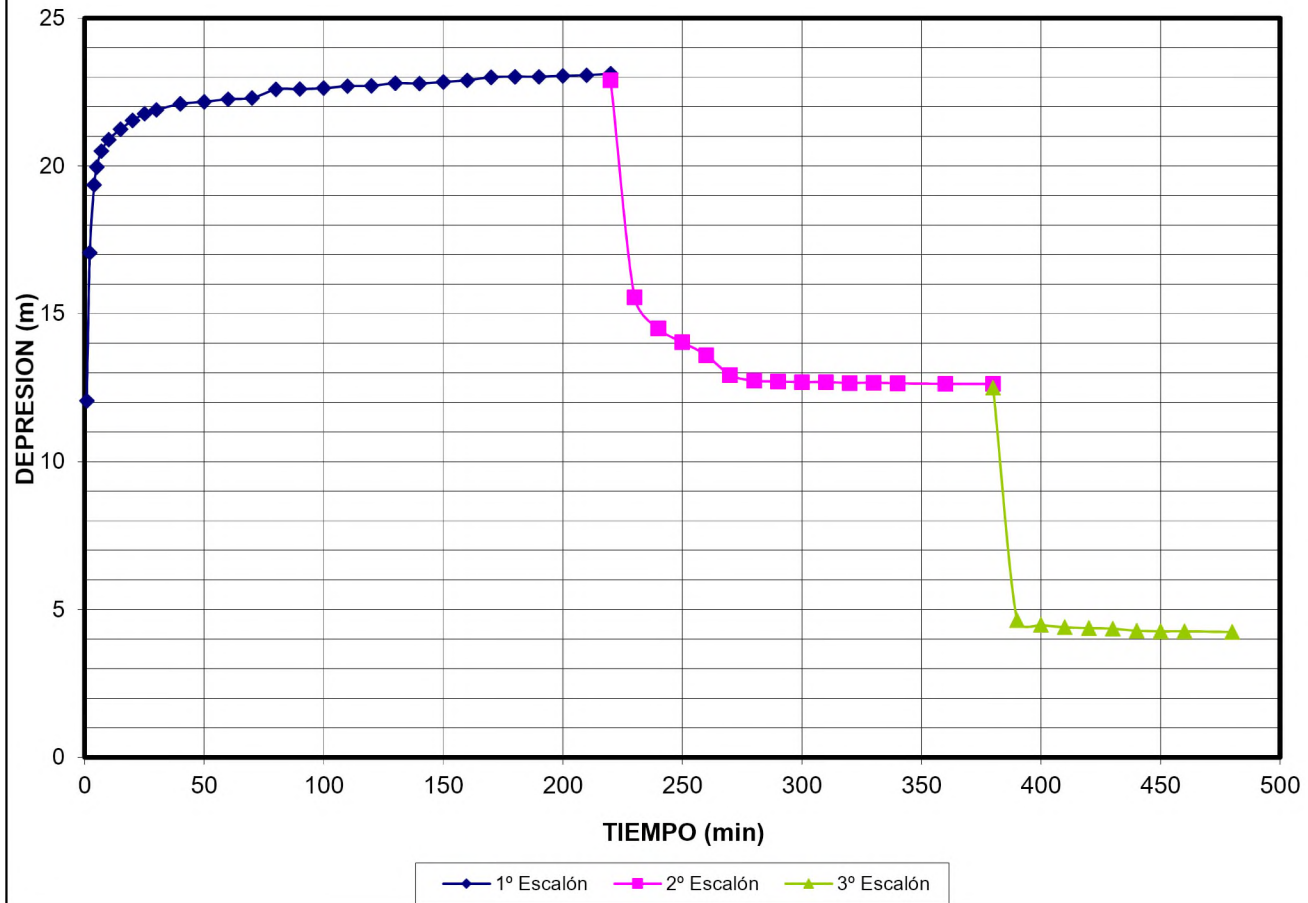
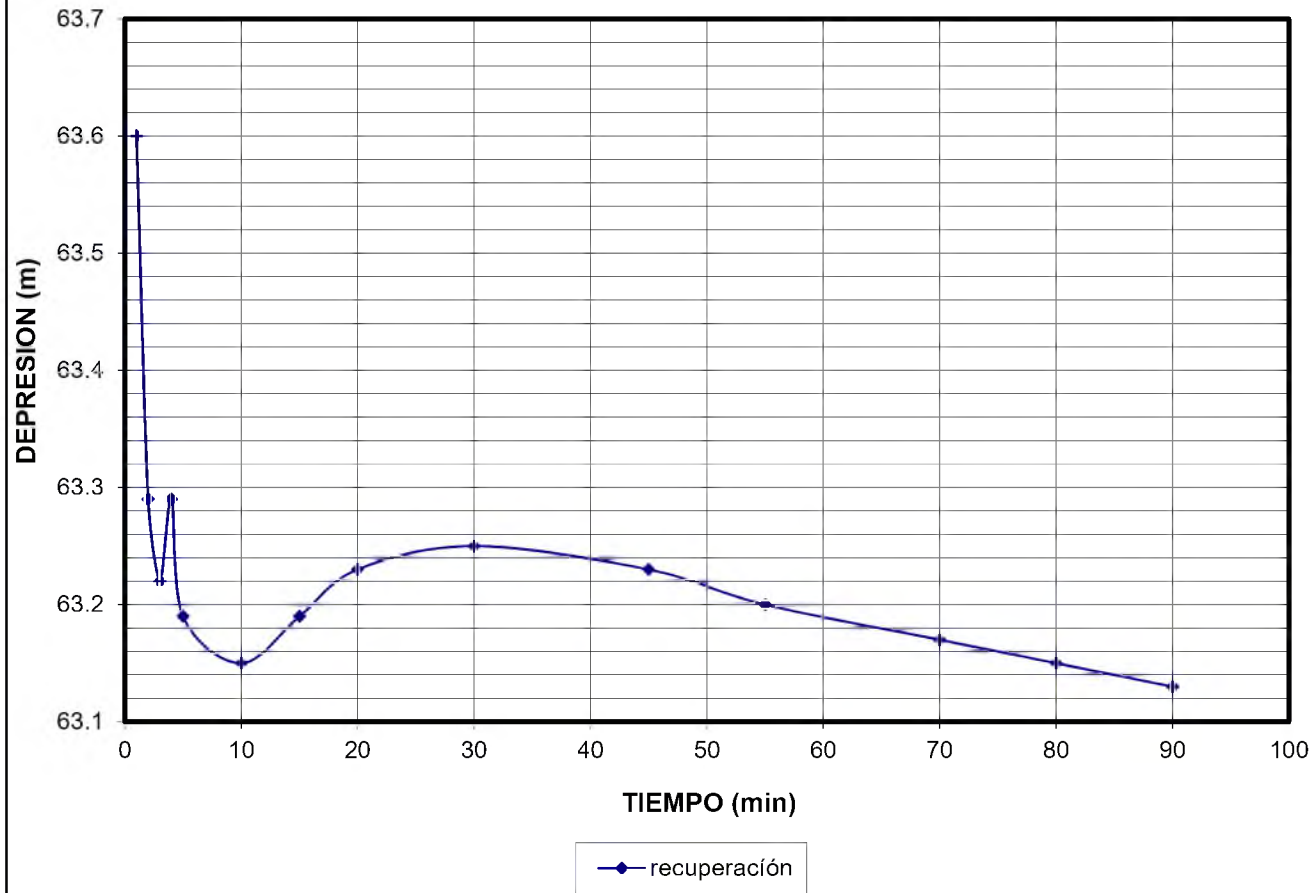
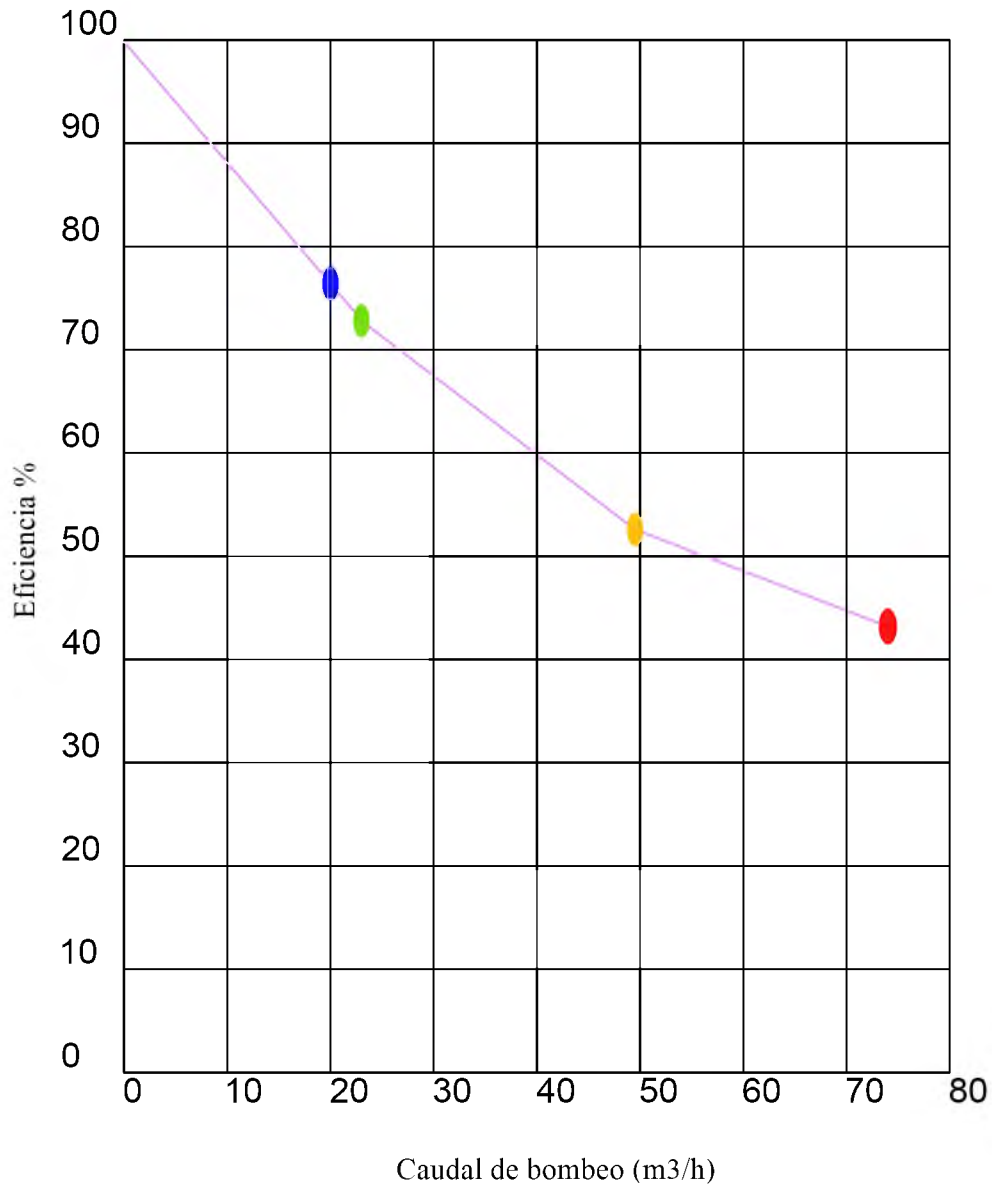


GRAFICO N° 3: RECUPERACIÓN POZO UNSA



Curva de Eficiencia del pozo UNSa



REFERENCIAS

- +— Eficiencia
- 1º Escalón
- 2º Escalón
- 3º Escalón
- Caudal de Producción

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA

**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL SECTOR
NORTE DE LA CIUDAD DE SALTA EN
RELACION A LA CONSTRUCCION DE UN
NUEVO POZO DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA EN LA UNSa
PROVINCIA DE SALTA - REPUBLICA ARGENTINA**

Curvas de eficiencia

Nicolás Larcher

2006

Tiempo (min)	Nivel Dinámico (m)	Depresión (m)	Caudal (m³/h)	Caudal Especifico (m³/h/m)
0	62,94	0	0	0
0,85	75	12,06	75	6,22
2,15	80	17,06	75	4,40
4	82,3	19,36	75	3,87
5	82,9	19,96	75	3,76
7	83,44	20,5	75	3,66
10	83,83	20,89	75	3,59
15	84,16	21,22	75	3,53
20	84,48	21,54	75	3,48
25	84,7	21,76	75	3,45
30	84,83	21,89	75	3,43
40	85,04	22,1	75	3,39
50	85,11	22,17	75	3,38
60	85,2	22,26	75	3,37
70	85,24	22,3	75	3,36
80	85,53	22,59	75	3,32
90	85,54	22,6	75	3,32
100	85,57	22,63	75	3,31
110	85,64	22,7	75	3,30
120	85,65	22,71	75	3,30
130	85,74	22,8	75	3,29
140	85,73	22,79	75	3,29
150	85,78	22,84	75	3,28
160	85,84	22,9	74	3,23
170	85,94	23	74	3,22
180	85,96	23,02	74	3,21
190	85,96	23,02	74	3,21
200	85,99	23,05	74	3,21
210	86,01	23,07	74	3,21
220	86,06	23,12	74	3,20

Tabla N° 24 Datos del ensayo de bombeo: Primer escalón.

Tiempo (min)	Nivel Dinámico (m)	Depresión (m)	Caudal (m ³ /h)	Caudal Especifico (m ³ /h/m)
230	78,5	15,56	54,4	3,50
240	77,44	14,5	54,4	3,75
250	76,98	14,04	54,4	3,87
260	76,54	13,6	54,4	4,00
270	75,87	12,93	51	3,94
280	75,68	12,74	51	4,00
290	75,65	12,71	51	4,01
300	75,63	12,69	51	4,02
310	75,63	12,69	51	4,02
320	75,6	12,66	51	4,03
330	75,61	12,67	51	4,03
340	75,59	12,65	51	4,03
360	75,57	12,63	49,5	3,92
380	75,57	12,63	49,5	3,92

Tabla N° 25. Datos del ensayo de bombeo: Segundo escalón.

Tiempo (min)	Nivel Dinámico (m)	Depresión (m)	Caudal (m ³ /h)	Caudal Especifico (m ³ /h/m)
390	67,58	4,64	24,7	5,32
400	67,42	4,48	24,7	5,51
410	67,34	4,4	24,7	5,61
420	67,31	4,37	23,3	5,33
430	67,29	4,35	23,3	5,36
440	67,22	4,28	23,3	5,44
450	67,2	4,26	23	5,40
460	67,2	4,26	23	5,40
480	67,18	4,24	23	5,42

Tabla N° 26. Datos del ensayo de bombeo: Tercer escalón.

Tiempo (min)	Nivel Dinámico (m)	Depresión (m)	Caudal (m ³ /h)	Caudal Especifico (m ³ /h/m)
1	63,6	0,66	0	0,00
2	63,29	0,35	0	0,00
3	63,22	0,28	0	0,00
4	63,29	0,35	0	0,00
5	63,19	0,25	0	0,00
10	63,15	0,21	0	0,00
15	63,19	0,25	0	0,00
20	63,23	0,29	0	0,00
30	63,25	0,31	0	0,00
45	63,23	0,29	0	0,00
55	63,2	0,26	0	0,00
70	63,17	0,23	0	0,00
80	63,15	0,21	0	0,00
90	63,13	0,19	0	0,00

Tabla N° 27. Datos del ensayo de bombeo: Recuperación.

Caudal de bombeo	23	49,5	74	88,8
Pérdidas debidas al acuífero	3,09	6,65	9,94	11,92
Pérdidas debidas al pozo	1,27	5,87	13,12	18,9
Eficiencia (%)	72,8	52,6	43,2	38,7

Tabla N° 28. Eficiencia y pérdidas calculadas para cada escalón del ensayo de bombeo del pozo UNSa

Caudal de bombeo	23	49,5	74	88,8
Pérdidas debidas al acuífero	3,2	6,9	10,31	12,37
Pérdidas debidas al pozo	1,21	5,63	12,59	18,1
Eficiencia (%)	72,49	55,04	45,02	40,56

Tabla N° 29. Eficiencia y pérdidas calculadas manualmente para cada escalón del ensayo de bombeo del pozo UNSa.

Como se observa los valores calculados manualmente no difieren mucho de los calculados por el programa computacional. Este método es útil en el campo en caso de no contar con una computadora o con los elementos de dibujo para utilizar el método de Hantush- Bierschenk (1964 en Custodio y Llamas, 1996). Es recomendable, sin embargo, realizar una comprobación mediante el mismo cálculo pero cambiando una de las depresiones y su respectivo caudal. Por ejemplo si los resultados obtenidos para B y C mediante el sistema de ecuaciones de las depresiones del primer y segundo escalón coinciden con los calculados para el sistema de ecuaciones correspondiente al segundo y tercero o primer y tercer escalón significa que se cumple la ecuación de Jacob. De no ser así el método no puede ser aplicado y deberá utilizarse el método de Rorabaugh (1953 en Custodio y Llamas, 1996) o el programa computacional por lo que no se podrá contar con los datos inmediatamente en el campo.

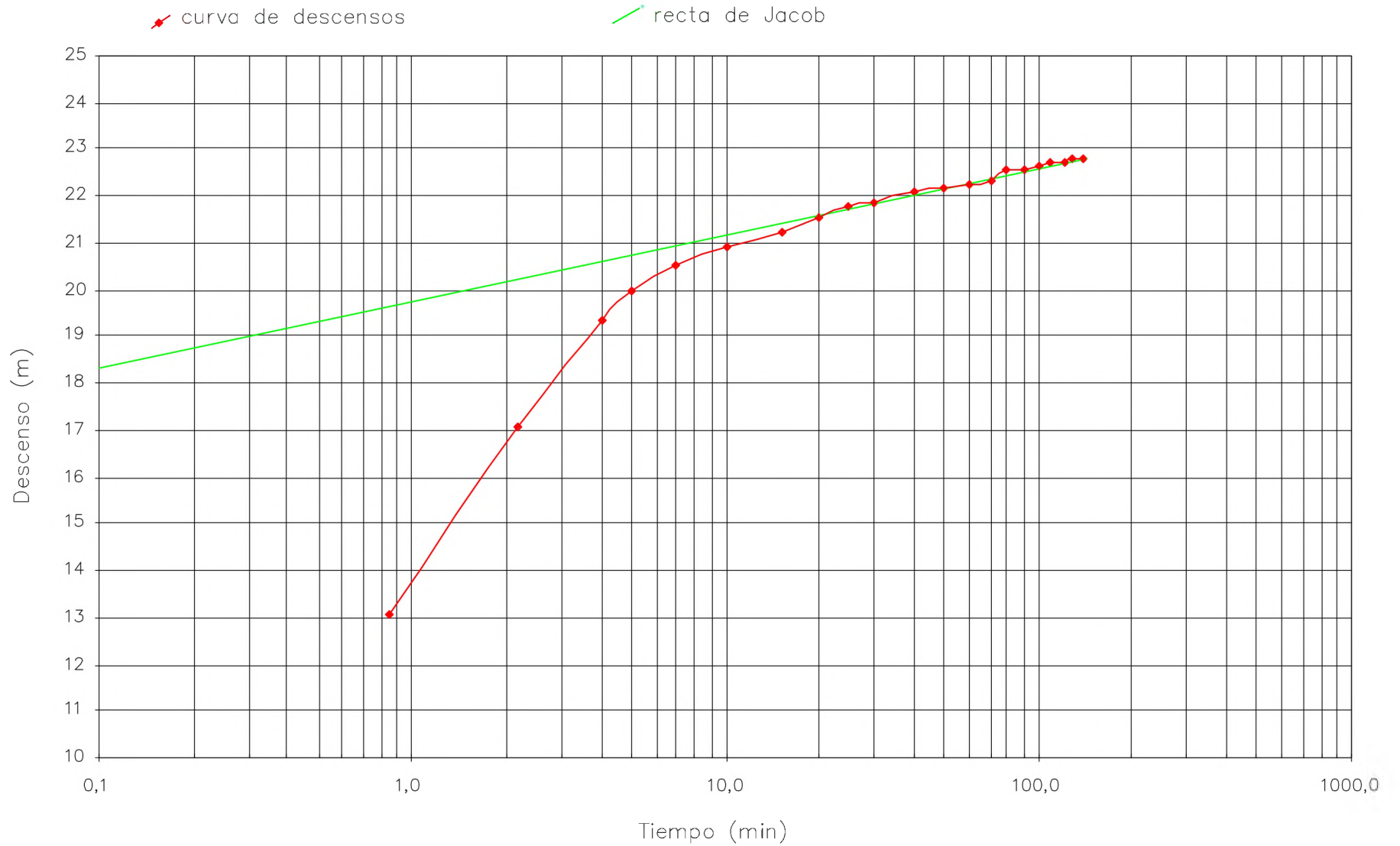
Para el cálculo de la transmisividad se utilizó el método de Jacob. Para el primer escalón (ver Gráfico N° 5) se obtuvo una transmisividad de 7,9 m²/hora, o sea 189,4 m²/día. Haciendo una aproximación, donde se toma el espesor del acuífero como igual a la longitud de los filtros, se calculó una permeabilidad darciana igual a 5,4 m/día.

Comparando estos valores con los correspondientes al pozo AS0756 que presenta una transmisividad de 539 m²/día y una permeabilidad de 16,3 m/día, es apreciable la diferencia entre un pozo ubicado en el centro del paleocauce (AS0756) y otro situado hacia el margen del mismo. Las curvas características del pozo pueden verse en el gráfico N° 6.

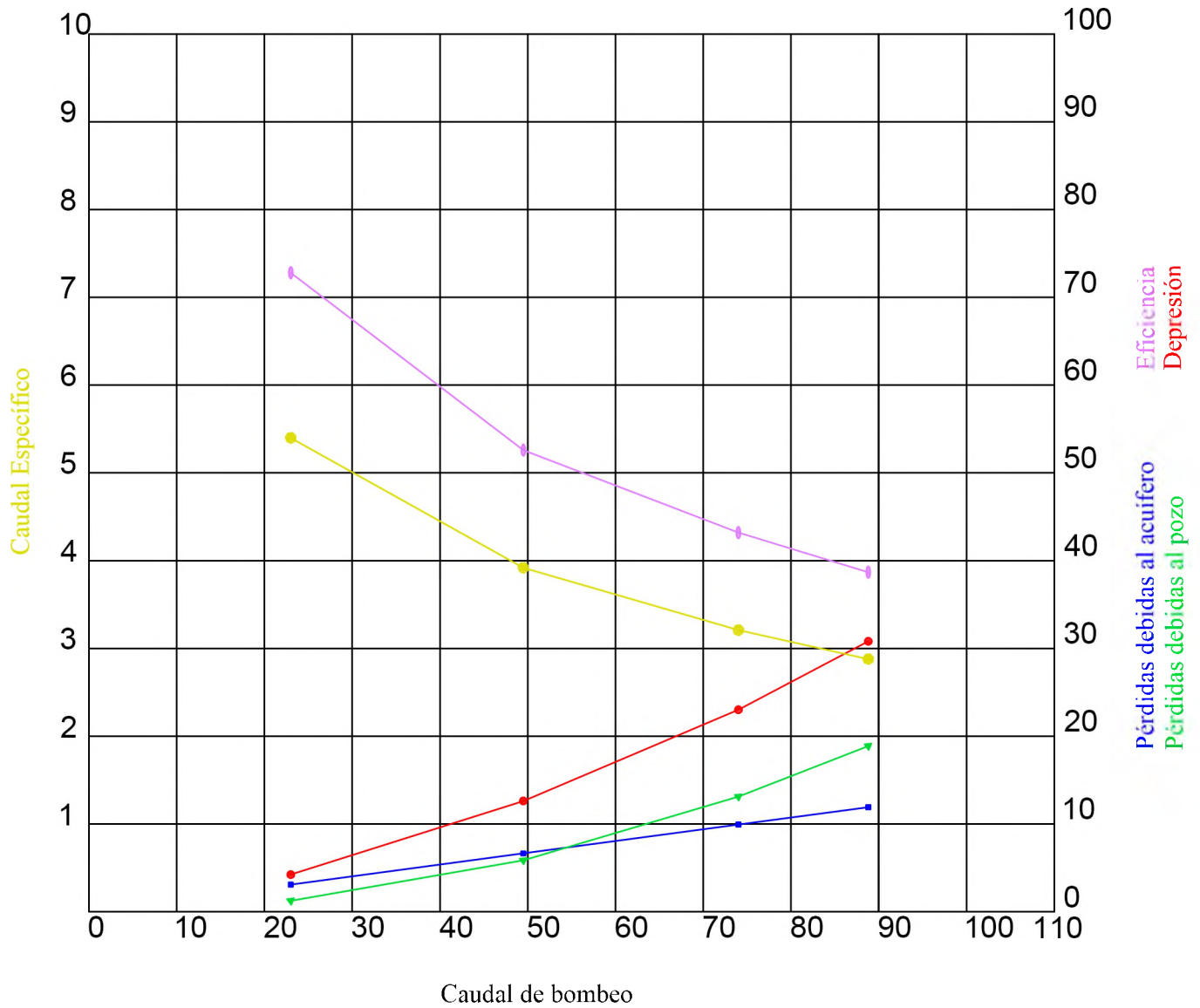
Analizando los datos del ensayo de bombeo, obsérvese que la eficiencia, que es aceptable para caudales bajos, se torna de regular a mala para caudales superiores. La eficiencia promedio del pozo es de alrededor del 53%. Los caudales específicos (3,2 m³/h/m) correspondientes al primer y segundo escalón son bajos comparados con los caudales específicos de otros pozos de la zona. En la Tabla N° 30 puede apreciarse la comparación de estos caudales junto con el nivel estático, el año de la medición, la profundidad final de entubación y la distancia del pozo UNSa.

Como se observa en la tabla, los caudales específicos de los pozos más cercanos son, en su mayoría, notablemente mayores constituyendo las excepciones los pozos AS0366, AS0342 y AS0446. En el caso de los dos primeros, los mismos se encuentran ubicados hacia el oeste lugar donde, según lo visto en las correlaciones, hay una mayor cantidad y espesor de niveles arcillosos y con abundante material fino. A pesar de ello estos dos pozos contaban con caudales específicos similares a los del pozo UNSa en el

Gráfico N° 5: Descensos en función del tiempo para el primer escalón



Curvas características del pozo UNSa



REFERENCIAS

- +— Eficiencia
- Depresión
- Caudal Específico
- ▲— Pérdidas debidas al acuífero
- ▲— Pérdidas debidas al pozo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA

**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL SECTOR
NORTE DE LA CIUDAD DE SALTA EN
RELACION A LA CONSTRUCCION DE UN
NUEVO POZO DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA EN LA UNSa
PROVINCIA DE SALTA - REPUBLICA ARGENTINA**

Curvas Características de pozo

Nicolás Larcher 2006

Pozo	Año de la medición	Profundidad (m)	Nivel Estático (m)	Caudal de bombeo (m ³ /h)	Caudal Especifico (m ³ /h.m)	Distancia del Pozo UNSa.(m)
UNSa	2004	157	63	74	3,2	0
				49,5	3,9	
AS0681	1997	157	37	80	11,4	370
	2000			53,3	53	
AS0523	1991	100	37,5	102	5	562
	2000			48,3	80	
AS0366	1981	132,5	12,8	60	3,6	482
	2000			52	30	
AS0342	1974	100	37	70	7	583
	2000			40,3	34	
AS0756	1999	150	50,2	90	5,5	500
	2000			50	92	
AS0357	1989	120	34	70	5,8	382
	2000			52,6	55	
AS0349	1973	120	23,5	55	11	728
	2000			51,5	49	
AS0446	1986	150	38,5	36	1,4	429
	2000			54,5	35	
AS0258	1977	122	27	108	2,5	1239
	2000			35	63,4	
ASP1313	1970	95	20	30	0,5	454
AS0359	2000	140	44	50	3,8	726
AS0360	2000	146	47	47	2,9	730
AS0535	1991	150	34	70	3,1	1076
	2000			40,3	78	
AS0582	1993	180	37	70	5,3	1122
	2000			44	56	

Tabla N° 30. Comparación de caudales de bombeo y específicos de pozos cercanos al Pozo UNSa

caso del AS0366 y mayores en el AS0342. Además los dos pozos están entre los más antiguos de la zona y cuentan con filtros ubicados a escasa profundidad los cuales quedan expuestos al aire al descender el nivel dinámico. El deterioro ocasionado por el tiempo, sumado al descenso regional de los niveles de agua debido a la gran cantidad de pozos explicarían los bajos caudales específicos actuales de ambos pozos.

En cuanto al pozo AS0446, que explota los mismos niveles acuíferos que los pozos con mayores caudales de la zona, tendría que tener muchos mejores caudales de los que presenta. Al observar los caudales relativamente bajos de los pozos AS0359 y AS0360 ubicados en similar latitud parecería ser que se produce un descenso de los caudales hacia el sur. Este descenso puede estar vinculado a cambios en las características litológicas de los acuíferos (disminución de la permeabilidad) o bien haber sido originados por un mal diseño de los pozos o una mala limpieza y desarrollo de los mismos. Esta última posibilidad parecer tener mayor fuerza en el pozo AS0446 que casi ha duplicado su caudal específico manteniendo prácticamente el mismo caudal de bombeo. El aumento del caudal específico, en este caso, se debería a la lenta eliminación de la bentonita y partículas finas que habrían quedado atrapadas en el acuífero y en las gravas de prefiltro debido a una limpieza y desarrollo deficientes. En cuanto los pozos ASP1313 y AS0258, el primero tiene una profundidad relativamente pequeña y los niveles que atraviesa tienen un alto contenido de arcillas por lo que sus bajos caudales de explicables. El otro presenta caudales específicos bajos que tal vez se deban a las varias capas de arcilla y material fino que se enfrentan a buena parte de sus filtros. Además la depresión es tan pronunciada que deja expuesta la parte superior de su primer filtro. Ambos pozos, al igual que los pozos AS0342 y AS0366, se encuentran ubicados en la parte occidental del área de estudio, lugar donde se habría encontrado la llanura de inundación del paleocauce del río La Caldera y los tramos distales del cono del antiguo río Wierna. Estos ambientes, por su naturaleza, son propicios a la acumulación de sedimentos finos y por lo tanto se explica que coincidan con los caudales específicos más bajos de la zona.

De los restantes pozos es notable el incremento del caudal específico del pozo AS0756 que representa más del doble de su caudal específico original. Además este pozo aporta el mayor caudal de la zona. Los pozos AS0535 y AS0582, ubicados al norte del área de estudio, presentan caudales específicos similares a los del pozo UNSa diferenciándose en que el primero incrementó tanto su caudal de bombeo como su caudal específico mientras que el segundo sufrió una notable disminución de ambos

caudales. Disminuciones similares, además de las detalladas anteriormente, pueden verse en los pozos AS0681 y AS0349, mientras que los pozos AS0357 y AS0523 disminuyeron sus caudales de bombeo pero con un subsiguiente aumento del caudal específico.

Otro dato de importancia es la disminución general de los niveles estáticos que se registra en todos los pozos con excepción del AS0756. Esto puede ser un indicio de la sobreexplotación de los recursos disponibles. El descenso del nivel es más notable justamente en los pozos cercanos al pozo AS0756 que presenta el mayor caudal de bombeo. La amplia diferencia entre ambas mediciones del nivel estático del pozo AS0366 se debe a que en la primera de ellas se considera el nivel del acuífero freático.

Volviendo al pozo UNSa es probable que su bajo caudal específico se deba a una limpieza insuficiente. Téngase en cuenta que la inyección de aire comprimido fue ineficaz y que la bomba usada posteriormente no era lo suficientemente potente como para lograr un sobrebombeo adecuado y que tampoco permitía realizar un contralavado, ya que este método necesita que la bomba se encienda y apague bruscamente para producir “un ascenso y un descenso intermitentes o alternados del nivel de agua que se encuentra dentro del pozo, lo que provoca un flujo y reflujos a través del filtro” (Martín, 2002). Si se tiene en cuenta que el tablero de la bomba sufrió un sobrecalentamiento e inutilización cuando se realizaron ciclos de encendido y apagado de quince minutos, es evidente que un contralavado, que requiere frecuencias menores, no hubiera sido viable. Sin embargo se tuvo en cuenta que la cantidad de agua requerida por la universidad en ese momento podía suplirse fácilmente con una producción de alrededor de 20 m³/h por lo que, mientras no se aumente la necesidad de agua, el nivel de limpieza y desarrollo actual del pozo puede considerarse suficiente. En caso de que en el futuro sea necesario incrementar la producción a niveles que lo justifiquen el riesgo y el gasto implicados, sería recomendable realizar un desarrollo a mayores caudales y mediante una bomba que permita realizar un contralavado.

Análisis Físico Químico del agua:

El 11 de diciembre de 2004 el contratista realizó el muestreo de agua del pozo UNSa, enviando la muestra al Subprograma Laboratorio de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable para su posterior análisis.

Los resultados están resumidos en las tablas 31 y 32.

De acuerdo a estos datos y considerando un contenido de bicarbonatos de 122 mg/L (1,22 x la alcalinidad total) se calcularon las concentraciones equivalentes de los principales iones (ver tabla 33).

Características Físicas:

Parámetro	Expresado como	Limite máximo tolerable(*)	Resultado
Color	u.c.	5	3
pH a 25°C		6,5-8,5	6,73
Turbiedad	U.N.T	3	1
Conductividad	uS/ cm.		264

Tabla N° 31. Resultados del Análisis Físico del Agua del pozo UNSa

Características Químicas:

Parámetro	Expresado como	Limite máx. Tolerable(*)	Resultado
Sólidos totales a 105°C			
Sólidos disueltos a 180°C	mg/L	1500	167
Alcalinidad total	mgCaCO ₃ /L	800	100
Dureza total	meq/L	400	120
Calcio	mgCa/L		31
Magnesio	mg Mg/L		10
Cloruros	mg Cl /L	350	5
Sulfatos	mg SO ₄ /L	400	37
Hierro total	mg Fe/L	0,30	0,30
Manganeso	mg Mn/L	0,10	<0,05
Amoníaco	mg NH ₄ /L	0,20	<0,05
Nitritos	mg NO ₂ /L	0,10	<0,02
Nitratos	mg NO ₃ /L	45	5,9
Boro	mg B/L	1	<0,06
Arsénico	mg As/L	0,05	<0,02
Sodio	mg Na/L	200	15
Potasio	mg K/L		1,4

Tabla N° 32. Resultados del Análisis Químico del agua del pozo UNSa

Aniones	meq/L	% de aniones	Cationes	meq/L	% de Cationes
NO ₃ ⁻	0,19032	6	Ca ⁺⁺	1,55	51
HCO ₃ ⁻	2	64	Na ⁺	0,65217	21
SO ₄ ⁻	0,77085	25	K ⁺	0,03589	1
Cl ⁻	0,14285	5	Mg ⁺⁺	0,83333	27
total	3,104013	100	total	3,071404	100

Tabla N° 33. Concentraciones equivalentes y porcentajes de los principales iones. Pozo UNSa

Con los porcentajes obtenidos se ingresó en el diagrama Piper de Clasificación de aguas donde el agua del pozo UNSa quedó clasificada como Bicarbonatada Cálcica - Magnésica. Esto indicaría que se halla poco avanzada en su evolución geoquímica y que ha realizado un recorrido relativamente corto desde la zona de recarga. También se procedió a calcular el error porcentual obteniéndose como resultado un error del 0,52%, el cual es notablemente bajo.

Además se calculó el índice RAS = 0,5974 con el cual, utilizando el diagrama de Wilcox, se clasificó el agua del pozo UNSa como un agua de salinidad media con bajo contenido en sodio. Esto indica que puede usarse en suelos con un grado moderado de lavado para riego de plantas moderadamente tolerantes a las sales, a la vez que hay pocas posibilidades de alcanzar concentraciones altas de sodio intercambiable.

Ambos diagramas (Piper y Wilcox) pueden consultarse en el Gráfico N° 7.

En cuanto a la potabilidad del agua, según el diagrama de Schoeller, se observa que es potable, estando todos los parámetros, a excepción del hierro, muy por debajo del límite de potabilidad.

Video filmación:

Se llevó a cabo el 12 de diciembre de 2004 y estuvo a cargo de la empresa Mercoaguas a pedido del contratista. Se empleó una cámara sumergible con un espejo reflector de pared de pozo. La misma estaba conectada a un monitor y a un sistema de video grabación a fin de observar y registrar el estado de los filtros y la cañería.

Durante este chequeo se comprobó la profundidad del nivel estático (63 m b.b.p.) y la posición de los tramos de filtros observándose mínimas diferencias entre la profundidad planeada y la definitiva. Las profundidades medidas por este sistema para

Gráfico N° 7: Diagramas de Piper y de Wilcox para clasificación geoquímica de aguas

Clasificación Piper de Aguas

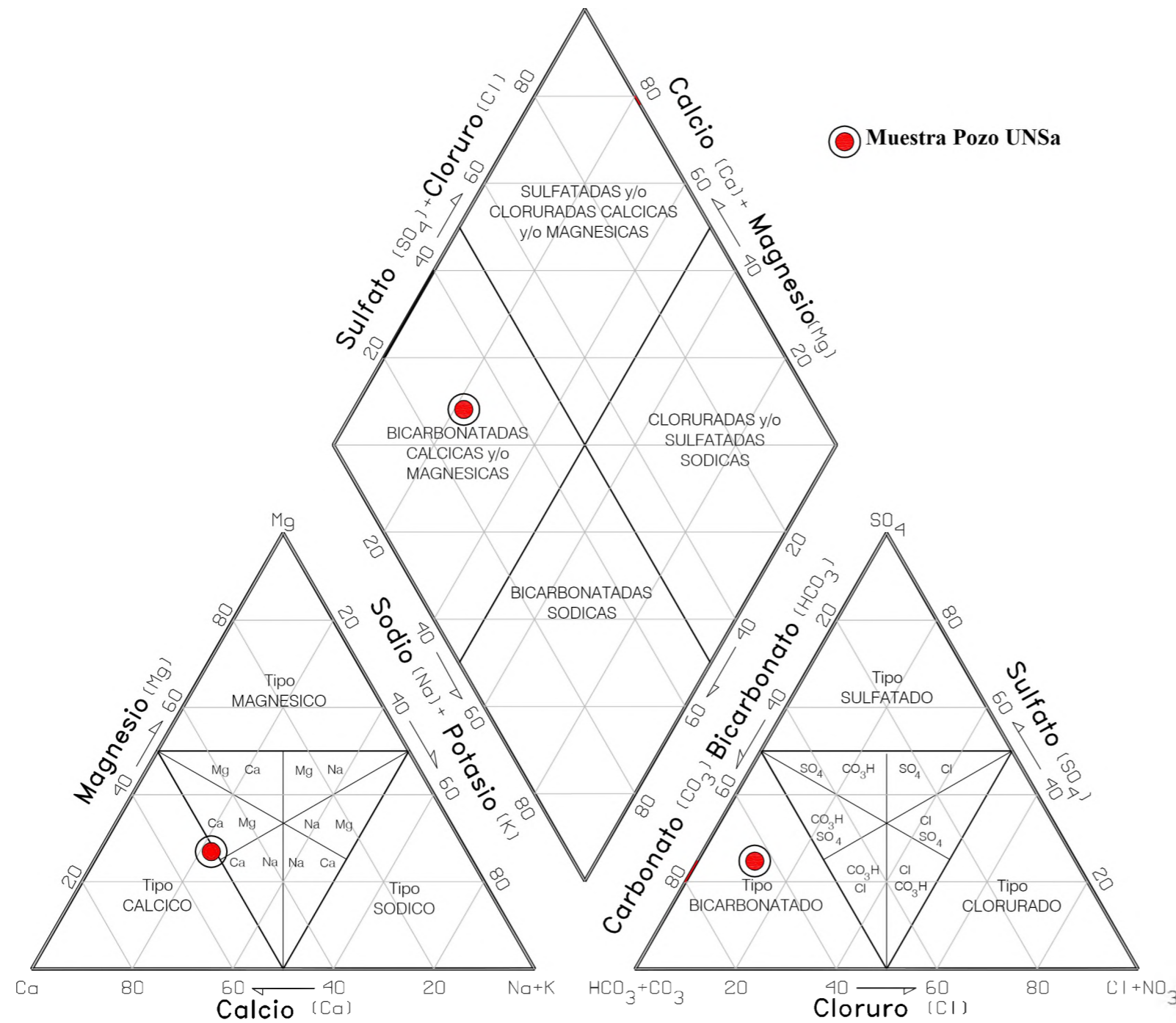
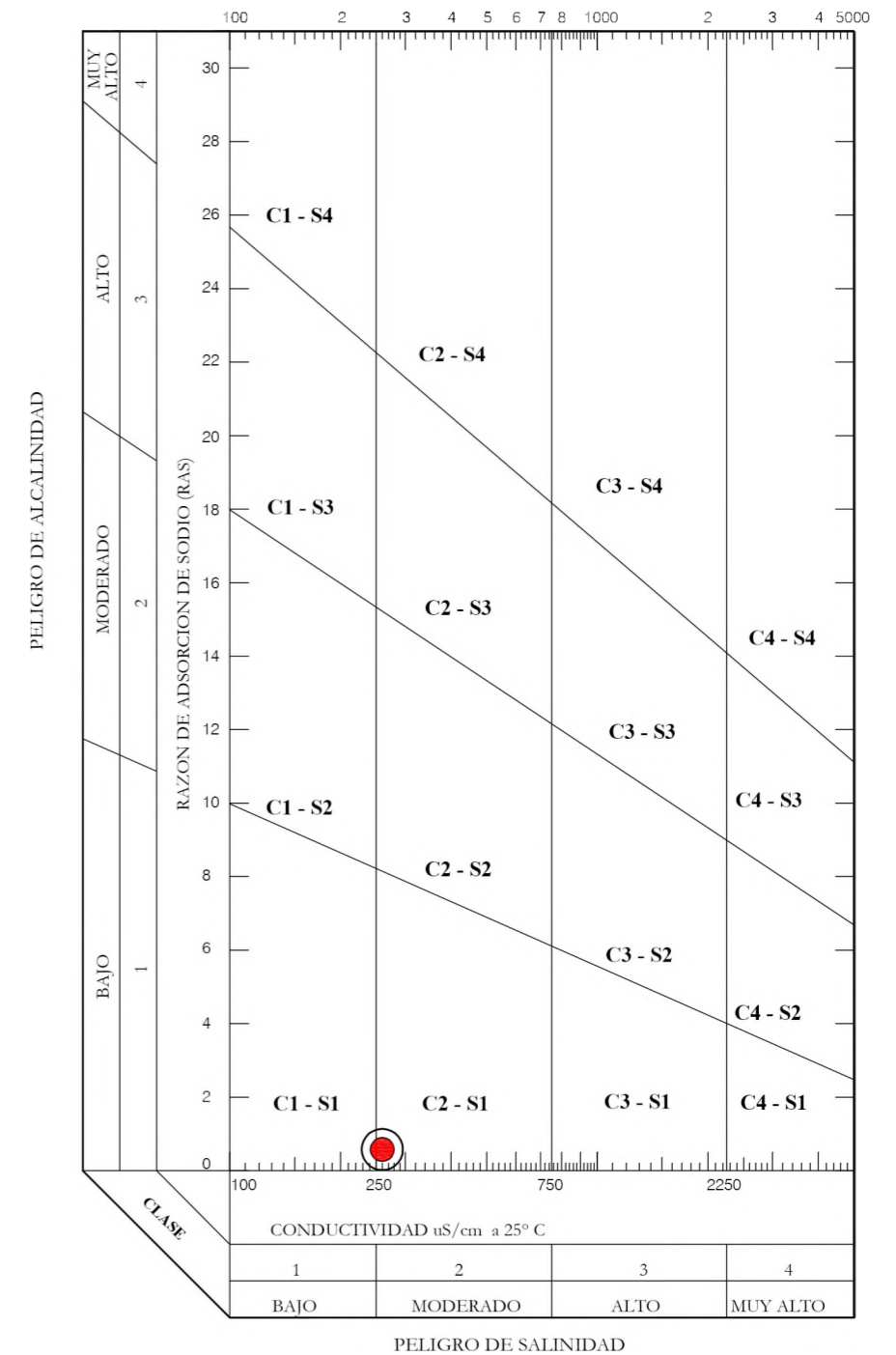


Diagrama Wilcox



CATIONES

%meq/l

ANIONES

cada tramo de filtro son 90,5 a 100,3, 108,58 a 118,47, 128,54 a 133,41, 140,52 a 143,40 y 145,49 a 152 m b.b.p. respectivamente. La reducción se encuentra a 122,63 m b.b.p. y el caño de cola no pudo ser alcanzado debido a la presencia de bentonita que enturbiaba el agua por debajo de los 152 m b.b.p.

En cuanto a los filtros, estos se encontraban limpios y sin vestigios de bentonita. (ver Imagen N° 13). En los metros finales del último filtro el agua estaba turbia debido a la presencia de bentonita en el caño de cola. Por esta razón no se pudo filmar la totalidad del pozo llegando solamente hasta los 152 m b.b.p. donde las condiciones de visibilidad son prácticamente nulas. (Imagen N° 14)

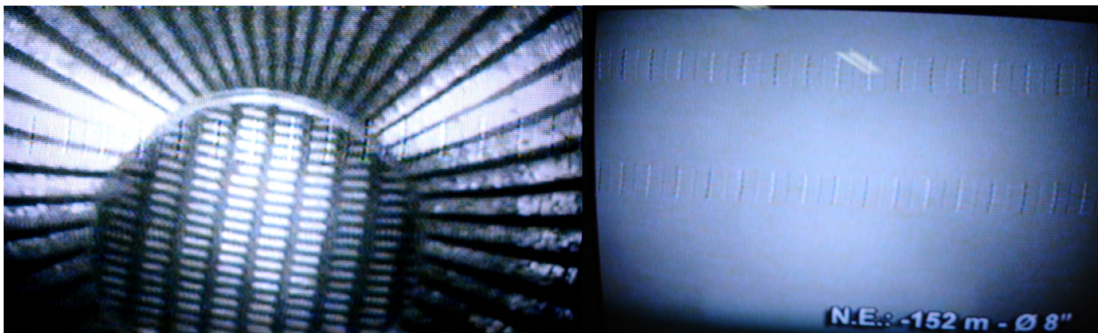


Imagen N° 13. Video filmación del pozo.
Tramos de filtros libres de bentonita

Imagen N° 14. Video filmación del pozo tramo
final del último filtro - caño de cola.

Desinfección y Análisis bacteriológico del agua:

El 16 de enero de 2005 se procedió a la desinfección del pozo UNSa mediante el agregado de 20 litros de hipoclorito de sodio. Al día siguiente y luego de que el desinfectante actuara, el contratista tomó una muestra y la remitió al mismo laboratorio que realizó el análisis físico químico.

En el análisis bacteriológico se detectó un exceso de bacterias mesófilas: 488 UFC/ml, siendo el límite máximo tolerable de 100 UFC/ ml. No se encontraron coliformes fecales, ni *Escherichia coli*, ni *Pseudomonas aeruginosa*. Los coliformes totales están por debajo del límite máximo tolerable según el Código Alimentario Argentino y no se detectó la presencia de cloro residual. Se estima que el exceso de bacterias mesófilas se debe a contaminación posterior al sacado de la muestra, ya que se trata de bacterias aerobias.

Terminación de obra

Una vez que se concluyó con las actividades anteriormente mencionadas se procedió a la instalación de la platea de cemento, la cual se realizó el 15 de diciembre de 2004. Unos días después se realizó la colocación de la bomba definitiva para la explotación del pozo. Esta es una bomba Motorarg modelo BMS 625/10 de 12 etapas. Tiene una potencia de 10 HP que le permiten extraer un caudal de 15 m³/h a través de un tubo de descarga de 3 pulgadas de diámetro desde 120 metros de profundidad. A la profundidad final de emplazamiento (76,8 m) su caudal rondará los 20 m³/h. La longitud total de la bomba es de 118 centímetros y es impulsada por corriente trifásica a través de un tablero de control Guardián 2. Una vez instalada se la sometió a una prueba de 80 horas de bombeo continuo sin que se presentaran inconvenientes.

Debido a diversos contratiempos ocasionados en parte por el clima lluvioso del verano salteño la conclusión de las obras accesorias se demoró hasta el mes de mayo de 2005. El día 5 de ese mes, la Dirección General de Obras y Servicios de la Universidad eleva a la Rectora la noticia de la conclusión de la obra en cuestión.

A fines de julio del 2005 se dio cumplimiento al artículo 51 de la ley provincial 7017, Código de Aguas, dándose publicidad a la solicitud de concesión mediante la publicación por cinco días en el boletín oficial y en el diario de circulación provincial El Tribuno. La concesión fue solicitada según el artículo 69, el cual se refiere al uso del agua para irrigación agrícola:

“Art. 69 Uso agrícola – Requisitos. Las concesiones para uso agrícola tienen carácter real, se conceden sin límite de tiempo mientras se cumpla con lo requerido en este Código y con la siguiente categorización, según la disponibilidad de caudales: Concesiones Permanentes de acuerdo a lo definido en el artículo 46, y Concesiones Eventuales de acuerdo a lo definido en el artículo 47 de este Código.

Se otorgará concesión de uso de agua para irrigación, cuando se reúnan los siguientes requisitos:

- a) Ser propietario del terreno a irrigar, ser adjudicatario de tierras fiscales, al Estado y a las personas físicas que demuestren por información sumaria judicial que por más de veinte años poseen en forma pública, pacífica e ininterrumpida inmuebles rurales.*

- b) Que los predios tengan aptitud para ser cultivados mediante riego, y sean de dimensión igual o superior a la unidad mínima económica definida para la zona de que se trate.*
- c) Que el curso de agua del que se solicita concesión, tenga caudal disponible y aptitud para ser concedida.*
- d) Que los predios o terrenos a irrigar puedan desaguar convenientemente.*
- e) Y todo otro requisito o documentación en base al procedimiento que exija la reglamentación, la que deberá tener en cuenta las distintas realidades y zonificación de la Provincia.”*

En el caso del pozo UNSa la concesión fue pedida con un caudal de 25 m³/h para irrigación y natatorio, de acuerdo al artículo 47 del mencionado Código (Concesión de Ejercicio Eventual) por lo cual el derecho de uso se haya sujeto a que la abundancia de agua cubra los derechos permanentes.

Mediante la misma publicación se informaba sobre la inscripción de la perforación en el Registro de Aguas (Art. 201 del Código de Aguas), y se informaba a toda persona con derecho o interés legítimo de aplicar el artículo 309 del código (oposición a la adjudicación), que contaba con un plazo de 30 días hábiles a partir de la última publicación para hacer válido dicho derecho ante la Dirección General de la Agencia de Recursos Hídricos.

El 6 de octubre de 2005, habiéndose cumplido el plazo antedicho sin que se registrara oposición de terceros y cumplimentado los requisitos técnicos y legales para la procedencia del pedido de concesión de agua subterránea para irrigación, el director de la Agencia de Recursos Hídricos resuelve elevar las actuaciones al Poder Ejecutivo Provincial, aconsejando se dicte el decreto que otorgue la concesión de agua pública subterránea.

CONCLUSIONES

Se realizaron 6 correlaciones de la hidroestratigrafía del área de estudio determinando la existencia de 2 horizontes acuíferos en explotación por los pozos de la zona. Estos horizontes acuíferos se encuentran por debajo de dos niveles arcillosos principales separados entre sí por escasos metros y que podrían actuar como sello protector de los acuíferos semiconfinados ubicados por debajo de ellos. El primero de los niveles arcillosos (superior) está presente en el norte y en el este del área de estudio y tiene un espesor más o menos constante. El segundo (inferior) se localiza en el sur y oeste y tiene un espesor variable que se incrementa hacia el norte. Ambos niveles sólo se encuentran juntos en el extremo noroeste del área de estudio (pozo AS0258) y posiblemente un poco hacia el sur de esa posición. En el resto de la zona se presenta ya sea uno u otro pero no ambos. No se pudo determinar los límites laterales precisos de estos niveles, los lugares en los que se superponen o si hay áreas en los que ambos están ausentes. Hacia el sureste de la zona de estudio la poca confiabilidad de los dos pozos ubicados en ese lugar genera duda acerca de cual nivel arcilloso está presente, aunque teniendo en cuenta el poco espesor probablemente se trate del nivel inferior.

Los 2 horizontes acuíferos se encuentran separados entre sí por un nivel con alto contenido de material fino (arena, limo y arcilla). Este nivel, que se denominó “Nivel con Abundante Material Fino Principal”, parece abarcar toda el área de estudio y es bastante arcilloso pero presenta intercalaciones gravosas que lo hacen difícil de detectar sin la ayuda de un buen perfilaje geofísico. Existen otros niveles o lentes con abundante material fino los cuales son más abundantes en el oeste del área de estudio, mientras que en el este tienden a desaparecer.

En lo estrictamente relacionado al pozo UNSa, se detallaron los motivos y fundamentos de su construcción y también los trámites legales llevados a cabo para el correcto desarrollo de esta actividad.

Se llevó a cabo el control geológico de la perforación exploratoria recabando datos de cronometraje, comportamiento de la máquina, caudales de bombeo, cutting, etc., detectándose diversas problemáticas relacionadas con la técnica de perforación que podrían haber influido negativamente en los datos obtenidos. Las más destacables de ellas son:

Circuito de inyección: La poca profundidad de las piletas de decantación permitía el ingreso de fragmentos de cutting tamaño arena a la pileta de lodo y de allí a

la bomba lodera. El desgaste producido por los fragmentos de cutting en las diversas partes de la bomba alteraban el funcionamiento de la misma disminuyendo su eficiencia. Este problema fue subsanado durante la perforación exploratoria mediante la ampliación y profundización de las piletas de decantación.

Antepozo: Durante los primeros veinte metros de la perforación exploratoria se produjeron graves contratiempos debidos a los constantes derrumbes de bloques desde las paredes del pozo. Este problema podría haberse evitado mediante la construcción de un antepozo excavado a mano y recubierto con concreto que permitiera iniciar la perforación mediante sistema rotary con el portamechas ya incorporado a la sarta de herramientas. Sin embargo esta decisión dependía exclusivamente del contratista quien tenía que optar entre el gasto generado por el antepozo y los gastos imprevistos que se generaron a raíz de los derrumbes (Combustible, bentonita, horas hombre, tiempo, trépanos, extracción y transporte de arcillas de relleno, etc.).

Durante la realización de los perfilajes geofísicos se observó la inconveniencia de usar un equipo automatizado para los perfiles geofísicos cuando en el área hay fuentes de “ruidos” e interferencias que no pueden ser eliminados sin la repetición de las mediciones para cada punto. También se resalta la importancia de un buen control geológico durante la perforación exploratoria. El perfil litológico elaborado durante la etapa de perforación es, en la mayoría de los casos, la única forma de constatar si los perfiles geofísicos han sido realizados correctamente. En el presente caso el perfil litológico, al coincidir en gran parte con los perfiles geofísicos realizados por el INASLA, dio seguridad acerca de la correcta confección de estos últimos y su vez constituyó el principal fundamento de la inspección para rechazar los perfiles presentados por el Contratista.

Se elaboró el perfil integrado del pozo UNSa determinándose las distintas capas de interés y la relación de cada una de ellas con los respectivos niveles hidroestratigráficos determinados en las correlaciones. De los horizontes acuíferos determinados en las correlaciones, el pozo UNSa explota la parte media y la base del horizonte acuífero 1 (90 a 100 y 108 a 118 m b.b.p.) y gran parte del horizonte acuífero 2 (128 a 133, 140 a 143 y 145 a 152 m b.b.p.). En este último nivel se detectaron varios lentes arcillosos de los cuales algunos son correlacionables en el pozo AS0681 mientras que otros, los inferiores, no han sido detectados por ninguno de los pozos de la zona aunque hay que tener en cuenta que sólo algunos de ellos alcanzan esta profundidad. La arcilla principal se encuentra presente entre los 66,5 y los 72 metros de profundidad

aunque se halla dividida en dos finas capas arcillosas atravesadas por un paquete gravoso. De los niveles con abundante material fino están presentes el principal (arcillo gravoso) y dos de los que se intercalan en el horizonte acuífero 1: el primero alrededor de los 80 m b.b.p. (arcilloso) y el segundo entre los 100 y los 108 m b.b.p. (arenoso).

Con la colocación de filtros de 10” en los dos tramos superiores y de 8” en los tres inferiores junto con sus respectivos piezómetros queda abierta la posibilidad de una investigación futura de las diferencias, si las hubiere, entre los dos horizontes acuíferos teniendo en cuenta que el “Nivel con Abundante Material Fino Principal” que los separa tiene una amplia distribución areal y un muy alto contenido de arcilla.

Mediante el ensayo de bombeo y la comparación de los resultados con los obtenidos para otros pozos de la zona, se determina la posibilidad de que las operaciones de limpieza y desarrollo en el pozo UNSa hallan sido insuficientes. A través de la video filmación se comprueba que los filtros se hallan libres de bentonita y probablemente ocurra lo mismo con las gravas de prefiltro, por lo que más que limpieza sería necesario un buen desarrollo del pozo. Sin embargo el actual caudal de explotación hace innecesarios el gasto y el riesgo que conllevarían una mejor operación de desarrollo. También es probable que el alto contenido de clastos prolados y oblados en la grava de prefiltro influya en los bajos caudales medidos en cuyo remedio no hay mucho para hacer.

La calidad física, química y bacteriológica del agua es buena y podrá suplir las necesidades de la Universidad. No se detectaron niveles de alarma de nitratos a pesar de que algunos pozos de la zona lo presentan. Sin embargo es altamente recomendable la protección de los acuíferos ante cualquier contaminación teniendo en cuenta la alta permeabilidad de los niveles superficiales (la cual se vio durante la limpieza y desarrollo cuando 500 m³ se infiltraron en un área bastante pequeña.) y el escaso espesor de los niveles arcillosos que puedan impedir la llegada de contaminantes a los acuíferos.

Finalmente el pozo UNSa será una importante contribución a la economía de la Universidad y la facultad permitiendo un mejor aprovechamiento de los fondos. Además brindara posibilidades didácticas y científicas para diversas carreras permitiendo la realización de distintos experimentos y la medición de datos de nivel, calidad y geoquímica del agua.

BIBLIOGRAFÍA

BALDIS, B. A. J., GORROÑO, A., PLOSKIEWIECKS, J. V. y SARUDIANSKY, R. M. (1976) Geotectónica de la Cordillera Oriental, Sierras Subandinas y comarcas adyacentes. Sexto Congreso Geológico Argentino, Actas I: 3-22. Bahía Blanca. Argentina.

BALDIS, B. A. Y OMARINI, R. (1984) El Grupo Lerma (Precámbrico- Cámbrico) en la comarca central salteña y su posición en el borde pacífico americano. Noveno Congreso Geológico Argentino, Actas I: 64-78, San Carlos de Bariloche. Argentina.

BAUDINO, G. A. (1996). Hidrogeología del Valle de Lerma, Provincia de Salta, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta. Escuela del Doctorado en ciencias Geológicas. Inédito. Salta. Argentina.

BRANDAN, E. M., BAUDINO, G., OCARANZA, A., FERRETI, J. I., BERCHEÑI, V. y BERCHEÑI, G. (1995). Informe Final Proyecto de Sistematización de Información Hidrogeológica de Pozos de Agua y Cartografía Departamento Capital (Salta). Convenio de Cooperación Mutua Facultad de Ciencias Naturales y Dirección General de Obras y Servicios. Inédito. Salta. Argentina.

BUTRÓN, O. A. (1976). Reconocimiento y evaluación de las aguas subterráneas de la ciudad de Salta y zonas vecinas, Departamento Capital, Provincia de Salta. Tesis Profesional. Universidad Nacional de Salta, Departamento de Ciencias Naturales. Inédito. Salta. Argentina.

CABRERA, A. L. (1976). Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Segunda Edición. Tomo II. Fascículo 1 "Regiones Fitogeográficas Argentinas". Editorial ACME. Buenos Aires. Argentina. Citado por Fuertes *et al*, Hoja Hidrogeológica Salta.

CUSTODIO, E. y LLAMAS, M. R. (1996) Hidrología Subterránea. Segunda Edición Ediciones Omega. Barcelona. España.

DIRECCION GENERAL DE OBRAS SANITARIAS DE LA PROVINCIA DE SALTA. (1997) Carpetas Técnicas de Legajos de Pozos

FUERTES, A., GARCÍA, R. F., BAUDINO, G. A., MOYA RUIZ, F. A., ROCHA FASOLA, V., ABRAHAM, C., BUNDSCHUH, J. y DIB ASHUR, P. (1997) Hoja Hidrogeológica Salta. Proyecto de investigación N° 471 Instituto de Agua Subterránea para Latinoamérica. Facultad de Ciencias Naturales. Consejo de Investigación Universidad Nacional de Salta. Inédito. Salta. Argentina

FUERTES, A., ROCHA FASOLA, V. BAUDINO, G. A., GARCÍA, R. F., MOYA RUÍZ, F. A., BASSI, C. R., y MANJARRÉS, C. (2001) Hidrogeología del Sistema Acuífero La Caldera. Proyecto de Investigación N° 673. Instituto de Agua Subterránea para Latinoamérica. Facultad de Ciencias Naturales. Consejo de Investigación Universidad Nacional de Salta. Inédito. Salta. Argentina

- GARCÍA, R. F. y ROCHA FASOLA, V. (2002)** Guía de Trabajos Prácticos. Cátedra de Hidrogeología. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales. Escuela de Geología. Inédito. Salta. Argentina.
- GALLARDO, E. F. (1985).** Estudio del Cuaternario de la Cordillera oriental, Provincias de Salta y Jujuy. Mapa del Valle de Lerma. Informe Final CONICET. Inédito. Salta. Argentina
- GEBHARD, J. GIUDICI, A. y OLIVER, J. (1974)** Geología de la comarca entre el río Juramento y arroyo Las Tortugas, Provincia de Salta. Consejo de Investigación, Universidad Nacional de Salta. Inédito Salta. Argentina
- HARRINGTON, H. J. (1957)** Ordovician formations of Agenitna. En: **HARRINGTON, H. J. y LEANZA, A. F.** Ordovician trilobites of Argentina. Department of Geology, University of Kansas, special publication. I: 1-59. Lawrence. Estados Unidos de América.
- MARTÍN, A., (2002).** Diseño y construcción de pozos para captación de aguas subterráneas. Ediciones del rectorado. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán. Argentina.
- MEDINA, A. J. (1981).** Naturaleza y Presunto Origen de las Lomas de Medeiro. Departamento Capital. Provincia de Salta. Universidad Nacional de Salta, Departamento de Ciencias Naturales. Inédito Salta. Argentina
- MORENO, J. (1970)** Estratigrafía y paleogeografía del Cretácico en la cuenca del noroeste argentino, con especial mención de los subgrupos Balbuena y Santa Bárbara. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 25 (1): 9-44. Buenos Aires. Argentina.
- MOYA, M. C. (1988).** Estratigrafía del Tremadociano del tramo austral de la Cordillera Oriental Argentina. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales. Inédito. Salta. Argentina.
- NADIR, A. y CHAFATINOS, T. (1990).** Carta de Suelos del Noroeste Argentino (Salta y Jujuy). Tomos 1 y 2.
- ROCHA, V. y BAUDINO, G. A. (2002).** Contaminación con nitratos en el norte de la ciudad de Salta Capital, Noroeste argentino. Primeras Jornadas de Comunicaciones Internas. Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ciencias Naturales. Inédito Salta. Argentina.
- RUSSO, A., (1972).** La estratigrafía terciaria del noroeste argentino. Quinto Congreso Geológico Argentino. Resúmenes, Pág. 29 Carlos Paz. Córdoba. Argentina.
- SALFITY, J. A., OMARINI, R., BALDIS, B. Y GUTIERREZ, W., (1976).** Consideraciones sobre la evolución geológica del Precámbrico y Paleozoico del norte argentino. Segundo Congreso Ibero-Americano de Geología Económica, Actas 4:341-361

SECRETARIA DE ENERGIA, (1994). Estadística Hidrológica. Ministerio de Economía, Obras y Servicios Públicos. EVARSA. Buenos Aires. Argentina. Citada por Baudino, 1996

TURNER, J. C. M. (1959) Estratigrafía del Cordón de Escaya y de la Sierra de Rinconada (Jujuy). Revista de la Asociación Geológica Argentina. 15 (1): 15-39. Buenos Aires. Argentina.

TURNER, J. C. M. (1960) Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria y adyacencias. Academia Nacional de Ciencias, Boletín 41 (2): 163-196, Córdoba. Argentina.

TURNER, J. C. M. (1963) The Cambrian of Northern Argentina. Tulsa Geological Society Digest, 31, 193-211, Symp. Petrol. Geol. South America., Tulsa. Estados Unidos.

TURNER, J. C. M. (1972). Cordillera Oriental. En: **LEANZA, A.** (Dirección y Edición) Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, 117-142. Córdoba. Argentina.

TURNER, J. C. M. y MÉNDEZ, V. (1975). Geología del sector oriental de los departamentos de Santa Victoria e Iruya, provincia de Salta, República Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Boletín (1-2): 11-24. Córdoba. Argentina

TURNER, J. C. M. Y MON, R. (1979) Cordillera Oriental. En: **J.C.M. TURNER** (coordinador) Geología Regional Argentina II Simposio, Academia Nacional de Ciencias, I: 57-94. Córdoba. Argentina.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a: mis padres, América y Pedro, por la vida que me brindaron, por el cariño, la crianza y la educación que me dieron, por los sacrificios que hicieron y por la paciencia que me tuvieron. Esta tesis es tan suya como mía.

A mi director de tesis, Alfredo Fuertes, y a mi codirector, Carlos Manjarrés, por, la orientación y los medios que me proporcionaron para la confección de este trabajo.

Al doctor Guillermo Baudino por la experiencia, consejos y colaboración otorgados durante la construcción del pozo UNSa y la elaboración de este escrito.

Al geólogo Victor Bercheni por la camaradería, información y consejos técnicos brindados.

Al perforador Martín Chamar y al ayudante Andrés Hoyos por su colaboración durante la construcción del pozo.

A la Doctora Maria Cristina Moya por su constante disposición y por ser una verdadera maestra de la geología. Al geólogo Roger Soler por los datos aportados y principalmente por su compromiso con la docencia.

Al doctor Rodolfo García por la minuciosidad con que corrigió este trabajo y el interés prestado.

A mis amigos Javier Ceballos, Francisco Lúcia y Marcelo Toconás por la amistad y colaboración brindadas a lo largo de toda mi carrera, por los buenos ratos que pasamos y por el aguante en los malos tiempos.

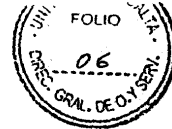
A mis compañeros y amigos P. Cavalleri, S. Damiani, J. de los Hoyos, L. Espinoza, L. Gigena, G. Mitelman, P. Murillo, S. Rodríguez.

A toda persona que de alguna manera haya contribuido a la realización de este trabajo.

ANEXO 1

Pliego de Especificaciones

Técnicas

**OBRA N° 067: POZO EXTRACCION DE AGUA - UNSa**

"Complejo Universitario General Don José de San Martín" de la Universidad Nacional de Salta -
Avda. Bolivia N°5.150 – Salta - Capital.

PLIEGO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ARTICULO 1: OBJETO DE LA DOCUMENTACION: Esta documentación tiene por objeto convenir Contrato de Locación de Obra, para la perforación de un pozo de 150 m de profundidad, diámetro de entubación 10 pulgadas, equipo de Impulsión, casilla para tablero eléctrico, protección sanitaria, red de distribución y trabajos varios, destinado al abastecimiento de agua en el Complejo Universitario "General Don José de San Martín", en Avda. Bolivia N° 5.150, de la ciudad de Salta y a la vez aclara y/o rectifica disposiciones del Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la Universidad Nacional de Salta.

RUBRÖ I PERFORACIÓN POZO**ARTICULO 2: EQUIPOS DE PERFORACIÓN**

El Contratista utilizará, durante la marcha de los trabajos, maquinarias adecuadas y de capacidad perforadora suficiente para alcanzar la profundidad de 400 metros en un diámetro máximo de 19 pulgadas.

El equipo deberá ser de construcción sólida y funcionamiento eficiente para poder realizar con seguridad todas las maniobras inherentes a la perforación y demás trabajos relacionados a la misma.

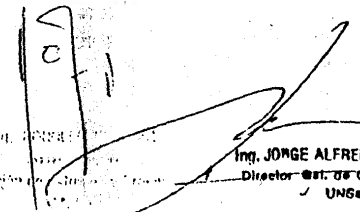
El Contratista deberá disponer de todas las herramientas de maniobras comunes, especiales y de pesca que se requieren para la ejecución correcta de todas las etapas de construcción de los pozos.

El Contratista deberá presentar, conjuntamente con el Presupuesto, una lista completa y detallada de los equipos, herramientas y materiales a usar en la obra, los cuales serán ser revisados por el Contratante, como parte del proceso de selección.

El Contratante se reserva el derecho de rechazar el equipo presentado por la Contratista, en caso de no cumplir con los requisitos técnicos exigidos y que pudieran afectar el normal desarrollo de la obra

ARTICULO 3: ETAPAS DEL TRABAJO: El trabajo contratado constará de las siguientes etapas:

1. Perforación exploratoria.
2. Perforación de explotación.
3. Limpieza y Desarrollo de pozo.
4. Ensayos de bombeo y aforos.
5. Inspección, videofilmación y recepción de la obra
6. Instalación del equipo de bombeo definitivo.
7. Instalaciones de superficie y conducción


Ing. JORGE ALFREDO ROVALOTTI
Director de O. y S. y Servicios
UNSA.



1. Perforación exploratoria

1.1. Objeto: Esta etapa de la obra tendrá por finalidad realizar una perforación de estudio en diámetro reducido, que permita identificar los estratos mediante la obtención de muestras litológicas y la realización de perfilajes geofísicos, así como determinar la granulometría de los probables acuíferos. Sobre la base de esta información se realizará el diseño definitivo de la perforación de explotación, que comprende el diámetro/s y longitudes de cañerías, diámetro/s, abertura/s y longitudes de filtros, granulometría y disposición de prefiltro, etc.

1.2. Ubicación del pozo: La ubicación de la perforación y su localización dentro del predio elegido estará a cargo de la Inspección.

1.3. Profundidad del pozo: La perforación exploratoria se realizará hasta una profundidad de aproximadamente 150 metros +/- 20%.

1.4. Diámetro del pozo: del diámetro será de 8" y debe permitir a la Dirección Técnica:

- a.- Identificar los estratos mediante el estudio de las muestras correspondientes.
- b.- Realizar un perfil de cronometraje
- c.- Determinar la granulometría de los principales acuíferos.
- d.- Realizar los perfilajes eléctricos (SP, Resistividad Normal Corta, Larga y Rayos Gamma)
- e.- Programar los entubamientos definitivos en el pozo de explotación.

1.5. Toma de muestras: El Contratista realizará un muestreo sistemático de cada metro de avance y en cada cambio litológico que se produzca, de acuerdo a instrucciones impartidas por la Inspección. La Inspección podrá ordenar la suspensión momentánea del avance, continuando la circulación de inyección para la limpieza del pozo, con el fin de efectuar una toma de muestras representativa. Las muestras se secarán por aireación natural o en su defecto con estufa (a no más de 105° C). Posteriormente se colocarán en bandejas seriadas y clasificadas, indicando la profundidad en metros y centímetros y su correspondiente tiempo de avance. Una vez que la Inspección haya verificado y aprobado las mismas, se envolverán en bolsas de aproximadamente 500 gr y se rotularán convenientemente, consignando la identificación del pozo, fecha, espesor del estrato y toda otra información que resulte de interés. Terminada la perforación las muestras serán entregadas a la Inspección en cajas debidamente rotuladas.

1.6. Cronometraje: El perforista deberá llevar un control del tiempo neto utilizado para cada metro de avance de la perforación, con control ajustado de caudal de bomba y tiempos de retorno, con el propósito de confeccionar un diagrama de profundidad vs. tiempo.

1.7. Perfilaje geofísico: Estará a cargo del Contratista y deberá incluir Perfil de Resistividad Normal Corta y Larga, Potencial Espontáneo y Rayos Gamma.

1.8. Condiciones hidrogeológicas negativas: En caso de que al realizar la perforación de estudio, las condiciones hidrogeológicas no sean las adecuadas para el entubamiento del pozo, se pagará únicamente los siguientes ítems: transporte, instalación de campamento, perforación exploratoria y perfilaje geofísico.



2. Perforación de explotación: La Inspección determinará:

2.1. Profundidad final del pozo: En función de la valoración de la información obtenida en el pozo exploratorio.

2.2. Diámetro final de la perforación: Será de manera tal que sea lo suficientemente amplio (con un máximo de 19 pulgadas), para alojar la cañería de entubación definitiva y realizar las maniobras de colocación de prefiltro y cementación con total comodidad y eficiencia. El diámetro de la perforación deberá ser tal que el espacio anular entre la pared de la perforación y la parte exterior del caño camisa en ningún punto sea inferior a 3 pulgadas.

2.3. Cañería de Entubación: En base al perfil litológico y de cronometraje, de los ensayos granulométricos de las muestras obtenidas en la perforación exploratoria y de la interpretación de los perfiles geofísicos, se determinará la profundidad final y cual o cuales acuíferos se dejarán en explotación. La cañería de entubación se instalará mediante soldadura eléctrica y deberá tener ambos extremos torneados y estar provista de aros para soldar. La soldadura deberá ser totalmente homogénea para que no existan puntos débiles que hagan que la cañería pierda hermeticidad. El diámetro de entubación será de 10 pulgadas, hasta una profundidad estimada de 125 m bajo boca de pozo. Por debajo de esta profundidad, la Inspección podrá autorizar la entubación en un diámetro menor (8 pulgadas).

2.4. Longitud, diámetro y abertura de los filtros: La longitud de los filtros de acero inoxidable será establecida en relación al espesor de los acuíferos, determinado por el muestreo y el perfilaje geofísico. El diámetro de los filtros se seleccionará de manera de prever un área suficiente de entrada para que la velocidad de acceso de agua al pozo no exceda los 3 centímetros/segundo, evitando de esta manera pérdidas de carga por fricción, depositación de incrustaciones y ataque por corrosión. El tamaño de abertura de los filtros se determinará en base a la curva granulométrica de cada capa acuífera en particular, mediante metodologías apropiadas (Johnson, Nold, etc.).

2.5. Cálculo de granulometría del prefiltro y emplazamiento: La selección del material componente del prefiltro se realizará en base a la granulometría de los estratos en general y de cada uno en particular. Alojada la cañería de entubación del pozo se introducirá inmediatamente el material filtrante, proporcionando de esta manera una envoltura de material altamente permeable alrededor del filtro, el cual quedará alojado en el espacio anular expresamente previsto para este propósito. La colocación del material seleccionado, será de tal forma que asegure su presencia frente a los filtros, evitando la formación de espacios vacíos. Se fija como límites de seguridad 1,50 m a 2,00 m por debajo y por encima de cada tramo de filtro. Se controlará el volumen del material seleccionado introducido al pozo. El prefiltro tendrá un espesor mínimo de 3 pulgadas entre la pared exterior del filtro y la pared de la formación.

2.6. Cementación: El Contratista realizará la aislación por cementación de los acuíferos superiores, desde la superficie hasta los 40 metros de profundidad. La operación se cumplirá empleando una lechada de cemento en la proporción de (30) treinta litros de agua por cada (50) cincuenta kilos de cemento, pudiéndose agregar bentonita en una proporción de 3% a 5% del peso de cemento, la que será alojada en el espacio anular por el sistema de inyección a presión, bombeándose desde la superficie. Se instalará cañería de cementación en el espacio anular entre la pared de la formación y la pared del caño camisa y por la misma se hará descender la lechada de cemento, retirando la



cañería de cementación una vez terminada la operación. El trabajo de cementación será de manera continua, partiendo desde el fondo del espacio a ser cementado. Se considerará como tiempo suficiente de fraguado 48 hs. y si es necesario se autorizará el uso de acelerantes de fragüe.

2.7. Piezómetros: El pozo de explotación estará provisto de uno o dos piezómetros instalados en el espacio anular entre la cañería de entubación y la pared de la perforación, con el fin de poder controlar los niveles piezométricos mediante una sonda de medición. Los piezómetros estarán constituidos por una cañería de PVC de 1 pulgada de diámetro, ranurado en los intervalos acuíferos y se fijará a la cañería de entubación mediante grampas soldadas a la misma a tal efecto.

2.8. Diseño final del pozo: El programa de entubación y diseño definitivo del pozo se realizará en base a las Normas del Servicio Nacional de Agua Potable y se elevará por escrito a la Inspección para su aprobación y autorización en un plazo no mayor de 24 (veinticuatro) horas de realizado el perfilaje geofísico, firmado por el profesional Geólogo del Contratista.

2.9. Prueba de verticalidad: La verticalidad del pozo se considerará satisfactoria cuando a todo lo largo de la cañería de entubación hasta el fondo del pozo, no se aprecie en su eje una desviación superior a los 0,004 metros por cada metro de profundidad.

En caso de deficiencias en la verticalidad, que superen la desviación mencionada, la Inspección podrá rechazar la obra, reconociendo al Contratista únicamente los trabajos relativos a los siguientes ítems: transporte, instalación de campamento, perforación exploratoria y perfilaje geofísico.

3. Limpieza y desarrollo del pozo

La limpieza involucra la extracción del fluido de perforación utilizado en la perforación (bentonita), después de la colocación de la cañería y filtros (entubación). El lodo remanente dentro del encamisado y en la pared de la formación acuífera, deberá ser desalojado por métodos adecuados para permitir el flujo del agua hacia la obra de captación.

Para la limpieza del pozo se aplicará hidrolavado (jet). Posteriormente agregarán químicos adecuados, que se dejarán actuar durante 24 horas como mínimo. El agua necesaria para esta operación deberá ser provista por el Contratista, que se hará responsable de la evacuación y depositación final del agua producto de la limpieza del pozo.

Por desarrollo del pozo debe entenderse la estabilización de la parte del pozo adyacente a la formación mediante un proceso que remueva los materiales finos y produzca una zona de mayor permeabilidad alrededor del prefiltro.

El desarrollo se realizará con mediante electrobomba sumergible sin válvula de retención, frente a cada uno de los filtros, de acuerdo a las indicaciones de la Inspección.

El desarrollo se considerará satisfactorio cuando al máximo caudal de bombeo factible, el agua extraída sea cristalina y sin arrastre de ninguna naturaleza a los (5) cinco minutos



de haberse puesto en marcha el equipo de bombeo y el cálculo de eficiencia del pozo sea superior al 80%.

En caso de que exista arrastre de material, el contratista por su cuenta deberá hacer los arreglos que estime conveniente a fin de subsanar el inconveniente mencionado, no reconociendo el Contratista ampliaciones del plazo y costo contractual durante el lapso que demoren dichas tareas. Si el contratista no pudiera subsanar este inconveniente y persistiera el arrastre de arena o material de la perforación, el Contratista rechazará el pozo y quedará eximido de todo pago.

El oferente será responsable de la conducción del agua proveniente del desarrollo del pozo hasta evacuación final, a un curso de escurrimiento natural, de manera de no modificar las condiciones locales de los terrenos circundantes.

4. Ensayos de bombeo y aforos

El Contratista deberá proveer de un equipo de bombeo con capacidad de hasta 200 m³/h, con fuente de energía autónoma.

Se realizarán los ensayos y pruebas definitivas de los acuíferos dejados en explotación con el objeto de verificar el caudal máximo, caudal recomendado, nivel piezométrico estático, niveles dinámicos y recuperación.

Las mediciones de niveles estáticos y dinámicos se realizarán mediante sonda piezométrica en el/los piezómetros laterales y en el mismo pozo de explotación.

El equipo de bombeo provisto por el Contratista deberá permitir:

- a) Bombeo a caudal máximo, que con el fin de evaluar el rendimiento del pozo conforme a los resultados
- b) Mantener constante el caudal durante el ensayo de bombeo
- c) Realizar variaciones de caudal para ensayos de caudal variable.

El Contratista realizará los siguientes ensayos, en presencia y de acuerdo a las indicaciones técnicas de la Inspección

4.1. Ensayo a caudal variable escalonado: con medición de niveles estáticos y dinámicos del pozo de explotación con un mínimo de tres caudales diferentes y una duración de 72 horas como máximo.

4.2. Ensayo de caudal constante: el ensayo tendrá una duración de 48 (cuarenta y ocho) horas continuas de bombeo al régimen máximo establecido.

El tiempo comenzará a computarse a partir del momento en que el pozo sea puesto en funcionamiento al régimen máximo de bombeo. En caso de interrupciones, se deberá dejar constancia en el diagrama de caudales. Si el tiempo empleado e interrumpido fue menor de 24 horas, se realizará un nuevo ensayo a costa del Contratista.

El oferente será responsable de la conducción del agua proveniente del ensayo del pozo hasta evacuación final, a un curso de escurrimiento natural de manera de no modificar las condiciones locales de los terrenos circundantes.

5. Inspección, videofilmación y recepción de la obra: Los ensayos a realizar en el momento previo a la recepción provisoria serán:



5.1. Ensayos de turbiedad: El agua producida en el primer minuto de bombeo con caudal óptimo de explotación no deberá exceder las 10 UNT.

5.2. Profundidad de la perforación: La profundidad final debe coincidir con la del diseño y construcción.

5.3. Videofilmación: La videofilmación del pozo deberá mostrar que todos los filtros se encuentren en perfectas condiciones constructivas, a la profundidad definida en el diseño y limpios de bentonita u otro producto utilizado para la estabilización de paredes de la perforación.

En caso de que no se constanten las condiciones antedichas, el Contratista deberá subsanar por su cuenta las deficiencias detectadas, no reconociendo el Contratante ampliaciones del plazo y costo contractual durante el lapso que demoren dichas tareas. Si el contratista no pudiera subsanar este inconveniente y persistiera, turbiedad en el agua, obstrucción de los filtros u otro inconveniente, el Contratista rechazará el pozo de explotación y quedará eximido de todo pago en este ítem.

6. Instalación del equipo de bombeo definitivo, desinfección y limpieza del predio.

6.1. Instalación del equipo de bombeo: Sobre la base de los resultados del ensayo de bombeo, la Inspección decidirá, dentro del rango del equipo cotizado, el tipo y potencia del equipo de bombeo y la profundidad de instalación. La bomba y el tablero deberán ser instaladas por el Contratista y quedar en funcionamiento sin interrupciones durante 72 horas.

6.2. Desinfección: Cuando finalice la construcción, debe procederse a la desinfección del pozo en sí, así como cada una de las partes componentes del sistema, para evitar la contaminación del acuífero, producido por el manipuleo de herramientas, presencia de grasa, aceites o suciedad de las cañerías utilizadas en el revestimiento. Para esta tarea se utilizará hipoclorito de sodio diluido, que se dejará reposar durante 24 horas.

6.3. Limpieza del predio: Una vez finalizada la obra, la empresa contratista deberá realizar la limpieza y relleno de todo el predio adyacente a la perforación (zanjas, decantadores), como así también todo aquello que se haya deteriorado durante la ejecución de la obra, debiendo quedar la misma nivelada y en condiciones de parquización futura.

7. Instalaciones de superficie: El pozo estará dotado de una tapa que permita la instalación de la electrobomba sumergible y introducción de una sonda de medición de nivel piezométrico. Contará además con un alambrado perimetral con portón de acceso y una platea de hormigón de 10 m², de 0,15 m de espesor, armado con doble malla cima abertura 0,15 x 0,15 m. La red de conducción se realizarán de acuerdo a detalle adjunto y formará parte de la obra licitada.