CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

CFI

INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA

INA

Centro Regional Litoral

CRL

“COMPORTAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE SANTA FE. PRODUCCIÓN GANADERA”.

Provincia de Santa Fe, 8/12/2011

Informe Final

INDICE

1.- INTRODUCCIÓN …… 6
2.- OBJETIVO …… 6
3.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA …… 6
4.- RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN …… 8
5.- ANÁLISIS DE ESTUDIOS GEOMORFOLÓGICOS …… 11
5.1 Descripción de las unidades Geomorfológicas …… 11
5.1.1 Sistema eólico …… 12
5.1.2 Sistema del Salado …… 12
5.1.3 Sistema del Bermejo …… 18
5.1.4 Sistema del Paraná …… 20
5.2 Generalidades sobre cuenca propia de los Bajos Submeridionales …… 22
5.3 Análisis sobre los estudios geomorfológicos …… 22
5.4 Geología …… 23
5.4.1 Estratigrafía según Iriondo, 2011 …… 23
5.4.2 Litología …… 30
5.4.3 Análisis sobre estudios geológicos antecedentes …… 32
6- ANÁLISIS SEGÚN TIPOS DE SUELOS …… 32
7- UBICACIÓN EN EL GIS DE REPRESAS A PARTIR DE INFORMACIÓN DE LOS COMITÉ DE CUENCAS …… 41
8- IMPLEMENTACIÓN DEL GIS CON INFORMACIÓN DE SEV REALIZADOS EN LA ZONA, PERFORACIONES E INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN GENERAL …… 42
9-ZONIFICACIÓN A PARTIR DE INFORMACIÓN GEOMORFOLÓGICA, GEOELÉCTRICA TIPOS DE SUELO …… 43
9.1 Antecedentes sobre aguas subterráneas …… 43
9.2 Regiones hidrogeológicas …… 44
9.3 Zonificación propuesta tomando como base antecedentes hidrogeológicos y geomorfológicos …… 48
9.3.1Según los horizontes acuíferos …… 48
9.3.2 Zonificación del Primer nivel acuífero …… 49
10- TOMA DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS …… 54
11- ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROQUÍMICA- CLASIFICACIÓN DE AGUAS …… 55

12- ANÁLISIS ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN HIDROQUÍMICA A TRAVÉS DEL GIS……67
13-MEDICIÓN DE NIVELES ESTÁTICOS Y CONDUCTIVIDADES……67
13.1 Planilla "CENSO DE PUNTOS DE AGUA"……67
13.2 Planos de niveles y conductividades 2011……70
14- SEV EN ZONAS DE OBRAS DE RECARGA COMO BASE PARA EL PLANTEO DE LAS OBRAS……71
15- ENSAYOS DE INFILTRACIÓN EN LAS ÁREAS DE ESTUDIOS……85
16 -PERFORACIONES DE ESTUDIO……96
17 – EVAPORACIÓN GUANAGAN……103
18. PROPUESTA DE DISEÑO Y MONITOREO DE RECARGA DE ACUIFEROS EN 4 ZONAS DE LOS BAJOS SUBMERIDIONALES……108
18.1 Introducción.-objetivos y alcances……108
18.2 Antecedentes de Obras de Recarga en la Región y su entorno……109
18.3 Componentes y desempeño de las obras de recarga existentes……109
18.3.1 Origen, Dispositivos de Captación de aguas superficiales y calidad de agua colectada……109
18.3.2 Dispositivos de almacenamiento……110
18.3.3 Dispositivos de dispersión-algunos aspectos de su operación……110
18.3.4 Sistemas de captación……111
18.4 Propuesta de Diseño Obras ……111
18.4.1 Recarga a Partir de Cosecha de Agua- Paleocauce……111
18.4.1.1 Objetivos de la Planta Piloto Zanuttini……112
18.4.1.2 Componentes del Proyecto……112
18.4.1.3 Funcionamiento-Monitoreo Planta Piloto……113
18.5.1 Recarga en Bajo natural – Paleocauce. ……115
18.5.1.1 Objetivos de La Planta Piloto Lahitte ……115
18.5.1.2 Componentes del Proyecto ……116
18.5.1.3 Funcionamiento - Monitoreo Planta Piloto……117
18.6.1 Recarga en sedimentos finos superficiales y en acuíferos de arena profundos en ambientes salinos.(Establecimiento Centis)……118
18.6.1.1 Objetivos de La Planta de Piloto Centis……119
18.6.1.2 Componentes del Proyecto ……119
18.6.1.3 Funcionamiento – Monitoreo Plantas Piloto (I) y (II)……122

18.7.1 Estudio de salinización de jagüel y su remediación por recarga. ……123
18.7.1.1 Objetivos de la Planta Piloto……...123
18.7.1.2 Componentes del Proyecto Anexo 2, Plano 11……124
18.7.1.3 Funcionamiento-Monitoreo Planta Piloto……124
19 Archivos .shp provenientes del GIS ……..…125

Anexo 1- Litología
Anexo 2- Planos
Anexo 3- Protocolos Químicos
Anexo 4- Evaporación
Anexo 5- Planillas con información hidrogeológica

Participantes INA

- **Ing. Dora Cecilia Sosa**
- **Ing. Hector Picatto**
- **Tec. Miguel Genesio**
- **Tec. Miguel Pratto**
- **Sr. Enzo Vergini**
- **Sr. Pedro Mergiola (contribuyó con el apartado de Suelos y análisis de las muestras de suelo)**
- **Ing. Graciela Bernal (contribuyo en el apartado sobre clasificación química de las aguas)**

Participantes MASPyMA

- **Lic. Miguel Fertonani**
- **Lic. Norberto Cammissi**
- **Ing. Juan Morin**
- **Ing. Estela Kruse**
- **Tec. Hugo Vicino**
- **Cart. Melina Perez**

1.- INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realizó conjuntamente entre los equipos de trabajo del INA CRL y el MASPyMA como contribución a producción ganadera del noroeste santafesino.

Dado que el recurso subterráneo es el único disponible cuando no hay más disponibilidad de agua en superficie, situación que ocurre en períodos de sequía.

Este Proyecto tiene como finalidad realizar una caracterización del recurso subterráneo en una región de extremos hídricos que coincide con el área menos desarrollada de la provincia.

Además este estudio pretende ubicar sitios y realizar una propuesta de Plantas Piloto para aplicar recarga artificial de acuíferos a través del aprovechamiento del agua de lluvia.

2.- OBJETIVO

Contribuir al conocimiento de las aguas subterráneas en el sector de bajos submeridionales santafesinos para el aprovechamiento en la producción ganadera y proponer obras de recarga artificial de acuíferos para contribuir con la mejora del recurso hídrico subterráneo.

3.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La zona de estudio pertenece a los Bajos Submeridionales, comprendida dentro de la Provincia de Santa Fe. En este trabajo se considera la zona comprendida al norte con el límite político con la Provincia del Chaco, a oeste con la provincia de Santiago del Estero, el Sur el límite con el río Salado, al este con el arroyo Golondrinas.

Según Giraut, se reconoce con la denominación de "Bajos Submeridionales" a un extenso sistema hidrológico de características no típicas que ocupa la parte norte de la provincia de Santa Fe (27.889,37km^2), el sur de la provincia del Chaco (12846,61km^2) y el sudeste de la provincia de Santiago del Estero (13542,12 km^2). Lo que da un total de 54278,31 km^2 (Giraut, et al 2002) y se la nombra como cuenca propia de Bajos Submeridionales: Cuenca Nº22. en la Figura 1a y 1b se aprecian los límites de ambas zonas. Como se aprecia no hay una correspondencia total entre la Cuenca 22 (SSRH 2002) y el área de trabajo ver Figura 1b, pero el área de trabajo se encuentra casi totalmente comprendida dentro de esta exceptuando en sector noreste.

Figura 1a Cuenca 22- (SSRH 2002)

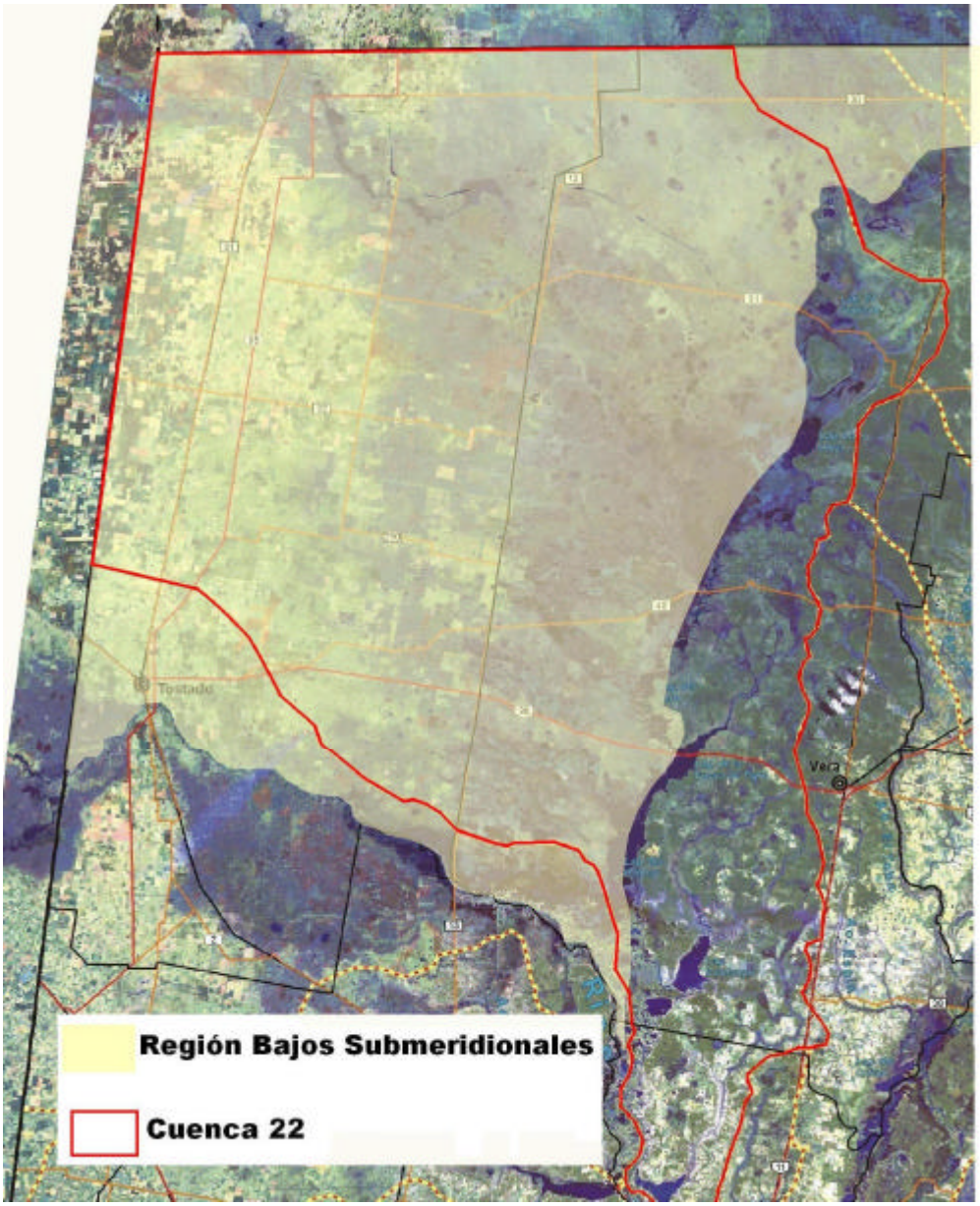


Figura 1b Región Bajos Submeridionales y Cuenca Nº22 (SSRH-2002)

4.- RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

Se analizó y trabajo con los siguientes antecedentes:

Documentos aportados por la Provincia de Santa Fe:

- 2010 Ensayos de infiltración en la base del canal paralelo a la ruta provincial Nº91S entre Tostado y Villa Minetti (Vicino H.)
- 2008 CFI Informe Final - Región Bajos Submeridionales, Estaciones de Monitoreo. (Vicino H. Vinzón E., Perez M.)
- 2006 CFI Informe del Estado Actual- Región Bajos Submeridionales, Estaciones de Monitoreo.
- 2000 CFI Red Piezométrica Villa Minetti
- Archivos GIS – Sistema de Información Geográfico.
- Archivo extensión Excel con información Puntos de Agua y Coordenadas de SEV (Sondeo Eléctricos Vertical) realizados por MASPyMA.
- Plano Autocad Fortín Chilcas
- Plano Autocad Curvas de nivel San Bernardo.
- Planillas de Evaporación diaria de la estación Guanagan.

Otros antecedentes considerados:

2011 Iriondo M. Aguas subterráneas y Superficiales de la Provincia de Santa Fe- Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino ISBN 978-987-24637-2-4.

2011 INTA Mapa de Suelos y Capacidad Productiva. Obtenido de Internet de la página: geointa.inta.gov.ar/node/28. escala 1:500.000

2007 FVSA Experiencia Piloto de manejo del agua y recursos asociados. Propuesta técnica del Proyecto Acciones para la conservación y el desarrollo sostenible del humedal de Bajos Submeridionales.

2004 Auge M. Regiones Hidrogeológicas de la República Argentina y Provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe. Archivo de Internet con extensión pdf.

2001 INA. Giraut M.; Laboranti C.; Rey C.; Fioriti M.; Ludueña S. Cuenca Propia de los Bajos Submeridionales, creación de una unidad hídrica independiente. Subsecretaría de Recursos hídricos Ministerio de Infraestructura y Vivienda de la Nación.

2000 INA CRL – MAH- Provincia de Santa Fe- Recopilación de información Hidrogeológica.

1989 Bojanich, E; Risiga A. Aguas subterráneas de la Provincia de Santa Fe- Estudios de Geografía de la provincia de Santa Fe GAEA. Ser. Esp.# 9: 71-101 Buenos Aires.

1981 INCyTH (Iriondo M. Manavella C.) Informe inédito sobre Geomorfología dentro del estudio Caracterización Hidrológica del Río Salado. Biblioteca CRL- INA.

1987 INCYTH- CRL Vol 1 y 2 “Caracterización hidrológica del Río Salado”.

1975 Morelo J.; Sancholuz; Sulzberger; Alfonso; Medina. Síntesis del estudio ecológico regional

1970 Manzi, R; Gallardo M. Geografía de Santa Fe. 2 tomos Biblioteca Provincias Argentinas- Editorial Spadoni SA Mendoza.

1939 Gollán J.; Lachaga D. Aguas de la Provincia de Santa Fe, Publicación Técnica Nº12 - Ministerio de Instrucción Pública y Fomento – Instituto Experimental de Investigación y Fomento Agrícola Ganadero- Departamento de Química Agrícola y Edafología.

En suelos se consultó la siguiente bibliografía:

2006 Departamento de Agricultura de los Estados Unidos - Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Natural Resources Conservation Service, Claves para la Taxonomía de Suelos, 10ª. Edición.

2003 Porta, J., López-Acevedo M., Roquero C.: Edafología para la agricultura y el medio ambiente, Ed. Mundi-Prensa, Barcelona, 3ª. Edición.

2000 Conti, Marta: Principios de Edafología, Ed. Facultad Agronomía, Buenos Aires, 2ª Edición.

En Recarga Artificial de Acuífero se trabajó con la siguiente documentación:

1984 INCYTH Informe Tecnico 015/84 -¨ Obras De Recarga De La Region Litoral"
1983 INCYTH SECYT- factibilidad técnica económica del almacenamiento de agua dulce en acuiferos salinos profundos.
1982 INCYTH Informe Tecnico /82 -¨ Subproyecto 3.3-" Informes De Comisión".
1982 INCYTH Informe Tecnico 01/82 -¨ Modulo de Recarga"
1981 INCYTH Informe Tecnico 01/81 -¨ Planta Piloto Bajos Submeridionales"
1980 INCYTH: Subproyecto BID 3.3. Estudios de la eficiencia de los sistemas de recarga artificial de acuíferos.
1974 INCYTH: Proyecto Recarga De Acuiferos Y Estudios De Niveles Freaticos

5.- ANÁLISIS DE ESTUDIOS GEOMORFOLÓGICOS Y GEOLÓGICOS

5.1 Descripción de las unidades Geomorfológicas

Esta descripción se basa en antecedentes obtenidos de Iriondo (2011).

El Chaco Santafesino se encuentra dentro del Chaco Austral, es una llanura extremadamente horizontal, con pendientes inferiores al 1 % en casi toda su extensión. Particularmente su parte central, llamada "Bajos Submeridionales" en la geografía provincial, abarca el oeste del departamento Vera y el este del departamento 9 de Julio. Es un área con una suave pendiente hacia el sureste, que retiene el agua de inundación durante semanas y hasta meses.

El oeste de la región, perteneciente al Sistema Eólico, tiene una suave pendiente oeste-este difícil de percibir en el campo aunque relativamente efectiva para la dinámica hídrica superficial.

Un paisaje diferente aparece en el este, en los terrenos depositados por el río Paraná, donde existen rasgos geomorfológicos de diverso tipo visibles a escala de campo, tales como arroyos, lagunas y campos de dunas disipadas. De acuerdo al mapeo realizado utilizando imágenes satelitales, fotos aéreas y trabajos de campo,

el Chaco Santafesino está formado por cuatro sistemas geomorfológicos: el Eólico, el del Salado, el del Bermejo y el del Paraná., Ver Figura 2.

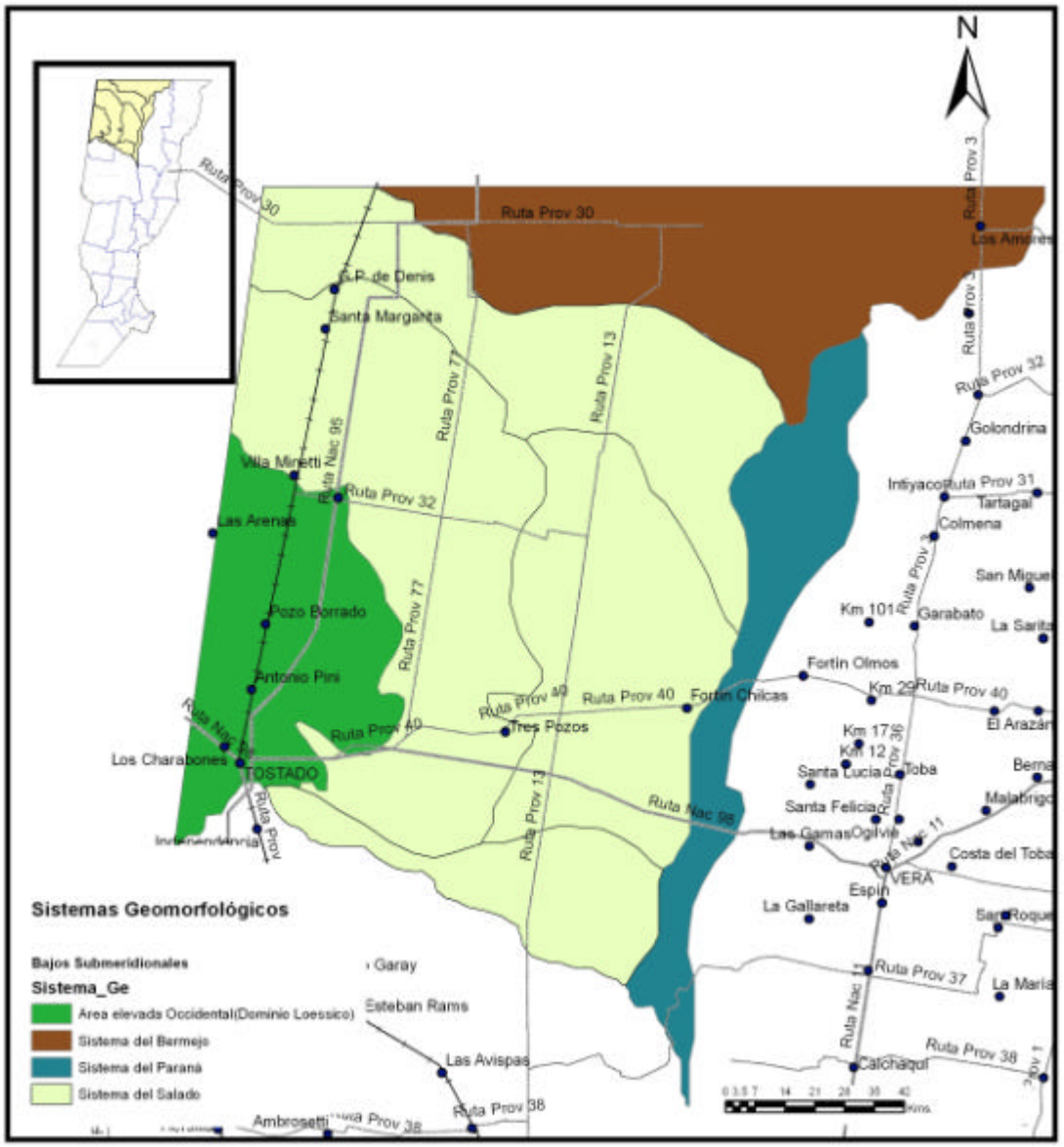


Figura 2 Sistemas geomorfológicos Fuente: Iriondo, 2011- elaborado por INA mediante GIS.

5.1.1 Sistema Eólico

Este sistema, también llamado área elevada occidental – dominio loéssico está representado por una sola unidad geomorfológica, el Área Elevada de Tostado (Iriondo, 2007) (Figura 2).

Área Elevada de Tostado

Es una superficie relativamente alta, plana, con un declive muy suave en sentido NO-SE. Prácticamente no hay elementos geomorfológicos visibles, solo pueden mencionarse escasas hoyas de deflación. Está ubicada en el oeste de la región representada en la Figura 2, entre la localidad de Santa Margarita y Tostado, (aproximadamente 115km de norte a sur). Su ancho máximo se encuentra a la altura de Pozo Borrado, con unos 60km. Fuera del área dibujada en el mapa de la Figura 2, se extiende hacia el sur (Iriondo, 1983) y el oeste. Según Iriondo 2011, existen indicios bastante consistentes de que sus límites son de naturaleza tectónica.

Esta unidad está constituida en superficie por un limo castaño de facies eólica con intercalaciones de limo verde, de origen palustre. Se observan moteados ferruginosos débiles y manchas pequeñas de manganeso. Existen cristales de yeso, genera1mente menores a 1mm aunque pueden ser mayores de 1cm en algunos niveles. En ciertos niveles el sedimento se rompe en poliedros irregulares de varios milímetros de espesor; las superficies de los mismos están ocupadas por barnices gruesos bastante continuos. El limo verde se presenta en niveles definidos de hasta más de 1m de espesor, acompañado por manchas de manganeso. En otros casos forma nódulos y zonas mal definidas del sedimento, de varios decímetros de largo.

Los limos que forman los metros superiores de esta unidad fueron depositados en su mayor parte por el viento en ambiente subaéreo. Esto se deduce de la homogeneidad del material, falta de estructuras sedimentarias y alta porosidad. Los estratos de limo verde con nódulos de manganeso son de origen lacustre, mientras los nódulos y manchas del mismo color probablemente se originaron en decoloraciones producidas por la descomposición de materia orgánica alrededor de raíces muertas y de otros restos vegetales. Es notable en estos sedimentos la casi completa ausencia de carbonato de calcio, lo que podría atribuirse a la ausencia de procesos pedológicos estables y bien definidos.

La presencia de moteados de hierro en el perfil hasta varios metros de profundidad, permite deducir que las inundaciones generalizadas (ocurridas en los últimos años) no han sido un episodio extraordinario, sino que se trata de un fenómeno recurrente.

5.1.2 Sistema del Salado

Constituye el tramo final de la extensa faja aluvial desarrollada por el río Salado en la llanura argentina a lo largo del Cuaternario. En Santa Fe ocupa el área principal

de los llamados Bajos Submeridionales. Se divide en cuatro unidades geomorfológicas que son el resultado de la interacción entre la dinámica del río, la actividad tectónica y las fases de sedimentación eólica. Abarca desde los derrames del Bermejo en el norte hasta la línea Saladillo-Las Conchas, aproximadamente a los 30° de latitud sur, ya fuera del área de este trabajo (ver Figura 2). Se observa un evidente control estructural de dirección NO-SE en sus lineamientos regionales.

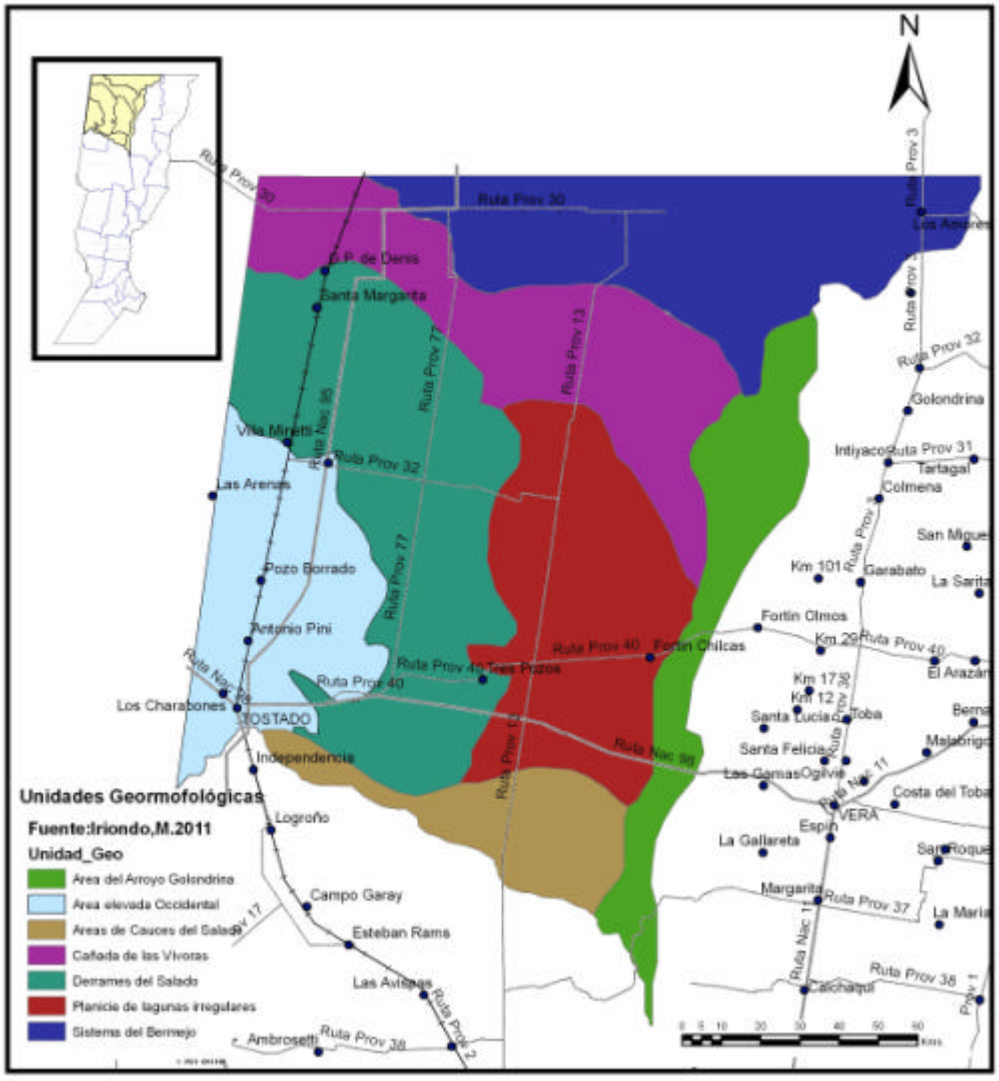


Figura 3 Unidades Geomorfológicas, Fuente: Iriondo, 2011-elaborado por INA

Área de Derrames del Salado (Figura 3)

Está caracterizada por una gran cantidad de paleocauces del Salado, de dirección general oeste-este; en el sector norte la dirección varía a sudoeste-noreste. De norte a sur mide aproximadamente 140km. El ancho este-oeste es variable, oscilando entre 20 y 70km. Se encuentra inmediatamente al este del Área Elevada de Tostado. Los paleocauces son de trazado irregular y poco divagantes. En general, su ancho

no sobrepasa los 200metros. Están totalmente colmatados, siendo muy difíciles de ubicar en el terreno. Se detectan en su mayor parte como alineamientos de hoyas de deflación, excavadas en una época posterior. Unos pocos de ellos, sin embargo, constituyeron verdaderas llanuras aluviales de 2 á 3Km. de ancho. Actualmente los cursos de distinta edad y dirección se presentan parcialmente superpuestos y entrecruzados, en una trama irregular. Algunos de ellos son portadores de agua dulce en los subálveos, lo que les confiere un gran valor potencial en una región con graves problemas de agua.

Regionalmente, se distinguen dos puntos principales de divagación, uno de ellos está ubicado en la localidad de Tostado y el otro en Villa Minetti, unos 80km al norte. Las hoyas de deflación son muy frecuentes en esta unidad. Las más pequeñas tienen alrededor de 200m de diámetro y se encuentran prácticamente colmatadas. La parte más profunda de las mismas no excede los 0.20 ó 0.30m y normalmente se encuentra desplazada del centro de la hoya debido a colmatación lateral. Las hoyas de mayor tamaño, de hasta 500m. de diámetro, tienden a estar mejor definidas, con bordes más precisos y profundidades de hasta 1m. Algunas de ellas conservan agua aún en épocas secas.

Un elemento de real importancia geomorfológica en esta unidad y en esta región en general, son los hormigueros. Se encuentran amplias áreas de kilómetros de extensión, cubiertas en un 20 ó 30 % de su superficie por los llamados “tacurúes” (nidos de Camponotus sp) de 0.40 a 1m de diámetro y de 0.40 á 0.80m de altura con forma de semiesfera. Están compuestos por sedimento fino endurecido, posiblemente cementado por algún material orgánico. Tienen gran cantidad de tubos y canales ramificados de 4 á 5mm de diámetro y sección irregular. Es evidente que la cantidad de material removido y alterado de esta manera es enorme.

Existen otros dos tipos de hormigueros en la zona. Uno de ellos es una masa porosa, blanda y friable, de hasta 0.50m de altura y de 1,30m de diámetro. La profundidad que alcanza por debajo del nivel del suelo es aproximadamente el doble que su altura, formando una mezcla de terrones de tamaño irregular, menores de 1cm de diámetro. Se trata de túmulos del género Acromyrmex. El otro es un gran túmulo formado por las hormigas del género Atta. En ciertas áreas se ha formado un micro relieve con depresiones alargadas de decenas de metros de ancho y 0.20 a 0.30m de profundidad, con dirección general oeste-este. El perfil geológico es un poco diferente al de la unidad anterior, con mayor proporción de arcilla y de

ambientes palustres. El carbonato de calcio en nódulos es frecuente a lo largo del perfil. Un kilómetro al este de Villa Minetti existe un corte artificial en una represa, de aproximadamente 1,50m de profundidad. La parte superior está compuesta por limo arcilloso gris endurecido, de 0.20 a 0.40m de espesor, que se parte en bloques mal definidos, de aristas redondeadas, de 0.10 a 0.20m de diámetro. Corresponde a la Formación San Guillermo, (Iriondo, op. cit.). Debajo de la misma hay 0.30 á 0.40m de limo arcilloso castaño endurecido, se parte en polígonos irregulares de 0.02 á 0.03m de diámetro. Está en contacto abrupto con la unidad suprayacente. Hacia abajo, en contacto transicional sigue un limo arcilloso algo más blando de pocos centímetros y finalmente un limo arcilloso con abundantes concreciones irregulares de carbonato muy impuro. Algunas de las concreciones son groseramente cilíndricas, de 0.01 a 0.05m de diámetro, sugiriendo un relleno de moldes de raíces. Este último estrato pasa lateralmente a arcilla limosa castaño oscura, porosa, con películas de manganeso. Tiene aspecto fragmentoso, irregular, con formas de poliedros mal definidos. Veinte kilómetros hacia el este del punto descrito anteriormente se realizó una perforación de 4m de profundidad, observándose predominio de limo arcilloso castaño, en partes endurecido, con concreciones limo-arcillosas, pequeñas concreciones de carbonato pulverulento y abundantes concreciones de manganeso.

Ambientalmente esta unidad está caracterizada por un predominio de facies palustres y fluviales, con estratos mal definidos, evidencias de saturación permanente y actividad hidroquímica en varios niveles. La bioturbación producida por las hormigas en la fase actual es sin duda muy grande hasta una profundidad que va de 1 á 2m.

Planicie de lagunas irregulares (Figura 3)

Está situada al sudeste de los derrames del Salado aguas abajo de los mismos. Está caracterizada por grandes lagunas someras, de hasta 5Km de diámetro. Gran parte de ellas presenta contornos sumamente irregulares pero bien definidos, con restos de lunetas formando islas y penínsulas estrechas. Esto se debe sin duda a que las cubetas originales fueron más pequeñas que las lagunas actuales. Existen además lagunas redondeadas de hasta 4km de diámetro que no han sufrido deformación, conservando su tamaño original. Las lunetas pueden alcanzar hasta 8 ó 10m de

altura, como en la laguna La Tigra. Las hoyas de deflación de 200 a 500m de diámetro son muy numerosas.

La superficie general de la unidad es completamente horizontal, excepto algunas depresiones muy someras, de 1 a 5km de ancho que la recorren en sentido noroeste-sureste. En ellas se encuentra un gran número de lagunas pequeñas no permanentes y bañados. Se trata de antiguas fajas aluviales del Salado ya casi completamente colmatadas. En el sector norte de la estancia Los Charabones se observaron dos lagunas que ocupan típicos meandros abandonados de un cauce que tuvo originalmente 300 a 400m de ancho y 500m de radio de curvatura. Entre las fajas aluviales hay áreas extensas, algo más altas solo alcanzadas por las grandes inundaciones.

En varias zonas de esta unidad el paisaje está caracterizado por la presencia de "isletas". Se trata de pequeñas superficies, de decenas algunos cientos de metros de diámetro, cubiertas por un monte muy tupido de árboles y arbustos que se destacan en el monótono paisaje de pajonal de espartillo. Son de origen biogénico; se forman mediante el desarrollo y adosamiento de grandes hormigueros del género Atta. Estos insectos forman extensos túmulos de hasta 6 u 8m de diámetro, de superficie y perímetro irregular y 0.20 a 0.40m de altura. Cada hormiguero tiene un sistema de cámaras y galerías que puede llegar hasta 3m de profundidad (Bonetto, 1959); el volumen de tierra removida y alterada en cada hormiguero es de varios metros cúbicos. Perforaciones realizadas con barreno manual en estos hormigueros evidenciaron que están constituidos por un sedimento blando y húmedo, compuesto por grumos redondeados de menos de 2mm de diámetro y alta porosidad. Evidentemente los grumos son producidos por la actividad biológica de las hormigas, resultando en un depósito de características geológicas. Este material forma un sustrato adecuado para arbusto y árboles.

En las cercanías de la laguna La Tigra existen numerosas isletas, pudiendo observarse las transiciones entre hormigueros aislados, pequeñas isletas de 5 ó 6m de diámetro cubiertas por arbustos y las isletas grandes ya colonizadas por árboles. Aún en estas últimas, gran parte de la superficie sigue ocupada por hormigueros actuales. En la zona de La Tigra la distancia entre una isleta y otra oscila entre 100 y 500m.

Un perfil de 5m de profundidad perforado en la entrada de la estancia Los Charabones, en el centro de la unidad geomorfológica, está formado por limo fino

con 20 a 30 % de arcilla. Hasta 2m de profundidad es de color castaño con abundantes concreciones de carbonato de calcio redondeadas e irregulares, de 5 a 20mm de diámetro. En la parte inferior aparecen cristales de yeso menores de 1mm. Existen abundantes restos de materia vegetal en descomposición; en algunos casos todavía se conservan las fibras, en otros sólo líneas de carbón con aureolas de reducción de pocos milímetros de espesor. Esta materia orgánica proviene casi indudablemente de las raíces de eucaliptos plantados en el lugar. La media granulométrica del sedimento oscila entre 20 y 25 micrones, con 25 % de arcilla. Entre 2 y 5m de profundidad el sedimento se hace paulatinamente más fino, hasta llegar a una media granulométrica de 13 micrones, con 32 % de arcilla a los 4,90m.

Dentro de la llamada "arcilla total", el porcentaje de coloides menores de 1 micrón también aumenta de arriba a abajo, hasta llegar al 20 % del total del sedimento a 4,90m. Aparecen también zonas de color verde grisáceo en el sedimento, en forma de manchas e intercalaciones dentro de la masa castaña. Hacia abajo aumentan paulatinamente en proporción, ocupando el 50 % del sedimento a los 3,90m y el 70 % a los 4,10m. El carbonato de calcio presente en estos niveles es bastante abundante aparece principalmente en forma pulverulenta y en menor proporción en concreciones.

El ambiente de sedimentación de esta unidad fue principalmente palustre, lo que se deduce de la alta proporción de arcillas y coloides en el perfil, además de la presencia de carbonato de calcio pulverulento y color verde en los sedimentos. En menor medida se encuentran fajas de origen fluvial. El ambiente eólico actuó en época reciente, formando gran cantidad de hoyas de deflación, aparentemente durante un tiempo corto. Las áreas lacustres actuales constituidas por las grandes lagunas con formación de playas y otros elementos leníticos, no alcanzan al 10 % del total de la unidad.

Cañada de las Víboras – (Figura 3)

Se conoce bajo este nombre a una amplia depresión de origen estructural de unos 160km de longitud y ancho bastante variable, de rumbo noroeste-sureste. Su perfil transversal es sumamente asimétrico, con el eje situado entre 1 y 2km del borde sur y a decenas de kilómetros del borde norte. Está compuesto por una faja de esteros de 2 á 5km de ancho en la parte más profunda y una gran área de bañados cubiertos por espartillo en la margen izquierda. Existen unas pocas fajas mal

definidas de 200 á 400m de ancho, de algunos decímetros de altura sobre el nivel general y ocupadas por árboles dispersos, que corresponden a albardones de antiguos cauces del río Salado. Tres de ellos, separados aproximadamente 5km uno de otro, cruzan la ruta 95. Por su continuidad y por la presencia de albardones bien desarrollados, puede deducirse que eran cauces estables, sin divagación importante, durante su fase activa. El borde suroeste de la cañada está determinado por una fractura de unos 110km de longitud y pocos metros de rechazo, configurando un límite neto. Hacia el noreste, por el contrario, existe una transición muy suave, hacia los derrames del Bermejo, a lo largo de varios kilómetros.

Una perforación de 6m de profundidad realizada junto a la Ruta 95 atravesó limo fino con media granulométrica de 8 micrones y 30 % de arcilla (excepto en la muestra de 2,70m de profundidad, con media de 25 micrones y un 15 % de arci11a). Las fracciones menores de un micrón oscilan entre el 8 y el 13 %. Son frecuentes los nódulos de limo poroso y de limo arcilloso endurecido. El carbonato de calcio pulverulento aparece en todo el perfil en cuerpos de pocos milímetros de diámetro. También aparecen nódulos y pátinas de manganeso del mismo tamaño y concreciones calcáreas duras. El sedimento superficial contiene cristales de yeso entre los 0.30 a 0.50m de profundidad. El color es gris hasta los 0.80m de profundidad; desde ese punto hacia abajo es una mezcla de castaño y verde grisáceo.

La morfología de la cañada de las Víboras indica claramente que se trata de un bloque basculado hacia el sur. Dicho movimiento se produjo sin duda en tiempos muy recientes, pues los cauces anteriores al mismo ubicados más al norte aun son definibles en la superficie del terreno. El ambiente de formación de sedimentos fue palustre, lo que se deduce de la presencia de manganeso y carbonato de calcio pulverulento, la abundancia de arcilla y el estado de oxidación del hierro.

5.1.3 Sistema del Bermejo (Figura 3)

El área comprendida en este sistema constituye el extremo sur del gran cono aluvial que desarrolló el río Bermejo durante el Cuaternario en las provincias de Salta, Chaco y Formosa (Iriondo 1984). En el sur del Chaco está constituido en superficie por grandes lóbulos de derrame, de cientos de kilómetros cuadrados compuestos por limo y limo arcilloso, donde crece vegetación arbórea, y áreas de bañados compuestas por arcilla montmorillonítica. Dicho mineral se endurece en las sequías y

solo permite vegetación de pajonal. Los controles tectónicos ejercen una influencia considerable en el paisaje. Este sistema penetra en el extremo norte de Santa Fe en una extensión de 120km este-oeste y con una profundidad de 30 á 50km hacia el sur. Las unidades sedimentario/geomorfológicas del área son:

Derrames del Bermejo

Forman el borde distal de los derrames chaqueños. Están constituidos por áreas bajas, frecuentemente inundadas y cubiertas de pajonal, que alternan con fajas algo más elevadas de varios kilómetros de ancho ocupadas por palmares muy dispersos. El contacto entre unas y otras suele ser visible en el campo, donde forma una pendiente muy suave de 500 a 1000m de longitud. Todo el conjunto tiene orientación general norte-sur. Los paleocauces que produjeron los derrames forman ahora esteros mal definidos, de pocos cientos de metros de ancho, donde se alinean hoyas de deflación circulares. Los únicos dos lóbulos típicos de derrame que penetran en territorio santafesino son el de La Viruela y El Palmar. Están caracterizados por varios decímetros de limo friable en superficie y la presencia de un monte chaqueño bien desarrollado (quebracho, timbó, algarrobo, etc.).

Sobre la Ruta Provincial Nº30, 25km al este de Gato Colorado se realizó una perforación de 5m de profundidad en un bañado. El perfil está compuesto por limo fino arcilloso, con media granulométrica que oscila entre los 12 y 15 micrones y de 28 a 32 % de arcilla. Las fracciones menores de 1 micrón son muy abundantes, entre 17 y 20 % del total. El color del sedimento es castaño claro a castaño oscuro, con manchas verdes. Entre los 2.90 y los 3,90m, aparecen colores rosados, rojizos, blancos y negros íntimamente entremezclados; los límites entre unos y otros son netos y el tamaño de cada mancha no mayor a 2mm. A todo lo largo del perfil se encuentra carbonato de calcio pulverulento, en algunos sectores constituye hasta el 20 % del total del sedimento. Pátinas y nódulos de manganeso de pocos milímetros de diámetro y restos de materia orgánica con aureolas verdosas de reducción son también comunes. También merece destacarse la presencia de frecuentes nódulos limo-arcillosos de 2 a 4mm (hasta 10mm en casos aislados) de diámetro, de forma irregular, a veces recubiertos por manganeso. Su origen es probablemente biogenético.

Área elevada de Gato Colorado

Forma el extremo sur de un bloque elevado que abarca una extensa superficie en el centro de la provincia del Chaco. Dicho bloque está limitado al sureste por una importante fractura que termina, ya con un rechazo muy pequeño, en la cañada de Las Víboras. En el sur del Chaco el bloque elevado está formado por 20 a 25m de espesor de loess castaño claro, friable y pulverulento, surcado por paleocauces de rumbo general NO-SE.

En el área de Gato Colorado los sedimentos son más finos y compactos. Su techo forma una superficie plana, surcada por paleocauces de orientación norte-sur de 100 á 300m de ancho, que aparecen como fajas de pajonal dentro del monte. Su profundidad máxima es generalmente menor a un metro; suelen estar ocupados por hoyas de deflación transformadas ahora en lagunas someras semipermanentes. Constituyen los reservorios de agua potable de la zona. La superficie general de esta unidad está cribada por un gran número de hoyas de deflación de 200 a 300m de diámetro. Existen escasas hoyas mayores, de 500 á 1000m de diámetro, transformadas en lagunas semipermanentes.

5.1.4 Sistema del Paraná- (Figura 3)

Constituye una faja de 90 a 100km de ancho que comienza en la provincia del Chaco y se extiende hacia el sur cientos de kilómetros, hasta la ciudad de Santa Fe. Fue formada por la sedimentación de arenas y pelitas transportadas por el río Paraná desde su alta cuenca. Se trata de arenas cuarzosas muy maduras acompañadas por la asociación de pesados circón-turmalina-estaurolita. Desde un en foque geomorfológico, está caracterizada por paleocauces de diversos tamaños, según los haya formado el cauce principal del Paraná o alguno de sus brazos menores. Los paleocauces son meándricos en su mayor parte y presentan grados diversos de colmatación y enmascaramiento, derivados de procesos locales posteriores a su abandono por parte del Paraná. La actividad neotectónica ha sido significativa en épocas recientes, principalmente provocada por la aparición de fracturas de rumbo norte-sur. Solo se describirá al Paleocauce Golondrina – Calchaquí por constituir el límite este del sector de estudio.

Paleocauce Golondrinas-Calchaquí

Se lo puede seguir desde cerca de Cañada Ombú (22km al sur del límite con la provincia del Chaco) hasta la unión del Calchaquí con el Salado, unos 175km al sur.

Fue un cauce típicamente meándrico de grandes dimensiones. Su ancho varía entre 3 y 6km, con radios de curvatura entre 7 y 10km. Actualmente está colmatado en forma irregular. Está ocupado por una cadena de lagunas permanentes (La Loca, del Toro, del Palmar y otras), cada una de ellas de decenas de kilómetros cuadrados de superficie. El lecho de dichas lagunas está compuesto por arena cuarzosa fina algo arcillosa de color verde. En sus márgenes son frecuentes las dunas de arcilla, constituidas aquí por limo, limo arenoso y en partes por arena fina. Están desarrolladas casi exclusivamente en dirección este-oeste, por lo que se deduce que fueron acumuladas por un sistema de vientos norte-sur. Su altura alcanza a 4 ó 5metros sobre el nivel de la planicie. Tienen pendientes en general suaves, salvo en los lugares donde la erosión litoral de las lagunas las ataca. Las lagunas sirven de descarga al agua freática de la zona y están interconectadas por un arroyo (el Golondrinas-Calchaquí) que solamente en su tramo inferior ha desarrollado un cauce bien definido. Popolizio et al. (1978) han encontrado en la laguna El Palmar indicios de procesos morfogenéticos complejos, con movimiento rotacional de las aguas superficiales en el sentido de las agujas del reloj.

El relleno del paleocauce es bastante irregular. En los extremos norte y sur ha recibido pocos aportes exógenos, lo que le ha permitido conservar mejor sus características originales, especialmente en el sector del Estero Grande, al norte de la laguna La Loca. En el tramo central, por el contrario, los aportes laterales del Salado casi lo han hecho desaparecer, quedando solo una sucesión de lagunas pequeñas. Este paleocauce ha quedado separado del resto del sistema del Paraná por una fractura de rumbo general norte-sur, que lo limita hacia el este y lo recorre en toda su extensión. Las dimensiones del paleocauce y su carácter meándrico indican que se formó durante una época más húmeda que la actual. Después de haber sido abandonado por el río y establecidas condiciones lacustres, sufrió remodelación parcial (formación de lunetas o dunas de arcilla) en una época de clima seco.

Dinámica hídrica actual en el Chaco Santafesino (Iriondo, 2011)

En la actualidad, el escurrimiento de las aguas superficiales muestra un avance del sistema del Salado sobre los otros. En los períodos húmedos ocurren inundaciones de varios meses de duración, que se originan por la llegada de agua desde el noroeste, desde la alta cuenca del Salado. Cubren en forma de láminas de pocos

decímetros de espesor gran parte de los sistemas del Salado y del Bermejo. Debido a los acomodamientos tectónicos recientes, las aguas se dirigen al paleocauce Golondrinas-Calchaquí, que sirve de colector y confluye al río Salado en el paraje Las Juntas, cerca de la localidad de La Criolla.

Los excesos de agua provenientes del sector chaqueño del cono aluvial del Bermejo, después de superar umbrales tectónicos en el Área de Los Amores y Cañada Ombú, se encauzan en los grandes arroyos de las unidades Vera y Reconquista, para desembocar finalmente en el Paraná.

5.2 Generalidades sobre cuenca propia de los Bajos Submeridionales, creación de una unidad independiente (INA, SSRH, Girault et al.)

Se realiza un análisis hidrogeomorfológico sobre el noreste de Santiago del Estero, sudoeste del Chaco y norte de la Provincia de Santa Fe para la creación de una unidad hídrica independiente que sugieren llamar Cuenca Propia de los Bajos Submeridionales.

Los recursos hídricos superficiales y subterráneos, se movilizan a expensas de su energía potencial desde “Altos“ hacia los niveles de base de menor cota, sin consideración alguna de límites jurisdiccionales.

En el caso de cuerpos de agua superficial, el escurrimiento se lleva a cabo hacia lagos o lagunas interiores (niveles de base regionales).

En áreas de llanuras, de relieve muy suave, el agua caída sobre la superficie del terreno es posible que no tenga inicialmente suficiente gradiente de energía como para organizar escurrimientos horizontales. Predominan entonces los almacenamientos en depresiones de reducida profundidad y grandes extensiones, que por el incremento de carga hidráulica, pueden iniciar procesos de infiltración o por llenado de los reservorios y derrame hacia otras depresiones de cota menor pueden producir escurrimientos superficiales en manto. Todo ello con fuerte influencia de la evaporación.

En estos ambientes no son nítidas las separaciones entre áreas que descargan en una u otra dirección. No existen divisorias de aguas topográficamente nítidas y permanentes. Las tenues dorsales que separan depresiones pueden ser traspuestas, alternativamente en uno u otro sentido por importantes volúmenes de agua en manto como consecuencia de precipitaciones y acumulaciones en sectores parciales de la región.

5.3 Análisis sobre los estudios geomorfológicos

Resulta fundamental para los estudios de las aguas subterráneas considerar los sistemas que actuaron en la región.

Al norte del río salado el actor fundamental de los depósitos de sedimentos del cuaternario son los sistemas fluviales.

Como todo sistema sedimentario depositado por los ríos, se presenta en la región una granulometría muy variada desde arenas a arcilla.

Ubicar los sectores con arenas resulta de interés en el proyecto, ya que estas cumplen con los espacios intergranulares que permiten alojar el agua gravífica que luego puede ser extraída con el bombeo.

La metodología probada y que debe ser considerada para su detección tiene que combinar el análisis de fotos aéreas, imágenes satelitales y la prospección con métodos de corriente continua.

Por lo tanto este análisis geomorfológico resulta de mucha importancia para introducirse en los sistemas “Hidrogeológicos NO TÏPICOS” cuyas características van a ser descriptas mas adelante.

5.4 Geología

5.4.1 Estratigrafía según Iriondo, 2011.

La composición geológica del Chaco santafesino hasta unos cien metros de profundidad está integrada por varias formaciones sedimentarias cuaternarias depositadas sobre un sustrato marino mioceno (Fm. Paraná). Dichas formaciones cuaternarias son loéssicas en el oeste, palustres en la zona central, y fluviales en el este. La secuencia estratigráfica es la siguiente:

Formación Paraná - La Formación Paraná representa una ingresión marina miocena que se extendió sobre toda la región chaco-pampeana argentina y penetró hacia el norte en Paraguay y Bolivia. Fue un mar somero, y sus depósitos son generalmente litorales y neríticos proximales. Está compuesta por arena cuarzosa fina a muy fina color gris y amarillo, con intercalaciones de fangos grises, arcillas verdes y calizas organógenas. En una perforación realizada en San Guillermo, a escasa distancia de la región estudiada en este trabajo, se atravesaron 41 metros de espesor de esta formación. Está compuesta por estratos de arena cuarzosa mal

seleccionada, de fina a muy gruesa, con abundantes segregaciones de óxido férrico, incluyendo escasos clastos de tamaño gránulo a canto rodado fino. Se intercalan estratos de limo arcilloso color oliva, de hasta tres metros de espesor y capas calcáreas y lutitas diagenizadas. En los niveles inferiores aparece una ceniza volcánica alterada incluyendo abundantes cristales de yeso (Krohling e Iriondo, 2003). **La Fm Paraná se extiende en el subsuelo de todo el Chaco santafesino.**

Formación Ituzaingó - La Formación Ituzaingó es el depósito fluvial característico del río Paraná. Está compuesto por arena cuarzosa fina amarillenta y rojiza en estratos medianos y gruesos, interestratificada con limo gris y verde. Comenzó a sedimentar al formarse este gran colector, en algún momento del Plioceno, es decir entre 2 y 4 millones de años atrás. Y sigue depositándose hasta el día de hoy. Esta formación ha recibido varias denominaciones informales en el siglo pasado; la más persistente es la de "Arenas Puelches". Su espesor máximo es de 150m, aunque los valores típicos oscilan entre 10 y 20m. Está distribuida a lo largo del lineamiento Paraguay-Paraná desde Asunción hasta la depresión del Salado en la provincia de Buenos Aires, cubriendo una superficie de 120.000 Km^2 (Iriondo, 1984).

La Formación Ituzaingó en el Chaco santafesino ha crecido por yuxtaposición de fajas fluviales controladas por fracturas. El mecanismo de divagación del cauce se produjo por fenómenos de avulsión, es decir que se traslada mediante desplazamientos discontinuos y no por un mecanismo de "barrido" lateral continuo.

En la perforación realizada en el paraje **Fortín Tres Pozos** se atravesó la formación Ituzaingó desde la profundidad de 19,50m hasta el final de la misma, a los 30m. Las facies fluviales típicas aparecieron desde los 25m y el fondo de la misma; la parte superior está compuesta por una mezcla de arena y sedimentos finos, probablemente relleno local de un cauce abandonado.

En la facies fluvial la relación cuarzo/feldespatos oscila entre 17 y 100 (es decir, hay entre 94 y 99 % de cuarzo). El mineral arcilloso representativo es la caolinita, que aparece en porcentajes escasos. La goethita es abundante, con picos de lasta 30 % del máximo en el difractograma de rayos X. Granulométricamente es una arena bien seleccionada con diámetros entre 200 y 300 micrones. La facies superior de relleno tiene 5,50m de espesor; está compuesta por arena fina limosa y limo areno-arcilloso. Su composición mineralógica está dominada por cuarzo; la relación cuarzo/feldespato tiene un valor de 10 en la base, disminuyendo paulatinamente

hasta 2 en el techo. Los minerales arcillosos están representados por illita en la base y en el techo, y por predominio de montmorillonita en la parte central, lo que sugiere diferentes fuentes de aporte durante la sedimentación. Considerando un esquema simplificado de las arcillas de la región, puede deducirse que durante la acumulación de ese relleno se interrumpió el aporte de sedimentos del alto Paraná (caolinita) y predominaron fuentes ubicadas en el sur y el oeste (illita), y ocasionalmente del este (montmorillonita).

La resistencia a la penetración según el ensayo SPT es alta a muy alta en la Fm. Ituzaingó, alrededor de 50 golpes excepto en un solo nivel. Dicha característica es típica de arenas fluviales antiguas densas y muy densas, bien empaquetadas. El nivel débil indica probablemente la existencia de un acuífero.

La Fm. Ituzaingó se encuentra en el subsuelo de las regiones central y oriental del Chaco santafesino, entre el río Paraná hasta unos 40km. al este de la ciudad de Tostado. No fue depositada en la región eólica del oeste.

Formación Tezanos Pinto y otras unidades loéssicas - La Formación Tezanos Pinto es el clásico loess pampeano que cubre la región central de la provincia de Santa Fe (Iriondo y Krohling, 1995). Se extiende en el oeste del Chaco santafesino en una faja de varios kilómetros de ancho a lo largo del límite con Santiago del Estero, abarcando más de la mitad del Departamento 9 de Julio e incluyendo las localidades de Tostado y Villa Minetti; y sigue hacia el norte en la provincia del Chaco. Tezanos Pinto es en esta región geomofológica y sedimentológicamente similar a la que se encuentra en la Pampa Norte (Krohling e Iriondo, 2003). Es un limo eólico con arcilla subordinada y escasa arena muy fina, de color marrón claro (7.5 YR 6/4). Poroso, friable y masivo. Canalículos rizoides revestidos por segregaciones de Fe y Mn. Incluye cantidades variables, siempre significativas, de Co_3Ca disperso y en concreciones. Mineralógicamente está compuesta por cuarzo policristalino dominante, con porcentajes importantes de microaglomerados y porcentajes accesorios de cuarzo monocristalino, vidrio volcánico y feldespatos. Tiene 20 a 25m de espesor. Se depositó entre 36.000 y 8.500 años antes del presente, es decir en el Ultimo Máximo Glacial.

De acuerdo a datos indirectos de subsuelo, Tezanos Pinto sobreyace a otras dos formaciones sedimentarias eólicas encontradas en la Pampa Norte (Krohling e Iriondo, op.cit.). Estas fueron denominadas provisoriamente “Loess A” y “Loess B”. El Loess A está compuesto por limo grueso con arcilla y arena fina subordinadas, de

color rosado a marrón claro; contiene escaso Co_3Ca secundario formando segregaciones aisladas y concreciones duras. Tiene de 10 a 15m de espesor. El Loess B es un limo eólico grueso con arcilla subordinada y escasa arena muy fina, color rosado; motas de óxidos de Fe-Mn; tiene entre 20 y 25m de espesor. Una datación según OSL determinó una edad de 99.730 + 7.540 años antes del presente para la parte central del Loess B. De manera que la sedimentación loéssica abarca en esa región casi todo el Pleistoceno Superior, desde el Ultimo Interglacial hasta la base del Holoceno.

Formación Fortín Tres Pozos - Esta unidad geológica ocupa el centro del territorio del Chaco Austral o Santafesino. La Formación Fortín Tres Pozos es un depósito palustre que forma el relleno de la parte central del Chaco santafesino, o sea la mitad oriental del Departamento 9 de Julio y el sector oeste del Departamento Vera. Se encuentra en todo el lóbulo de derrame del Bermejo y el Sistema Geomorfológico del Salado. Tiene un espesor de 15 a 25m color gris verdoso a marrón grisáceo en perforaciones y marrón claro en afloramientos; su granulometría es limo arcillosa, con perfil grano-decreciente. Está formada por tres miembros de espesores similares. El inferior está compuesto por limo grueso y limo fino en porcentajes similares, seguidos por arcilla y coloides, en ese orden de abundancia. El miembro medio presenta predominio de limo fino, con proporciones similares de limo fino y arcilla subordinadas. El miembro superior contiene más de 60 % de arcilla, seguido por limo fino y coloides, con escaso limo grueso. La arena es muy fina y aparece en proporciones modestas (entre el 4 y el 12 % en el perfil tipo). Es notable el porcentaje de coloides en todo el perfil, un 16 % de todo el sedimento en la mayor parte de la columna.

En la Fm. Fortín Tres Pozos el ensayo de resistencia a la penetración (SPT) indicó características particulares para cada uno de sus tres miembros. El miembro superior, entre 2 y 8,50m b.b.p., presenta resistencia creciente desde 5 golpes hasta 25 con incremento desde blando hasta muy compacto. El miembro medio decrece paulatinamente en resistencia desde 25 hasta 13 golpes en su base, localizada a 12,50m b.b.p. (o sea de muy compacto a compacto). El miembro inferior registró tendencia creciente hasta alcanzar 34 golpes en la base, lo que indica un sedimento consolidado, denso, duro y poco poroso.

La composición mineralógica está dominada por cuarzo e illita, con porcentajes variables de carbonatos introducidos por precipitación química. La relación cuarzo/feldespato es alta, en general entre 2 y 5. Entre los minerales arcillosos la illita es casi excluyente. La columna analítica de la calcita muestra claramente que ha precipitado en una serie de siete niveles discretos, con concentraciones crecientes de abajo hacia arriba. También existen picos importantes de goethita (Fe_2O_3H2O), que llegan hasta el 20 % del pico del cuarzo, con intensidades semejantes a lo largo de todo el perfil y porcentajes mayores en la base de la formación.

En la Ruta 13, al norte de la estancia El Triunfo (28° 50'S/61° W), esta formación aparece compuesta por limo friable, con plasticidad moderada, en estratos horizontales mal definidos, de 0.30 a 0.40m de espesor. Contiene allí concreciones de CO_3Ca. En el cruce de las rutas 13 y 30 aparece con las mismas características, 25km hacia el este aflora en un canal, compuesta por dos estratos muy gruesos; el inferior tiene 0.70 a 0.80m de espesor y algunas características loéssicas, tales como talud subvertical y alta porosidad. El estrato superior es algo más compacto, masivo, y contiene entre 5 y 10 % de concreciones de carbonato de origen pedogénico; dichas concreciones aparecen más abundantes en algunos trechos de 5 a 6m de longitud a lo largo del afloramiento. Este perfil se extiende con características similares a lo largo de 50km hacia el este, hasta alcanzar el límite de los Bajos Submeridionales.

El color del sedimento varía entre marrón muy claro (10 YR 7/3), marrón típico (7.5 YR 4/3) y marrón grisáceo (10 YR 3/2), con algunos niveles color marrón oliva (2.5 YR 5/4).

El perfil tipo de la Fm. Fortín Tres Pozos está ubicado en el paraje homónimo, en la zona central de los Bajos Submeridionales (Lat. 29° 05'S, Long. 61° 15'W, Dto. 9 de Julio), unos 55 kilómetros al este de la ciudad de Tostado. En ese lugar no aflora; fue atravesado en todo su espesor por una perforación de investigación, que también atravesó parte de la Fm. Ituzaingó y los Limos Superficiales de los Bajos Submeridionales.

La edad de la Fm. Fortín Tres Pozos puede deducirse mediante correlación con las tres unidades loéssicas del oeste, es decir Fm. Tezanos Pinto, Loess A y Loess B (Krohling e Iriondo, op.cit.). Cada uno de los tres miembros correlaciona con una de aquellas; siguiendo este razonamiento, la depresión de Los Bajos Submeridionales

existió durante casi todo el Pleistoceno Superior hasta la actualidad, y la sedimentación de la Fm. Fortín Tres Pozos abarca desde aproximadamente de 100.000 hasta 8.500 años antes del presente.

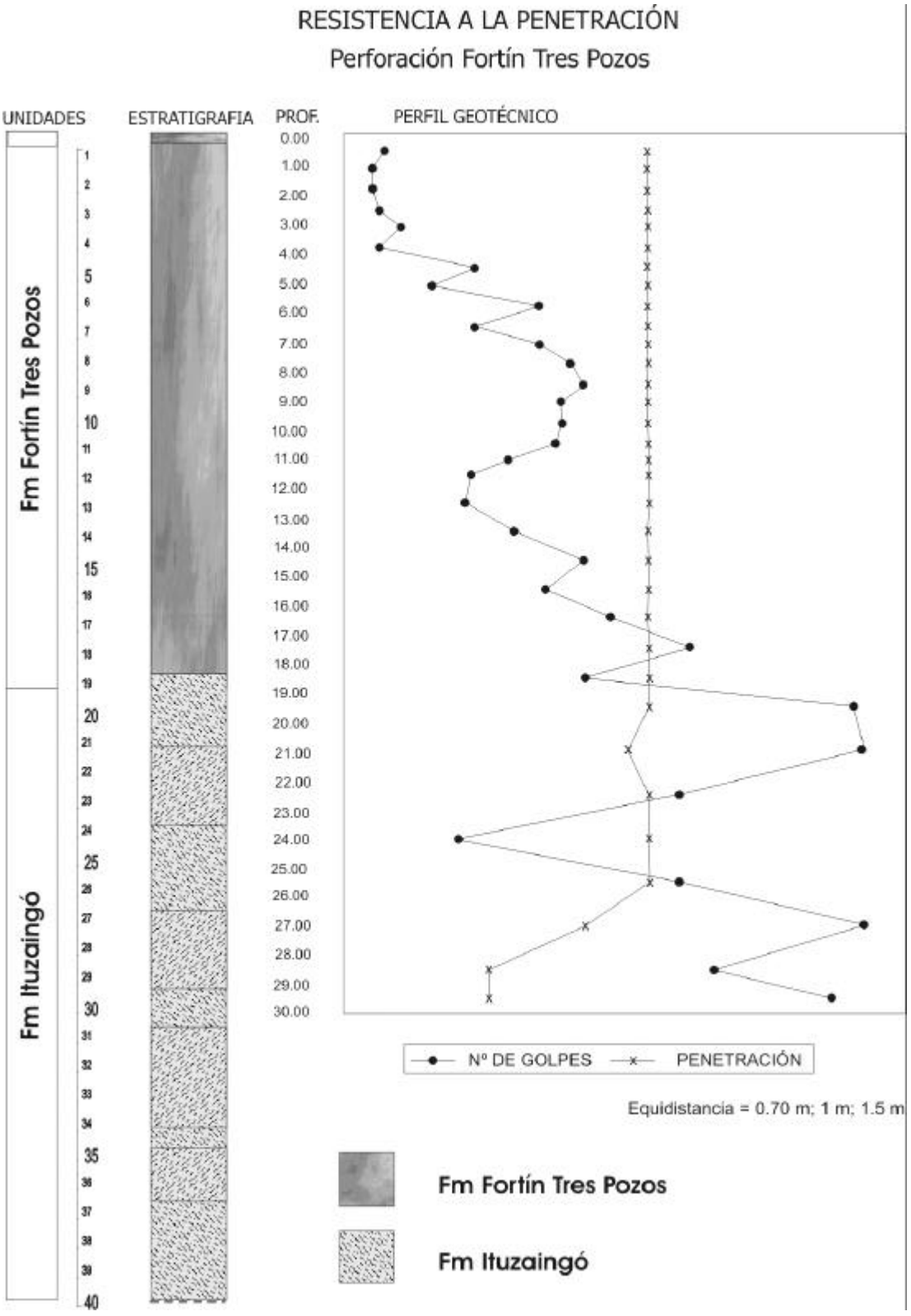


Figura 4 – Formaciones Ituzaingó y Fortín Tres Pozos en el paraje Fortín Tres Pozos. Fuente: Iriondo, 2011

Suelo Hypsithermal - En el techo de la Fm. Tezanos Pinto se desarrolló un suelo durante el Periodo Húmedo Hypsithermal u Optimum Climaticum del Holoceno medio, entre 8000 y 3500 años antes del presente. En las áreas de interfluvios el suelo está bien desarrollado, con una secuencia A-Bt-C. Este suelo aparece truncado en la mayor parte de la región.

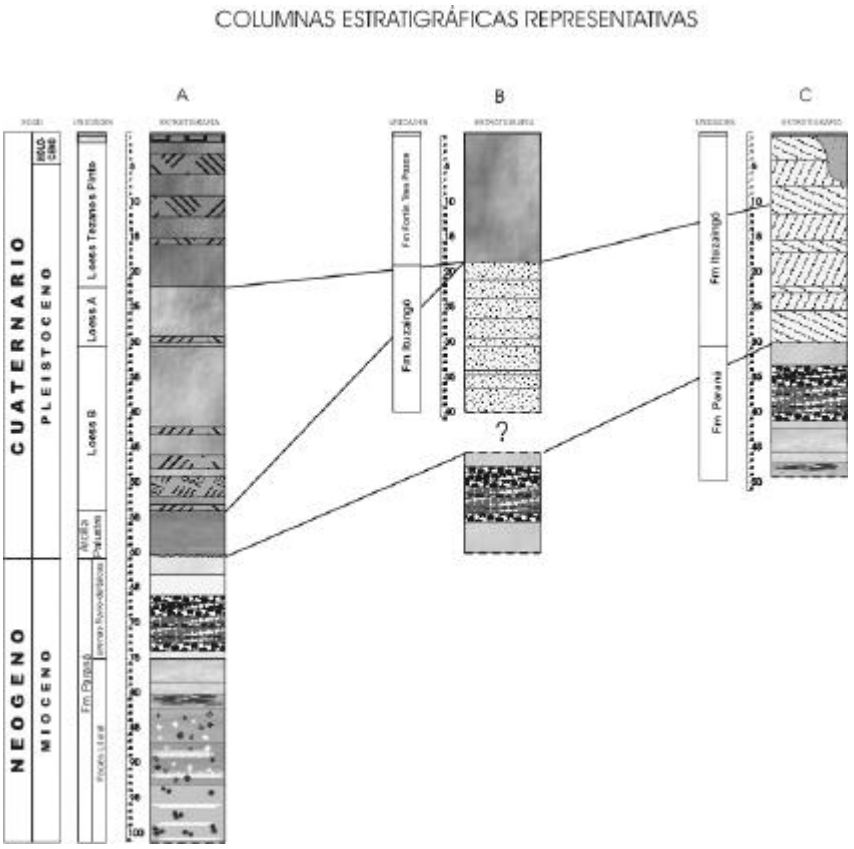


Figura 5– Correlación estratigráfica de las regiones que componen el Chaco Austral Fuente Iriondo, 2007.

Sedimentos Palustres Superficiales - La parte superior de la columna geológica cuaternaria en la región central del Chaco Santafesino (denominada Bajos Submeridionales en la geografía local, que abarca desde una línea norte-sur que corre unos 20 kilómetros al este de Tostado hasta el cauce del arroyo Golondrinas/Calchaquí: este del Dto. 9 de Julio y oeste de Vera) está formada por un cuerpo de sedimentos limo-arcillosos grises y gris verdosos, acumulados en

ambiente palustre, de espesor variable entre 0.25 y 2m. En casi toda la región aparece en dos secciones, la inferior netamente palustre y la superior con ciertas características eólicas. En la localidad de Fortín Tres Pozos la sección inferior está organizada en estratos finos de 0.05 a 0.08m de espesor, continuos, difusos, concordantes, horizontales. Contiene abundantes concreciones de carbonato sucio, de 10 a 40mm de diámetro, equidimensionales e irregulares, con superficie áspera.

La sección superior es limo-arcillosa, forma talud vertical y mayor porosidad; carece de laminación interna. Rompe en terrones irregulares de 0.05 a 0.10m de largo. Contiene valvas de gasterópodos en todo su espesor. El contacto entre ambas secciones es concordante.

Los sedimentos palustres superficiales aparecen con espesores de 0.60 a 1.10m, en discordancia sobre la Fm. Fortín Tres Pozos al norte de la estancia El Triunfo. Los menores espesores observados (unos 0.15m) aparecen sobreyaciendo a arenas aluviales muy finas en la Cañada de las Víboras. En el cruce de las rutas 13 y 30, en el límite con la provincia del Chaco (28°S/61°W, Dto. 9 de Julio), el perfil aflorante de esta unidad aparece con sus dos secciones bien definidas, la inferior con 0.30 a 0.50m de espesor y la superior con 0.20 a 0.30m de potencia; ambas rompen en terrones de 20 a 60mm de largo. Sus características sedimentarias son similares a las descritas en las otras localidades.

Estos limos superficiales tienen escasa resistencia a la penetración. Los ensayos SPT resultaron en valores de alrededor de 5 golpes, típicos de sedimentos blandos, porosos y escasamente consolidados.

La edad de estos sedimentos es holocena superior, coincidiendo la sección superior con la Fm San Guillermo.

Formación San Guillermo (Iriondo y Krohling, 1995). Yace en discordancia erosiva sobre el suelo parcialmente erodado de la Fm. Tezanos Pinto. Está compuesta por limo gris (10 YR 5/1) con escasas arcilla y arena muy fina. Su espesor varía entre 0.30 y 1m. La formación es masiva, en general friable, porosa, permeable y no calcárea. Está atravesada por numerosos moldes de raíces, macroporos y canalículos (Krohling y Orfeo, 2002). Esta unidad fue depositada en el Holoceno superior, entre 3500 y 1400 años antes del presente. Contiene fragmentos de cerámica y bolas de boleadoras.

5.4.2 Litología

En el Anexo 1 se presenta la descripción litológica de algunas perforaciones ubicadas en la zona de estudio, organizadas por departamento y obtenida de la recopilación de antecedentes hidrogeológicos de la Provincia de Santa Fe realizada por “Ministerio de Asuntos Hídricos Provincia de Santa Fe, INA CRL”: y cuyo aporte al presente trabajo se sintetiza en el esquema de la Figura 5. Lo que interesa es conocer la presencia de arenas a nivel regional. Según Iriondo 2011 las arenas Puelches se extienden hasta 40Km al este de Tostado. Sin embargo en la localidad de Tostado en un pozo realizado por INA, SPAR hasta 60m de profundidad se aprecia a partir de los 24m la presencia de espesor de arena fina, y se desconoce a que Fm pertenece.

Este espesor de continuidad regional hace pensar en la posibilidad de la zona de realizar recarga artificial de acuífero en este sector, y probar la posibilidad de almacenamiento de agua dulce en acuífero salado.

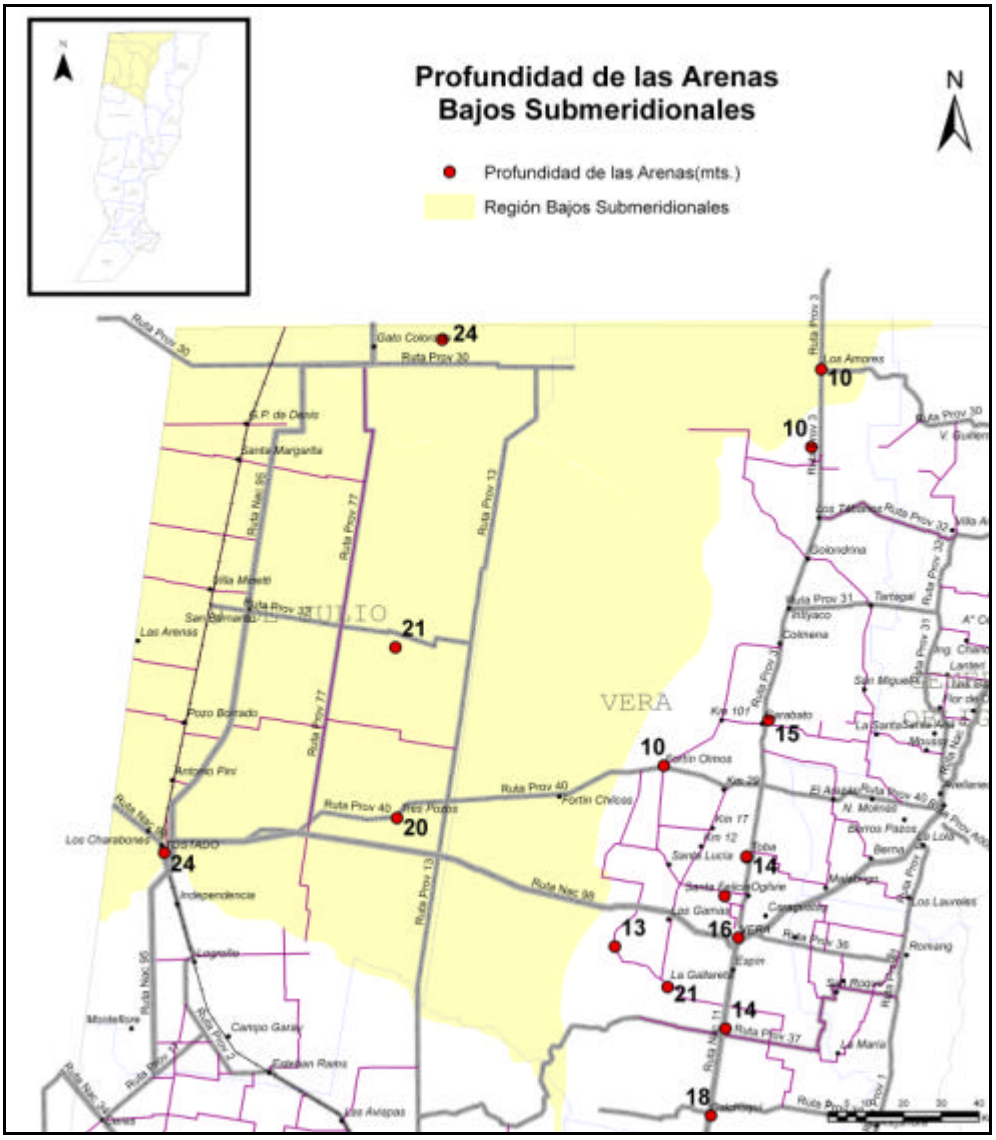


Figura 6- ubicación de espesores de arena por debajo de sedimentos cuaternarios

5.4.3 Análisis sobre estudios geológicos antecedentes:

De la recopilación se deduce que a los efectos de los objetivos del proyecto el sector sedimentario correspondiente a las arenas es el que presenta las mejores condiciones de poder almacenar las aguas de recarga.

En la región, la arena mas somera corresponde a paleocauces de los sistemas fluviales que trabajaron en el Chaco santafesino.

Luego de los 20m de profundidad se encuentra a nivel regional una extensión de arenas hasta aproximadamente 40km al este de Tostado de la Fm. Ituzaingo según Iriondo, Según otros geólogos que han estudiado la zona la Fm. Ituzaingó

corresponde a la Fm. Arenas Puelches. A los efectos de los sedimentos de interés son arenas que pueden alojar agua gravíficas susceptible a la recarga.

6- ANÁLISIS SEGÚN TIPOS DE SUELOS

En el área de estudio es posible identificar dos grandes ordenes de suelos los **ALFISOLES** y los **MOLISOLES**, como fuente gráfica de la información se contó con el mapa de suelos disponible por Internet en escala 1:500000 publicado por el INTA para toda la argentina. No se dispone hasta el momento de información publicada con mas detalle.

A continuación se realiza una descripción sobre la característica de ambos grupos. En la Figura 7 se aprecia la distribución de ambos en la zona de estudio.

Orden ALFISOLES

El orden de los Alfisoles presenta un horizonte argílico, sin epipedón mólico. Se caracteriza por presentar un horizonte subsuperficial de enriquecimiento secundario de arcillas, desarrollado en condiciones de acidez o de alcalinidad sódica, asociado con un horizonte superficial claro, generalmente pobre en materia orgánica o de poco espesor. Los suelos que pertenecen al orden presentan una alta saturación con bases en todo el perfil.

En los Bajos Submeridionales se han identificado 1 de los 5 subórdenes que la taxonomía reconoce para los Alfisoles: Acualfes.

Suborden ACUALFES

Están estacionalmente saturados con agua por períodos prolongados, asociados a una capa freática fluctuante y cercana a la superficie. Las condiciones reductoras quedan evidenciadas por coloraciones grisáceas y por la presencia de moteados de hierro. Cuando la freática se encuentra en profundidad, las condiciones de saturación pueden ser consecuencia de la baja conductividad hidráulica del horizonte de acumulación de arcilla. Normalmente se ubican en áreas planas o cóncavas encharcables durante las épocas de lluvias dado el escaso escurrimiento superficial y al aporte de aguas de escorrentía de sectores vecinos más elevados. En los bajos submeridionales se ha identificado el Gran Grupo: Natracualfes.

Natracualfes: con horizonte iluvial con sodio de intercambio elevado (horizonte nátrico). Son característicos de las Cañadas y depresiones con serias limitaciones por drenaje y salinidad. Sufren largos períodos con saturación de agua, producidas por fluctuaciones de la freática y anegamientos pluviales o fluviales.

Presentan un horizonte superficial claro, somero con escaso contenido de materia orgánica y lixiviado.

La presencia de un horizonte nítrico le confiere escasa permeabilidad, que impide el arrastre del sodio en profundidad, provocando una acumulación que en ocasiones puede superar en mucho, el 15 % de sodio en su complejo de intercambio. Poseen severas limitaciones para su uso.

Orden MOLISOLES

Los Molisoles son suelos oscuros desarrollados a partir de sedimentos minerales en climas templado-húmedos a semiáridos, aunque también se presentan en regímenes fríos y cálidos con una cobertura vegetal integrada fundamentalmente por gramíneas. La incorporación sistemática de los residuos vegetales y su mezcla con la parte mineral ha determinado un proceso de mecanización, que se ve representado en el epipedón mólico. Otras propiedades que caracterizan a los Molisoles son: la estructura granular o migajosa moderada y fuerte que facilita el movimiento del agua y el aire; la dominancia del catión calcio en el complejo de intercambio catiónico, que favorece la floculación de los coloides; la dominancia de arcillas; moderada a alta capacidad de intercambio y elevada saturación de bases.

En los bajos submeridionales ocupan casi todos los ambientes. Se han reconocido los Subórdenes Alboles, Acuoles y Udoles.

Suborden ALBOLES

Son los Molisoles con un horizonte lavado por las fluctuaciones estacionales del nivel de agua que satura el suelo durante lapsos significativos. Ocupan áreas planas y vías de drenaje o depresiones cóncavas, que reciben el agua de partes altas del relieve circundante. En este ambiente reductor se genera el horizonte álbico, lavado, decolorado y empobrecido en nutrientes. Por debajo de él tiene lugar una sustancial concentración de arcillas y coloides húmicos (horizonte argílico o nátrico) hecho que

disminuye la permeabilidad. Los Grandes grupos presentes en los bajos submeridionales son:

Argialboles: presenta concentración de arcilla y materia orgánica en el horizonte superficial además del horizonte subsuperficial argílico.

Natralboles: son característicos el elevado contenido de sodio de intercambio y el marcado hidromorfismo.

Suborden ACUOLES

Se han desarrollado en áreas bajas o que reciben aguas de las partes altas, afectadas por un exceso hídrico durante períodos prolongados (régimen acuico). Esta circunstancia imprime al perfil características de acentuado hidromorfismo (moteados contrastes y tonalidades grises). Reflejan las características propias de la topografía donde están localizados. El Gran Grupo determinado en los bajos submeridionales es Natracuoles

Natracuoles: tienen elevado contenido de sodio de intercambio en el horizonte arcilloso (nátrico). Son moderadamente difundidos ocupando áreas bajas, planas, microlomas y lomas. La vegetación está integrada por especies hidrófitas.

Suborden UDOLES

Son los Molisoles de las regiones húmedas, que no están secos más de 90 días al año o 60 días consecutivos (régimen údico). Se encuentran en latitudes medias con temperaturas medias superiores a 8 °C. Además del epipedón mólico, presentan otros horizontes subsuperficiales alterados o enriquecidos en arcilla (horizonte cámbico y argílico). De los cuatro Grandes Grupos, uno se ha identificado en los bajos submeridionales: Argiudoles.

Argiudoles:

Tienen un horizonte argílico no demasiado espeso o cuyo contenido de arcilla decrece rápidamente con la profundidad. El horizonte superficial es negro o pardo muy oscuro, y el horizonte argílico es parduzco. Debajo puede encontrarse un horizonte con abundante calcio y carbonatos en concreciones duras, aunque algunos no presentan calcáreo hasta gran profundidad.

Suborden USTOLES

Son los Molisoles de clima subhúmedo a semiárido (régimen ústico) y temperaturas templadas y cálidas, se caracterizan por estar relativamente libre de problemas de saturación. Además del epipedón mólico, pueden presentar diferentes horizontes subsuperficiales diagnósticos, como cámbico, argílico, nátrico, álbico. En los bajos submeridionales se observa como gran grupo los Argiustoles.

Argiustoles:

Ustoles que presentan bajo el epipedón mólico un horizonte argílico. La mayoría tienen un régimen climático subhúmedo o semiárido, pero algunos son marginales a los climas áridos, mientras que otros se aproximan a los climas más húmedos.

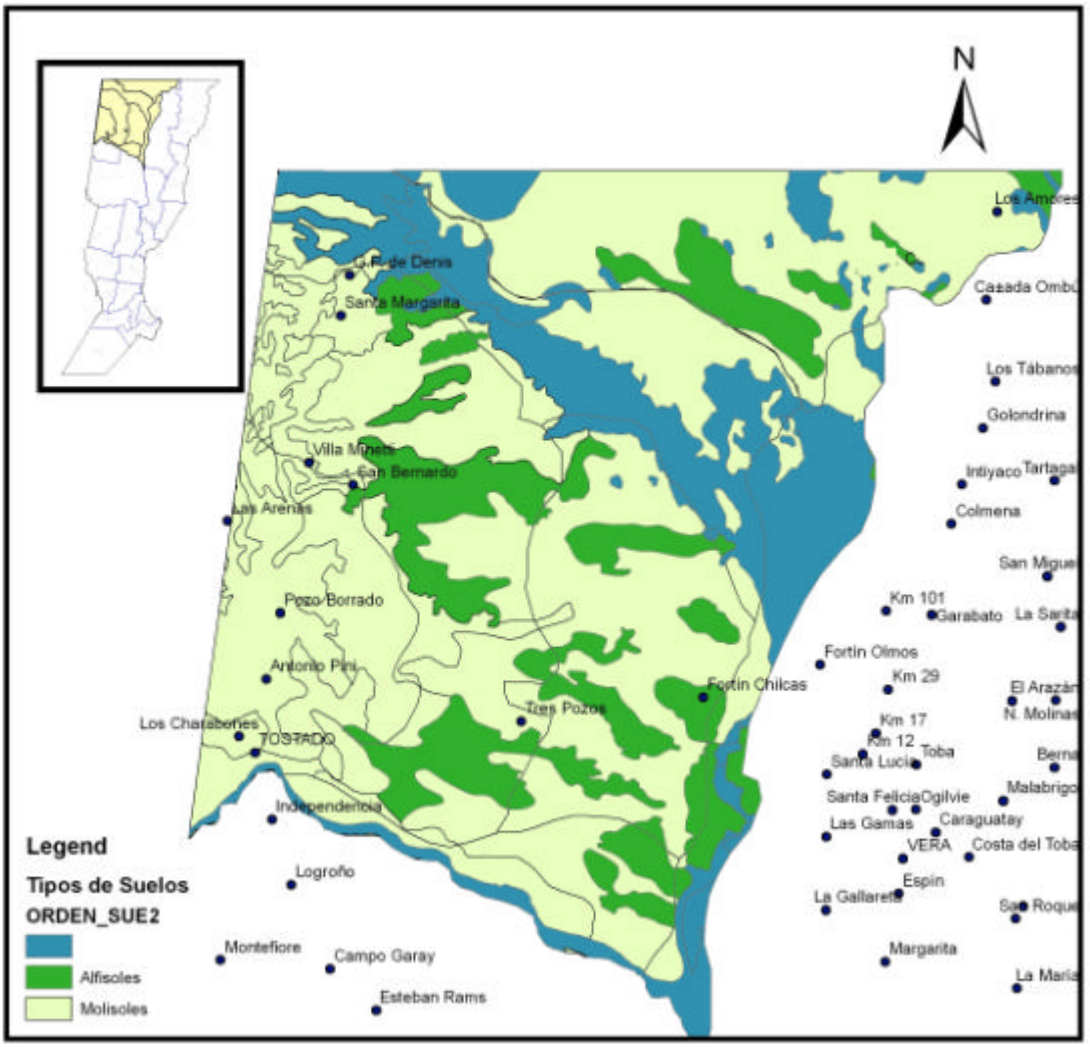


Figura 7 Órdenes de Suelos

En las Figuras 8,9,10 y 11 se presentan las características de los suelos desde el punto de vista del drenaje, textura y capacidad productiva.

Tipos de suelo

En de la Figura 8 se puede observar el alto porcentaje de suelos susceptibles de anegamiento. En general el común denominador es la capacidad de drenaje insuficiente.

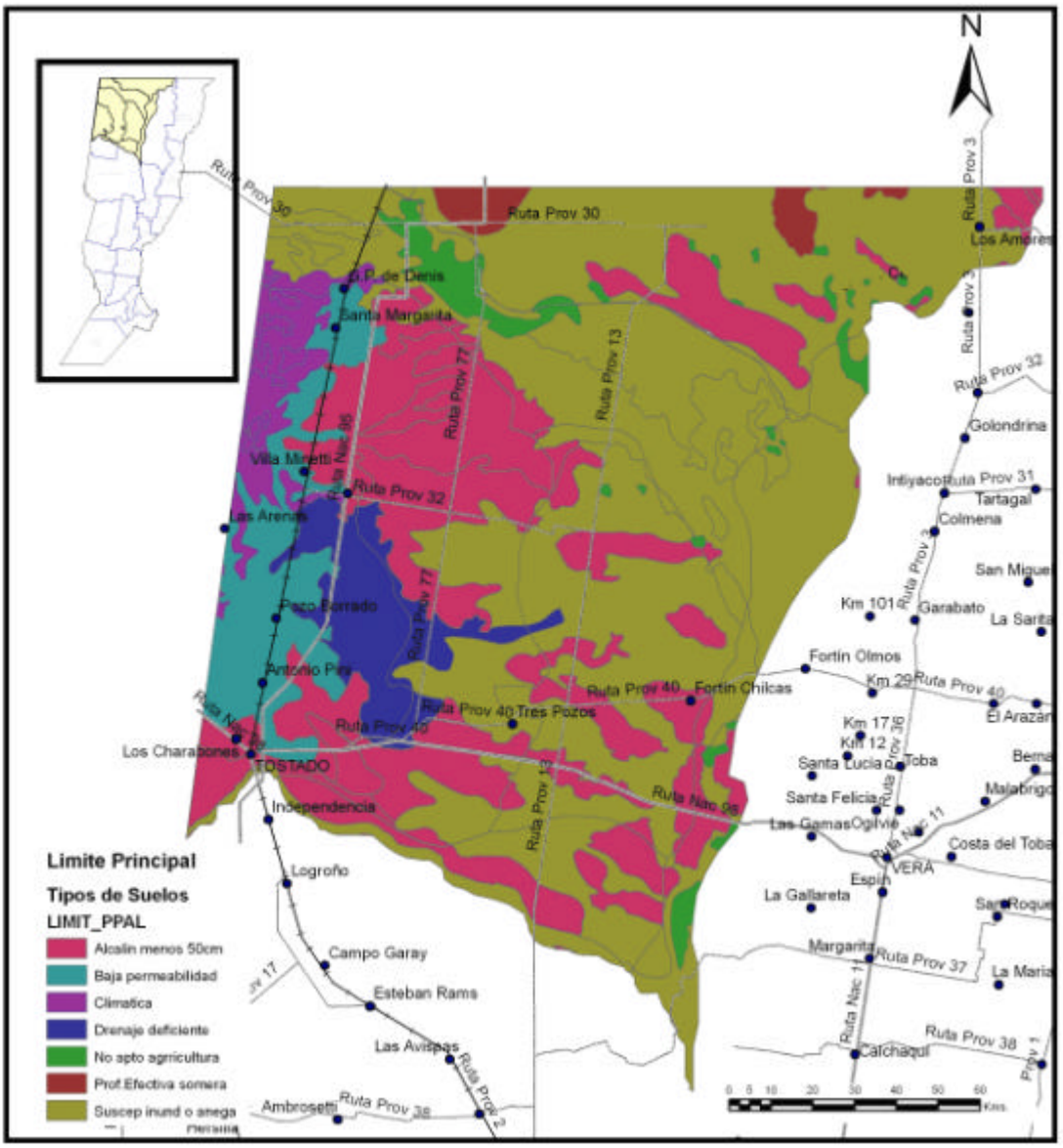


Figura 8 tipos de suelos

Textura

En la Figura 9, se observa la presencia de alto porcentaje de suelos Franco – limosos y en segundo lugar ubicado en las inmediaciones del rio Salado y de la Cañada de las Víboras se denota la presencia de suelos no determinados.

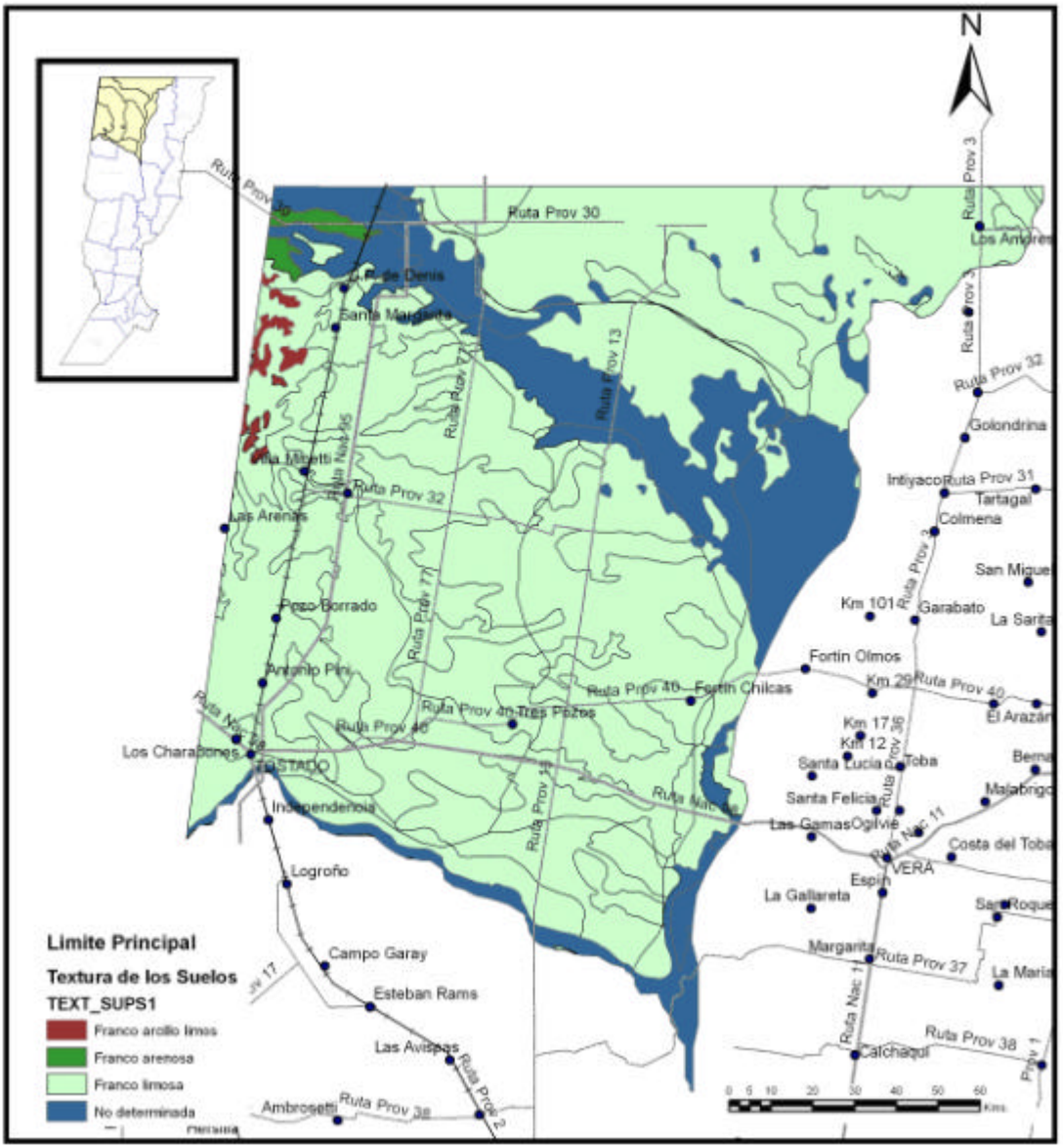


Figura 9 - textura de los suelos

El mapa de capacidad productiva se dispone por departamentos Figuras 10 y 11 en ellos se aprecia que en general se tratan de suelos con categorías de mediana a muy baja.

Capacidad productiva 9 de Julio

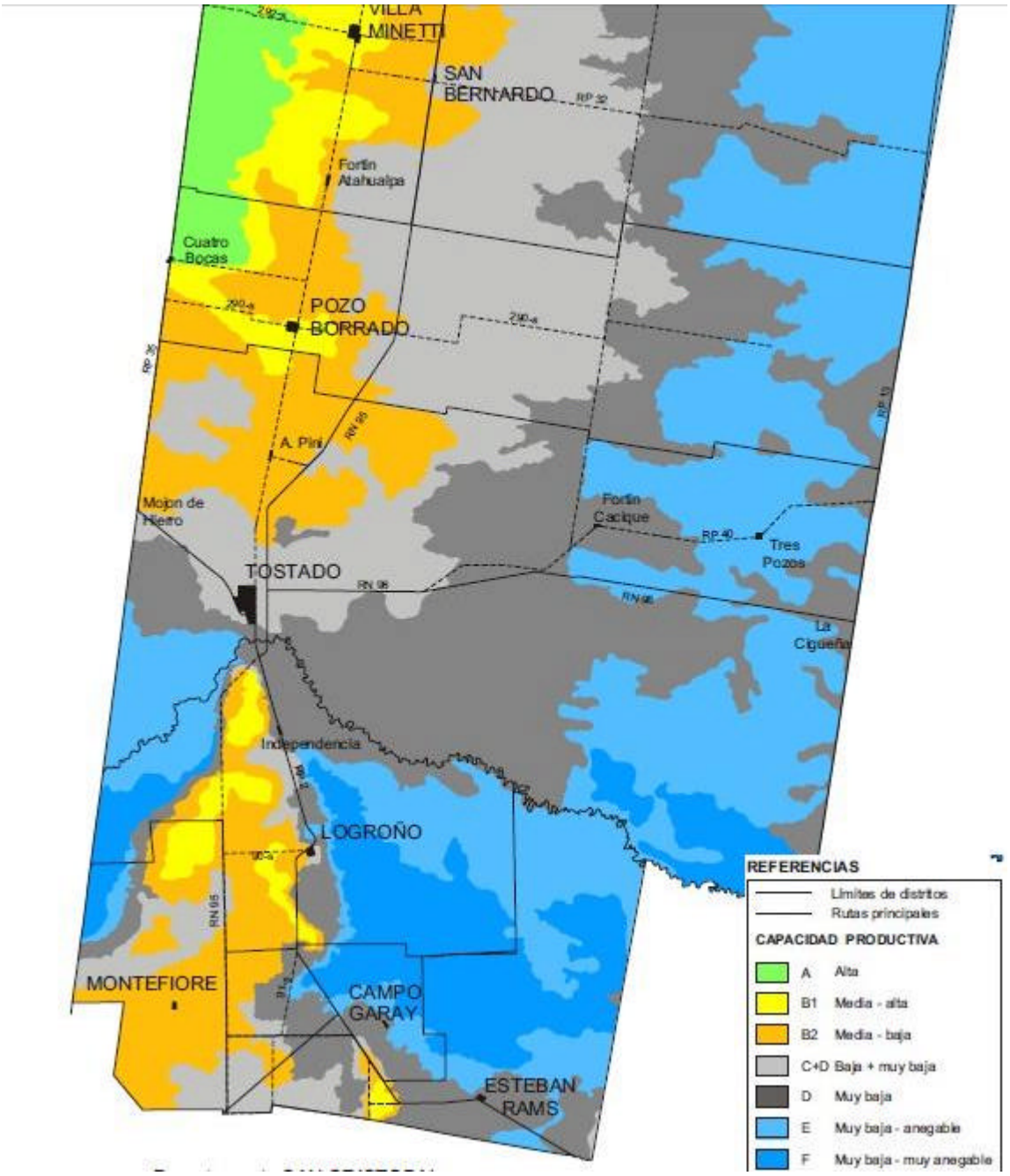


Figura 10 capacidad Productiva de los suelos Dpto 9 de julio

Capacidad productiva Vera

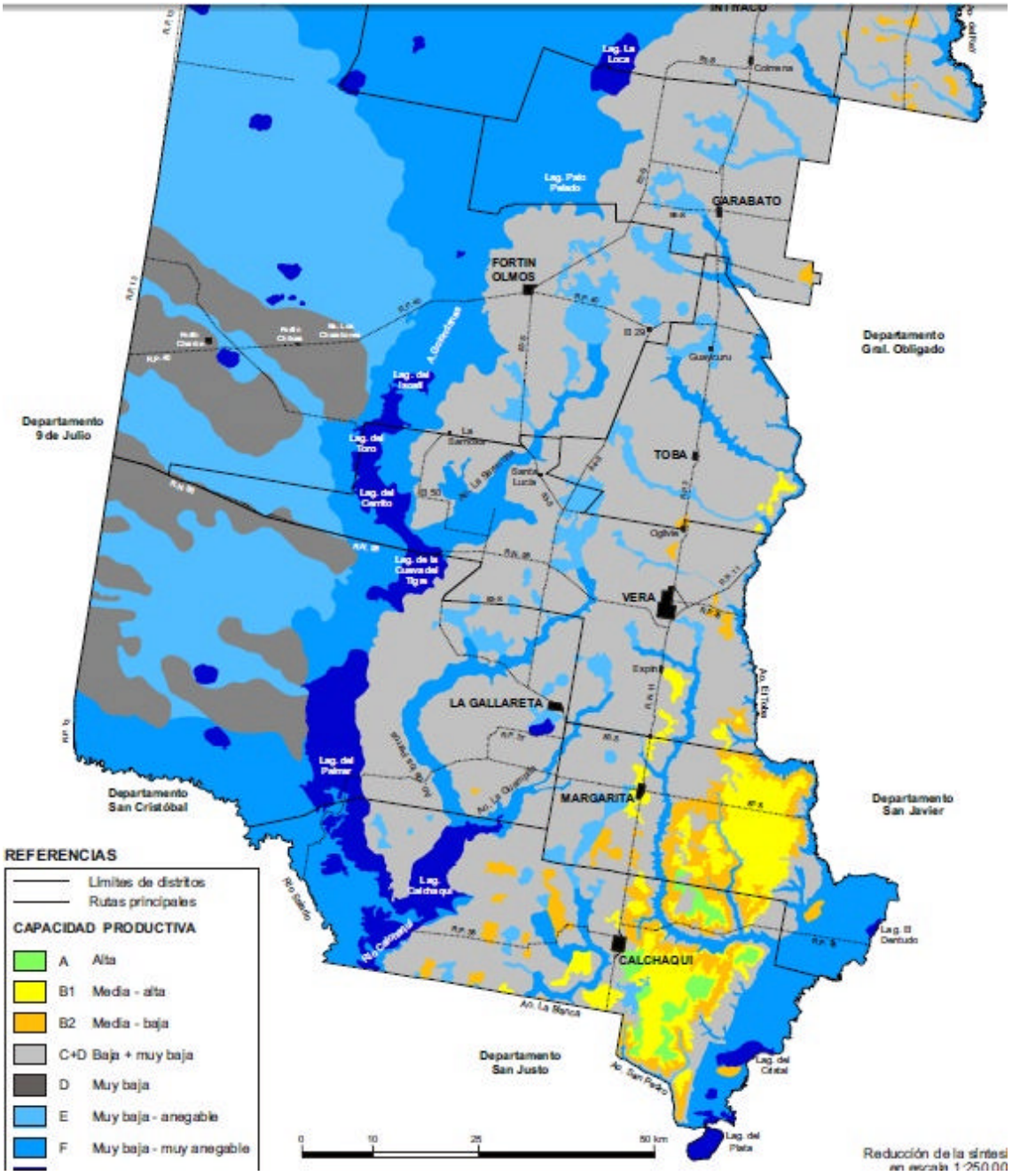


Figura 11 Capacidad productiva de los suelos Dpto. Vera

Análisis de los suelos a los efectos del proyecto

Los suelos son poco permeables, presentan problemas de drenaje sobre todo en los espesores más someros.

De lo que se infiere que el agua para poder atravesar estos espesores necesita de tiempos grandes de permanencia en superficie, y un espesor suficiente de lámina que permita una carga hidráulica que favorezca el paso de agua a su través.

Luego del punto donde se desarrollan los ensayos de infiltración en este informe se presentan los resultados de dos análisis físico químicos de suelos y su comentario correspondiente.

7- UBICACIÓN EN EL GIS DE REPRESAS A PARTIR DE INFORMACIÓN DE LOS COMITÉ DE CUENCAS.

Se realizó un relevamiento dentro del distrito Pozo Borrado en virtud de lo acordarlo con el MASPyMA. El motivo de tal elección se basa en que el mismo es uno de los lugares con mayor impacto en la construcción de represas y profundización de aquellas existentes.

La metodología a prueba y convenida con el MASPyMA, para este análisis, consistió en ubicarlas visualmente dentro de las imágenes disponibles en el Google Earth. En este caso las imágenes datan de año 2006. Conociendo que la profundización y construcción de muchas de estas represas se realizaron a partir del año 2008, luego de marcadas, se procedió a elaborar un archivo ".shp " para su posterior volcado en el GIS. Con esta información se reconoció la ubicación de 214 represas. Esta información fue completada con el Comité de Cuenca de Tostado que permitió la inclusión de 122 represas más, lo que representa para el distrito de pozo borrado la localización de 336 represas. En el Plano Nº1 que se adjunta en el Anexo 2 se puede apreciar la ubicación de las mismas.

Análisis de lo realizado:

Las imágenes disponibles en el Google, no presentan definición suficiente en muchas de las áreas de los bajos Submeridionales como para realizar la detección. Solo el sector centro oeste del Distrito presenta condiciones de definición de

imágenes suficiente para realizarlo. La tarea con el Comité de Cuenca de Tostado resultó muy importante por la información recolectada.

No obstante se considera que este trabajo no es exhaustivo ya que además del Comité de cuenca en el área también hubo empresas privadas que realizaron numerosas represas. Estas posiblemente requieran realizar un trabajo mayor sobre imágenes mas precisas y luego ajustarlo con trabajo de campo.

Sin embargo se considera que el mismo permitió obtener una buena aproximación de lo ocurrido durante la sequía 2008-2010 ya que la mayoría de las represas se ejecutaron con máquinas del Comité de Cuenca. Con imágenes mas precisas es posible cuantificarlas en gabinete. El distrito de pozo Borrado se considera representativo de lo ocurrido en la zona sobre ejecución de represas y marca un número máximo de lo construido.

8- IMPLEMENTACIÓN DEL GIS CON INFORMACIÓN DE SEV REALIZADOS EN LA ZONA, PERFORACIONES E INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN GENERAL. –

Las Planillas con la Información de SEV, perforaciones e información hidrogeológica en general se presentan el Anexo 5.

En planillas se documentaron 434 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), 214 Puntos de agua con información freatimétrica y 304 puntos de agua con información de conductividades eléctricas del agua, de trabajos realizados por el MASPyMA y el CRL INA.

Esta base de datos dispuesta en Planilla utilizada a través del GIS, permitió el análisis de la Información georeferenciada.

Con la que se confeccionaron los siguientes Planos:

Plano 2 profundidad de la freática (Inventario 2008-2009) Anexo 2, en el mismo se determinaron 3 categorías de profundidades de la freática < 3m, entre 3 y 6m y > 6m, puede observarse que durante la época de sequía 2008-2009 la mayoría de los pozos presentaron profundidades superiores a los 3m, en el sector occidental se concentraron las mayores profundidades superando los 6m.

Plano 3 Anexo 2 - Conductividad eléctrica del agua primer nivel acuífero (Inventario 2008-2009). En este plano se distinguen 4 categorías: < 5000 microS/cm, entre 5000-10000 microS/cm, entre 10000-15000 microS/cm y > 15000 microS/cm. Al oeste de la ruta 13 hasta el arroyo Golondrinas se observan las mayores

conductividades de agua, superando los 5000 microS/cm, y al sur de la ruta nacional 98 y este de la ruta provincial 13 se observa un sector con altos valores de conductividad que superan en la mayoría de los casos los 15000 microS/cm.

Plano 4 Anexo 2. Sondeos Eléctricos Verticales 2008-2010 En este plano se presentan 3 categorías de SEV dudosos: perforar con restricciones (valores con resistividades verdaderas en el límite que depende de la calidad del sedimentos encontrado pueden servir en situaciones de extrema necesidad. No perforar donde los valores de resistividades verdaderas son muy bajos (aguas altamente mineralizadas)- Perforar valores resistividades aceptables. En este mapa puede observarse el predominio de esta última categoría hacia el este de la localidad de Tostado hasta la ruta provincial 77, un sector intermedio hasta la ruta provincial 13 y el sector mas complicado al este hasta la línea del Arroyo Golondrinas.

Considerando la información antecedente obtenida durante trabajos realizados en 2008-2009 es posible establecer a grandes rasgos.

9-ZONIFICACIÓN A PARTIR DE INFORMACIÓN GEOMORFOLÓGICA, GEOELÉCTRICA y de TIPOS DE SUELO COMO BASE PARA LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

9.1 Antecedentes sobre aguas subterráneas

FUENTE: IRIONDO, 2011

Las aguas subterráneas de la provincia de Santa Fe que describe (Iriondo, 2011), se refiere a la freática o “primera capa” y las que se denominan “segunda capa” o “segundo acuífero”, mucho más caudaloso que el anterior. La capa freática produce caudales bajos o muy bajos y de salinidad bastante elevada. Se la utiliza para consumo del ganado y domiciliario en ciertos casos.

Dichos terrenos son formaciones sedimentarias que se han acumulado durante los últimos cinco millones de años en la región pampeana (dentro del Neógeno, que comprende al Terciario superior y al Cuaternario) en ambientes y paisajes generalmente diferentes a los actuales. Se depositaron en cada zona varias formaciones geológicas superpuestas, cada una de ellas con propiedades físicas e hidráulicas particulares (permeabilidad, salinidad, recarga, etc.) que se reflejan inevitablemente en la hidrología subterránea resultante. El mapeo y otros estudios regionales realizados por Proyectos de Investigación determinaron la existencia de

regiones naturales de primer orden de aguas subterráneas dentro del norte del territorio provincial: Bajos Submeridionales, Cuña Boscosa (ambas en el Chaco Austral),

Esta división tiene cierta correspondencia con las cuencas fluviales superficiales, aunque no se trata precisamente de lo mismo. El río Salado está vinculado a los Bajos Submeridionales, el Paraná a la Cuña Boscosa. La correspondencia no es exacta entre el Segundo Acuífero y la hidrografía superficial. Existe un problema básico en el conocimiento de este acuífero en la provincia de Santa Fe, que es la falta de datos. La información que existe sobre este importantísimo recurso proviene de fuentes indirectas, en primer lugar de los datos muy parciales que surgen de las perforaciones realizadas para provisión de agua potable a pueblos y ciudades de la provincia, algo que es visiblemente insuficiente. Se desconocen de esta manera datos básicos, por ejemplo el espesor de los acuíferos, un dato fundamental para cualquier pretensión de manejo.

Dentro de las posibilidades del Proyecto PID 99 Ag. 74 -13513 “Simulación numérica en gran escala de la interrelación entre el flujo de las aguas subterráneas y el flujo de las aguas superficiales (FLAGS)”, se realizó una perforación de estudio en el centro de los Bajos Submeridionales. Dicha perforación se utiliza como referencia. Por ello resulta necesario desarrollar esta contribución con el esquema geológico como punto de partida. El patrón fundamental de este enfoque es el segundo acuífero.

El acuífero freático está mucho más al alcance del individuo habitante de la provincia, del mediano empresario rural que cría vacas o del simple ciudadano que habita la periferia de una ciudad chica santafesina. El acuífero freático es siempre en esta provincia la formación geológica superficial expresada por la unidad geomorfológica que la abarca. Se puede deducir de su estudio, hasta cierto punto, su naturaleza y su dinámica (reserva, dirección de flujo, recarga) con métodos mucho más baratos. Es por esto que se desarrolla la descripción de las unidades geomorfológicas, pues pueden servir de base geográfica y conceptual a futuros estudios de hidráulica freática.

9.2 Regiones hidrogeológicas FUENTE: BOJANICH, RISIGA, 1989.

En la Figura 8, se muestran las regiones hidrogeológicas comprendidas en el área de estudio, cuya descripción presenta a continuación con los números que le

asignaron Bojanich, Risiga, 1989.

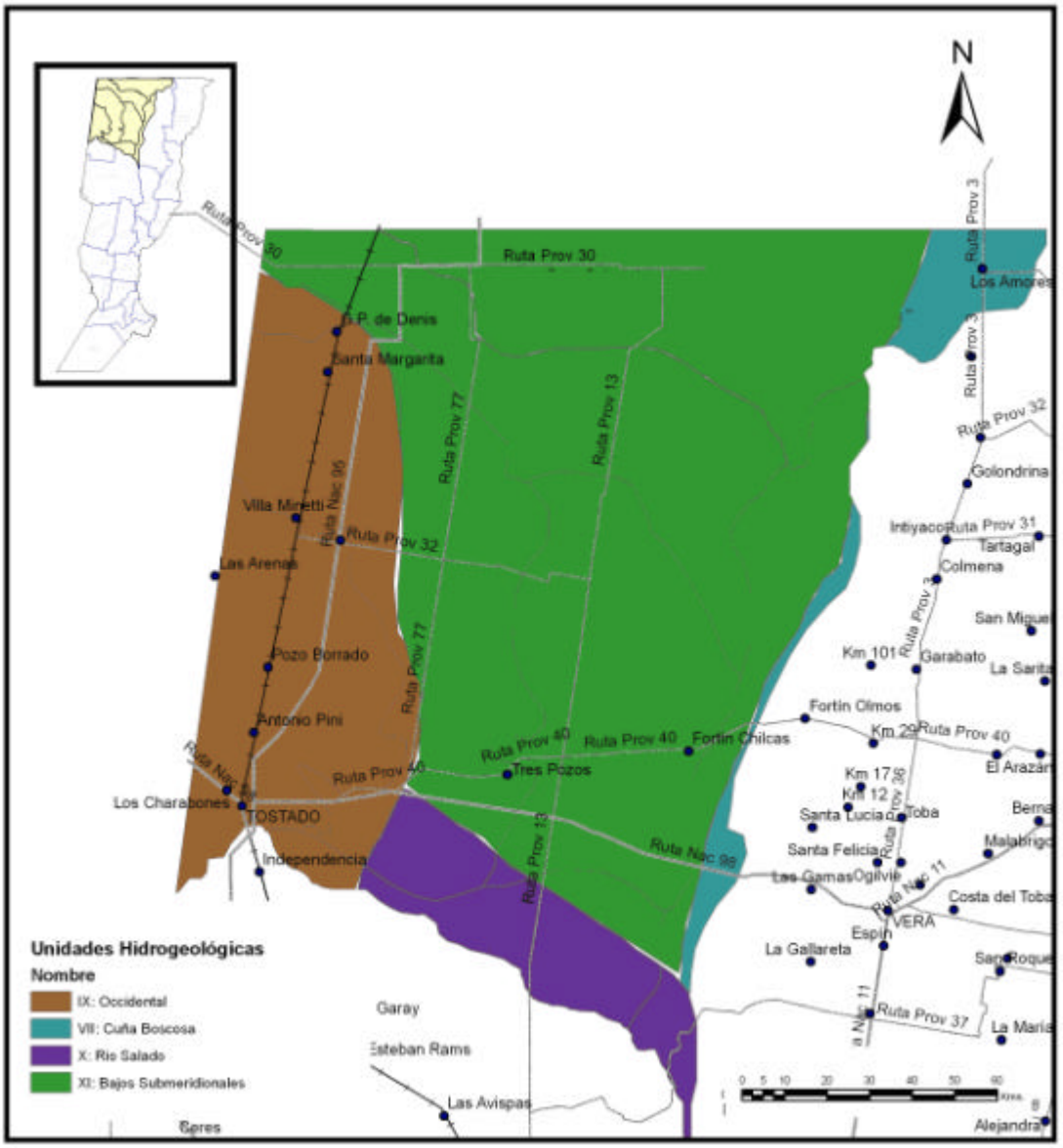


Figura 12 Regiones Hidrogeológicas del sector Norte Fuente: Bojanich, Risiga 1989.

Área IX: Occidental

Esta área comprende una franja paralela al límite con las provincias de Santiago del Estero y Córdoba que la separa por las manifestaciones tectónicas del basamento. Sobre esta área se encuentran importantes poblaciones de tipo industrial que se ven frenadas en su crecimiento como consecuencia de la escasa disponibilidad de fuentes de agua subterránea; los cursos superficiales son temporarios y de mala calidad, las precipitaciones medias anuales varían entre 750 y 850mm.

Desde el norte al sur los acuíferos se van transformando de libres a semiconfinados, mejorando en calidad hacia el sur debido a que los sedimentos superficiales son más permeables, en parte debida al laboreo de la tierra.

La capa freática o libre se apoya directamente sobre capas fuertemente salinizadas, motivo por el cual la detección como la explotación de este recurso se ve dificultada en parte.

Numerosos perforaciones profundas se realizaron en el área en búsqueda de acuíferos aptos con resultados poco alentadores.

El espesor máximo aprovechable a fin de mantener la calidad inicial varía entre 5 y 15m a partir de los niveles estáticos. En general, las condiciones químicas son muy variables tanto vertical como horizontalmente, dependiendo fundamentalmente de las características morfológicas locales que permiten mayor o menor posibilidades de infiltración. Estos valores varían, para las potencias aprovechables mencionadas, entre 500 a 1500 mgr/l.; aumentando bruscamente en profundidad, llegando en algunos casos a valores de 70.000 mgr/l., por ejemplo en Tostado a 48m de profundidad. En la mayoría de los casos las aguas relativamente menos salinizadas son de tipo carbonatadas, cloro-sulfatadas y están sobrepuestas a aguas predominantemente cloro-sulfatadas sódicas.

Los valores de transmisibilidad para los espesores ensayados varían entre los 20 y los 120 m^3/día/m y los caudales específicos son de aproximadamente 500l/h/m. La permeabilidad, al igual que el resto de los parámetros hidrodinámicos aumentan hacia el sur debido a la presencia de mayor cantidad de sedimentos limosos y arenosos, determinándose para los espesores ensayados valores que oscilan entre 2 y 8 m/d

Área X: Río Salado.

Esta área corresponde al tramo inferior de una cuenca tributaria del Salado que drena desde el oeste; las pendientes son escasas y provoca un escurrimiento laminar lento, terminando en cañadas o lagunas de reducida permeabilidad por la presencia de partículas limosas y arcillosas. Los niveles de la freática, generalmente de regular a mala calidad, son muy elevados, aflorando en épocas de precipitaciones abundantes siendo ésta el área donde Stappenbeck ubicó "surgencia" debido a esas condiciones especiales. La precipitación media anual varía entre 800 a 900mm.

El aprovechamiento de acuíferos de esta zona está dado por las posibilidades de empleo de la capa freática convenientemente recargada en forma artificial. En profundidad, se descartan las posibilidades de lograr acuíferos aptos tal como lo demostraron diversas perforaciones ejecutadas en búsqueda de hidrocarburos y de agua.

Área XI: Bajos Submeridionales.

Esta área deprimida se prolonga desde la vecina provincia del Chaco con iguales características, y es receptora del material fino arrastrado por el escurrimiento de tipo laminar de las aguas de lluvias en búsqueda del sistema Golondrina-Calchaquí y definitivamente el Salado. La capa superficial, por consiguiente es francamente impermeable, salvo en áreas emergentes donde se encuentran limos que pueden recibir aportes benéficos en épocas de lluvias. La precipitación media anual varía entre los 800 y 900mm. Se trata de una zona con reducida población por Km^2.

La calidad del agua de la capa freática a veces es mejorada por procesos biológicos como es la acción de las hormigas del género "atta". Construyen hormigueros ("tacurales") cuya parte superior está por encima del nivel de máxima creciente y a través de conductos derivan el agua hacia la capa freática sin que se les invadan sus nidos. Esta agua así infiltrada se apoya lentamente sin mezclarse, mejorando la calidad de la freática.

En esta área, si bien es cierto tienen validez las consideraciones generales dadas para las dos anteriores, se observan aún mayores limitaciones en lo que se refiere a su explotación, ya que se trata de zonas topográficamente más llanas, con problemas de inundaciones periódicas y con niveles estáticos más altos. Esto, dificulta realizar la recarga artificial debido a que los niveles raramente sobrepasan los 3 metros bajo nivel del terreno, en épocas de sequías, y en épocas de inundación afloran. Por consiguiente, la interfase agua-dulce-agua-salada, se encuentra más próxima al nivel del terreno, lo que trae aparejado una menor potencia aprovechable de las obras de captación.

Área VII : Cuña Boscosa

En superficie se observan limos palustres de mediana permeabilidad, sobre todo en las partes mas elevadas, siendo arcilla el componente de bajos o cañadas con muy baja permeabilidad.

Próximo al área de transición al Puelchense pueden hallarse capas de regular a buena calidad, en cambio hacia el norte y oeste van desmejorando. El sector ubicado al sur de la ruta Nº 98, presentan mejores posibilidades de acuíferos aptos alojados en arenas finas que reciben una supuesta recarga del rosario de lagunas que la separan del área de Bajos Submeridionales.

Los ensayos de recarga artificial dieron buenos resultados en paleocauces.

En esta área se observan condiciones químicas muy cambiantes, pudiendo encontrarse valores de 500 mg/l a 40000 mg/l de sales y a regular profundidad. Los caudales específicos en algunos casos llegan a 500l/h/m.

El agua de las precipitaciones pluviales al infiltrarse, constituye lentejones planos y extendidos de menor salinización que los colindantes, pero de difícil explotación.

Las profundidades máximas de explotación están en relación directa con los niveles estáticos mínimos, debiendo tratar en todos los casos que las obras no superen en mas de 2 metros a dichos niveles.

9.3 Zonificación propuesta tomando como base antecedentes hidrogeológicos y geomorfológicos.

9.3.1 Según los horizontes acuíferos

Por encima de los sedimentos marinos, se distinguen desde lo mas profundo a lo mas someros, la Formación Arenas Puelches y por encima los sedimentos limosos y arcillosos donde han trabajado durante el cuaternario los ríos Salado, Bermejo y Paraná (según Iriondo 2011) formando relictos fluviales (paleocauces muchas veces arenosos) y que pueden alojar aguas con condiciones aceptable para el uso ganadero, estos se constituyen en el primer nivel acuífero.

Arenas Puelches

El nivel correspondiente a las “Arenas Puelches” se encuentra muy salinizado hacia el oeste de la línea del Arroyo Golondrinas-Calchaquí. Presenta condiciones de semiconfinado o confinado. En este sector es muy poco posible su utilización para consumo ganadero. Este arroyo que tiene como origen un paleocauce del sistema del Paraná, puede ser considerado como un límite aproximado de las características químicas del acuífero. Para la Ganadería hacia el este se extiende una zona de interfase agua dulce–salada que a medida que se interna hacia el este presenta posibilidades para la explotación con fines ganaderos, sin embargo, se conoce la

presencia de As, en muchos casos con valores no permitidos para consumo humano, pero en general dentro de los límites para consumo ganadero. (Se aclara que nuevos estudios amplían los límites de arsénico para consumo ganadero).
La línea golondrina y sus características hacia el este y oeste deberían estudiarse con mayor precisión para terminar de conocer límites y zonas de interfase de aguas dulces y saladas que permitirían estudiar con mas detalle la potencialidad de la zona para uso ganadero.

Acuífero freático

Se caracteriza por la gran heterogeneidad, debido a los sedimentos cuaternarios presentes en los niveles someros del terreno. Las altas concentraciones de sales dentro de este acuífero, se ubican al centro y este del área de estudio (sobre el límite del Arroyo Golondrina), existiendo en menor cantidad algunos relictos fluviales con agua de menor concentración salina.
Hacia el oeste coincidiendo con los sedimentos eólicos (Fm. Tezano Pinto Iriondo 2011) y la zona de derrame del Salado se encuentran paleocauces con aguas de calidad aceptable para la ganadería pero estos presentan el inconveniente que en épocas de sequía cuando los niveles freáticos bajan en muchos casos se secan.
En los alrededores de la Cañada de las Víboras en general los relictos fluviales se encuentran altamente salinizados, posiblemente como consecuencia de los desbordes de dicha cañada con aguas muy mineralizadas provenientes de Santiago del Estero.

9.3.2 Zonificación del Primer nivel acuífero

En base a los antecedentes del área se ha optado por realizar una zonificación para el primer nivel acuífero considerando criterios geomorfológicos y volcando a través del GIS valores de niveles y calidades de las agua a los efectos de contribuir a una mirada de síntesis e integración de la información. Ver en Anexo 2. Según un criterio geomorfológico y basado en Iriondo 2011, el área se divide en:

Area 1 Paleocauces del río Salado que abarca dos regiones geomorfológicas según Iriondo 2011: Área elevada occidental y Área de derrames del Salado: Estos paleocauces del río Salado tienen interés como zona para investigar recarga.

Area 2 Cañada de las víboras, es un paleocauce del salado, su característica es el alto nivel de salinización, trae aguas superficiales con alto contenido salino desde la provincia de Santiago del Estero, sus desbordes han salinizado a otros paleocauces cercanos.

Area 3 sector correspondiente a paleocauces del Bermejo Iriondo 2011. Suelen portar agua de calidad aceptable.

Area 4 Comprende el sector de Planicie de lagunas irregulares Iriondo 2011. Comprende un sector con problemas de inundaciones y anegamientos, suelos muy impermeables. Sector donde las arenas de la Formación Arenas Puelches pueden encontrarse a una profundidad aproximada de 20 m bajo nivel del terreno. (según los escasos datos de perforaciones antecedentes). En este sector es importante

Area 5 Cauces más actuales del salado

Area 6 Sector próximo al cauce del Arroyo Golondrinas sistema del Paraná, Iriondo 2011.

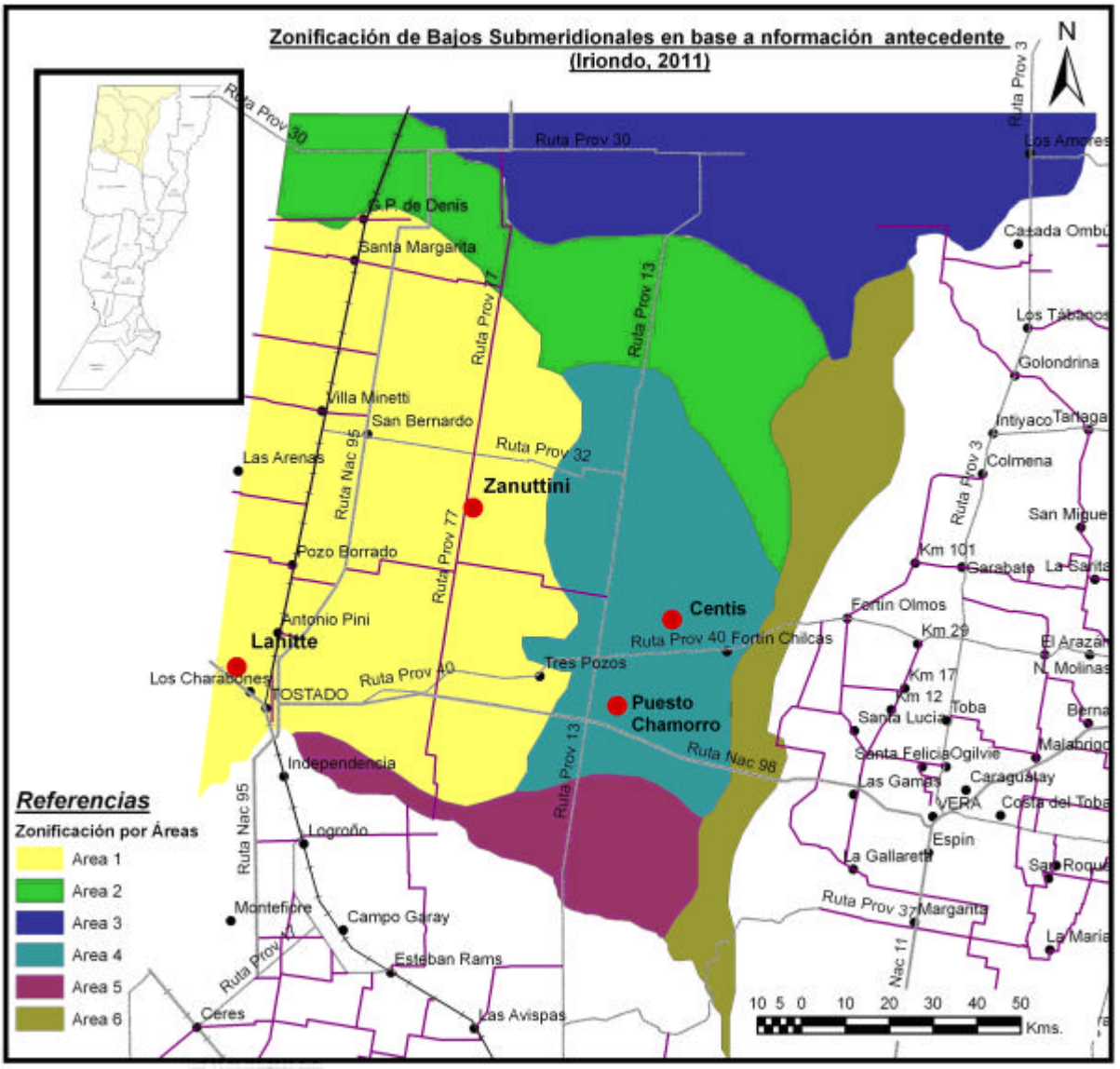


Figura 13 Zonificación en base criterio geomorfológico basado en Iriondo 2011

Profundidades de la freática

En el Plano 2 se presenta la profundidad de la freática en metros, los datos presentados corresponden a valores medidos en los años 2008-2009, en momento de escasez de precipitaciones las mismas en la zona se encontraban en general entre los 3 y los 6m.

Se observan puntos con mas de 6m de profundidad de la freática posiblemente algunos asociado a la sobre explotación de los pozos durante este período seco. En el sector sudoeste, no se observan profundidades > 6m, al sur de la ruta nacional 98, se observa un punto con freática < de 3m.

Entre las rutas Nacional 95 y provincial 77 se concentran las mayores profundidades.

En el Plano 3 se presentan cuatro categorías de intervalos de las conductividades eléctricas de las aguas en el se observa la gran variabilidad de las mismas. Las altas conductividades por encima de los 10000 microS/cm se midieron, en mayor número, hacia el centro este de la región. El sector del domo occidental presenta en general valores inferiores a los 10000 microS/cm, aunque puede observarse la presencia de casos aislados en todos los sectores, lo que muestra la necesidad de seguir profundizando los estudios para realizar una delimitación de las áreas. De todos modos se muestra lo dificultoso, por la heterogeneidad existente, que es contar en la zona con aguas aptas para consumo ganadero.

Plano 4 en este se clasificó la información proveniente de los Sondeos Eléctricos Verticales en tres categorías perforar, no perforar y dudoso. En el área 1 correspondiente a las zonas del domo occidental y derrames del salado, en general se ubican mayor cantidad de SEV con características para realizar "perforaciones". En la zona 4 correspondiente al sector denominado de lagunas irregulares predominan las categorías de "dudosos" y "no perforar". En síntesis se observan condiciones más desfavorables hacia el este y el norte de la zona.

En el área de la cañada de las víboras se observan SEV dentro de la categoría "no perforar" lo que demuestra la dificultad en este sector para obtener aguas con cualidad químicas aceptables para uso ganadero.

Si se observan los Planos 2 y 5, se advierte un ascenso de los niveles sobre todo en el área de las lagunas irregulares, y sectores bajos como Aportes directos al Salado, Bajos asociados al Arroyo Golondrinas.

Tanto en el Plano 3 como el 6 se observa la salinización hacia el oeste, sobre todo en el área 4 de lagunas irregulares.

Sistemas Hidrogeológicos No Típicos

Los **Sistemas hidrológicos no típicos**, fueron definidos por Fertonani, Prendes, 1984, para identificar a cuencas de llanuras donde los límites son difíciles de definir, las aguas superficiales presentan baja energía cinética y tendencia al almacenamiento en depresiones del terreno, características de la escasa pendiente topográfica.

En estos ambientes de llanuras, también se observan características hidrogeológicas particulares debido a la escasa energía cinética consecuencia del escaso gradiente hidráulico con un fuerte predominio de movimientos verticales

sobre los horizontales. Tendencia al almacenamiento y grandes variaciones hidroquímicas en cortas distancias donde en un mismo espesor conviven aguas de diferentes densidades. En un ambiente sedimentario heterogéneo, con mezclas de diferentes granulometría de materiales. Estas particularidades propias de estos sistemas permiten definirlos como "**Sistemas Hidrogeológicos No Típicos".**

Por lo tanto se define a los "**Sistemas Hidrogeológicos No Típicos"** a aquellos que se observan en zonas muy llanas, de baja pendiente piezométrica y permeabilidad moderada a baja, que se caracterizan por variaciones hidroquímicas de modo que a un mismo nivel conviven aguas de diferente contenido salino y densidad. Las variaciones salinas encontradas en el sistema acuífero, se reflejan en los contrastes resistivos a partir de la aplicación de métodos geoeléctricos. Las bajas pendientes hidráulicas del orden de cm por km. determinan lentos movimientos horizontales del flujo. Las bajas permeabilidades de estos sedimentos cuaternarios lo ubican en el entorno de los acuitardos. Estos sistemas presentan frecuentemente sectores menos salinos contenidos en los sedimentos mas permeables limosos arenosos y son los únicos aprovechables para la producción ganadera y el abastecimiento humano en un vasto sector de la llanura chaqueña. Por lo tanto de gran impacto en las posibilidades productivas de la región. Los rasgos positivos del relieve actúan como divisorias de aguas superficiales y subterráneas. La recarga es un efecto pulsante que actúa como pistón, desplazando y diluyendo las aguas dentro del acuífero. El reservorio de agua en el acuífero esta constituido por aguas de diferente calidad y densidad actuando como líquidos inmiscibles conformes al principio de Ghyben- Herzberg. El upconing es otro de los efectos que se observa en estos acuíferos. El piso conductor, en los perfiles geoeléctricos es ondulado, no presentando límites nítidos. Dos elementos se describen como portadores de agua de mejor calidad: Los "bolsones de agua dulce", sectores acuíferos con mejor resistividad que el entorno, por la presencia de sedimentos mas permeables y los "paleocauces", relictos de la gran actividad fluvial durante el cuaternario, con sedimentos arenosos. Los abanicos aluviales que más trabajaron en el chaco Santafesino son los provenientes de los ríos Salado, Bermejo y Paraná. Los movimientos de flujo en sentido vertical superan a los movimientos en sentido horizontal impidiendo las mezclas de agua. Las mismas tienen una conductividad eléctrica que puede variar de 1000 a 15000 μS/cm. (a veces aun más de 20000 μS/cm). La metodología para su detección se realiza mediante el análisis

combinado de imágenes satelitales, fotos aéreas y prospección eléctrica con calicatas eléctricas y Sondeo Eléctrico Vertical. A partir del 2004, se ha notado una disminución de las precipitaciones, hasta una tercera parte de las precipitaciones de años húmedos, lo que repercute en el agua disponible para la producción ganadera. La solución que se ha probado a nivel experimental es la recarga artificial del sistema a partir de obras con pozos pocos profundos de inyección hasta los niveles permeables, los que han producido resultados positivos.

Consecuencia del escaso movimiento, las sales se acumulan, y las aguas presentan concentraciones que no pueden ser utilizadas. Es por ello que la posibilidad de realizar una recarga artificial en estos sistemas implica realizar una circulación de las aguas del acuífero que permitan con el tiempo el lavado y su utilización como reservorios, almacenando las aguas menos mineralizadas.

10- TOMA DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS

Durante la ejecución del trabajo se midieron profundidades de la freática en 105 "puntos de agua". La máxima profundidad registrada fue de 9m en el Pozo 63 establecimiento Santa María y la mínima 0m en el Establecimiento Cuero Crudo Pozo 73 ambas profundidades consideradas desde nivel del terreno natural.

Se seleccionaron 50 puntos de agua para la toma de muestra para envío al laboratorio del MASPyMA y cuyos protocolos pueden consultarse en el Anexo 3, también en dicho Anexo se presentan las planillas que se elaboraron a partir de estos datos para trabajar en GIS con el fin de elaborar la clasificación de aguas.

En el laboratorio del MASPyMA se realizaron las siguientes determinaciones:

Sólidos totales, alcalinidad total, Cloruros, Sulfatos, Amoníaco, Ph, Nitrito, nitrato arsénico conductividad, dureza de calcio, sodio potasio.

Se contó con un análisis realizado por INTA Reconquista en el Establecimiento Los Dos Hermanos propiedad de Mireya Bien Pozo 32: que contó con las siguientes determinaciones:

Sólidos totales, Alcalinidad total, Dureza total, Cloruros, Sulfatos, Ph, Nitrato, conductividad, dureza de calcio, Magnesio, Sodio.

11- ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROQUÍMICA- CLASIFICACIÓN DE AGUAS.

Antecedentes

La primera clasificación de las aguas de los Departamentos 9 de julio y Vera data del siglo pasado, en la década del 30 y fueron divulgados en 1939 por el Ministerio de Instrucción Pública y Fomento Publicación Técnica Nº12 “AGUAS DE LA PROVINCIA DE SANTA FE”. Estos antecedentes fueron los únicos informados hasta la fecha sobre las aguas de estos departamentos del norte santafesino.

En ellos se observa el predominio del Sodio, pero la representación de los aniones muestra una gran dispersión. A modo de ilustración se muestran las Figuras 14 y 15. Además no se precisan los lugares y características de los pozos donde fueron sacadas las muestras para poder realizar un mejor análisis de la información.

A los efectos de conocer las características químicas de las aguas subterráneas en los Bajos Submeridionales se realizó un muestreo de aguas para proceder a determinar los aniones y cationes que la caracterizan.

A continuación se muestra la representación según PIPER de aniones y cationes que permite distinguir en el rombo superior un punto integrado que según el lugar dentro del mismo permite la clasificar las aguas. Ver Figura 16

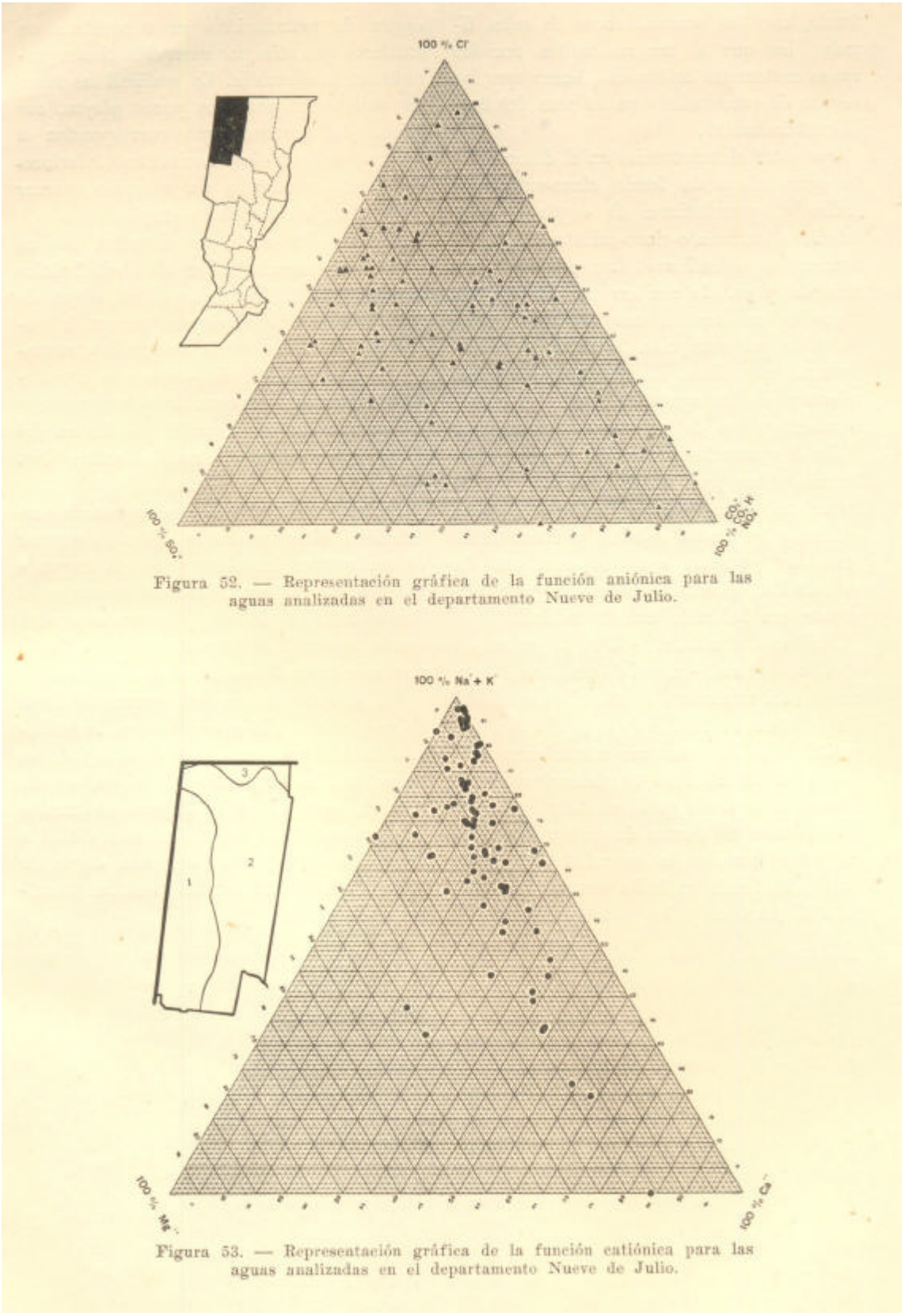


Figura 52. — Representación gráfica de la función aniónica para las aguas analizadas en el departamento Nueve de Julio.

Figura 53. — Representación gráfica de la función catiónica para las aguas analizadas en el departamento Nueve de Julio.

Figura 14 representación aniónica y catiónica de aguas del departamento 9 de julio fuente: Gollan Lachaga

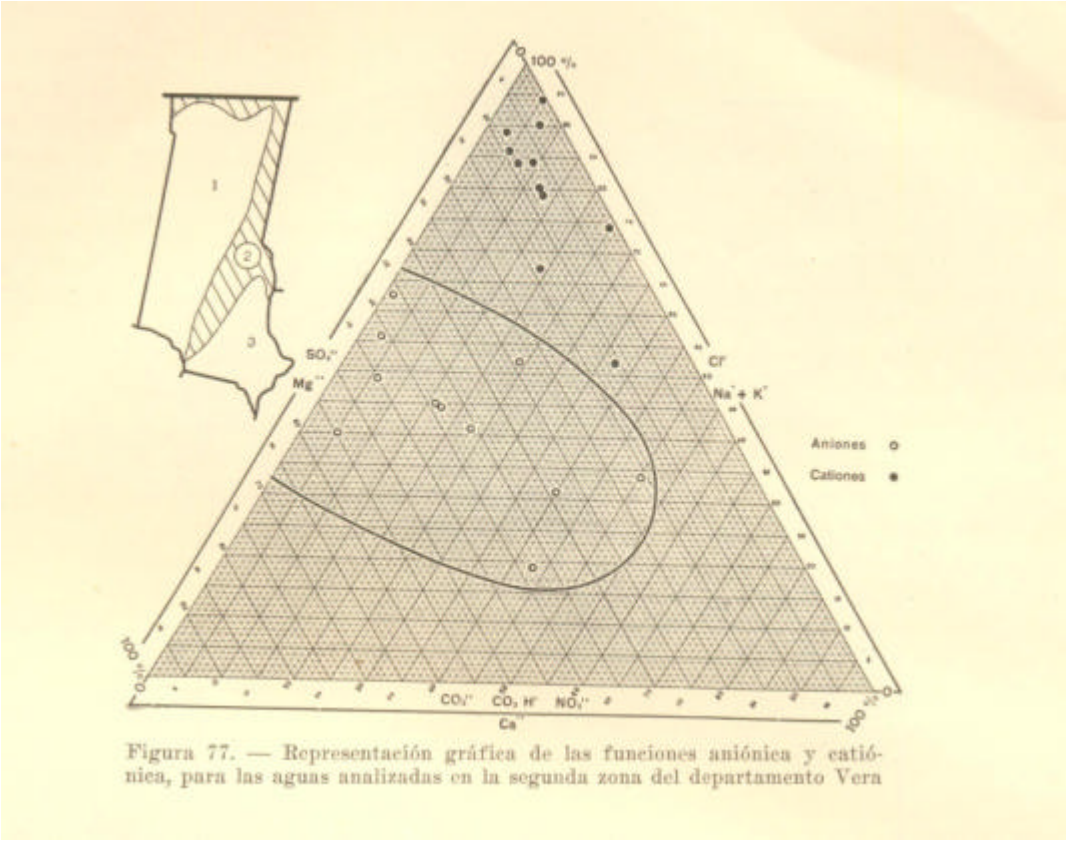


Figura 77. — Representación gráfica de las funciones aniónica y catiónica, para las aguas analizadas en la segunda zona del departamento Vera

Figura 15 representación aniónica y catiónica de aguas de un sector del d to Vera. Fuente: Gollan Lachaga.

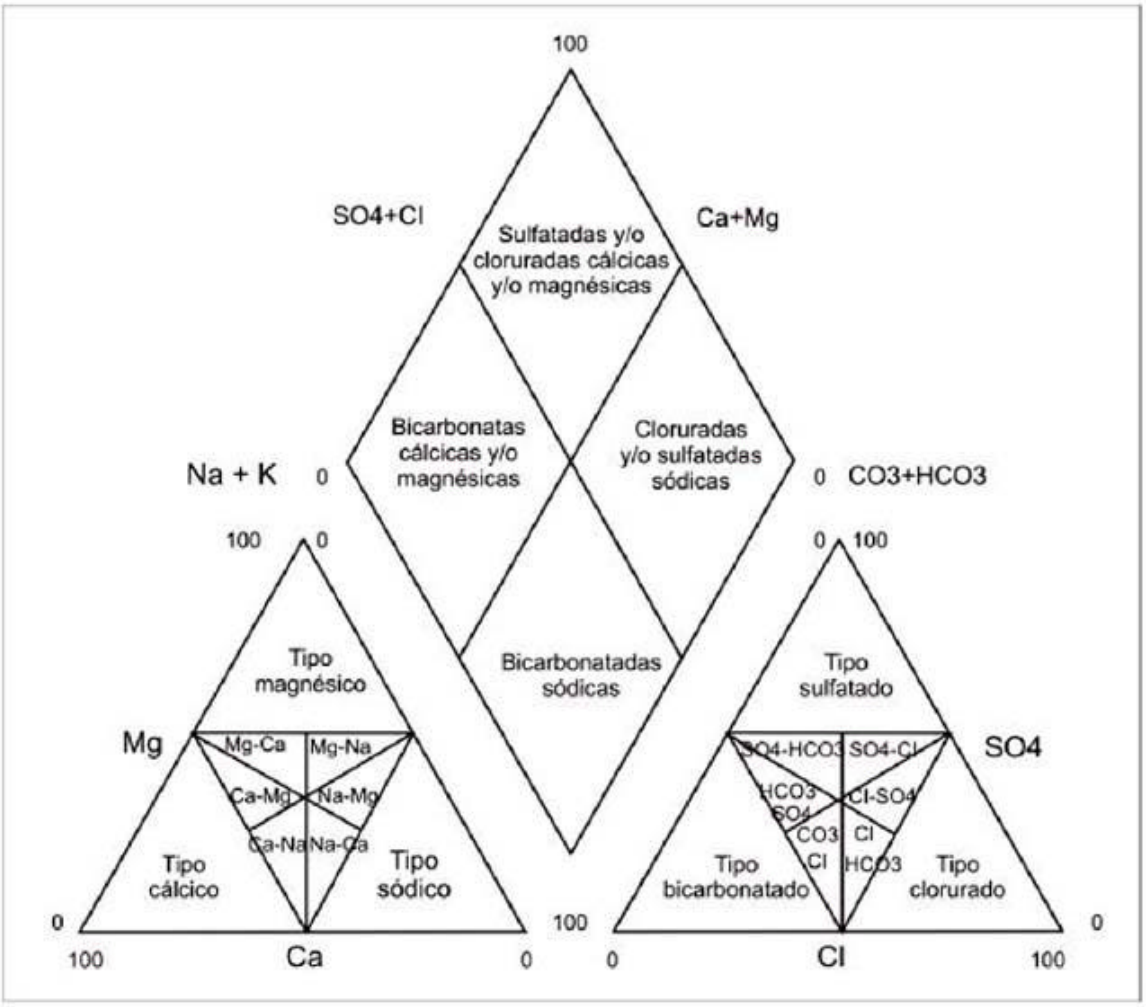


Figura 16 Representación de PIPER para clasificar aguas según aniones y cationes.

En las figuras 17a y b se representaron en mili equivalentes / ltro, los aniones y cationes resultantes de los análisis de las muestras de aguas extraídas en este estudio.

En muchos casos antes de la extracción de la muestra se procedió al bombeo para el desarrollo de los piezómetros lo que ocasionó demoras en los trabajos de campo, pero sin dudas mejoró la calidad de los datos.

En estos gráficos se observa el predominio de las aguas cloruradas sulfatadas sódicas. O sulfatadas cloruradas sódicas que se presentan como dominantes en el área.

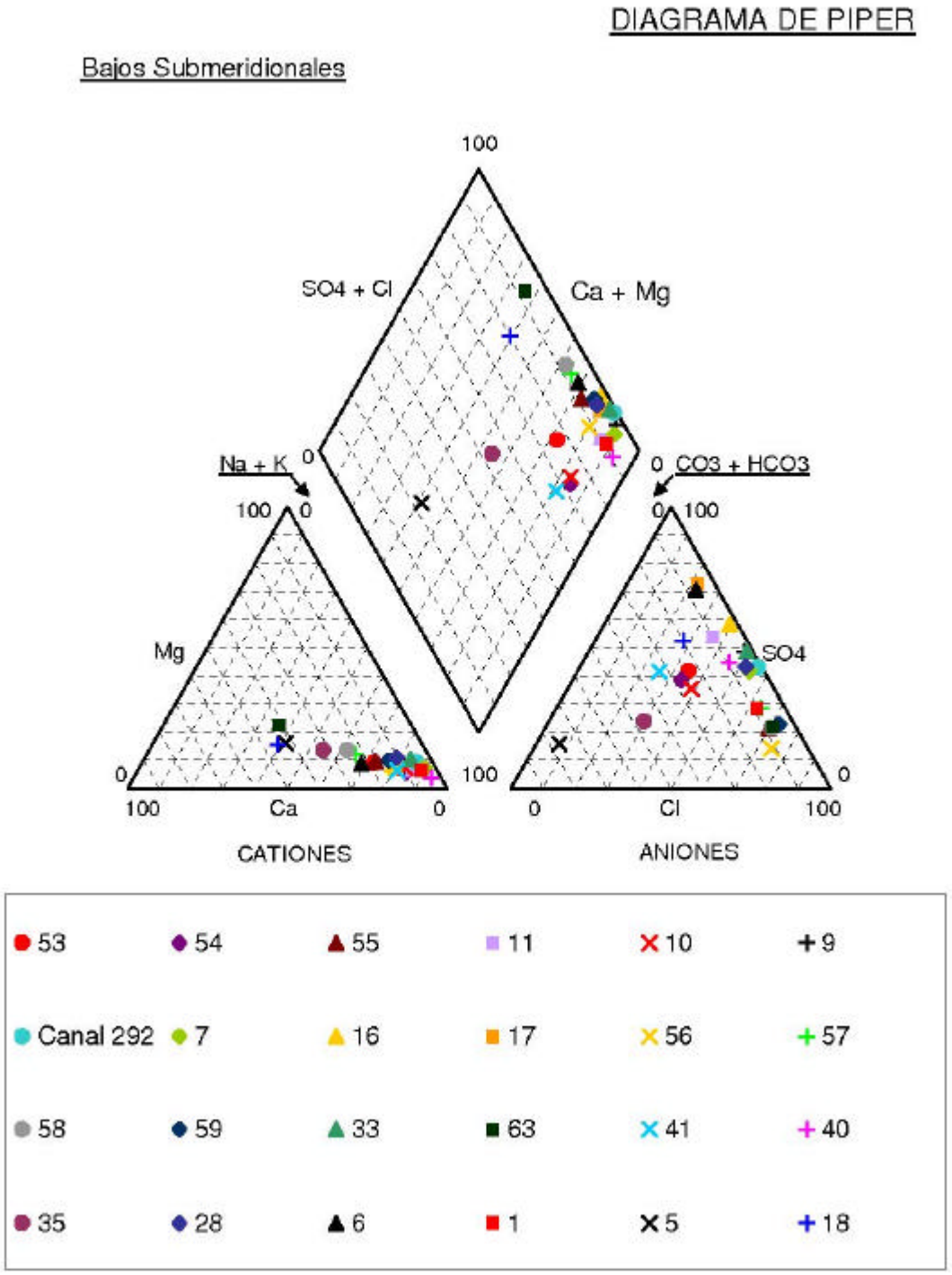


Figura 17 a Representación gráfica PIPER

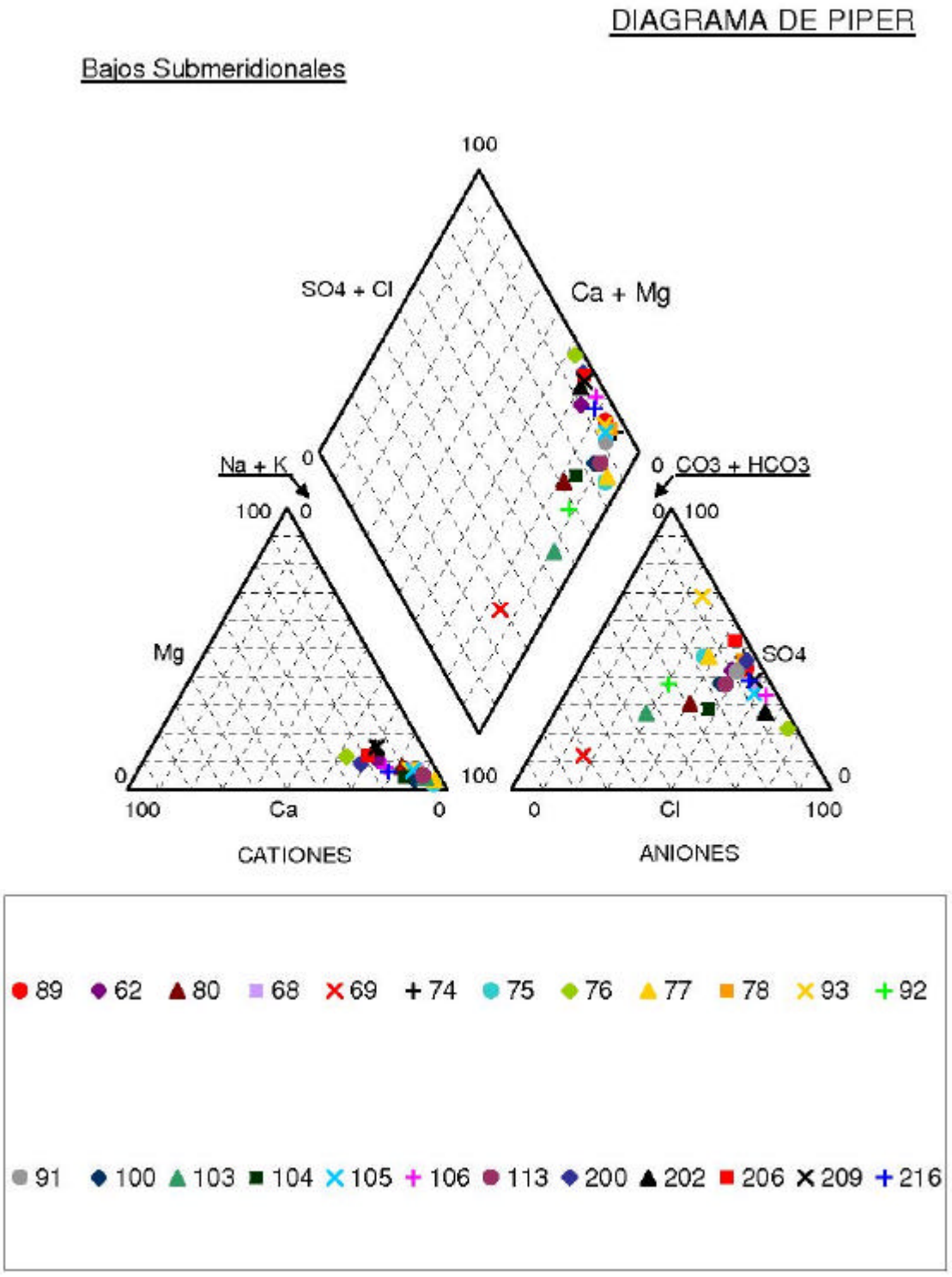


Figura 17 b Representación gráfica PIPER

También se trazaron los diagramas de SCHOELLER – BERKALOFF donde se observa este comportamiento. El lugar dentro del diagrama, hacia arriba del mismo, es consecuencia del alto contenido salino presente en las aguas. (Figuras 18a y b).

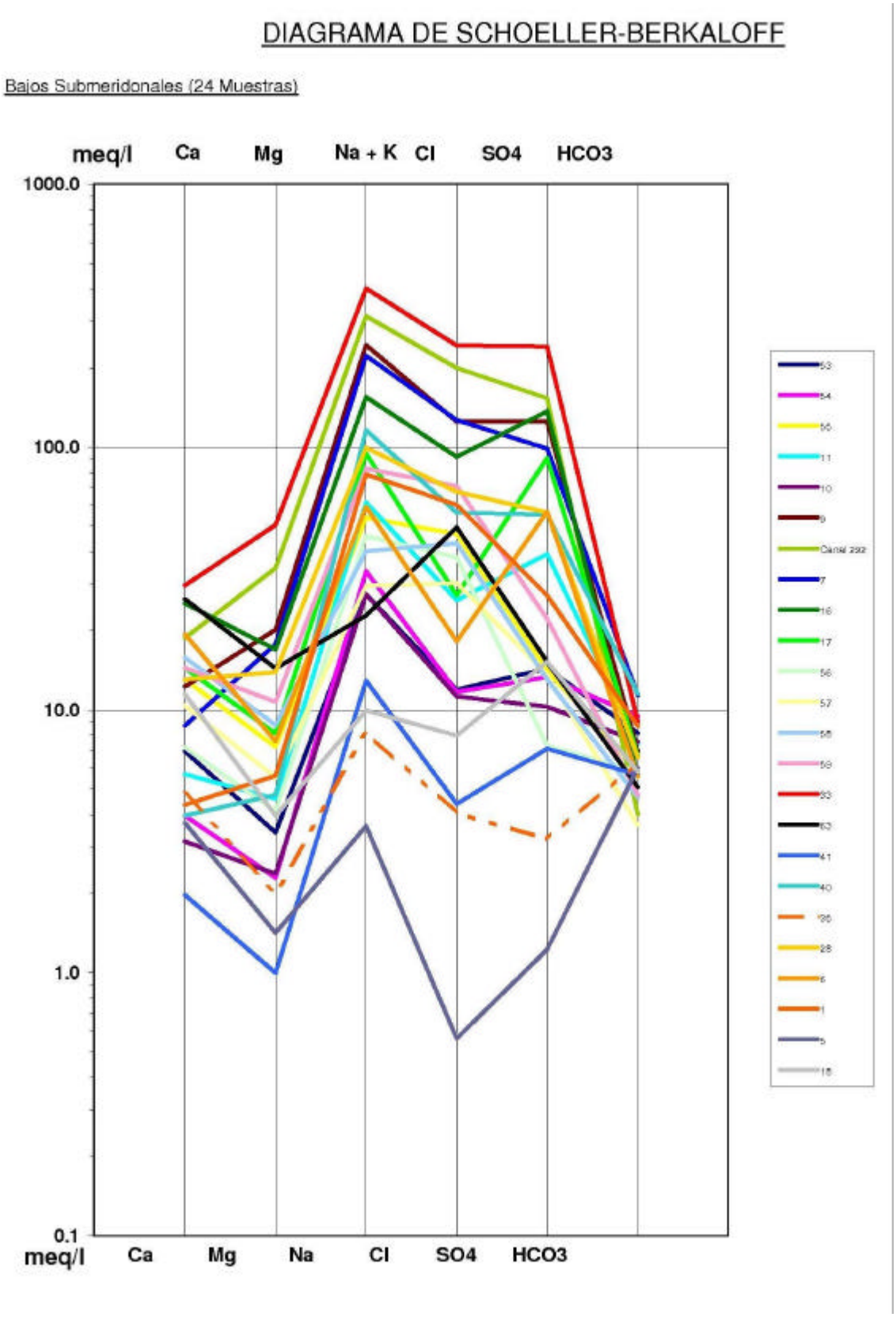


Figura 18 a Representación de muestras de aguas SCHOELLER- BERKALLOFF

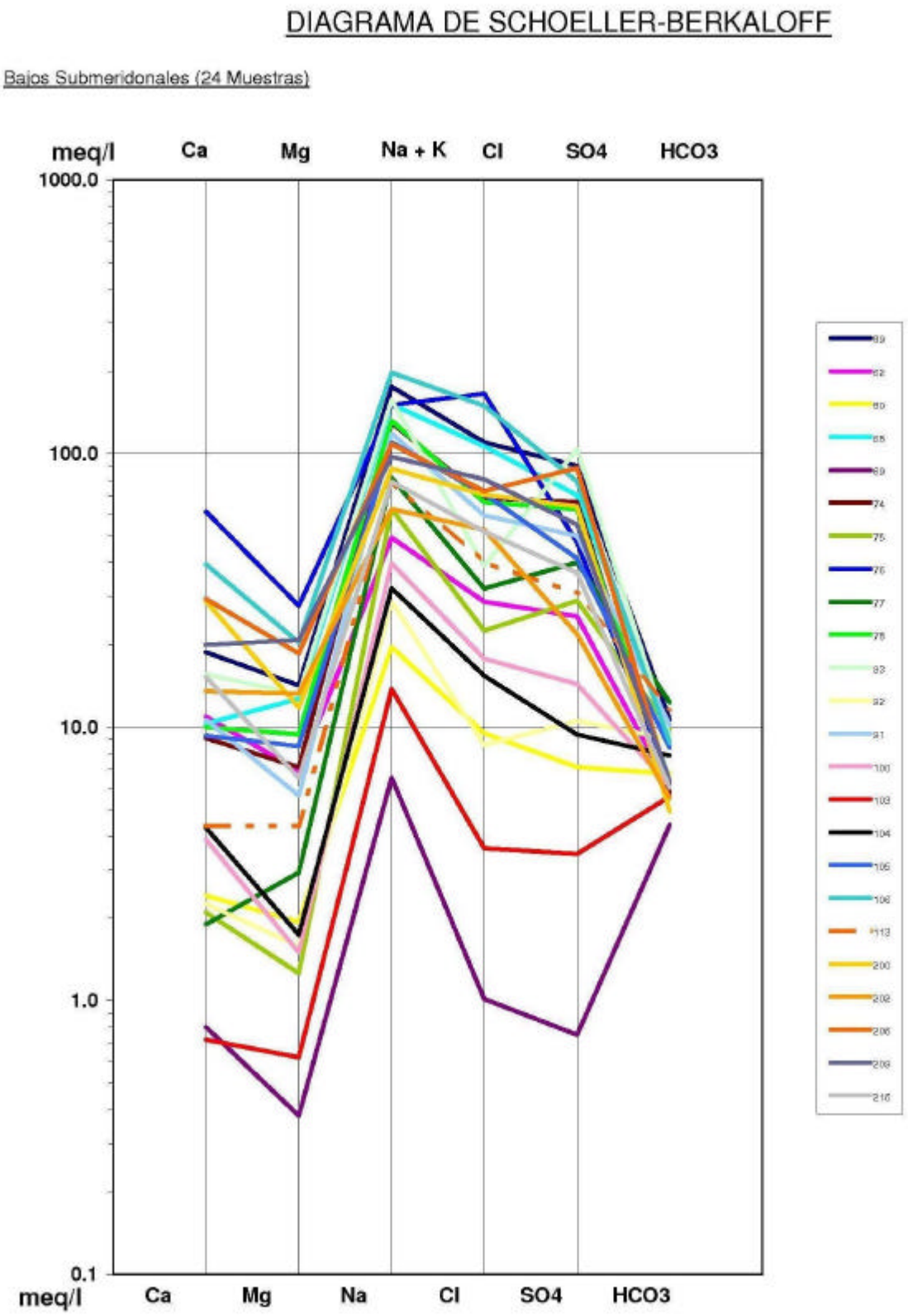


Figura 18 b Representación de muestras de aguas SCHOELLER- BERKALLOFF

A continuación se presentan los gráficos de SCHOELLER- BERKALLOFF por grupo. Se confeccionaron 4 grupos: Sulfatadas Cloruradas sódicas, cloruradas sódicas, sulfatadas sódicas y bicarbonatadas sódicas. Es posible integrar por sus

características a los grupos sulfatadas cloruradas sódicas y las sulfatadas sódicas ya que estas últimas también presentan contenido en cloruros aunque en menor cantidad que en el grupo de las sulfatadas cloruradas y agrupar en 3 conjuntos principales de aguas. Ellos son sulfatadas cloruradas sódicas, cloruradas sódicas y bicarbonatadas sódicas. Con esta forma de agrupamiento se observa que aproximadamente el 80 % de las aguas presentan aniones de sulfatos y cloruros en cantidades de importancia.

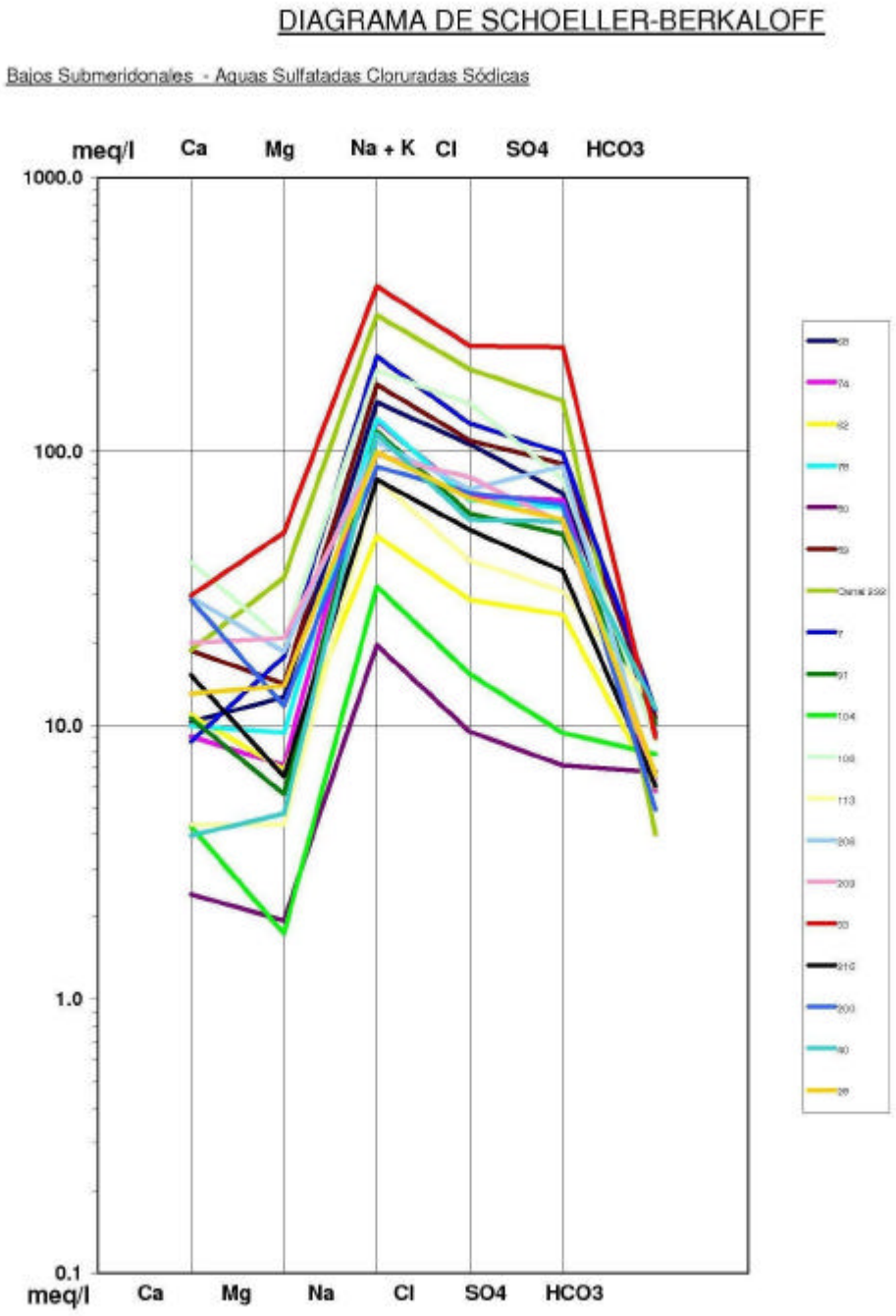


Figura 19 Representación de las aguas sulfatadas cloruradas sódicas

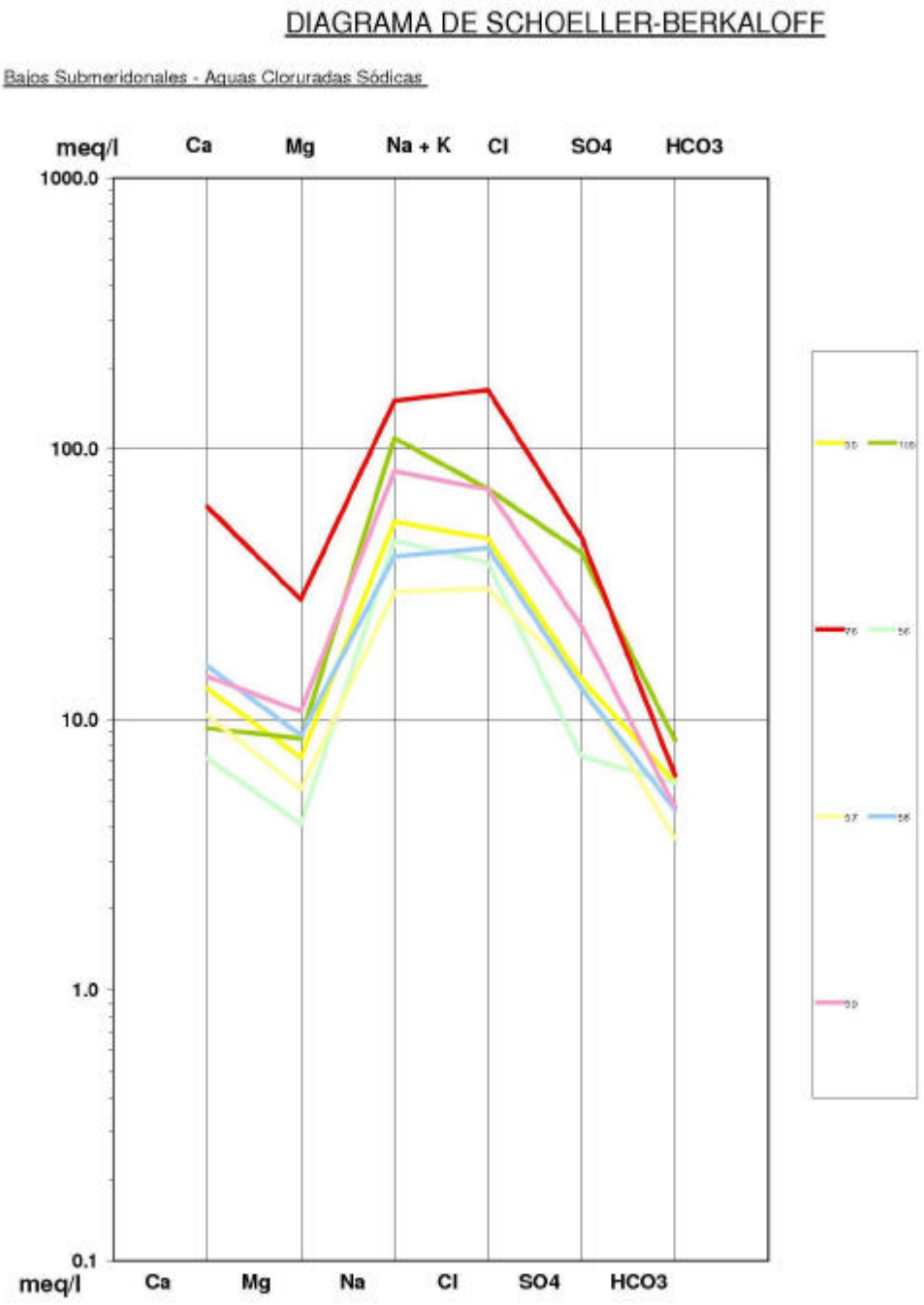


Figura 20 Representación de las aguas cloruradas sódicas

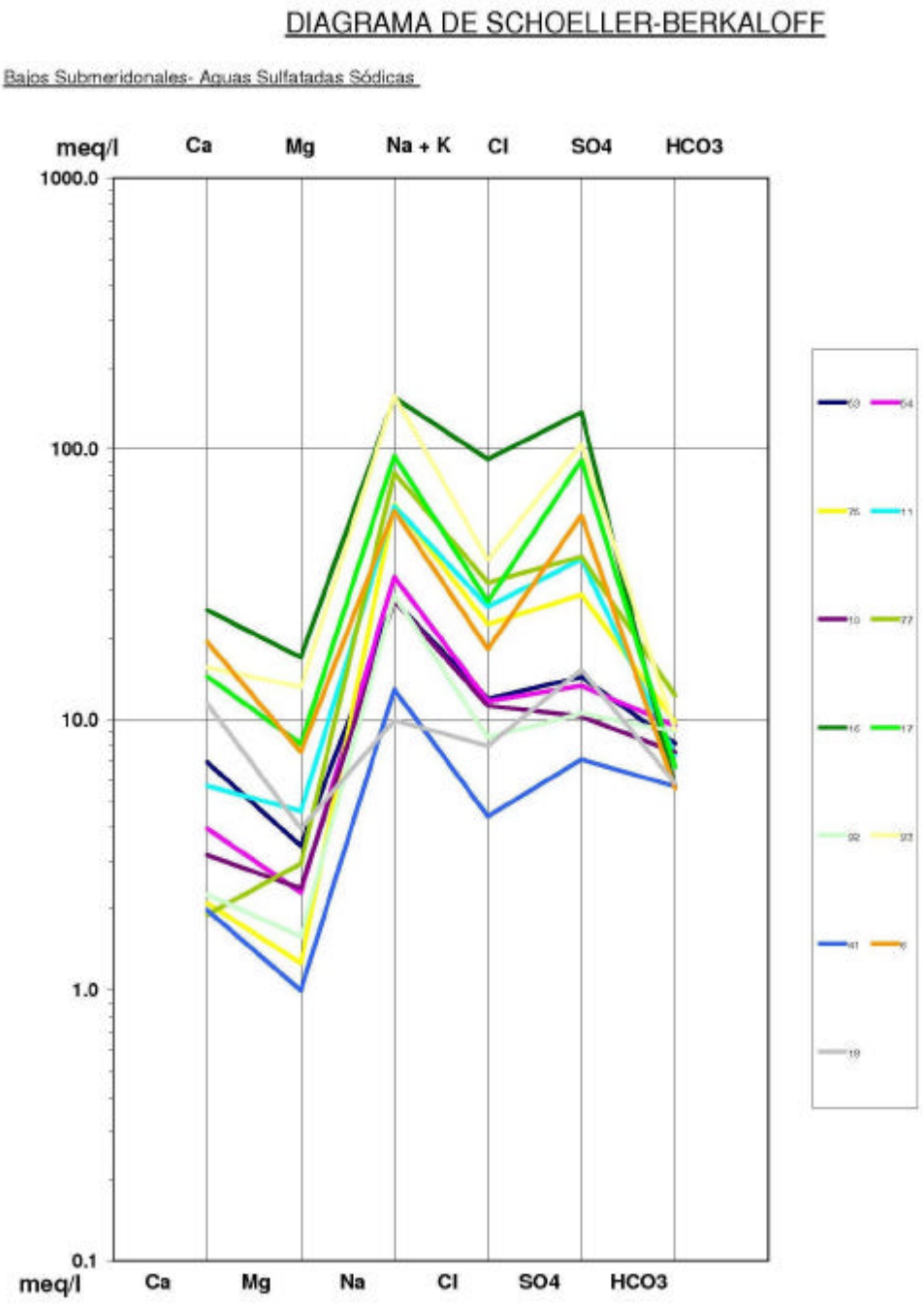


Figura 21 Representación de las aguas sulfatadas sódicas

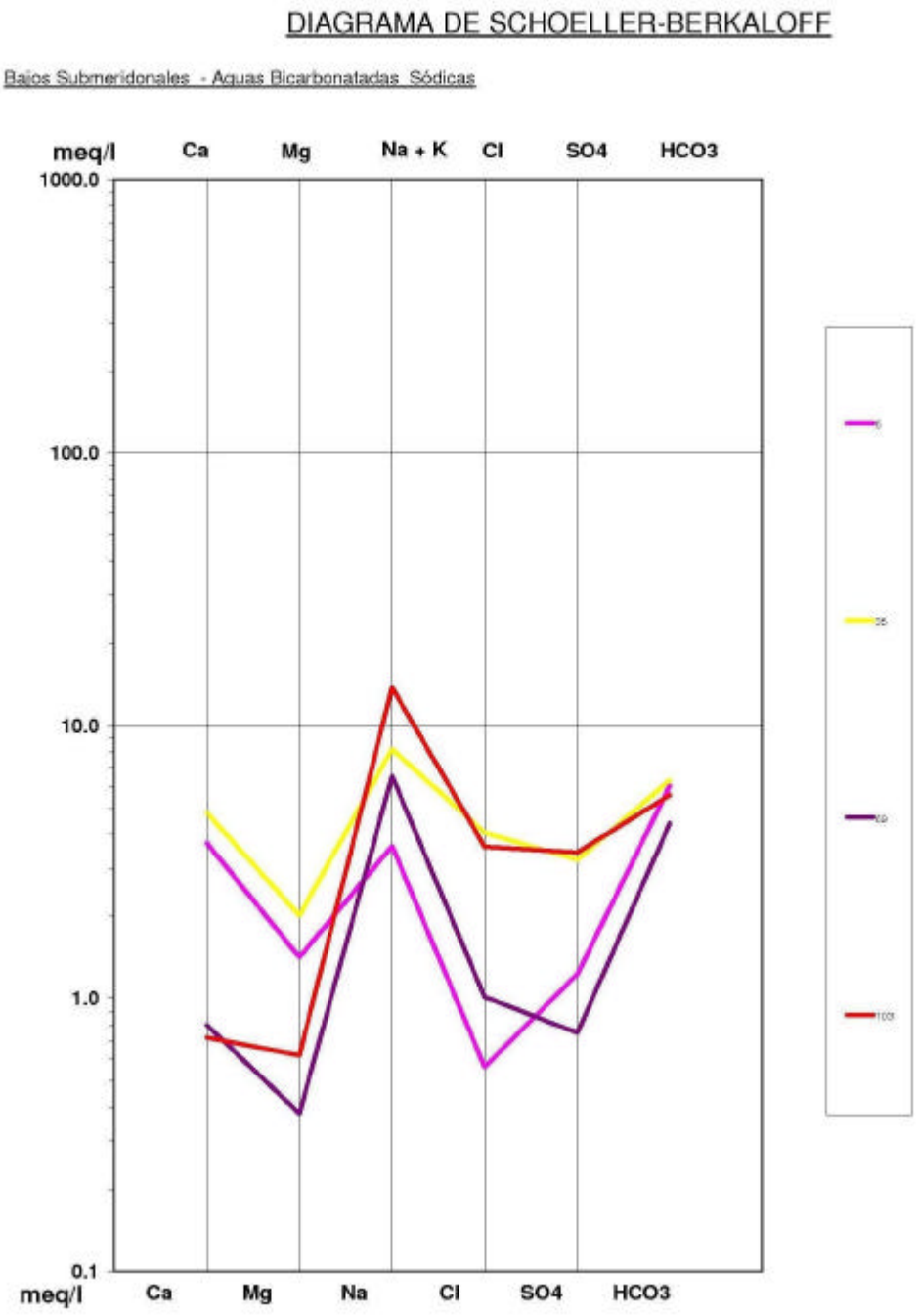


Figura 22 Representación de las aguas bicarbonatadas sódicas

12- ANÁLISIS ESPACIAL DE LA INFORMACIÓN HIDROQUÍMICA A TRAVÉS DEL GIS

Plano 7 Anexo 2 ubicación de puntos de muestreo y clasificación de las aguas Primer nivel acuífero (inventario 2011). Las aguas se clasificaron en las siguientes cinco categorías:

Sulfatadas cloruradas sódicas
Sulfatadas sódicas
Cloruradas sódicas
Bicarbonatadas sódicas
No clasificadas dentro de las anteriores.

Se observa que el catión Sodio es el que se destaca en todas las muestras de aguas y los aniones Cloruro y Sulfato son los que predominan. Este último es el mas problemático para las aguas para el ganado vacuno por su efecto laxante cuando supera los valores límites.
Los aniones cloruros y sulfatos normalmente son indicadores de aguas profundas, sin embargo en Bajos Submeridionales se encuentran en cantidades elevadas dentro del Primer nivel acuífero donde si se espera la presencia mayoritaria de aguas bicarbonatadas. Estas últimas se encontraron presentes en 4 muestras de las analizadas lo que representa el 8 % de las mismas.
No puede establecerse, por lo menos con la información que se dispone hasta ahora, una correlación entre los componentes químicos del agua y su ubicación en el espacio. Solamente a grandes rasgos se observa un aumento de salinidades hacia este del Dpto. 9 de Julio y oeste del Dpto. Vera.

13-MEDICIÓN DE NIVELES ESTÁTICOS Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA

13.1 Planilla "CENSO DE PUNTOS DE AGUA"

A continuación se presenta una planilla (que se acordó durante la ejecución del presente trabajo) para unificar los relevamientos de "puntos de agua" en el sector de Bajos Submeridionales entre los organismos: INTA- INA y MASPyMA. El objetivo

perseguido fue aunar la forma de colectar datos que son importantes para su interpretación en gabinete en forma correcta, de modo que todos los involucrados en obtener datos de una zona manejen la misma metodología de trabajo.

Esta planilla es una síntesis de los elementos que deben ser considerados en los trabajos de inventario de datos hidrogeológicos en campo.

La información se vuelca en una planilla por pozo donde se colocan los datos que identifican al mismo, al propietario y lo ubican según las coordenadas correspondientes.

Luego va la identificación del elemento censado, pozo, perforación, canal, represa, o curso natural.

A continuación, y según el elemento descripto anteriormente, se observa un campo de la planilla donde se identifica el tipo de extracción, el uso, volumen de extracción, altura del brocal, nivel medido a partir del brocal, temperatura, ph y conductividad.

De ser un pozo tipo araña, se identifican para numerar los pozos de cada pata a partir del norte en sentido de las agujas del reloj. Además se deja un campo en la planilla para identificar si se toma muestra de agua para análisis físico químico y bacteriológico. Al final se dispone de un sector para incorporar observaciones que resulten de utilidad.

GOBIERNO DE SANTA FE
MINISTERIO DE AGUAS, SERVICIOS PUBLICOS Y MEDIO AMBIENTE

Censo de puntos de agua

Nº:

Fecha	Coordenadas: S: º ´ " W: º ´ "
Establecimiento:	
Propietario	Encargado:
Dirección:	
Localidad	Departamento:
Correo electrónico:	
Teléfono:	

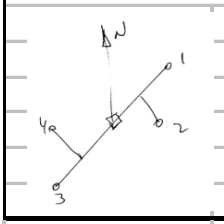
		? /dimensiones
Pozo Calzado		
Perforación		
Canal		
Rio		
Represa		

Bombeo	Molino	
	Bomba centrífuga	
	Bomba a diafragma	
	Bomba a pistón	
	Bomba a cilindro	
	Otros	

Uso:		
	Humano	
	Animal	
	Riego	
	Otros	

Volumen de extracción:

Nivel medido:	m
Altura de brocal:	m
Temp:	ºC
Ph:	
Conductividad:	µS/cm

Patas de Araña:		Nivel medido	brocal	Conductividad	Temperatura	Ph
	Perf. Centro					
	Perforación 1					
	Perforación 2					
	Perforación 3					
	Perforación 4					
	Perforación 5					

Muestra para análisis físico-quimico:	Si	No	Nº de muestra:
Muestra para análisis microbiologico:	Si	No	Nº de muestra:

Especificar si la muestra va al laboratorio con reactivo para preservación.

Identificar fuentes cercanas de contaminación.

Observaciones:

Estas planillas se utilizaron para el inventario de puntos de agua 2011, y la toma de muestra para los análisis fisicoquímicos realizados.

Con la información colectada se confeccionaron las planillas del inventario 2011, que pueden consultarse en el Anexo 5, las que permiten articular los datos con el GIS, dando lugar a la elaboración de mapas a partir de información georeferenciada.

13.2 Planos de niveles y conductividades 2011

Con los datos de campo obtenido en el inventario 2011, se confeccionaron a través del GIS los siguientes planos:

Plano 5 Anexo 2 La profundidad de la freática en el 2011 en comparación con las mediciones de años secos (2008-2009), permiten observar que los niveles en el sector central y sur del área se encuentran a menos de 3m lo que evidencia la tendencia luego de la sequía de la recuperación de los niveles del primer acuífero en los sectores mas deprimidos de la región de estudio. Presentándose, en estos lugares, los niveles de la freática mas cerca de la superficie del terreno.

Hacia el oeste predominan valores mayores comprendidos en general entre 3 y 6m.

La mayor profundidad de la freática, por encima de 6m se concentra entre las rutas nacional 95 y provincial 77 de sur a norte

Plano 6 conductividad eléctrica del agua primer nivel acuífero a partir de datos del laboratorio. Se observa la variabilidad típica de la zona.

Sin embargo es posible observar que los valores mas altos de conductividades se localizan hacia el centro de la región en el área geomorfológica de lagunas irregulares.

14- SEV EN ZONAS DE OBRAS DE RECARGA COMO BASE PARA EL PLANTEO DE LAS OBRAS.

A continuación se presentan los SEV realizados en cada una de las zonas de estudio:

LAHITE

Figura 23a

Figura 23b

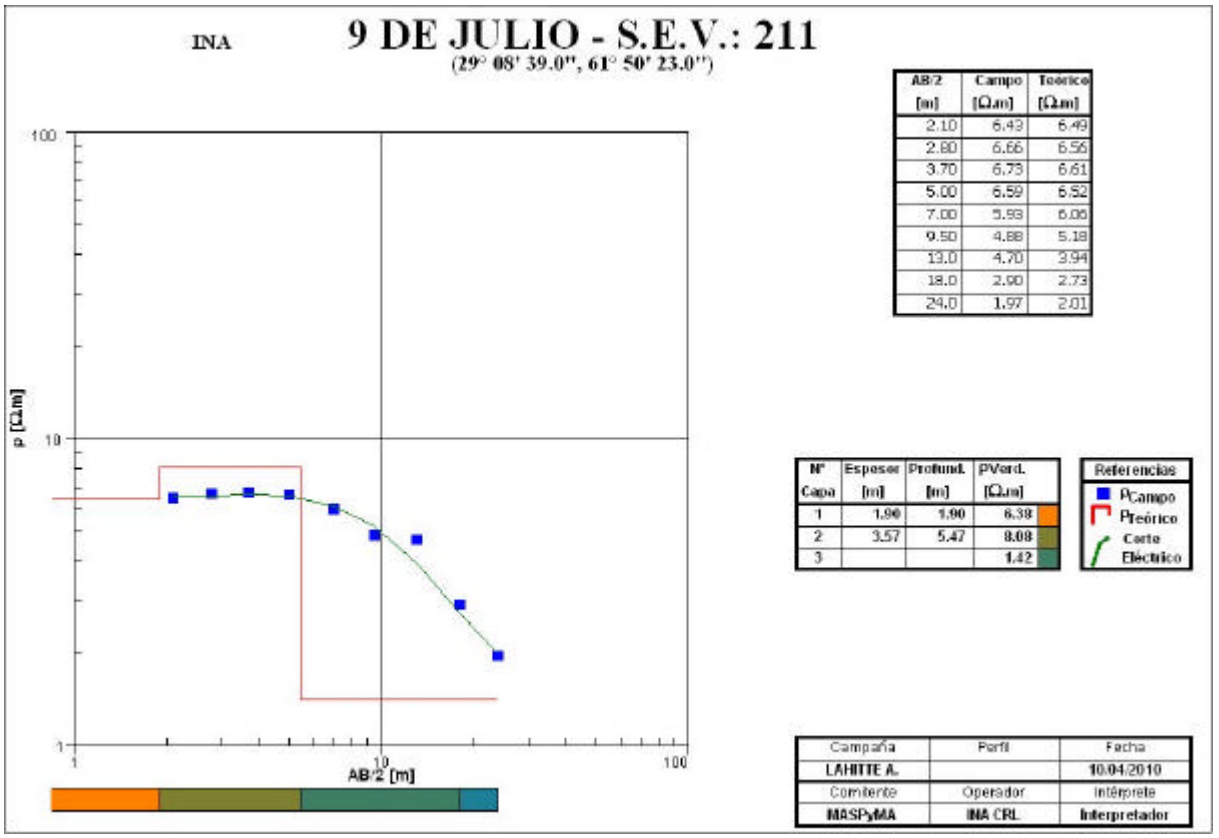


Figura 24

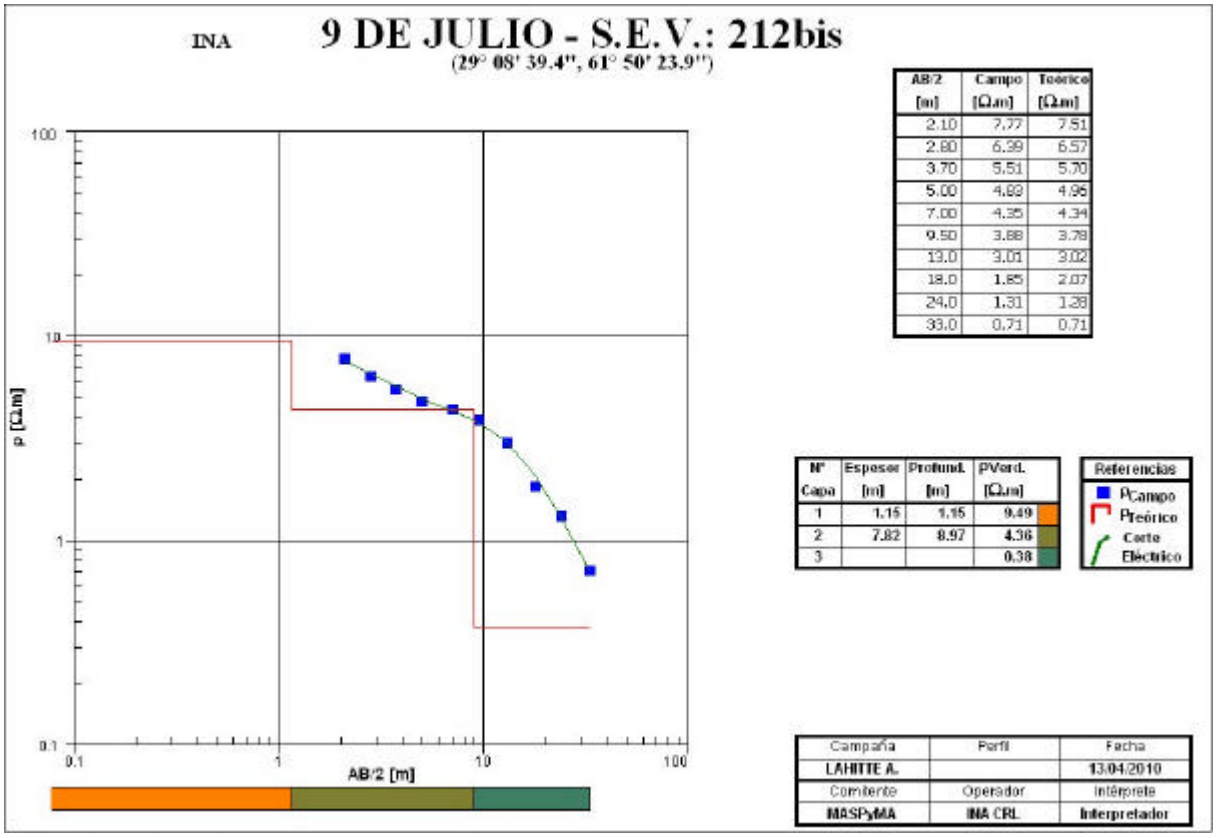


Figura 25

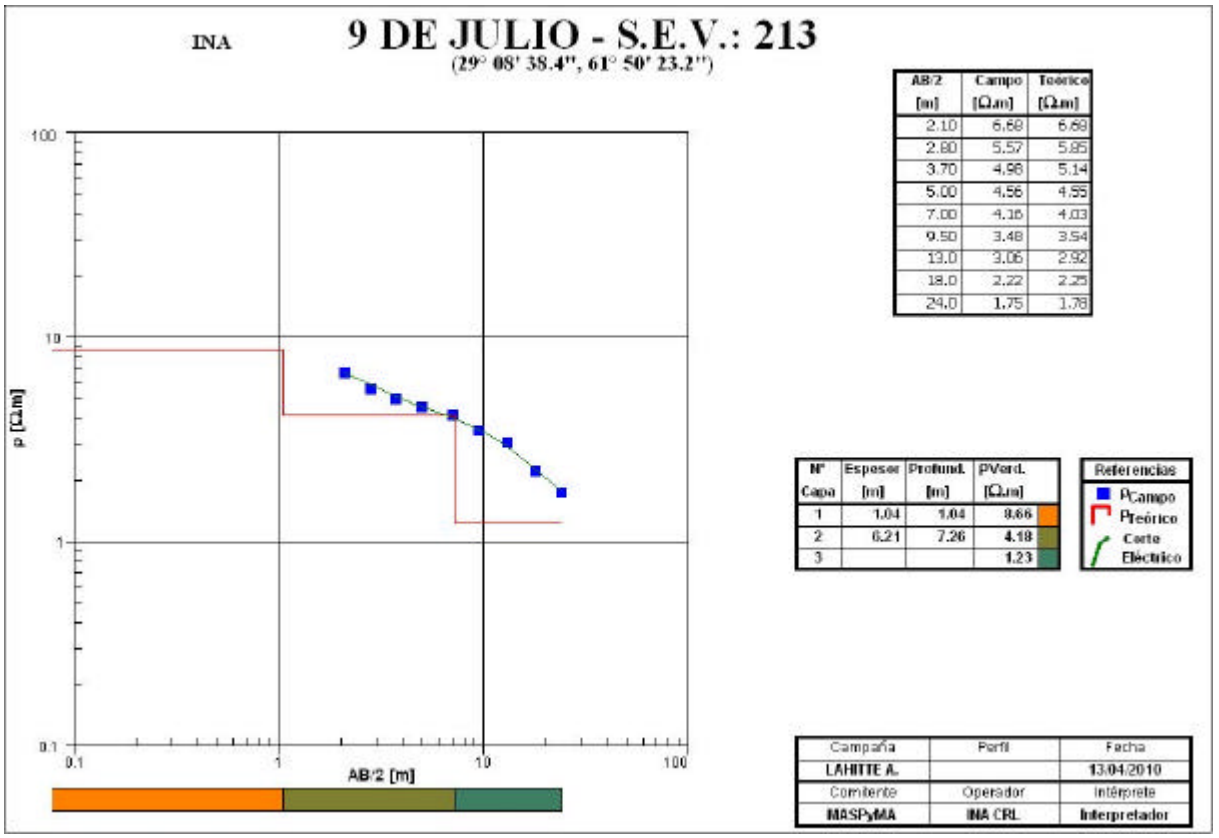


Figura 26

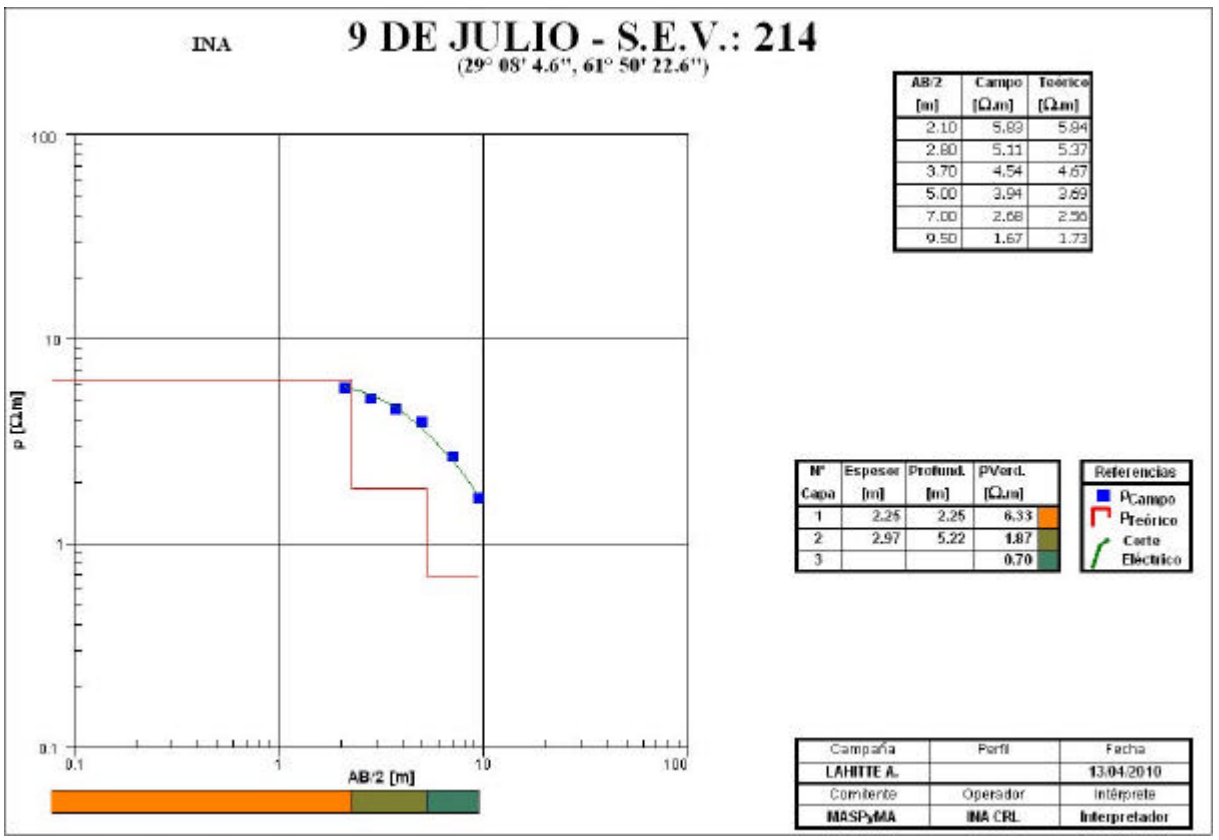


Figura 27

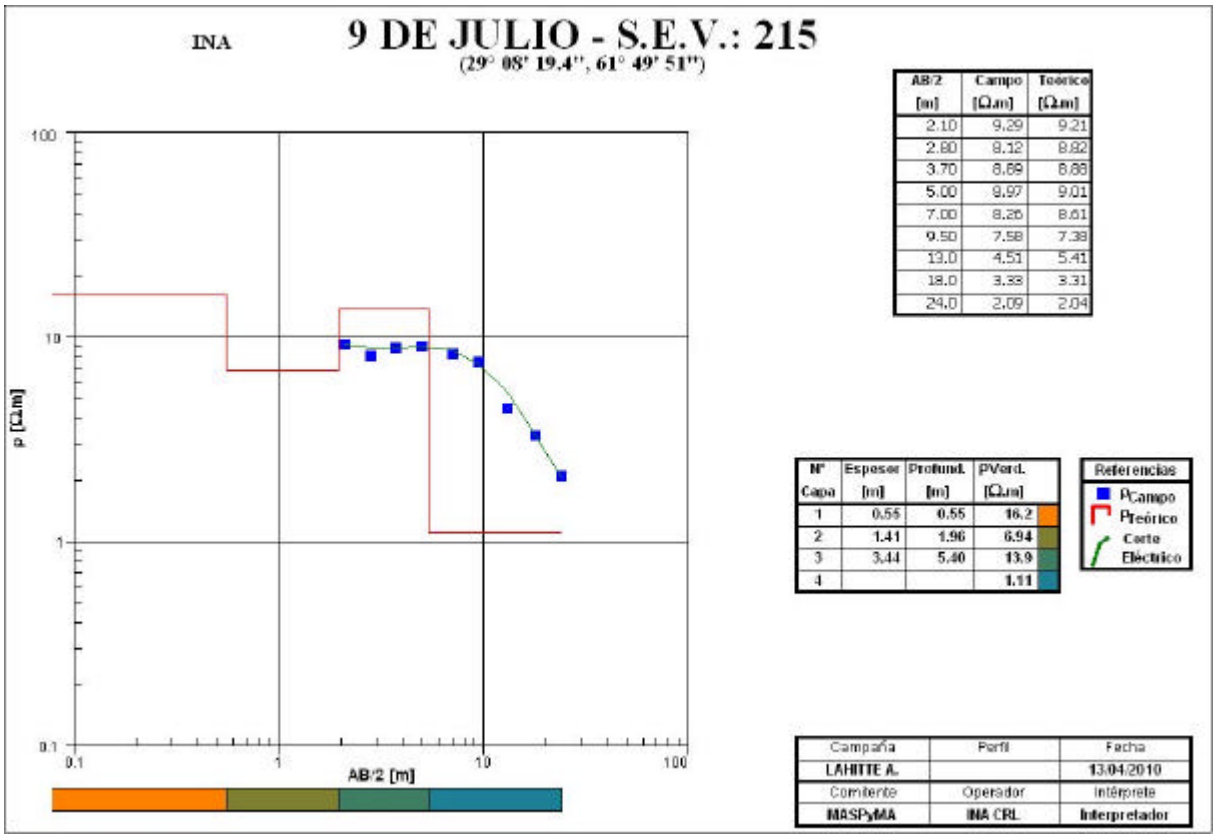


Figura 28

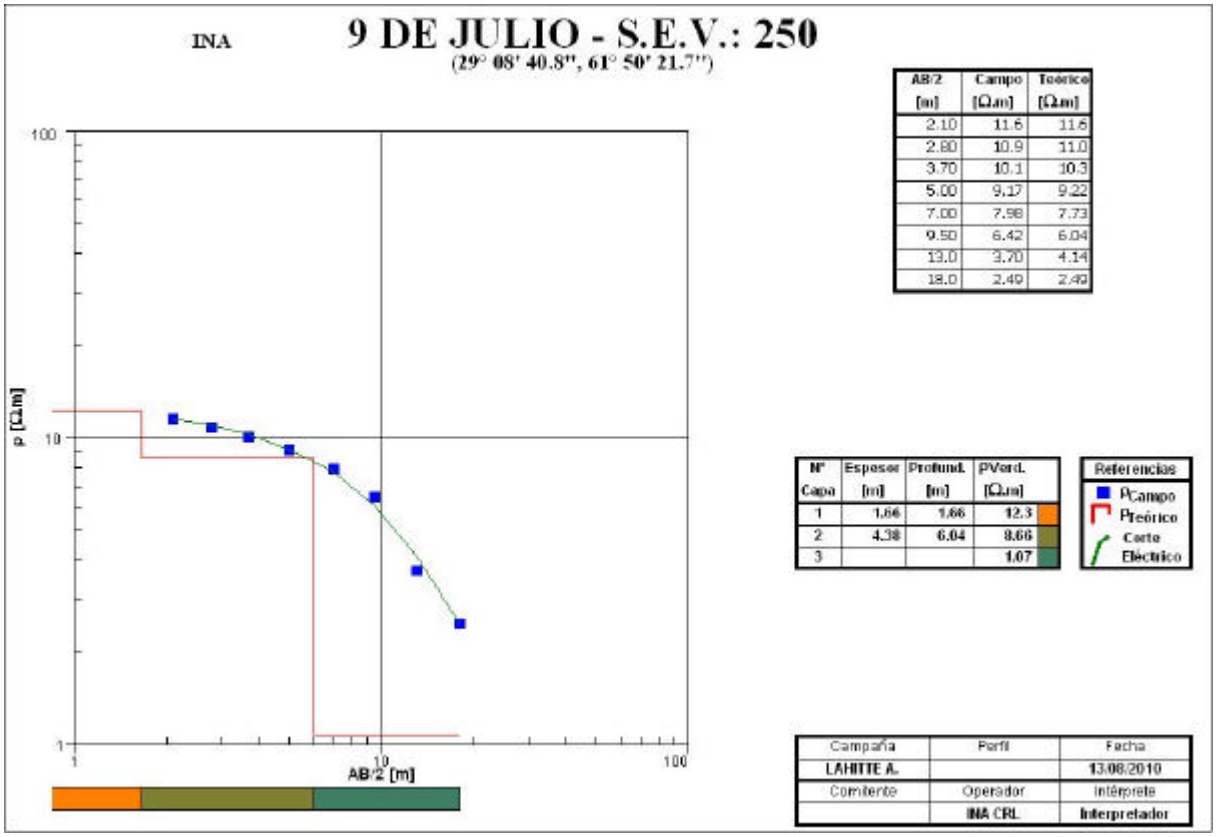


Figura 29

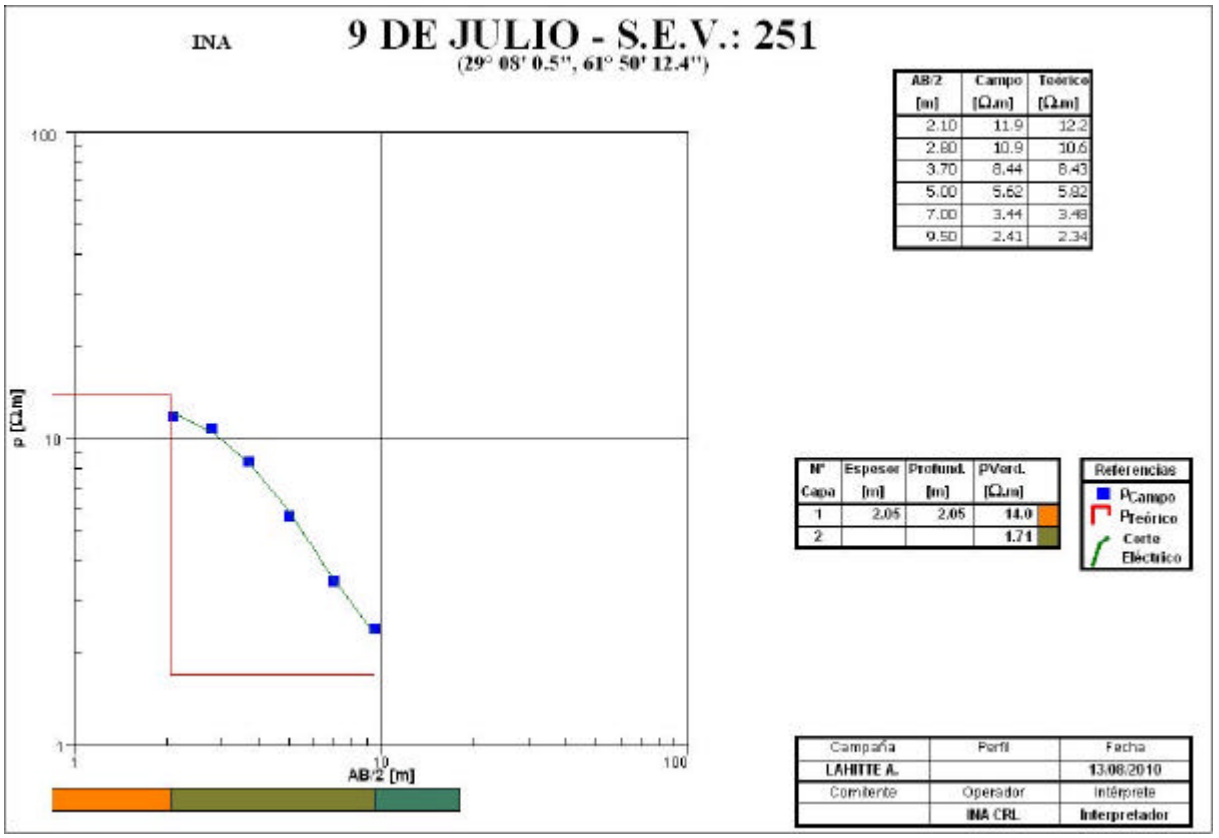


Figura 30

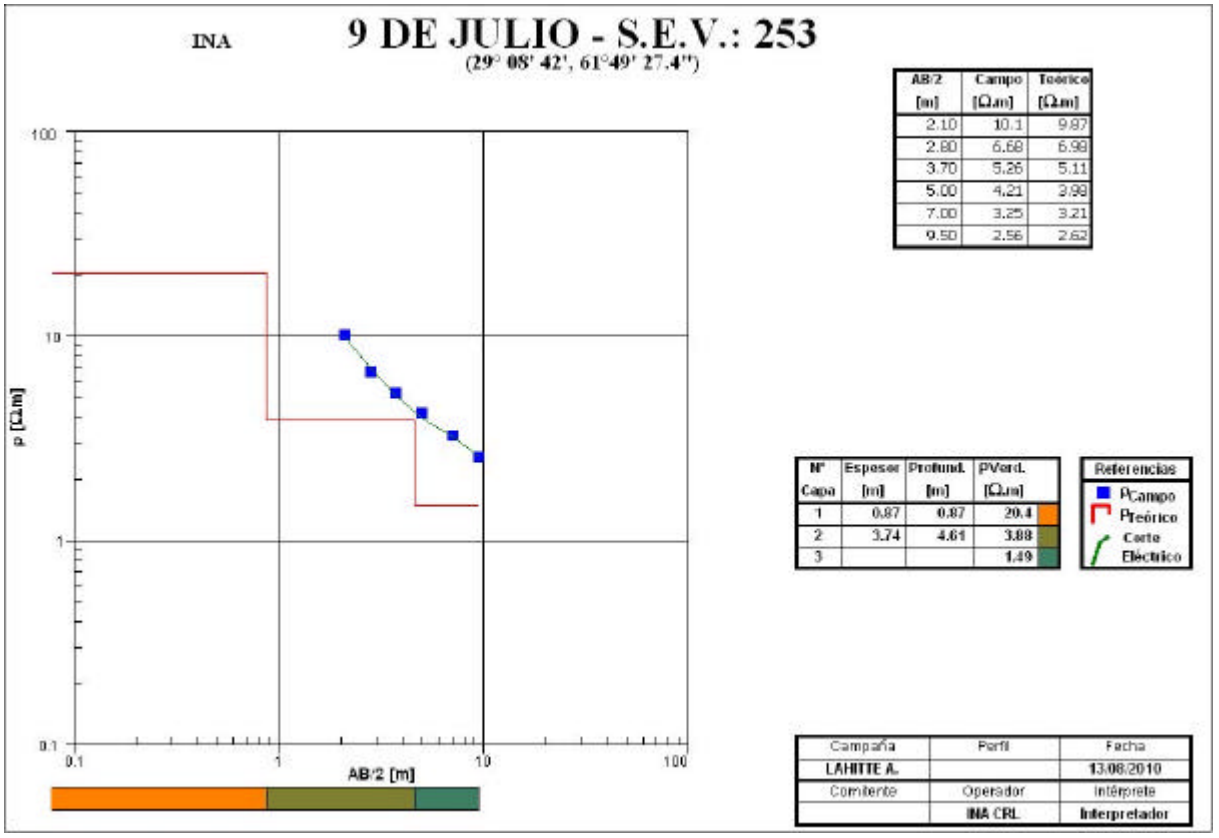


Figura 31

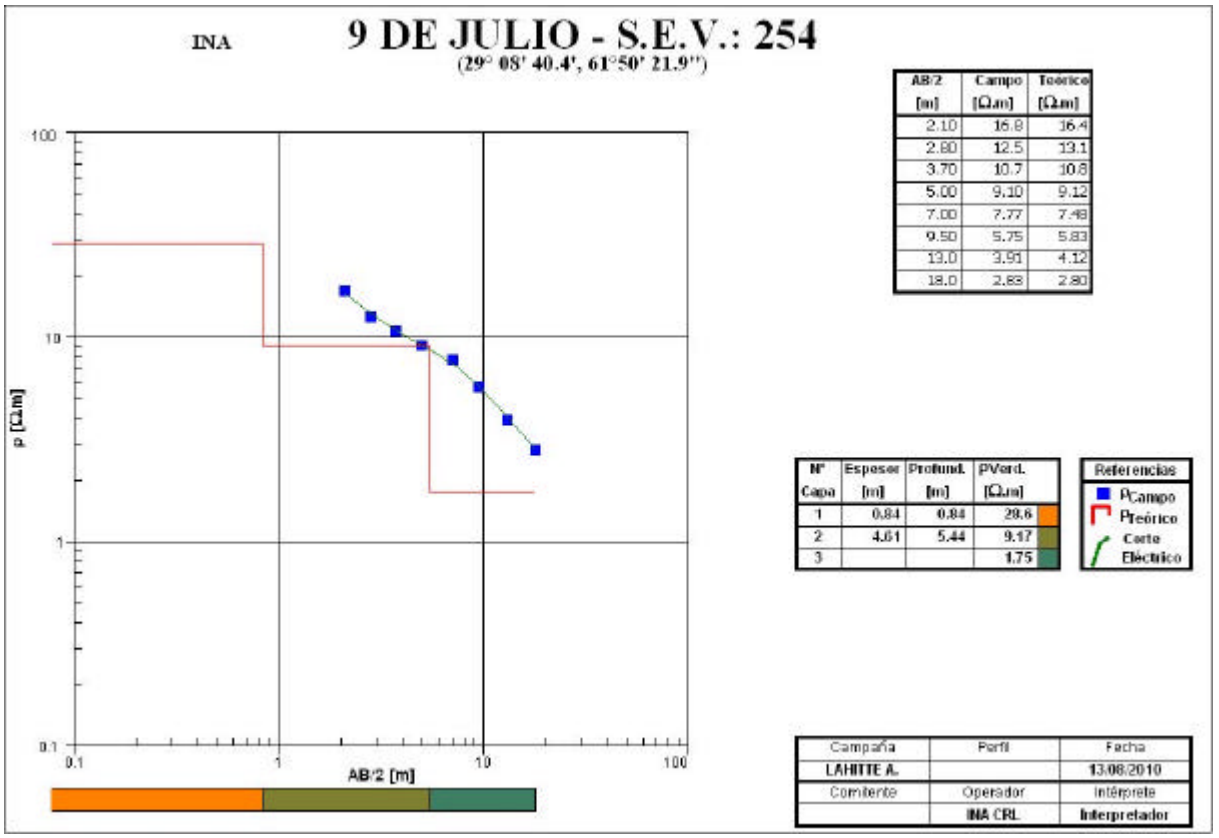


Figura 32

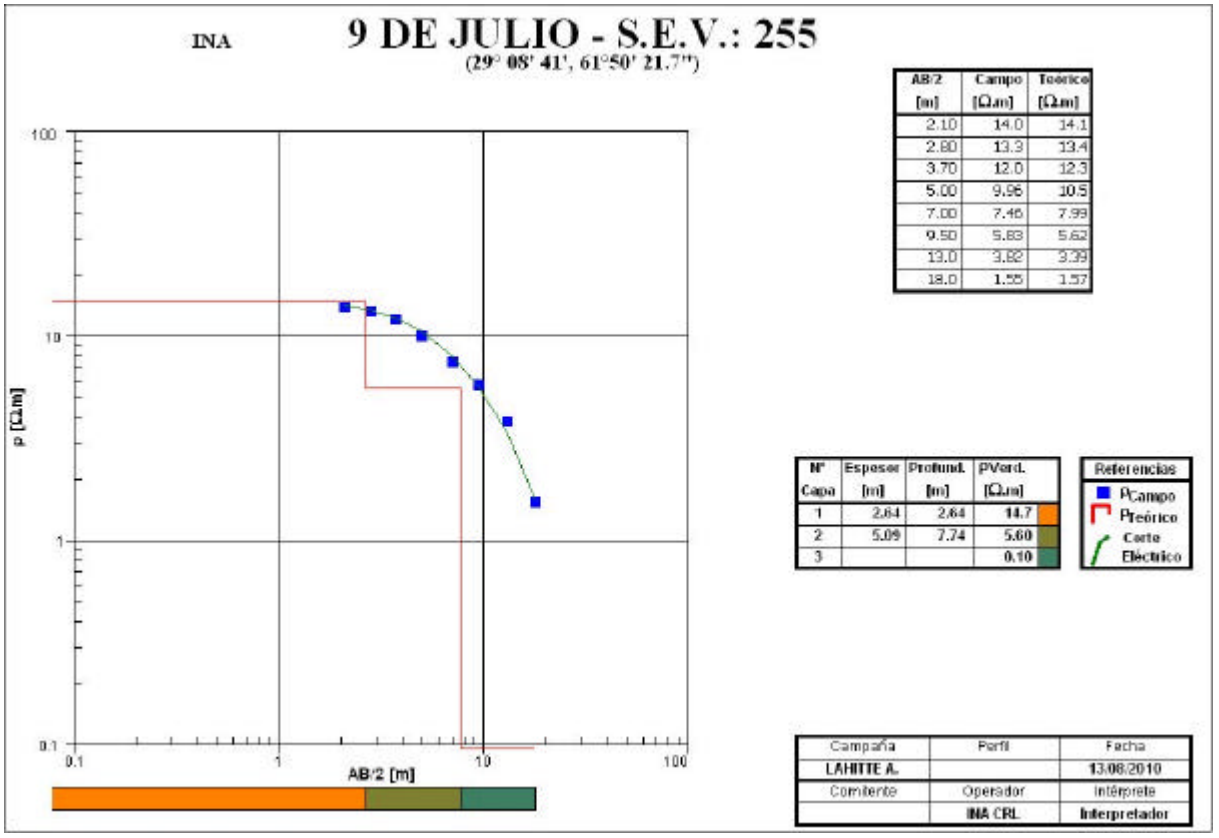


Figura 33

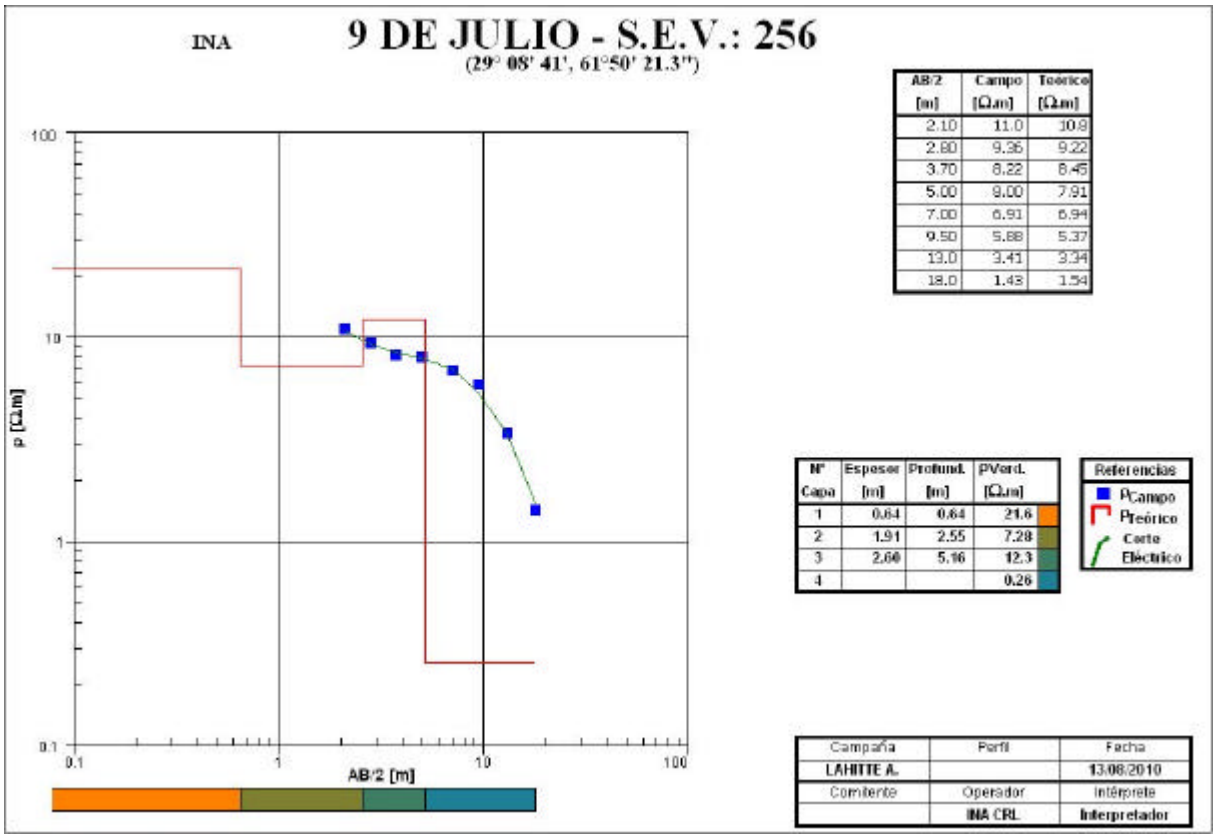


Figura 34

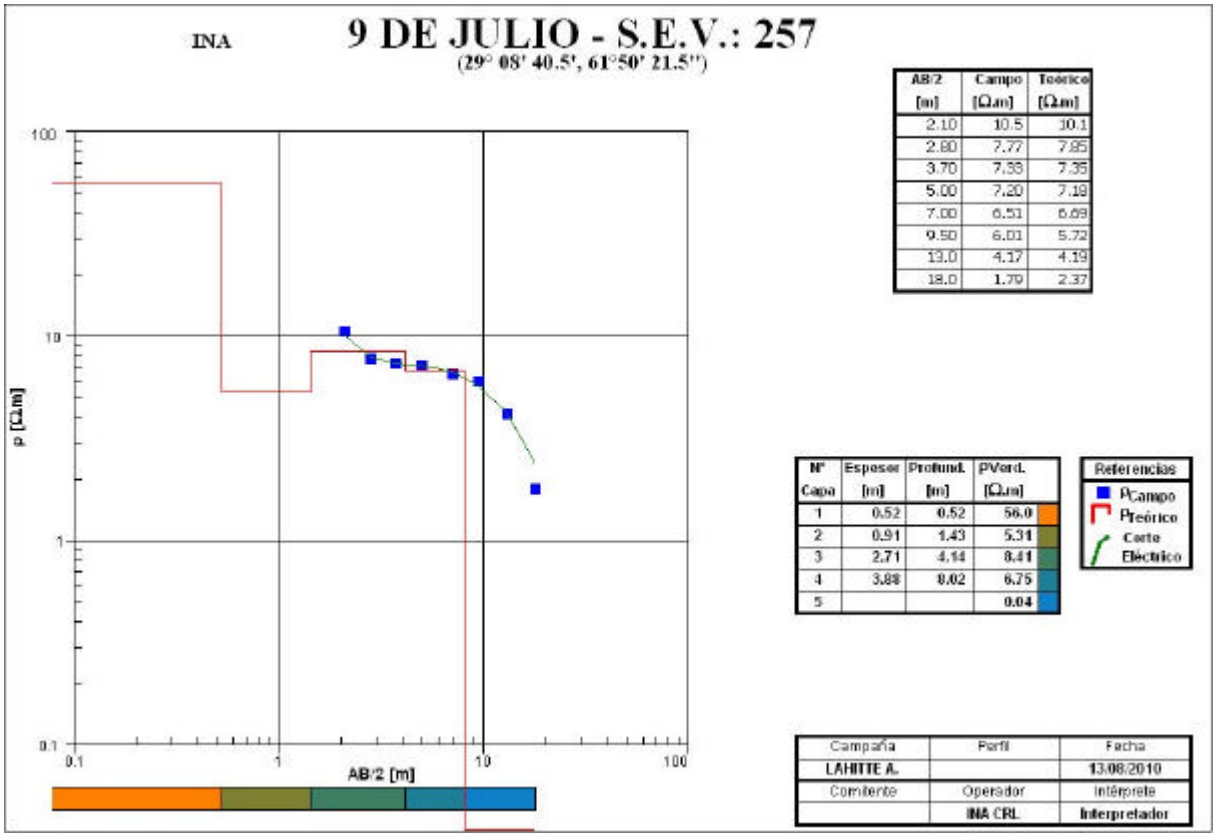
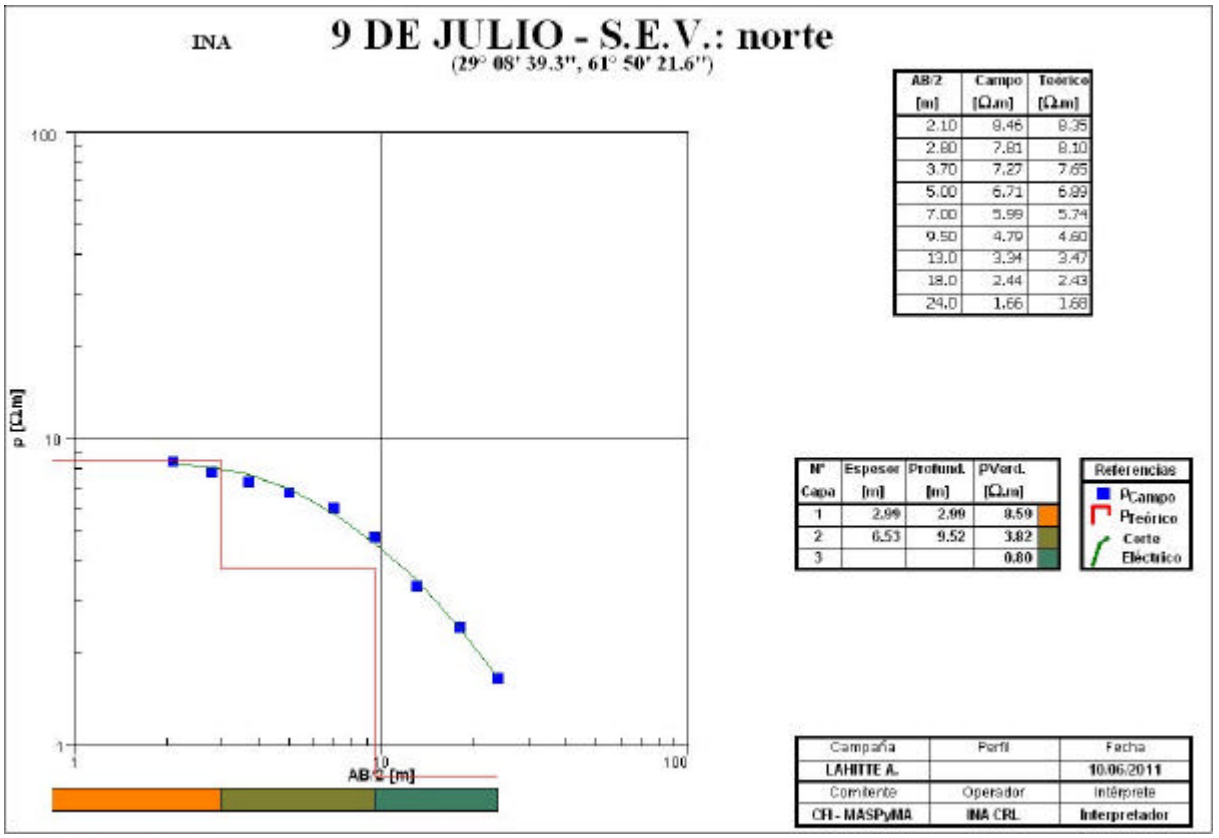


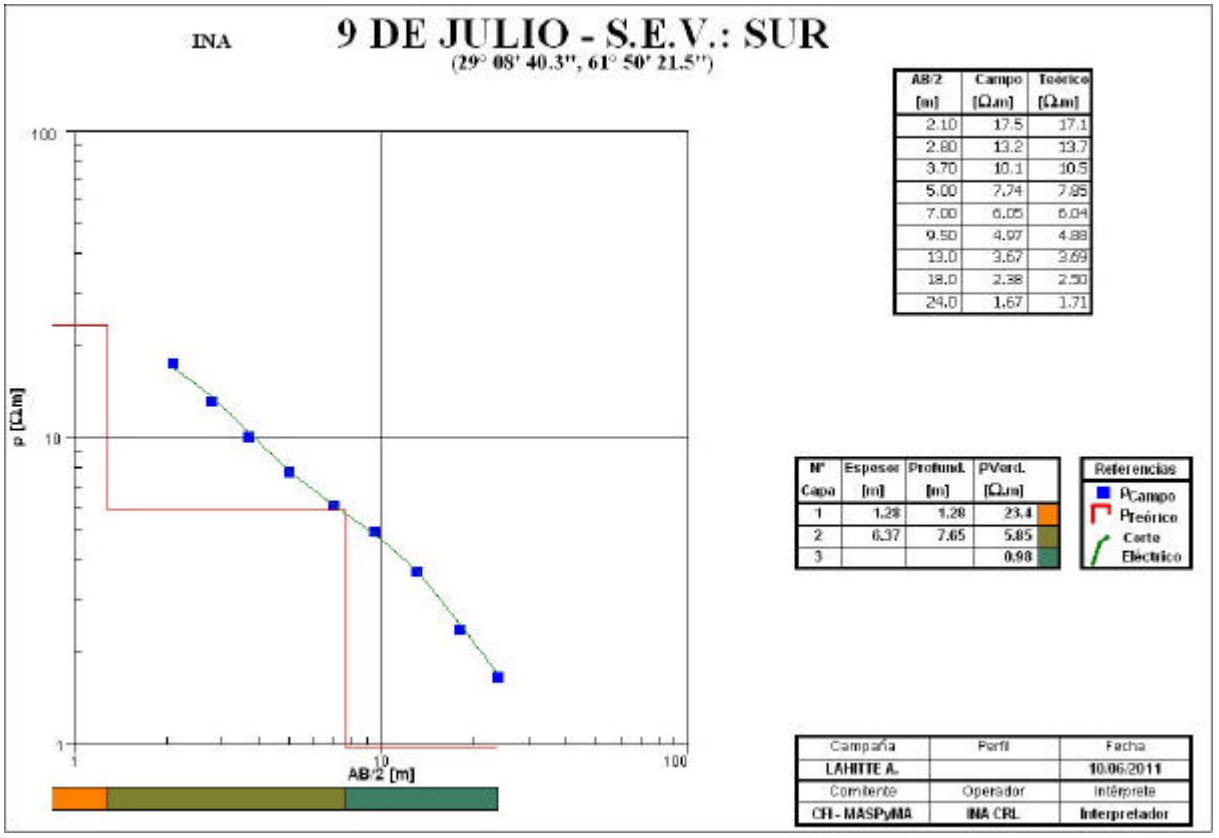
Figura 35



AB/2 [m]	Campo [Ω.m]	Teorico [Ω.m]
2.10	9.46	9.35
2.80	7.81	8.10
3.70	7.27	7.65
5.00	6.71	6.99
7.00	5.99	5.74
9.50	4.79	4.60
13.0	3.34	3.47
18.0	2.44	2.43
24.0	1.66	1.68

N° Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	pVerd. [Ω.m]
1	2.99	2.99	8.59
2	6.53	9.52	3.82
3			0.80

Figura 36



AB/2 [m]	Campo [Ω.m]	Teorico [Ω.m]
2.10	17.5	17.1
2.80	13.2	13.7
3.70	10.1	10.5
5.00	7.74	7.95
7.00	6.05	6.04
9.50	4.97	4.88
13.0	3.57	3.69
18.0	2.38	2.50
24.0	1.67	1.71

N° Capa	Espesor [m]	Profund. [m]	pVerd. [Ω.m]
1	1.28	1.28	23.4
2	6.37	7.65	5.85
3			0.98

Figura 37

ZANUTTINI

Figura 38 ubicación de SEV

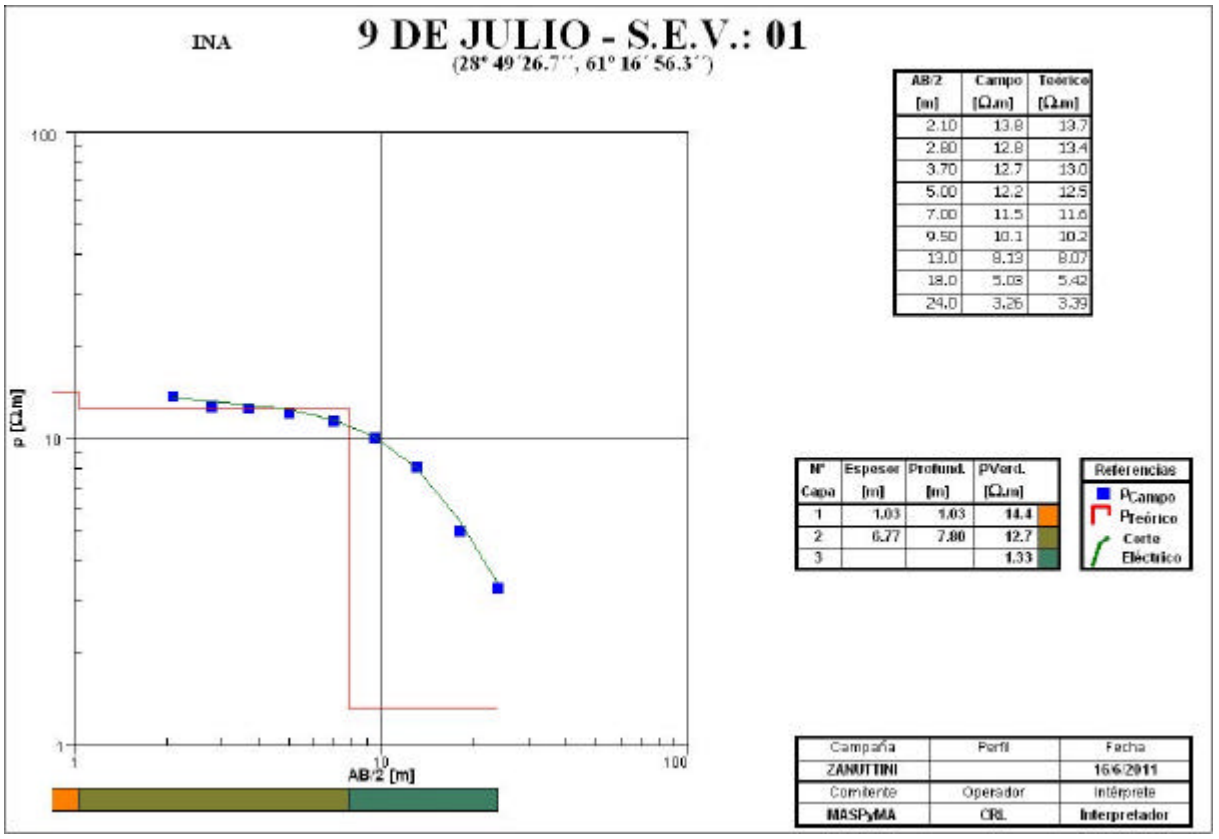


Figura 39

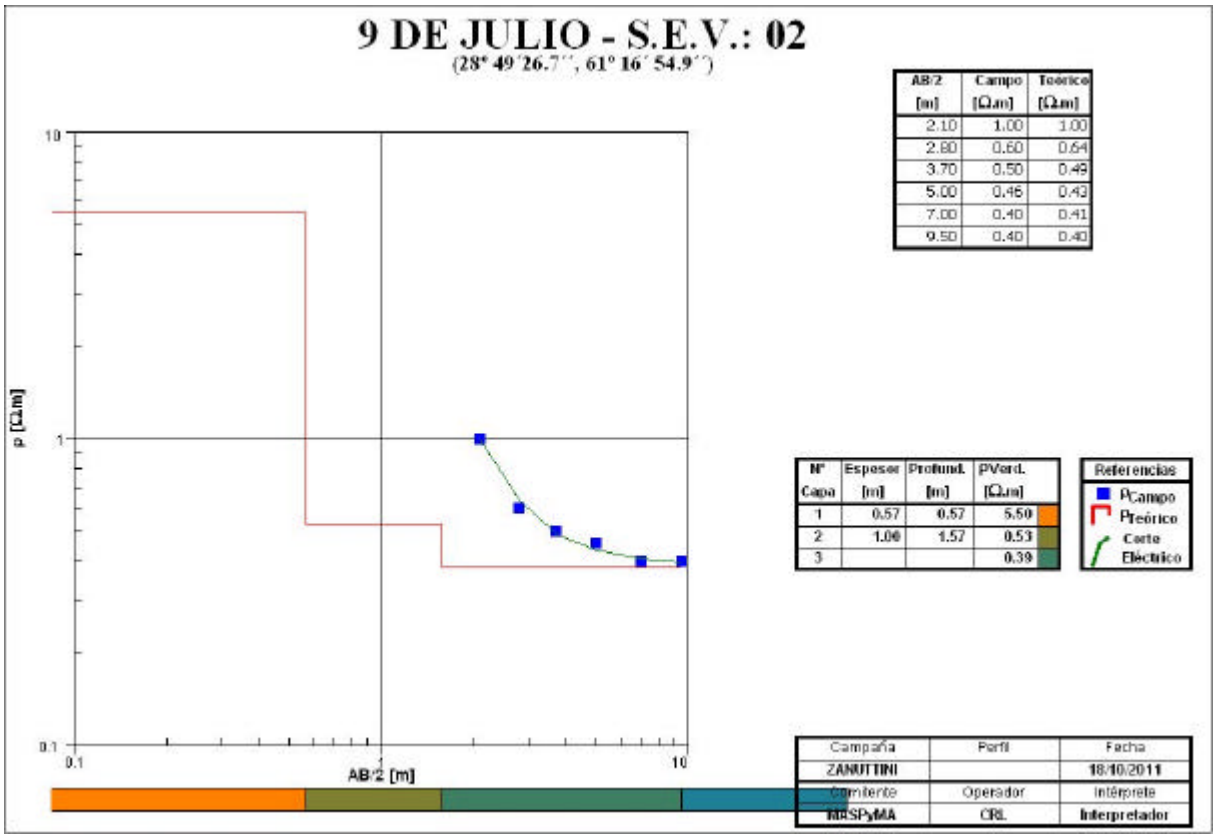


Figura 40

TACURÚ

Figura 41- ubicación de SEV

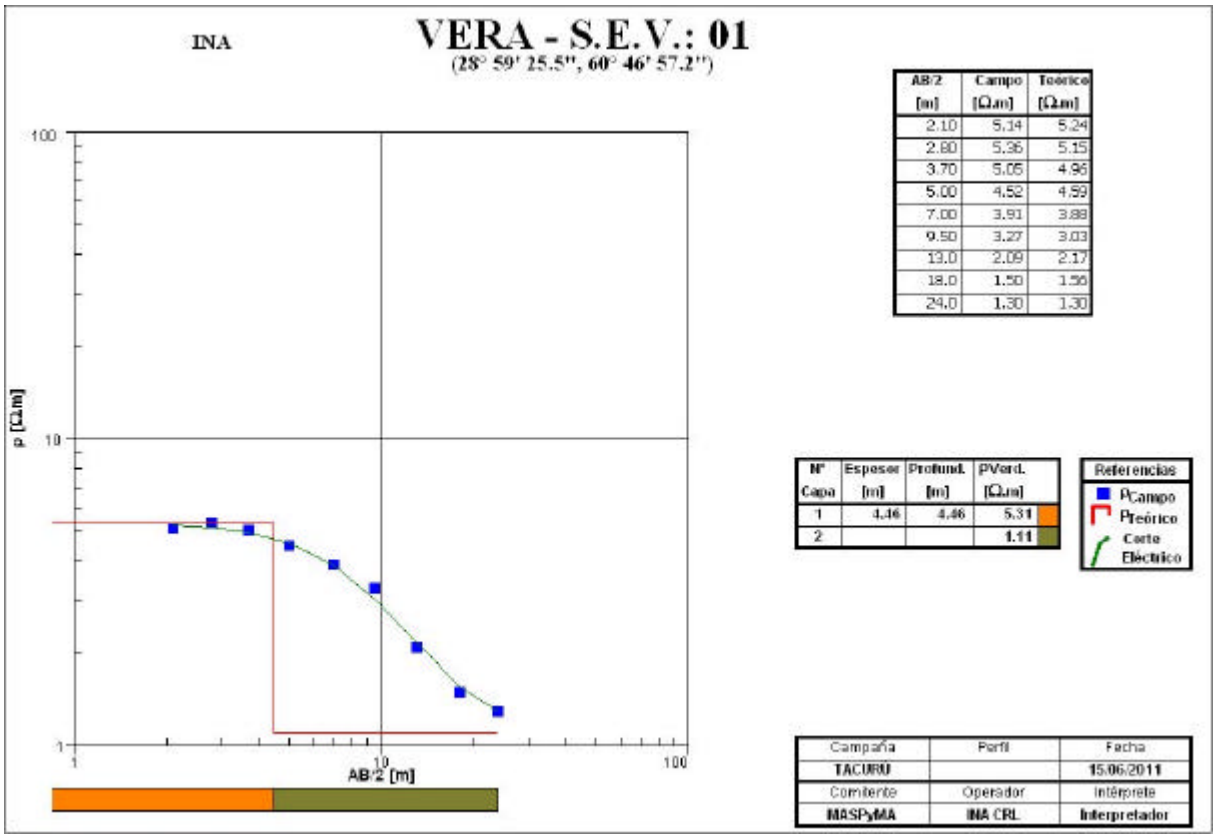


Figura 42

LAPLACETTE

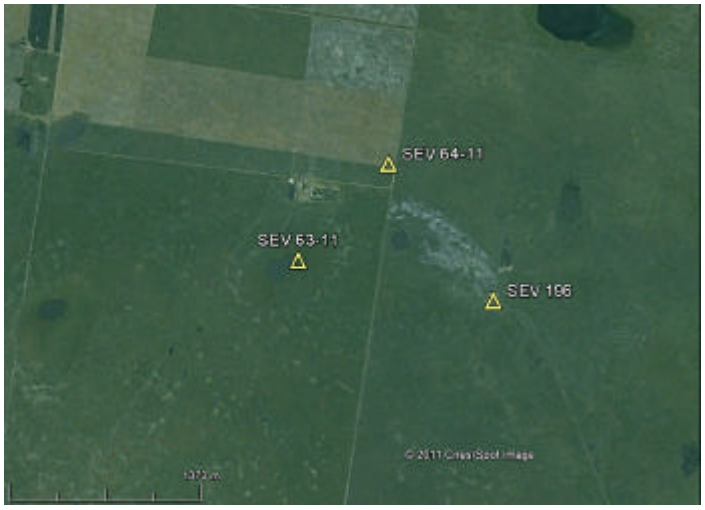


Figura 43- ubicación de SEV

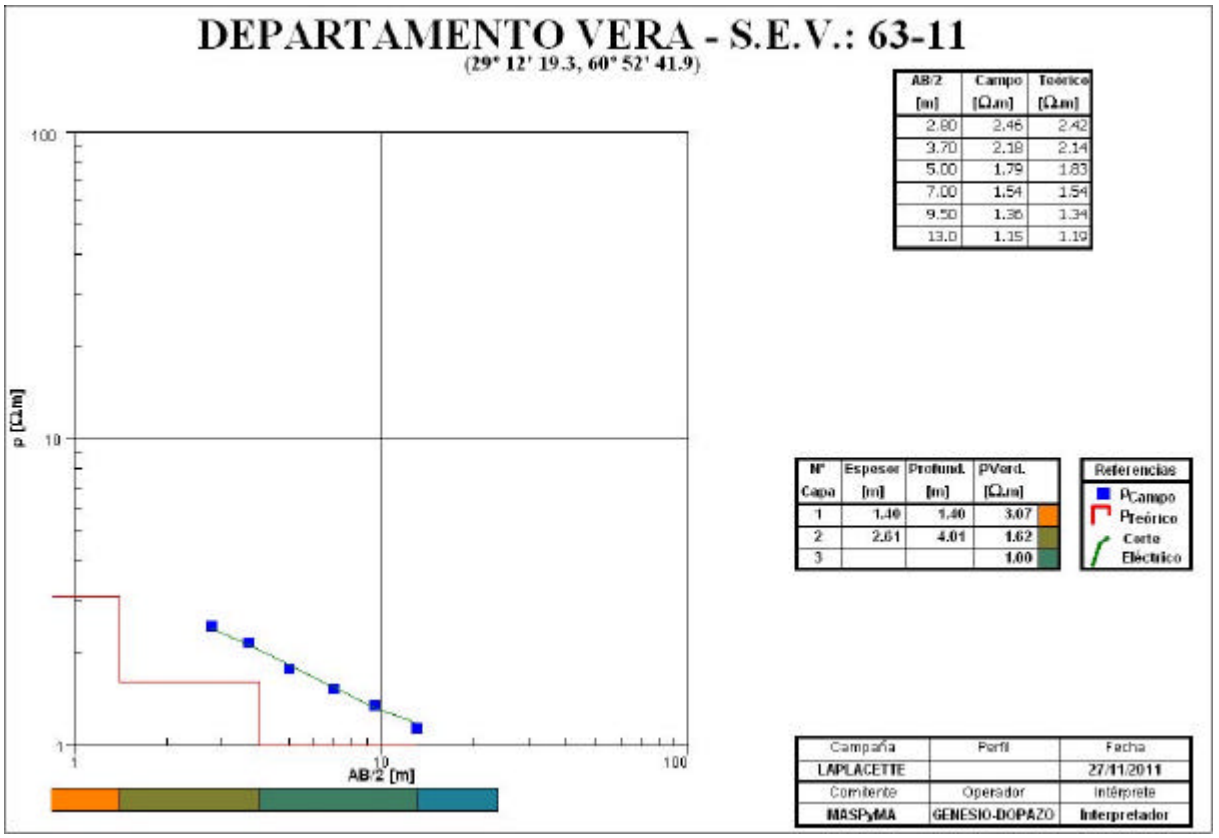


Figura 44

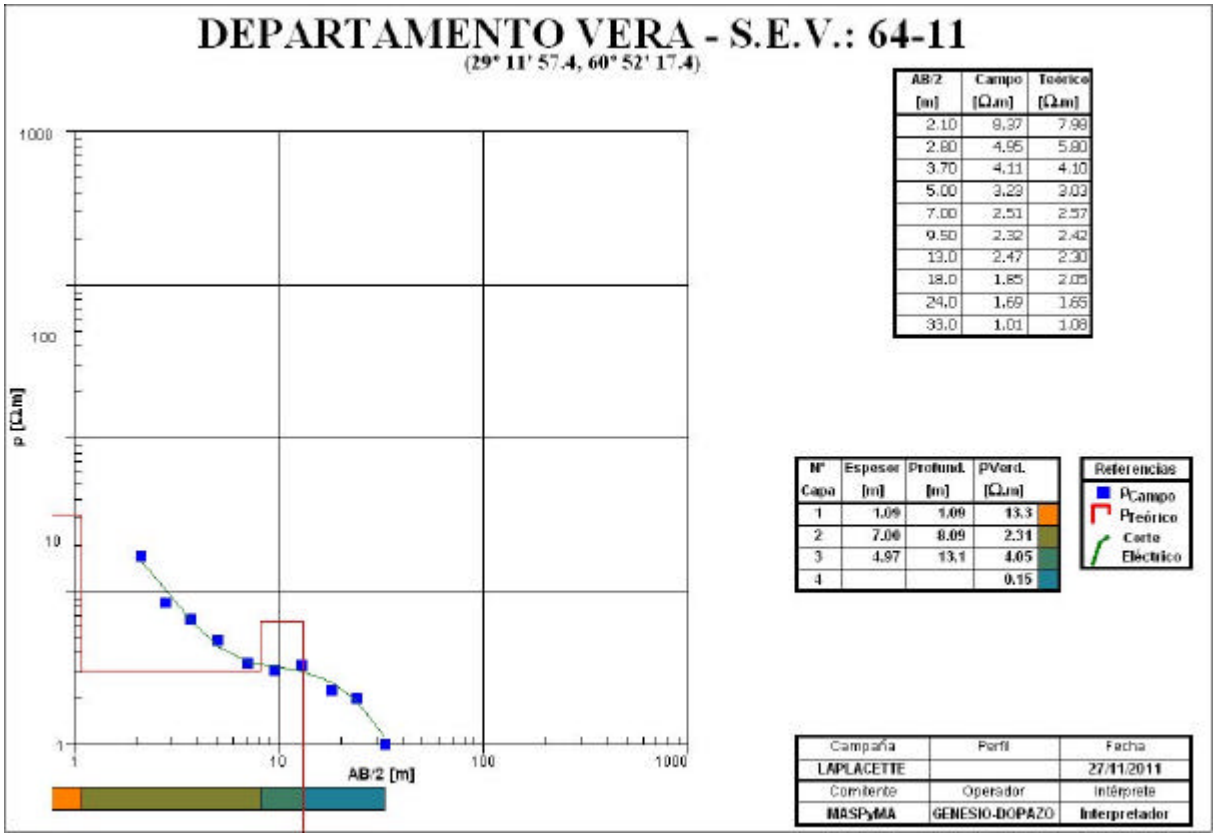


Figura 45

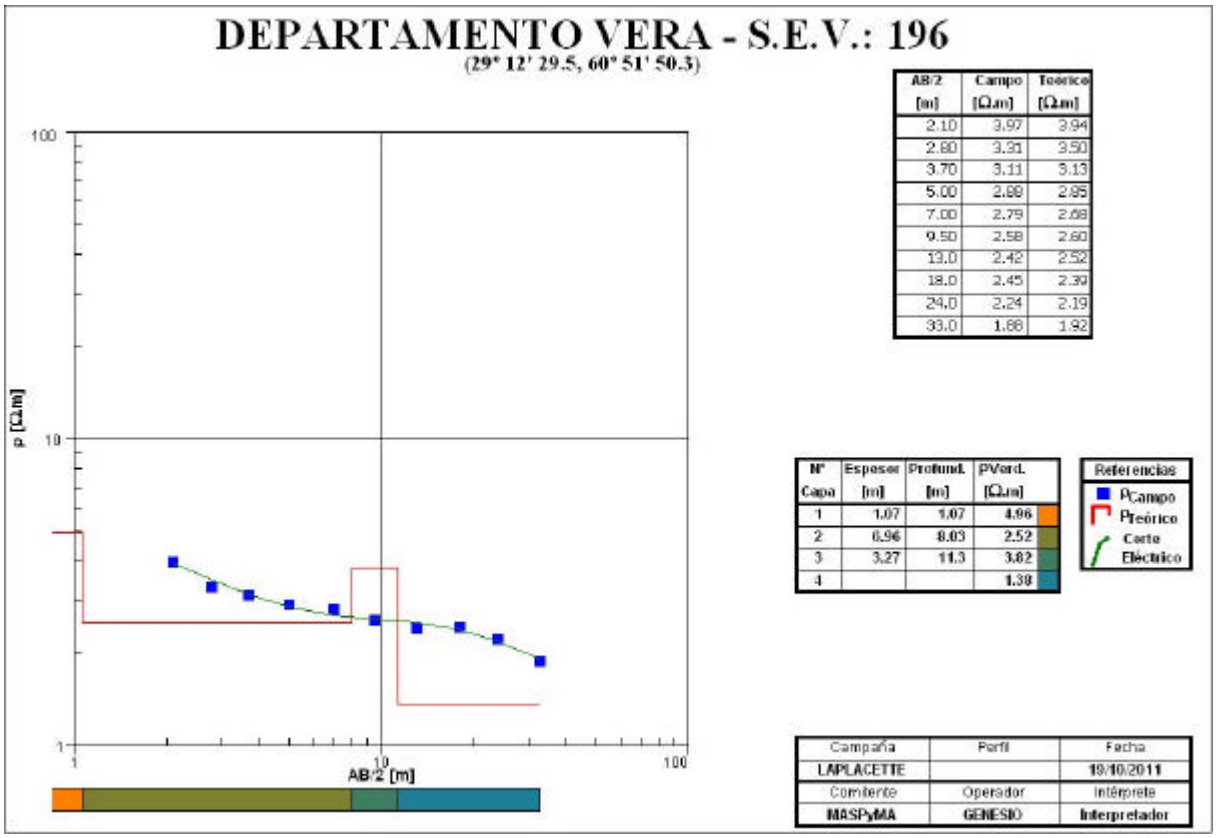


Figura 46

CENTIS

Figura 47- ubicación de SEV

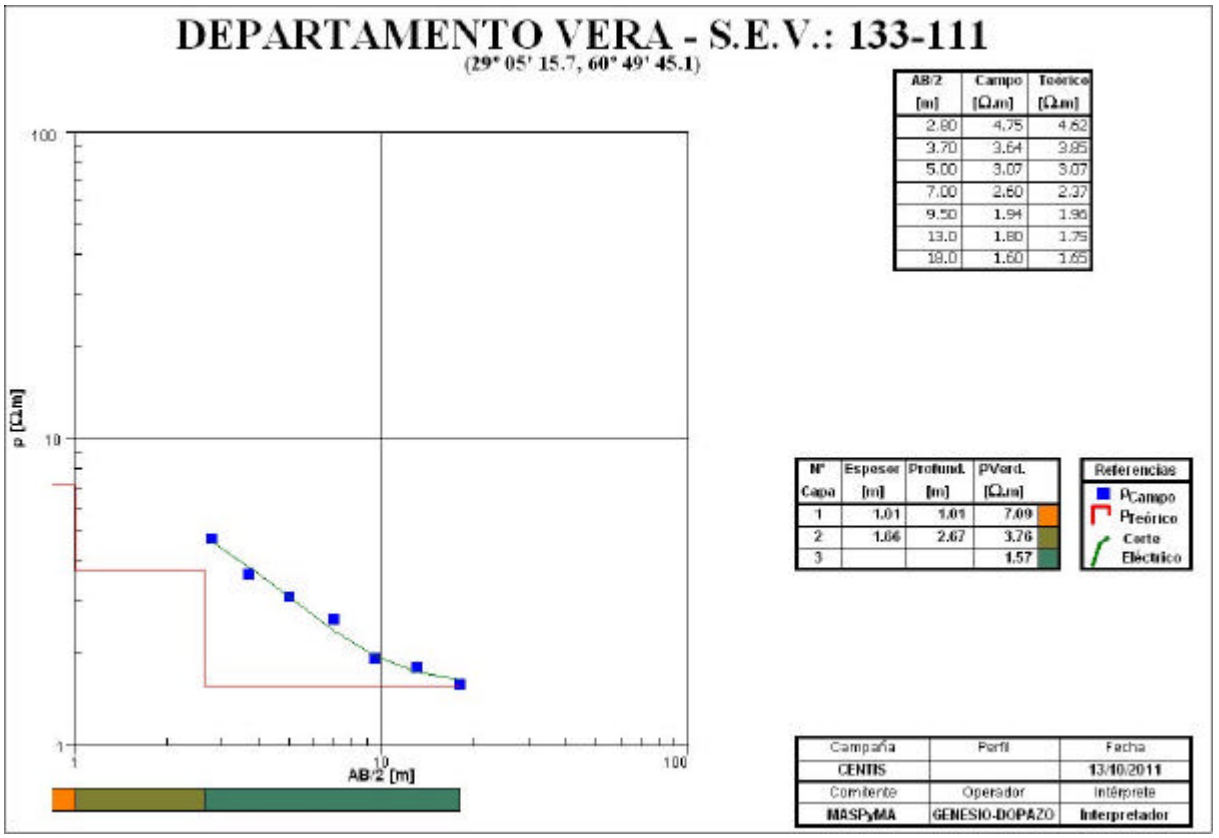


Figura 48

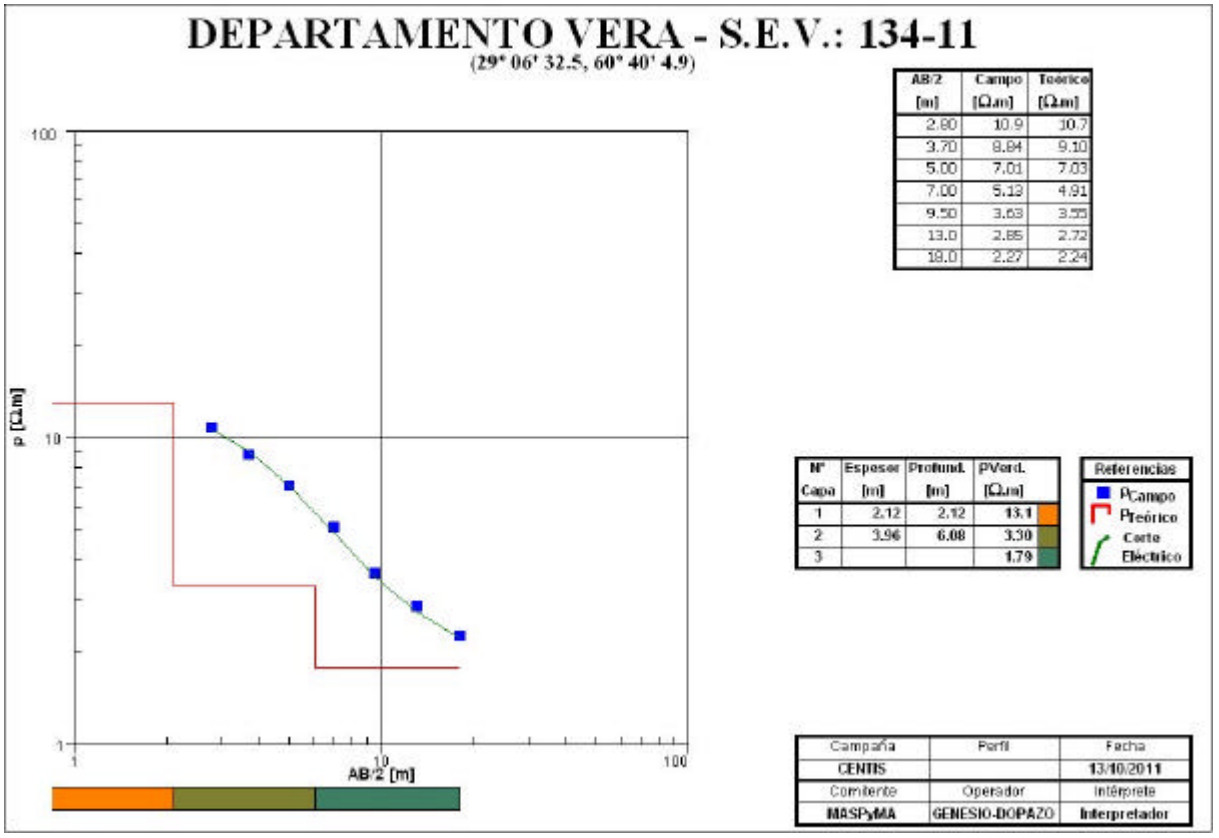


Figura 49

Conclusiones de los SEV realizados

En las Plantas piloto Zanuttini y Lahite se buscaron curvas SEV correspondientes a Paleocauces de Salado, las curvas típicas de estos son las correspondientes a las Figuras 24, 28, 29 y 39. A través de estas se definieron las profundidades de los pozos de estudio.

Los SEV realizados en Centis y Laplacette muestran las altas conductividades de las aguas y corresponden a lugares donde la recarga va a permitir evaluar el almacenamiento de agua dulce en acuífero salino.

15 ENSAYOS DE INFILTRACIÓN

Los ensayos se realizaron con infiltrómetros de doble anillo, con carga de 3 cm. En los lugares seleccionados por ambos equipos técnicos.

Tacurú

La infiltración es muy baja por lo que no se traza la curva de lámina acumulada.

Ensayo de infiltración

Est. Tacurú (Fuera del canal)

S 28º 59´ 25.3´´ W 60º 46´ 57.3´´

Tiempo Min	mm infiltrados	mm/h	Mm ac
37			
155	3.18	1.62	3.18
367	2.87	0.81	6.05

Ensayo de infiltración

Est. Tacurú (En el canal)

S 28º 59´ 25.2´´ W 61º 46´ 57.3´´

Tiempo Min	mm infiltrados	mm/h	mm
0			
262	3.18	0.73	3.18
368	1.11	0.63	4.30

Lahitte

Ensayo de Infiltración

Est. La Güeya de Lahitte Alejandro

S 29º 08´ 39.6´´ W 61º 50´ 22.6´´

Tiempo Min	mm infiltrados	mm/h	mm
0			
39	3.18	4.90	3.18
186	3.18	1.30	6.37
342	1.59	0.61	7.96

Ensayo de Infiltración

Est. La Güeya de Lahitte Alejandro

S 29º 08´ 39.6´´ W 61º 50´ 22.6´´

Tiempo Min	mm infiltrados	mm/h	mm
0			0
18	3.18	10.6	3.2
27	3.18	21.2	6.4
63	3.18	5.3	9.5
100	3.18	5.2	12.7
152	3.18	3.7	15.9
212	3.18	3.2	19.1
277	3.18	2.9	22.3
296	0.80	2.5	23.1

Ensayo de Infiltración

Est. La Güeya de Lahitte Alejandro

Cuneta

Tiempo Min	mm infiltrados	mm/h	mm
0.0			
6.4	3.18	31.85	3.18
11.9	3.18	35.07	6.37
17.6	3.18	33.22	9.55

23.4	3.18	33.19	12.74
29.4	3.18	31.88	15.92
35.8	3.18	29.90	19.11
41.8	3.18	31.40	22.29
49.3	3.18	25.65	25.48
55.5	3.18	30.73	28.66
62.0	3.18	29.25	31.85
68.8	3.18	28.42	35.03
75.2	3.18	29.78	38.22
81.7	3.18	29.16	41.40
88.2	3.18	29.66	44.59
95.3	3.18	26.76	47.77
101.8	3.18	29.66	50.96
108.3	3.18	29.42	54.14
114.6	3.18	30.10	57.32
120.8	3.18	30.82	60.51
128.8	3.18	23.77	63.69
134.9	3.18	31.56	66.88
143.4	3.18	22.58	70.06
149.7	3.18	30.11	73.25
157.2	3.18	25.32	76.43
164.3	3.18	27.17	79.62
171.2	3.18	27.73	82.80
178.3	3.18	26.85	85.99
185.4	3.18	26.75	89.17
192.4	3.18	27.43	92.36
199.8	3.18	25.98	95.54
207.4	3.18	24.93	98.73
215.3	3.18	24.14	101.91
223.3	3.18	23.87	105.10
230.8	3.18	25.53	108.28
238.6	3.18	24.73	111.46
246.8	3.18	23.05	114.65
253.2	3.18	29.86	117.83
260.0	3.18	28.18	121.02
268.2	3.18	23.41	124.20
274.3	3.18	31.37	127.39
282.8	3.18	22.40	130.57
289.5	3.18	28.63	133.76

Ensayo de Infiltración

Est. La Güeya de Lahitte Alejandro

Terreno Natural

Tiempo Min	mm infiltrados	mm/h	Mm
5.31	3.18	36.02	3.18
43.47	3.18	5.01	6.37
72.13	3.18	6.67	9.55
110.17	3.18	5.02	12.74
144.29	3.18	5.60	15.92
181.30	3.18	5.16	19.11
225.07	3.18	4.37	22.29
263.75	3.18	4.94	25.48
290.47	3.18	7.15	28.66

Centis

Ensayo de Infiltración

Centis

Terreno Natural

Tiempo Min 0	mm infiltrados	mm/h	Mm
4.67	1.59	20.45	1.59
14.51	1.59	9.72	3.18
30.76	1.59	5.88	4.78
52.54	1.59	4.39	6.37
71.41	1.59	5.06	7.96
93.84	1.59	4.26	9.55
135.73	1.59	2.28	11.15
171.34	1.59	2.68	12.74

Ensayo de Infiltración

Centis

Cuneta

Tiempo Min	mm infiltrados	mm/h	Mm

0			
18.34	1.59	5.21	1.59
23.15	1.59	19.85	3.18
27.61	1.59	21.45	4.78
32.16	1.59	20.99	6.37
35.37	1.59	29.72	7.96
39.76	1.59	21.79	9.55
45.33	1.59	17.13	11.15
47.17	1.59	51.96	12.74
51.15	1.59	24.02	14.33
54.84	1.59	25.91	15.92
58.04	1.59	29.87	17.52
62.85	1.59	19.85	19.11
67.37	1.59	21.15	20.70
73.10	1.59	16.66	22.29
77.74	1.59	20.61	23.89
80.75	1.59	31.69	25.48
86.51	1.59	16.60	27.07
91.21	1.59	20.31	28.66
97.05	1.59	16.36	30.25
101.09	1.59	23.67	31.85
106.09	1.59	19.10	33.44
111.76	1.59	16.85	35.03
117.17	1.59	17.65	36.62
122.41	1.59	18.25	38.22
127.86	1.59	17.53	39.81
133.56	1.59	16.76	41.40
139.74	1.59	15.46	42.99
145.25	1.59	17.33	44.59
150.21	1.59	19.27	46.18
155.34	1.59	18.63	47.77
162.55	1.59	13.24	49.36
169.05	1.59	14.70	50.96
174.71	1.59	16.90	52.55
182.76	1.59	11.87	54.14
190.26	1.59	12.73	55.73
196.84	1.59	14.52	57.32
203.90	1.59	13.52	58.92
212.42	1.59	11.21	60.51
219.84	1.59	12.89	62.10

Zanuttini

Ensayo de Infiltración

Est. Las Patricias de Zanuttni José

S 28º 48´ 57.5´´ W 61º 17´ 18.7´´

Tiempo Min	mm infiltrados	mm/h	Mm
0			
203	11.14	3.29	11.14
276	0.95	0.78	12.10

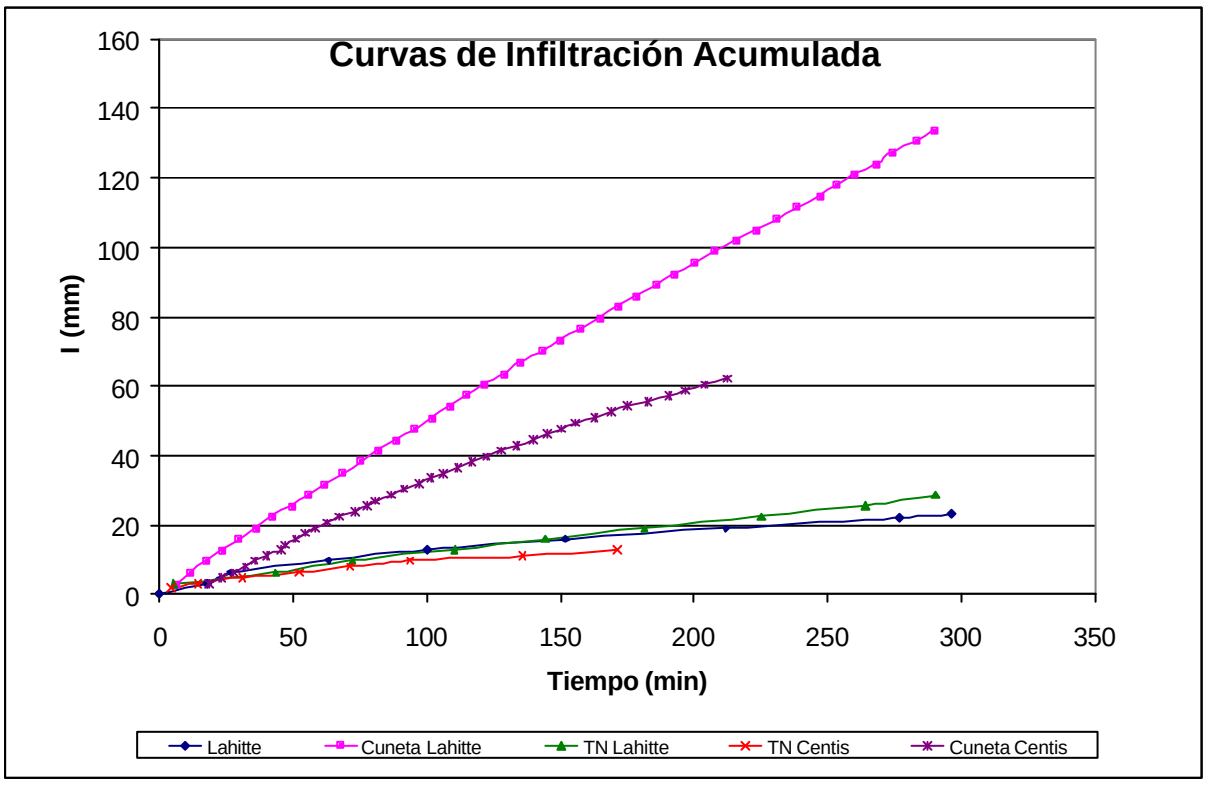


Figura 50- comparaciones entre suelos decapitados y naturales.

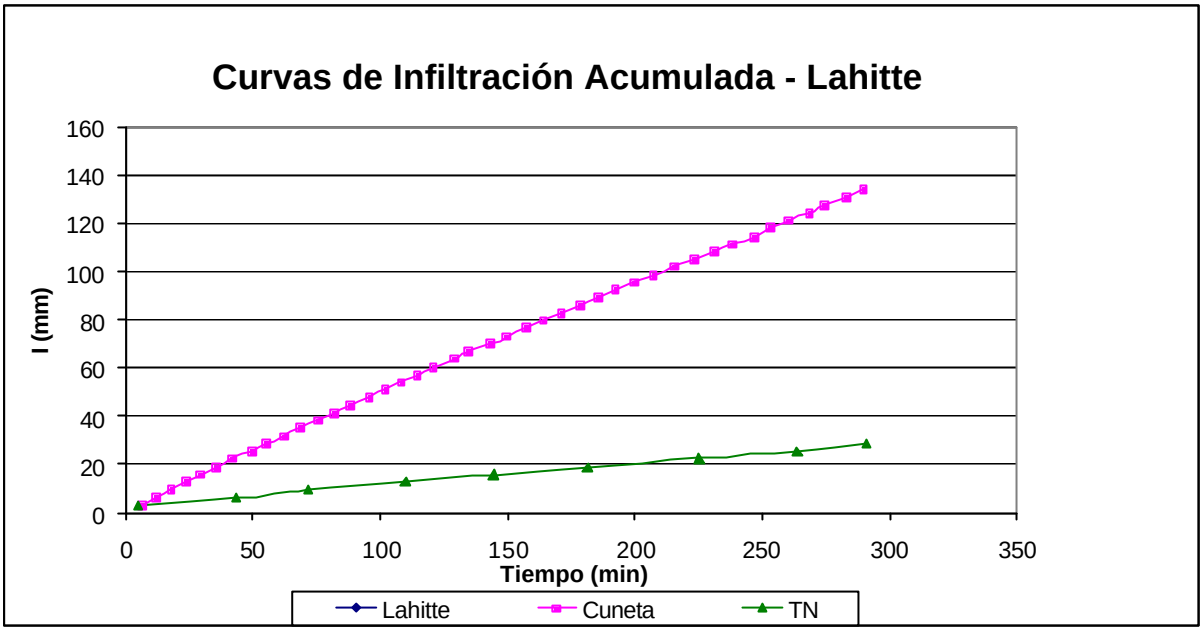


Figura 51- Ensayos Lahitte

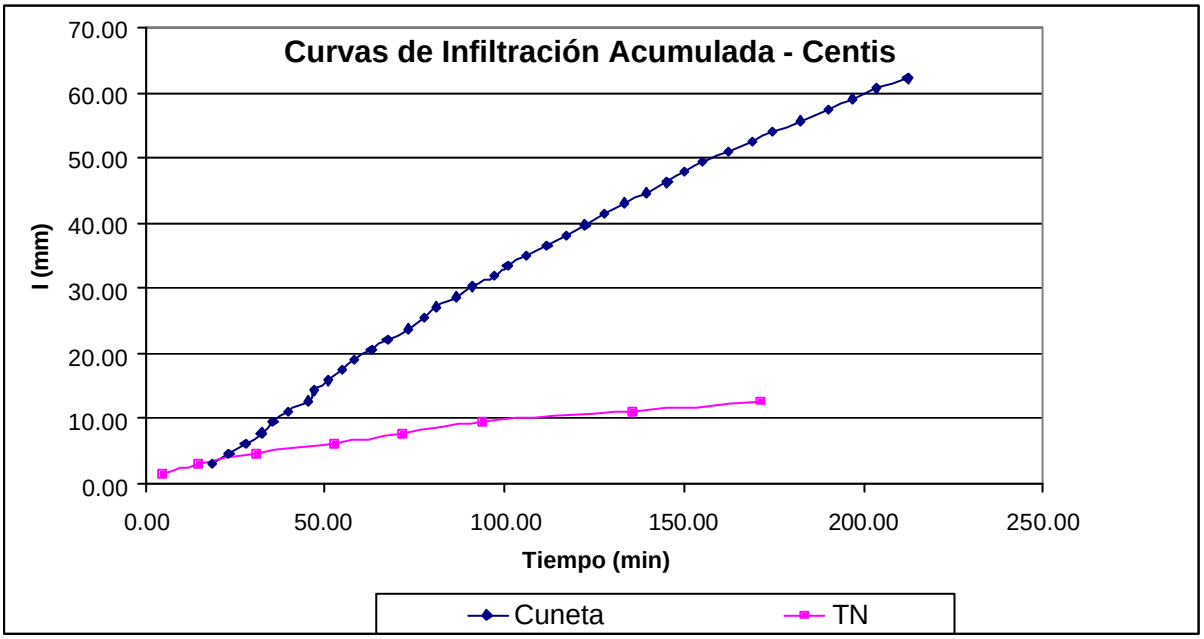


Figura 52 ensayos Centis

Los suelos de Tacurú son semejantes a los encontrados en Puesto Chamorro, por lo que estos pueden tomarse como referencia para este último, pero los valores obtenidos son tan pequeños que no se grafican.

Comentarios sobre los Ensayos

El método de doble anillo permite realizar comparaciones cualitativas sobre el comportamiento de los suelos. En lo realizado se observa que se evidencia un aumento de la infiltración en suelos que se ha sacado el espesor superficial.

En Tacural y Zanuttini no se han trazado gráficos de lámina acumulada por los pequeños valores de lámina medidos.

Por los resultados encontrados en los ensayos de infiltración se consideró conveniente realizar Análisis Químicos de Suelos en dos puntos de muestreo en las futuras plantas pilotos de Centis (S 29° 05´ 39,7´´ W 60° 50´ 9´´) y Lahitte (S 29° 08´ 39,6´´ W 61° 50´ 22,6´´).

En Centis, las muestras se obtuvieron a distintas profundidades: 0-20cm, 20-40cm, + 40cm. En Lahitte se extrajeron 2 muestras, una en suelo decapitado y otra en suelo natural Los análisis fueron realizados en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNL.

En la figura 53 se puede observar que los suelos analizados son Argialboles y Natracuoles.

Los datos de interés consistieron en el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), conductividad eléctrica (CE) y pH, con el fin de identificar relaciones entre estos parámetros químicos y la infiltración del agua en el suelo.

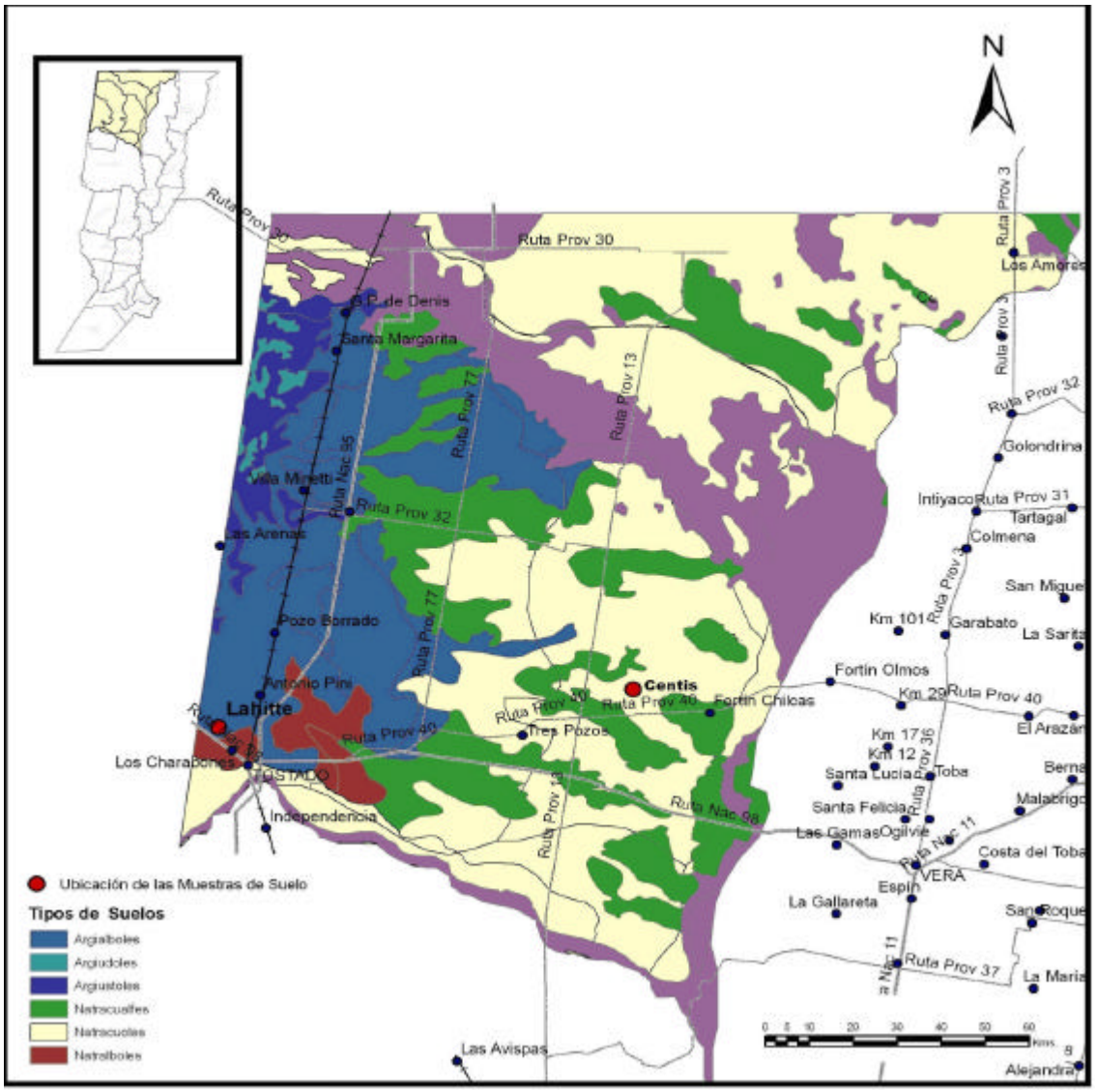


Figura 53 Ubicación de las Muestreos de Suelo

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Servicio de Análisis, Diagnóstico y Tratamiento de Tierras
Kreder 2805- Esperanza. Tel: 03496-420639 int. 340

Nombre: Instituto Nacional del Agua	**Remitente:**
Ubicación predio: Bajos submeridionales	**Profundidad de muestreo: en referencias**
Fecha de ingreso: 07/11/2011	**Fecha informe: 30/11/2011**

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS

Nº muestra	7428	7430	7429	7432	7431
Referencia	**Lahitte Suelo decapitado**	**Lahitte suelo natural**	**Centis 1 0 – 20 cm**	**Centis 2 20 – 40 cm**	**Centis 3 + 40 cm**
pH actual (suelo: agua) (1:2,5)	7,7	5,8	6,2	7,0	7,4
Conductividad eléctrica extracto de saturación (dS/m)	4,2	1,6	1,2	0,8	0,9
Ca^{2+} intercambiable ($cmol_c/kg$) (Extracción con NH_4Ac, titulación con EDTA)	12,2	10,5	8,7	9,9	15,1
Mg^{2+} intercambiable ($cmol_c/kg$) (Extracción con NH_4Ac, titulación con EDTA)	2,3	2,7	1,6	2,1	2,2
Na^{+} intercambiable ($cmol_c/kg$) (Extracción con NH_4Ac, Fotometría de llama)	2,2	1,0	0,6	0,7	1,2
K^{+} intercambiable ($cmol_c/kg$) (Extracción con NH_4Ac, Fotometría de llama)	1,4	1,6	1,7	1,7	2,5
CIC ($cmol_c/kg$) (Extracción con NH_4Ac y destilación)	18,4	18,3	17,8	16,8	18,5
Porcentaje de sodio intercambiable (%)	11,9	5,5	3,4	4,2	6,5

Dr. Pablo Ghiberto
Ing. Agrónomo, MAT 1-1101
Profesor de Edafología

A los efectos de analizar los componentes, se presenta en la Figura 54 los resultaos para la muestra obtenida en la planta piloto Centis.

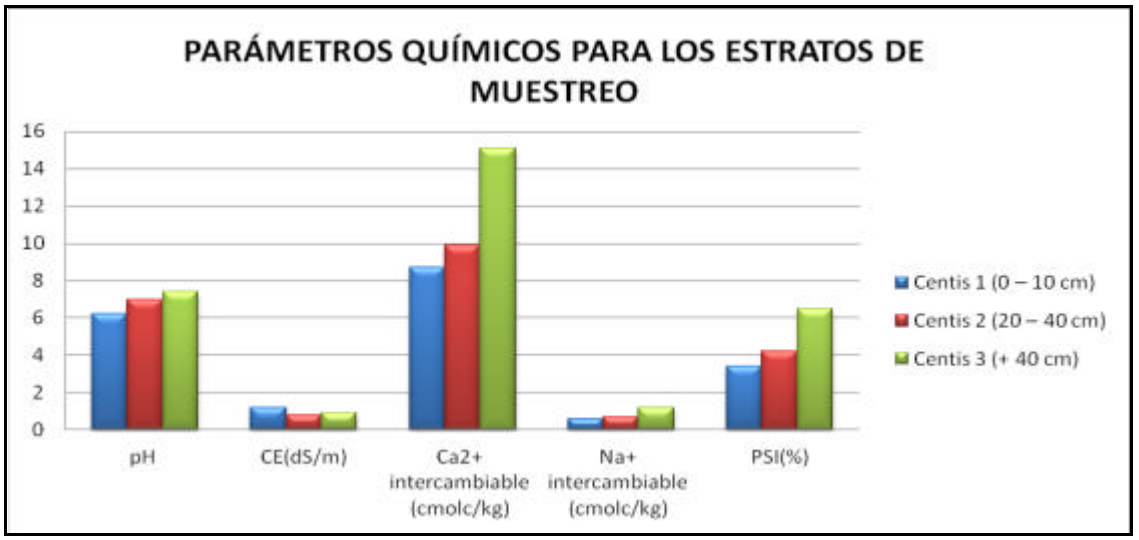


Figura 54 Suelo Planta Piloto Centis

El análisis del gráfico permite inferir que el pH y el PSI aumentan con la profundidad de suelo. El coeficiente de determinación (R^2) entre el PSI y la profundidad de suelo arrojo un valor de 0,96 con lo cual existe una fuerte relación entre ambas variables. El sodio en todos los estratos analizados no presenta niveles supriores al 15%, por lo que no sería un componente que influya negativamente en los procesos de infiltración.

La clasificación de suelos (Soil Taxonomy) establece que para determinar un horizonte nátrico, el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) debe ser de 15 % ó más en uno o más horizontes dentro de los 40cm de su límite superior. Por esta razón, la clasificación identificada en el mapa no se corresponde con los niveles de sodio hallados, en la Figura 55 se presentan los resultados para la muestra en la planta piloto Lahitte.

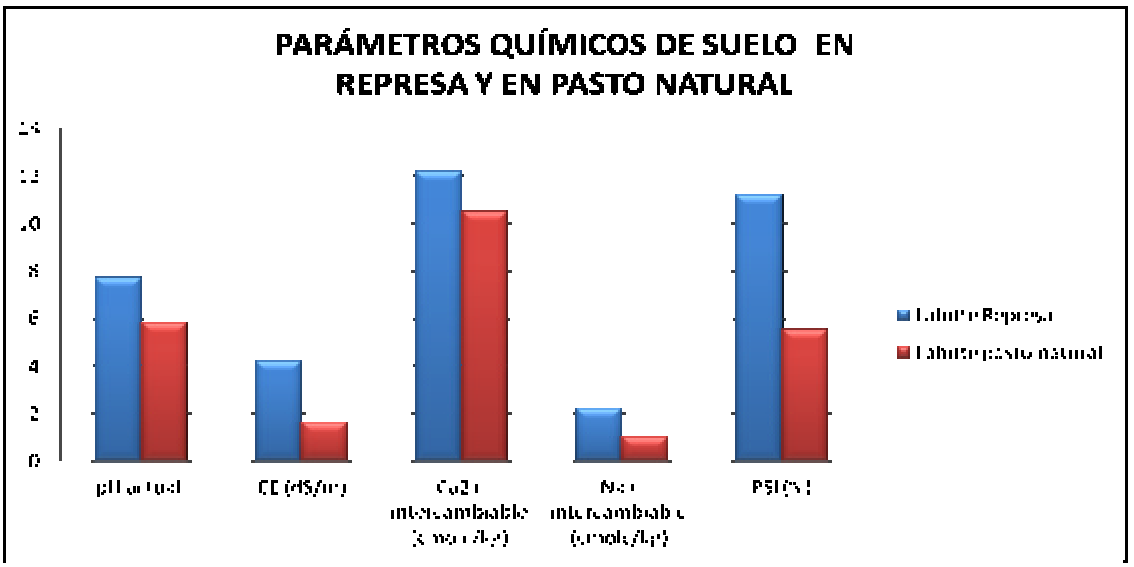


Figura 55. Análisis de suelos Lahitte

En la Figura 55, se observa el comportamiento del sodio con la profundidad que se comporta en forma similar al análisis realizado en la planta Centis. Como es de esperar dentro de los Molisoles, se observa la dominancia del catión calcio en el complejo de intercambio catiónico, que favorece la floculación de los coloides.

Desde el punto de vista de la infiltración, con estos resultados no puede atribuirse que el sodio sea el elemento que influye en la reducida infiltración observada en el terreno natural. Por lo que se propone en nuevos estudios realizar mas anlalisis químicos de suelo en los lugares que se realicen ensayos de infiltración y complementarlo con la granulometria de los finos.

16-PERFORACIONES DE ESTUDIO

A continuación se presenta tabla 1 con un resumen de la información de las perforaciones de este estudio. En esta pueden apreciarse la diferencia en las conductividades del entre las perforaciones realizadas en la mejor zona del paleocauce y las que están en la zona de transición.

Además se aprecian los altos valores de conductividad eléctrica de las aguas tanto de Centis como de Laplacette puesto Chamorro.

Tabla 1. PERFORACIONES DE ESTUDIO

PROPIETARIO		PERF. N°	PROF. m	LATITUD S	LONGITUD W	Niv. Freát. m	Temp. ºC	Conductividad µS/cm
Centis	P1	1	6	29º 05`39.9``	60º50`8.4``			
Centis	P2	2	6	29º 05`40.0``	60º50`9.1``			
Centis	P3	3	6	29º 05`39.7``	60º50`9.4``			
Centis	P4	4	6	29º 05`38.9	60º50`9.3``	1.35	22	750
Centis	P5	5	8	29º7´24.03´´	60º 49 ´28.8´´			
Zanuttini	P1	6	6	28º49 26.5	61º 16 56.3	4.76	21.5	2000
Zanuttini	P2	7	7	28º 49´ 26.5	61º16´54.9´´	4.27	23	4900
Zanuttini	P3	8	7	28º 49´28.9¨	61º 17´ 1.0	2.46	22	850
Laplaccette-Chamorro	P1	9	12	29º 12´ 29.5´´	60º 51´ 50.3	1.72	21	12500-10000
Laplacette-Chamorro	P2	10	10	29º12´28.3´´	60º 51´51.5´´	1.95	21	16000-8000
Laplacette-Chamorro	P3	11	9	29º12´29.1´´	60º 51´50.7´´	1.99	18	8500-5000
Lahitte	P1	12	7	29° 08´39.7”	61° 50´21.9”	3.8	19	850-700
Lahitte	P2	13	7	29° 08´40.0”	61° 50´22.9”	3.64	18	900-350
Lahitte	P3	14	7	29° 08´40.1”	61° 50´22.8”	3.92	18	410
Lahitte	P4	15	7	29° 08´39.7”	61° 50´23.1”	4.18	20	2000
Lahitte	FG	16	7	29° 08´39.6”	61° 50´22.9”			

Descripcion de las Perforaciones

Centis

Pozo 1

S 29º 05`39.9`` W 60º50`8.4``

Profundidad total 6m.

Descripción:

Superficie: Suelo arcilloso con nódulos.

1m: Arcilla limosa. Pardo claro. Con nódulos de limo endurecido.

2m: Limo arcilloso con nódulos de limo endurecido.

3m: Ídem 2m, pero más arcilloso.

4m: Ídem 3, pero más arcilloso.

5m: Limo arcilloso con nódulos de limo endurecido.

6m: Arcilla limosa con nódulos de manganeso, limo endurecido

Pozo 2

S 29º 05`40.1`` W 60º50`9.0``

Profundidad total 6m.

Descripción:

Superficie: Suelo arcilloso con nódulos.

1m: Arcilla oscura con pocos nódulos.

2m: Arcilla limosa con nódulos de limo, más clara que la anterior.

3m: Ídem 2.

4m: Arcilla clara con nódulos de limo endurecido.

5m: Ídem 4

6m: Arcilla con muchos nódulos de carbonato de calcio.

Pozo 3

S 29º 05`39.7`` W 60º50`9.4``

Profundidad total 6mts.

Descripción:

Superficie: Limo arcilloso con nódulos de limo endurecido. Color castaño claro.

1m: Arcilla, con nódulos de carbonato de calcio. (Nódulos de 6mm)

2m: Limo algo arcilloso, con nódulos de limo endurecido y nódulos de carbonato de calcio (de aproximada 5-6mm).

3m: Limo, con pequeños nódulos de carbonato de calcio y de limo endurecido. El tamaño de los nódulos de carbonato de calcio disminuyó.
4m: Limo arcilloso, con nódulos de limo endurecido de gran tamaño (8mm aprox.)
5m: Limo arcilloso, con nódulos de limo endurecido de gran tamaño (8mm aprox.)
6m: Limo un poco más arcilloso que la muestra anterior, con nódulos de limo endurecido de gran tamaño (8mm aprox.)

Pozo 4

S 29º 05`38.9``  W 60º50`9.3``
Profundidad total 6mts.
Descripción:
1m: Arcilla limosa, con presencia de nódulos de carbonato de calcio de 7mm y nódulos de limo endurecido.
2m: Limo arcilloso, con nódulos de limo endurecido y nódulos de carbonato de calcio (de 7 u 8mm).
3m: Limo algo arcilloso. Pardo claro, con pequeños nódulos de limo endurecido. Más limos que el anterior.
4m: Ídem anterior. Un poco más arcilloso que a los 3m.
5m: Un poco más arcilloso que a los 4m. Gran cantidad de nódulos de limo endurecido.
6m: Un poco más arcilloso que a los 5m con presencia de nódulos de carbonado de calcio de 10mm.

Pozo 5

Ruta 40 Centis -Zona represa
S29º 07´24.03´´ W60º 49 ´28.8´´
Profundidad 8m
Descripción:
Superficie: Arcilla limosa con nódulos grandes de carbonato de calcio (VER ACIDO)
2m: Arcilla limosa con nódulos de limo endurecido.
3m: Arcilla limosa con nódulos de limo endurecido. Pardo claro, más claro que el anterior.

4m: Arcilla limosa con nódulos de limo endurecido más otros nódulos de carbonato de calcio. Contiene bastantes nódulos.
5m: Arcilloso, con nódulos parecido al de 4m.
6m: Ídem 5.
7m: Más arcillosa que en los 6m.
8m: materiales limosos y arcillosos.

Zanuttini

Pozo 6 (Coincide con el ensayo infiltración)
S28º49 26.5 W61º 16 56.3
Profundidad total 6m
Descripción:
1m: Limo arcilloso con presencia de nódulos de limo endurecido. Pardo oscuro.
2m: Ídem anterior.
3m: Limo. Más limo que el anterior, con nódulos de limo endurecido.
4m: Limo algo arenoso. Componente arenoso muy fino.
5m: Arena fina.
6m: Arena compacta con algo de arcilla.

Pozo 7
S28º 49´ 24.7 W 61º 16´ 54.8´´
Profundidad total 7 m.
Descripción:
Superficie: Arcilloso-limoso oscuro, con nódulos de limo endurecido.
2m: Limo mas claro que el anterior, con gran cantidad de nódulos de limo endurecido de pequeño tamaño. (Con menos arcilla que el anterior, no se puede amasar). Pardo claro.
4m: Limo con nódulos de carbonato de calcio. Abundante cantidad de 1 a 2mm.
5m: Limo arcilloso. Gran cantidad de nódulos de limo endurecido y presencia de arcilla.
7m: Más claro que el anterior, con gran cantidad de nódulos de limo endurecido y alguno de carbonato de calcio.

Pozo 8

S28º 49´27.7¨ W61º 16´ 58.6

Profundidad total 7 m.

Descripción:

1 m: Limo pardo claro con numerosos nódulos de limo endurecido.

2 m: Ídem anterior con algo de arcilla.

3 m: Limo con pequeños nódulos de limo endurecido, similar al anterior pero sin arcilla.

4 m: Ídem anterior.

5 m: Limo, un poco más oscuro que el anterior. Ídem 4m.

6 m: Limo. Nódulos de limo endurecido, nódulos de carbonato de calcio, con nódulos de manganeso.

7 m: Limo. Nódulos de limo endurecidos.

Laplacette, Puesto Chamorro

Pozo 9

S29º 12´ 29.5´´ W60º 51´ 50.3

Profundidad total 12 m.

Descripción:

Superficie: Suelo arcilloso.

1m: Limo, pardo claro con nódulos de limo endurecido.

2m: Limo, algo arcilloso con numerosos nódulos pequeño de limo endurecido y muñequitas de tosca.

3m: Limo, algo arcilloso con numerosos nódulos pequeño de limo endurecido.

4m: Ídem anterior.

5m: Ídem anterior.

6m: Algo más arcilloso y más claro que el anterior, cambio de coloración. Contiene nódulos de limo endurecido.

7m: Mucho material fino, más arcilloso que el anterior con presencia de nódulos de limo endurecido.

8m: Arcilla limosa con presencia de nódulos.

9m: Ídem anterior.

10m. Ídem anterior.

11m: Un poco menor arcilloso que el anterior, con nódulos de carbonato de calcio.

12m: Arcilla limosa (más arcilla que limo).

Pozo 10

S29º12´29.04 W60º 51´50.7´´

Profundidad total 10m.

Descripción:

Superficie: Suelo vegetal Arcilloso, color oscuro. Contiene nódulos .Materia organica en desconposición

1m: Limo algo arcilloso, más claro que el anterior. Contiene nódulos de limo endurecido.

2m: Ídem anterior, más limoso.

3m: Ídem anterior.

4m: Más claro que el anterior. Contiene nódulos de limo endurecido.

5m: Ídem anterior.

6m: Mayor cantidad de nódulos de limo endurecido de pequeño diámetro (1mm).

7m: Limo algo arcilloso, con numerosa presencia de nódulos de limo endurecido y de mayor diámetro que el anterior.

8m: Nódulos más grandes que la de 7m.

9m: Arena fina.

10m: Arena y nódulos de limo.

LAHITTE

En la Planta Piloto de Lahitte, se realizaron 5 perforaciones, en una de las cuales se instaló un freatígrafo. A continuación se transcribe la ubicación en la tabla 2.

UBICACIÓN DE LAS PERFORACIONES en Lahitte Tabla 2

NºPOZO	LATITUD S	LONGITUD O
11	29° 08´39.9”	61° 50´21.7”
12	29° 08´40.4”	61° 50´22.2”
13	29° 08´40.3”	61° 50´22.7”
14	29° 08´39.7”	61° 50´23.1”
15 FREATIGRAFO	29° 08´39.9”	61° 50´22.4”

PROFUNDIDAD DE LAS PERFORACIONES: 7m, Nivel estático 3.7m

Descripción tipo

Por la similitud encontrada en las perforaciones se describe un perfil tipo que corresponde a las perforaciones 11, 12, 13, 14 y 15, por el tipo de obra que se quiere ensayar, la ubicación de éstas se realizó a través de un cuidadoso análisis de los SEV. En todos los casos se llego a la arena fina oscura con micas a partir de los 5.5m hasta los 7m.

Sup. Suelo vegetal con materia orgánica

1-5.5m limos arcillosos pardo oscuro.

5.5-7m arena fina oscura con abundante mica.

17 EVAPORACIÓN GUANAGAN

Los datos de evaporación de la estación Guanagan, fueron considerados de interés en este proyecto, por lo que aunque no estuvo incluido este punto en el plan de trabajo de este Convenio, se elaboró en forma básica la información. Los datos en planillas se presentan en el Anexo 4.

Ubicación Geografica

El establecimiento Guanagán se ubica en el Departamento Vera dentro del distrito de Fortín Olmos en el centro norte del área de estudio. En este sitio y por corto tiempo se midieron niveles dentro de un tanque de evaporación tipo A. Las coordenadas geográficas de la ubicación del tanque de evaporación tipo A fueron 28° 36'43.69"S, 60°50'9.52"O ver Figura 56.

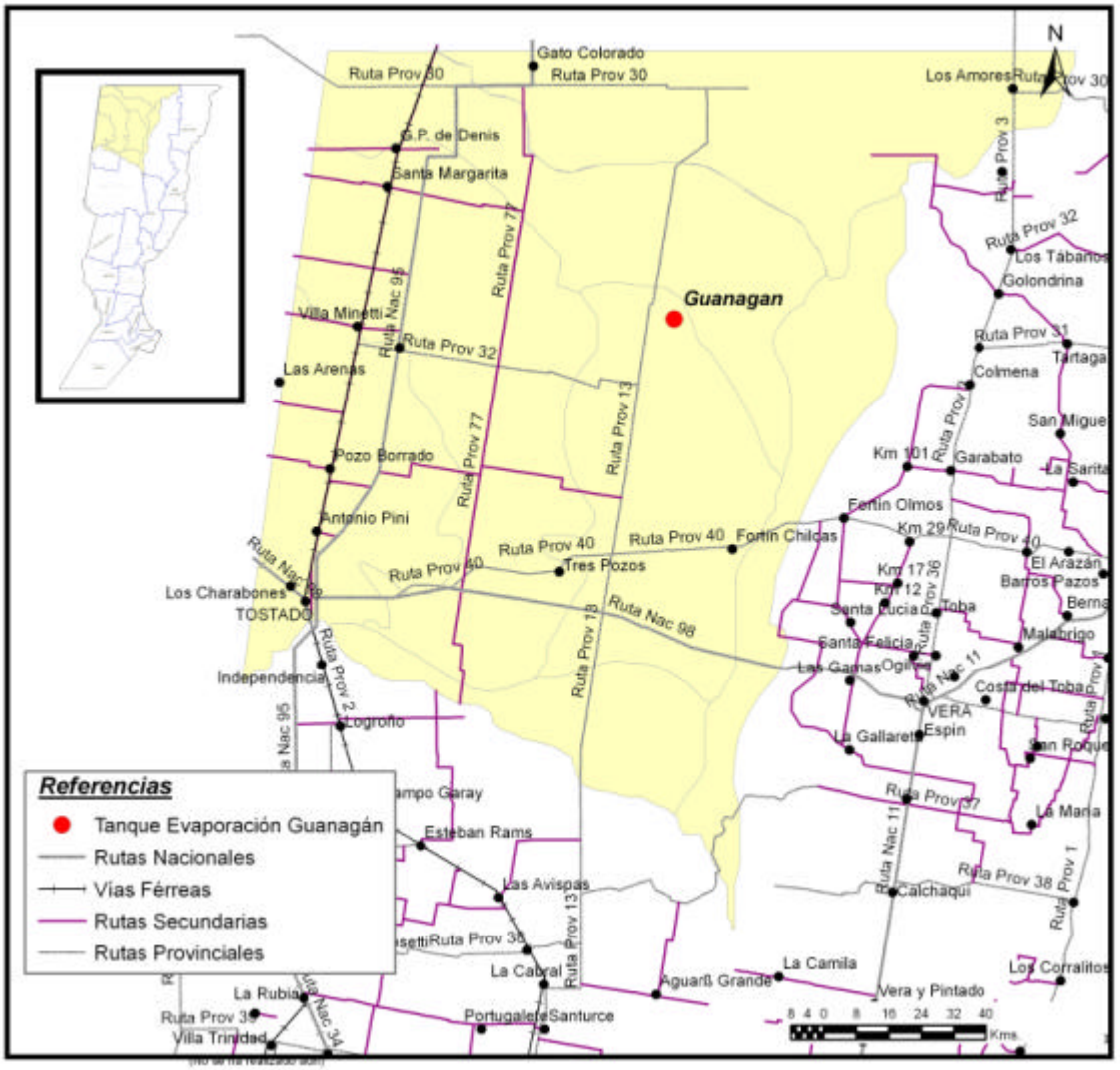


Figura 56 Ubicación del tanque de evaporación de Guanagan

Los datos fueron entregados en fotocopias y para su elaboración se transcribieron en Planillas Excel. Las mediciones de evaporación en tanque tipo A, fueron realizadas durante los años 1986, 1987 y 1988. Anexo 4, tablas 1 a 36, donde se presentan valores diarios de evaporación.

A continuación se presenta la tabla 3 con valores de evaporación mensual en el Establecimiento Guanagán.

Tabla 3 *Evaporación en mm. Totales mensuales y anuales

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
1986	198.87	130.43	129.73	60.29	60.14	40.52	69.36	71.76	119.46	160.15	131.39	201.74	1373.84
1987	199.5	199.97	169.96	61.33	69.8	89.78	88.39	81.32	139.34	191.41	159.98	209.86	1660.64
1988	169.09	169.48	220.69	112.45	99.41	101.65	99.8	151.14	110.09	149.42	189.4	230.5	1803.12

En la figura 57 se puede observar las variaciones a nivel mensual en cada uno de los años.

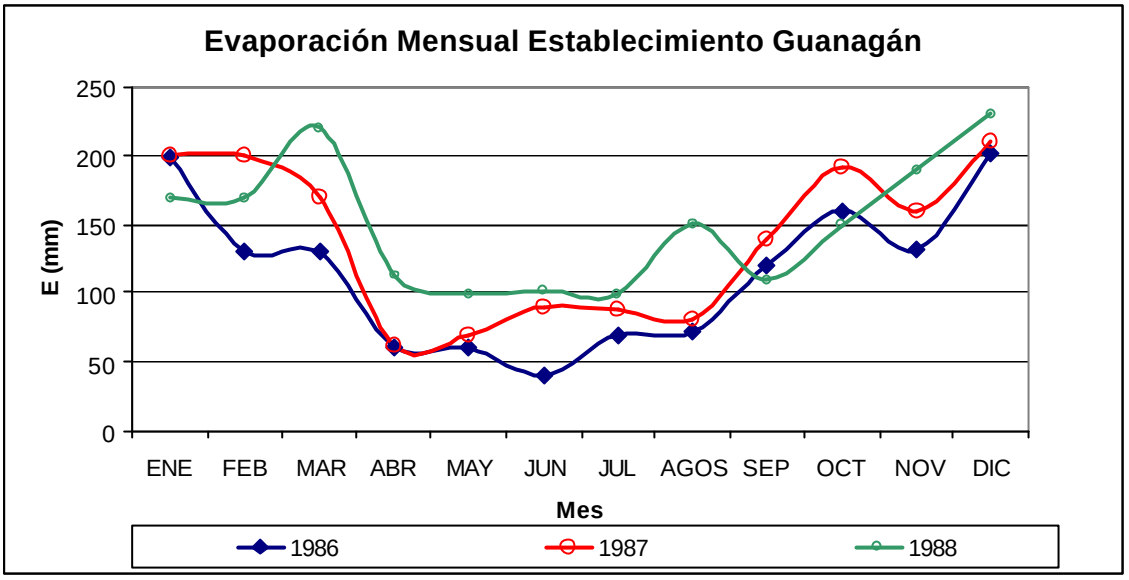


Figura 57 variaciones mensuales de evaporación

También en estos tres años se analizaron los valores de evaporación máxima diaria, como muestra la tabla 4, se pudo determinar valores extremos del orden de 20 mm/día para el mes enero de los tres años examinados y un máximo absoluto de 20.14 mm/día para el mes de febrero del año 1987.

Tabla 4, evaporación máxima diaria

Maximos	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
1986	19.39	10.18	19.33	9.56	9.47	9.55	9.44	9.83	9.85	10.62	10.08	19.59
1987	19.94	20.14	10.32	9.63	9.66	9.63	10.17	9.51	9.85	10.39	9.93	10.28
1988	19.12	9.9	10.78	10.34	10.05	9.84	9.84	19.01	10.05	10.19	20.2	13.89

Tabla 2. *Evaporación máxima diaria en cada mes en mm/día.

En la Figura 58 se puede observar que exceptuando los meses de verano, la evaporación máxima diaria es pareja. Siendo esta cercana a 10 mm/día.

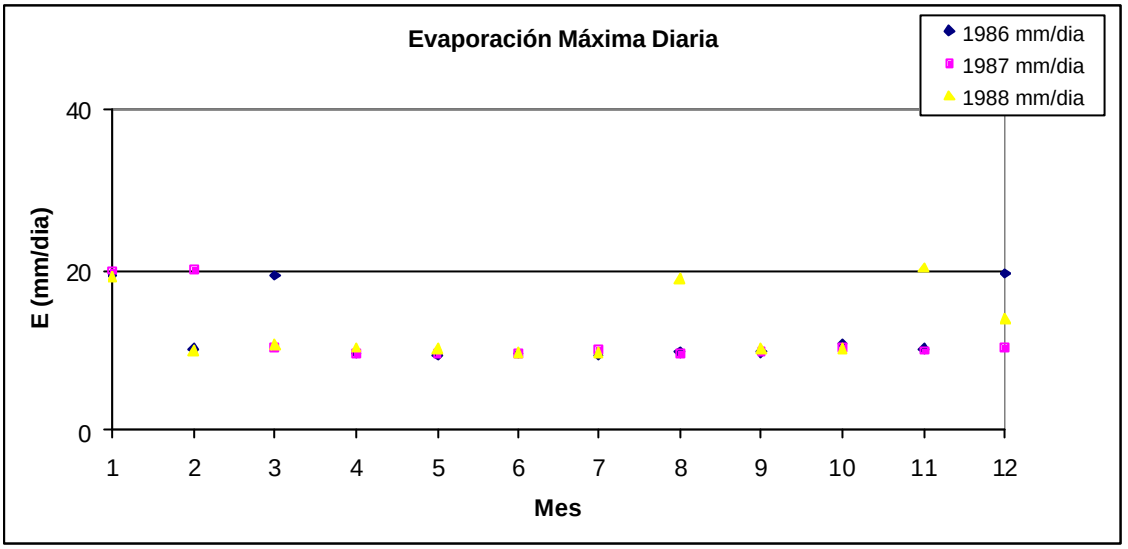


Figura 58, evaporación diaria maxima

Comparación de los datos Guanagan con EE INTA Rafaela

Según la información disponible se realizó una comparación entre la evaporación en el tanque tipo "A" en la estación Guanagan con valores del tanque ubicado en la EE INTA Rafaela. Ya que esta última es la estación normalmente utilizada dentro del sector norte santafesino.

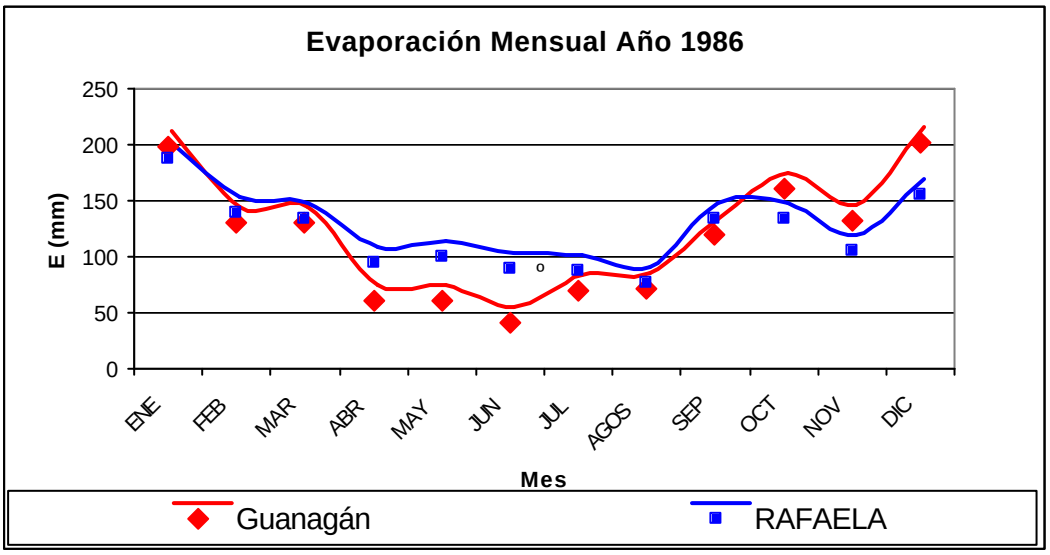


Figura 59, comparación de la evaporación mensual entre estaciones

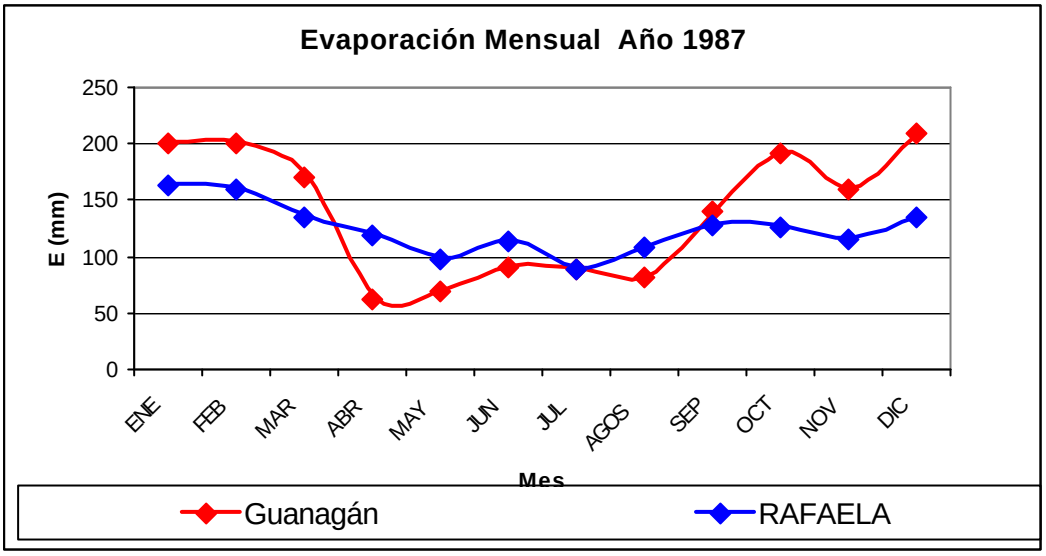


Figura 60 , comparación de la evaporación mensual entre estaciones

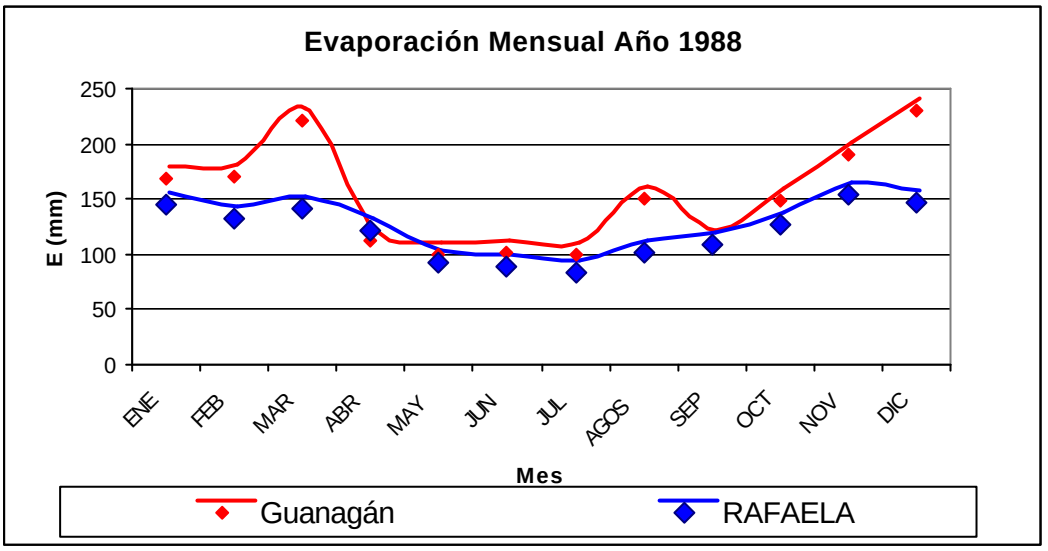


Figura 61, comparación de la evaporación mensual entre estaciones

De este análisis, se aprecia la importancia de contar con datos de estaciones ubicadas en la zona de estudio para realizar las evaluaciones futuras de las obras propuestas en este proyecto ya que se observan variaciones que pueden llevar a estimaciones no acertadas.

18. PROPUESTA DE DISEÑO Y MONITOREO DE RECARGA DE ACUIFEROS EN 4 ZONAS DE LOS BAJOS SUBMERIDIONALES.

18.1 Introducción.-objetivos y alcances

A continuación se presentan propuestas de obras para cuatro zonas de los Bajos Submeridionales. Aunque como se verá a continuación existen diferentes antecedentes de aplicación en la región se han denominado a cada una de ellas como “Plantas Piloto”.

La determinación de hacerlo se debe a que la experiencia obtenida hasta el presente aconseja la realización de “Plantas Pilotos” y experimentar en ellas un cierto tiempo, incluso años. (Custodio Llamas). Esto se debe a que los parámetros que gravitan en forma preponderante son locales como así también aspectos culturales que hacen a su operación y funcionamiento. Por todo lo enunciado no siempre pueden aplicarse experiencias ajenas.

Todas las obras que incluyen recarga en pozos o perforaciones tienen asociadas una planta de tratamiento con inyección de coagulantes y filtrado en filtros lentos. Este método fue probado con éxito por el ferrocarril en plantas similares en más de cincuenta años. Por ello se considera conveniente realizar estudios que permitan simplificar el proceso.

Las obras que se presentan han sido analizadas para hacer frente a escenarios de sequías y se encararon desde esa óptica. Pero la zona en que se está trabajando se caracteriza por alternancia de años secos y de excesos hídricos.

Por otra parte las propuestas apuntan a escala “Establecimiento Agropecuario”. Esto de por sí constituye una limitante por los recursos potencialmente disponibles para llevarlo a cabo. Se considera que deberían encararse estudios a escala de Asociación de Productores (consorcios) y a nivel Regional .

18.2 Antecedentes de Obras de Recarga en la Región y su entorno.

En la región desde el inicio de la colonización se ha recurrido a la recarga artificial de acuíferos. Los colonos se encontraron con que el agua subterránea, único recurso hídrico disponible era muy salino, por lo que lograron mejorarlo introduciendo en pozos cavados aguas pluviales colectadas en techados. Este método se lo sigue utilizando en la actualidad en

muchos establecimientos rurales sin tratamiento previo alguno, salvo desechar las primeras aguas. Por otra parte las empresas de Ferrocarril para abastecer a su parque de locomotoras a vapor recurrió a todos los sistemas disponibles, para el abastecimiento de agua, construyó a principios del siglo XX algunas obras de recarga como las de las Estaciones AEROLITO, BANDERA, ESTEBAN RAMS, FORTIN INCA Y LA CAÑADA.

En la misma época las industrias forestales que por lo general descartaron el uso de agua subterránea por su alta salinidad, recurrieron a las aguas de tormentas construyendo grandes represas como la de cierre de TARTAGAL.

Estas eran transportadas en vagones tanques hasta los obrajes, donde las descargaban en pozos cavados en acuíferos salinos. Aún hoy los pobladores los llaman Aljibes de la Forestal.

Es recién en 1948 cuando la recarga de acuíferos se utilizó en servicio reducido de abastecimiento de agua. En esa época Obras Sanitarias de la Nación diseñó y construyo en la Provincia del Chaco (CORZUELA, AVIA TERAI Y CAMPO LARGO) plantas de abastecimiento con colectores pluviales que tenía como uno de sus componentes pozos de recarga.

Mas tarde a principios de la década de 1950 en TOSTADO se construyó una represa y pozos de gran diámetro con los que se prestó a esa localidad un servicio precario consistente en abastecimiento con camiones tanques a los pobladores cuyos aljibes se agotaban.

18.3 Componentes y desempeño de las obras de recarga existentes

18.3.1 Origen, Dispositivos de Captación de aguas superficiales y calidad de agua colectada.

La totalidad de las obras de recarga utilizan aguas de tormentas. Estas son colectadas mediante cunetas viales, y dispositivos de cosecha de agua como los realizado por Obra Sanitaria en Chaco (Plateas impermeabilizadas) y actualmente por obras como las realizadas por el MASPyMA en cuencas rurales mediante corrugado de suelo. La calidad de las aguas colectadas es buena, con un tenor salino por lo general menor a 500 mg/l.

La turbidez originada por sedimentos en suspensión (coloides, arcillas y limos) es muy variable, dependiendo de la intensidad de la precipitación y estado de las cuencas de aporte.

18.3.2 Dispositivos de almacenamiento.

El dispositivo mas utilizado para el almacenamiento de aguas de tormentas son las Represas Cavadas, estas se construyen con profundidades desde 1 a mas de 6 metros.

Los taludes adoptados varían de 1:1 a 1:2 y sus formas son muy variadas. El volumen de almacenamiento varía desde pocos m^3 a 150.000m^3.

La aplicación de represas cavadas como elemento de almacenamiento en los Bajos Submeridionales, donde los niveles freáticos varían de 0 a 9m, tienen el inconveniente de salinización y disminución de capacidad para niveles freáticos elevados.

18.3.3 Dispositivos de dispersión-algunos aspectos de su operación

- o Métodos de dispersión- Pre-tratamiento del agua recargada

El método de dispersión más utilizado son las represas cavadas. Estas cumplen la doble función de almacenamiento y dispersión. La mayoría de las obras utiliza el agua como está disponible, algunas poseen dispositivos rudimentarios para la decantación de los sedimentos transportados.

Cuando el método de dispersión adoptado es por pozo o perforación el agua de tormentas antes de ser recargada pasa por una planta de tratamiento donde se le incorpora coagulante (cal apagada) en la cámara de decantación antes de pasar a un filtro lento de arena.

- o Colmatación –Mantenimiento.

La colmatación más evidente se observa en el fondo de las represas y parte inferior de los taludes. Esta se produce por la deposición de los materiales finos arrastrados por las aguas y localmente por la erosión del material extraído durante la construcción de la represa. Generalmente no se realizan tareas de remoción de sedimentos.

- o Infiltración periódica o anual.

La infiltración en represas depende de varios factores, tipo de suelos, grado de colmatación, gradiente hidráulico y disponibilidad de agua. Los registros que se disponen muestran que existe una recarga potencial de 3.5 m/año y una recarga real por falta de disponibilidad de agua de 1,50 m/año, valores compatibles con los que la bibliografía muestra para terrenos finos.

18.3.4 Sistemas de captación.

- Pozos y perforaciones

Como dispositivos de bombeo se utilizan perforaciones, pozos cavados con o sin drenes radiales. Generalmente las captaciones se realizan próximas a las represas. Cuando se realizan más de un pozo hay veces que estos se interconectan con el objeto de optimizar el uso de los sistemas de bombeo y explotación del acuífero.

- Calidad del agua extraída

La calidad del agua varía sensiblemente de acuerdo a la relación entre la recarga natural, artificial y extracciones. En las Plantas de Abastecimiento cuando la explotación es racional las variaciones de la salinidad varían muy poco durante todo el año. Pero en las sobreexplotadas o mal explotadas se observan variaciones muy grandes del orden del 300%.

18.4 Propuesta de Diseño Obras

18.4.1 Recarga a Partir de Cosecha de Agua- Paleocauce (Establecimiento Zanuttini)

El área de emplazamiento de esta Planta Piloto es un bajo con pendiente. Existe una aguada muy antigua que estaba constituida por cinco pozos calzados con ladrillos de diámetros comprendidos entre 2 y 4m. Estos eran bombeados por malacate y dos molinos que descargaban las aguas en dos tanques australianos de gran diámetro. Uno de ellos a nivel del suelo que cumplía la función de almacenamiento y bebedero y el otro elevado para abastecer a aguadas ubicadas a distancia. En la actualidad el bebedero y pozo del malacate están inutilizados.

Recientemente el MASPyMA ha construido en el entorno de la aguada un dispositivo de Cosecha de Agua mediante corrugado del terreno un decantador de sedimentos y dos represas. El INA por su parte realizó estudios geofísicos y perforaciones que permitieron determinar que en el lugar existe un paleocauce con arenas finas.

La conjunción de disponibilidad de agua, garantizada con el dispositivo de cosecha de aguas de tormentas, represas para almacenarlas, tanque elevado para su distribución y existencia de Paleocauce con arenas finas hace que el lugar sea apropiado para la implementación de una Planta Piloto de Recarga de Acuíferos.

18.4.1.1 Objetivos de la Planta Piloto Zanuttini

- Estudiar la eficiencia del dispositivo de cosecha de agua (corrugado artificial del relieve)
- Estudiar los procesos de Dispersión en Represas y en Pozos cavados existentes.
- Ensayar recarga mediante perforaciones en paleocauce (Recarga Lineal)
- Estudiar la influencia de la evapotranspiración en la freatimetría de los paleocauces recargados. (campo de recarga)
- Establecer pautas de manejo que garanticen un suministro de agua sin variaciones en su salinidad.

18.4.1.2 Componentes del Proyecto Anexo 2 Planos 8 A y 8B

- Colector de aguas de Tormentas.

En la actualidad las aguas provenientes del dispositivo de cosecha de agua ingresan a un cuenco decantador, por varios puntos originando frentes de erosión retrocedente muy importantes. La construcción de un colector que concentre el escurrimiento en un punto, ubicado en el lado norte del desarenador permitirá por una parte establecer en un solo punto control de la erosión y la implementación en ese lugar de un aforador para la evaluación de las descargas del citado dispositivo.

- Conexión entre represas.

En la actualidad las dos represas están conectadas con un canal de mayor cota. Se propone su reemplazo con un entubado a cota lecho de represa con una compuerta. Esta posibilitaría establecer diferentes pautas de manejo de las aguas almacenadas.

- Terraplenes de cierre en Represa 2 – Planta de Bombeo

A ambos lados de la represa denominada reservorio 2 existe un terraplén construido con el material excavado durante la construcción de la misma. Se propone completar el cierre mediante la construcción de dos terraplenes en sus lados norte y sur. De este modo se puede utilizar como Represa elevada en situaciones de excesos hídricos. El bombeo puede realizarse con bomba arrocera portátil accionada con toma de fuerza de tractor.

- Planta de Pre tratamiento de aguas de tormentas.

En la Planta Piloto se plantea la recarga de pozos y perforaciones. Esto implica el pre tratamiento de las aguas de tormentas a los efectos de eliminar los materiales transportados, limos, arcillas y coloides. Esta tarea se concretará mediante una planta de tratamiento compuesta por cuenco decantador y filtro lento de arena. Como estos requieren bajo contenido de sedimentos en suspensión, previo al ingreso a la cámara de decantación, las aguas de tormentas se las dosificarán con lechada de cal.

o Pozos de Recarga.

La recarga se efectuará en los Pozos cavados existentes (4) y perforaciones a realizar. (Los pozos realizados durante este estudio servirán de piezómetros). Los pozos de gran diámetro tienen mucha capacidad de almacenamiento por lo que van a operar como pozos cisterna donde, con el agua recargada será factible lograr razones de mezclas adecuadas.

o Perforaciones de inyección- Campo de Recarga en paleocauces

Se utilizarán pozos de 4 pulgadas, en los campos de recarga lineal asociados a paleocauces y con miras a generar reserva de aguas dulces. Estos se ubicarán fuera de la zona de influencia del área de represas. La alimentación de las perforaciones se realizará mediante línea de caños plásticos enterrados que lo conectará con el tanque australiano elevado existente.

18.4.1.3 Funcionamiento-Monitoreo Planta Piloto

o Cosecha de Agua:

Al producirse una precipitación las aguas que escurren antes de llegar al área de represas son interceptadas por un canal colector. Este deberá contar con un dispositivo de aforo (Aforador H) y un Pluviómetro tipo B que permita evaluar las descargas al cuenco decantador y los aportes directos en las mismas por las precipitaciones.

o Decantación sedimentos gruesos – Aportes a las Represas.

Al ingresar las aguas al cuenco y debido a la disminución de velocidad se decantarán los materiales gruesos antes de ingresar en las represas. El cómputo del material decantado se determinará periódicamente mediante cubicación por perfiles topográficos.

o Evolución de las reservas y recarga en represas.

La evolución de las reservas de agua en cuenco de decantación y represas depende del balance entre ingresos y egresos a las mismas. Los ingresos son producidos por el agua de escorrentía de tormenta y los aportes directos de

las precipitaciones y los egresos por la infiltración, agua bombeada para pre tratamiento antes de la recarga en pozos y perforaciones y evaporación. Las dos primeras pueden considerarse como trasvase de represa superficial a reservorio subterráneo. Sólo la evaporación puede considerarse como una pérdida. La evolución de los niveles hidrométricos se seguirá mediante Escalas Hidrométricas y Escalas de máximas y con un Registrador de Nivel de apreciación milimétrica. Las aguas extraídas por bombeo se computarán en forma volumétrica por llenado de cuenco de decantación de la planta de filtrado. El cómputo de la infiltración o recarga en represas se realizará aplicando el balance antes mencionado. Esta depende entre otros factores de los niveles en represas y de la freática.

o Recarga en pozos.

En la actualidad existen cuatro pozos cavados de los cuales se bombean dos. Está previsto implementar un dispositivo que permita la recarga y bombeo individual de todos los pozos. El monitoreo de los volúmenes recargados se efectuará computando en forma volumétrica en cuenco de decantación de la planta de filtrado. El seguimiento de la interfase agua dulce agua salada en esta zona se efectuará mediante piezómetros puntuales ubicados en la parte central de la misma.

o Bombeo almacenamiento y distribución de las aguas de los pozos

Los pozos serán bombeados con molinos a viento conectados a chupadores tipo araña.

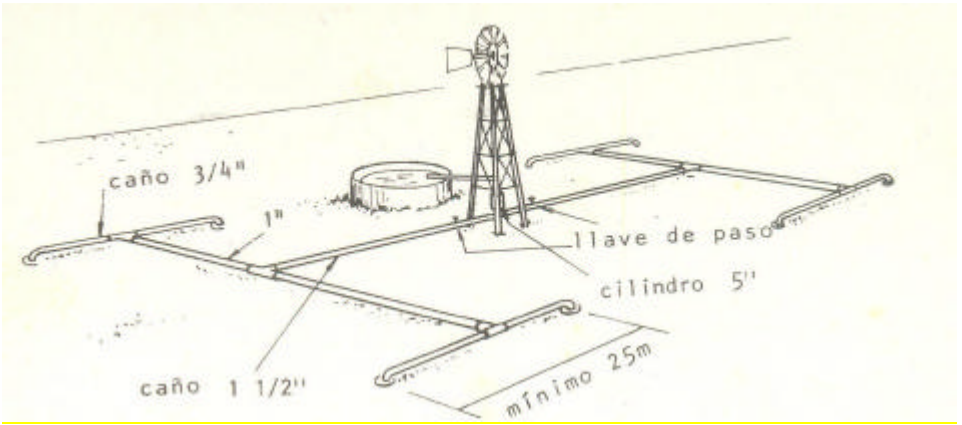


Figura 62 uno de los tantos modelos de pozos tipo araña (fuente, aguas y aguadas Bavera)

El agua extraída será conducida por tubería al tanque australiano elevado existente y será monitoreada en cantidad y calidad en forma periódica mediante contadores de tubería y muestreo.

o Recarga en Perforaciones-Campo de Recarga.

En área de Paleocauce y alejado de la zona de influencia del área de represas se implementará un campo de recarga mediante perforaciones alineadas. Estas se construirán según el esquema mostrado en Anexo 2 Plano N° 8 B**,** serán alimentadas desde el Tanque Australiano elevado.

El objetivo primario del campo de recarga es estudiar la factibilidad técnica del almacenamiento interanual en paleocauces de arena. Por ello el estudio de la freatimétrica en el área de recarga es esencial para evaluar las pérdidas por evapotranspiración. El monitoreo de los volúmenes inyectados se efectuará mediante aforadores de tubería, las pérdidas por evapotranspiración por mediciones freatimétricas complementadas con mediciones geofísicas de corriente continua.

o Evolución de las reservas de aguas subterráneas.

El monitoreo de la freatimetría del campo de Recarga y su entorno se realizará mediante mediciones freatimétricas en Perforaciones y Pozos de Inyección y Piezómetros. La Freatimétria Regional será estudiada mediante registros continuos de las fluctuaciones con Freatígrafos ubicados en proximidades de dentro y fuera de la zona de influencia de los Campos de Recarga.

18.5.1 Recarga en Bajo natural –Paleocauce. (Establecimiento LAHITE)

Esta Planta Piloto de Recarga se encuentra en un bajo topográfico que naturalmente durante los períodos lluviosos acumula agua. Estudios realizados muestran que la capa superior de suelos (45cm) es muy impermeable. Por debajo de los mismos la permeabilidad es muy superior ver Figura 52. Por otra parte estudios geoeléctricos y perforaciones realizadas mostraron que en el área existe un paleocauce constituido por arenas muy finas. Atento a lo antes especificado, se definió una Planta Piloto de Recarga con los siguientes objetivos:

18.5.1.1 Objetivos de la Planta Piloto Lahitte

o Estudiar la eficiencia del dispositivo de cosecha de agua.

o Estudiar los procesos de Colmatación y Dispersión en Balsas.

o Ensayar recarga mediante perforaciones en paleocauces.

- Ensayar medios simples para descolmatación de aguas de tormentas.
- Establecer pautas de manejo que garanticen un suministro de agua sin variaciones en su salinidad

18.5.1.2 Componentes del Proyecto Anexo 2, Plano 9

A continuación se describen las componentes de la Planta Piloto.

- Sistema de captación agua de tormentas :

La captación de aguas de tormentas se incrementará mediante la construcción de caminos internos del establecimientos y su respectivo cuneteado rural.

- Cuenco decantador de sedimentos gruesos.

Es un cuenco de mayor ancho y profundidad que el cuneteado. Los sedimentos gruesos al entrar allí decantan debido a la pérdida de velocidad de la corriente.

- Represa de Almacenamiento (Balsas)

La represa de Almacenamiento poco profunda menor a 1m de taludes extendidos. Se dimensionará de tal modo que sea capaz de almacenar las aguas medias y bajas.

- Dispositivo de filtrado de agua de tormentas.

El agua de tormenta a utilizar en la recarga de perforaciones será tratada con coagulante en una cámara de decantación previo paso por un filtro lento de arena.

- Sistema de Dispersión. La recarga se realizará por la infiltración en la Represa e inyección en Perforaciones. Se prevé la construcción de cuatro perforaciones que atravesarán el paquete de sedimentos finos hasta llegar a las arenas del Paleocauce. Las Perforaciones de recarga se construirán con doble propósito de recarga y bombeo. Esto posibilita la realización de proceso de recarga–descolmatación y además permite obtener porcentajes de mezcla adecuado para suministrar a la hacienda.

- Sistema de bombeo. Anexo 2, Plano 9 P5, P6, P7 y P8

Los pozos de bombeo se encuentran paralelos a la línea de inyección. La distancia entre ambas líneas se determinarán cuando los ensayos de recarga permitan definir los parámetros del acuífero. El bombeo se hará mediante cilindro accionado con molino a viento con dispositivo tipo araña. El sistema de bombeo debe permitir además elevar las aguas de la represa a la cámara de decantación.

18.5.1.3 Funcionamiento - Monitoreo Planta Piloto

o Cosecha de Agua-Decantación sedimentos gruesos.

Producida una precipitación, el agua de tormenta es colectada por las cunetas y antes de descargar en la represa pierde sus sedimentos gruesos al pasar por el decantador. Las precipitaciones y otras variables meteorológicas se monitorearán con una estación automática. Los volúmenes aportados mediante ¨Balance en Represa¨.

o Evolución de la reserva de agua en represa.

Los niveles de agua en una represa dependen de la relación entre los aportes y pérdidas que se producen en la misma. Los aportes están dados por la escorrentía y precipitación directa de precipitaciones. Las pérdidas debidas a la evaporación, extracciones e infiltración. Los aportes directo de las precipitaciones se monitorearán con un Pluviómetro tipo B. El seguimiento de la variación de los niveles se efectuará mediante una estación limnimétrica compuesta de Escalas, Escalas de máxima y registrador de nivel de apreciación milimétrica. Los aportes se calcularán utilizando la curva altura volumen de la represa y los incrementos de niveles experimentados por la escorrentía durante o inmediatamente después de la lluvia. La recarga en represa se determinará por la disminución de los niveles en la represa en oportunidades en que no se produzcan aportes ni extracciones. La evaporación se calculará aplicando fórmulas existentes.

o Filtrado aguas de represa e inyección en perforaciones.

El agua a inyectar se filtra en una planta de filtros lentos previa decantación de finos mediante coagulantes. El monitoreo de las aguas inyectadas puede efectuarse computando en forma volumétrica el llenado del cuenco de decantación o mediante un contador a la salida del filtro lento.

o Bombeo y almacenamiento de las aguas de perforaciones.

El bombeo de las perforaciones se efectuará mediante molinos a viento o moto bombeadores a cilindro. Habitualmente se bombearán las perforaciones de bombeo que se encuentran alejadas de las perforaciones de recarga. Las perforaciones de recarga se bombearán circunstancialmente ya sea con la finalidad de descolmatar la perforación o bien para obtener una razón de mezcla buscada. El agua bombeada será almacenada en un tanque australiano desde donde se distribuirá a las aguadas. El monitoreo cuantitativo del agua suministrada se efectuará con contador en tubería y el de calidad

mediante mediciones de la conductividad eléctrica efectuadas en muestras de agua obtenidas periódicamente.

o Evolución del campo de recarga.(Agua recargada e Interfase)

El monitoreo de las reservas de Agua Subterránea se realizará cubicándolas mediante geoeléctrica y mediciones de niveles freatimétricos en piezómetros. Se realizarán SEV periódicos en puntos fijos predeterminados.

18.6.1 Recarga en sedimentos finos superficiales y en acuíferos de arena profundos en ambientes salinos. (Establecimiento Centis)

En el Establecimiento Centis se ha planteado un esquema de producción ganadera de alta carga para la zona en que se encuentra. A la fecha ya se tiene resuelto la disponibilidad de reservas forrajeras quedando como limitante la disponibilidad de agua para el ganado. Esto plantea la necesidad de disponer de aguadas capaces de suministrar agua de calidad y cantidad tanto en los períodos húmedos como secos. En la actualidad es habitual el uso de represas para almacenar el agua de tormentas. Estas por la alta tasa de evaporación no permite el almacenamiento interanual, razón por la cual cuando se presentan secuencias de años secos es necesario trasladar o liquidar las existencias ganaderas lo que ocasiona serios perjuicios económicos. Los únicos reservorios naturales disponibles en la región para el almacenamiento interanual de agua lo constituyen los acuíferos salinos profundos que se encuentran alojados en mantos de arena de diferentes espesores a profundidades medias entre 20 y 30m. Atento a ello se propone una Planta Piloto de almacenamiento de agua dulce en acuíferos salinos profundos.

Por otra parte el establecimiento se encuentra atravesado por el Canal 292. Este generalmente descarga aguas de muy alto tenor salino pero en los períodos húmedos y asociados a situaciones de inundación la calidad mejora. Atento a ello y a los efectos de estudiar los aportes del canal, en su aspecto cuali cuantitativo, durante ciclos de inundación sequías se plantea su monitoreo.

Atento a lo antes expuesto se plantea la concreción de los siguientes objetivos:

18.6.1.1 Objetivos de La Planta de Piloto Centis.

- Evaluar la disponibilidad de aguas de tormentas a nivel de establecimiento agropecuario.
- Evaluar el funcionamiento hidráulico del canal troncal y su entorno y la cantidad y calidad de las aguas transportadas.
- Estudiar los procesos de Dispersión en Represas y en perforaciones y determinar su eficiencia.
- Estudiar la factibilidad del almacenamiento interanual en acuíferos salinos profundos.
- Establecer pautas de manejo que garanticen un suministro de agua sin variaciones de su calidad.

18.6.1.2 Componentes del Proyecto - Anexo 2, Plano 10

En el Establecimiento Centis está prevista la realización de dos plantas pilotos. La Planta Piloto (I) estará ubicada en proximidades del casco del establecimiento y tiene por objetivo el "Estudio de la eficiencia de la recarga de acuíferos en sedimentos finos". La Planta Piloto (II) estará ubicada en proximidades del Canal N° 292 y tiene por objetivo " Estudio de la factibilidad de Recarga Artificial de Acuíferos en acuíferos salinos profundos " y "Estudio del funcionamiento hidráulico del Canal N° 292 y su entorno respecto de la cantidad y calidad de las aguas transportadas.

PLANTA PILOTO (I).

Esta Planta Piloto es muy similar a la proyectada para el Establecimiento Lahite. La única diferencia es que en este caso, por aprovechar infraestructura existente, se ha proyectado como lugar de bombeo a un pozo centrado con respecto a las perforaciones de inyección en vez de perforaciones.

- Sistema de captación agua de tormentas

La captación de aguas de tormentas natural se incrementará mediante la construcción de caminos y su respectivo cuneteado rural.

- Cuenco decantador de sedimentos gruesos

Es un cuenco de mayor ancho y profundidad que una cuneta. Los sedimentos gruesos al entrar allí decantan debido a la pérdida de velocidad de la corriente.

o Represa de Almacenamiento (Balsas)

La represa de Almacenamiento poco profunda menor a 1 m de taludes extendidos. Se dimensionará de tal modo que sea capaz de almacenar las aguas media y bajas.

o Dispositivo de filtrado de agua de tormentas.

El agua de tormenta a utilizar en la recarga de perforaciones será tratada con coagulante en una cámara de decantación previo paso por un filtro lento de arena.

o Sistema de Dispersión.

La recarga se realizará por la infiltración en la Represa e inyección en Perforaciones. Se prevé la construcción de cuatro perforaciones de 10 m de profundidad. Las Perforaciones de recarga se construyen con doble propósito de recarga y bombeo. Esto posibilita la realización de proceso de recarga descolmatación .

o Sistema de bombeo.

El pozo cavado de bombeo se encuentra centrado con respecto a la línea de inyección. El bombeo se hará mediante cilindro accionado con molino a viento con dispositivo tipo araña. Está previsto un moto bombeador para accionarlo en caso de ausencia de vientos. El sistema de bombeo debe permitir además elevar las aguas de la represa a la cámara de decantación.

PLANTA PILOTO (II)

o Sistema de captación agua de tormentas

La Planta Piloto (II) estará ubicada en una línea de bajo en la que se encuentra la traza del Canal N°292 que está delimitado a ambos lados por un bordo construido con los materiales extraídos durante la construcción del mismo. Cuando se producen precipitaciones importantes se originan corrientes independientes entre sí, en el canal y su entorno. La mayoría de las veces la calidad de las aguas del canal es muy inferior a la que escurre o se acumula paralelo al mismo no obstante se prevé la posibilidad de captar a ambos escurrimientos.

o Represa de Almacenamiento

La represa de Almacenamiento (Represa elevada) se construirá el bordo perimetral con la misma cota o superior a la cota del bordo del canal, en forma semicircular siendo el lado recto coincidente con el bordo del canal. El talud adoptado 1:1 a 1:2 dependiendo de la calidad del material disponible.

o Dispositivo de llenado de represa elevada- Planta de bombeo.

La represa estará conectada con el canal y con la línea de bajos mediante tubería con compuertas. Esto permitirá el llenado natural de la represa, a cota nivel de canal o de inundación respectivamente durante los períodos de inundación. Además poseerá una planta de bombeo para llegar a cota de coronamiento. El sistema de bombeo debe permitir además elevar las aguas de la represa a la cámara de decantación.

o Dispositivo de filtrado de agua de tormentas.

El agua de tormenta a utilizar en la recarga de perforaciones será tratada con coagulante, este se dosificará en la boca de toma de la cámara de decantación previo al paso por un filtro lento de arena.

o Sistema de Dispersión.

El campo de recarga estará compuesto por perforaciones que podrán cumplir los roles de piezómetro, recarga y bombeo. La recarga se efectuará en perforaciones que atravesarán todo el paquete de arena.

Las experiencias fundamentales en una Planta de Recarga de Acuíferos salinos profundos consiste en efectuar sucesivos procesos de recarga con agua dulce y posterior descarga del acuífero en estudio con el objeto de determinar el índice de recuperación del mismo. Interesa además y de un modo fundamental, el conocimiento del proceso de colmatación y de las técnicas disponibles para tratarle.

El funcionamiento de una Planta Piloto de recarga en acuífero profundo queda esquematizado en el gráfico adjunto:

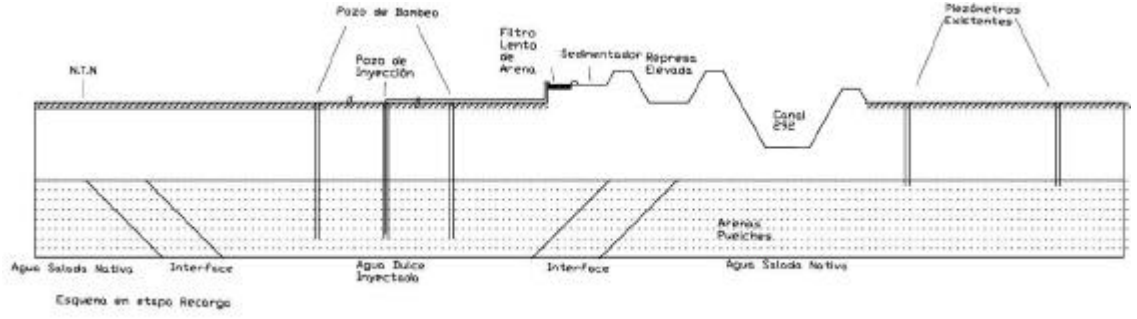


Figura 63- Esquema simplificado de Planta de recarga en acuífero Arenas Puelches

18.6.1.3 Funcionamiento – Monitoreo Plantas Piloto (I) y (II)

PLANTA PILOTO (I)

Ídem a lo propuesto en Planta Piloto Lahitte.

PLANTAS PILOTO(II)

Funcionamiento

Después de una lluvia intensa el agua que escurre por canales ingresa a una represa previo paso por un desarenador de donde es bombeada, previa inyección de coagulante a un cuenco de decantación donde pierde gran parte de su turbidez; posteriormente el agua ingresa a un filtro lento de arena, y a su salida es bombeado a un tanque elevado de carga, y de allí mediante tubería es conducido a las perforaciones de inyección. Una vez que el agua dulce ha ingresado en el acuífero, debido a que posee presión adecuada, desplaza a la salina, generándose entre ambas una zona de mezcla (interfase), la que, debido a la diferencia de densidad, tiene la forma de un cono invertido.

Monitoreo

- Captación de agua :

Al canal y a la línea de escurrimiento se lo implementará convenientemente a los efectos de evaluar el escurrimiento por los mismos. Está previsto poner escalas de pendiente y escalas de máxima y disponer de una rutina de muestreo. Los volúmenes de agua superficial captados en el canal y línea de escurrimiento se evaluarán mediante Balance en Represa.

- Evolución de reserva de agua en represas

El seguimiento de las variaciones de nivel en la represa se realizará mediante un registrador de nivel con apreciación milimétrica y escalas hidrométricas. Estas se completarán con un Pluviómetro para evaluar los aportes directos de la precipitación en la represa. La estimación de la evaporación se efectuará con la información de la estación meteorológica mas cercana.

- Filtrado de aguas de represa e inyección en perforaciones.

El filtrado es similar a los empleados en otras Plantas Pilotos estudiadas. El monitoreo del agua recargada se efectuará mediante caudalímetro de tubería ubicado a la salida del filtro lento. Incluye también el muestreo periódico para determinar la calidad del agua recargada.

- Bombeo y almacenamiento de las aguas de perforaciones.

El bombeo o desembalse del acuífero se monitoreará mediante un caudalímetro de tubería en la descarga al tanque australiano de distribución

complementado con muestreo periódicos para determinar la calidad del agua extraída del campo de recarga.

o Evolución del campo de recarga y su entorno.

El seguimiento de la evolución del campo de recarga y su entorno se efectuará mediante mediciones piezométricas y geofísicas.

18.7.1 Estudio de salinización de jagüel y su remediación por recarga. (Establecimiento Chamorro)

La práctica de profundizar represas o construir excavaciones que lleguen hasta el primer nivel acuífero donde se mezclan aguas de precipitación con las subterráneas fue una modalidad típica en la provincia de Santa Fe, durante la sequía 2008-2009. Numerosas represas se profundizaron, permitiendo el aporte de aguas saladas de fondo y generando un ambiente de salinización del agua por evaporación dentro de la represa con una creciente concentración de sales que empeoraron la condición de las aguas subterráneas.

La elección de esta planta, es estudiar en una primera etapa la evolución del Jagüel y luego la posibilidad de recuperar bolsones que se mineralizaron por este tipo de obra.

La aguada en estudio tiene muchos años de existencia. Está ubicada en un bajo y fue explotada inicialmente mediante un pozo cavado que interceptaba lentes de arena salobres. Cuando este pozo se derrumbó fue reemplazado por una perforación. Durante la mencionada sequía del 2009-2010 se construyó un pozo cavado de 6m de profundidad y gran longitud (Jagüel)

Jagüel: la palabra deriva del quichua Jagüel o Jagüey (Sbarra 1973) lo define como un pozo artificial o una depresión natural donde se junta agua de la napa y de lluvia, su construcción fue muy común en el comienzo de la colonización finales del siglo IXX y principios del XX. Normalmente uno de los bordes presentaba una bajada para que el animal abreve directamente en el mismo. A medida que se comenzó con la utilización de los molinos de vientos para extraer agua, estas obras fueron reemplazadas en gran parte del territorio argentino.

18.7.1.1 Objetivos de la Planta Piloto

o Establecer pautas de manejo en jagüeles y estudiar proceso de salinización en los mismos.

- Estudiar la recarga natural en períodos secos y húmedos.

- Estudiar remediación acuíferos en el entorno de Jagüeles profundos mediante recarga

18.7.1.2 Componentes del Proyecto Anexo 2, Plano 11

Los estudios en la Planta Piloto Chamorro se harán en dos etapas. En la primera se abocará al cumplimiento de los dos primeros objetivos y en la segunda etapa el estudio de remediación de acuíferos.
A continuación se describen las componentes de la Planta Piloto.

- Captación agua de tormentas

En la primera etapa del estudio se pretende analizar la evolución natural del Jagüel, se medirá cantidad y calidad de las aguas y su comportamiento ante las precipitaciones y el tiempo.

En una segunda etapa se incrementaran los aportes de agua de lluvia conectando un bajo natural lindero al Jagüel, esto permitirá mejorar la calidad de las que ingresan al mismo.

- Almacenamiento

El Almacenamiento de agua de precipitaciones se realiza en el bajo natural y este se conectará mediante un canal al jagüel como indica en el Anexo 2, Plano 11. El ingreso de agua superficial permitirá una mejora de la calidad del agua.

- Sistema de dispersión

La recarga se realizará a través del fondo y taludes del jagüel. Se evaluará la infiltración a través de un balance en el mismo. En este sistema deberá evaluarse la descolmatación del fondo del jagüel y la metodología mas apropiada para realizarlo.

- Captación

El sistema de captación se realizará por bombeo directo desde la represa y desde el pozo actualmente en uso, utilizando el molino para bombeo al tanque donde se realiza la mezcla. Este tanque debe taparse para evitar la evaporación.

18.7.1.3 Funcionamiento-Monitoreo Planta Piloto

El sistema será monitoreado a partir de piezómetros P1 al P4 para analizar en comportamiento de la zona de recarga a partir del jaüel. Midiendo la fluctuación de la freática y la calidad del agua.

Además deberá complementarse con una escala dentro del jaüel y por lo menos un pluviómetro tipo B.

Según la evolución que se observe podrá complementarse con pozos de inyección alrededor del mismo como una etapa posterior a ser evaluada.

19 Archivos .shp provenientes del GIS

Los archivos listados a continuación, se encuentran en formato digital en el CD que se adjunta en la solapa de este informe, están contenidos en una carpeta denominada “ARCHIVOS SHP” con los siguientes nombre:

- Conductividades_2008
- NF_2008
- NF_2011
- Quimi_2011
- SEV_aptitud_2008
- Represas comité de cuencas
- Represas GOOGLE EARTH